

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БРЕСТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**Электронно-механический факультет**

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В  
МАШИНОСТРОЕНИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ**

**Труды X научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов**

**Часть 2**

**БРЕСТ 1998**

УДК 681.3

ББК 32.973

**Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике / Труды X научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. Под ред. М.В. Голуба. - Брест: БПИ, 1998, в 2-х частях.**

Представлены результаты исследований коллектива авторов в области технологии машиностроения, надежности машин, усталости, трения и изнашивания, механики, физики, вычислительной техники и др.

Сборник предназначен для научных работников, специалистов, инженеров а также для студентов и аспирантов технических ВУЗов.

*Рецензент:* д.т.н., профессор Ярмолик В.Н.

*Редакционно-издательский совет*

Голуб М.В.	- д.т.н., профессор — ответственный редактор;
Кудинов Н.В.	- к.т.н., доцент — председатель;
Головко В.А.	- к.т.н., доцент — зам. председателя;
Суслов В.А.	- к.т.н., доцент — член редколлегии;
Монтик С.В.	- к.т.н., доцент — член редколлегии;
Мартиновская О.В.	- ассистент — член редколлегии.

ББК 32.9

©Брестский политехнический институт 19

### 3. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

#### НЕЙРОИНТЕЛЛЕКТ: ПРОБЛЕМЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

*Головко В.А.*

*Брестский политехнический институт*

##### **1. Введение.**

В настоящее время происходит стремительное развитие исследований в области нейроинтеллекта. В его основе лежит нейронная организация биологической, или технической системы, которая определяет процессы ее решения. Нейронное строение головного мозга создает предпосылки для создания нейросетевых систем искусственного интеллекта. В настоящее время происходит интеграция когнитивной нейробиологии и теории искусственных нейронных сетей. Так, когнитивная нейробиология пытается выяснить, как психические события коррелированы с электрическими сигналами в мозге и описать высшие психические функции в терминах точных наук. Теория искусственных нейронных сетей, моделируя в той или иной степени мыслительные процессы, позволяют глубже понять функционирование мозга. Задача объединения этих двух наук состоит в том, чтобы описывать высшие психические функции, как скоординированную активацию нейронов в коре головного мозга и в отображении естественно-нейроинтеллекта на искусственные технические системы. Это создает потенциальные предпосылки для создания нейрокомпьютеров, которые являются новым шагом в эволюции вычислительной техники.

## 2. Биологические основы нейроинтеллекта.

Человеческий мозг содержит  $10^{11}$  нейронов, которые интегрируются посредством синаптических связей в нейронные сети. Нейронные сети определяют интеллект, эмоции, и творческие способности индивида. Аналитически, мозг разделен на ряд зон, которые выполняют различные функции. Отсюда вытекает концепция функциональной организации нейронных структур головного мозга. Согласно ей, различная информация обрабатывается и хранится в разных нейронных сетях головного мозга. Скорость распространения нервного импульса по нервным волокнам приблизительно в несколько раз меньше скорости распространения электрического сигнала по медной проволоке. Однако параллельная обработка нейронами информации, которая одновременно распространяется по множеству связей, позволяет компенсировать этот недостаток. В процессе развития мозга происходит непрерывная перестройка его нейронных структур. При этом могут модифицироваться синаптические связи, изменяться размеры и пластичность нейронов. Так, кратковременное запоминание информации происходит в результате усиления синаптических связей между соответствующими нейронами головного мозга. При долговременном запоминании информации, помимо этого наблюдается активация и экспрессия генов, синтез соответствующих белков и рост новых связей[1]. В общем можно сделать следующие выводы по нейронной организации мозга:

- мозг разделен на зоны, которые состоят из различных функциональных структур нейронных сетей. Различная информация хранится и обрабатывается в разных нейронных структурах головного мозга.
- между нейронными структурами мозга существуют как прямые, так и обратные связи. Обратные связи, в частности синхронизируют активность различных функциональных нейронных зон, благодаря чему создается единая интеграционная картина об объекте.
- осознание и понимание увиденного мозгом происходит одновременно, благодаря синхронизации активности соответствующих нейронных

структур, которые обрабатывают различные атрибуты информации (цвет, запах и т.д.).

- головному мозгу характерна как последовательная, так и параллельная обработка информации. Образная информация обрабатывается параллельно, а при операциях с символьными данными задействован последовательный механизм обработки.
- существует последовательное и параллельное соединение нейронных структур мозга с точки зрения надежности. При нарушении одной из параллельно соединенных нейронных структур происходит частичная потеря функций соответствующей нейронной системы (не различение цветов и т.д.). При дефекте одной из последовательно соединенных нейронных структур происходит отказ, ведущий к полной потере функций соответствующей нейронной системы.

### **3. Исследования в области искусственного нейроинтеллекта.**

В настоящее время исследования в области искусственных нейронных сетей опираются на биологические основы нейроинтеллекта и ориентированы в основном на создание специализированных систем для решения конкретных задач. Происходит постепенное накопление критической массы для создания универсальных нейросистем, способных к различного рода интеллектуальной деятельности. В глобальном масштабе задача состоит в создании искусственного разума, обладающего способностью к воспроизводству и эволюции. Это создает предпосылки для перехода к качественно новому этапу развития искусственных систем. Разработано большое количество нейросистем, которые применяются в различных областях: прогнозирование, управление, диагностика в медицине и технике, распознавание образов и т.д. Рынок продуктов в области нейроинтеллекта растет стремительным образом. Однако следует отметить, что исследования ориентиро-

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

---

ванные на разработку методов синтеза многослойных нейронных сетей, не привели пока к желаемым результатам. Разработка нейронной сети для решения конкретной задачи во многом базируется на эмпирических данных. Перспективным является также интеграция традиционных методов искусственного интеллекта с нейроинтеллектом. В сложных системах обычно используется два эти метода.

В последнее время наблюдается тенденция объединения теории искусственных нейронных сетей и теории хаоса. Стандартное развитие технических систем состояло в предписывании системе определенного набора состояний, в которых она могла находиться. Такие состояния характеризуют область устойчивости системы. Как показывают исследования в области физики, в частности брюссельской школы, процессы самоорганизации как переход на более высокие стадии развития, происходят за границей области устойчивости. Проблема здесь состоит в том, чтобы направить неустойчивость на развитие системы. Работы в этом направлении ведутся по пути создания искусственных систем, в которых набор возможных состояний не является фиксированным, и система в случае необходимости может эволюционировать к заранее неизвестным состояниям. Это создает потенциал для разработки саморазвивающихся систем.

С 1993г. на кафедре "ЭВМиС" БрПИ проводятся активные исследования в области искусственных нейронных сетей. При этом задача состоит в разработке искусственных нейросистем, которые соединяют преимущества вычислительной техники (высокая скорость распространения сигналов) с преимуществами биологических существ (обучение, способность к мышлению и т.д.). Общая модель взаимодействия такой системы с внешней средой приведена на рисунке 1.

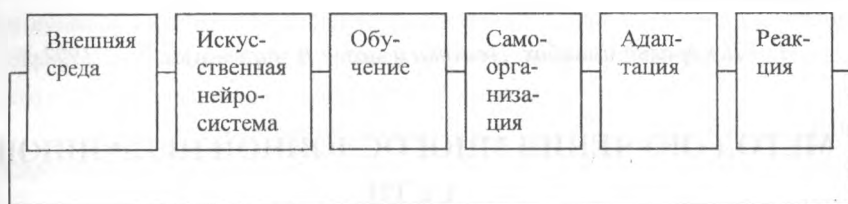


Рис. 1.

Самоорганизация здесь происходит в процессе обучения с целью адаптации к внешней среде. Фундаментальный аспект исследований состоит в разработке новых архитектур нейронных сетей, в которых заложен большой потенциал к самоорганизации, создание методов синтеза и эффективных алгоритмов обучения нейронных сетей, которые обладают глобальной сходимостью и позволяют сократить время обучения. Прикладные исследования состоят в проектировании нейронных сетей для решения конкретных задач: автономное управление транспортными средствами, прогнозирование различных процессов; комбинаторная оптимизация; распознавание образов и кодирование информации.

По всем этим направлениям достигнуты определенные результаты. Так нейронная система для автономного управления мобильным роботом прошла испытания на реально действующем объекте. Использование адаптивного шага обучения позволило значительно сократить время обучения многослойной нейронной сети. Прогнозирование с использованием нейронных сетей уровня стока воды показало лучшие результаты, чем при использовании стандартных математических методов. В процессе исследования накоплен практический опыт по проектированию и использованию различного рода нейронных сетей. Однако, рынок продуктов в данной области остается пока еще невостребованным в нашей стране.

## Литература.

1. Джеральд Фишбах. Психика и мозг// В мире науки, N11, 1992г.

## МЕТОД ОБУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Головко В.А., Дунец А.П., Левонюк Д.Н.

*Брестский политехнический институт*

### Введение

В настоящее время наиболее распространенным методом обучения для нейронных сетей с прямыми связями является метод обратного распространения ошибки. Он характеризуется неадаптивной скоростью обучения, что значительно увеличивает временную сложность этого метода, а также неустойчивостью процесса обучения. Неустойчивость обучения заключается в том, что сходимость алгоритма обратного распространения ошибки зависит от начальной инициализации синаптических связей. Это происходит из-за наличия локальных минимумов в целевой функции.

В работе [1] был предложен алгоритм обратного распространения ошибки с адаптивным шагом обучения. Это позволило значительно сократить временную сложность алгоритма. Так на операциях распознавания рукописных цифр время обучения сократилось на порядок. Однако это не решило проблемы устойчивости алгоритма обучения, которая проявляется на некоторых задачах. Другой аспект этой проблемы состоит в том, что не существует теоретических методов архитектурного синтеза нейронных сетей с прямым распространением сигнала. Под архитектурным синтезом здесь понимается выбор количества слоев, количества нейронных элементов в слое и функции активации для каждого слоя. Как правило, существ-



вуют только эмпирические рекомендации. При этом все исследования ориентированы на гомогенные нейронные сети (с одной функцией активации нейронных элементов) и в лучшем случае на простейшие гетерогенные сети с линейной функцией активации на выходе.

В данной работе приводится новый подход к обучению многослойной нейронной сети, в котором заложены потенциальные возможности для архитектурного синтеза сети. Тестирование проводилось на задачах кодирования информации. Результаты экспериментов обсуждаются.

## 1. Теоретические основы метода

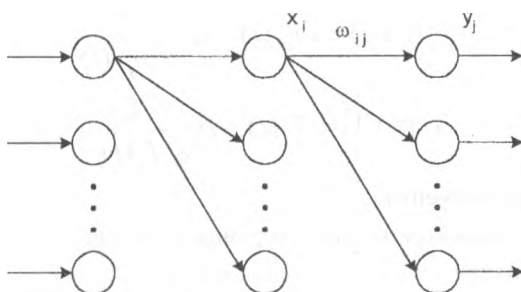


Рис. 1. Общая структура нейронной сети.

Дана многослойная нейронная сеть (рис. 1), в качестве функции активации нейронных элементов которой используется гиперболический тангенс

$$y_j = th(S_j) = \frac{e^{S_j} - e^{-S_j}}{e^{S_j} + e^{-S_j}}, \quad (1)$$

где  $S_j$  характеризует взвешенную сумму  $j$ -того нейронного элемента. Она определяется следующим образом

$$S_j = \sum_j x_i \omega_{ij} - T_j, \quad (2)$$

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

где  $T_j$  - порог  $j$ -того нейронного элемента,  $x_i$  - выход нейронного элемента предыдущего слоя,  $\omega_{ij}$  - весовой коэффициент между  $i$ -тым и  $j$ -тым нейронами.

Среднеквадратичная ошибка нейронной сети для одного образа определяется как

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (y_j - t_j)^2, \quad (3)$$

где  $t_j$  - эталонное выходное значение для  $j$ -того нейрона.

Стандартный метод обратного распространения ошибки состоит в использовании алгоритма градиентного спуска в пространстве весовых коэффициентов и порогов нейронной сети:

$$\omega_{ij}(t+1) = \omega_{ij}(t) - \alpha \frac{\partial E}{\partial \omega_{ij}(t)}, \quad (4)$$

$$T_j(t+1) = T_j(t) - \alpha \frac{\partial E}{\partial T_j(t)}, \quad (5)$$

где  $\alpha$  - скорость обучения.

При использовании метода скорейшего спуска можно получить выражение для адаптивного шага обучения нейронной сети:

$$\alpha(t) = \frac{\sum_j \gamma_j^2 / ch^2 S_j}{(1 + \sum_i x_i^2) \sum_j \gamma_j^2 (1/ch^2 S_j)^2}, \quad (6)$$

где  $\gamma_j$  - ошибка  $j$ -того нейронного элемента. Для выходного слоя

$$\gamma_j = y_j - t_j, \quad (7)$$

а для остальных слоев

$$\gamma_j = \sum_i \gamma_i \frac{1}{ch^2 S_j} \omega_{ji}, \quad (8)$$

где  $i$  - количество нейронов следующего слоя по отношению к слою  $j$ . С учетом этого

$$\omega_{ij}(t+1) = \omega_{ij}(t) - \alpha(t) \gamma_j y_i / ch^2 S_j, \quad (9)$$

$$T_j(t+1) = T_j(t) - \alpha(t) \gamma_j / ch^2 S_j, \quad (10)$$

Как уже отмечалось, выражение (6) позволяет значительно повысить скорость обучения. Однако это не решает проблемы устойчивости алгоритма. Для нейтрализации этого недостатка предлагается наряду с настройкой весовых коэффициентов и порогов нейронных элементов проводить также настройку выходов нейронных элементов промежуточных слоев. Так для последнего слоя выходы нейронных элементов будут изменяться следующим образом:

$$x_i(t+1) = x_i(t) - \alpha_i(t) \frac{\partial E}{\partial x_i(t)}. \quad (11)$$

Найдем производную функции ошибки по  $x_i$ ,

$$\frac{\partial E}{\partial x_i} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \frac{\partial y_j}{\partial S_j} \frac{\partial S_j}{\partial x_i} = \sum_j (y_j - t_j) \frac{1}{ch^2 S_j} \omega_{ij} = \gamma_i. \quad (12)$$

Для нахождения адаптивного шага обучения  $\alpha_i(t)$  будем использовать метод скорейшего спуска. Тогда

$$\alpha_i(t) = \min \left\{ E \left( x_i - \alpha_i(t) \frac{\partial E}{\partial x_i(t)} \right) \right\}. \quad (13)$$

Определим взвешенную сумму как

$$S_j' = \omega_{ij} (x_i(t) - \alpha_i \gamma_i) + \sum_{k \neq i} \omega_{kj} x_k(t) - T_j. \quad (14)$$

После преобразования этого выражения получаем

$$S_j' = S_j - \alpha_i \gamma_i \omega_{ij}. \quad (15)$$

Раскладывая функцию  $y_j' = th(S_j')$  в ряд Тейлора и преобразуя полученное выражение имеем

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

$$y_j' = y_j - \alpha_i \gamma_i \omega_{ij} . \quad (16)$$

Отсюда среднеквадратичная ошибка сети

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (y_j' - t_j)^2 . \quad (17)$$

Находим такое  $\alpha_i$ , при котором среднеквадратичная ошибка сети минимальна

$$\frac{\partial E}{\partial \alpha_i} = \sum_j (y_j - \alpha_i \gamma_i \omega_{ij} - t_j)(-\gamma_i \omega_{ij}) = 0 . \quad (18)$$

Преобразуя последнее выражение, находим значение адаптивного шага обучения для  $i$ -того нейрона промежуточного слоя

$$\alpha_i = \frac{\sum_j (y_j - t_j) \omega_{ij}}{\sum_j \omega_{ij}^2 \sum_j (y_j - t_j) \frac{1}{ch^2 S_j} \omega_{ij}} . \quad (19)$$

Исходя из независимости слоев предполагаем, что  $y_j - t_j = \gamma_j$ . Тогда

$$\alpha_i = \frac{\sum_j \gamma_j \omega_{ij}}{\gamma_i \sum_j \omega_{ij}^2} , \quad (20)$$

где  $\gamma_j, \gamma_i$  - соответственно ошибка  $j$ -того нейрона следующего слоя и  $i$ -того нейрона предыдущего слоя.

Таким образом предполагается проводить обучение нейронной сети по трем параметрам: весовые коэффициенты, пороги и выходы нейронных элементов. Выходы нейронных элементов изменяются с целью минимизации среднеквадратичной ошибки нейронной сети следующим образом

$$x_i(t+1) = x_i(t) - \alpha_i(t) \gamma_i , \quad (21)$$

где  $\gamma_i$  - ошибка  $i$ -того нейронного элемента.

## 2. Тестирование

Экспериментальная проверка полученных результатов проводилась на задаче кодирования информации. При этом нейронная сеть должна на основе циклического кодирования осуществлять преобразование информационного полинома в избыточный код.

Пусть разрядность информационного полинома  $n = 4$ , а избыточного полинома  $m = 7$ . Тогда архитектура многослойной нейронной сети содержит 4 входных и 7 выходных нейронов. В промежуточном слое будем использовать 8 нейронных элементов. Тогда имеем трехслойную сеть с объемом обучающей выборки  $L = 16$ .

Для обучения такой сети используется следующий алгоритм:

1. Случайная инициализация весовых коэффициентов нейронной сети и задание минимальной среднеквадратичной ошибки сети  $E_m$ .
2. Для  $L$  входных образов производится настройка весовых коэффициентов и порогов по выражениям (9), (10) только для последнего слоя. Одновременно для каждого образа в соответствии с (21) определяются желаемые выходы  $X_i$  нейронных элементов предпоследнего слоя.
3. Рассматриваются только последний и предпоследний слои сети: в качестве входной информации используются желаемые выходы  $X_i$  нейронных элементов, в качестве выходной - эталонные выходы
  - 3.1. Для  $L$  входных образов производится настройка весовых коэффициентов, порогов и желаемых выходов по выражениям (9), (10) и (21) соответственно.
  - 3.2. Пункт 3.1 повторяется, пока суммарная среднеквадратичная ошибка рассматриваемого фрагмента нейронной сети не станет меньше  $E_m$ .

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

4. Производится настройка на  $L$  образах весовых коэффициентов и порогов следующего слоя сети. При этом ошибка  $i$ -того нейронного элемента равна  $\gamma_i = x_i - \bar{x}_i$ .
5. Процедура повторяется с пункта 2, пока суммарная среднеквадратичная ошибка нейронной сети не станет меньше  $E_m$ .

Эксперименты показали, что в отличие от других алгоритмов данный обладает 100 % устойчивостью. Так при любой начальной инициализации весовых коэффициентов нейронная сеть обучалась до минимальной ошибки. При использовании стандартного алгоритма обратного распространения ошибки только в 90 % всех попыток обучить сеть достигался приемлемый результат.

Однако при использовании описанного выше алгоритма увеличилось время обучения нейронной сети в среднем в 3 раза по сравнению с алгоритмом обратного распространения ошибки, который использует адаптивный шаг обучения. По сравнению со стандартным алгоритмом обратного распространения ошибки, когда  $\alpha = const$ , предложенный алгоритм обладает в 2 раза меньшей временной сложностью.

### Заключение

На основе разработанного метода проведена экспериментальная проверка алгоритма, который характеризуется независимым обучением каждого из слоев нейронной сети. Эксперименты показали, что предложенный алгоритм обладает большей устойчивостью по отношению к стандартному алгоритму обратного распространения ошибки. В предложенном методе заложены также потенциальные возможности для автоматической генерации архитектуры нейронной сети. В настоящее время в этом направлении проводятся исследования.

## Литература

1. Golovko V., Savitsky Ju., Gladischuk V. A neural net for predicting problem. Timisoara: University of Timisoara, Romania, 1996.

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ НЕЙРОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

*Головко В.А.*

*Брестский политехнический институт*

## Введение

В работе описывается интеллектуальная нейронная система для автономного управления мобильным роботом. Она позволяет интегрировать преимущества биологических существ и вычислительной техники для ориентации робота незнакомой местности. Входной информацией является информация от сенсорных датчиков, в качестве которых используется 7 ультразвуковых датчиков и 2D инфракрасный сканер. Ультразвуковые датчики расположены по периметру робота согласно рис.1. Задача нейронной системы состоит в том, чтобы на основе информации от разнородных сенсорных устройств и координат конечной точки формировать оптимальное направление движения в пространстве с препятствиями. Это эквивалентно обеспечению минимального угла между направлением на цель и текущим направлением робота. Нейронная система должна на основе неточной информации от сенсорных датчиков обеспечить робастное управление мобильным роботом. Архитектура нейронной сети является многослойной и состоит из различных типов нейронных сетей. В процессе функционирования она решает следующие задачи:

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

Формирование карты местности, которая характеризует в радиусе обзора 2 метра в диапазоне  $180^\circ$  наличие препятствий, а также угловые и линейные расстояния до них.

Выделение свободных диапазонов движения в пространстве и определение оптимального диапазона движения, который соответствует кратчайшему расстоянию до цели.

- Анализ и выбор оптимального направления движения в выделенном диапазоне.

Проведены экспериментальные исследования в лаборатории робототехники (Германия) на мобильном роботе «WALTER». Результаты экспериментов обсуждаются.

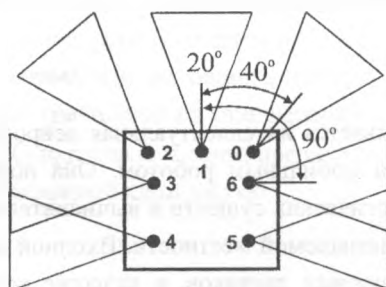


Рис.1.

## 1. Архитектура нейронной системы

Нейронная система для автономного управления движением робота изображена на рис.2 и состоит из различных типов нейронных сетей.





Рис.2. Архитектура нейронной системы.

Блок формирования карты местности формирует в радиусе обзора 2 метра и угловом диапазоне  $180^\circ$  характеристики окружающей обстановки:

$$OG = \{S(i), i = \overline{1, 180}\}, \quad (1)$$

где  $S(i)$  – расстояние до препятствия, если угол между текущим направлением робота и препятствием равен  $i$  градусов.

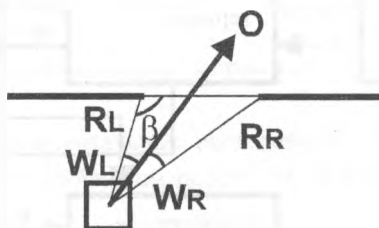
Блок определения оптимального диапазона выделяет на основе карты местности свободный диапазон движения робота, который соответствует кратчайшему расстоянию до цели. На выходе его появляется информация, соответствующая линейным и угловым расстояниям оптимального диапазона (рис.3).

БИБЛИОТЕКА  
Брестского государственного  
технического университета

368088

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

Блок определения оптимального направления сканирует выбранный диапазон движения робота и определяет оптимальное направление движения  $\alpha_z$ , чтобы гарантировать  $\min \alpha$ . Здесь  $\alpha$  - угол между направлением на цель и текущим направлением робота.



$W_L, W_R$  - угловые расстояния до препятствия слева и справа соответственно.

$R_L, R_R$  - расстояния до препятствия слева и справа соответственно.

O - текущее направление робота.

Рис.3.

Блок определения робастного направления движения предназначен для ориентации робота в узких интервалах движения, где  $R_d \leq 2d$ . Здесь  $R_d$  - ширина выделенного интервала движения, а  $d$  - ширина робота. Арбитр, в зависимости от ситуации, формирует текущее направление робота:

$$\gamma = \begin{cases} \alpha_z, & \text{если } R_d > 2d \\ \alpha_r, & \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

Такой подход обеспечивает робастное движение робота при неточной информации от сенсорных устройств. Нейронная система имеет две системы обзора: ближнего и дальнего. Дальняя система обзора характеризуется радиусом обзора 2 метра, а ближняя - 0.5 метра.

## 2. Блок формирования карты местности

Представляет собой трехслойную нейронную сеть с прямым распространением сигнала. В качестве функции активации нейронных элементов используется сигмоидная функция. Входная информация от сенсорных устройств отображается на матрицу размерностью  $64 \times 32$ , которая является входом нейронной сети (рис.4). Промежуточный слой состоит из 20 нейронных элементов. Выходной информацией нейронной сети является карта местности, которая также отображается на матрицу размерностью  $64 \times 32$  (рис.5).

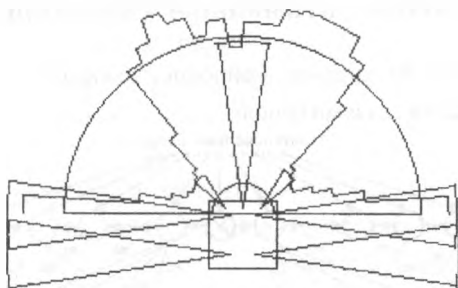


Рис. 4. Входная информация для нейронной сети (в случае прохождения двери).

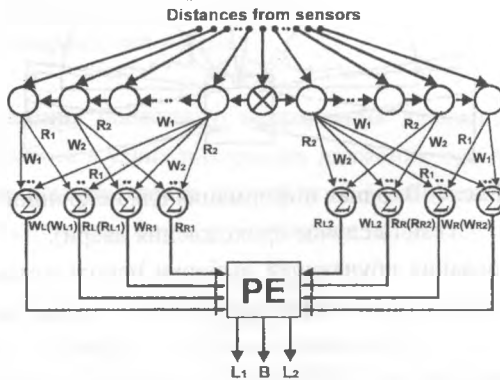
Для формирования обучающей выборки используется вращение, полученных экспериментально эталонных данных в диапазоне  $180^\circ$ . Для обучения нейронной сети применяется алгоритм обратного распространения ошибки с адаптивным шагом обучения для каждого из слоев [1]. Обучение проводилось на станции SUN, при этом объем обучающей выборки составил 209 наборов.



Рис. 5. Выходная информация нейронной сети (в случае прохождения двери).

### 3. Блок определения оптимального диапазона движения

Он состоит из 181 поровых нейронов, которые соединены между собой горизонтальными связями (рис.6).



$B, L_1, L_2$  – сигналы для возбуждения соответствующего интервала.

Рис. 6. Блок определения оптимального интервала движения.

В качестве пороговых нейронов используются нейроны различных типов: направляющий, промежуточные и концевые. В зависимости от ситуации, такая цепочка нейронных элементов выделяет один или два свободных

диапазона движения. Процессорный элемент проводит анализ возможности прохождения роботом выделенных диапазонов и определяет в соответствии с кратчайшим расстоянием до цели оптимальный диапазон движения. Для этого он сравнивает ширину робота с шириной выделенного диапазона движения. Если не выделен ни один диапазон движения или  $R_F < S(\alpha)$ , где  $R_F$  - расстояние до цели,  $S(\alpha)$  – расстояние до препятствия в направлении цели, то включается ближняя система обзора. Структура и алгоритм работы блока оптимального диапазона движения описаны в [2].

#### 4. Блок определения оптимального направления

Сканирует оптимальный интервал движения и в соответствии с его шириной, а также кратчайшим расстоянием до цели, формирует оптимальное направление движения робота. Структурно он состоит из множества нейронных цепочек входного слоя, процессорных элементов и слоя Кохонена (рис.7).

Нейронные элементы в цепочке аналогичны рассматриваемым в разделе 4, а количество их равняется ширине выделенного диапазона движения. Они генерируют возможное направление движения, а процессорные элементы выполняют анализ возможности движения робота в этом направлении. Совокупность выделенных направлений движения подается на сеть Кохонена, которая в соответствии с угловым расстоянием до цели  $\alpha$  определяет оптимальное направление движения робота. Скорость робота нормируется в зависимости от расстояния до препятствия. Структура и алгоритм данного блока подробно рассмотрены в [2].

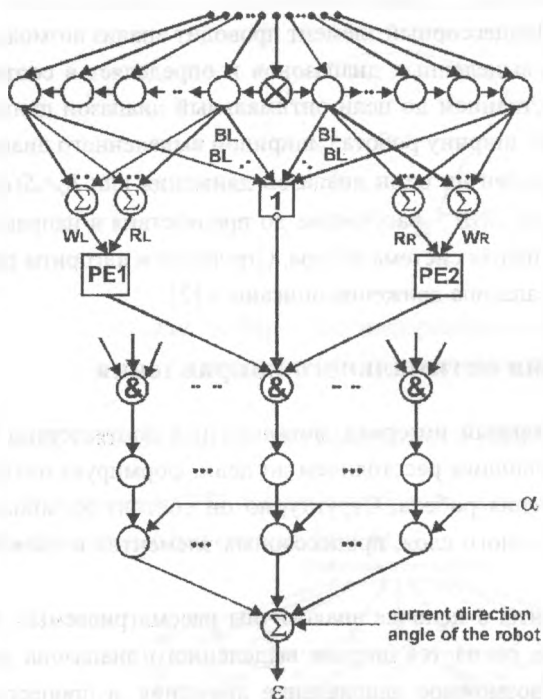


Рис. 7. Блок определения оптимального направления.

## 5. Блок определения робастного направления движения

Предназначен для формирования направления робота на узких интервалах. Он обеспечивает устойчивое управление роботом при неточной информации от карты местности. В качестве данного блока используется трехслойная нейронная сеть с сигмоидной функцией активации нейронных элементов (рис.8).

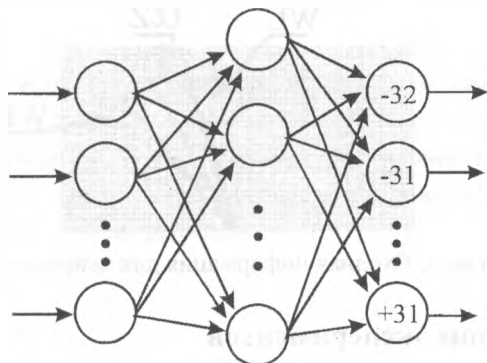


Рис.8. Блок определения робастного направления движения.

Входной информацией сети является изображение на матрице  $64 \times 32$ , которое характеризует оптимальное направление движения (из блока 5), а также угловые и линейные расстояния до препятствия (рис.9).

Промежуточный слой сети состоит из 20 нейронов, а выходной – из 64 нейронов, которые характеризуют робастное направление движения робота. Для обучения сети использовался алгоритм обратного распространения ошибки с адаптивным шагом обучения. Концепция обучения в общем случае состоит из следующих шагов:

- Учитель (оператор) управляет роботом и моделирует при этом различные ситуации.
- Для каждой ситуации формируются входные и выходные (эталонные) тренировочные наборы.
- При помощи вращения входных и выходных образцов формируется обучающая выборка.
- Проводится обучение нейронной сети методом обратного распространения ошибки.

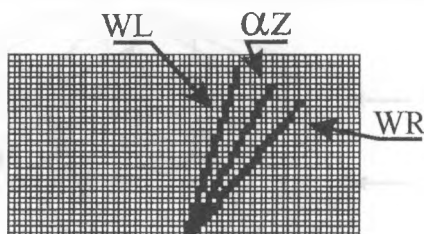


Рис.9. Входная информация для нейронной сети.

## 6. Обсуждение экспериментов

Эксперименты проводились в Германии на реально действующем роботе «WALTER». Для обучения нейронной сети использовалась станция SUN. Задача робота состояла в достижении конечной точки движения робота при ориентации на незнакомой местности с препятствиями. В качестве полигона для движения использовались лаборатория робототехники и коридор здания. Эксперименты показали устойчивое движение робота на больших и узких интервалах между препятствиями. При этом робот «WALTER» практически с любой исходной позиции мог устойчиво проходить через узкие промежутки (проезд через дверь и т.п.). Проблемы возникли, когда робот должен объехать препятствие, высота которого меньше высоты робота. Это происходило из-за того, что используемые сенсорные устройства позволяют оценивать окружающую обстановку только в горизонтальной плоскости. Для оценки обстановки в вертикальной плоскости необходимо использовать видеокамеру. В настоящее время ведутся работы по усовершенствованию нейронной системы. При этом разработана концепция самообучающейся нейронной системы, которая проходит экспериментальную проверку путем моделирования на ЭВМ.



## **Заключение**

Данная работа выполнена в рамках сотрудничества между лабораторией робототехники (Германия) и группой нейронных сетей Брестского политехнического института. Автор выражает благодарность профессорам К. Шиллингу и Х. Роту за предоставление экспериментальной базы и поддержку исследований в этом направлении.

## **Литература**

1. V. Golovko, Ju. Savitsky, V. Gladischuk. A neural net for predicting problem. – Temisoara: University of Temisoara, Romania, 1996.
2. V. Golovko, V. Dimakov, K. Schilling. Intelligent system for control of mobile robot – Ankara: EMO Scientific Books, 1997.

# **НЕЙРОННАЯ СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТА ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА**

*Димаков В.М.*

*Брестский политехнический институт*

## **Введение**

В настоящее время во всем мире ведутся активные исследования по созданию автономных навигационных систем для различных транспортных средств (транспортные роботы, роботы для исследования других планет, автопилоты для автомобилей). Существуют множество подходов для решения подобных задач [1-6]. Все они обладают рядом преимуществ и недостатков, которые отражают сложность решаемой проблемы. Группой исследователей из Брестского политехнического института была разрабо-

тана модель нейронной поведенческой навигационной системы для автономного транспортного робота. Она была протестирована на роботе «WALTER» в ARS-Transferzentrum, Weingarten, Германия. В ходе испытаний были получены хорошие результаты. Однако она не может правильно оценить и спланировать маршрут движения робота на местности со сложной конфигурацией (лабиринты).

В данной статье описана нейронная система планирования маршрута движения робота. Она является системой более высокого уровня и работает на основе данных, которые поступают от поведенческого навигатора. Основная цель ее состоит в том, чтобы помочь поведенческой навигационной системе найти более оптимальный маршрут движения робота к цели. Система планирования решает следующие задачи:

- создает карту маршрутов движения робота;

- определяет наилучший маршрут движения робота на основе собственных знаний о конфигурации местности и информации от поведенческого навигатора;

- адаптирует карту маршрутов движения робота к изменению конфигурации местности.

## 1. Архитектура нейронной системы

Базовым элементом архитектуры системы является нейронная сеть маршрута (рис.1). Она сохраняет ключевые параметры указателей маршрута и выбирает из них необходимые, чтобы участвовать в конкуренции с другими маршрутами для движения по уже исследованной территории.

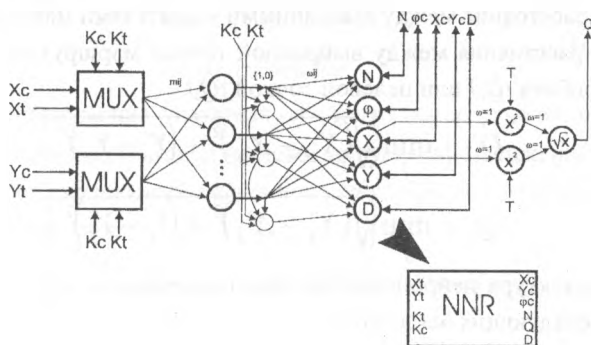


Рис. 1. Нейронная сеть маршрута.

Нейронная сеть маршрута состоит из следующих элементов:

*Мультиплексоры входов.* Они подключают поочередно координаты текущего положения робота и координаты целевой точки движения, чтобы определить ближайшие к ним указатели маршрута.

*Сети Кохонена.* Она выполняет поиск указателя маршрута, который наиболее близко расположен к текущему положению или целевой точке движения робота.

*Однослойного персептрона,* который работает как память для сохранения ключевых параметров указателя маршрута. Для его обучения используется алгоритм обратного распространения ошибки с адаптивным коэффициентом обучения  $\alpha$ [7].

*Цепочки пороговых нейронов,* которые вычисляют расстояние между двумя wybranными точками маршрута, чтобы определить действительное расстояние, которое пройдет робот вдоль конкретного маршрута.

На выходе нейронной сети маршрута формируются следующие выходные параметры:

$x_c, y_c$  – координаты выбранного указателя маршрута;

$N$  – порядковый номер указателя маршрута;

$\varphi_c$  – направление указателя;

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

$D$  – расстояние между выбранными указателями маршрута;

$Q$  – расстояния между выбранной точкой маршрута и текущим положением робота ( $Q_j$ ) или целевой точкой ( $Q_c$ ).

$$Q_c = \min_j \left\{ \sqrt{(X_c - X_j)^2 + (Y_c - Y_j)^2} \right\} \quad (1)$$

$$Q_j = \min_j \left\{ \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \right\} \quad (2)$$

Архитектура нейронной системы представлена на рис.2. Система состоит из следующих элементов:

1. *Элементов маршрута* ( $NNR_i$ ), количество которых изменяется динамически;

2. *Процессорных элементов* ( $PE_{NNRi}$ ). Они выполняют следующие функции:

$$\varphi_i = \begin{cases} \operatorname{arctg} \frac{y_i^i - y_c^i}{x_i^i - x_c^i}, & \text{if } N_i > N_c \\ \operatorname{atctg} \frac{y_c^i - y_i^i}{x_c^i - x_i^i}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$R = \begin{cases} \frac{D + Q_i}{\sqrt{(x_c^i - x_i^i)^2 + (y_c^i - y_i^i)^2}}, & \text{if } K_i = 1 \\ +\infty, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (4)$$

где  $\varphi_i$  – направление движения вдоль маршрута,  $R$  – определяет степень выбора системой маршрута.

3. Нейронов для подготовки информации для выбора лучшего маршрута. Их работа описывается следующими уравнениями:

$$Q_c = \begin{cases} 0, & \text{if } K_c = 1 \wedge Q \leq d \\ +\infty, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$\varphi_R = \begin{cases} 0, & \text{if } |\varphi' - \varphi_l| \leq \Delta \\ +\infty, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (6)$$

где  $d$  - радиус притяжения указателя,  $\Delta$  - допустимое угловое отклонение направления движения робота,  $\varphi'$  - целевое направление движения робота.

4. Любой конкурирующей нейронной сети, работа которой описывается следующим уравнением:

$$P_l = \begin{cases} 1, & \text{if } S_l = \min\{R + Q_c^l + \varphi^l\} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (7)$$

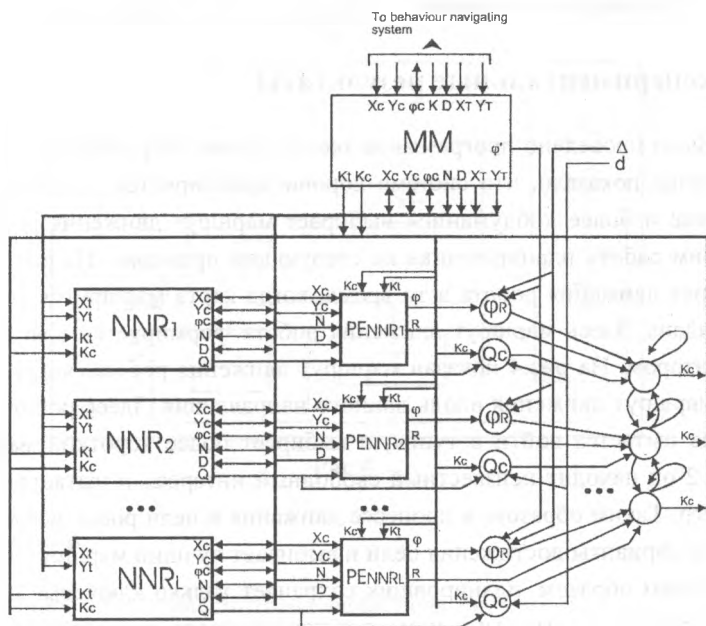


Рис.2. Архитектура нейронной системы.

где  $P_l$  -  $l$ -тый выход нейронной сети. Данная сеть определяет маршрут-победителя.

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

5. *Основной диспетчер системы (ММ)*. Он осуществляет управление системой и выполняет следующие функции:

Вычисляет целевое направление движение робота:

$$\varphi' = \arctg \frac{y_t - y_c}{x_t - x_c} \quad (8)$$

Генерирует сигналы создания нового указателя в элементе маршрута или нового элемента маршрута.

Формирует поочередно сигналы выбора координат анализируемых точек ( $K_c$  и  $K_t$ ) для поиска подходящего маршрута.

Осуществляет интерфейс с поведенческой системой навигации.

## 2. Экспериментальные результаты

Было проведено программное тестирование нейронной системы. Тестирование показало, что система хорошо адаптируется к незнакомой обстановке и более «обдуманно» выбирает маршрут движения робота. Рассмотрим работу планировщика на следующих примерах. На рис.3 показан маршрут движения робота в то время, когда карта маршрутов робота еще не создана. Здесь маршрут движения робота формируется поведенческим навигатором. На рис.4 показан маршрут движения робота, когда уже имеется маршрут движения вдоль данного направления. Здесь робот (точка 1) уже не пытается войти в тупик, а выбирает более короткий маршрут. В точке 2 он находит неизвестный свободный интервал и пытается исследовать его. Таким образом, в процессе движения к цели робот исследует различные варианты достижения цели и выбирает лучший маршрут из них.

Таким образом, планировщик сохраняет только ключевые параметры конфигурации местности и помогает поведенческому навигатору сгенерировать корректный маршрут движения робота. Эксперименты проводились со следующими начальными данными:  $d=1.2\text{м}$ ,  $\Delta=60^\circ$ .

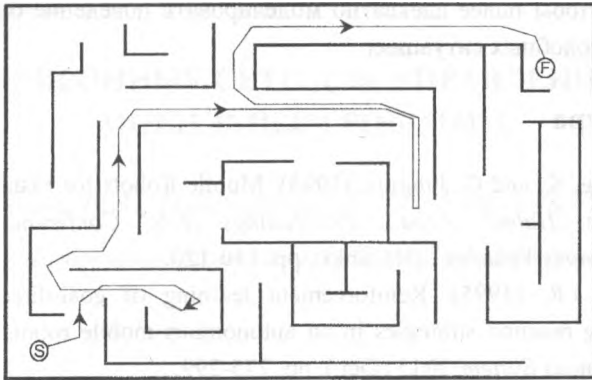


Рис.3.

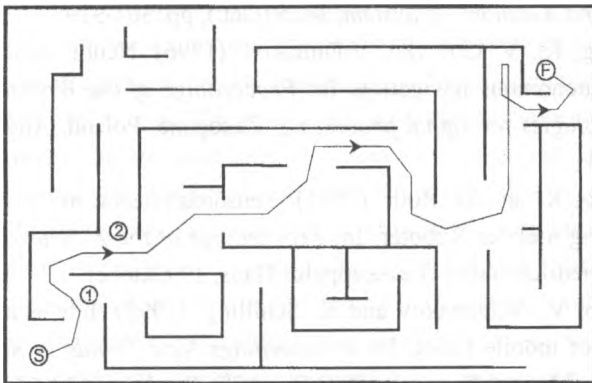


Рис.4.

## Заключение

В данной статье рассмотрена нейронная система планирования маршрута движения транспортного робота на незнакомой местности. Данная система основана на динамической нейронной сети, которая позволяет корректно отобразить представление конфигурации местности и сгенерировать маршрут движения робота. В настоящий момент система модифи-

цируется, чтобы более адекватно моделировать поведение биологических существ в подобных ситуациях.

## Литература

1. Schilling, K. and C. Jungius. (1995). Mobile Robots for Planetary Exploration, In: *Halme, A.(ed.), Proceedings IFAC Conference "Intelligent Autonomous Vehicles"* (Helsinki), pp. 110-120.
2. Millan, J.R. (1995). Reinforcement learning of goal-directed obstacle-avoiding reaction strategies in an autonomous mobile robot, *Robotics and Autonomous System*, №15 (Oct.), pp. 275-299.
3. Thrun, S.B. (1995). An approach to learning mobile robot navigation, *Robotics and Autonomous System*, №15 (Oct.), pp. 301-319.
4. Schilling, K., V. Golovko, V. Dimakov. (1996), Neural system for mobile robot autonomous navigation, In: *Proceedings of the Workshop on design methodologies for signal processing*, Zakopane, Poland, August 29-30, pp. 124-130.
5. Schilling, K. and H. Roth. (1995). Sensordefusion mit Fuzzy Logic zur Steuerung mobiler Roboter, In: *Proceedings of the 2. Neuro-Fuzzy Symposium*, Friedrichshafen Graf-Zeppelin-Haus, 19 Oktober.
6. Golovko, V., V. Dimakov and K. Schilling. (1997). Intellectual system for control of mobile robot, In: *Proceedings New Trends in Artificial Intelligence and Neural Network*, EMO Scientific Books, pp. 34-38, Ankara.
7. Golovko, V.A. and J.V. Savitsky. (1995). Predicting neural net, In: *Proc. Intern. Conf CMNDT-95*, Berlin, pp. 348-353



## НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

*Головки В.А., Николайчук Д.Ю., Климович А.Н.*

*Брестский политехнический институт*

### **Введение**

Данная работа является дальнейшим развитием блока определения робастного направления движения, который используется в интеллектуальной нейронной системе для управления на узких интервалах движения. Как отмечалось в предыдущей статье, для данного блока использовалась многослойная нейронная сеть, где в качестве входной информации применялось изображение на матрице  $64 \times 32$ . Такая сеть является довольно громоздкой и требует значительного времени обучения. Для устранения этих недостатков было разработано несколько вариантов нейронных сетей, которые работают с числовыми данными. Эти данные характеризуют угловые и линейные расстояния от робота до препятствий в выделенном диапазоне движения. Предлагаемые нейронные сети обладают значительно меньшей сложностью и временем обучения. Особенно это важно для самообучающейся нейронной системы, основные теоретические положения которой разработаны и проходят стадию экспериментального моделирования.

### **2. Аналоговая нейронная сеть.**

Является трехслойной нейронной сетью с сигмоидной функцией активации нейронных элементов. (рис.1) Она состоит из четырех входных, шести промежуточных и одного выходного нейрона. В качестве входной информации используются линейные и угловые расстояния до препятст-

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

вий(рис.2). Перед поступлением на входы сети они масштабируются в отрезок  $[0,1]$  по следующим правилам:  $N_1=L_1/600$ ;  $N_2=L_2/600$ ;  $N_3=(\alpha_1/100+1)/2$ ;  $N_4=(\alpha_2/100+1)/2$  Информация на выходе нейронной сети характеризует желаемое направление  $\varphi$  движения робота, которое получается из преобразования выходного значения  $s$  нейронной сети следующим образом:  $\varphi=(s-1)*100$ .

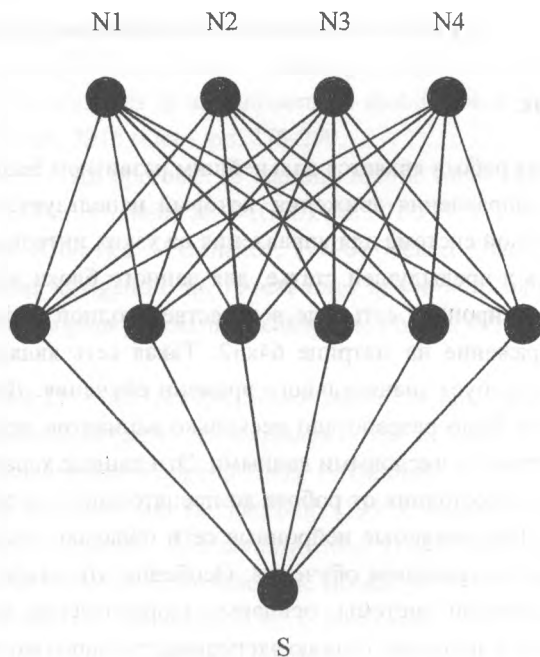


Рис.1. Структура нейронной сети

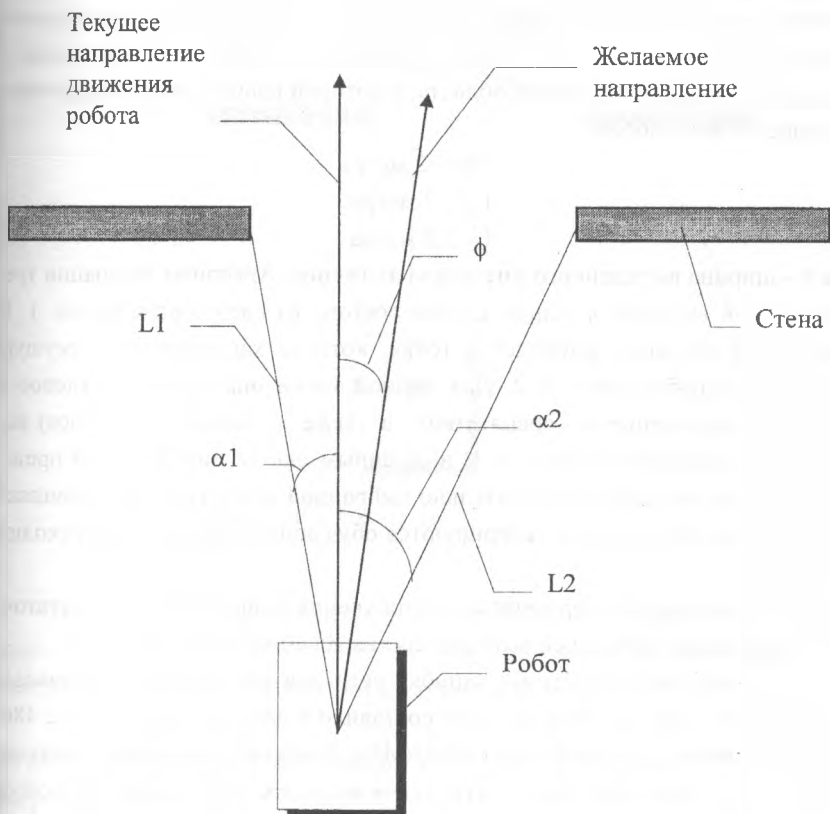


Рис. 2. Робот около препятствия.

Как следует из приведенного выражения, выходные значения нейронной сети изменяется в диапазоне  $[-100^\circ, 100^\circ]$ . Для обучения сети необходимо генерировать тренировочные наборы. Каждый набор представляется в числовой форме и состоит из четырех входных и одного выходного зна-

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

чения. Выходное значение характеризует эталонное направление робота. Как отмечалось в предыдущей статье, рассматриваемая нейронная сеть предназначена для ориентации робота на узких участках движения, ширина которых меньше 2 метра. С учетом принятой системы обзора радиусом 2 метра, получается следующая область, в которой необходимо генерировать тренировочные наборы:

$$1 < b \leq 2 \text{ метра}$$

$$L_1 \leq 2 \text{ метра}$$

$$L_2 \leq 2 \text{ метра}$$

где  $b$  - ширина выделенного интервала движения. Алгоритм генерации тренировочной выборки в общем случае состоит из следующих шагов: 1. В области  $G$  случайно выбирается точка, которая характеризует текущую ориентацию робота (рис. 3) 2. Для данной точки определяется угловое и линейное расстояние до препятствий, а также желаемое (эталонное) направление движения робота. 3. С выбранным шагом дискретности производим вращение робота относительно выбранной точки (рис. 4), в процессе которого последовательно генерируются обучающие наборы. 4. Переходим к пункту 1.

Как показали эксперименты, для обучения нейронной сети достаточно, чтобы объем обучающей выборки составлял 40-60 наборов.

Максимально допустимая ошибка сети для всех наборов задавалась равной  $5 \cdot 10^{-5}$ . Время обучения сети составило 4 часа на компьютере с 486-м процессором и тактовой частотой 66 МГц. После обучения было произведено тестирование нейронной сети путем моделирования движения робота на компьютере. Задание робота состояло в прохождении узких интервалов движения ( проезд через дверь, и т.д. ).

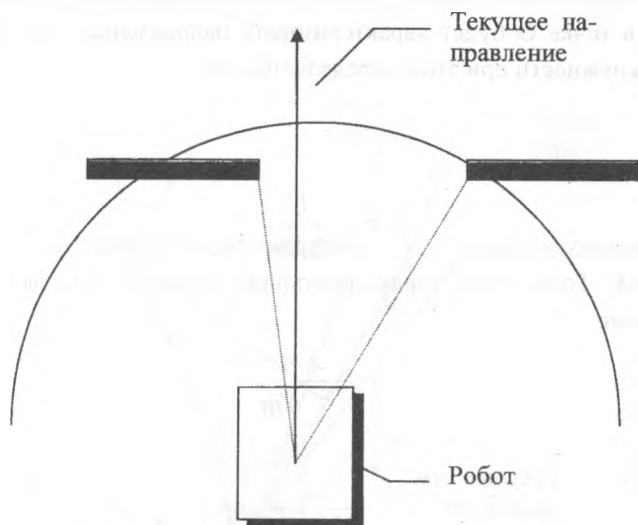


Рис. 3. Робот в области G.

В ходе экспериментов нейронная сеть продемонстрировала обобщающую способность, когда она обеспечивала устойчивое управление на входных данных, которые не входили в обучающую выборку.

### 3. Нейронная сеть для движения робота по дуге окружности.

Стремление сделать траекторию движения робота более приближенной к реальной привела к разработке другой нейронной сети, где движение робота происходит по дуге окружности. В этом случае, если известно эталонное направление движения робота, то можно определить координаты точки В ( $X_m$ ,  $Y_m$ ) (рис. 5) и вычислить длину отрезка ОВ. Из середины отрезка ОВ проводим перпендикуляр и находим точку С пересечения его с

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

линией препятствия. Точка С будет центром окружности, касательная к которой в точке О будет характеризовать направление движения робота. Радиус окружности при этом определяется так:

$$r = \frac{L^2}{2X_m}$$

где  $L=|OB|$ . Тогда угол, характеризующий желаемое направление робота будет равен:

$$\gamma = \frac{X_m - r}{Y_m}$$

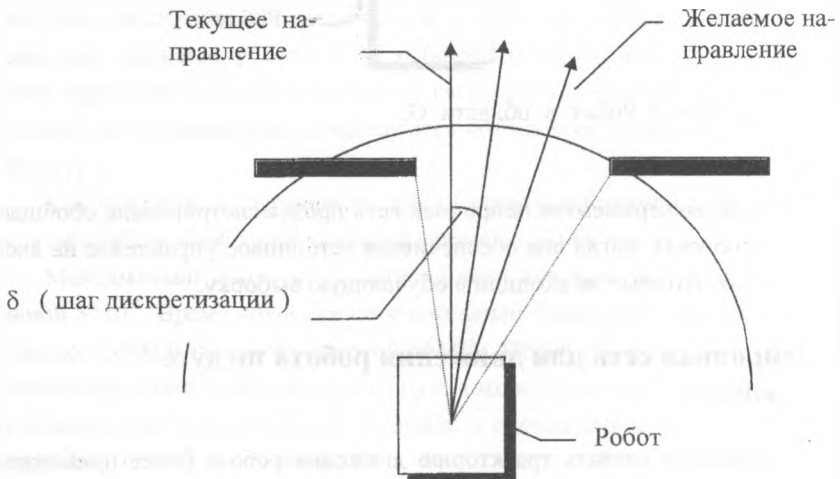


Рис. 4. Вращение робота.

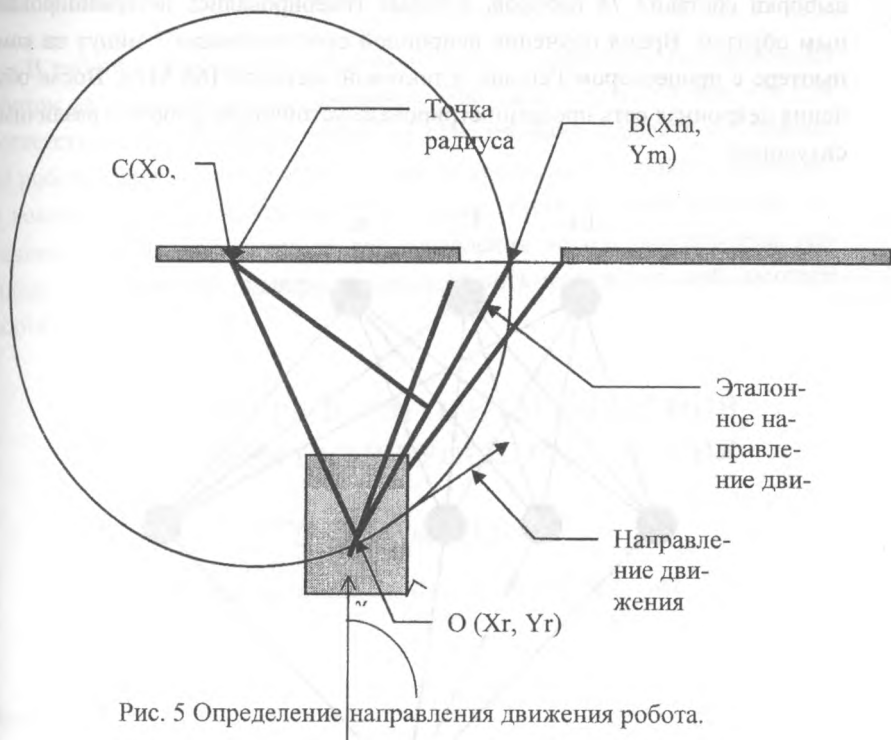


Рис. 5 Определение направления движения робота.

Для формирования направления движения робота была разработана трехслойная нейронная сеть (рис. 6) Первый слой состоит из 3-х нейронов, на которые подаются линейные расстояния до препятствий и угловое расстояние  $\alpha$ , которое характеризует угловую ширину свободного промежутка движения. Промежуточный слой содержит восемь нейронов с сигмоидной функцией активации. На выходе сети формируется угол  $\gamma$ , который определяется в соответствии с касательной, проведенной к окружности в точке  $O$ , характеризующей центр робота. Входные и выходные данные как и в предыдущем случае масштабируются в промежуток  $[0, 1]$ . Объем обучающей

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

выборки составил 78 наборов, которые генерировались детерминированным образом. Время обучения нейронной сети составило 7 минут на компьютере с процессором Pentium и тактовой частотой 166 МГц. После обучения нейронная сеть продемонстрировала устойчивую работу в различных ситуациях.

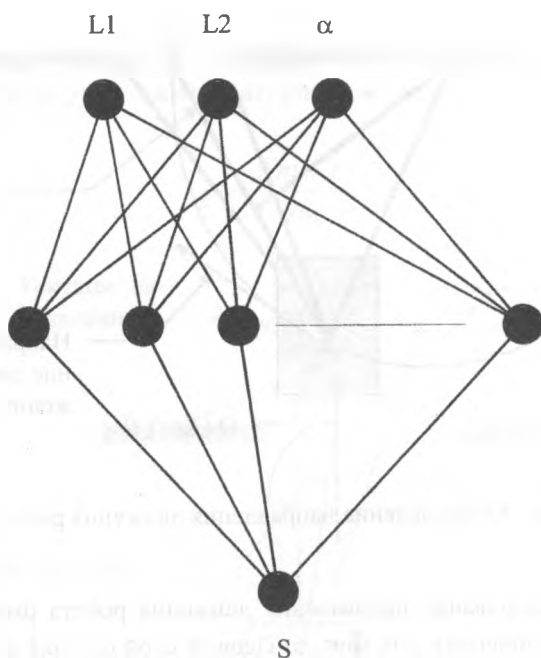


Рис.6. Структура нейронной сети



## **Заключение.**

В работе описываются нейронные сети для автономного управления роботом на узких интервалах движения. Она характеризуется тем, что при соответствующем обучении, способна обеспечивать корректное управление роботом при неточной информации от сенсорных устройств. Проведено компьютерное моделирование нейронных сетей, которое показало устойчивое функционирование их для управления мобильным роботом. Натурные эксперименты планируется осуществить на реально действующем роботе "Walter"(Германия).

## **АРХИТЕКТУРА И АЛГОРИТМ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

*Савицкий Ю.В.*

*Брестский политехнический институт*

## **Введение**

Одним из фундаментальных свойств нейронных сетей является их способность после обучения к обобщению и пролонгации результатов. Это создает предпосылки для создания на их базе различного рода систем прогнозирования [1, 2, 4]. Основными проблемами в технологии нейросетевого прогнозирования является выбор архитектуры нейронной сети, способной адекватно описывать прогнозируемый процесс и выполнять успешный прогноз. При этом важным вопросом является выбор типов нейроэлементов в архитектуре прогнозирующей нейросистемы, от которого во многом зависит способность модели сформировать оптимальную прогнозирующую функцию во время обучения. Другой важнейшей проблемой в технологии

создания прикладных нейросистем, является разработка эффективных алгоритмов обучения, обладающих глобальной сходимостью, высокой скоростью и точностью обучения [1, 3, 5]. При этом в большинстве случаев параметры обучения нейронной сети определяют эффективность применения нейросетевых технологий в целом. В данной работе обсуждаются вопросы выбора типов нейроэлементов в архитектуре нейронной сети прогнозирования, рассматривается адаптивный алгоритм обучения для нейронной сети выбранной архитектуры, анализируются достоинства и недостатки разработанных архитектур и методов обучения по сравнению с классическими.

## 1. Архитектура нейронной сети прогнозирования.

Одним из главных моментов в разработке прогнозирующих систем является выбор прогнозной модели, способной с минимальной ошибкой описать прогнозируемый процесс, так как от этого зависит точность прогноза. Поэтому нейросетевая модель должна быть такой архитектуры, чтобы быть способной с необходимой точностью описать исследуемый процесс и сформировать корректную прогнозирующую функцию. В качестве базовой была принята двухслойная нейронная сеть с прямыми связями, имеющая  $I$  входов,  $N$  скрытых нейроэлементов и один выходной нейроэлемент. Входной паттерн  $P$  размерностью  $I$  во время функционирования нейронной сети преобразуются в выходную активность в соответствии с выражением:

$$Y(P) = f \left( \sum_{j=0}^N w_{j0} \cdot g \left( \sum_{i=1}^I w_{ij} \cdot P_i - T_j \right) - T_0 \right), \quad (1)$$

Скрытые нейроэлементы имеют логарифмическую функцию активации:

$$g(x_j) = \ln(x_j + \sqrt{x_j^2 + 1}), \quad (2)$$

где

$$x_j = \sum_i w_{ij} \cdot Y_i - T_j \quad (3)$$

$Y_i$ -входная активность нейроэлемента;  $T_j$  -порог нейроэлемента  $j$ . Единственный выходной нейроэлемент использует линейную функцию активации.

$$F(x_0) = K \cdot x_0, K = 1 \quad (4)$$

где  $x_0 = \sum_i w_{i0} \cdot Y_i - T_0$ .

Использование неограниченной на всей области определения логарифмической функции активации вместо традиционной сигмоидной позволяет улучшить адаптивность и прогнозирующие свойства нейронных сетей, применяемых для прогнозирования нестационарных процессов.

## 2. Алгоритм обучения нейронной сети прогнозирования.

Наиболее популярным методом обучения для многослойных нейронных сетей является алгоритм обратного распространения ошибки (Back Propagation Error). Данный алгоритм базируется на методе градиентного спуска в пространстве весовых коэффициентов нейроэлементов и состоит из набора итерационных процедур преобразования весов и порогов нейроэлементов по следующим правилам:

$$\Delta w_{ij}(t) = -\alpha \frac{\partial E_p}{\partial w_{ij}(t)}, \quad (4)$$

$$\Delta T_j(t) = -\alpha \frac{\partial E_p}{\partial T_j(t)}, \quad (5)$$

где  $\frac{\partial E_p}{\partial w_{ij}}, \frac{\partial E_p}{\partial T_j}$  - градиенты функции ошибки для тренировочного эталона

$P$ :

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_j (Y_j^P - D_j^P)^2, \quad (6)$$

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

$Y_j^p$  - выходная активность сети;  $D_j^p$  - желаемое значение выхода для тренировочного эталона  $P$ . Во время обучения происходит процесс снижения общей ошибки сети:

$$E = \sum_{p=1}^P E_p . \quad (7)$$

С целью улучшения параметров обучения сети и устранения недостатков классического алгоритма обратного распространения ошибки, связанного с эмпирическим выбором постоянного шага обучения, используем метод скорейшего спуска для вычисления адаптивного шага обучения, в соответствии с которым:

$$\begin{aligned} \Delta w_y(t) &= -\alpha(t) \frac{\partial E}{\partial w_y(t)}, \\ \Delta T_j(t) &= -\alpha(t) \frac{\partial E}{\partial T_j}, \\ \alpha(t) &= \min \left\{ E(w_y(t+1), T_j(t+1)) \right\}, \end{aligned} \quad (8),$$

где  $\alpha(t)$  - значение шага, адаптируемое на каждой итерации  $t$  для каждого эталона  $P$ . Для линейной функции активации адаптивный шаг обучения определяется выражением [1]:

$$\alpha(t) = \frac{1}{K^2 \cdot (\sum_i Y_i^2 + 1)}, \quad (9)$$

где  $Y_i(t)$  - элементы входной активности для линейного нейроэлемента. Для логарифмической функции активации оценка активного шага может быть получена согласно выражению:

$$\hat{a}(t) = \frac{\sum_j g_j^2 \cdot Y_j'}{\left(1 + \sum_i Y_i^2\right) \cdot \sum_j g_j^2 \cdot (Y_j')^2}, \quad (10)$$

где  $Y_j'$  - производная логарифмической функции

$$Y_j' = \frac{1}{\sqrt{x_j^2 + 1}}$$

$$\gamma_i = \sum_j \gamma_j \cdot Y_j' \cdot w_{ij}$$

-для нейроэлементов скрытого слоя.

Использование алгоритма обучения с адаптивным шагом позволило значительно сократить число итераций обучения, увеличить точность и стабильность процесса обучения.

### Экспериментальные результаты.

Описанные выше архитектура нейронной сети и алгоритм обучения были использованы для прогнозирования стока вод реки Березины на территории Республики Беларусь. При этом временной ряд содержал 40 среднегодовых значений стока вод с 1938г. по 1976г., взятых с коэффициентом 0.001. Из данного ряда было сформировано обучающее множество нейронной сети методом скользящего окна размерностью 10 и шагом 1. Выбранная архитектура нейронной сети содержала 10 входов, 15 скрытых и 1 выходной нейроэлемент. Результаты процедуры обучения показали значительное увеличение скорости обучения алгоритмом с адаптивным шагом по сравнению с традиционным алгоритмом обратного распространения ошибки. Точность обучения также повысилась. Так, используя классический алгоритм, минимальная ошибка обучения оставалась равной 0.38 и не

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

уменьшалась при дальнейшем обучении сети (см. рис.1а). При использовании разработанного выше метода обучения погрешность обучения за 2000 итераций достигла  $10E-7$  (см. рис.1б). Результаты долгосрочного прогноза стока вод на период с 1977г. по 1991г. (см. рис.2.) демонстрируют потенциальные способности нейронной сети принятой архитектуры для выполнения анализа и прогнозирования сложных временных рядов.

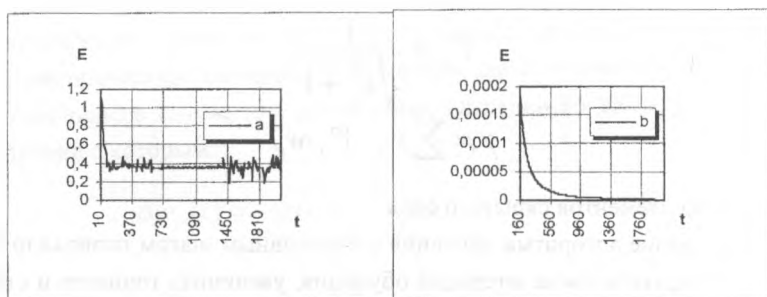


Рис 1. Результаты обучения нейронной сети: (а) — с постоянным шагом обучения; (б) — с адаптивным шагом обучения

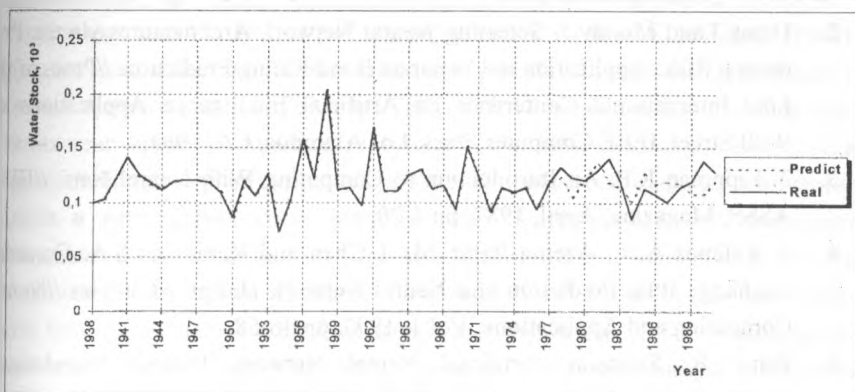


Рис 2. Временной ряд и результаты прогноза уровня стока вод реки Березина

## Заключение.

В данной работе рассмотрены вопросы выбора архитектуры нейронных сетей прогнозирования, позволяющих адекватно описывать исследуемые процессы и выполнять корректный прогноз. Применение логарифмической функции активации вместо традиционной сигмоидной позволяет улучшить прогнозирующие способности нейронных сетей для задач прогнозирования нестационарных процессов. Алгоритмы обучения с адаптивным шагом, разработанные в рамках данной работы для логарифмической функции активации нейроэлементов, позволили значительно улучшить параметры обучения нейронной сети. На реальных данных продемонстрированы потенциальные возможности нейронных сетей разработанной архитектуры выполнять прогнозы сложных процессов.

## Литература

1. Vladimir A. Golovko, Jury V. Savitski, Vitaly B. Gladischuk. Predicting Neural Net // Proc. of the CMNDT-95, Minsk, Belarus, 1995, pp.348-353.

2. Utans J. and Moody J. Selecting Neural Network Architectures via the Prediction Risk: Application to Corporate Bond Rating Prediction. //Proc. of the First International Conference on Artificial Intelligence Applications on Wall Street. IEEE Computer Press, Los Alamitos, CA, 1991.
3. 3. Lippman R.P. An Introduction to Computing With Neural Nets. //IEEE ASSP, Magazine, April, 1987, pp.4-20.
4. 4. Refenes A.N., Azema-Barac M., L.Chen and Karaussos S.A. Currency Exchange Rate Prediction and Neural Network Design Strategies //Neural Computing and Applications, Vol.1, 1993, pp.46-58.
5. Patric R. Simpson. Artificial Neural Network System Foundations, paradigms, applications and implementations. //San Diego, Pergamon Press,-1990

## НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

*Савицкий Ю.В., Ваткин М.Е., Поляков М.М*

*Брестский политехнический институт*

Четыре года назад на кафедре ЭВМ и Систем были инициированы научные исследования в области нейронных сетей (НС). Одним из направлений научной деятельности является создание на базе НС различного рода прогнозирующих систем. При этом в качестве базовой использовалась многослойная НС с обучением по методу обратного распространения ошибки. Для НС данной архитектуры были получены новые аналитические и практические результаты, связанные с разработкой эффективных алгоритмов обучения, выбора архитектуры сети и типа нейроэлементов, с целью повышения точности прогнозирования. В настоящее время рабочей группой по нейронным сетям начаты исследования по использованию альтернативных профилей нейронных сетей в задачах прогнозирования: ре-



куррентных сетей и НС на основе радиальных базисных функций (РБФ). Данные сети обладают определенными преимуществами по сравнению с сетями прямого распространения. Так, НС РБФ позволяют в процессе обучения адаптировать свою архитектуру и тем самым преодолеть недостатки многослойного перцептрона, связанные с проблемой выбора количества слоев и нейроэлементов в каждом слое. Рекуррентные сети обладают большими возможностями по способам организации обучающих множеств и адаптации прогнозных моделей. Для данных НС разработаны программные модели, на основе реальных временных рядов и математических функций исследованы прогнозирующие свойства, оптимизированы алгоритмы обучения по точности и скорости обучения. По результатам экспериментов делаются выводы по выбору структуры и типов НС, способам организации обучающих наборов на основе временных рядов, анализируются достоинства и недостатки исследуемых НС в задачах прогнозирования по сравнению с НС прямого распространения.

УДК 681.323:519.246

## **МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРЯМОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ И АЛГОРИТМА ЕЕ ОБУЧЕНИЯ**

*Телятников Р.В., Спиридонов С.В.*

*Военная академия Республики Беларусь*

В последние несколько лет наблюдается беспрецедентный рост активности в области теории искусственных нейронных сетей (НС), в идейном отношении близких к перцептрону Розенблатта. В докладе рассматривается один из подходов к модификации структуры перцептрона на основе использования РБФ-ячеек, а также приводится соответствующий алгоритм обучения (АО), отличающийся рядом достоинств по сравнению со стан-

дартным АО (back-propagation error, ВРЕ). Проверка работоспособности НС и эффективности АО осуществлялась при решении задачи распознавания образов.

#### **Проблемы синтеза многослойных НС.**

Существует множество спорных вопросов при проектировании нейронных сетей прямого распространения (НСПР) [1,2] - например:

- сколько необходимо использовать слоев в сети;
- сколько следует выбрать элементов в каждом слое;
- как сеть будет реагировать на данные, не включенные в обучающую выборку
- какой размер обучающей выборки (ОВ) необходим для достижения требуемой способности сети к обобщению;
- как определить момент окончания обучения сети.

Хотя многослойные НСПР широко применяются для классификации и аппроксимации функций [3], многие параметры приходится определять путем проб и ошибок. Существующие теоретические результаты дают лишь слабые ориентиры для выбора этих параметров в практических приложениях. В докладе приводится подробный анализ аспектов, усложняющих решение вышеперечисленных проблем.

#### **Особенности обработки информации в НСПР.**

В процессе распространения информации по сети после каждого слоя формируется все более сложное пространство фазовых координат (ПФК). Формирование выходного ПФК осуществляется в соответствии с целевой функцией (ЦФ) алгоритма обучения ВРЕ:

$$E = \frac{1}{2} \sum_j^{N_{\text{вых}}} (Y_j - D_j)^2. \text{ Данный алгоритм, наряду с рядом положитель-}$$

ных качеств, обладает одним значительным недостатком. ЦФ алгоритма предполагает оптимизацию ПФК только на выходном слое сети и не контролирует эффективности формирования ПФК на внутренних слоях. Как следствие - велика вероятность попадания в локальные экстремумы ЦФ, а также сильная зависимость результата обучения от начального распределения весов связей. Под эффективностью формирования ПФК будем понимать степень достижения такой ЦФ, в соответствии с которой в гиперпространстве признаков максимизируется расстояние между точками (образами), принадлежащих разным классам и минимизируется расстояние между точками одного класса. Некоторые критерии оценки эффективности ПФК достаточно хорошо описаны в теории статистического распознавания образов [5]. Иными словами, необходимо решить задачу статистического анализа описания объектов из ОВ для фазовых координат выходного и обрабатываемых слоев сети, и по результатам данного анализа осуществлять коррекцию весовых коэффициентов связей.

Решение данной задачи и реализацию требуемой ЦФ предлагается осуществить путем введения в структуру НСПР нейронов на базе радиальной базисной функции (РБФ) [6]. Сети, содержащие РБФ-ячейки способны оценивать степень подобия подаваемого на вход описания хранящимся в памяти образам, осуществляя тем самым (в процессе обучения) кластеризацию образов по классам.

Мы будем использовать РБФ-ячейки в качестве нейронов выходного слоя. РБФ-ячейка, показанная на рис. 1 определяется как нейрон, с выходом:

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

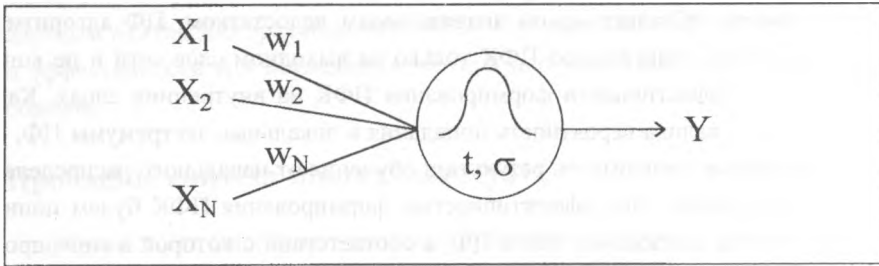


Рис. 1.

$$Y = N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N \exp\left(-|t_i - w_i \cdot x_i|/\sigma_i\right),$$

где  $t_i$  - математическое ожидание для  $i$ -ой входной координаты РБФ-ячейки,  $\sigma_i$  - дисперсия  $i$ -ой функции.

#### Алгоритм обучения модифицированной НСПР.

В процессе обучения первоначально определяются вектора математических ожиданий  $t$  ( $t_i \in \mathbb{R}^N$ ) и дисперсий  $\sigma$  для элементов РБФ-слоя. Для определения дисперсии мы применим описанный в [6] алгоритм, согласно которому,  $\sigma_i$  пропорциональна расстоянию между образом  $t_i$  и его ближайшим соседом. Т.е.  $\sigma_i = \tilde{\sigma} \cdot \min_{i \neq j} |t_i - t_j|$ , где константа  $\tilde{\sigma}$  выбрана *a priori*.

Далее корректируются веса входных связей обрабатывающих слоев (как и в алгоритме ВРЕ) в соответствии с выражением:

$$w_{ij}^{\text{new}} = w_{ij}^{\text{old}} + \eta \cdot \Delta w_{ij}.$$

Для обрабатывающего слоя, предшествующего РБФ-слою,  $\Delta w_{ij}$  рассчитывается по формуле:

$$\Delta w_{ij} = (D_j - Y_j) \cdot \sum_{k=1}^{N_{\text{РБФ}}} \Delta t_{jk} \cdot Y_i = \delta_j \cdot Y_i, \quad i = 1 \dots N_1, j = 1 \dots N_2, \quad (1)$$

связи 1-го обрабатывающего слоя корректируются по рекуррентной формуле:

$$\Delta w_{li} = \sum_{j=1}^{N_2} (\delta_j \cdot w_{ij}) \cdot F'_i \cdot Y_l = \delta_i \cdot Y_l, \quad l = 1 \dots N_{\text{Вх}}.$$

В выражении (1)  $\Delta t_{jk}$  представляет собой ошибку, характеризующую величину и знак отклонения  $j$ -ой фазовой координаты  $k$ -ой РБФ-ячейки от соответствующего математического ожидания  $t_{jk}$  данной ячейки. Если входной образ принадлежит  $r$ -му классу, то  $\Delta t_{jk}$  рассчитывается следующим образом:

$$\Delta t_{jk} = t_{jk} - w_{jk} \cdot Y_j, \quad j = 1 \dots N_2, k = 1 \dots N_{\text{РБФ}}, \quad \text{при } k = r,$$

$$\Delta t_{jk} = \text{sign}(t_{jk} - w_{jk} \cdot Y_j) \cdot (1 + |t_{jk} - w_{jk} \cdot Y_j|)^{-1}, \quad \text{при } k \neq r,$$

Результаты моделирования рассмотренной модифицированной НСПР показали, что применяемый для ее обучения АО имеет лучшую сходимость по сравнению с алгоритмом ВРЕ и, кроме того, позволяет выделить "способность обобщения сети" в отдельный регулируемый параметр.

## Литература

1. Зарубежная радиоэлектроника. // М.: Радиоэлектроника. - № 5,6. - 1995.
2. Спиридонов С.В., Телятников Р.В. Комплексный алгоритм обучения искусственной нейронной сети прямого распространения. // Тез. докл.

IV Int. Conf. "Pattern Recognition and Information Processing". - Минск, 1997. - с.242.

3. J. Hertz, A. Krogh, R.G. Palmer. Introduction to the Theory of Neural Computation. // Addison-Wesley. Reading. Mass. 1991.
4. Веденов А.А., Ежов А.А., Левченко Е.Б. Архитектурные модели и функции нейронных ансамблей. // М.: ВИНТИ. - Итоги науки и техники. - Т.1. - "Физические и математические модели нейронных сетей". - 1990. - с.44-90.
5. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов. // Пер. с англ. - М.: Наука. Главная редакция Ф-М лит-ры. 1979.
6. Mark A. Neifeld, Demetri Psaltis. Optical implementations of radial basis classifiers. Applied Optics v. 32, n. 8, 1993.

УДК 621.865.8

## ПОДСИСТЕМА ВИЗУАЛЬНОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ

*Костомаров В.В. Хвещук В.И.*

*Брестский политехнический институт*

Подсистема визуального конструирования моделей нейронных сетей и экспериментов (ПВКМ) является составной частью системы автоматизации моделирования нейронных сетей. Идея визуального конструирования нейронных сетей (НС) родилась не случайно. Анализ имеющихся систем подобного рода показал, что большинство из них обладают рядом серьезных недостатков, таких как:

- возможность построения модели НС только заранее известных и изученных сетей, с жестко заданной топологией сети;
- отсутствие средств подключения самостоятельно разработанных процедур для реализации передаточных функций нейрона и связи;

- трудность при написании собственного алгоритма обучения НС.
- Подсистема ПВКМ состоит из следующих компонент:
- средств построения структуры сети;
  - средств построения алгоритма обучения НС и проведения эксперимента.

**Средства построения структуры сети функционируют следующим образом.** Работа над новой сетью начинается с вызова подсистемы, цель которой – создание исходного файла со структурой нейронной сети. Позднее, в процессе работы системы, в этот файл к блоку со структурой сети добавляется блок с алгоритмом обучения сети и проведения эксперимента. Визуальное конструирование структуры сети происходит при помощи стандартного интерфейса графического устройства Windows (GDI, graphics device interface), что позволяет получить на экране очень хороший уровень визуализации изображения.

При построении структуры сети пользователь манипулирует тремя видами объектов: «группой нейронов», «группой связей» между группами нейронов и «группой входных нейронов». Каждый из этих объектов имеет уникальное графическое представление, повышающее наглядность изображения НС.

Объект «**Группа нейронов**» представляет собой совокупность нейронов с одинаковыми свойствами, и идентичными связями с другими группами нейронов. В теории нейронных сетей аналогом объекта «группа нейронов» является понятие «слой». Подсистема позволяет конструировать множество различных слоев с самыми разнообразными связями между ними.

Объект «**Группа нейронов**» характеризуется следующими параметрами:

- передаточной функцией нейрона;
- числом нейронов;
- числом параметров нейрона;

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

---

- флагом принадлежности группы нейронов к выходу сети.

Объект «Группа связей» представляет собой совокупность связей между двумя группами нейронов. В процессе создания связи необходимо указать сначала входную группу нейронов, а затем выходную группу, после чего между ними устанавливается совокупность связей по определенному правилу соединения.

Объект «Группа связей» характеризуется следующими параметрами:

- передаточной функцией связи;
- числом параметров связи;
- номером группы нейронов, являющейся источником для связи;
- номером группы нейронов, являющейся приемником для связи;
- правилом проведения связей между двумя группами нейронов.

Объект «Группа входных нейронов» представляет собой группу нейронов, являющейся входной для нейронной сети и характеризующейся тем, что у нейронов этой группы отсутствуют все основные параметры.

**Построение описания алгоритма обучения НС и проведения эксперимента реализуется следующим образом.** На вход подсистемы подается заранее созданная структура сети с указанием передаточных функций нейронов и связей. Создание алгоритма обучения НС осуществляется на основе определенных команд обучения, и полученное описание добавляется к описанию структуры сети.

Создание алгоритма обучения происходит также визуально, как и создание структуры сети, путем выбора команд обучения из набора стандартных команд, с указанием при помощи стрелок последовательности выполнения команд. Допускается также ветвление алгоритма и многократное выполнение заданных частей алгоритма.

Команды обучения сети и проведения эксперимента предназначены для выполнения следующих действий:

- указания источника входных данных;



- указания приемника выходных данных;
- проверки выходов сети;
- модифицирования определенных параметров сети (например, весовых коэффициентов связей);
- указания порядка обновления весов;
- команды для реализации циклов и ветвлений.

Проведение эксперимента заключается в манипулировании потоками входных данных с целью получения выходных данных, для этого и предназначены первые два типа команд.

Рассматриваемая подсистема реализована в рамках языка Borland C++ 4.5, с использованием библиотеки классов OWL 2.5 (Object Windows Library), предназначенной для облегчения создания рабочих приложений для Windows.

При реализации подсистемы был использован объектно-ориентированный подход в программировании. Так, например, для каждого из графических примитивов («группа нейронов», «группа связей», «группа входных нейронов») создается свой класс, содержащий открытые и защищенные функции, переменные, а также другие классы. Кроме этого, при реализации классов использовались: перегрузка функций и операторов, наследование классов с использованием виртуальных функций, шаблоны и контейнеры, метод обработки исключительных ситуаций (исключения).

Классы графических примитивов объединяются в контейнеры по типу объекта и состоят из следующих основных функциональных разделов:

- параметров, характеризующих объект (например, число нейронов, имя передаточной функции, число связей и т.д.);
- средств построения объекта на экране (функции рисования объекта, а также функции корректировки параметров объекта);
- средств манипулирования объектом (создание и удаление класса).

В настоящий момент времени подсистема находится в стадии реализации.

## ПОДСИСТЕМА ГЕНЕРАЦИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

*Костюк Д. А., Хвещук В. И.*

*Брестский политехнический институт*

Система автоматизации моделирования нейронных сетей предназначена для облегчения процесса создания программной модели нейронной сети произвольной конфигурации, для обучения построенных моделей и проведения экспериментов, а также предусматривает возможность экспорта построенных моделей для включения в независимые программные продукты. Подсистема генерации нейронных сетей и проведения экспериментов (ПГНС) является составной частью системы автоматизации моделирования нейронных сетей.

Подсистема ПГНС включает следующие компоненты:

- средства описания структуры нейронной сети;
- средства описания алгоритма обучения и сценария эксперимента;
- средства экспорта построенной модели и генерации загрузочного модуля нейронной сети.

Создание структуры моделируемой нейронной сети, алгоритма ее обучения и сценария эксперимента реализуется с помощью специализированной интерактивной среды. Команды, из которых строятся алгоритмы обучения и эксперимента, определяются содержимым стандартных и пользовательских библиотек. Далее модуль генерации листинга создает текст программы на языке Си ++, используя при этом вышеуказанные библиотеки. С помощью компилятора создается исполняемый код, который может быть запущен на выполнение отдельно или средствами интегрированной

среды. Генерируемый листинг сохраняется на диске и может быть использован в дальнейшем для встраивания в различные прикладные программы.

Описание модели нейронной сети возможно на двух различных уровнях детализации:

- верхний уровень - уровень описания сети с помощью команд-вкладышей;
- нижний уровень - уровень описания команды-вкладыша.

На верхнем уровне описывается структура, функционирование и обучение нейронной сети в терминах специальных команд-вкладышей. В рамках подсистемы определен набор базовых команд-вкладышей, которые не изменяются. Кроме того, существуют команды-вкладыши в виде алгоритмов, описанных средствами низкого уровня, в которые пользователь может вносить изменения или создавать свои собственные команды. Средства описания нижнего уровня предназначены для описания алгоритмов выполнения команд-вкладышей, составляющих описание функционирования сети. Средства нижнего уровня базируются на языке Си ++ в сочетании с некоторыми специализированными библиотеками.

Команды описания структуры сети являются стандартными и их алгоритмы недоступны для изменения. Они соответствуют примитивам типа <группа нейронов> и <группа связей>, из которых строится нейронная сеть. Команда <группа нейронов> предназначена для описания различных типов нейронов, а команда <группа связей> - для описания различных типов связей между нейронами. В общем случае каждая команда этого типа порождает группу узлов или связей, объединенных общими признаками, задаваемыми параметрами команды.

Каждая команда-вкладыш имеет ряд параметров, которые могут корректироваться в интерактивном порядке. В частности, для команды <группа нейронов> в качестве таких параметров выступает имя передаточной функции для нейронов данного типа и количество нейронов, порождаемых данной командой, а также некоторые другие, более специфичные величины. Для команды <группа связей> кроме указанных выше (в качестве пере-

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

даточной функции используется обычно умножение на весовой коэффициент) имеются еще ссылка на группу-источник и группу-приемник, а также правило выбора нейронов из группы. Такие параметры, как передаточная функция, предназначены для выбора способа функционирования порождаемых объектов. В качестве значения параметра в данном случае выступает имя стандартной функции или имя файла, содержащего тело функции. В последнем случае передаточная функция описывается в соответствии с синтаксисом Си ++ и рядом соглашений о передаче параметров, принятых в данной подсистеме.

Средства описания алгоритма обучения и сценария эксперимента представляются рядом команд, которые могут быть разделены на следующие категории:

- команды, отвечающие за подключение входных векторов обучения и (необязательно) эталонных значений для выходного слоя сети;
- команды, выполняющие сохранение параметров (например, весовых коэффициентов) сети на диске и чтения их с диска;
- команды, реализующие отдельные этапы различных алгоритмов обучения;
- команды, назначающие источник входных воздействий и приемник выходных значений для проведения эксперимента;
- команды, выполняющие обработку результатов эксперимента в соответствии с различными формами представления данных;
- команды, отвечающие за взаимодействие с пользователем в ходе эксперимента.

Вышеперечисленные команды имеют параметры с возможностью интерактивной настройки и, кроме того, могут быть изменены или дополнены пользователем с помощью средств низкого уровня.

Средства экспорта построенной модели и генерации загрузочного модуля нейронной сети осуществляют перевод описания нейронной сети, составленного с помощью средств верхнего уровня в исходный текст программы и компиляции последнего в исполняемый модуль. Получаемый

текст программы является объектом экспорта и, следовательно, может быть встроен в любую программную систему, написанную на том же языке программирования.

Результирующий листинг программы близок по своей структуре к средствам описания низкого уровня. Структура сети представляется в виде отдельного класса. В первую очередь в сгенерированной программе создается экземпляр данного класса. В дальнейшем указатель на него передается каждому классу, соответствующему команде верхнего уровня.

Представление команд высокого уровня в виде отдельных классов имеет ряд преимуществ общего характера, свойственных объектно-ориентированному подходу в программировании и способствует сохранению читабельности листинга, так как при использовании нескольких одинаковых команд им соответствует один единственный класс, а настройка имен производится для экземпляров этого класса.

Кроме описания структуры сети, класс структуры предоставляет ряд сервисных функций, таких как коррекция параметров объекта (веса коэффициента связи, порогового значения функции активации нейрона), опрос объекта на предмет выяснения его характеристик, пересчет выходных значений сети или отдельной группы объектов и др. В целях отладки при функционировании модели предусматривается режим усиленного контроля корректности действий пользовательских классов-команд.

Средства нижнего уровня предназначены для использования в самом крайнем случае, когда необходимо моделировать нейронную сеть с нестандартным элементом архитектуры или алгоритма обучения.

Данная подсистема реализована в среде Borland C++ версии 4.5 с использованием объектно-ориентированной библиотеки Object Windows версии 2.5 и предназначена для работы под управлением операционных систем Windows 3.x и Windows 95.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ МЕЖДУ РОБОТАМИ**

*Пашкевич А.П., Пашкевич М.А., Антонов Е.П*

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники*

### **Введение**

Существующие системы автоматизированного проектирования робототехнологических комплексов (САПР РТК) позволяют осуществить детальный анализ проектных решений, предлагаемых пользователем в интерактивном режиме. Поэтому для повышения эффективности таких САПР требуется создание методов автоматизированного синтеза РТК и их оптимизации по технико-экономическим критериям. В данной работе рассматривается одна из задач этого класса - оптимизация распределения операций между роботами, применяемых в РТК точечной контактной сварки. Для решения задачи предлагается генетический алгоритм, который обеспечивает лучшую сходимость, чем алгоритмы, ранее предложенные авторами [1].

### **1. Постановка задачи**

Общая задача автоматизации проектирования РТК обычно подразделяется на отдельные этапы, на которых последовательно находится оптимальный состав инструментов, роботов и других компонент комплекса, а затем определяется их оптимальное взаимное расположение. Искомый на-

бор технологических инструментов должен обеспечивать достижимость всех точек сварки, а также минимальное время перемещения между точками. Используя результаты этого шага, точки сварки распределяются между роботами исходя из доступности соответствующими инструментами. Затем выбираются конкретные промышленные роботы и определяется их оптимальное расположение в ячейке. На заключительном этапе формируется программа управления роботом.

Рассматриваемая в этой работе задача оптимизации распределения технологических операций между роботами формулируется следующим образом. Требуется построить разбиение множества точек сварки на группы (кластеры), так, чтобы каждый инструмент обрабатывал приписанные ему точки без столкновений с деталью и оснасткой, геометрические размеры кластера были достаточно малыми и принадлежали рабочей зоне робота; время обработки кластера были по возможности наименьшим и обеспечивали равномерную загрузку всех роботизированных ячеек. Задача является обобщением классической задачи о разбиении множества с дополнительным условием включения-исключения, то есть является *NP*-полной. Оценка качества разбиения вычисляется как минимум некоторого скалярного критерия, оценивающего геометрические размеры кластера либо время, затрачиваемого каждым роботом на выполнение технологических операций и на переходы между точками сварки [1].

## 2. Схема генетического алгоритма

Генетические алгоритмы предоставляют собой новый способ для решения задач оптимизации, для которых классический подход не дает достаточно эффективного решения. К числу основных преимуществ генетических алгоритмов относится их гибкость по отношению к виду целевой функции, количеству и типу ограничений [2]. Ниже приводится краткое описание ключевых моментов реализации генетического алгоритма для рассматриваемой задачи.

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

В качестве функции, которая эмулирует внешнюю среду, берется один из вариантов оценки качества разбиения множества точек сварки. В качестве *хромосомы* используется  $N$ -мерный вектор с компонентами, принимающими значения  $1, 2, \dots, N$ , где  $M$  — количество инструментов,  $N$  — число точек сварки. При выборе хромосом для следующего эволюционного цикла использовалась стратегия *Elitist Replacement*, при которой выживают сильнейшие особи из популяции предков и популяции детей. Начальная популяция строится случайным образом, так как такой подход повышает вероятность «независимости» отдельных хромосом. Операция *скрещивание* изменяет некоторые гены «доминирующей» хромосомы на значения соответствующих генов второго элемента популяции. *Мутация* реализована путем случайного изменения некоторых генов хромосомы с учетом ограничений задачи. Кроме того, введена дополнительная *операция локальной оптимизации*, которая реализована классическим образом за тем исключением, что просматриваются не все «близкие» решения, а лишь заданное число.

### 3. Анализ эффективности алгоритма

Генетический алгоритм (ГА) был реализован на языке C++ и встроен в САПР сварочных РТК ROBOMAX. Тесты, на которых проверялась эффективность алгоритмов, были основаны на реальных данных и включали от 20 до 100 точек сварки (от 2 до 10 прямолинейных швов). Число роботов изменялось от 5 до 10. Среднее расстояние между точками было около 0.85 метров. Результаты оптимизации сравнивались после выполнения алгоритмов в течении 60 с на процессоре Pentium 100. В результате тестирования было установлено, что ГА работает быстрее, чем трехэтапный алгоритм, предложенный нами ранее [1].

Был также проведен анализ зависимости результата оптимизации от типа критерия оптимальности. Первый из них (время обработки кластера) имеет более существенное технологическое значение, однако второй (геометрический размер кластера) более предпочтителен с точки зрения вычис-



лительной сложности. Установлено, что оба скалярных критерия позволяют получить технически приемлемые решения, однако вблизи точек экстремума они конкурируют друг с другом (см. рис. 1).

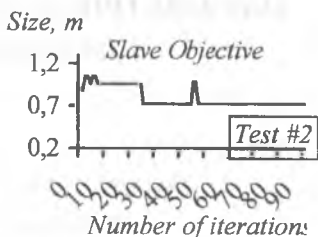
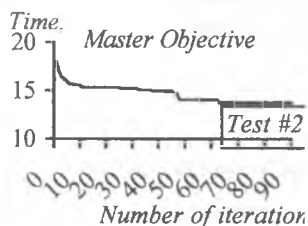
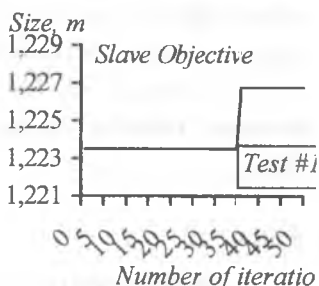
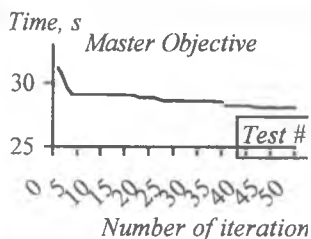


Рис. 1. Поведение целевых функций в процессе оптимизации.

## Заклучение

Разработанный генетический алгоритм позволяет произвести оптимальное распределение технологических операций между роботами и превосходит по эффективности предложенный ранее трехэтапный метод решения данной задачи. Дальнейшее его усовершенствование может быть достигнуто за счет применения принципов векторной оптимизации, которые также планируется реализовать при помощи генетических алгоритмов.

## Литература

1. Pashkevich, A., O. Sosnovski, M. Pashkevich and E. Antonov. A combinatorial optimisation approach to computer-aided design of industrial robotic cells. In: *Proc. of the 4-th Int. Conf. on Application of Computer Systems*, Szczecin, Poland, pp 112-119, 1997.

2. Levine, D. A *Parallel Genetic Algorithm for the Set Partitioning Problem*. Technical Report No. ANL-94/23, Argonne National Laboratory, 1994.

УДК 62-50

## ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ В ЗАДАЧАХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Громов Д.В.

*Белорусский Государственный Университет  
Информатики и Радиоэлектроники*

В настоящее время получила широкое распространение задача синтеза систем управления с переменной структурой, работающих в скользящем режиме. К основным достоинствам предложенных систем можно отнести возможность достижения робастности по отношению к возмущающим воздействиям, а так же к параметрическим возмущениям. В предложенной работе решается задача синтеза квазиоптимального разрывного закона управления для нелинейного объекта второго порядка с *a priori* заданным критерием качества.

Пусть объект управления описывается системой уравнений

$$\begin{cases} dx_1/dt = f_1(\mathbf{X}, t) \\ dx_2/dt = f_2(\mathbf{X}, t) + bu(t), \end{cases}$$

где  $\mathbf{X}=[x_1, x_2]$  - вектор фазовых координат. Выберем структуру закона управления по аналогии со структурой ПИД - регулятора [4]

$$u = -\psi - \psi_{II}e - \psi_{II} \int edt - \psi_{II} \frac{de}{dt},$$

где  $e = \mathbf{X} - \mathbf{X}^*$  - отрицательная ошибка слежения;  $\mathbf{X}^*$  - программная траектория;  $\psi, \psi_{II}, \psi_{II}, \psi_{II}$  - параметры закона управления, принимающие два фиксированных значения

$$\psi = \begin{cases} \alpha_1, S < 0 \\ \alpha_2, S > 0 \end{cases} \psi_{II} = \begin{cases} \beta_1, eS < 0 \\ \beta_2, eS > 0 \end{cases}$$

$$\psi_{II} = \begin{cases} \gamma_1, S < 0 \\ \gamma_2, S > 0 \end{cases} \psi_{II} = \begin{cases} \delta_1, de/dt \cdot S < 0 \\ \delta_2, de/dt \cdot S > 0. \end{cases}$$

Гиперповерхность скольжения  $S$  выбирается как функция ошибки и ее производной

$$S = h \cdot e(t) + \frac{de(t)}{dt}.$$

Задача синтеза состоит в определении вектора параметров

$$\mathbf{P} = [h, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2, \delta_1, \delta_2] \in \mathbf{D} \subset \mathbf{R}^n$$

из условия минимизации некоторого критерия качества. Для случая линейной системы задача параметрического синтеза рассматривалась в работе [2]. Однако для системы с нелинейностями в структуре эта задача практически не решается аналитическими методами, особенно в случае наличия явных и неявных ограничений на сигнал управления и фазовые координаты. Использование численных методов для решения подобных задач в ряде случаев требует больших временных затрат для получения хорошего результата, особенно в том случае, когда задачу можно определить как непо-

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

линомиальную. В связи с этим предлагается использовать генетические алгоритмы (ГА) [1, 3].

Основанные на имитации эволюционного процесса, генетические алгоритмы начали активно использоваться в последние десять лет как мощный эвристический инструмент для решения сложных и нестандартных проблем оптимизации. При этом они являются более простыми и гибкими, нежели классические методы. Использование генетических алгоритмов особенно эффективно в задачах поиска в плохо обусловленных и нерегулярных пространствах. Согласно схемной теореме [3, 5], ГА есть недетерминистический полиномиальный алгоритм, т.е. время поиска существенно уменьшается по сравнению с экспоненциальным алгоритмом перебора для случая NP - полных задач.

Первым шагом является представление исходных данных в виде хромосом, т.е. в виде бинарных последовательностей определенной длины. В последнее время используются системы счисления с основанием 8 или 10, что в ряде случаев является более естественным. После кодирования каждое значение будет представляться последовательностью  $a_0 a_1 \dots a_k$ , где  $a_i \in [0, b-1]$ ;  $b$  - основание системы счисления. Связь между реальным значением параметра  $C$  и его записью в виде кодовой строки определяется выражением

$$C = C_{\min} + (a_{n-1}b^{n-1} + \dots + a_0b^0) \frac{(C_{\max} - C_{\min})}{b^n - 1} + \Delta, ,$$

где  $C \in [C_{\min}, C_{\max}]$  - допустимые пределы изменения параметра;  $\Delta C$  - погрешность квантования. Выбор длины кодовой строки  $n$  является компромиссом между точностью и временем вычисления.

Далее генерируется множество начальных значений, рассматриваемых в качестве субъектов популяции. Выбор начальных значений для поиска в общем случае зависит от разработчика, хотя обычно рекомендуется ис-

пользовать случайную или частично случайную выборку для уменьшения вероятности "зависания" на локальном экстремуме.

В процессе эволюции популяция постоянно модернизируется согласно принципу выживания, причем степень пригодности каждого субъекта определяется по функции пригодности (ФП). Обычно ФП выбирается как обратное значение функционала качества:

$$f(P_i) = \frac{1}{\int_0^T \left( e^2 + \left( \frac{de}{dt} \right)^2 \right) dt + e(T)}$$

где  $P_i$  -  $i$ -тый член поколения  $P$ ;  $T$  - терминальное время. При этом появляется возможность задавать  $f(P_i)$  равным нулю в том случае, например, когда не выполняются некоторые ограничения на фазовые координаты. Таким образом неудовлетворительные результаты удаляются из области поиска. Отметим, что поиск при наличии ограничений с использованием генетических алгоритмов сильно облегчается по сравнению с минимизацией функции стоимости в классических методах оптимизации.

Ядром предложенного метода является использование трех операторов: селекция (отбор), кроссовер (смешение) и мутация. Существуют различные методы селекции, такие как круговая рулетка, турнир, элитная стратегия. Сущность отбора заключается в увеличении вероятности производства потомства с высоким индексом пригодности. Операция кроссовер заключается в обмене информацией между двумя различными особями (т.е. между двумя промежуточными результатами поиска). Мутация, в свою очередь, изменяет значение гена, тем самым осуществляя самокорректирование исходного значения. Каждой операции ставится в соответствие значение, характеризующее вероятность его применения. Обычно для кроссовера это значение принимается равным 40-60%, а для мутации - 0.2-2%.

Отметим, что предложенный метод является весьма перспективным в случае аналитически неразрешимых задач, позволяя разработчику вводить

новые элементы в структуру алгоритма, опираясь на некоторые, возможно интуитивные соображения о пути решения данной задачи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Змитрович А.И. Интеллектуальные информационные системы. Мн.: ТетраСистемс, 1997.
2. Уткин В.И., Янг К.Д. Методы построения плоскостей разрыва в многомерных системах с переменной структурой. Автоматика и телемеханика, 1978, 10.
3. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence. Cambridge, MA: The MIT Press, 1992.
4. Nandam P.K., Sen P.C. Control laws for sliding mode speed control of variable speed drives, Int. J. of Control, 56, (5), 1992, 1167-1186.
5. Srinivas M., Patnaik L.M. Genetic algorithms: A survey, IEEE Computer, 1994, 27.

## СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ РЯДОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

*Н.В.Водополова*

*Гомельский политехнический институт им.П.О.Сухого*

Предлагаемая система показателей анализа динамики развития явления позволяет выявлять его тенденцию (рост, снижение, неустойчивость) и характер (интенсивность изменения значений, случайность). Система показателей может быть полезна в практике как экономического, так и статистического анализа, а также при создании систем поддержки принятия решений, экспертных систем, систем автоматизации аналитических решений.

Для принятия объективных экономических решений немаловажно изучение объекта во времени, которое предполагает решение следующих проблем: выбор исходной информации и построение временного ряда; формирование системы показателей; выбор итогового показателя и обобщение информации.

В практике экономического анализа традиционно используются следующие показатели динамики: базисный и цепной абсолютные приросты значения показателя, базисный и цепной темпы роста и прироста, коэффициенты роста и прироста. Для обобщенной количественной характеристики явления применяют средние величины перечисленных показателей, их среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации. Такая методика изучения динамики чревата существенными недостатками:

1. Основной упор в обобщении делается на средние величины. В этом достоинство и недостаток, т.к. в средней величине компенсируются, погашаются отклонения, присущие индивидуальным значениям, и иногда за внешним общим благополучием могут скрываться результаты плохой работы.

2. Количественная оценка ритмичности процессов в практике экономического анализа дается на основании степени разбросанности значений вокруг его средней величины с помощью показателей вариации. Но на значение коэффициента вариации влияют даже единичные значительные отклонения от среднего.

3. Коэффициент вариации не дает объективного представления об устойчивости изучаемого явления: для временных рядов 2;7;8;9;16 и 7;8;16;9;2 коэффициент вариации один и тот же, однако в первом случае можно говорить о стабильном повышении, а во втором - об неустойчивости развития процесса.

Предлагаемая методика использует следующую систему показателей динамики: средний темп прироста; коэффициент вариации темпа прироста; коэффициент интенсивности; коэффициент устойчивости.

С помощью *среднего темпа прироста* значений определяют

### 3. Искусственный интеллект и нейронные сети

$$\bar{z} = \frac{\sum_{t=2}^T z_t}{T} \cdot 100\%,$$

где  $z_t$  - цепной темп прироста значений изучаемого показателя

$$z_t = \frac{x_{it} - x_{i(t-1)}}{x_{i(t-1)}};$$

направление и величину изменений значения изучаемого явления во времени. Его абсолютное значение дает среднюю величину изменений для исследуемого временного ряда, а о направлении изменений говорит его знак: если  $\bar{z} > 0$  имеет место рост, в противном случае - снижение.

Коэффициент вариации темпа прироста

$$v = \frac{\sigma}{\bar{z}} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad v = \frac{\sigma}{\bar{z}} \cdot 100\% - 100\%,$$

для  $\sigma < \bar{z}$  и  $\sigma > \bar{z}$  соответственно, - характеризует степень разбросанности значений временного ряда от его средней величины.

Коэффициент интенсивности

$$K_{\text{int}} = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} z'_t}{T-2},$$

$$\text{где } z'_t = \begin{cases} 1, \text{ если } \left| \frac{z_t - \bar{z}}{\bar{z}} \right| \geq \varepsilon; \\ 0, \text{ иначе,} \end{cases}$$



$\varepsilon$  - некоторое пороговое значение. В его качестве можно использовать значение предельно допустимой вариации значений признака в однородной группе, которое равно 33%, т.е.  $\varepsilon = 0,33$ .

Коэффициент устойчивости

$$K_{ust} = \frac{\sum_{t=2}^T z_t''}{T-2},$$

$$z_t'' = \begin{cases} 1, & \text{если } z_t - z_{t-1} \geq 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1)$$

$$z_t'' = \begin{cases} 1, & \text{если } z_t - z_{t-1} \leq 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

условие (1) или (2) выбирается в соответствии со знаком среднего темпа прироста значений изучаемого явления.

Очевидно, что если  $\varepsilon \leq K_{ust} \leq 1 - \varepsilon$ , то наблюдается неустойчивость в развитии процесса; для  $0 \leq K_{ust} < \varepsilon$  имеют место единичные случаи, а если  $1 - \varepsilon < K_{ust} \leq 1$  массовость роста ( $z_t - z_{t-1} \geq 0$ ) или снижение ( $z_t - z_{t-1} \leq 0$ ).

С помощью среднего темпа прироста значений изучаемого показателя и коэффициента его устойчивости выявляется тенденция развития изучаемого явления (рост, снижение, неустойчивость), а коэффициенты вариации темпов прироста и интенсивности изменения позволяют определить его характер: интенсивность изменения значений, случайность.

## 4. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ И АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ

УДК 681.3 : 681.5

### АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОРТОГОНАЛЬНОГО БАЗИСА УОЛША

*Селиханович А.М*

*Институт технической кибернетики НАН Беларуси*

#### **Введение**

В настоящее время различные виды документов содержат буквенные и цифровые символы, которые подлежат вводу и требуют какой-либо их автоматической обработки. Символы могут быть воспроизведены машинописным способом или написаны от руки. В области автоматического ввода машинописных символов в настоящее время достигнуты высокие результаты по достоверности распознавания. Значительно упрощает задачу то, что в этом случае обрабатываются стилизованные символы. В отношении рукописных символов нельзя вести речь о каком-либо стиле. Следовательно возникает задача разработки новых алгоритмов как на этапе предварительной подготовки образа, так и на этапе выделения информативных признаков.

#### **1. Алгоритм**

Одним из способов описания рукописных символов является определение их посредством формы внешней граничной кривой [3, 5]. Для

получения достоверного описания символа с помощью формы внешней граничной кривой, необходимо, чтобы указанная кривая была замкнутой и единой.

Вследствие неидеальности представления изображения, связанного с изменением в написании символов по величине, толщине линий и их ориентации, с разрывами и смыканиями линий, с помехами при считывании и другими подобными причинами возникает разнотипность в изображениях. Следовательно для получения качественных информативных признаков требуется определенная стилизация распознаваемых символов.

Как правило, после ввода символы на растре обладают разной толщиной линий, и более того, одна и та же линия имеет переменную по длине толщину (см. рис.1а ). Поэтому сначала выполняется утоньшение линий, т.е. приведение всех линий к толщине в один пиксел. С этой целью использован алгоритм скелетизации Накаши-Шингала [1]. Результат работы процедуры утоньшения представлен на рис.1б.

Для устранения разрывов и получения определенным образом стилизованной внешней граничной кривой к скелету изображения применяется двумерное преобразование Уолша. Преобразование осуществляется окном размерностью  $4 \times 4$  пиксела. При выполнении прямого двумерного преобразования вычисляется только первый коэффициент. Всем остальным коэффициентам присваиваются нулевые значения. Выполнение обратного двумерного преобразования осуществляется с применением быстрого алгоритма вычисления коэффициентов Уолша для одномерного случая [4] сначала к строкам, а затем к столбцам матрицы изображения.

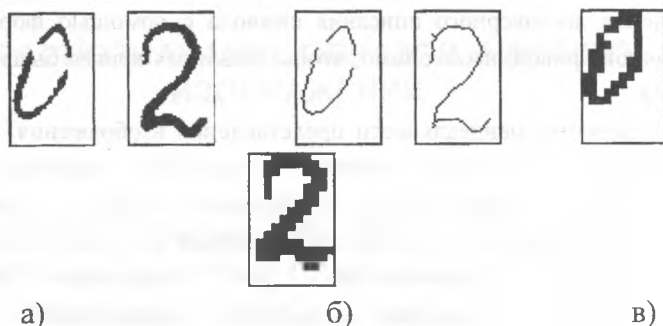


Рис. 1. Этапы стилизации: исходный образ (а); результат утоньшения (б); результат стилизации (в)

В результате использования указанного преобразования устраняются все разрывы и определенным образом стилизуется внешняя граница цифры (рис.1в).

Обход внешней границы цифры осуществляется по часовой стрелке, используя известный алгоритм, предложенный в работе [2].

Таким образом кривая [3] имеет  $m$ -вершин  $V_0..V_{m-1}$ , а сегмент  $(V_{i-1}, V_i)$  имеет длину  $\Delta l_i$ . Изменение угла направления сегмента в вершине  $V_i - \Delta\Phi_i$  и общая длина  $L$ .

$$L = \sum_{i=1}^m \Delta l_i. \quad (1)$$

Изначально мы получаем, как описано выше, функцию внешней границы образа  $f_k$  в виде

$$f_k = \Delta\Phi_k(l_k), \quad (2)$$

Для того, чтобы применить процедуру быстрого преобразования Уолша, необходимо иметь число отсчетов, описывающих функцию внешней границы, кратное степени 2 ( $N = 2^n$ ,  $n=1,2,3, \dots$ ). Кроме того, для получения более точной аппроксимации, эти отсчеты должны быть взяты через равные интервалы.

С этой целью вводится новая переменная  $U$ , которая изменяется в интервале от 0 до 1, а для получения  $N$ , кратного степени 2 и равных интервалов используется шаг  $\Delta U$ .

$$U = \frac{l}{L}, \quad \Delta U = \frac{1}{N} = \frac{1}{2^n}. \quad (3)$$

Таким образом, осуществляется переход к функции вида

$$f(U) = \Delta\Phi(L*U), \quad (4)$$

для которой уже возможно применение процедуры быстрого преобразования Уолша.

После выполненной стилизации внешней границы образа угол изменения направления вдоль кривой равен либо +90, либо -90 градусов. Эти значения заменяются на +1 и -1 соответственно, что идеально подготавливает функцию граничной кривой к ее последующему описанию функциями Уолша.

Далее к полученному параметрическому описанию граничной кривой применяется одномерное преобразование Уолша. В результате получается вектор коэффициентов Уолша, который используется в качестве информативных признаков символа.

## Заключение

Разработанный алгоритм позволяет выделять информативные признаки, которые инвариантны к ряду аффинных преобразований: сдвигу, масштабированию и повороту. В результате использование алгоритма для распознавания таких рукописных символов, как арабские цифры, достигнута достоверность – 96÷98%. Применение преобразования Уолша значительно увеличивает быстродействие по сравнению с преобразованием Фурье [3], что позволяет применять этот алгоритм в системах распознавания реального времени.

## Литература

1. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника: пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 620 с.
2. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986. – 399 с.
3. Charles T. Zahn, Ralph Z. Roskies. Fourier descriptors for plane closed curves, IEEE Transactions on Computers, 1972, Vol. c-21, No 3, p.269-281.
4. Садыхов Р.Х., Чеголин П.М., Шмерко В.П. Методы обработки сигналов в дискретных базисах. – Минск: Наука и Техника, 1987. – 296 с.
5. G.H. Granlund. Fourier Preprocessing for Hand Print Character Recognition, IEEE Transactions on Computers, February, 1972.

УДК 681.3:681.5

### АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СЛОЕВ КРИСТАЛЛА СБИС

*Садыхов Р.Х., Мачнев А.Г.\*, Селиханович А.М.\**

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники,*

*\*Институт технической кибернетики НАН Беларуси*

В процессе перепроектирования СБИС возникает задача выделения областей металлизации на изображениях топологических слоев кристалла, получаемых, например, с помощью электронного микроскопа. Такие изображения (см. рис.1) являются полутоновыми и, как правило, сильно зашумлены. Для определения контуров традиционно используются масочные операторы, основанные на выделении перепадов яркости [1].

Однако для указанного выше класса изображений они оказались малоэффективными, что и вызвало необходимость разработки специального алгоритма.

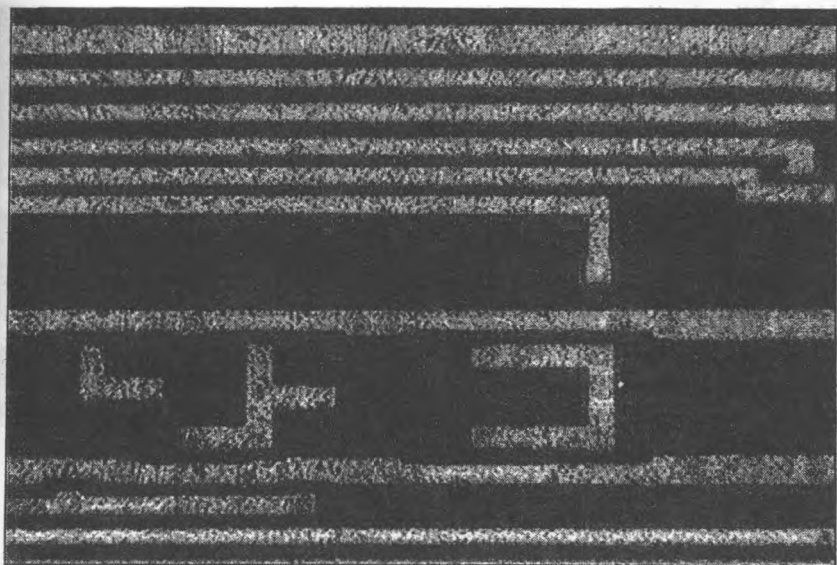


Рис.1. Исходное изображение кадра топологического слоя СВИС

Разработанный алгоритм выделения областей металла состоит из нескольких этапов. Первый этап включает пороговую фильтрацию и позволяет устранить помехи, возникающие между металлическими проводниками в результате шлифовки кристалла, а также преобразует полутоновое изображение слоя СВИС в бинарное (см. рис. 2).

На втором этапе осуществляется обход границ всех элементов областей металлизации и выделение их контуров. На третьем заключительном этапе производится устранение вкраплений (элементов эрозии) внутри областей металлизации, четко ограниченных контурами.

#### 4. Распознавание образов и анализ изображений

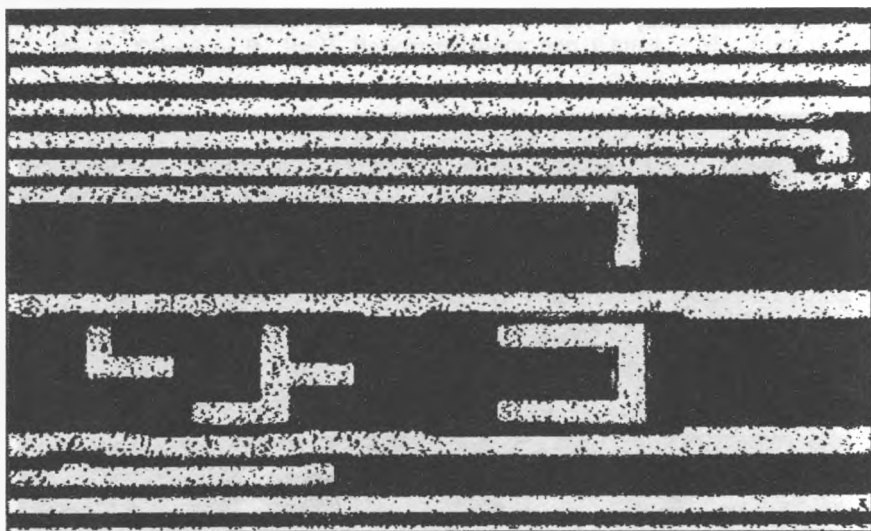


Рис.2. Изображение после пороговой фильтрации

Пороговая фильтрация осуществляется следующим образом. Поскольку кадры изображения, полученные с помощью электронного микроскопа, имеют различную контрастность и яркость, то, вначале, определяется гистограмма распределения полутонов в исходном кадре изображения. По гистограмме выявляются неперекрывающиеся диапазоны полутонов, которые соответствуют различным областям изображения. Затем определяется значение порога для этого кадра как среднее значение на промежутке между диапазонами полутонов областей фона и элементов металлизации. Далее осуществляется пороговая фильтрация изображения.

На втором этапе осуществляется сканирование поля изображения с целью поиска элементов, принадлежащих областям металлизации. Сканирование производится окном размером  $2 \times N$  ( $N=8 \div 16$ ). Попаданию



окна на искомую область соответствует более чем 60-процентное заполнение окна белым цветом. При нахождении элемента области металлизации осуществляется параллельный обход его граничных контуров следящими окнами. Одно окно (размером  $3 \times 8$ ) движется по элементу области металлизации, а второе (размером  $6 \times 8$ ) – по области фона, граничащей с этим элементом. Размеры окон определены в результате экспериментов и с учетом исходных данных о минимальном расстоянии между проводниками и минимальной ширине проводника. Обход осуществляется по верхней и нижней границам области металлизации. Затем процесс сканирования и выделения границ элементов повторяется до полного обхода всего поля изображения. После второго этапа получается изображение с выделенными контурами элементов. При этом помехи в виде эрозии остаются только внутри областей металлизации (см. рис.3).

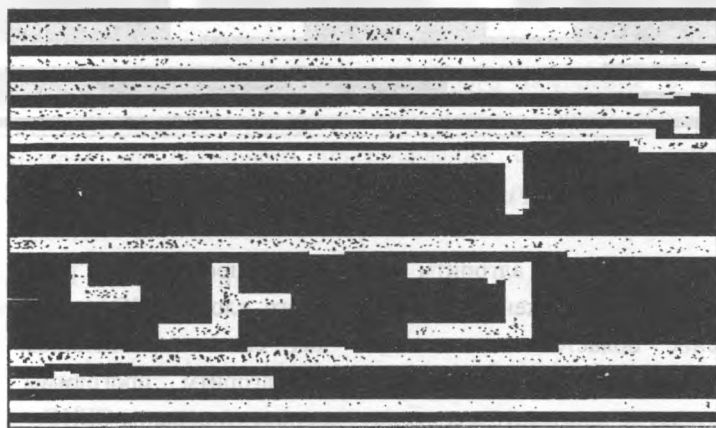


Рис.3. Изображение с очерченными границами областей металлизации

#### 4. Распознавание образов и анализ изображений

На третьем заключительном этапе производится заполнение областей соответствующим цветом (см. рис.4). Для устранения помех в виде эрозии и заливки областей металлизации одним цветом используются операции медианной фильтрации с крестообразным окном [1] и расширения, сжатия [2].

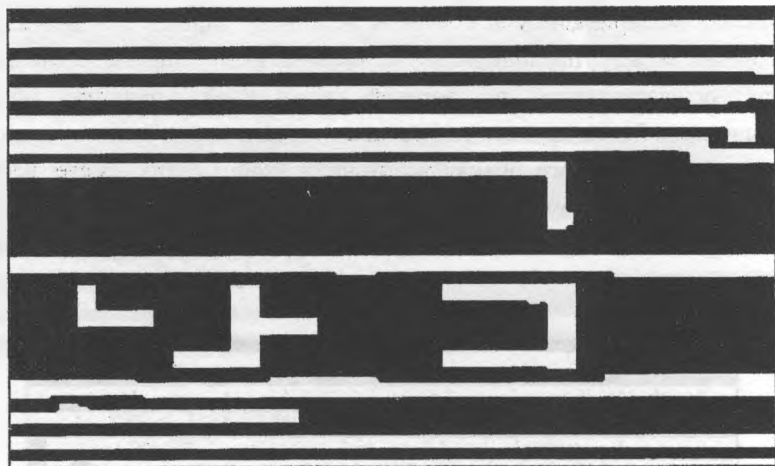


Рис. 4. Результат обработки кадра топологического слоя СБИС

Предложенный алгоритм был апробирован на ряде кадров полутоновых изображений топологического слоя СБИС и обеспечивает выделение областей металлизации как самих проводников, так и контактных площадок. Реализующие алгоритм программы можно эффективно использовать в системах перепроектирования СБИС.

#### Литература

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2 – 480 с.

2. Бутаков Е.А., Островский В.И., Фадеев И.Л. Обработка изображений на ЭВМ. — М.: Радио и связь, 1987. — 240 с.

## АЛГОРИТМЫ ВЕКТОРНОГО КВАНТОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ.

*Садыхов Р.Х.<sup>\*</sup>, Ракуш В.В.<sup>\*\*</sup>*

*<sup>\*</sup>Белорусский Государственный Университет  
Информатики и Радиоэлектроники.*

*<sup>\*\*</sup>Научно-Исследовательский Институт Криминологии,  
Криминалистики и Судебных Экспертиз.*

### Введение.

Как отмечается в работах по автоматическому распознаванию личности по голосу [1], в системах нового поколения в качестве структурных элементов используются субречевые единицы, образующиеся при переходе от скалярного представления сигнала к векторному пространству признаков. С этой целью разработано несколько разновидностей алгоритмов векторного квантования [2]. Их суть заключается в том, что если  $\bar{x} = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$  — N-мерный параметрический вектор, координаты которого  $\{x_k, 1 \leq k \leq N\}$  — действительные случайные величины, то он может отражаться в N-мерный вектор  $\bar{y}$ , координатами которого также являются действительные случайные числа. Множество  $\bar{Y} = \{\bar{y}_i, 1 \leq i \leq L\}$  называется кодовой книгой. L — размер кодовой книги, а  $\{\bar{y}_i\}$  — множество кодовых векторов (центроидов). Для построения

#### 4. Распознавание образов и анализ изображений

кодовой книги  $M$ -мерное пространство векторов  $\bar{x}$  разбивается на  $L$  областей  $\{c_i, 1 \leq i \leq L\}$ . Каждой области  $c_i$  соответствует вектор-центроид  $\bar{y}_i$ . Если  $\bar{x}_i$  лежит в  $c_i$ , ему присваивается значение кодового вектора  $\bar{y}_i$ . Естественно, что при этом возникает ошибка квантования. Отклонение  $\bar{x}$  от  $\bar{y}$  может быть определено мерой близости  $d(\bar{x}, \bar{y})$ , в качестве которой может использоваться среднеквадратичное отклонение (СКО)

$$d(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{1}{N} (\bar{x} - \bar{y})^T (\bar{x} - \bar{y}) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - y_k)^2 \quad (1)$$

$N$  – количество координат в векторе.

Создавая таким образом кодовые книги-эталоны и кодовые книги-тесты, затем сравнивая их, можно верифицировать или идентифицировать личность по голосу [3]. Для систем верификации, работающих по парольной фразе, кодовые книги-эталоны и кодовые книги-тесты имеют одинаковую размерность  $L$ , их сравнение не вызывает каких-либо затруднений. Другое дело, когда распознавание осуществляется по произвольной речи, продолжительность и семантика которой не регламентированы. В этом случае эталонная кодовая книга должна иметь максимальную размерность, а кодовая книга-тест будет иметь переменное значение  $L$ , зависящее от продолжительности и семантики высказывания. В этом случае возникает необходимость решения задачи оптимального квантования входной реализации в соответствии с некоторым критерием качества векторного квантования, оцененным априори.

#### Алгоритмы формирования кодовых книг.

В этом разделе мы рассмотрим модификацию алгоритма векторного квантования, применяемую для формирования эталонной и тестовой кодовых книг.

Одним из методов построения кодовой книги является алгоритм  $K$ -средних [2]. Пусть  $K=L$ . В этом случае алгоритм разбивает набор входных векторов  $\bar{x}_i$  на  $L$  областей (кластеров). Обозначим через  $m$  номер итерации, а через  $C_i(m)$  —  $i$ -ый кластер на  $m$ -ой итерации с центроидом  $y_i(m)$ . Тогда алгоритм  $K$ -средних можно разбить по шагам.

*Шаг 1. Начальное разбиение на  $L$  кластеров.*  $m=0$ . Для  $m=0$  разбиение осуществляется с помощью обычного дихотомического алгоритма, результатом работы которого является последовательность векторов-центроидов  $\bar{y}_i(0), 1 \leq i \leq L$ .

*Шаг 2. Классификация.* Входные векторы  $\{\bar{x}_i, 1 \leq i \leq M\}$  разбиваются по кластерам  $C_i$  с помощью правила ближайшего соседа  $\bar{x} \in c_i(m)$  тогда и только тогда, когда  $d[\bar{x}, \bar{y}_i(m)] \leq d[\bar{x}, \bar{y}_j(m)]$  для всех  $j \neq i$ .

*Шаг 3. Коррекция кодового вектора.* Для  $m=m+1$  производится перерасчет центроидов всех кластеров  $\bar{y}_i(m) = \text{cent}(c_i(m)) \quad 1 \leq i \leq L$ .

*Шаг 4. Проверка на окончание процедуры.* При формировании кодовой книги-эталона значение  $L$  заранее известно. В этом случае квантование завершается, если интегральная мера близости

$$D(m) = \frac{1}{L \cdot N} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^N d_{\min}(\bar{x}_i, \bar{y}_i) \quad (2)$$

на итерации  $m$  не уменьшилось по отношению к  $D(m-1)$ . В противном случае осуществляется переход на шаг 2.

При формировании кодовой книги-теста значение  $L$  заранее неизвестно. Поэтому, чтобы завершить квантование, необходимо  $D(m)$  сравнивать с каким-то пороговым значением ошибки квантования  $P$ . Для оценки порога  $P$  была создана фонетически сбалансированная речевая база данных продолжительностью звучания более 5 минут. Пять дикторов-

#### 4. Распознавание образов и анализ изображений

мужчин начитывали этот текст, который затем вводился в компьютер и служил в качестве эталона.

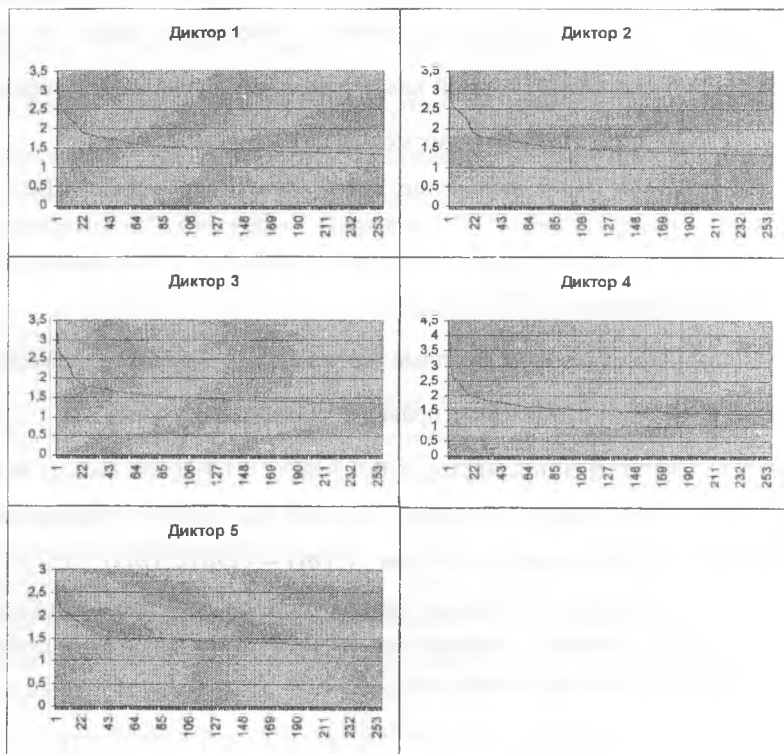


Рис 1. Графики зависимости ошибок квантования от размерностей кодовых книг для 5 дикторов.

После этого рассчитывались кодовые книги для различных размерностей  $L$ , в зависимости от нее определялись ошибки квантования (1). Графики зависимости  $d(\bar{x}, \bar{y})$  от  $L$  для пяти дикторов показаны на рис

1. Из них видно, что после  $L=200$   $d(\bar{x}, \bar{y}) \approx \text{const} = 1,4$ . Окончательно в наших экспериментах  $L$  была выбрана 256.

Таким образом, для формирования тестовой кодовой книги пороговое значение ошибки квантования  $P$  при сравнении на шаге 4 должно быть равным 1,4.

### **Экспериментальная проверка работоспособности алгоритма.**

Для проверки работоспособности алгоритма была разработана специальная программа, прототип системы фоночета голосов потенциальных правонарушителей, количество которых состояло из 5 человек. В качестве эталонов использовались описанные в разделе 2 книги, созданные из фонетически сбалансированных речевых файлов 5-минутной продолжительности.

Во время тестирования каждый из 5 дикторов наговаривал в микрофон произвольный текст произвольной длительности. На экране фиксировались пять мер близости между пятью эталонными и одной тестовой кодовыми книгами.

Результаты таких предварительных экспериментов показали, что, как правило, мера близости между тестовой реализацией и эталоном диктора, который в данный момент произносил фразу, была самой минимальной. Ошибок на базе из 5 дикторов зарегистрировано не было.

### **Выводы.**

Предлагаемый алгоритм структуризации речи со среднеквадратичным критерием качества может быть использован в системах идентификации личности по произвольной речи, при этом размерность кодовой книги должна состоять не менее чем из 200-256 кодовых векторов. К недостаткам данного алгоритма следует отнести невысокое быстродействие работы,

особенно в режиме обучения, которая может продолжаться несколько дней непрерывного счета на компьютере типа Pentium 166.

Таким образом, устранение этого недостатка, по-видимому, должно стать объектом дальнейших исследований в этом направлении.

### **Литература.**

1. Рылов А.С. Некоторые аспекты проблемы автоматического распознавания личности по голосу. Сб. статей Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы. № 11, 1996 г., стр. 162-176.
2. Макхоул Д., Рукос С., Гиш Г. Векторное квантование при кодировании речи. ТИИЭР т.73, № 11, 1985 г., стр. 19-61.
3. Рылов А.С., Сапронович И.З., Францкевич А.В. Система автоматической верификации голоса говорящего. Тез. докладов международной конференции "Информатизация правоохранительных систем". Москва, июль, 1995 г.

УДК 681.3

## **АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ СИМВОЛОВ НА ОСНОВЕ КОЛЬЦЕВЫХ И СЕКТОРНЫХ МОМЕНТНЫХ ФУНКЦИЙ**

*Садыхов Р.Х., Муравин А.Л.*

*Институт технической кибернетики НАН Беларуси*

Задача распознавания рукописных символов является частным случаем более общей задачи - задачи распознавания графических образов. Основными методами решения поставленных задач являются методы цифровой обработки сигналов (ЦОС).



Спектральные коэффициенты, найденные в результате того или иного двумерного преобразования (Фурье, Адамара, Хаара, Хартли и др.), определяют веса базисных изображений (двумерных базисных функций), соответствующих этому преобразованию, при которых взвешенная сумма базисных функций идентична изображению. Можно считать, что эти коэффициенты показывают степень корреляции соответствующих базисных функций с изображением. В экспериментах, описанных ниже в данной работе, применялись преобразования Фурье и Хаара.

Количество спектральных коэффициентов, получаемых в результате выполнения спектрального преобразования, которые используются как информативные признаки распознаваемого изображения, достаточно велико. Поэтому с целью сокращения вычислительных затрат возникает необходимость решения задачи уменьшения размерности вектора информативных признаков, при этом вероятность правильного распознавания изображений по возможности не должна снижаться.

Попытаемся сократить размерность признаков, получаемых в результате преобразования Фурье. Известно [1], что преобразование Фурье обеспечивает инвариантность амплитудного спектра определяемого выражением (1) к циклическому сдвигу исходного сигнала, т.е. она не изменяется, если начало координат на исходном изображении сдвигается.

$$M(\omega_x, \omega_y) = |X(\omega_x, \omega_y)|^2, \quad (1)$$

где  $X(\omega_x, \omega_y)$  - спектральные коэффициенты Фурье.

В качестве результирующих информативных признаков предлагается использовать кольцевые и секторные моментные функции, определяемые [2] соотношениями (2) и (3).

$$S_r(m) = \int_{\rho(m)}^{\rho(m+1)} M(\rho, \Theta) d\rho, \quad (2)$$

#### 4. Распознавание образов и анализ изображений

$$S_s(m) = \int_{\Theta(m)}^{\Theta(m+1)} M(\rho, \Theta) d\Theta, \quad (3)$$

где  $\Theta = \arctg \left( \frac{\omega_y}{\omega_x} \right)$  и  $\rho^2 = \omega_x^2 + \omega_y^2$ .

Секторные моментные функции  $S_s(m)$  инвариантны относительно сдвига и изменения масштаба исходного изображения. Кольцевые моментные функции  $S_r(m)$  инвариантны относительно сдвига и вращения.

Следует отметить, что преобразование Хаара не обладает свойством инвариантности спектра к циклическим сдвигам исходного сигнала, но с помощью описанных моментных функций получаем инвариантность относительно вращения и масштабирования.

Ниже описана методика проведенных экспериментов по распознаванию рукописных символов на основании описанного выше метода и представлены полученные результаты.

В качестве исходных данных использовалось множество из 100 рукописных символов от "0" до "9" размерности 64x64 точки. В этом множестве присутствовало по 10 вариантов написания каждого символа. Изображения символов были получены путем оцифровки написанных разными людьми цифр с последующим преобразованием их в бинарный формат изображения.

В качестве информативных признаков распознаваемых объектов использовались кольцевые и секторные моментные функции.

Сначала на основе исходных изображений генерировались эталоны десяти классов путем вычисления среднего арифметического значений моментов 10 представителей класса по каждому моменту. Принятие

решения осуществлялось по методу минимального расстояния, которое вычислялось двумя разными способами :

1) как сумма модулей отклонений от эталона (выражение (4));

2) как геометрическое расстояние (выражение (5)).

$$D_1 = \sum_{i=1}^N |A_i - B_i|, \quad (4)$$

$$D_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^N |A_i - B_i|^2}, \quad (5)$$

Анализируемое изображение относилось к тому классу, расстояние до эталона которого было минимальным.

Таблица 1. Результаты распознавания с применением для вычисления моментных функций коэффициентов преобразований Фурье и Хаара.

Количество моментов	Количество ошибок распознавания( пр.Фурье)		Количество ошибок распознавания( пр.Хаара)	
	Способ 1	Способ 2	Способ 1	Способ 2
2	55	56	66	62
4	50	51	60	60
8	37	39	45	45
16	33	34	34	37
32	31	30	27	33
64	23	26	15	28
128	18	17	11	19
256	9	12	4	14
512	5	11	5	9
1024	2	14	3	7
2048	2	12	3	5

#### 4. Распознавание образов и анализ изображений

Результаты распознавания, полученные с использованием преобразований Фурье и Хаара, приведены в табл.1, где указано количество ошибок распознавания.

В заключение отметим, что были получены относительно неплохие результаты, несмотря на то, что исходные изображения не подвергались практически никакой предобработке.

#### Литература :

1. Садыхов Р.Х., Чеголин П.М., Шмерко В.П. Методы и средства обработки сигналов в дискретных базисах. Минск. Наука и техника, 1987.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 1982. Т.1,2.

УДК 681.325

### **АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ОСНОВАННЫЙ НА ПРЕОБРАЗОВАНИИ ХАФА И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ**

*Вершок Д.А.*

*Институт технической кибернетики НАН Беларуси*

Выделение на изображении геометрических примитивов является одной из основных задач в области компьютерного видения. Преобразование Хафа (ПХ) [1] и его различные модификации известны как популярные методы решения этой задачи. ПХ успешно применяется для нахождения объектов, которые могут быть описаны аналитически и параметризованы. Суть его состоит в том, что в результате преобразования пиксел из пространства исходного изображения отображается в кривую в

некотором параметрическом пространстве. Это пространство организуется в виде массива-аккумулятора с дискретными накапливающими ячейками. Ячейка содержит информацию о количестве кривых проходящих через нее. Таким образом, максимумы в массиве-аккумуляторе соответствуют определенным образом параметризованным объектам из пространства изображения. Ясно, что количество параметров, определяющих объект, задают мерность параметрического пространства.

В общем случае эллипс на плоскости можно описать уравнением

$$(((x-x_c)\cos Q-(y-y_c)\sin Q)/a)^2 + (((x-x_c)\sin Q+(y-y_c)\cos Q)/b)^2 = 1 \quad (1)$$

где  $x_c, y_c$  - координаты центра;  $a$  - большая ось;  $b$  - малая ось;  $Q$  - наклон большой оси относительно оси  $X$ .

Из (5) видно, что для выделения эллипса (определения параметров  $x_c, y_c, a, b, Q$ ) по методу Хафа [2] необходимо строить 5-и мерный массив-аккумулятор. Такой подход неприемлем в первую очередь из-за повышенных требований к памяти. Например, если разбить каждый параметр на  $n$  интервалов, то для хранения массива-аккумулятора необходимо  $n^5$  ячеек (при  $n=32$  это составит 32Mb). Поэтому предлагается алгоритм выделения эллипсов на основе ПХ, но состоящий из двух этапов: 1) определение центра эллипса, 2) определение параметров  $a, b, Q$ .

## 1. Алгоритм

Для определения центра предлагается алгоритм, учитывающий геометрические особенности эллипса. А именно то, что его центр расположен на прямой, проходящей через точку ( $r$ ) пересечения касательных к любым двум точкам  $x_1, x_2$ , принадлежащим эллипсу и их среднюю точку  $x_3$  (рис.1).

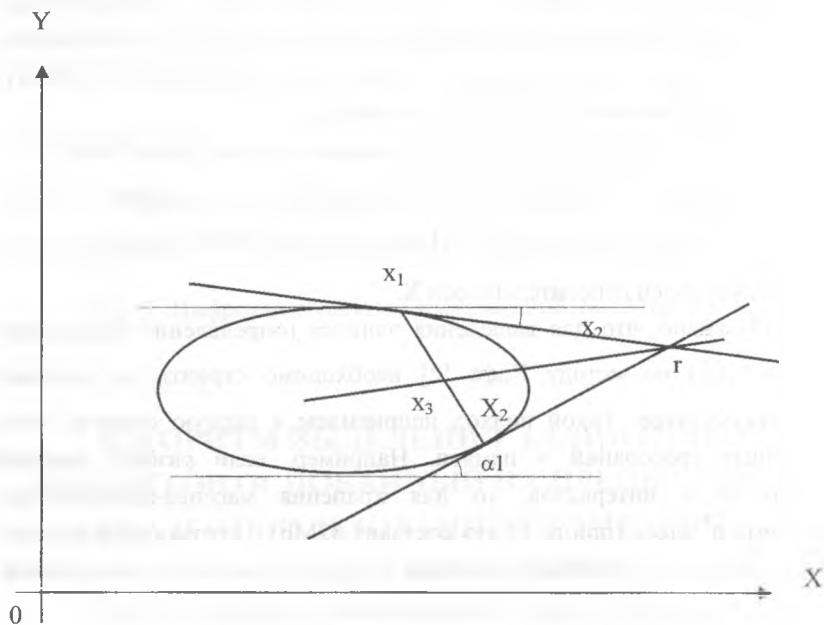


Рис. 1 Определение центра эллипса.

Вначале определяются направления касательных в двух предполагаемых точках эллипса. Для этого проводится локальный анализ изображения в окне размером  $3 \times 3$  пиксела. Направления задаются углами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  относительно оси X рис.1. Координаты точки  $r$  определяются из следующих соотношений.

$$\left. \begin{aligned} r_x &= \frac{y_1 + \alpha_1 x_2 - y_2 + \alpha_1 x_1}{\alpha_2 - \alpha_1} \\ r_y &= y_1 + \alpha_2 (x_1 - x_2) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $x_1, y_1$  - координаты точки  $x_1$ ;  $x_2, y_2$  - координаты точки  $x_2$ .

Далее для определения параметров  $x_c, y_c$  используется одномерное ПХ с построением массива аккумулятора в пространстве X,Y. Для этого, опишем прямую, проходящую через центр эллипса, уравнением прямой по двум точкам ( $r$  и  $x_3$ ) и преобразуем это уравнение к виду (3),

$$y_c = \frac{x_c - r_x}{x_3 - r_x} (y_3 - r_y) + r_y \quad (3)$$

где  $x_3, y_3$  - координаты точки  $x_3$ ;  $x_c, y_c$  - координаты центра.

Последовательно изменяя  $x_c$ , вычисляем значение  $y_c$ . Приведенная последовательность действий проводится для всех пар точек в исходном изображении. Максимум в массиве накопителе определяет координаты  $x_c, y_c$  центра искомого эллипса.

Оставшиеся три параметра могут быть определены напрямую из уравнения (4), которое описывает эллипс, перемещенный в центр координат (для каждой точки необходимо выполнить преобразование сдвига с учетом  $x_c, y_c$ ).

$$((x \cos Q - y \sin Q / a)^2 + ((x \sin Q + y \cos Q) / b)^2 = 1, \quad (4)$$

Однако в этом случае преобразование Хафа требует создание массива аккумулятора размером  $n^3$  байт. Поэтому на этом этапе применяется подход подобный описанному в [3]. Для этого уравнение (4) умножим на

$a^2$ :

$$(x \cos Q - y \sin Q)^2 + ((x \sin Q + y \cos Q)(a/b))^2 = a^2, \quad (5)$$

положим  $h = a/b$  и, продифференцировав (5) получим:

$$2(x \cos Q - y \sin Q)(x \cos Q - y \sin Q) + 2h^2(\sin Q + y' \cos Q)(x \sin Q + y \cos Q) = 0 \quad (6)$$

здесь  $y' = \frac{dy}{dx}$  определяется из результатов локального анализа в точке

$x, y$ .

Из (6) находится выражение для параметра  $h^2$  в терминах параметра  $Q$ . Применяя затем двумерное ПХ, получим массив-аккумулятор для параметров  $h^2$  и  $Q$ . Максимумы в нем и определяют эти параметры. Параметр  $a^2$  определяется применением одномерного ПХ к выражению (5). Найденные 5 параметров полностью определяют эллипс в исходном изображении.

В предложенном алгоритме используются ПХ размерностью не выше двух, что позволяет значительно снизить требования к памяти и упростить вычисления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. P.V.C. Hough "Method and Means for Recognition Complex Patterns", U.S. Patent 3069654 (December 18, 1962).
2. H.K. Yuen, J. Illinworth and J. Kittler, "Detecting partially occluded ellipses using the Hough transform", Image and Computer Vision, Vol.7, no. 1, pp.31-37, February 1989.
3. A.S. Aguado, M.S. Nixon "A new Hough Transform Mapping for Ellipse Detection", Image, Speech and Intelligent systems 1995, no 6, <http://www.ecs.soton.ac.uk/publications/rj95/isis/asag97/albrj.htm>



УДК 681.3

## БЫСТРЫЙ АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ МОМЕНТОВ ДВУМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Селингер М. Л.*

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники*

### Введение

Как известно, изображение может быть однозначно определено его геометрическими моментами всех порядков [1]. Момент порядка  $(K, L)$  изображения определяется как

$$m_{KL} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M i^K j^L x_{ij}, \quad (1)$$

где  $x_{ij}$  — действительная величина, представляющая собой уровень серого, или двоичное значение пиксела с координатами  $(i, j)$ , размер изображения определяется как  $NM$ .

Для вычисления геометрических моментов двумерных изображений по прямой формуле требуется значительное количество операций умножения и сложения, на выполнение которых тратится много времени. В тоже время во многих приложениях, особенно при проведении распознавания в реальном времени, скорость вычислений играет очень важную роль. Поэтому стоит задача отыскания быстрых алгоритмов вычисления моментов.

## 1. Постановка задачи

Существенного ускорения при выполнении вычислений позволяет достигнуть использование так называемого рекурсивного алгоритма [2, 3, 4]. Он основывается на том факте, что вычисление моментов двумерного изображения идет сначала по столбцам изображения, а затем по его строкам, как показано ниже:

$$m_{KL} = \sum_{i=1}^N i^K \sum_{j=1}^M j^L x_{ij} = \sum_{i=1}^N i^K S_{iL}. \quad (2)$$

Можно показать, что

$$\begin{aligned} j &\equiv (j-1) + 1, \\ j^2 &\equiv (j-1)^2 + (j-1) + j, \\ j^3 &\equiv (j-1)^3 + j^2 + j^2 + (j-1)^2 - j. \end{aligned}$$

В общем виде получим следующее рекуррентное соотношение:

$$J_p \equiv j^p \equiv (j-1)J_{p-1} + j^{p-1}. \quad (3)$$

В результате при проведении вычислений можно исключить операцию умножения:

$$\begin{aligned} S_{i0}(j) &:= S_{i0}(j-1) + x_{ij}(j), \\ S_{i1}(j) &:= S_{i1}(j-1) + S_{i0}(j), \\ S_{i2}(j) &:= S_{i2}(j-1) + S_{i1}(j-1) + S_{i1}(j), \\ S_{i3}(j) &:= S_{i3}(j-1) + S_{i2}(j-1) + S_{i2}(j) + S_{i2}(j) - S_{i1}(j). \end{aligned}$$

После того, как будут вычислены горизонтальные моменты  $S_{iL}$ , на их основе вычисляются вертикальные по такому же принципу.

Центральные моменты изображения имеют вид:

$$\mu_{KL} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (i - i_0)^K (j - j_0)^L x_{ij}, \quad (4)$$

где  $(i_0, j_0)$  — центр масс изображения. Они более приспособлены для проведения распознавания, поскольку обладают инвариантностью к сдвигу объекта. Центральные моменты можно получать из геометрических путем математических преобразований, однако это требует значительных затрат времени. В связи с этим возникает вопрос получения быстрого способа их вычисления.

## 2. Быстрый алгоритм для центральных моментов

Поскольку анализ реальных изображений показал, что координаты центра масс оказываются целыми крайне редко, возникает необходимость в корректировке исходного изображения. Предположим, что края изображения не содержат единичных пикселей. Масса объекта  $MM$  на изображении и его центр масс  $(i_0, j_0)$  определяются через геометрические моменты изображения:

$$MM = m_{00}; \quad i_0 = m_{10}/m_{00}; \quad j_0 = m_{01}/m_{00}.$$

Проводя округление величины  $i_0$ , мы сдвигаем  $m_{10} - m_{00} * [(int)i_0]$  единичных пикселей изображения вверх или  $m_{00} * [(int)i_0 + 1] - m_{10}$  вниз (в зависимости от результатов округления). Сдвиг пикселей осуществляется при прохождении изображения по столбцам. Аналогичные операции проводятся для приведения  $j_0$  к целой величине, только сдвиг производится влево или вправо при прохождении изображения по строкам.

Теперь попробуем получить рекурсивный алгоритм вычисления центральных моментов. Преобразуя выражение (4), имеем:

$$\sum_{i=1}^N (i - i_0)^K \sum_{j=1}^M (j - j_0)^L x_{ij} = \sum_{i=1}^N (i - i_0)^K C_{iL}, \quad (5)$$

где  $C_{iL} = \sum_{j=1}^M (j - j_0)^L x_{ij}$ .

#### 4. Распознавание образов и анализ изображений

Тогда

$$C_{iL} = \sum_{j=1}^{j_0-1} (j-j_0)^L x_{ij} + \sum_{j=j_0+1}^M (j-j_0)^L x_{ij} + x_{ij_0} = \\ \sum_{j=1}^{M-j_0} j^L x_{i(j_0+j)} + \sum_{j=1}^{j_0-1} (-j)^L x_{i(j_0-j)} + x_{ij_0}. \quad (6)$$

Отсюда видно, что каждое из слагаемых в формуле (6) можно вычислять с использованием рекурсивного алгоритма, учитывая, что при

четном  $L$   $\sum_{j=1}^{j_0-1} (-j)^L x_{i(j_0-j)} = \sum_{j=1}^{j_0-1} j^L x_{i(j_0-j)}$ , а при нечетном:

$$\sum_{j=1}^{j_0-1} (-j)^L x_{i(j_0-j)} = - \sum_{j=1}^{j_0-1} j^L x_{i(j_0-j)}.$$

После вычисления горизонтальных центральных моментов аналогичным образом вычисляются вертикальные. Можно заметить при этом, что по сравнению с рассмотренным ранее рекурсивным алгоритмом для геометрических моментов, предложенный алгоритм работает быстрее за счет уменьшения количества итераций при суммировании на одну.

### Заключение

Таким образом, удалось получить быстрый алгоритм вычисления центральных моментов изображений, обладающий более высокой производительностью. Предварительно осуществляется корректировка изображения с тем, чтобы привести координаты его центра масс к целым значениям. Затем используется описанная выше модификация рекурсивного алгоритма.

## Литература

1. Hu, M. K. Visual pattern recognition by moments invariants. *IRE Trans. Inform. Theory* **IT-8**: 179-187, 1962.
2. Chen, K. Efficient parallel algorithms for the computation of two-dimensional image moments. *Pattern Recognition*, Vol. 23, No. 1/2, pp.109-119, 1990.
3. Budrikis, Z. L.; Hatamian, M. Moment calculations by digital filters. *AT&T Bell Lab. tech. J.* **63**: 217-229, 1984.
4. Hatamian, M. A real time two-dimensional moment generating algorithm and its single chip implementation. *IEEE Trans. Acoust. Speed Signal Process.* ASSP-34: 546-553, 1986.

## РАСПОЗНАВАНИЕ НЕИЗВЕСТНОЙ СТРУКТУРЫ СОЕДИНЕНИЙ

*Шуть В. Н. Головко В. А.*

*Брестский политехнический институт*

В последнее время в связи с распространением рыночных отношений в экономике появилась проблема распознавания неизвестной структуры соединений и логических функций интегральных микросхем (ИМС) в платах электроники станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и другой электронной техники. Засекречивание разработок тормозит их широкому внедрению в народное хозяйство.

Впервые этот вопрос исследован в работе [1]. В данной работе ставится и решается задача определения связности дерева соединений при известной и неизвестной его структуре. Особым требованием является минимальность числа используемых тестов.

#### 4. Распознавание образов и анализ изображений

Знание структуры дерева соединений позволяет существенно сократить число контрольных тестов и, следовательно, уменьшить время контроля.

Рассмотрим цепь с неизвестной структурой соединений, содержащую  $K$  внешних вершин  $P_1, P_2, \dots, P_K$ . При испытании на обрыв наблюдению доступны только внешние вершины. Внутренняя организация соединений соответствует простой древовидной структуре. Для обнаружения обрывов достаточно провести  $K - 1$  проверку. Например, достаточно убедиться, что нет обрывов в каждой паре  $(P_H, P_1), \dots, (P_H, P_K)$ , где  $P_H$  - полюс, относительно которого производится проверка ( начальная точка)  $P_H \in \{P_1, P_2, \dots, P_K\}$ . Количество испытаний на обнаружение всех обрывов в цепи с  $K$  полюсами не может быть меньше  $K - 1$ .

Действительно, включение в какой-нибудь более двух клемм не позволит сделать заключение об отсутствии обрыва между полюсами хотя бы одной пары, участвующей в данной проверке. Поэтому для обнаружения всех обрывов в рассматриваемой цепи необходимо и достаточно  $T_H$  проверок [2], где

$$T_H = K - 1 \quad (1)$$

Покажем, что этого числа проверок достаточно для обнаружения любого обрыва или комбинации обрывов. Предположим, после проведения  $T_H$  проверок осталось ребро либо простой путь не проверенными. Обозначим концы ребра ( пути ) через  $b_i$  и  $b_j$ . По ребрам инцидентным вершинам  $b_i$  и  $b_j$  проходят пути  $R_i$  и  $R_j$ , которые соединяют начальную точку  $P_H$  с вершинами  $P_i$  и  $P_j$  соответственно. Сегмент ( часть ) простого пути  $R_i$ , соединяющего  $P_H$  и  $P_i$ , ребро ( путь )  $b_i b_j$  и сегмент пути  $R_j$ , соединяющий вершину  $b_j$  с полюсом  $P_H$ , образуют цикл. Это противоречит определению дерева, как ациклического графа [3]. Значит  $T_H$  проверок достаточно для обнаружения любого обрыва.

Покажем, что наибольшее число путей, соединяющих данный полюс  $P_H$  со всеми остальными полюсами при проведении  $T_H$  проверок, проходит через центр тяжести дерева.

Определение 1. Смежными поддеревьями по вершине  $u \in T$  дерева  $T$  называется совокупностью максимально возможных связанных поддеревьев  $T_1^u, \dots, T_i^u, \dots, T_n^u$ , содержащих вершину  $u \in T$  в качестве висячей.

Ясно, что  $\bigcup_{i=1}^{i=n} T_i^u \subset T$ , где  $n = \text{deg } u$  (степень вершины  $u$ ).

Действительно, если некоторое поддерево  $T_K \in T$  не входит в совокупность смежных поддеревьев, то возможно два варианта:

1. Поддерево  $T_K$  содержит вершину  $u$  в качестве висячей, но не является максимальным поддеревом;
2. Поддерево  $T_K$  не содержит вершину  $u$  в качестве висячей.

В первом случае включая последовательно в поддерево  $T_K$  вершины, связанная с  $T_K$ , получим максимально возможное связанное поддерево. Второй вариант сводится к первому, так как последовательно подключенные вершины и ребра являются не чем иным, как поддеревьями  $T_K$ , не содержащими вершины  $u$ . Так что любое поддерево  $T_K \in T$  в процессе этой процедуры будет включено в одно из поддеревьев совокупности смежных поддеревьев.

Непосредственно из определения 1 следует

$$|T_1^u| + \dots + |T_i^u| + \dots + |T_H^u| = K, \quad (2)$$

где  $|T_i^u|$  означает число внешних вершин смежного поддерева  $T_i^u$  без вершины  $u$ , по которой выполнена разложение.

На дереве  $T$  выполняется следующее отношение между смежными поддеревьями по двум различным вершинам  $u, v \in T$ .

Теорема 1. Все смежные поддеревья кроме одного  $T_i^u$  по одной вершине  $u \in T$  дерева  $T$  покрываются одним смежным поддеревом  $T_j^v$  по другой вершине  $v \in T_i^u$ :

$$T_1^u, \dots, \overline{T_i^u}, \dots, T_n^u \subset T_j^v, v \in T_i^u, n = \text{deg } u, i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Аналогично для разложения на смежные поддеревья по вершине  $v$ :

$$T_1^v, \dots, \overline{T_i^v}, \dots, T_m^v \subset T_j^u, u \in T_j^v, m = \text{deg } v, j = \overline{1, m} \quad (4)$$

Ряд доказанных в работе теорем позволяет утверждать, что минимальное число тестов для установления структуры неизвестных соединений получается только в том случае, если каждая единичная проверка включает в себя центроид дерева соединений.

УДК621.397

## СЖАТИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ РУКОПИСНЫХ СИМВОЛОВ НА ОСНОВЕ КЛЕТОЧНОЙ ЛОГИКИ

*Одинец Д.Н.*

*Военная академия республики Беларусь*

Основной проблемой систем распознавания рукописных символов является определение сходства различных вариантов образов одного класса. Непостоянная толщина линий, произвольные размер и наклон отдельных фрагментов символов и изображения в целом порождают бесконечное множество инвариантов одного образа. Это является принципиальной трудностью построения классификаторов и собственно распознавания, как задачи кибернетики.

Для ограничения этого множества служит этап предварительной обработки изображений, который обычно включает процедуры фильтрации, сегментации, скелетизации, аппроксимации. Однако скелет



или остов еще в значительной степени содержит уникальные черты исходного изображения символа и поэтому требует дальнейшей обработки в направлении выделения информативных признаков и уменьшения размерности входных данных (сжатия)[1].

Критерий сжатия в данном случае—сохранение сходства сжатого и исходного изображений, но в то же время должны уменьшаться различия между разными образами одного класса. Предлагаемый ниже метод позволяет решить эту проблему и может быть использован в системах структурного и статистического распознавания.

Применение клеточной логики является перспективным направлением обработки информации о структуре изображений ввиду реальных перспектив реализации клеточных автоматов (КА) на СБИС. К КА обычно относят однородные вычислительные структуры с регулярными локальными связями между элементами. Каждый элемент (клетка) вычисляет значение своего нового состояния по состояниям своих ближайших соседей [2,3].

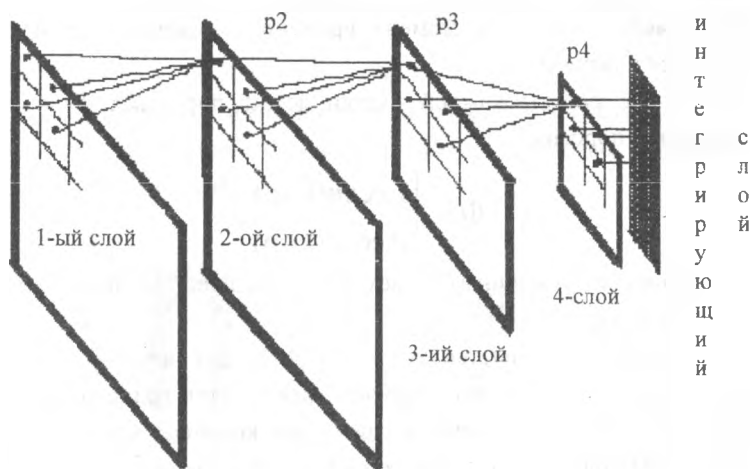


Рис. 1

#### 4. Распознавание образов и анализ изображений

Предлагаемая модель КА имеет многоуровневую структуру и представлена на Рис.1. В общем случае число уровней (слоев) может быть произвольным, а в рассматриваемом примере для наглядности ограничено четырьмя слоями. Каждый слой это регулярная матрица клеток. От уровня к уровню клетки соединены в тетрадные деревья. Клетки интегрирующего (верхнего) слоя образуют восьмисвязную решетку. Древоподобная топология позволяет последовательно, от слоя к слою, сокращать объем обрабатываемых данных без потери информации о структуре изображения. Восьмисвязная решетка на интегрирующем слое позволяет реализовать операции клеточной логики[3].

Изображение заносится в первый уровень клеточного автомата и хранится там в течение всего процесса обработки данного символа. На последующих уровнях формируется множество образов, из которых составляется идеализированное изображение в самом верхнем интегрирующем слое. Таким образом, многоуровневая модель структуры клеточного автомата позволяет оперировать не с элементами изображения, а с образами. При этом постоянно имеется возможность сопоставить образ, формируемый в текущий момент времени с реальным изображением, хранящемся в первом слое.

В основе работы каждой клетки лежит пороговая функция  $\Phi$  с управляемым порогом:

$$\Phi = \begin{cases} 1, \text{если } (k \leq p) \\ 0, \text{если } (k < p) \end{cases} \quad (1),$$

где  $k$ —число возбужденных элементов предшествующего уровня,  $p$ —управляемый порог.

Значение  $p$  изменяется от 1 до 4 и для клеток каждого слоя устанавливается независимо, причем все клетки одного слоя имеют одинаковый порог. Это позволяет получать конечное множество порогов на различных слоях модели и тем самым формировать множество из  $N$  промежуточных образов:

$$N = (p_{\max})^{n-1},$$

где  $p_{\max}$  — максимальное значение порога,  $n$  — число уровней.

Процедура формирования изображения в интегрирующем слое выполняется по следующему алгоритму.

П.1. Определить очередную комбинацию порогов. Для клеточного автомата (Рис.1) возможны  $4^3=64$  комбинации порогов.

П.2. Вычислить логические состояния элементов верхнего слоя.

П.3. Отселектировать и записать в интегрирующий слой участки пикселей, удовлетворяющие маске (Рис.2).

П.4. Пометить и исключить из обработки пиксели, соответствующие маске.

П.5. Проверить условия окончания перебора всех комбинаций и принять решение о переходе к П.1 или П.6.

П.6. Выдать интегральный образ в память управляющей ЭВМ.

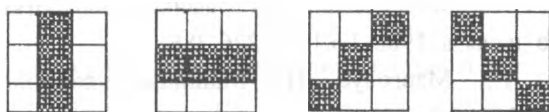


Рис.2

В результате в интегрирующем слое формируется сжатый образ (Рис.3), который имеет максимальное количество информативных признаков исходного изображения.

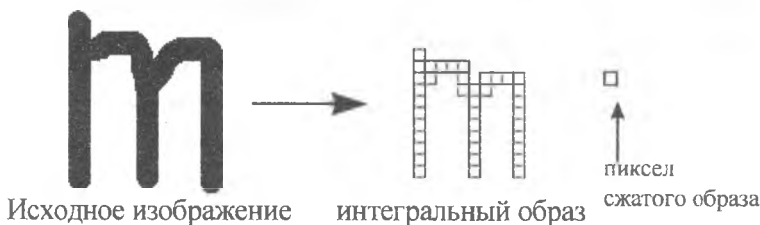


Рис.3

### **Заключение**

Предложенный метод совмещает операции скелетизации и аппроксимации в одном алгоритме. При формировании информативных участков использованы логические, а не арифметические критерии. В результате метод обладает меньшими вычислительными затратами, и как следствие предполагает более простую алгоритмическую реализацию. При этом качество предварительной обработки сравнимо с известными методами[1,4].

Ориентированный на аппаратную реализацию клеточным автоматом метод сжатия бинарных изображений формализован и промоделирован на ПЭВМ.

### **Литература:**

1. Павлидис.Т Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. М.: Радио и связь, 1986, Гл.12.,с. 226-286.
2. Тоффоли Т., Марголюс Н. Машины клеточных автоматов. М.:Мир,1991,Гл.1-2.,с.10-46.
3. Одинец Д.Н. , Татур М.М.// VII Белорусская математическая конференция. Минск, Беларусь; Тезисы докладов. 1996. Часть 3.С.136-137.
4. Kumskov M., Golenkov V.// Fourtf Internetal Conference on Pattern Recognition and Information Processing.Minsk, Belarus;1997.Vol..2.P.204-208.

УДК 681.323:519.246

## **КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ СИМВОЛОВ**

*Калабухов Е.В.*

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники,*

### **Введение**

Задача off-line распознавания рукописных символов представляется на сегодняшний момент как одна из актуальных, так и наиболее трудных в решении в связи с разнообразием стилей письма. В данной статье предлагается концепция построения системы распознавания, использующей структурный классификатор образов и клеточный автомат (КА). В системе можно выделить два основных этапа: предварительная обработка изображения и классификация. Используемый классификатор базируется на рассмотрении исходного изображения как совокупности отрезков прямых (векторов), соединенных друг с другом под определенными углами [2,3]. Такое представление изображения можно выразить с помощью ненаправленного графа изображения, в котором дуги соответствуют отрезкам прямых, а вершины - точкам соединения этих прямых. При этом вершины графа сохраняют координаты точек соединения для возможности использования в дальнейшем таких пространственных признаков, как длина отрезков, углы между отрезками и т.п. Поэтому задачей этапа предварительной обработки будет описание изображения графом.

### 1. Предварительная обработка

Этапы предварительной обработки:

1. преобразование многоградационного входного изображения в черно-белое по определенному порогу (thresholding);
2. фильтрация;
3. утоньшение;
4. получение предварительного графа изображения;
5. получение окончательного графа изображения.

На первом этапе исключается лишняя информация и упрощается дальнейшая обработка изображения. На этапе фильтрации уменьшается искаженность изображения различного рода шумами, возникшими на этапах формирования (неинформационные штрихи, пятна, кляксы) и ввода-преобразования изображения [4,6]. Утоньшение - циклическое уменьшение ширины объекта до единичной без изменения формы [4,6]; на данном этапе исключается из рассмотрения ширина символа, возникающая при использовании различных инструментов письма. Получение предварительного графа утоньщенного изображения представляет собой переход от графического представления данных к более сжатому математическому описанию. Пятым этапом предварительной обработки является получение окончательного графа изображения из предварительного. При этом устраняются такие недостатки как небольшие перешейки, шумовые шпоры («хвостики»), проводится аппроксимация ломаных с целью уменьшения числа вершин графа. Все это необходимо чтобы повысить достоверность распознавания, упростить набор символов для обучения классификатора, повысить производительность системы распознавания.

Использование последовательных алгоритмов для выполнения этапов 2-4 значительно снижает общую производительность системы распознавания, так как приводит к существенным затратам времени на обмен с памятью. В настоящее время предложено множество быстрых

алгоритмов фильтрации, утоньшения и т.п., использующих операции клеточной логики и выполнимых на КА [4]. Основными достоинствами применения КА являются параллельная обработка данных, снижение потоков данных в системе, возможность ввода новых быстрых алгоритмов предобработки в систему.

Выполнение выше описанной предобработки выделяет максимум структурной информации о символе.

## 2. Сегментация и классификация

Под сегментацией будем понимать выделение графов символов из полученного на этапе предобработки общего графа изображения. В простейшем случае, когда символы написаны отдельно, задача сегментации сводится к задаче выделения связанных подграфов из общего графа изображения. В случае слитного написания символов необходимо учитывать их размеры и связующие элементы, что сильно затрудняет процессы сегментации и классификации.

Выбор структурного классификатора обусловлен устойчивостью классификаторов данного типа к таким основным искажениям как вариации наклона, растяжение-сжатие, поворот и т.п. [7]. Данным классификатором создается описание графа символа с помощью последовательности четырех множеств примитивов. При этом имеется легко расширяемая база данных, содержащая описания классов. Для каждого распознаваемого объекта строится описание, которое затем ищется в базе данных. Если найдено совпадение, то символ распознается, в противном случае существует возможность добавить описание символа в базу, создав тем самым новый класс.

### Заключение

Используя выше изложенную концепцию, была построена модель системы распознавания рукописных символов. В качестве алгоритмов фильтрации применены модифицированные алгоритмы [6], утоньшения - [1], получения графа скелета изображения - [5], классификатора - модифицированный способ описания символа [2,3]. Результаты верного распознавания: при специальном обучении на конкретный почерк - ~95%, смешанное обучение - ~88%. Время работы не оценивалось в связи с использованием на этапе предобработки моделирования алгоритмов КА в однопроцессорной среде. В дальнейшем планируется улучшить классификатор системы, отработать алгоритмы сегментации; рассматривается возможность создания специализированной аппаратуры предобработки изображения.

### Литература

1. Naccache N.J., Shinghal R. SPTA: a proposed algorithm for thinning binary patterns. - IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1984, Vol. SMC-14, No. 3, pp. 409-418.
2. Nishida H. Structural feature extraction using multiple bases. - Computer Vision and Image Understanding, 1995, Vol. 62, No. 1, pp. 78-89.
3. Nishida H., Mori S. An algebraic approach to automatic construction of structural models. - IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, Vol. 15, No. 12, pp. 1298-1311.
4. Престон К., Дафф М. Дж. Б., Левьяльди С. и др. Основы клеточной логики с приложениями к обработке изображений в медицине // ТИИЭР. - 1979. - Т. 67. - № 5. - С. 149-185.
5. Садыхов Р.Х., Калабухов Е.В. Алгоритм формирования графа скелета изображения на клеточном автомате: Мат. 2-й междунар. конф. «Автоматизация проектирования дискретных систем» (12-14 ноября



- 1997г., Минск. - Том 2). - Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 1997. - С.160-167.
6. Фу К. Робототехника: пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 620 с.
  7. Фу К. Структурные методы в распознавании образов - М.: Мир, 1977.

УДК 681.323:519.246

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И УСТРАНЕНИЕ РАЗРЫВОВ В ЗАДАЧАХ СТРУКТУРНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ СИМВОЛОВ**

*Маленко О.Г.*

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники*

### **Введение**

Структурные методы обладают большим потенциалом при распознавании рукописных символов, так как позволяют строить классификаторы нечувствительные к таким часто встречающимся искажениям рукописных символов, как наклон, растяжение-сжатие, поворот [1,2]. Обычно при этом используют предварительную обработку с целью получения графа с помощью классических операций скелетизации и аппроксимации [3,4]. Задачей скелетизации является описание изображения тонкими линиями (для преобразования его в граф), а аппроксимация должна свести число этих линий к минимуму. Кроме того, необходимо также устранить из изображения незначимую информацию (мелкие штрихи, неровности и т.п.). К указанным проблемам необходимо добавить проблему устранения разрывов. Действительно, малозаметный разрыв на изображении символа приведет в процессе вышеописанной

#### 4. Распознавание образов и анализ изображений

обработки к графу, абсолютно не похожему на идеальный (например, к несвязному графу). Анализ такого графа машинным классификатором обречен на неудачу. В ряде работ ([5,6]), приводятся алгоритмы преобразования описания символа с разрывом таким образом, что он сходится к истинному классу. Однако применение данных алгоритмов в задачах распознавания сопряжено с большими вычислительными затратами. Поэтому актуальным представляется исследовать разрывы, характерные для рукописных символов, и разработать быстрый алгоритм их устранения.

### 1. Классификация разрывов

Любой разрыв представляет собой отсутствие соединения между двумя объектами, поэтому и классифицировать их следует в зависимости от типа этих объектов. Разрывы можно разделить на три класса:

Разрыв первого рода - разрыв между двумя конечными точками линий.

Разрыв второго рода - разрыв между конечной точкой линии и другой линией.

Разрыв третьего рода - разрыв между двумя линиями.

Эксперименты показывают, что наиболее вероятны разрывы первого и второго рода. Поэтому им следует уделить наибольшее внимание.

### 2. Устранение разрывов первого рода

Эти разрывы устраняются проще всего. Конечная точка линии в графе будет соответствовать вершине кратности 1. Поэтому надо рассчитать расстояния между всеми такими вершинами (число их в графе достаточно мало). При этом следует использовать квадрат расстояния, как наиболее быстро рассчитываемый по координатам вершин (без операции извлечения корня). Так квадрат расстояния между точками с координатами  $(x_1, y_1)$  и

$(x_2, y_2)$  будет равен  $(x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2$ . Таким образом разрывом первого рода можно назвать ситуацию, когда квадрат расстояния между двумя вершинами кратности 1 меньше  $P_1$ , где  $P_1$  - некоторая константа, зависящая от реализации. Разрыв первого рода устраняется путем добавления в граф ребра.

### 3. Устранение разрывов второго рода

Назовем разрывом второго рода ситуацию, когда квадрат расстояния между вершиной кратности 1 графа и ближайшей точкой некоторого ребра, не инцидентного вершине, меньше  $P_2$ . Очевидно, что сложность задачи нахождения такого разрыва гораздо выше. При этом основная проблема - определить ближайшую к вершине кратности 1 точку заданного ребра.

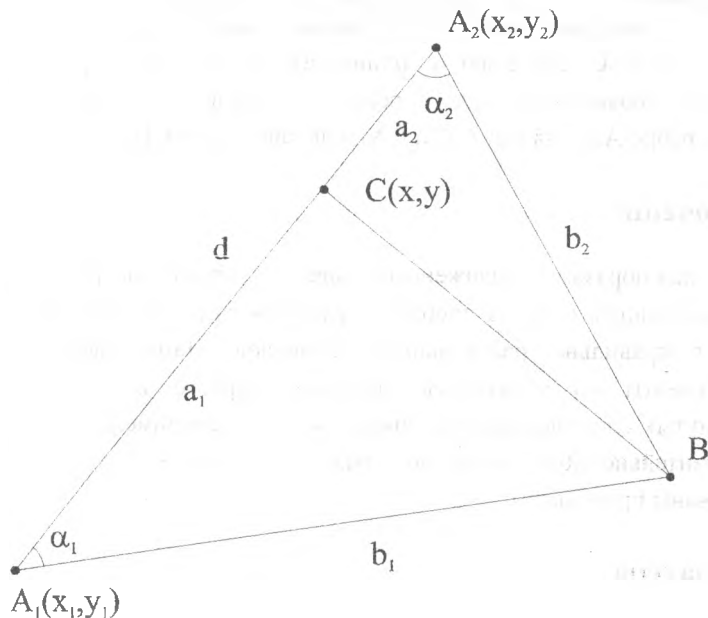


Рис. 1 Нахождение ближайшей точки

#### 4. Распознавание образов и анализ изображений

Пусть задано ребро  $A_1A_2$  (рис. 1) и есть точка  $B$ , не лежащая на нем. Требуется найти координаты  $x$  и  $y$  точки  $C$ , принадлежащей ребру и самой близкой к  $B$ . В том случае, если угол  $\alpha_1 \geq 90^\circ$ , то  $C=A_1$ . Если же  $\alpha_2 \geq 90^\circ$ , то  $C=A_2$ . Было получено:

$$C(x,y) = \begin{cases} A_1(x_1, y_1), & \text{if } d^2 - b_2^2 + b_1^2 \leq 0 \\ A_2(x_2, y_2), & \text{if } d^2 - b_1^2 + b_2^2 \leq 0 \\ \left( x = \frac{(z-1)x_2 + x_1}{z}, y = \frac{(z-1)y_2 + y_1}{z} \right), & \text{if } \begin{matrix} d^2 - b_2^2 + b_1^2 > 0 \text{ and} \\ d^2 - b_1^2 + b_2^2 > 0 \end{matrix} \end{cases}$$

Таким образом определяется ближайшая точка, и если квадрат расстояния  $BC$  меньше некоторой константы  $P_2$ , можно говорить о наличии разрыва. В случае, когда  $C$  совпадает с одним из концов ребра разрыв можно устранить добавлением нового ребра. В противном случае необходимо разбить ребро  $A_1A_2$  на два  $A_1C$  и  $CA_2$  и добавить ребро  $BC$ .

### Заключение

Таким образом предложенный подход к устранению разрывов может частично решить одну из проблем структурного распознавания, увеличив процент правильно распознанных символов. Нами были проведены эксперименты по устранению разрывов первого и второго рода в отвергнутых классификатором символах. Эти эксперименты показали, что приблизительно 80% символов с разрывом после его устранения были распознаны правильно.

### Литература

1. К.С.Фу. Структурные методы в распознавании образов -М.:Мир, 1977.

2. F. Ali and T. Pavlidis, Syntactic Recognition of Handwritten Numerals. IEEE Trans. Sys. Man and Cyber. vol. SMC-7, no. 7, July, 1977, p. 537-541.
3. Steven S. O. Choy, Clifford Sze-Tsan Choy, Wan-Chi Siu, New single-pass algorithm for parallel thinning, Computer Vision and Image Understanding, vol. 62, no. 1, July, 1995, p. 69-77.
4. Louisa Lam, Ching Y. Suen, An evaluation of parallel thinning algorithms for character recognition, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 17, no. 9, september 1995, p. 914-919.
5. H.Nishida and S.Mori, An algebraic approach to automatic construction of structural models, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. vol. 15, 1993, p. 1298-1311.
6. H.Nishida, Structural feature extraction using multiple bases, Comp. and Vision Image Underst. vol. 62, no. 1, July, 1995, p. 78-89.

## 5. ДИАГНОСТИКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

УДК 681.325.36

### АЛГОРИТМ ПОИСКА ЦЕЛЕВЫХ СИГНАЛОВ В ГЕНЕРАТОРЕ ТЕСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВРЕМЕННЫХ ДИАГРАММ

*Калоша Е.П., Грудовик К.В.*

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники*

Генерация тестов для последовательностных схем является сложной проблемой[1]. Об этом свидетельствует широкое распространение различных методов сканирования, сводящих задачу тестирования последовательностных схем к тестированию комбинационных.

Существует два основных подхода к построению тестов для цифровых схем: по таблицам состояний; посредством представления схемы в виде сети логических элементов. При использовании первого подхода моделируется граф состояний, нет привязки к конкретной реализации схемы. Ко второму относятся *d*-алгоритм[2], PODEM[3] и другие, разработанные для комбинационных схем и обладающие свойством переборности, т.е. при их помощи можно найти тест для неисправности, если он существует. Кроме того, имеется возможность привязки к конкретной реализации схемы (на уровне вентилей).

Первоначально тестирование последовательностных схем решалось адаптацией уже разработанных алгоритмов для комбинационных схем[1]. Полученные посредством адаптированных алгоритмов тесты могут рассматриваться только как кандидаты для исходной схемы и требуют верификации посредством моделирования.

Предложенный в [1] генератор тестов для асинхронных последовательностных схем основан на алгоритме PODEM с использованием временных диаграмм для представления состояний. Алгоритм обладает следующими достоинствами:

- схема сразу рассматривается как асинхронная последовательностная, учитываются временные задержки, а следовательно и побочные эффекты (гонки, генерации), поэтому не требуется верификация полученного теста;
- переборность и эффективность, достигаемая за счет направленного поиска PODEM-алгоритма.

В процессе работы алгоритма PODEM выбираются целевые сигналы в узлах схемы, которые необходимы для обнаружения неисправности и транспортировки сигнала различия между исправным и неисправным состоянием на выход схемы. Достижение целевого сигнала состоит из двух попарно повторяющихся шагов: выбор сигнала на входе схемы по определенным эвристикам и моделирование схемы для нового выбора.

В предлагаемом переборном алгоритме для асинхронных схем состояние схемы описывается временной диаграммой. Временная диаграмма представляет собой совокупность пар (*время, сигнал*), описывающих порядок изменения сигнала на выходе соответствующего узла схемы [1].

В классическом PODEM-алгоритме тестируемая схема представляется в виде сети комбинационных элементов типа И, ИЛИ, И-НЕ и др. В предлагаемом генераторе алгоритм выбора целевого сигнала дополнен правилами для новых элементов (триггеров, тристабильных элементов и др.) и обработки колец обратной связи [1]. В отличие от комбинационных, новые элементы имеют специализированные входы (например, в элементе памяти могут быть входы информационный, синхронизации, сброса). Кроме того, в процессе перемещения от целевого узла ко входам схемы следует двигаться не только в пространстве (по сети элементов), но и во времени (по тестовым векторам).

## 5. Диагностика вычислительной техники

Для достижения высокой эффективности работы алгоритма при разработке новых правил предлагается использовать следующие эвристики. Для сокращения длины теста производится попытка установить в первую очередь те входы, которые приводят к установке желаемого сигнала на текущем тестовом наборе. Например, в триггерах с установочными входами будет в первую очередь осуществлена попытка получить сигнал на них. Для сокращения затрат на моделирование производится попытка установить в первую очередь управляющие входы, например, входы синхронизации для триггера.

В качестве примера применения этих эвристик на рис. 1 приведена программа выбора целевого сигнала для D-триггера, синхронизируемого фронтом, с асинхронным входом сброса.

```
void УстановитьТриггер(узел n, сигнал s, время t){
    if(R[t]=='X'){
        if(s=='H') УстановитьВход(R,'L',t);
        else{
            УстановитьВход(R,'H',t);
            if(ЭлементУстановлен(n,t) return;
            УстановитьВход(R,'L',t);
        }
    }
    if(УстановленФронт(n,t){
        if(D[t-1]=='X') УстановитьВход(D,s,t-1);
        if(D[t]=='X') УстановитьВход(D,s,t);
    }else if(C[t-1]=='H' || C[t]=='L') УстановитьТриггер(n,s,t-1);
    else УстановитьФронт(n,t);
}
```

**Рис. 1.** Алгоритм выбора целевого сигнала для D-триггера. Обозначения: R[t] - значение входного сигнала в момент t; C, R, D - соответственно входы синхронизации, сброса, информационный; 'H', 'L', 'X' - соответственно сигналы высокого, низкого уровня и неустановленный.



В связи с тем, что предложенный алгоритм обрабатывает не только комбинационные элементы, обладающие симметричными входами, но и триггеры, используется две различные процедуры установки целевого сигнала. Вызов первой происходит при установке сигнала логического 0 или 1 на элементе, на входах которого неисправность не проявляется. Другая используется при установке выхода элемента, находящегося на  $d$ -границе, когда на одном из его входов различаются временные диаграммы “исправной” и “неисправной” схемы. На рис. 2 приведен пример такой процедуры для D-триггера.

```
void УстановитьТриггерНаDГранице(узел n, время t){
    if(R[t]=='X') УставитьВход(R,'L',t);
    else if(C[t-1]=='H' || C[t]=='L') УстановитьТриггерНаDГранице(n,t+1);
    else if(УстановленФронт(n,t){
        if(СущественноеРазличие(R)) УстановитьВход(D,'H',t);
        else if(СущественноеРазличие(C)){
            if(D[t]=='X'){
                УстановитьВход(D,'H',t);
                if(ЭлементУстановлен(n,t)) return;
                УстановитьВход(D,'L',t);
            }else if(D[t-1]=='X') УстановитьВход(D,D[t],t);
            else УставитьТриггер(n,Inv(D[t]),t-1);
        }
    }else УстановитьФронт(n,t);
}
```

Рис. 2. Алгоритм установки D-триггера на  $d$ -границе.

В статье предложен генератор тестов для асинхронных последовательностных схем. Описан алгоритм выбора входных сигналов схемы. Ряд предложенных эвристик обеспечивает его высокую эффективность.

## Литература

1. Е.П. Калоша, К.В. Грудовик. Генерация тестов для асинхронных последовательностных схем с использованием временных диаграмм //Автоматизация проектирования дискретных систем. Материалы II междунар. конф.- Мн.: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1997, с. 88-95.
2. J.P. Roth. Diagnosis of Automata Failures: A Calculus and a Method //IEEE Trans. Comput., v C-15, № 7, July 1966, pp.278-291.
3. P. Goel. An Implicit Enumeration to Generate Tests for Combinational Logic Circuits //IEEE Trans. Comput., v C-30, № 3, Mar. 1981, pp. 215-222.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ КОМПАКТНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

*Махнист Л. П.*

*Брестский политехнический институт*

Под достоверностью методов компактного тестирования понимается эффективность обнаружения ошибочных двоичных последовательностей в потоке сжимаемых данных. Для оценки этой характеристики методов сжатия могут использоваться различные подходы и методы [1]. В данной работе предлагается сравнительный анализ достоверности некоторых методов компактного тестирования, имеющих общую специфику построения.

Рассмотрим два метода компактного тестирования, один из которых построен на основе композиции метода счета единиц сжатия двоичной по-

следовательности и сигнатурного анализатора, порождаемого примитивным полиномом (Simultaneous Signature and Syndrome Compression - SSSC), второй - метод, получаемый композицией метода счета единиц и метода сжатия, порождаемого некоторой абелевой группой (Group Theoretic Signature Analysis - GTSA). Описание концепции и архитектуры методов GTSA и SSSC изложено, например, в [2] и [4], соответственно.

В основу сравнительного анализа достоверности методов SSSC и GTSA положен тот факт, что одна из частей результирующей сигнатуры, получаемая методом счета единиц, для обоих рассматриваемых методов совпадают. Поэтому достаточно произвести сравнение распределений величин:  $\max S_n(k)/C_n^k$  и  $\max G_n(k)/C_n^k$ , где  $S_n(k)$  - количество двоичных последовательностей, дающих фиксированную сигнатуру для сигнатурного анализатора, порождаемого примитивным полиномом,  $G_n(k)$  - соответствующая величина для функции сжатия данных, порождаемой некоторой абелевой группой (второй части метода GTSA), а  $k$  - вес выходной последовательности длины  $n$ , соответствующий одинаковым частям результирующей сигнатуры для обоих методов (максимум определяется по всем возможным сигнатурам, несовпадающих для данных методов, частям результирующих сигнатур).

Как показано, например в [4], величины  $S_n(k)$  можно вычислить на основе следующего утверждения.

**Теорема.** Количество двоичных последовательностей длины  $n=2^m-1$  веса  $k$ , иницирующих фиксированную сигнатуру, для сигнатурного анализатора, порождаемого примитивным полиномом, определяется следующими соотношениями:

$$S_n(k) = (C_n^k + (-1)^{[k/2]} C_{(n-1)/2}^{[k/2]} n) / (n+1), \quad (1)$$

для нулевой сигнатуры, и

$$S_n(k) = (C_n^k - (-1)^{[k/2]} C_{(n-1)/2}^{[k/2]}) / (n+1), \quad (2)$$

## 5. Диагностика вычислительной техники

для любой из ненулевых сигнатур, где  $C_n^k$  (число сочетаний из  $n$  по  $k$ ), а  $[a]$  ( $\lceil a \rceil$ ) обозначает наименьшее (наибольшее) целое число, не меньшее (не большее) действительного числа  $a$ .

Следовательно, при фиксированных значениях  $k$  и  $n$  величина  $S_n(k)$  может принимать только два значения, определяемые (1) или (2), хотя количество всевозможных сигнатур, инициируемых выходными последовательностями, равно  $2^m$ .

Вычислить максимум величины  $G_n(k)$  можно, используя следующий результат.

**Утверждение.** Максимально и минимально возможное количество двоичных последовательностей длины  $n=2^m-1$  веса  $k$ , инициирующих определенную фиксированную сигнатуру для метода GTSA, порождаемого некоторой абелевой группой, состоящую из двух частей одинаковой разрядности  $m$ , определяется формулами:

$$\begin{aligned} \max G_n(k) &= B_n(k), & \text{если } [k/2] - \text{нечетно, и} \\ \max G_n(k) &= B_n(k) + \max G_{(n-1)/2}(\lceil k/2 \rceil), & \text{если } [k/2] - \text{четно;} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \min G_n(k) &= B_n(k) - \max G_{(n-1)/2}(\lceil k/2 \rceil), & \text{если } [k/2] - \text{нечетно, и} \\ \min G_n(k) &= B_n(k), & \text{если } [k/2] - \text{четно,} \end{aligned} \quad (4)$$

с начальными условиями:

$$\max G_7(0) = \max G_7(1) = \max G_7(6) = \max G_7(7) = 1,$$

$$\max G_7(2) = \max G_7(5) = 3,$$

$$\max G_7(3) = \max G_7(4) = 5,$$

где  $B_n(k) = (C_n^k - (-1)^{\lceil k/2 \rceil} C_{(n-1)/2}^{\lceil k/2 \rceil}) / (n+1)$ , определяемое соотношением (2).

Анализ формул (1), (2), (3) и (4) позволяет не только определить при каких значениях  $k$  какая из верхних границ,  $\max S_n(k)/C_n^k$  или  $\max G_n(k)/C_n^k$ , меньше, но и каков разброс возможных значений  $S_n(k)/C_n^k$  и  $G_n(k)/C_n^k$  при фиксированном значении  $k$ . Это дает возможность судить об эффективности рассматриваемых методов.

**Пример.** Пусть  $m=3, 4$  ( $n=7, 15$ ). В таблицах 1, 2 приведены результаты программного моделирования для методов GTSA и SSSC при  $m=4, 3$  соответственно, где  $A_n(k)$  и  $B_n(k)$  - количество двоичных последовательностей

длины  $p=2^m-1$  веса  $k$ , инициирующих, соответственно, нулевую и ненулевую сигнатуру, для сигнатурного анализатора, порождаемого примитивным полиномом.

Таблица 1.

k	0	1	2	3	4	5	6	7
$C_n^k$	1	7	21	35	35	21	7	1
$\max G_n(k)$	1	1	3	5	5	3	1	1
$\min G_n(k)$	0	0	2	4	4	2	0	0
$B_n^k$	0	1	3	4	4	3	1	0
$A_n^k$	1	0	0	7	7	0	0	1

Таблица 2.

k	0	1	2	3	4	5	6	7
$C_n^k$	1	15	105	455	1365	3003	5005	6435
$\max G_n(k)$	1	1	7	29	87	189	315	405
$\min G_n(k)$	0	0	6	28	84	186	310	400
$B_n^k$	0	1	7	28	84	189	315	400
$A_n^k$	1	0	0	35	105	168	280	435

Приводимые данные подтверждают возможность получения распределения величин  $S_n(k)$  и  $G_n(k)$ , используя соотношения (1) - (4).

Следует заметить, что было бы неверным утверждать, что более эффективным методом сжатия является метод, имеющий меньшую верхнюю границу по  $k$  множества  $\{\max(A_n(k), B_n(k))/C_n^k\}$  или множества  $\{\max(G_n(k)/C_n^k)\}$  соответственно. Более полная информация о достоверности рассматриваемых здесь методов содержится в распределении величин  $\max S_n(k)/C_n^k$  и  $\max G_n(k)/C_n^k$ .

## Литература

1. Ярмолик В. Н. Контроль и диагностика цифровых узлов ЭВМ. - Мн.: Наука и техника, 1988. - 240 с.

2. Bose B. Group Theoretic Signature Analysis // IEEE Trans. Comput. - Vol. 39, N11, 1990. pp. 1397-1403.
3. Demidenko S., Ivanyukovich A., Makhnist L., Piuri V. On the Binary Sequences with Indistinguishable Signature for a Given Error Multiplicity in Electronic Testing // Journal of The Institution of Engineers, Singapore, Vol. 35, No. 1 February 1995. - pp. 63-66.
4. Robinson J. P., Saxena N. R. Simultaneous Signature and Syndrome Compression // IEEE Trans. CAD. - Vol. 7, N5, 1988. - pp. 584-589.

## СИГНАТУРНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ С ОДИНАКОВЫМИ ГРАНИЦАМИ ДОСТОВЕРНОСТИ

*Махнист Л. П.*

*Брестский политехнический институт*

В работе производится анализ достоверности сигнатурных анализаторов, порождаемых полиномами - образующими примитивных БЧХ-кодов, исправляющих три ошибки, а также приведены сигнатурные анализаторы, имеющий такие же границы достоверности, как и некоторые сигнатурные анализаторы, порождаемые образующими полиномами примитивных БЧХ-кодов, исправляющих три ошибки. Для оценки достоверности сигнатурных анализаторов рассматривается распределение вероятности необнаружения ошибочных двоичных последовательностей в зависимости от веса  $k$ , которое определяется следующим соотношением:

$$P_n(k) = S_n(k) / C_n^k,$$

где  $S_n(k)$  - количество двоичных последовательностей длины  $n$  веса  $k$ , иницирующих нулевую сигнатуру,  $C_n^k$  - число сочетаний из  $n$  по  $k$  [3]. Так как данное распределение для рассматриваемых сигнатурных анализаторов является асимптотически нормальным, то одними из главных параметров

данного распределения будем считать, так называемые, верхнюю и нижнюю границу достоверности, определяемые как:  $\max P_n(k)$  и  $\min P_n(k)$ .

Приведем наиболее важные утверждения о границах достоверности сигнатурного анализатора, порождаемого полиномом степени  $3m$  - образующим примитивного БЧХ-кода, исправляющего три ошибки [1, 2].

**Теорема 1.** Максимальное значение вероятности необнаружения ошибочной последовательности длины  $n=2^m-1$  веса  $k$  сигнатурным анализатором, порождаемым полиномом степени  $3m$  - образующим примитивного БЧХ-кода, исправляющего три ошибки, определяется соотношением:

$$\max P_n(k) = (n^2 - 8n + 127) / ((n-2)(n-3)(n-4)(n-5)(n-6)), \quad (1)$$

если  $m$  - нечетно,

$$\max P_n(k) = (n^2 + 8n + 75) / ((n-1)(n-2)(n-4)(n-5)(n-6)), \quad (2)$$

если  $m$  - четно, и достигается при  $k=7, 8, n-8, n-7$ .

Приведем также и нижние границы достоверности для данных сигнатурных анализаторов.

**Теорема 2.** Минимальное значение вероятности необнаружения ошибочной последовательности длины  $n=2^m-1$  веса  $k$  сигнатурным анализатором, порождаемым полиномом степени  $3m$  - образующим примитивного БЧХ-кода, исправляющего три ошибки, определяется выражением:

$$\min P_n(k) = (n-31)(n^2 + 111) / ((n-2)(n-3)(n-4)(n-5)(n-6)(n-8)), \quad (3)$$

если  $m$  - нечетно,

$$\min P_n(k) = (n-15)(n^3 - 21n^2 - 141n - 1015) / ((n-1)(n-2)(n-4)(n-5)(n-6)(n-7)(n-8)), \quad (4)$$

если  $m$  - четно, и достигается при  $k=9, 10, n-10, n-9$ .

Заметим, что если  $m$  - нечетно, то приведенные в теоремах верхняя и нижняя граница достоверности, определяемые соотношениями (1) и (3) соответственно, верны для любого  $m \geq 7$ . В случае  $m=5$  максимальная граница достоверности достигается при  $k=11, 12$ , а минимальная при  $k=7, 8$ , и определяемая соотношением (1).

В случае, если  $m$  - четно, то приведенные в теоремах верхняя и нижняя граница достоверности, определяемые соотношениями (1) и (3) соот-

ответственно, верны для любого  $m \geq 6$ . В случае  $m=4$  максимальная и минимальная граница достоверности совпадают и равны максимальному значению, определяемому соотношением (2), т. к. в этом случае вес ненулевых последовательностей, инициирующих нулевую сигнатуру, для сигнатурного анализатора может быть равным только 7 или 8.

Получить более широкий класс сигнатурных анализаторов, для которого выполняются результаты теорем, видимо является достаточно сложной задачей и может служить темой дальнейших исследований. Вместе с тем, в качестве одного из результатов в этом направлении может служить следующее утверждение.

**Утверждение.** Пусть  $M_1$  - примитивный полином нечетной степени  $m=2t+1$  над полем  $GF(2)$ , а элемент  $b$  поля  $GF(2^m)$  - некоторый его корень [1, 2]. Построим сигнатурный анализатор, порождаемый произведением полинома  $M_1$  и минимальных многочленов  $M_l$  и  $M_s$  элементов  $b^l$  и  $b^s$  соответственно, степени которых равны  $m$ , где  $l=2^{t-1}+1$ ,  $s=2^t+1$ .

Тогда предельные оценки  $\max P_n(k)$  и  $\min P_n(k)$  вероятности необнаружения ошибочной последовательности длины  $n=2^m-1$  веса  $k$  построенным сигнатурным анализатором определяется соотношениями:

$$\max P_n(k) = (n^2 - 8n + 127) / ((n-2)(n-3)(n-4)(n-5)(n-6))$$
 и достигается при  $k=7, 8, n-8, n-7$ ,

$$\min P_n(k) = (n-31)(n^2 + 111) / ((n-2)(n-3)(n-4)(n-5)(n-6)(n-8)).$$
 и достигается при  $k=9, 10, n-10, n-9$ .

Рассмотренный в утверждении сигнатурный анализатор имеет такие же границы достоверности как и сигнатурный анализатор, порождаемый полиномом степени  $3m$  ( $m$  - нечетно) - образующим примитивного БЧХ-кода, исправляющего три ошибки. Если  $m=5$ , то эти два вида сигнатурных анализаторов совпадают, так как порождаются одинаковым полиномом  $M_1 M_3 M_5$ , например, когда  $M_1 = x^5 + x^2 + 1$ ,  $M_3 = x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ ,  $M_5 = x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$ . Если же  $m=7$ , то сигнатурный анализатор первого вида, порождаемый полиномом  $M_1 M_l M_s = M_1 M_5 M_9$  не совпадает с сигнатурным



анализатором, порождаемым полиномом  $M_1M_3M_5$  - образующим примитивного БЧХ-кода, исправляющего три ошибки, но имеют одинаковые границы достоверности. Действительно, если в качестве примитивного полинома взять полином  $M_1=x^7+x^3+1$ , то минимальные многочлены  $M_3, M_5, M_9$  соответствующего элемента поля  $GF(2^m)$  имеют вид:  $M_3=x^7+x^3+x^2+x+1$ ,  $M_5=x^7+x^4+x^3+x^2+1$ ,  $M_9=x^7+x^5+x^4+x^3+x^2+x+1$ . Заметим, что обширные таблицы примитивных полиномов, необходимые для построения таких сигнатурных анализаторов, приведены, например в [2].

## Литература

1. Мак-Вильямс Ф. Дж., Слоэн Н. Дж. А. Теория кодов, исправляющих ошибки: Пер. с англ. - М.: Связь, 1979. - 744 с.
2. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки: Пер. с англ. - М.: Мир, 1976. - 594 с.
3. Ярмолик В. Н. Контроль и диагностика цифровых узлов ЭВМ. - Мн.: Наука и техника, 1988. - 240 с.

## ОБЗОР НОВЫХ СПОСОБОВ ТЕСТИРОВАНИЯ FPGA

*Данилов М.А.*

*Брестский политехнический институт.*

### Введение

В последние годы наблюдается стремительный прорыв в области микроэлектронных устройств на основе регулярных структур, таких как Field Programmable Gate Arrays (FPGAs). В связи с этим остро стоит вопрос тестирования и диагностирования таких изделий. В данной статье содержится

обзор последних достижений в области тестирования и диагностирования FPGAs.

### 1. Постановка задачи.

FPGAs представляют собой сложные изделия, состоящие из большого числа однородных ячеек, называемых логическими блоками. Поэтому тестирование возможно в трех случаях:

- a) тестирование FPGAs на заводе изготовителе;
- b) тестирование неконфигурированных FPGAs перед программированием пользователем;
- c) тестирование во время работы.

### 2. Обзор известных способов тестирования.

Первые два случая а) и б) охватывает метод граничного сканирования (Boundary Scan) [1], который является стандартом IEEE 1149.1-1990. Он заключается в изготовлении на кристалле дополнительных узлов, производящих под управлением специализированной микросхемы тестирование FPGA. Данный стандарт описывает интерфейс между тестируемой FPGA и специализированной микросхемой BOUNDARY SCAN MASTER фирмы Lucent Technologies.

Задача тестирования неконфигурированных FPGAs перед программированием их пользователем сводится к конфигурированию тестируемой микросхемы таким образом, чтобы минимальным количеством тестовых последовательностей и в минимальные сроки произвести исчерпывающее тестирование изделия.

Данный метод рассматривается в [2], где авторы, беря за основу FPGA XILINX 4000, предлагают разделять логические блоки данных FPGA на комбинационную и последовательностную схемы с целью отдельного их

тестирования. Кроме того, предлагаются минимальные тестовые наборы для тестирования всех составных частей логических блоков, а также 8 способов конфигурирования логических блоков (4 для комбинационной части и 4 для последовательностной), позволяющие производить исчерпывающее тестирование отдельного логического блока. Авторы предлагают также способ организации массива логических блоков, для наиболее оптимального приложения тестовых воздействий и транспортировки результатов на внешние выводы.

Другим направлением в тестировании неконфигурированных FPGA является применение самотестирования [3]. В этой области выделяются два возможных варианта: самотестирование при помощи дополнительных схем на кристалле и самотестирование, при котором задействуются только стандартные логические блоки FPGA. Второй вариант представляется наиболее перспективным, поскольку позволяет экономить около 33% места на кристалле. Идея метода заключается в такой организации логических блоков, при которой они делятся на три вида: генератор тестовых воздействий, анализатор ответов и тестируемые логические блоки. Для исчерпывающего тестирования после одного прохода тестирования логические блоки меняются функциями: генератор тестовых воздействий становится тестируемым блоком, анализатор ответов становится генератором тестовых воздействий, а один из тестируемых ранее логических блоков становится анализатором ответов. Для диагностирования двухмерной матрицы логических блоков выполняется сначала тестирование по строкам, затем по столбцам.

В случае с) тестирование во время работы достигается путем специального проектирования логических ячеек [4]. Каждая логическая ячейка кроме основного сигнала выхода (результат функции) генерирует сигнал, комплиментарный основному. Затем специально спроектированная ячейка проверяет комплиментарность этих сигналов. При каскадировании в случае сложных вычислений на вход последующей ячейки поступают и прямой и комплиментарный выходные сигналы предыдущей, транспортируя тем самым сигнал ошибки на ячейку проверки. Авторы приводят пример проек-

тирования схемы путем декомпозиции исходной функции. Очевидно, что данный метод требует дополнительных аппаратных ресурсов.

### Заключение

Среди перспективных методов тестирования и диагностирования следует выделить непрерывное тестирование в процессе работы микросхемы, а также метод самотестирования и диагностирования на основе стандартных логических блоков. Оптимальным видится метод совмещения непрерывного тестирования с диагностированием, в случае сбоев, по методу [3].

### Литература

1. Lucent Technologies "Field Programmable Gate Arrays", Data Book, October 1996.
2. M. Renovell, J.M. Portal, J. Figueras, Y. Zorian "Testing Unconfigured FPGA Logic Modules" 15th IEEE VLSI Test Symposium, CA, USA, May 1997.
3. C. Stroud, E. Lee, M. Abramovici "BIST-Based Diagnostics of FPGA Logic Blocks", Proc. IEEE International Test Conference, pp. 539-547.
4. A.L. Burrell, P.K. Lala "On-Line Testable Logic Design For FPGA Implementation", Proc. IEEE International Test Conference, pp. 471-478.

УДК 681.3

## ПОСТРОЕНИЕ НЕИЗБЫТОЧНЫХ IDDQ ТЕСТОВ

*Янушкевич А.И.*

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники*

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме построения тестов, ориентированных на обнаружение мостиковых неисправностей КМОП схем вентиляного уровня [1-3]. В данной работе предлагается метод построения избыточных IDDQ тестов, позволяющий ускорить процесс синтеза тестов, содержащих избыточные тестовых наборов.

При наличии определенных физических дефектов, в частности мостиковых, статический ток, протекающий в КМОП схеме, становится достаточно большим и может достигать несколько десятков и даже сотен мА. Таким образом, при наличии соответствующей чувствительной аппаратуры, способной контролировать изменение тока в пределах нескольких десятков мкА, могут быть обнаружены мостиковые дефекты. В качестве модели неисправности технология IDDQ тестирования использует мостиковую модель неисправности (МН), которая наилучшим образом отражает процессы, происходящие при замыкании двух полюсов схемы [1-3]. МН между двумя полюсами схемы может быть обнаружена в результате измерения статического тока (I<sub>ddq</sub> контроль), потребляемого КМОП схемой. Так, если существует МН между двумя полюсами, то для ее обнаружения необходимо один из полюсов установить в логический "0", а другой - в логическую "1" или, наоборот. В результате в схеме будет протекать большой статический ток, свидетельствующий о наличии неисправности.

Одним из наиболее часто используемых методов построения избыточных тестов является метод «перебора входных тестовых наборов»[4],

## 5. Диагностика вычислительной техники

модификации которого используются при синтезе IDDQ тестов [1]. Метод [4] основан на проверке тестовых наборов, последовательно подаваемых на анализируемую схему. Так, если тестовый набор обнаруживает хотя бы одну неисправность, не обнаруживаемую ни одним из поданных ранее тестовых наборов, то данный тестовый набор включается в тест TEST. Из вышесказанного следует, что последний тестовый набор, включенный в тест TEST, является неизбыточным, т.е. его нельзя удалить, не уменьшив покрывающей способности теста. Повторим данную процедуру построения теста только на множестве тестовых наборов, составляющих ранее найденный тест TEST, начав ее с подачи вышеупомянутого неизбыточного набора. В результате будет получен тест  $TEST_1$ , с числом наборов  $N_1$  меньшим или равным числу наборов  $N$  в первоначальном тесте TEST. В отношении последнего из включенного в тест  $TEST_1$  тестового набора опять будет верно утверждение о его неизбыточности. Указанная процедура выполняется  $m$  раз, где  $m \leq (N - 1)$ , и заканчивается тогда, когда тест  $TEST_m$  состоит из последних наборов ранее построенных  $m+1$  проверяющих тестов TEST,  $TEST_1, \dots, TEST_m$ . Поскольку каждый из  $N_m$  наборов теста  $TEST_m$  неизбыточен, то этот тест также является неизбыточным.

Чтобы ускорить процесс нахождения неизбыточных тестовых наборов, предлагается для каждого  $j$ -ого тестового набора вычислять значение  $\Delta_j$ , определяющее количество мостиковых неисправностей, которое обнаруживает данный тестовый набор и не обнаруживает ни один из оставшихся  $N-1$  тестовых наборов. Вычислив значения  $\Delta_j$  для каждого  $j$ -ого тестового набора, можно разделить множество тестовых наборов  $T$  на два подмножества:  $T_1$ , состоящее из тестовых наборов, для которых значение  $\Delta > 0$ , и  $T_2$ , состоящее из тестовых наборов, для которых значение  $\Delta = 0$ . Таким образом, множество  $T_1$  будет состоять из неизбыточных тестовых наборов, поскольку каждый тестовый набор  $t_j$ ,  $t_j \in T_1$ , обнаруживает хотя бы одну неисправность, которую не обнаруживает ни один из оставшихся  $N-1$  тестовых наборов. Следовательно, все тестовые наборы, принадлежащие под-

множеству  $T_1$ , необходимо включить в результирующий тест TEST. Далее из множества возможных МН исключим множество МН, обнаруживаемое тестовыми наборами, входящими в тест. Для полученного множества МН и тестовых наборов, принадлежащих множеству  $T_2$ , выполним процедуру «перебора входных тестовых наборов», что в итоге позволит из множества  $T_2$  выбрать избыточные тестовые наборы и включить их в результирующий тест TEST. Поскольку каждый  $j$ -ый набор из теста TEST является избыточным, то следует, что этот тест TEST также является избыточным.

Для реализации приведенного выше алгоритма необходимо на первом этапе вычислить значение  $\Delta_j$  для каждого  $j$ -ого тестового набора из множества  $T$ . В общем, случае значение  $\Delta_j$  для  $j$ -ого тестового набора  $t_j$  можно определить при помощи следующего соотношения:

$$\Delta_j = FC(T) - FC(T^j) \quad (1)$$

где  $FC(T)$  - число мостиковых неисправностей, обнаруживаемых множеством тестовых наборов  $T$ ;  $FC(T^j)$  - число мостиковых неисправностей обнаруживаемых множеством тестовых наборов  $T^j$ , причем  $T^j = T \setminus t_j$ .

Для определения значений  $FC(T)$  и  $FC(T^j)$  можно использовать тестовую матрицу, описанную в работе [3]. Отметим, что построение тестовой матрицы требует больших аппаратных затрат, а вычисление значений  $FC(T)$  и  $FC(T^j)$  требует выполнение процедуры сравнения столбцов тестовой матрицы, что влечет за собой большие временные затраты. В связи с этим предлагается производить сравнение не столбцов матрицы  $H$ , а их сигнатур, вычисляемых в соответствии со следующей функцией:

$$Z_i = f(h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{Ti}) \quad (2)$$

где  $h_{ji}$  - значение  $i$ -ого полюса схемы, при подаче на входы схемы  $j$ -ого тестового набора.

Основная проблема при нахождении значений  $FC(T^j)$  заключается в том, как производить преобразование сигнатур  $Z_i$  так, чтобы исключить влияние  $j$ -ого тестового набора. Поскольку каждая сигнатура столбца есть функция (2), то необходимо определить данную функцию таким образом,

чтобы можно было производить соответствующие изменения значений сигнатур без больших временных и аппаратных затрат. Такая функция может иметь следующий вид:

$$f(h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{ji}, \dots, h_{Ti}) = \sum_{k=1}^T \oplus h_{ki} F(k) \quad (3)$$

где  $F(j)$  — некоторая функция, зависящая от  $j$ -ого тестового набора.

Для определения новых значения сигнатур столбцов  $Z_i'$  матрицы  $H$  без учета влияния  $j$ -ого тестового набора, достаточно модифицировать каждую сигнатуру  $i$ -ого столбца следующим образом:

$$Z_i' = f(h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{ji}, \dots, h_{Ti}) \oplus h_{ji} F(j) = h_{ji} F(j) \oplus \sum_{k=1}^T \oplus h_{ki} F(k) \quad (4)$$

Таким образом, для вычисления значения  $FC(T^j)$  для каждого тестового набора необходимо выполнить операцию (4) над сигнатурами столбцов (2) тестовой матрицы.

Предложенный метод, может быть, применим для построения избыточных IDDQ тестов, как для комбинационных, так и последовательностных цифровых схем.

### Литература:

1. S. Chakravarty, P. Thadikaran, "A Study of IDDQ Subset Selection Algorithms for Bridgings Fault", ITC 1994, pp.403-411.
2. В.Н. Ярмолик, А.И. Янушкевич, М.Г. Карповски, «Iddq Тестирование Итерационных Структур, Реализованных на КМОП-логике», Микроэлектроника Том 26, Номер 2, Март-Апрель 1997, № 2, с.211-215.
3. "Диагностика мостиковых неисправностей КМОП схем.", Ярмолика В. Н., Янушкевича А. И., Иванюка А.А., сборник трудов 2-ой международной конференции "Автоматизация проектирования дискретных систем", ИТК, г. Минск. 1997, с.14-19.



4. "Основы технической диагностики". Кн.1. "Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза". Под ред. П.П. Пархоменко. М., «Энергия», 1976.

УДК 681.3

## **СИНТЕЗ ГЕНЕРАТОРА ТЕСТОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ САМОТЕСТИРОВАНИЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ.**

*Шмидман А.М.*

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники*

### **1. Введение**

В середине 70-х годов достижения в технологии изготовления интегральных схем (ИС) позволили выпускать аналого-цифровые устройства в виде единой ИС, выполненной по КМОП (CMOS) или Биполярной/КМОП (BiCMOS) технологии [1]. Однако, изготовление аналого-цифровых устройств в виде единой ИС вызвало ряд проблем, связанных с проверкой работоспособности данных устройств. Это связано с невозможностью доступа ко внутренним точкам схемы для подачи тестовых воздействий и снятия реакций тестируемой схемы. Для решения данной проблемы используется подход, который основан на том, что источник тестовых воздействий и анализатор реакций размещаются непосредственно в проектируемом модуле (кристалле или ТЭЭе) [2], то есть на встроенном самотестировании (ВСТ).

При синтезе самотестируемой структуры аналого-цифрового устройства необходимо, чтобы [1]:

- для организации встроенного самотестирования цифровой подсхемы могли использоваться ранее разработанные методы встроенного самотестирования для цифровых устройств;

- методы встроенного самотестирования для аналоговой подсхемы не должны накладывать ограничений на их совместное применение с используемыми методами встроенного самотестирования для цифровой подсхемы;

- аппаратные затраты на тестовое оборудование были минимальными.

В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с синтезом генератора тестовых воздействий для встроенного самотестирования аналого-цифровых схем.

## 2. Генератор гармонических колебаний

Традиционно, для ВСТ цифровых схем используются псевдослучайные последовательности (ПСП) максимальной длины или счетчиковые последовательности в качестве тестовых воздействий [2]. Для тестирования аналоговых схем в качестве тестового воздействия используется гармонический сигнал, ПСП в аналоговом виде и сигналы специальной формы [3].

Формирование ПСП для тестирования цифровых схем исследовалось достаточно широко [2]. Здесь только отметим, что генераторы ПСП представляют собой линейный сдвиговой регистр с обратной связью. Для формирования счетчиковых последовательностей используется счетчик, функционирующий в режиме суммирования или вычитания.

Для аналоговой схемы тестовые воздействия в виде ПСП получаются посредством преобразования цифрового кода в аналоговую форму [3]. Для получения таких сигналов специальной формы, как пилообразный может применяться счетчик с последующим преобразованием цифрового кода в аналоговый сигнал.

Рассмотрим теперь подробнее синтез генератора гармонических сигналов. Традиционно, для получения гармонического сигнала применяют

следующий подход: дискретные отсчеты  $1/4$  части периода сигнала хранятся в запоминающем устройстве (ЗУ); посредством счетчика происходит обращение в  $i$ -й такт времени к определенной ячейке ЗУ для формирования  $i$ -го уровня сигнала. Дополнительная комбинационная схема обеспечивает формирование знака сигнала и направление изменения адресов (т.е. для обеспечения возрастания и спада сигнала). При таком подходе для формирования сигнала с периодом  $T$  и диапазоном изменения значений  $A$  необходимы следующие аппаратные затраты:

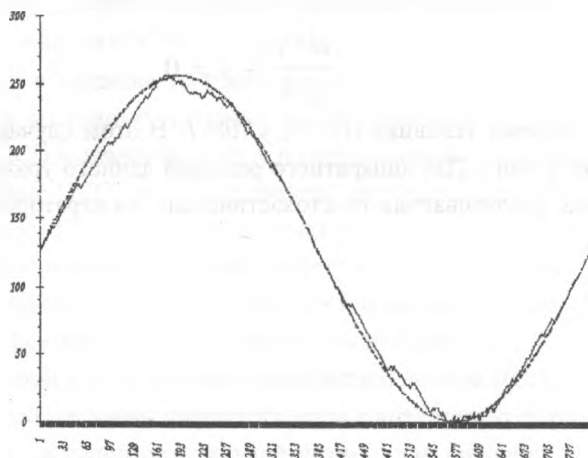
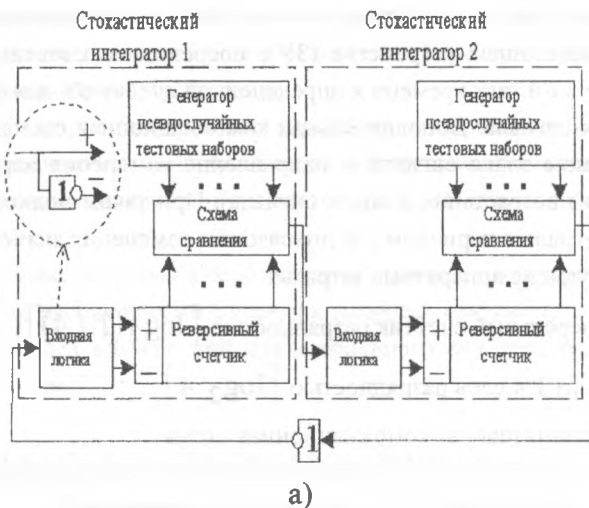
- реверсивный счетчик разрядностью  $\lceil \log_2(T/4) \rceil$ ;
- ЗУ из  $T/4$  слов разрядностью  $\lceil \log_2 A \rceil$ ;
- дополнительная комбинационная схема.

Предлагаемый подход к синтезу генератора гармонических колебаний базируется на решении дифференциального уравнения [4]

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + y = 0 \quad (1)$$

при начальных условиях  $y(0)=0$ ,  $y'(0)=1$ . В этом случае воспроизводится функция  $y=\sin t$ . Для аппаратного решения данного уравнения используется схема, реализованная на стохастических интеграторах как показано на рис.1.а.

## 5. Диагностика вычислительной техники



б)

Рис.1. Схема формирования гармонического сигнала (а), результаты моделирования генератора гармонического сигнала (б)

В этом случае, на выходе стохастического интегратора 1 формируется первая производная, а на выходе стохастического интегратора 2 — восстановленная функция. Как следует из (1)

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -y \quad (2)$$

Выполнение данного равенства обеспечивается за счет обратной связи через инвертор. Работа стохастического интегратора подробно описана в [5]. В отличие от стохастического интегратора, описанного в [5], в данном случае на реверсивный счетчик накладывается ограничение в виде запрета на операцию переполнения, т.е. при состоянии счетчика в  $i$ -й момент времени "111..1" и поступлении сигнала "+1" состояние счетчика в  $(i+1)$ -й момент времени останется "111..1". Аналогично происходит работа и при состоянии счетчика "000..0" и поступлении сигнала "-1". При такой аппаратной реализации, функция  $y = \sin t$  формируется на выходах второго стохастического интегратора.

Как видно из рис.1.а данный генератор может также использоваться и для формирования ПСП и счетчиковых последовательностей, что не потребует дополнительных затрат на реализацию генератора тестовых воздействий для цифровой схемы.

На рис.1.б представлены результаты моделирования 8-разрядного генератора гармонических колебаний (пунктирная линия — идеальная синусоида, сплошная линия — полученный синусоидальный сигнал). Период полученного сигнала равен  $T=766$  тактов. Для сравнения аппаратных затрат, при традиционном подходе потребовалось бы 3У из 192 слов разрядности 8, 8-й разрядный счетчик и дополнительная комбинационная схема.

## Литература

1. Ohletz M.J. Hybrid Built-In Self-Test (HBIST) for Mixed Analogue/Digital Integrated Circuits, IEEE European Test Conference, 1991, pp.307-316.

2. Ярмолик В.Н. Контроль и диагностика цифровых узлов ЭВМ, Мн.:Наука и техника, 1988, 240с.
3. Soma M., Fault Modeling and Test Generation for Sample-and-Hold Circuits //International Symposium on Circuits and Systems, 1991, pp. 2072-2075.
4. Анисимов Б.В., Голубкин В.Н., Петраков С.В. Аналоговые и гибридные ЭВМ, М.: Высшая школа, 1986.
5. Яковлев В.В., Федоров Р.Ф. Стохастические вычислительные машины, Л.: Машиностроение, 1974.

УДК 681.3

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ТЕСТИРОВАНИЯ ОЗУ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО СИГНАТУРНОГО АНАЛИЗА

*Климец Ю.В.*

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники*

### 1. Введение

Рост возможностей технологии в последние годы привел к тому, что на рынке появилось огромное количество микросхем, объединяющих на одном кристалле логическую часть и массив запоминающих элементов. В силу сложности доступа к встроенной памяти извне для тестирования подобных устройств чаще всего используют аппаратуру встроенного само-тестирования (built-in self testing - BIST). Классические подходы к тестированию, основанные на сохранении-тестировании-восстановлении блоков памяти не всегда эффективны из-за необходимости в дополнительной па-

мяти для хранения оригинальной информации и из-за временных затрат на сохранение-восстановление блока информации. Поэтому широкое распространение получили методы, основанные на неразрушающем (transparent) тестировании памяти [1]. Однако предложенная в [1] технология тестирования имеет ряд недостатков. Во-первых, перед тестированием необходимо выполнить процедуру вычисления эталонной сигнатуры, что увеличивает время тестирования примерно на 50% и значительно усложняет устройство управления. Во-вторых, из-за использования при сравнении сигнатур вместо реального содержимого памяти не всегда удастся обеспечить 100% покрытие даже для однократных неисправностей заданного класса. Поэтому в данной работе предлагается новый подход к построению средств неразрушающего самотестирования памяти на основе адаптивного сигнатурного анализа [2].

## 2. Используемые обозначения

0 (1) используется для обозначения содержимого ячейки памяти;  $\updownarrow$  - запись значения  $\bar{a}$  в ячейку, содержащую значение  $a$ ,  $a \in \{0,1\}$ ;  $\bar{\cdot}$  обозначает операцию чтения значения  $a$ ,  $a \in \{0,1\}$  из ячейки памяти и сжатие его в регистре сигнатуры;  $\bar{\cdot}$  обозначает операцию чтения значения  $a$ ,  $a \in \{0,1\}$  из ячейки памяти и сжатие значения  $\bar{a}$  в регистре сигнатуры;  $\uparrow$  - направление изменения адресов от младших к старшим;  $\downarrow$  - направление изменения адресов от старших к младшим;  $\updownarrow$  - произвольное изменение адресов.

## 3. Модели неисправностей ОЗУ

В данной работе рассматриваются следующие модели неисправностей [3]:

- 1) константная неисправность (stuck-at fault - SAF);
- 2) переходная неисправность (transition fault - TF);

- 3) инверсная неисправность взаимного влияния (inversion coupling fault - CFin);
- 4) неинверсная неисправность взаимного влияния (idempotent coupling fault - CFid).

### 4. Основные принципы адаптивного сигнатурного анализа (АСА)

Принципы адаптивного сигнатурного анализа представлены в [2]. Здесь необходимо отметить лишь тот факт, что для вычисления сигнатуры с помощью адаптивного сигнатурного анализа для бит-ориентированной памяти можно применять простую процедуру побитного сложения по модулю 2 адресов всех тех ячеек памяти, в которых записано значение 1.

Адаптивный сигнатурный анализ имеет несколько особенностей, а именно:

- сигнатуры для произвольного состояния памяти и для обратного ему состояния равны между собой. Действительно, сигнатура для памяти, все ячейки которой содержат единичные значения, равна 000...0 (по сути дела, это сумма по модулю 2 всех двоичных чисел от 0 до  $2^m - 1$ , где  $m$  - разрядность адреса памяти).
- конечное значение сигнатуры не зависит от направления движения по памяти при вычислении сигнатуры.

Эти две особенности позволяют существенно сократить время, необходимое для проведения тестирования, и значительно повысить покрывающую способность. Рассмотрим в качестве примера работу схемы BIST, использующей для тестирования неразрушающую версию маршевого теста March C- :  $\uparrow(r, \downarrow); \uparrow(r, \downarrow); \downarrow(r, \downarrow); \downarrow(r, \downarrow); \downarrow(r)$ .

### 5. Функционирование BIST

В классическом варианте работа BIST выглядит следующим образом:



1. На первом этапе вычисляется значение эталонной сигнатуры содержимого памяти. Для этого выполняется модифицированная версия маршевого теста March C-, в которой отсутствуют операции записи:  $\uparrow(r); \uparrow(r-); \downarrow(r); \downarrow(r-); \downarrow(r)$ .
2. На втором этапе выполняется сам тест памяти  $\uparrow(r, \updownarrow); \uparrow(r, \updownarrow); \downarrow(r, \updownarrow); \downarrow(r, \updownarrow); \downarrow(r)$ . Все считываемые данные сжимаются в регистре рабочей сигнатуры.
3. После выполнения теста памяти значения рабочей и эталонной сигнатур сравниваются. Несовпадение сигнатур означает наличие в памяти неисправности.

Теперь рассмотрим порядок функционирования BIST на основе адаптивного сигнатурного анализа.

1. В силу указанных выше особенностей адаптивного сигнатурного анализа при вычислении эталонной сигнатуры нам достаточно выполнить процедуру, состоящую из одной операции чтения:  $\uparrow(r)$ .
2. После этого происходит выполнение теста. При этом перед началом каждой фазы происходит сброс в 0 регистра рабочей сигнатуры, а после окончания выполнения фазы - сравнение рабочей и эталонной сигнатур. В силу того, что значение сигнатуры не зависит от направления движения фазы по памяти и сигнатуры для нормального и инверсного состояния памяти равны между собой, в отличие от классического неразрушающего тестирования можно использовать одну эталонную сигнатуру для всех фаз теста.

За счет сокращения длины сжимаемой последовательности происходит увеличение покрывающей способности. В следующей таблице приведены сравнительные значения покрывающей способности для классического неразрушающего тестирования и тестирования на основе адаптивного сигнатурного анализа, полученные при моделировании работы памяти размером 32 Кбит при условии, что длина сигнатурного анализатора составляет 15 бит.

## 5. Диагностика вычислительной техники

Тип неисправности	SAF			TF		
	1	2	3	1	2	3
Кратность						
Классический BIST, %	99.1	99.2	99.2	99.3	99.2	99.1
BIST на основе АСА, %	100	100	99.8	100	100	99.7

Тип неисправности	Cfin			Cfid		
	1	2	3	1	2	3
Кратность						
Классический BIST, %	99.8	99.3	99.1	99.6	99.2	99.1
BIST на основе АСА, %	100	100	99.9	100	100	99.9

## 6. Заключение

Таким образом, представленная в данной работе методика встроенного неразрушающего самотестирования памяти, основанная на адаптивном сигнатурном анализе, имеет значительно более высокую покрывающую способность по сравнению с классической методикой неразрушающего тестирования памяти. Кроме того, предложенная методика в большинстве случаев уменьшает в среднем на 50% время, необходимое для проведения тестирования.

## Литература

1. M. Nicolaidis, "Transparent BIST for RAMs" // Proc. Int. Test Conf. - Sept., 1992 - pp.598-607.
2. V. Yarmolik, H.-J. Wunderlich, S. Hellebrand, "Self-Adjusting Output Data Compression: An Efficient BIST Technique for RAMs", submitted to DATE'98.
3. J. van de Goor . Testing Semiconductor Memories. Theory and Practice. Wiley, Chichester, 1991.

УДК 681.3

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ АДАПТИВНОГО СИГНАТУРНОГО АНАЛИЗА

*Иванюк А.А.*

*Белорусский государственный университет  
информатики радиоэлектроники.*

При современном прогрессе мировой радиоэлектронной промышленности остро стоит проблема тестирования цифровых устройств высокой степени интеграции, особенно устройств с регулярной структурой, таких как запоминающие устройства (ЗУ). В последнее время появляется большое количество полупроводниковых микросхем с интегрированными ЗУ большой емкости, что затрудняет производить его тестирование традиционными методами. Данные устройства требуют наличия встроенных средств самотестирования, которые обладали бы такими характеристиками как малые аппаратные затраты и высокой обнаруживающей способностью и возможностью производить тестирование без потери хранимой информации. Один из современных подходов решения данной проблемы был предложен в [1], который заключается в применении сигнатурного анализа и

## 5. Диагностика вычислительной техники

неразрушающих маршевых тестов памяти. Данный метод обладает высокой покрывающей способностью и малыми аппаратными затратами на средства тестирования, однако существует проблема, которая заключалась в пересчете значения эталонной сигнатуры памяти перед каждым тестовым сеансом. В [2] был предложен новый адаптивный метод вычисления сигнатур памяти, который заключается в побитном суммировании по модулю 2 адресов ячеек памяти, которые содержат значение "1".

В этом случае значение эталонной сигнатуры корректируется во время нормальной работы памяти. Было показано, что предложенный метод обладает высокой обнаруживающей способностью и малыми аппаратными затратами на реализацию схем тестирования.

Для увеличения обнаруживающей способности адаптивного сигнатурного анализа (АСА) предлагается сжимать на анализаторе бинарные вектора, которые ставятся в соответствии каждому реальному адресу памяти. Самым простым примером увеличения обнаруживающей способности АСА может служить увеличение разрядности адаптивного анализатора на один дополнительный разряд по сравнению с предложенным в [2]. При каждой операции записи данных в ячейку памяти, в дополнительный разряд анализатора поступает "1". Это обеспечивает полное обнаружение ошибок нечетной кратности в выходной последовательности памяти. Таким образом, дополнительный разряд анализатора играет роль контрольного бита четности всей памяти.

Линейные преобразования над реальными адресами памяти для получения новых бинарных векторов, не приводят к увеличению достоверности АСА. Такими примерами могут служить преобразования при помощи сдвигового регистра, счетчика Джонсона, генератора ПСП (на сдвиговом регистре с обратными связями), и т.д. Для обеспечения нелинейности в алгоритме получения новых векторов предлагается осуществлять арифметическое сложение значения реального адреса и некоторого двоичного числа (рис.1). В этом случае на  $M$ -разрядном анализаторе, ( $M$  - разрядность шины адреса памяти), происходит сжатие модифицированных адресов

$V_i = A_i + \varphi$ , где  $A_i$  - адрес ячейки памяти, содержащей "1",  $\varphi$  - двоичное число,  $V_i$  - модифицированный адрес. При значении  $\varphi = 0$  достоверность данной схемы соответствует достоверности АСА. При тестировании памяти в режиме хранения полезных данных предлагается изменять значение  $\varphi$  для каждого последующего сеанса тестирования, что обеспечит увеличение достоверности АСА.

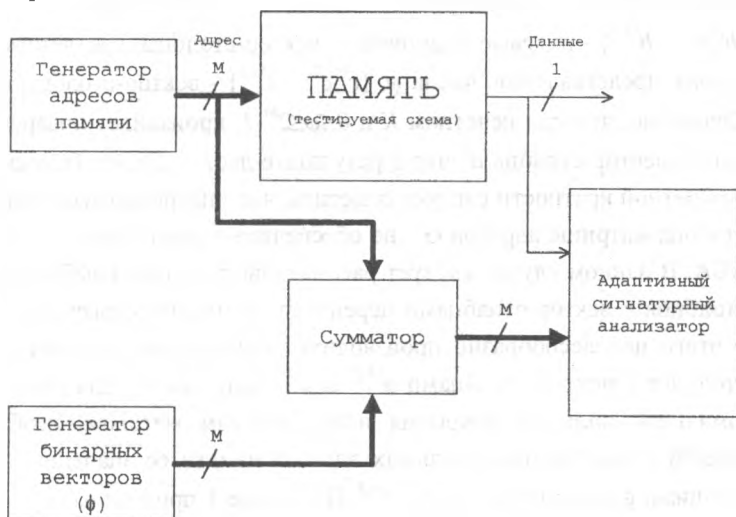


Рис.1. Схема тестирования с использованием АСА.

Покажем, что при любом  $0 \leq \varphi \leq M-1$ , любая ошибка нечетной кратности будет обнаружена. Рассмотрим следующую матрицу  $G$ , строки которой соответствуют поразрядной записи адресов ячеек памяти ( $a^0, a^1, \dots, a^{K-1}$ ) из которых были прочитаны ошибочные данные:

$$G = \begin{pmatrix} a_0^0 & a_1^0 & \dots & a_{M-1}^0 \\ a_0^1 & a_1^1 & \dots & a_{M-1}^1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_0^{K-1} & a_1^{K-1} & \dots & a_{M-1}^{K-1} \end{pmatrix}$$

## 5. Диагностика вычислительной техники

Количество строк матрицы соответствует кратности  $K$  обнаруживаемой ошибки. При этом выполняется следующее условие  $S_E \oplus S_L = 0$ , где  $S_E = a^0 \oplus a^1 \oplus \dots \oplus a^{K-1}$  - значение сигнатуры ошибочных данных в памяти,  $S_L$  - эталонная сигнатура. Добавление двоичного числа  $\varphi$  к каждому сжимаемому адресу приведет к получению новой матрицы  $G^\varphi$  адресов памяти:

$$G^\varphi = \left[ a^0 + b^0, a^1 + b^1 + c^0, \dots, a^{M-1} + b^{M-1} + c^{M-2} \right],$$

где  $\{b^0, b^1, \dots, b^{M-1}\}$  - нулевые (единичные) вектор-столбцы, соответствующие двоичному представлению числа  $\varphi$ ,  $\{c^0, c^1, \dots, c^{M-2}\}$  - вектор-столбцы переносов. Очевидно, что при нечетном  $K$  и  $0 \leq \varphi \leq 2^M - 1$ , произойдет инверсия хотя бы одного вектор-столбца  $a^i$ , что в результате даст  $S_E \oplus S_L \neq 0$ . Относительно ошибок четной кратности следует отметить, что инверсия какого-либо вектор-столбца матрицы адресов  $G$  - не обеспечивает увеличение достоверности АСА. В данном случае следует рассматривать только комбинации вектор-столбцов с вектор-столбцами переносов из младших разрядов. Вследствие этого нецелесообразно производить суммирование единичных вектор-столбцов с вектор-столбцами  $a^{M-2}$  и  $a^{M-1}$  матрицы  $G$ . Для обеспечения максимальной полноты покрытия предложенным методом, необходимо произвести суммирование реальных адресов памяти со значениями числа  $\varphi$ , лежащими в диапазоне от 0 до  $2^{M-3}$ . В таблице 1 приведены вероятности обнаружения ошибок различной кратности в 16-битной памяти для различных значений числа  $\varphi$ .

Таблица 1

$K$	$ACA(\varphi=0)$	$\varphi=(0,1)$	$\varphi=(0,1,2)$	$\varphi=(0,1,2,3)$
1	0.9375	1	1	1
2	1	1	1	1
3	0.9375	1	1	1
4	0.9230	0.9714	0.98022	0.9846
5	0.9375	1	1	1
6	0.9440	0.9880	0.9960	1
7	0.9375	1	1	1
8	0.9324	0.9833	0.9908	0.9945
9	0.9375	1	1	1
10	0.9440	0.9880	0.9960	1
11	0.9375	1	1	1
12	0.9230	0.9714	0.9802	0.984615
13	0.9375	1	1	1
14	1	1	1	1
15	0.9375	1	1	1
16	0	0	0	0

В заключении хотелось бы отметить, что предложенный метод увеличения достоверности АСА может быть применим для тестирования реальных микросхем памяти с организацией  $(2^M-1)*1$  бит.

## ЛИТЕРАТУРА

1. M.Nicolaidis, "Transparent BIST for RAMs", IEEE International Test Conference, Oct.1992, pp.598-607.

2. Ярмолик В.Н., Иванюк А.А., "Встроенное самотестирование памяти с использованием сигнатурного анализа", "Логическое проектирование", Минск, 1997.

УДК 681.3

## АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СИНТЕЗА САМОТЕСТИРУЕМЫХ СБИС

*Хомич О. В.*

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники*

Использование встроенных схем самотестирования является одним из важнейших методов обеспечения надежного функционирования СБИС. Эффективность самотестирования оценивается длительностью теста и аппаратными затратами на реализацию схемы тестирования.

Практически при всех методах диагностирования СБИС широкое применение находит использование линейного сдвигового регистра с сумматорами по модулю два в цепи обратной связи (LFSR) в качестве генератора псевдослучайных тестовых наборов в следствие относительно небольших аппаратных затрат на его реализацию [2].

Большинство комбинационных схем содержит неисправности, обнаружение которых с помощью только псевдослучайных тестовых наборов зачастую оказывается невозможно. В таких случаях для достижения максимальной полноты покрытия неисправностей широкое применение получило использование детерминированных тестовых наборов совместно с псевдослучайными тестовыми последовательностями. Чаще всего применяется одна из разновидностей метода сканирования пути, что не приводит к ухудшению временных характеристик работы тестируемых СБИС [1].



Основным недостатком всех используемых на данный момент методов является увеличение аппаратных затрат на реализацию генератора тестовых последовательностей, что в ряде случаев является критичным для построения самотестируемых СБИС.

Показано, что при использовании LFSR в качестве генератора псевдослучайных тестовых наборов большинство генерируемых последовательностей являются бесполезными с точки зрения обнаружения неисправностей в комбинационной схеме [1]. В то же время, обнаружение конкретных неисправных состояний СБИС часто возможно только с помощью детерминированных тестовых наборов, которые специфицируются в зависимости от конкретной тестируемой комбинационной схемы. Как правило, в псевдослучайных тестовых наборах число бит, требующих изменения для получения заданных тестовых наборов достаточно мало по сравнению с общей длиной тестовой последовательности [1].

Более привлекательным видится нахождение способа анализа порождающего полинома, позволяющего доказать наличие необходимых детерминированных тестовых наборов во всей совокупности генерируемых тестовых последовательностей, а также, при невозможности генерирования необходимых детерминированных тестовых наборов, нахождение примитивного полинома, обеспечивающего получение требуемых последовательностей. Данный анализ работы генератора возможен в следствие того, что количество примитивных полиномов заданной степени для больших значений степени достаточно велико. Таким образом, доказательство наличия требуемых детерминированных наборов в выходной совокупности генерируемых последовательностей, а также, при необходимости, выбор удовлетворяющего требованиям примитивного полинома, является, по сути, решением задачи по обеспечению генерирования детерминированных тестовых последовательностей, применение которых обеспечивает необходимую полноту покрытия неисправностей СБИС.

Предлагается метод анализа порождающего полинома генератора псевдослучайных тестовых последовательностей, доказывающий наличие

## 5. Диагностика вычислительной техники

---

необходимых детерминированных тестовых наборов во всей совокупности генерируемых тестовых последовательностей, а также, при невозможности совместного генерирования заданных детерминированных тестовых наборов, нахождение примитивного полинома, обеспечивающего получение требуемых последовательностей. Описываемый анализ генератора возможен на этапе проектирования схемы самотестирования СБИС. Преимущество предлагаемого подхода заключается в отсутствии аппаратных затрат для генерирования детерминированных тестовых наборов.

Исходными данными для поиска начального состояния генератора, обеспечивающего наличие необходимых детерминированных тестовых наборов во всей совокупности генерируемых псевдослучайных тестовых последовательностей является порождающий полином, описывающий работу генератора, длина цепи сканирования и множество детерминированных тестовых наборов со специфицированными значениями бит.

Алгоритм анализа тестового генератора содержит следующие этапы.

1. Необходимо проанализировать состояние цепи сканирования на предмет заполнения соответствующими битами тестовой последовательности. Тестовый генератор, реализованный на основе примитивного полинома, будет обеспечивать генерирование периодически повторяющихся тестовых наборов. В следствие этого для каждого бита цепи сканирования можно поставить в соответствие биты детерминированного тестового набора.
2. На основании анализа, проведенного на шаге 1, составляются системы уравнений для каждого тестового набора. Данные системы включают уравнения для каждого специфицированного бита. Количество систем определяется количеством детерминированных последовательностей, а количество уравнений в каждой системе - количеством специфицированных бит в соответствующем тестовом наборе.
3. Ищется полином, описывающий генератор тестовой последовательности, получаемой путем децимации исходной тестовой последовательности.

ности. Причем коэффициент децимации необходимо взять равным длине цепи сканирования.

4. Каждому биту исходной последовательности ставится в соответствие бит децимированной последовательности.
5. С учетом соотношений, полученных на шаге 4, переходят от систем уравнений, полученных на шаге 2, к системам относительно бит децимированной последовательности.
6. Вычисляются коэффициенты для получения сдвинутых копий  $m$ -последовательности для величины сдвига, равной номерам бит децимированной тестовой последовательности, относительно которых составлены системы уравнений на шаге 5.
7. Системы уравнений, полученные на шаге 5, преобразовываются относительно начальных состояний генератора. Причем коэффициентами при неизвестных выступают соответствующие значения коэффициентов для получения копий сдвинутой  $m$ -последовательности.
8. Находятся решения систем, полученных на шаге 7. Решения систем уравнений являются состояниями генератора в разные такты его работы.
9. На основании значений решений систем уравнений, полученных на шаге 8, производится анализ возможности генерирования необходимых детерминированных тестовых наборов. При невозможности совместного генерирования заданных детерминированных тестовых наборов, производится выбор другого примитивного полинома соответствующей степени, и процедура анализа повторяется с шага 3.

Как видно из рассмотренного алгоритма, наиболее трудоемким и в большей степени определяющим эффективность предложенного анализа является этап, связанный с определением коэффициентов для получения значений  $m$ -последовательности, сдвинутой на произвольное количество тактов. На основании оценки быстродействия методов формирования сдвинутых копий  $m$ -последовательностей при реализации программного обеспечения за основу был выбран, так называемый, быстрый алгоритм

определения сдвинутых копий  $m$ -последовательности, предложенный в работе [3].

Предложенный метод анализа порождающего полинома генератора псевдослучайных тестовых последовательностей положен в основу программного комплекса, позволяющего определять возможность генерирования детерминированных тестовых наборов со специфицированными значениями бит при заданном порождающем полиноме и длине цепи сканирования. При невозможности генерирования необходимых детерминированных наборов для заданного тестового генератора производится поиск порождающего полинома эквивалентной степени, обеспечивающего наличие заданных тестовых последовательностей в выходной совокупности генерируемых тестовых наборов. В качестве исходных данных для эксперимента были использованы бенчмарки, предложенные в работе [1]. Полученные результаты позволяют рассматривать предложенный анализ тестового генератора, в качестве метода, обеспечивающего требуемое значение величины покрытия неисправностей без дополнительных аппаратных затрат на генерирование детерминированных тестовых наборов, что является очевидным преимуществом по сравнению с применяемыми в настоящее время методами самотестирования.

### Литература

1. Gundolf Kiefer, Hans-Joachim Wunderlich. Using BIST Control for Pattern Generation. IEEE International Test Conference, pp. 347-355, 1997.
2. Sybille Hellebrand, Birgit Reeb, Stefan Tarnick, Hans-Joachim Wunderlich. Pattern Generation for Deterministic BIST Scheme. Proc. Int. Conf. On Computer-Aided Design, pp. 88-94, 1995.
3. Ярмолик В. Н., Демиденко С. Н. Генерирование и применение псевдослучайных сигналов в системах испытаний и контроля. - Мн.: Наука и техника, 1986.

УДК 621.374.2

## МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ ДИСКРЕТНОГО ЛОГАРИФМА

*Мурашко И.А., Малащенко В.С.*

*Гомельский политехнический институт им.П.О.Сухого*

Наиболее часто при организации встроенного самотестирования (ВСТ) цифровых устройств на основе СБИС в качестве источника тестов используют генератор псевдослучайных тестовых наборов (ГПТН), выполненный на основе так называемого LFSR (Linear Feedback Shift Register) [1]. Это связано с простотой его использования и небольшими аппаратными затратами на реализацию. Кроме того, его достаточно просто преобразовать в устройство сжатия реакций тестируемой схемы (ТС), как правило это одно- или многоканальный сигнатурный анализатор, что позволяет минимизировать аппаратные затраты на ВСТ [1]. Однако в случаях, когда ТС содержит элементы памяти или при организации ВСТ на основе STUMPS-архитектуры (Self-Test Using a Multiple input signature register and a Parallel Shift register sequence generator) [1], применение LFSR неэффективно из-за наличия структурной зависимости между ГПТН и ТС. Для устранения этого недостатка применяют различные структуры генераторов, такие как модифицированный LFSR [2], генератор на основе клеточных автоматов (КА) [2,3], генератор на основе децимации M-последовательности [4]. Основным достоинством этих генераторов является то, что они позволяют формировать на своих разрядах копии псевдослучайной последовательности, сдвинутые друг относительно друга на достаточно большое количество тактов, что устраняет эффект структурной зависимости.

При анализе и проектировании генераторов данного типа возникает ряд проблем, одной из которых является вычисление дискретных логариф-

## 5. Диагностика вычислительной техники

мов по модулю порождающего полинома. Так, например, для анализа генератора на КА, функционирование которого определяется примитивным неприводимым полиномом  $\varphi(x)$  степени  $n$ , в общем случае необходимо знать значения дискретных логарифмов по модулю  $\varphi(x)$  для всех примитивных полиномов степени меньше, чем  $n$ . Для анализа генераторов на основе модифицированного LFSR необходимо знать значения всех дискретных логарифмов вида  $(X^i \oplus 1)$  для  $i=1..n-1$ , где  $n=\deg \varphi(x)$  [2]. В настоящее время для организации ВСТ применяются полиномы, старшая степень которых достигает 100. Соответственно, анализ генераторов на основе таких полиномов представляет собой достаточно трудоемкую задачу.

В работе предлагается методика вычисления дискретных логарифмов по модулю порождающего полинома, основанная на применении свойства децимации  $M$ -последовательности [5].

Рассмотрим работу методики. Пусть требуется вычислить значение дискретного логарифма  $\psi(x)$  по модулю порождающего полинома  $\varphi(x)$ , то есть необходимо найти такое  $k$ , для которого истинно соотношение

$$x^k \bmod \varphi(x) = \psi(x) \quad (1)$$

Для вычисления значения  $k$  выполним следующие действия.

- 1) Запишем полином  $\varphi(x)$  в следующем виде

$$\varphi(x) = \beta_0 X^0 \oplus \beta_1 X^1 \oplus \beta_2 X^2 \oplus \dots \oplus \beta_n X^n \quad (2)$$

и сформируем вектор-строку  $M$  из коэффициентов при соответствующих степенях  $X$ , за исключением  $X^0$

$$M = | \beta_1 \beta_2 \beta_3 \dots \beta_n |$$

- 2) По аналогии запишем полином  $\psi(x)$  в следующем виде

$$\psi(x) = \alpha_0 X^0 \oplus \alpha_1 X^1 \oplus \alpha_2 X^2 \oplus \dots \oplus \alpha_{n-1} X^{n-1} \quad (3)$$

и сформируем вектор-строку  $A_0$  из коэффициентов полинома

$$A_0 = | \alpha_0 \alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_{n-1} |$$

- 3) Сдвигаем вектор  $A_0$  влево до тех пор, пока не получим код вида

$$A_k = | 1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 |$$

Количество сдвигов  $k$ , необходимое для достижения данного кода, является значением искомого дискретного логарифма. Сдвиг осуществляется по следующему правилу

- а) Формируется промежуточное значение

$$A_1' = |\alpha_1 \alpha_2 \alpha_2 \dots \alpha_{n-2} 0|$$

- б) Проверяется значение выдвинутого символа  $\alpha_0$ .

Если  $\alpha_0 = 0$ , то  $A_1 = A_1'$  ;

если  $\alpha_0 = 1$ , то  $A_1 = A_1' \oplus M$

Рассмотрим работу методики на примере. Пусть требуется вычислить значение  $k$ , для которого справедливо соотношение (1), если  $\varphi(x) = 1 \oplus X^2 \oplus X^5$ ,  $\psi(x) = 1 \oplus X$ . Соответственно формируем  $M = |0 1 0 0 1|$  и  $A_0 = |1 1 0 0 0|$ . Сдвигаем  $A_0$  до тех пор, пока не получим код  $|1 0 0 0 0|$ . Процедура сдвига представлена в таблице. В результате получили, что искомое значение  $k=18$ . В терминах дискретного логарифма это можно записать

$$\log(X \oplus 1) = 18 \text{ mod } X^5 \oplus X^2 \oplus 1$$

Таблица

Такт	Результат сдвига	Такт	Результат сдвига
	Начальное состояние - 1 1 0 0 0		
1	1 1 0 0 1	10	1 0 1 1 0
2	1 1 0 1 1	11	0 0 1 0 1
3	1 1 1 1 1	12	0 1 0 1 0
4	1 0 1 1 1	13	1 0 1 0 0
5	0 0 1 1 1	14	0 0 0 0 1
6	0 1 1 1 0	15	0 0 0 1 0
7	1 1 1 0 0	16	0 0 1 0 0
8	1 0 0 0 1	17	0 1 0 0 0
9	0 1 0 1 1	18	1 0 0 0 0

На основании данной методики разработана программа вычисления дискретных логарифмов по модулю примитивных неприводимых порождающих полиномов, старшая степень которых не превышает 126.

### Литература

1. Savir J., Bardell P.H. «Built-in Self-Test: Milestones and Challengers», VLSI Design, vol.1, N1, pp.23-44
2. Bardell P.H. «Discrete Logarithms A Parallel Pseudorandom Pattern Generator Analysis Method», Journal of Electronic Testing: Theory and Applications, 1992, N3, pp.17-31
3. Ярмолик В.Н., Мурашко И.А. «Реализация генератора псевдослучайной последовательности на клеточных автоматах», Автоматика и вычислительная техника, 1993, N3, с.9-13
4. Ярмолик В.Н., Мурашко И.А. «Методика проектирования генератора тестовых воздействий, основанного на свойстве децимации M-последовательности», Автоматика и вычислительная техника, 1997, N1, с.13-20
5. Golomb S.W. "Shift Register Sequences" , Holden Day, San-Francisko, 1967



## 6. МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИНТЕЗ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

УДК 681.3

### METHODS AND TOOLS FOR HIGH AND SYSTEM LEVEL SYNTHESIS

*Anatoly Prihozhy and Redouane Merdjani*

*State University of Informatics and Radioelectronics*

#### 1. Introduction

Effective high-level synthesis systems include ALERT, AMICAL, CATHED-RAL, CMUDA, DAA, ELLA, FACET, HAL, HIS, MAHA, MIMOLA, PSAL2, York-town Silicon Compiler, and others (Camposano,1989, Courtois,1994, Gajski,1992, 1994, Goossens,1989, Jerraya,1993, Mcfarland,1990, Mermet,1993, Vercest, 1990). They develop synthesis methodology consisting of the following tasks:

- compiling a behavioral description presented in a hardware description language to an intermediate format
- generating the control (CFG) and data (DFG) flow graphs
- scheduling the description operators and statements
- allocation of the functional, storage, and interconnection units
- binding the behavior constructions to the units
- generating the data path (DP) and finite state machine (FSM).

This paper presents new methods and tools for high- and system-level synthesis that explore behavioral description transformation, synthesis techniques based on orthogonality analysis, and net-based synthesis techniques.

## 2. Synthesis methodology

The methodology is based on the following three main principles:

- transforming the source behavioral model to a special model, allowing efficient synthesis of high quality RTL-structures
- development and use of new analyzing, scheduling, allocation, binding, data path generation, and finite state machine generation techniques that explore the special model advantages
- extending traditional high-level synthesis methodology in order to automatically design and optimize asynchronous circuits and systems.

## 3. Behavioral model transformation

The special behavioral model is described through using a subset of VHDL statements. The *wait*, *signal assignment*, *variable assignment*, *loop*, *exit*, and *next* statements may execute unconditionally and conditionally. The *loop* statement has no the *iteration scheme*. The behavioral description CFG constructed of these statements has only one *segmented path*. Each segment may be processed separately. This allows the development of efficient lifetime analysis, scheduling, allocation, and binding techniques. The behavioral model for GCD is shown in Figure 1. A source VHDL behavioral description is equivalently transformed to the special model by applying transformation rules. These modify the behavior CFG to speed up the design process and to improve the design parameters. The rules transform a *loop* statement with the iteration scheme to a loop without the scheme, reorder independent and dependent statements, insert a statement into *if*- and *loop*-statements, extract computations from *if*-statement, split *if*-statement into separate parts, transform *if*-statement to a logical expression and variable assignment state-ment, merge *exit*-statements, unroll *loop*-statement without the iteration scheme.

#### **4. Scheduling for the special model**

The novel extended scheduling techniques use orthogonality, compatibility, precedence, and proximity relations constructed on the sets of signals, variables, operators, and statements. The segment tree is a hierarchical structure of the special behavioral model CFG. The tree root is the process statement. The other non-terminal nodes are loop statements. The terminal nodes are sequential statements of the model. The loop or process body statements constitute a segment. The FSM states are introduced during top down traversal of the segment tree.

#### **5. Allocation and binding for the special model**

Allocation and binding methods developed for the special behavioral model use the model advantages. The single-path-based allocation and binding flow is as follows. First, the special behavioral model DFG is generated. Using the CFG single path, the variable lifetimes are computed and the variables compatibility is determined. The compatibility analysis is performed accounting the orthogonality analysis and scheduling results. Using the variables, operators, and statements compatibility, the functional, storage, and interconnection units are allocated. Each variable, operator, and statement is binded to a unit in such a way as to minimize the DP and FSM cost.

## 6. Моделирование и синтез вычислительных систем

```

entity GCD is
  port(CLOCK, RESET, START: in BIT;
        X1,Y1: in BIT_VECTOR(15 downto 0);
        READY: out BIT;
        RES: out BIT_VECTOR(15 downto 0));
end GCD;
architecture BEHAVIOR of GCD is
  attribute CYCLE_TIME of BEHAVIOR:architecture is 60NS;
  attribute TOTAL_AREA of BEHAVIOR:architecture is 500GT;
  attribute FUNCTION_UNITS of BEHAVIOR:architecture is "ALU16-1";
  attribute EXECUTION_TIME of BEHAVIOR:architecture is 2US;
  attribute CRITERION of BEHAVIOR:architecture is "minT";
begin
  P1:process
    variable X,Y:BIT_VECTOR(15 downto 0);
    variable V1,V2,V3,V4:BOOLEAN;
    attribute PROBABILITY of V1:variable is 1;
    attribute PROBABILITY of V2:variable is 0.05;
    attribute PROBABILITY of V3,V4:variable is 0.475;
  begin
    -- Statement      Segment Path
    loop
      --1              1
      wait until CLOCK'Event and CLOCK='1';
      V1:= not START='1'; --2          2
      if V1 then READY<='0'; end if; --3          2
      if V1 then X:=X1; end if; --4          2
      if V1 then Y:=Y1; end if; --5          2
      exit when V1; --6          2
    end loop;
    loop
      --7              1
      wait until CLOCK'Event and CLOCK='1';
      V2:=X=Y; --8          3
      V3:=X<Y; --9          3
      V4:=X>Y; --10         3
      if V3 then Y:=Y-X; end if; --11         3
      if V4 then X:=X-Y; end if; --12         3
      if V2 then READY<='1'; end if; --13         3
      if V2 then RES<=X; end if; --14         3
      exit when V2; --15         3
    end loop;
  end process;
end BEHAVIOR;

```

Figure 1: GCD special behavioral model

## 6. Net-based synthesis

There are two main problems in synthesis of circuits and systems composed of variable execution time components, how to

- perform the scheduling, allocation, and binding tasks to optimize the design
- build the components, synthesize the control, and construct a system.

Both the problems can be solved within high-level synthesis net-based methodology (Prihozhy,1996). The key concept of net-based synthesis is a net schedule that desc-ribes mixed sequential/concurrent execution of the statements.

The set  $D_M$  of the concurrent statement pairs defines the net schedule of maximum concurrency. For a subset  $D$  of set  $D_M$  we search for a net schedule of less concurrency. Two optimization tasks are possible in order to

- minimize the net schedule execution time with constraints on the cost
- minimize the net schedule cost with constraints on the execution time.

The net schedule can be a source for synthesizing sequential schedules. An ordinary sequential schedule is generated by ASAP and ALAP techniques if the statement execution time equals the clock cycle time. A sequential schedule with chaining is generated by the list scheduling and other techniques with constraints on the cost or on the number of functional units. A sequential schedule with multicycling is generated if the functional unit execution time is greater than the clock cycle time. If functional units are functionally pipelined, statements have to be splitted into parts, one for each stage of the pipeline.

Synthesis of asynchronous circuits and systems is based on net scheduling algorithms, net allocation algorithms for functional, storage, and interconnection units, net binding algorithms, methods of constructing asynchronous circuit and system components, methods of synthesis of asynchronous circuits and systems composed of these components.

## 7. Results

The described models, methods, techniques, and algorithms are realized within the AHILES high-level synthesis system (Figure 2) (Prihozhy,1996). Results generated for five benchmarks (Courtois,1994, Mermet,1993) are presented in Tables 1 and 2. All the RTL-structures are synthesized on a PC 486/50. The VHDL compiler throughput is 100 to 280 lines per second. The overall synthesis time is 5 to 14 sec. Generated RTL-structure parameters appear in Table 1. The internal form size is 1.4 times greater than the VHDL-text size for behavioral descriptions and 0.86 times less for structural descriptions. AHILES introduced few FSM states for all the designs. This is due to the preliminary transformation of the behavioral descriptions, special behavioral model, and novel scheduling, allocation, and binding techniques. The average execution time of generated net schedules is 18% less than the execution time of optimal sequential schedules.

Table 1 Design parameters

<i>Parameter</i>	<i>Benchmarks</i>				
	<i>Bubble</i>	<i>Gcd</i>	<i>Gcdf</i>	<i>Kalman</i>	<i>Pid</i>
Behavior VHDL text (lines)	119	50	60	220	180
Behavior VHDL text (bytes)	3009	2089	2844	7966	9978
Behavior internal form (bytes)	10148	7160	7512	19478	13680
Statements	79	19	29	176	122
Objects	46	15	19	122	75
CFG and DFG (bytes)	5171	1409	1987	12340	8152
FSM states	20	2	5	16	23
FSM transitions	31	4	9	29	33
ALUs	0	1	1	1	1
Functional units width (bits)	0	16	32	17	32
Registers	7	2	2	18	13
Register width (bits)	104	32	64	138	389

RAMs	1	0	0	3	0
ROMs	0	0	0	3	1
Collectors	0	0	0	5	9
Multiplexers	4	4	4	14	8
Multiplexer width (bits)	68	64	128	155	227
Multiplexer inputs	13	8	8	36	33
DP internal form (bytes)	6177	3031	3170	17075	12425
FSM internal form (bytes)	4522	1132	1532	9927	8197
Structure internal form (bytes)	10699	4163	4702	27002	20622
Structure VHDL text (lines)	416	164	184	1000	724
Structure VHDL text (bytes)	12383	4647	5241	31550	22938

## 9. References

1. Jerraya, A.A., Park, I., O'Brien, K. (1993) Amical: An Interactive High-Level Synthesis Environment, in *Proc. EDAC'93*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, Calif.
2. Mermet, J. ed. (1993) Fundamentals and Standards in Hardware Description Languages. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.
3. Prihozhy, A. (1996) Net Scheduling in High-Level Synthesis. *IEEE Design & Test of Computers*, **13**, Spring, 26-35.
4. Prihozhy, A. (1996) Use of VHDL-Based Design Methodology and AHILES System for Education in Belarus, in *Proc. Europ. Workshop on Microelectr. Education* (ed. G. Kamarinos, N. Guillemot., and B. Courtois), World Scientific, Singapore, 217-20.

УДК 681.3

## АЛГЕБРА ЧАСТИЧНОЙ ЛОГИКИ

Прихожий А.А

Белорусский Государственный Университет  
Информатики и Радиоэлектроники

Алгебра частичной логики, предлагаемая в статье, позволяет оперировать частичными переменными и функциями, подобно тому как традиционная булева алгебра позволяет оперировать полностью определенными переменными и функциями. Кроме того, многие задачи построения моделей, имитационного моделирования, синтеза, верификации, логического вывода решаются эффективно средствами этой алгебры [1-3].

Значения полностью определенной скалярной логической переменной  $x$ , принадлежат множеству  $B=\{0,1\}$ , значения частичной скалярной переменной  $y$ , принадлежат множеству  $M=\{0,1,-\}$ , где '-' есть безразличное значение. Значения частичной векторной переменной  $y=(y_1, \dots, y_m)$  принадлежат множеству  $M^m$ . Понятие частичной функции является обобщением известного понятия неполностью определенной функции. Частичная булева функция (операция)  $f(y)$  есть отображение  $f: M^m \rightarrow M$  (заметим, неполностью определенная функция есть  $f: B^m \rightarrow M$ ). Частичная функция определена корректно, если для всех значений  $a', a'' \in M^m$  таких, что  $f(a')=1$  и  $f(a'')=0$ , наборы  $a', a''$  ортогональны. Наборы  $a=(a'_1, \dots, a'_m)$  и  $a''=(a''_1, \dots, a''_m)$  ортогональны, если существует  $j$  такое, что  $a'_j=0$  и  $a''_j=1$  или  $a'_j=1$  и  $a''_j=0$ .

*Определение 1.* Формой "значение / область определения" (ЗООФ) частичной скалярной переменной  $y$ , называется пара  $y_j=v_j|d_j$  полностью определенных переменной  $v_j$  значения и переменной  $d_j$  области определения, определяющих значения  $y$  следующим образом:

$$1) y_j=0, \text{ если } v_j=0 \text{ и } d_j=1,$$



$$2) y_j=1, \text{ если } v_j=1 \text{ и } d_j=1,$$

$$3) y_j='-', \text{ если } v_j \in \{0,1\} \text{ и } d_j=0.$$

ЗООФ кодирует трехзначную переменную  $y_j$  парой двухзначных переменных  $v_j$  и  $d_j$ . Это позволяет использовать частичную логику для эффективно-го решения задач полностью определенной логики и использовать полностью определенную логику для эффективного решения задач частичной логики.

*Определение 2. Формой "значение / область определения" (ЗООФ) частичной векторной переменной  $y$  называется вектор пар  $y=((v_1|d_1), \dots, (v_m|d_m))$ , в котором каждая скалярная компонента представлена в ЗООФ.*

*Определение 3. Формой "значение / область определения" (ЗООФ) частичной скалярной функции  $z=f(y)$  называется представление  $(v|d)=f((v_1|d_1), \dots, (v_m|d_m))$ , в котором  $z=(v|d)$ ,  $y_j=v_j|d_j$  при  $j=1, \dots, m$ ,  $v$  и  $d$  - полностью определенные функции, зависящие от аргументов  $v_1, d_1, \dots, v_m, d_m$ .*

Если в частичной функции  $g=(v|d)$  функции  $v$  и  $d$  являются полностью определенными функциями  $v(x)$  и  $d(x)$ , зависящими от векторного аргумента  $x=(x_1, \dots, x_n)$ , то функция  $g$  является неполностью определенной функцией  $g(x): B^n \rightarrow \{0, 1, -\}$ . Для функции  $g(x)$  выполняются соотношения  $g^{on}=(v \& d)^{on}$ ,  $g^{off}=(\sim v \& d)^{on}$ ,  $g^{dc}=(\sim d)$ .

Одноместные и двуместные операции являются базовыми в частичной логике. Они позволяют представить в виде формул все другие корректно определенные функции частичной логики. Существует 27 одноместных трехзначных операций. Только часть их является корректными частичными операциями. Пять операций, являющихся обобщением традиционных одноместных булевых операций, определены в табл. 1. Пусть единственный аргумент одноместной частичной операции представлен в ЗООФ  $(v_1|d_1)$ .

Таблица 1

## Одноместные операции частичной логики

N	Имя операции	Значение	Обозначение
		0 1 -	
1	Константа 0	0 0 0	$c0(v_1 d_1)$
2	Константа 1	1 1 1	$c1(v_1 d_1)$
3	Константа -	- - -	$c-(v_1 d_1)$
4	Тождество	0 1 -	$=(v_1 d_1)$
5	Отрицание	1 0 -	$\sim(v_1 d_1)$

*Теорема 1.* Результаты выполнения одноместных частичных операций определяются следующими выражениями в ЗООФ:

$$c0(v_1|d_1) = 0|1 \quad (1)$$

$$c1(v_1|d_1) = 1|1 \quad (2)$$

$$c-(v_1|d_1) = v_1|0 \quad (3)$$

$$=(v_1|d_1) = v_1|d_1 \quad (4)$$

$$\sim(v_1|d_1) = \sim v_1|d_1. \quad (5)$$

Существует 19683 двухместных трехзначных операций, из которых только часть является корректными частичными операциями. Десять частичных операций, обобщающих традиционные двухместные полностью определенные булевы операции, определены в табл.2. Частичные операции обозначены теми же символами, что и традиционные операции. Пусть  $v_1|d_1$  и  $v_2|d_2$  - аргументы операций, представленные в ЗООФ.

*Теорема 2.* Результаты выполнения двухместных частичных операций определяются следующими выражениями в ЗООФ:

$$(v_1|d_1)\&(v_2|d_2) = (v_1\&v_2|d_1\&d_1+\sim v_1\&d_1+\sim v_2\&d_2), \quad (6)$$

$$(v_1|d_1)+(v_2|d_2) = (v_1+v_2|d_1\&d_1+v_1\&d_1+v_2\&d_2), \quad (7)$$

$$(v_1|d_1)/(v_2|d_2) = (v_1/v_2|d_1&d_1+\sim v_1&d_1+\sim v_2&d_2), \quad (8)$$

$$(v_1|d_1)\downarrow(v_2|d_2) = (v_1\downarrow v_2|d_1&d_1+v_1&d_1+v_2&d_2), \quad (9)$$

$$(v_1|d_1)\rightarrow(v_2|d_2) = (v_1\rightarrow v_2|d_1&d_1+\sim v_1&d_1+v_2&d_2), \quad (10)$$

$$(v_1|d_1)\leftarrow(v_2|d_2) = (v_1\leftarrow v_2|d_1&d_1+v_1&d_1+\sim v_2&d_2), \quad (11)$$

$$(v_1|d_1)\sim>(v_2|d_2) = (v_1\sim>v_2|d_1&d_1+\sim v_1&d_1+v_2&d_2), \quad (12)$$

$$(v_1|d_1)\leftarrow\sim(v_2|d_2) = (v_1\leftarrow\sim v_2|d_1&d_1+v_1&d_1+\sim v_2&d_2), \quad (13)$$

$$(v_1|d_1)\oplus(v_2|d_2) = (v_1\oplus v_2|d_1&d_1), \quad (14)$$

$$(v_1|d_1)\equiv(v_2|d_2) = (v_1\equiv v_2|d_1&d_1), \quad (15)$$

Из теорем 1, 2 следует, что благодаря ЗООФ операции частичной логики выражаются через полностью определенные операции булевой алгебры. Если  $d_1=d_2=1$ , то частичные операции становятся полностью определенными. Так, частичная конъюнкция  $(v_1|1)\&(v_2|1)$  становится полностью определенной конъюнкцией  $v_1&v_2$ , действительно,  $(v_1|1)\&(v_2|1) = (v_1&v_2|1+\sim v_1&1+\sim v_2&1) = (v_1&v_2|1) = v_1&v_2$ . Другие частичные функции определяются формулами, построенными с использованием базовых частичных операций.

Таблица 2

## Двухместные операции частичной логики

N	Имя операции	Значения	Обозначение
		0 1 - 0 1 - 0 0 0 1 1 1 - - -	
1	Конъюнкция	0 0 0 0 1 - 0 - -	$(v_1 d_1)\&(v_2 d_2)$
2	Дизъюнкция	0 1 - 1 1 1 - 1 -	$(v_1 d_1)+(v_2 d_2)$
3	Штрих Шеффера	1 1 1 1 0 - 1 - -	$(v_1 d_1)/(v_2 d_2)$
4	Стрелка Пирса	1 0 - 0 0 0 - 0 -	$(v_1 d_1)\downarrow(v_2 d_2)$
5	Импликация	1 0 - 1 1 1 1 - -	$(v_1 d_1)\rightarrow(v_2 d_2)$
6	Обратная импликация	1 1 1 0 1 - - 1 -	$(v_1 d_1)\leftarrow(v_2 d_2)$
7	Отрицание импликации	0 1 - 0 0 0 0 - -	$(v_1 d_1)\sim(v_2 d_2)$
8	Отрицание обр.импликации	0 0 0 1 0 - - 0 -	$(v_1 d_1)\prec\sim(v_2 d_2)$
9	Исключающее или	0 1 - 1 0 - - - -	$(v_1 d_1)\oplus(v_2 d_2)$
10	Эквивалентность	1 0 - 0 1 - - - -	$(v_1 d_1)\equiv(v_2 d_2)$

Если в паре  $v|d$  функция  $d$  фиксирована, то функция  $v$  может быть заменена другой функцией  $f$ , удовлетворяющей соотношению  $(v|d)=(f|d)$  или соотношению  $v\&d=f\&d$ . Для функции  $f$  выполняется также соотношение  $v^{on}\&d^{on}\subseteq f^{on}\subseteq v^{on}\&d^{off}$ . Операция минимизации  $f=\min(v|d)$  вводится с целью генерирования представлений функции  $f$ , имеющих минимальную стоимость, выраженную в тех или иных единицах. Реализация операции зависит от формы представления полностью определенных функций  $v$  и  $d$ . Пример выполнения операции над диаграммами двоичных решений BDD приведен на (Рис.1). Минимизация BDD достигается за счет удаления некоторых нетерминальных вершин и частей диаграммы и дальнейшего упрощения результирующей BDD. Операция минимизации для других форм представления функций (ДНФ, КНФ, полином Жегалкина (форма Рид-Маллера) и др.) определяется аналогичным образом. Результаты выполне-

ния операции зависят от порядка следования переменных в исходных представлениях  $v$  и  $d$ . Изменением порядка можно влиять на параметры представления минимизированной функции.

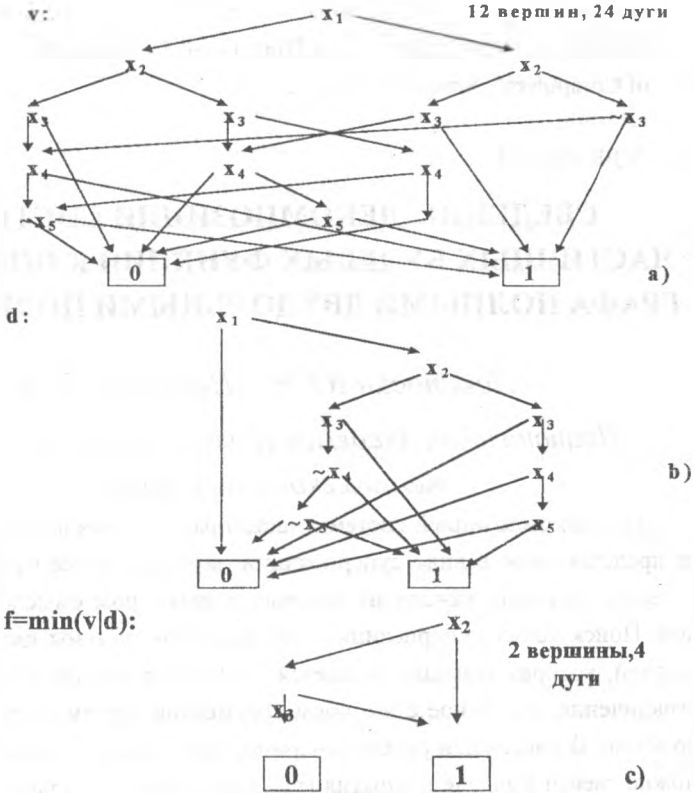


Рис.1. Минимизация функций, представленных ROBDD

## Литература

1. Prihozhy A. If-Diagrams: Theory and Application, PATMOS'97: Proc. Int. Conf, 1997, UCL, Belgium, pp.369-378.
2. Прихожий А.А. Логический вывод в частичной логике. - Минск: Ин-т. техн. кибернетики АНБ, 1998. - 18 с.
3. Prihozhy A. Net Scheduling in High-Level Synthesis, IEEE Design & Test of Computers", Spring 1996, pp.26-35.

УДК 681.511

### СВЕДЕНИЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ СИСТЕМЫ ЧАСТИЧНЫХ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ К ПОКРЫТИЮ ГРАФА ПОЛНЫМИ ДВУДОЛЬНЫМИ ПОДГРАФАМИ

*Поттосин Ю. В., Шестаков Е. А.*

*Национальная Академия Наук Беларуси, Институт  
технической кибернетики,*

Под декомпозицией системы частичных булевых функций понимается ее представление в виде суперпозиции двух или более систем частичных булевых функций, каждая из которых в некотором смысле проще исходной. Поиск таких суперпозиций для заданной системы является сложной задачей, которая успешно решается [1-3], если вводится дополнительное ограничение, связанное с выбором аргументов систем, входящих в суперпозицию. В настоящей работе показано, что решение задачи декомпозиции можно свести к задаче покрытия графа полными двудольными подграфами [4]. При этом нет необходимости вводить указанное выше дополнительное ограничение.

*Основные определения, постановка задачи.* Пусть  $h = f(x)$  – исходная система булевых функций, где  $h = (h_1, h_2, \dots, h_m)$ ,  $f(x) = (h_1(x), h_2(x), \dots,$

$h_m(x)$ ,  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Эта система задается парой троичных матриц  $T, B$  размерностью  $l \times n$ ,  $l \times m$  соответственно [1–3]. Столбцы матрицы  $T$  помечены переменными  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , а столбцы матрицы  $B$  – переменными  $h_1, h_2, \dots, h_m$ . Заметим, что если переменные  $x_1, x_2, \dots, x_n$  являются булевыми, то переменные  $h_1, h_2, \dots, h_m$  – троичные, т.е. принимают свои значения из множества  $\{0, 1, -\}$ . Обозначим через  $D_f$  область определения системы  $f(x)$ , которая задается матрицей  $T$  [3]. Также обозначим через  $x_i$  векторную переменную, составленную из некоторых булевых переменных множества  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , число которых не превышает числа  $k$ , где  $1 \leq k < n$ , а через  $x_i^*$  – значение этой векторной переменной. При этом будем полагать, что если  $x^*$  – значение переменной  $x$ , то  $x_i^*$  составлено из тех компонент  $x^*$ , которые являются значениями булевых переменных, входящих в векторную переменную  $x_i$ . Пусть  $z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$ , где  $z_j \in \{0, 1, -\}$ ,  $1 \leq j \leq m$ . Обозначим через  $h^*, z^*$  троичные вектора, являющиеся значениями векторных переменных  $h, z$  соответственно. Будем говорить, что  $h^*$  поглощает  $z^*$  ( $h^* < z^*$ ), если и только если значения всех компонент вектора  $h^*$ , отличные от неопределенного (“–”), совпадают с соответствующими компонентами вектора  $z^*$ . Суперпозиция  $z = g(u_1(x_1), u_2(x_2), \dots, u_s(x_s))$ , где  $u_i = u_i(x_i)$  – частичная булева функция ( $1 \leq i \leq s$ ,  $1 < s$ ), реализует систему булевых функций  $f(x)$ , если и только если для любого  $x^* \in D_f$  выполняется  $h^* = f(x^*) < z^* = g(u_1(x_1^*), u_2(x_2^*), \dots, u_s(x_s^*))$ . Ниже рассматривается решение следующей задачи декомпозиции.

Пусть даны: система частичных булевых функций  $f(x)$  и число  $q$  ( $1 < q < n$ ). Необходимо найти, если это возможно, реализующую  $f(x)$  суперпозицию  $g(u_1(x_1), u_2(x_2), \dots, u_s(x_s))$ , в которой число  $s$  частичных булевых функций  $u_i = u_i(x_i)$  ( $1 \leq i \leq s$ ,  $1 < s$ ), минимально или близко к минимальному и не превосходит числа  $q$ .

*Метод решения задачи декомпозиции.* Пронумеруем строки матриц  $T$  и  $B$  числами  $1, 2, \dots, l$ , которые объединим в множество  $V$ . Обозначим через  $R$  множество всех неупорядоченных пар чисел из множества  $V$ . Будем го-

ворить, что пара строк троичной матрицы ортогональна, если и только если в этой матрице существует столбец такой, что элементы матрицы, находящиеся на пересечении этого столбца с данными строками, определены и различны. Для матрицы  $T$  зададим подмножество  $R(T)$  множества  $R$ . Пара  $(a, b) \in R(T)$ , если и только если строки матрицы  $T$  с номерами  $a, b$  ортогональны. Точно также зададим и подмножество  $R(B)$ . Нетрудно убедиться, что троичные матрицы  $T, B$  задают систему частичных булевых функций  $f(x)$ , если  $R(B) \subseteq R(T)$ .

Построим неориентированный граф  $G = (V, R(T))$ , где  $V$  – множество вершин графа, а  $R(T)$  – множество ребер. Всякому ребру  $(a, b)$  графа  $G$  припишем булеву функцию  $r_{(a,b)}(x)$ . Эта булева функция равна дизъюнкции всех тех переменных из множества  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , которые помечают столбцы матрицы  $T$ , на пересечении с которыми элементы строк  $t_a, t_b$  имеют различные значения, отличные от значения “–”. Подграф  $A = (V', E)$  графа  $G$ , где  $V' \subseteq V, E \subseteq R(T)$ , называется полным двухдольным подграфом (ПДП) [4], если множество  $V'$  разбивается на два подмножества  $V_1, V_2$  такие, что каждое ребро, принадлежащее  $E$ , соединяет вершины из разных подмножеств и каждая вершина из  $V_1$  связана ребрами со всеми вершинами из  $V_2$ . Каждое ПДП полностью задается подмножествами  $V_1, V_2$ , поэтому будем использовать обозначение  $A = \langle V_1, V_2 \rangle$ , считая  $\langle V_1, V_2 \rangle$  неупорядоченной парой множеств. Полному двухдольному подграфу  $A$  графа  $G$  припишем булеву функцию  $A(x)$ , равную конъюнкции булевых функций, приписанных его ребрам. Подграф  $A = \langle V_1, V_2 \rangle$ , являющийся ПДП графа  $G$ , называется допустимым, если  $(V_1 \times V_2) \cap R(B) \neq \emptyset$  и в ДНФ булевой функции  $A(x)$  имеется хоть одна конъюнкция, число переменных в которой не превышает число  $k$  ( $1 \leq k < n$ ). ПДП покрытием графа  $G$  назовем совокупность  $A_1, A_2, \dots, A_p$  его допустимых ПДП такую, что любое ребро из  $R(B)$ , где  $R(B) \subseteq R(T)$ , принадлежит хотя бы одному из  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, p$ ). ПДП покрытие называется безызыбыточным, если любое подмножество множества, входящих в него допустимых ПДП, не является ПДП покрытием. ПДП покрытие



графа  $G$  назовем минимальным, если среди всех ПДП покрытий этого графа оно состоит из наименьшего числа допустимых ПДП.

*Утверждение 1.* Для системы частичных булевых функций  $f(x)$ , заданной трюичными матрицами  $T, B$ , существует реализующая ее суперпозиция  $g(u_1(x_1), u_2(x_2), \dots, u_s(x_s))$ , если в графе  $G$  существует ПДП покрытие, состоящее из  $s$  допустимых ПДП.

Пусть в графе  $G$  имеется совокупность  $A_1, A_2, \dots, A_s$  допустимых ПДП, составляющих ПДП покрытие графа  $G$ . Построим трюичную матрицу  $Z$  размерностью  $l \times s$ . Столбец с номером  $i$  этой матрицы строится по  $A_i = \langle V_{1i}, V_{2i} \rangle$  ( $1 \leq i \leq s$ ). Элементы этого столбца с номерами из  $V_{1i}$  принимают нулевое значение, а из  $V_{2i}$  – единичное. Остальные элементы – значение “–”. Система  $g$  задается матрицами  $Z, B$ . Булева функция  $u_i = u_i(x_i)$  задается матрицами  $U_i, L_i$ . Матрица  $U_i$  составляется из тех столбцов матрицы  $T$ , которые помечены переменными, входящими в конъюнкцию минимальной длины ДНФ функции  $A_i(x)$ . Матрица  $L_i$  состоит из одного  $i$ -го столбца матрицы  $Z$ .

*Утверждение 2.* Рассматриваемая в настоящей работе задача декомпозиции имеет решение, если минимальное ПДП покрытие графа  $G$  содержит не более  $q$  допустимых ПДП.

В качестве приближенного решения задачи декомпозиции можно считать безызбыточное ПДП покрытие графа  $G$ , состоящее не более, чем из  $q$  допустимых ПДП.

## Литература

1. Закревский А.Д. Логический синтез каскадных схем. – М.: Наука, 1981.
2. Бибило П.Н., Енин С.И. Синтез комбинационных схем методом функциональной декомпозиции. – Минск: Наука и техника, 1987.
3. Шестаков Е.А. Декомпозиция системы частичных булевых функций методом “сверху вниз”// АВТ. – 1996. – N 5. – С.31-39.





$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \\ \sum_{m=0}^{n-1} q_m \xi[k+m] \end{bmatrix}.$$

### Плотность распределения вероятностей вектора состояний

Из уравнения (5) следует, что если  $\xi[k]$  — дискретный белый шум с нормальным распределением, то при известном  $\mathbf{X}[k]$  вектор  $\mathbf{X}[k+1]$  распределен по нормальному закону с вектором условных математических ожиданий:

$$\mathbf{m}[k+1] = M\{\mathbf{X}[k+1]/\mathbf{X}[k]\} = \mathbf{G}(\mathbf{X}[k], k) \quad (6)$$

и матрицей условных взаимных корреляционных функций

$$\mathbf{D}[k+1] = M\{(\mathbf{X}[k+1] - \mathbf{m}[k+1])(\mathbf{X}[k+1] - \mathbf{m}[k+1])^T / \mathbf{X}[k]\} = M\{\mathbf{L}[k]\mathbf{L}^T[k]\} \quad (7)$$

Поскольку вектор  $\mathbf{L}[k]$  имеет только  $n$ -ю ненулевую компоненту то матрица взаимных корреляционных функций имеет вид

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \sigma_n^2 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где

$$\sigma_n^2 = \sigma_\xi^2 \sum_{m=0}^{n-1} q_m^2.$$

Поэтому первые  $n-1$  компонент вектора  $\mathbf{X}[k+1]$  как следует из уравнения (5), однозначно определяются вектором  $\mathbf{X}[k]$ :

$$x_i[k+1] = G_i(\mathbf{X}[k], k), \overline{i=1, n-1}.$$

Случайное приращение с дисперсией  $\sigma_n^2$  имеет лишь последняя компонента  $x_n[k+1]$ . С учетом этого плотность вероятности перехода марковского процесса  $X(t)$  из состояния  $\mathbf{X}[k]$  в состояние  $\mathbf{X}[k+1]$  содержит произведение  $n-1$   $\delta$ -функций и одномерного гауссовского распределения:

$$w(\mathbf{X}[k+1] / \mathbf{X}[k]) = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_n^2} ((x_n[k+1]) - G_n(\mathbf{X}[k], k))^2 \right\} \times \\ \times \delta(x_1[k+1] - G_1(\mathbf{X}[k], k)) \times \dots \\ \dots \times \delta(x_{n-1}[k+1] - G_{n-1}(\mathbf{X}[k], k)) \quad (9)$$

На основании соотношения Чепмена–Смолуховского можно составить рекуррентное уравнение для плотности вероятностей вектора  $\mathbf{X}[k]$ :

$$w_{k+1}(\mathbf{X}) = \int_{\Omega} w(\mathbf{X}/Z) w_k(Z) dZ \quad (10)$$

В стационарном режиме, если он существует уравнение (10) переходит в интегральное уравнение Фредгольма 2-го рода относительно стационарного распределения  $w_{cm}(\mathbf{X})$ .

Следует отметить, что в выражении (10) после интегрирования остаются только одномерные интегралы. Интегральные уравнения (10) решаются в общем случае численно [1]. Одним из приоритетных методов их решения является метод Бубнова–Галеркина. В соответствии с этим методом приближенное решение  $n$ -го порядка определяется в виде суммы  $n$  слагаемых вида:  $C_n(N) \Psi_n(\mathbf{X})$ , где  $\Psi_n(\mathbf{X})$  – полная система ортогональных на некотором интервале функций. Коэффициенты  $C_n(N)$  определяются из условия ортогональности невязки исходного

уравнения ко всем координатным функциям  $\Psi_n(\mathbf{X})$ ,  $n = \overline{0, m}$ , что в итоге приводит к системе линейных алгебраических уравнений [3]:

## Литература

1. Прикладные математические методы анализа в радиотехнике / Под ред. Г. В. Обрезкова. – М.: Высшая школа, 1985.
2. Крылов В. И. Приближенные методы высшего анализа. – М.: Физматгиз, 1962.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА МАРКИРОВАННЫХ ГРАФОВ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ АВТОМАТОВ

*Лялько А. П.*

*Брестский политехнический институт*

При создании широкого класса цифровых систем управления возникает необходимость разработки устройств, реализующих параллельные алгоритмы логического управления. В настоящей статье приводится обзор метода описания поведения управляющего автомата с использованием частных случаев сетей Петри. Использование маркированных графов или сетей Петри является не единственно возможным способом описания поведения параллельного автомата (УА). Так, в работе [1] описывается механизм использования языка параллельных граф-схем алгоритмов (ПГСА) для описания параллельного алгоритма управления. Данный способ относится к классу композиционно-автоматных форм описания поведения УА. Его особенностью является представление параллельной граф-схемы алгоритма (ГСА) совокупностью одновременно выполняемых последовательных ГСА, методы синтеза УА по которым достаточно хорошо изучены и подробно

изложены в литературе, в частности в работах [2, 3]. В работе [4] приводится описание применения аппарата маркированных графов и, в частности, сетей Петри для описания поведения параллельных УА.

Маркированным графом называется ориентированный граф, состояние которого отмечается (маркируется) помещением меток в некоторое подмножество его вершин. При фиксированной начальной маркировке функционирование модели определяется перемещением меток из одного подмножества вершин в другое, которое осуществляется по определенным правилам. При использовании сетей Петри для описания поведения УА вершины маркированного графа интерпретируются как отдельные технологические операции, производимые на объекте управления (ОУ), что придает такому языку технологическую естественность.

Сеть Петри общего вида задается тройкой множеств  $N = (S, T, F)$  для которых:  $S \cup T = \emptyset$ ,  $F \subseteq (S \times T) \cup (T \times S)$ , где  $S$  – множество мест,  $T$  – множество переходов,  $F$  – отношения связи между ними,  $X \cup T$  – множество вершин сети [5]. Маркированная сеть  $N = (S, F, T, M_0)$  – это сеть  $N = (S, T, F)$  с начальной маркировкой  $M_0$ . Для задания структуры параллельного автомата используют различные частные случаи сетей Петри. Одним из подклассов сетей Петри является подкласс расширенных сетей свободного выбора (extended free choice net или EFC-сети) [6]. В начальной маркировке EFC-сети имеется только одна метка. К подклассу EFC-сетей относятся и  $\alpha$ -сети. Так, в работе [7] приводятся алгоритмы генерирования псевдослучайных параллельных автоматов со структурой в виде  $\alpha$ -сети. Так же, как и сеть Петри,  $\alpha$ -сеть задается тремя множествами:  $N = (S, T, M_0)$ , где  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  – множество мест,  $T = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$  – множество переходов,  $M_0$  – начальная маркировка сети. Любой из переходов  $\tau_i$  представляет собой пару  $(\mu_i, \nu_i)$ , где  $\mu_i$  – множество входных мест перехода,  $\nu_i$  – множество выходных мест. Отличительной особенностью  $\alpha$ -сетей является то, что множество входных мест любых двух переходов либо не пересекается, либо совпадает. Переходы с совпадающим множеством входных мест называют

## 6. Моделирование и синтез вычислительных систем

предложениями. Альфа-сети предпочтительнее по следующим причинам. Во-первых, их параллелизм не начинается с начального состояния, а является результатом распараллеливания последовательного процесса, что соответствует структуре параллельных алгоритмов. Во-вторых, одним из свойств корректного циклического алгоритма (управляющие алгоритмы как правило являются циклическими) является восстанавливаемость, то есть способность из любого достижимого полного состояния вернуться в исходное; корректная же  $\alpha$ -сеть всегда восстанавливаема. Далее подробно остановимся на способе задания структуры параллельного УА в виде маркированного автомата и соответствующего математического описания.

Пример  $\alpha$ -сети приводится на рис. 1. Сеть задается тройкой  $N = (S, T, M_0)$ , где  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  – множество элементарных технологических операций некоторого объекта управления. Для каждой вершины  $s_i$  определим пару  $(p_i, v_i)$ , где  $p_i$  – отношение активности  $i$ -й вершины,  $p_i = \{0, 1\}$ ,  $i = 1, n$ ,  $p_i = 1$  –  $i$ -я вершина активна (включена в текущую маркировку),  $p_i = 0$  –  $i$ -я вершина не активна (не включена в текущую маркировку);  $v_i$  – состояние выходов объекта управления. Маркировка  $\alpha$ -сети  $M_k$  на  $k$ -м шаге представляет собой множество  $\{p_1, p_2, p_n\}$ , где  $p_i$  – активность  $i$ -й вершины. Множество  $T$  представляет собой множество переходов  $\alpha$ -сети.  $T = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$ . В дополнение к упоминавшимся ранее множествам входных вершин  $\mu_i$  и выходных вершин  $\nu_i$  для каждого перехода  $\tau_i$  введем условие перехода  $w_i$  – булеву функцию от входов (сигналов, поступающих на входы объекта управления), вызывающую переход.

Переход  $\tau_i$  активизирован, если выполняются условия:  $\sigma \cap p_r^{\mu}$ , где  $p_r$  – маркировка  $r$ -й входной вершины перехода  $\tau_i$  и  $w_i = 1$ . Для активизированного перехода выполняется новая разметка по следующим правилам:

- 1) для всех  $p_r^{\mu}$ , устанавливается значение 0,
- 2) для всех  $p_r^{\nu_i}$ , устанавливается значение 1.

Срабатывание активизированного перехода заключается в следующем изменении маркировки сети:  $M_{k+1} = (M_k \setminus \mu_i) \cup \nu_i$ . Переход от маркировки  $M_k$  к



маркировке  $M_{k+1}$  таким образом, сводится к перемещению меток из множества входных вершин  $\mu$  во множество выходных вершин  $\nu$  по активизированным переходам  $\tau$ .

При использовании аппарата  $\alpha$ -сетей для представления параллельных автоматов встает задача обеспечения требований корректности автомата. Корректность параллельного автомата обеспечивают следующие свойства:

- 1) непротиворечивость – для любых  $\tau_i$  и  $\tau_j$ , происходящих одновременно  $v_i \cup v_j \neq 0$ ;
- 2) безызбыточность – отсутствие переходов, которые никогда не могут быть выполнены;
- 3) восстанавливаемость – способность из любого достижимого состояния вернуться в исходное;
- 4) самосогласованность – невозможность повторного запуска перехода до его завершения.

Различные варианты решения проблемы обеспечения корректности  $\alpha$ -сетей рассматриваются в работах [6, 7, 8]. Корректность параллельного автомата обеспечивается живостью и безопасностью  $\alpha$ -сетей. Для проверки живости и безопасности  $\alpha$ -сетей авторами указанных работ используются правила и выводы, приводимые в работе [9].

## Литература

1. Ковальчук А.М. Синтез управляющих автоматов по параллельным ГСА // Автоматизация проектирования дискретных систем. - Минск: Ин-т техн. Кибернетики АНБ, 1997, С. 92-97
2. Скляр В. А. Синтез автоматов на матричных БИС. - Минск: Наука и техника, 1984, 287с.
3. Новиков С. В. Теория регулярных структур. - Минск: Университетское, 1987, 208с.
4. Юдицкий С. А., Тагиевская Т. К., Ефремова Т. К. Проектирование дискретных систем автоматики. - М: Машиностроение, 1980, 232 с.

5. Ковалев А. В. Диагностика сетей Петри // Методы и алгоритмы логического проектирования .- Минск: Ин-т техн. Кибернетики АНБ, 1995, С. 38-48
6. Короткевич А. Г. Анализ корректности  $\alpha$ -сетей // Логическое проектирование .- Минск: Ин-т техн. Кибернетики АНБ, 1996, С. 86-96
7. Поттосин Ю. В. Генерирование параллельных автоматов // Методы и алгоритмы логического проектирования .- Минск: Ин-т техн. Кибернетики АНБ, 1995, С. 132-142
8. Короткевич А. Г. Метод конструирования корректных ПРАЛУ-алгоритмов // Логическое проектирование .- Минск: Ин-т техн. Кибернетики АНБ, 1996, С. 97-106
9. Закревский А. Д. Элементы теории  $\alpha$ -сетей // Проектирование систем логического управления .- Минск: Ин-т техн. Кибернетики АН БССР, 1986, С. 4-12

УДК 681.00

## **СИСТЕМА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МУЛЬТИМИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

*Радшиевский В. А.*

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники*

В настоящее время развитие технических средств (ТС) вычислительной техники, появление весьма компактных и надёжных малогабаритных вычислительных устройств (микропроцессоров и построенных на их основе микро-ЭВМ) качественно изменили подход к проблемам управления и проектирования систем АСУ ТП. Все эти ТС

обычно объединяется в распределенные системы обработки информации, называемые мультимикропроцессорными управляющими вычислительными комплексами (ММПУВК) реального времени (РВ).

Математической основой проектирования программного обеспечения ММПУВК является теория параллельного программирования. При проектировании ММПУВК РВ должны учитываться оценки времени выполнения отдельных задач и производиться согласование их с циклическим режимом работы и частотой выдачи управляющей информации. Загрузка каждого из процессоров может быть организована по правилам мультипрограммной обработки с учетом частичной упорядоченности задач и их относительного приоритета. Частичная упорядоченность задач (т.е. определенные разработчиком связи по информации и управлению между ними) является основным фактором, препятствующим полной загрузке всех процессоров несмотря на высокие требования к использованию всех вычислительных ресурсов.

В таком аспекте проблему распараллеливания можно представить как две взаимно обратные задачи распараллеливания [4].

- Задача 1. Для заданного комплекса информационно и по управлению взаимосвязанных задач (параллельной программы), заданной архитектуры вычислительной системы, заданного ограничения на допустимое время вычислительного процесса выбрать комплектацию вычислительной системы минимальной стоимости.
- Задача 2. Найти план решения за минимальное время заданного комплекса информационно и по управлению взаимосвязанных задач на данной вычислительной системе.

Решение задач 1 и 2 обычно производится на этапе функционального проектирования вычислительного комплекса. Традиционными методами функционального проектирования являются экспериментальное исследование и имитационное моделирование на программной модели комплекса, требующее большой вычислительной мощности ЭВМ.

В настоящее время сети Петри популярны как наглядный формальный аппарат для моделирования сложных систем, в частности содержащих параллельные процессы. Хорошо исследованы возможности таких их расширений, как стохастическо-детерминированные временные сети Петри, синхронные сети Петри с приоритетами, E-сети, окрашенные сети Петри и т.д.

К сожалению, при таких расширениях становятся неразрешимыми многие формальные свойства аппарата сетей Петри и модель исследуется в рамках чисто имитационного подхода. В то же время имитационный подход к моделированию можно реализовать более адекватными и удобными средствами, чем сети Петри.

В работе описан один из аппаратов имитационного моделирования параллельных процессов и реализующая его инструментальная система моделирования.

Основные определения и правила работы с предлагаемой моделью. Модель ММПУВК есть кортеж вида

$$G = \langle V, D, F^D, T, F^T, R, F^R, S, P \rangle,$$

где  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$  - множество событий (дуг);

$D = \{d_1, \dots, d_m\}$  - множество действий (вершин);

$T$  - множество времён, в течение которых выполняется множество действий  $D$ ;

$F^D$  - отношение инцидентности, сопоставляющее каждому элементу  $v_j \in V$  два элемента множества  $D$ ;

$F^T: D \rightarrow T$  - весовая функция, задающая время действия  $\tau \in T$ , соответствующее вершине  $d_j$ ;

$R$  - множество сообщений (ресурсов) модели;

$F^R: R \rightarrow D$  - отображение множества сообщений на множество вершин, сопоставляющее каждому элементу множества  $R$  два элемента множества  $D$ ;

$S$  - отношение эквивалентности на множестве  $D$ , выделяющее в  $D$  классы эквивалентности, представляющие собой подмножества  $s_1, s_2, \dots, s_p$  вершин. Действия, сопоставляемые вершинам, принадлежащих одному классу, не могут выполняться одновременно;

$P$  - отношение частичного порядка на  $D$ , образующее пары вершин типа  $(d_i, d_j)$ , такие, что предполагается выполнение действия, соответствующего вершине  $d_i$ , до выполнения действия, соответствующего вершине  $d_j$ ;

Отношения  $P, S$ , временные и структурные параметры модели задают предшествование и одновременность выполнения действий в явном виде. Конфликты при использовании общих ресурсов (сообщений) также влияют на последовательность выполнения действий. Движение маркеров моделирует выполнение процессов, потоки заявок и т. п. Текущее состояние модели определяется её маркировкой

$$\mu = (\mu^F),$$

где  $\mu^F: V \rightarrow N$ ,  $N$  - целое, причём  $N \geq 0$ , т. е.  $\mu = \begin{pmatrix} F \\ \mu_0, \dots, \mu_h \end{pmatrix}$ ,  $h = |V|$

и  $\forall \mu_i \in N$  - распределение маркеров по вершинам;

В результате переходов маркерам по дугам модель из одного текущего состояния трансформируется в другое, в соответствии с правилами, определяемыми используемой дисциплиной диспетчеризации. Синхронизация переходов регулируется отношениями  $P, S, F^R$ . Из изложенного следует, что рассматриваемая модель позволяет представлять параллельные процессы.

## Литература

1. Барский А. Б. Параллельные процессы в вычислительных системах. Планирование и организация. - М.: Радио и связь, 1990. - 256 с.
2. Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Сети Петри в моделировании и управлении. -Л.:Наука, 1989. -133 с.
3. Назаров С. В. Операционные системы специализированных вычислительных комплексов: Теория построения и системного проектирования. -М.: Машиностроение, 1989. -400 с.
4. Лосич В.А., Радишевский В.А., Склигус Б.Н. Разработка инструментальных средств мультимикропроцессорной системы управления: Отчет по НИР / Минский радиотехнический институт.-ХД - 87-1047; №ГР 01.87.0089780, Инв. №02890035756 -Минск, -1988.

УДК 681.3.14./21

## ПРИМЕНЕНИЕ PLD ДЛЯ СИНТЕЗА УПРАВЛЯЮЩИХ АВТОМАТОВ

*Соловьев В.В., Ожигина М.П., Васильев А.Г.*

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники*

В настоящее время **Programmable Logic Devices (PLD)** широко применяются при построении управляющих автоматов (УА). Основной интерес вызывают **Programmable Logic Arrays (PLA)** [2] и **Programmable Array Logic (PAL)**. **PAL**, имеющую  $n$  входов и  $m$  выходов, будем обозначать **PAL(n,m)**. Структура регистровой **PAL** и её отличия от структуры **PLA** приведены в [1].

Пусть функционирование УА описывается на языке граф-схем алгоритмов (ГСА). УА характеризуется числом  $L$  входных переменных множе-

ства  $X = \{x_1, \dots, x_L\}$ ; числом  $N$  выходных переменных множества  $Y = \{y_1, \dots, y_N\}$ ; числом  $M$  внутренних состояний множества  $A = \{a_1, \dots, a_M\}$ ; числом  $R$  триггеров, необходимых для построения памяти автомата,  $R = \lceil \log_2 M \rceil$ .

Условия реализации традиционной структуры УА на одной PAL [2]:

$$R \leq m - N; \quad L \leq n; \quad N \leq m - R. \quad (1)$$

Основная идея заключается в сокращении числа задействуемых выходов PAL за счет совмещения триггеров регистровых выходов УА и его памяти. Структура УА, совмещающая выходы и память, показана на рис.1. Условия реализации УА следующие:

$$R \leq m; \quad L \leq n; \quad N \leq m. \quad (2)$$

Синтез такого УА основан на специальном кодировании внутренних состояний автомата, которое сводится к решению задачи о назначениях [1].

Одноуровневые структуры наиболее популярны при синтезе сложных УА. Это объясняется их простотой и высоким быстродействием. Условия реализации традиционной одноуровневой схемы УА на PLA [2] следующие:

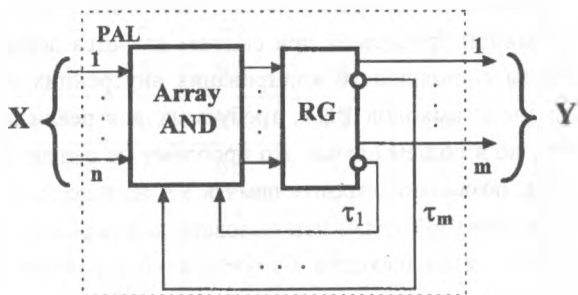


Рис.1. Структура УА, совмещающая память и выходы автомата

$$R \leq \min(n, m); \quad L \leq (n - R)T; \quad N \leq (m - R)T. \quad (3)$$

## 6. Моделирование и синтез вычислительных систем

На основании (3) минимальное число элементов схемы определяется как:

$$T_{\min} = \max\left(\left\lceil \frac{L}{n-R} \right\rceil, \left\lceil \frac{N}{m-R} \right\rceil\right) \quad (4)$$

Например, при синтезе на PLA(16,8) УА с  $L=20$ ,  $N=18$  и  $R=6$  имеем  $T_{\min} = 9$ .

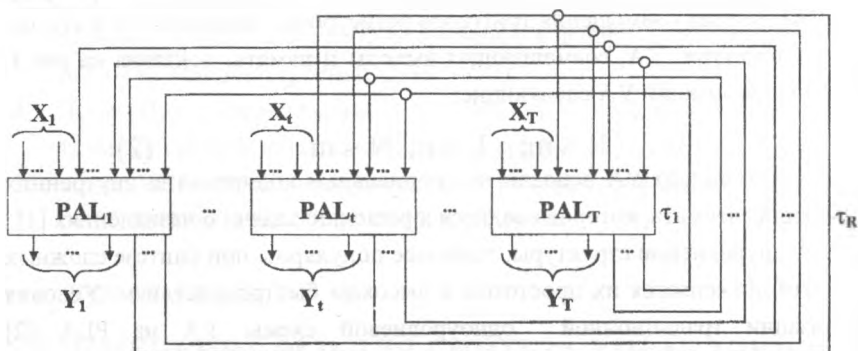


Рис.2. Структура одноуровневой схемы УА на PAL.

Поскольку большинство регистровых PAL имеют небольшое число входов (8-12), главной проблемой при синтезе является дефицит выходов. Известные методы специального кодирования внутренних состояний УА [2] сокращают число выходов PLA, требуемых для реализации функций  $D_1, \dots, D_R$  до 50%, но в общем случае это проблему не решает. Особенности архитектуры PAL позволяют строить память УА на выходных триггерах, а внутренние цепи обратной связи использовать для передачи на вход PAL сигналов обратной связи с выходов. Структура одноуровневой схемы УА с указанными свойствами показана на рис.2. В ней сигналы обратной связи  $\tau_1, \dots, \tau_R$  подаются на входы всех PAL, однако для каждой PAL, ( $t = \overline{1, T}$ ) сигналы связи, формируемые на ее выходах, поступают по внутренним цепям PAL, а остальные - по внешним цепям схемы. На входы



каждой  $PAL_t (t=\overline{1, T})$  подаются входные переменные  $X_t (X_t \subseteq X)$ , а на выходах формируются выходные переменные  $Y_t (Y_t \subseteq Y)$ . Пусть  $D^t$  - подмножество функций возбуждения элементов памяти, формируемых  $PAL_t (t=\overline{1, T})$ . Для возможности построения схемы УА (рис.2) подмножества  $D^1, \dots, D^T$  не должны пересекаться, т.е.  $|D^t \cap D^s| = \emptyset$  для  $t \neq s$ , где  $t, s = \overline{1, T}$ . Реализация УА схемой на рис.2 определяется неравенствами:

Таблица 1

R	T	PLA(16,8)		PAL(16,8)	
		Lma x	Nmax	Lma x	Nmax
2	2	28	12	30	14
3	3	39	15	42	21
4	4	48	16	52	28
5	5	55	15	60	35
6	6	60	12	66	42
7	7	63	7	70	49
8	8	64	0	72	56
9	9	63	0	72	63
10	10	60	0	70	70
11	11	55	0	66	77

Отсюда минимальное число **PAL** в схеме (рис.2) определяется:

$$\begin{aligned}
 R &\leq \min_t (n + |D^t|); \quad |D^t| \leq m; \\
 L &\leq \sum_t (n - R + |D^t|) = T(n-R) + R; \quad (5) \\
 N &\leq \sum_t (m - |D^t|) = Tm - R; \\
 T_{\min} &= \max \left( \left\lceil \frac{L - R}{n - R} \right\rceil, \left\lceil \frac{N + R}{m} \right\rceil \right) \quad (6)
 \end{aligned}$$

Например, при синтезе на **PAL**(16,8) УА с параметрами  $L=20$ ,  $N=18$  и  $R=6$ , имеем  $T_{\min} = 3$ . Метод синтеза схемы (рис.2) основан на декомпозиции таблицы переходов УА и специальном кодировании внутренних состояний автомата [3]. Для сравнения возможностей схем одноуровневой структуры УА на **PLA** и **PAL** в табл.1 приводятся предельные параметры УА для **PLA**(16,8), **PAL**(16,8) и различных  $R$  и  $T$ .

Несмотря на все достоинства одноуровневых схем, они не годятся для построения сложных УА с большим числом внутренних состояний (при  $R=n$ ). В этом случае схему УА строят в виде многоуровневой иерархической структуры [4]. Метод ее синтеза на **PAL** основывается на выделении фрагментов ГСА, подходящих для реализации на отдельных **PAL**, и эквивалентном преобразовании ГСА [4].

Предельные параметры УА, реализуемого иерархической структурой из  $T$  элементов, определяются:

$$L_{\max} \leq (n-2)T + F + 1; \quad N_{\max} \leq (m-1)T - T + 1. \quad (7)$$

где  $F$  - число **PAL** нижнего уровня. Минимальное число **PAL** в схеме [4]:

Таблица 2

T	F	Lmax x	Nmax
2	1	30	13
3	2	45	19
4	3	60	25
5	4	75	31
6	5	90	37
7	6	105	43
8	7	120	49
9	8	135	55
10	9	150	61
11	10	165	67

$$T_{\min} = \max\left(\left\lfloor \frac{L - F - 1}{n - 2} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{N - 1}{m - 2} \right\rfloor\right) \quad (8)$$

В первом неравенстве (7) учитывается то, что два входа всех PAL, за исключением элементов нижнего уровня, задействованы для приема сигналов **z** и **h**, причем самый верхний элемент не принимает сигнал **z**. Во втором неравенстве учитывается то, что один выход каждой PAL задействован для формирования сигнала **h**, а **T-1** выходов всей схемы - для формирования сигналов **z**. В табл.2 приводятся параметры УА, реализуемых иерархической структурой для различных **T** и **F** в случае использования PAL(16,8).

## Литература

1. Соловьев В.В. Синтез микропрограммных автоматов на программируемых матрицах логики.//Вестн АНБ. Сер.физ.-техн. наук. 1994. №1. с. 68-72.
2. Складов В.А. Синтез автоматов на матричных БИС.//Мн.: Наука и техника. - 1984. - 287с.
3. Соловьев В.В. Синтез одноуровневых схем микропрограммных автоматов из программируемых матриц логики.// АВТ. - 1993. -№1. с.14-20.
4. Соловьев В.В. Синтез иерархических схем устройств логического управления на ПЛИС.// АВТ. - 1995. - №1. с.18-32.

УДК 681.3.14./21

## МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКИ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ CPLD.

*Луцук Ю.А., Клыга А.И.*

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники*

Современный разработчик всегда стоит перед выбором кратких сроков разработки и стоимостью готового устройства. Идеальным решением в этом случае является использование программируемых матриц FPGA (field programmable gate arrays). Основными их преимуществами являются высокое быстродействие, низкая стоимость, а также широкие функциональные возможности. Применение микросхем ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы) позволяет осуществлять проектирование сложных устройств в течение короткого промежутка времени и обеспечить: низкую стоимость готового изделия, высокое быстродействие и низкую потребляемую мощность. Они также дают возможность достаточно гибко-

го изменения логики работы проектируемого устройства. Все это сделало ПЛИС наиболее привлекательной современной элементной базой.

В рамках данной статьи рассматриваются модели современных микросхем PLD (Programmable Logic Devices), а также модели устройств на базе микросхем CPLD (Complex Programmable Logic Devices).

Микросхемы PLD имеют различные типы архитектур:

- ПЛИМ (программируемые логические матрицы) PLA (Programmable Logic Array);
- ПЛИМП (программируемые логические матрицы с памятью) PLS (Programmable Logic Sequencers);
- ПМЛ (программируемые матрицы логики) PAL (Programmable Array Logic).

В свою очередь ПМЛ подразделяются на:

- комбинационные;
- регистровые (на базе D и RS - триггерах);
- GAL (Generic Array Logic - обобщенные матрицы логики).

Микросхемы CPLD подразделяются на три класса:

- обычные (с не динамически перестраиваемой архитектурой);
- с частично динамически перестраиваемой архитектурой;
- с полностью динамически перестраиваемой архитектурой.

Микросхемы ПЛИМ являются наиболее хорошо изученными и рассматриваться в рамках данной статьи не будут.

На основании анализа архитектур серийно выпускаемых микросхем PAL [1] были разработаны две общие модели: с одним и несколькими входами синхронизации. В рамках данной статьи будет рассмотрена первая модель (рис. 1)

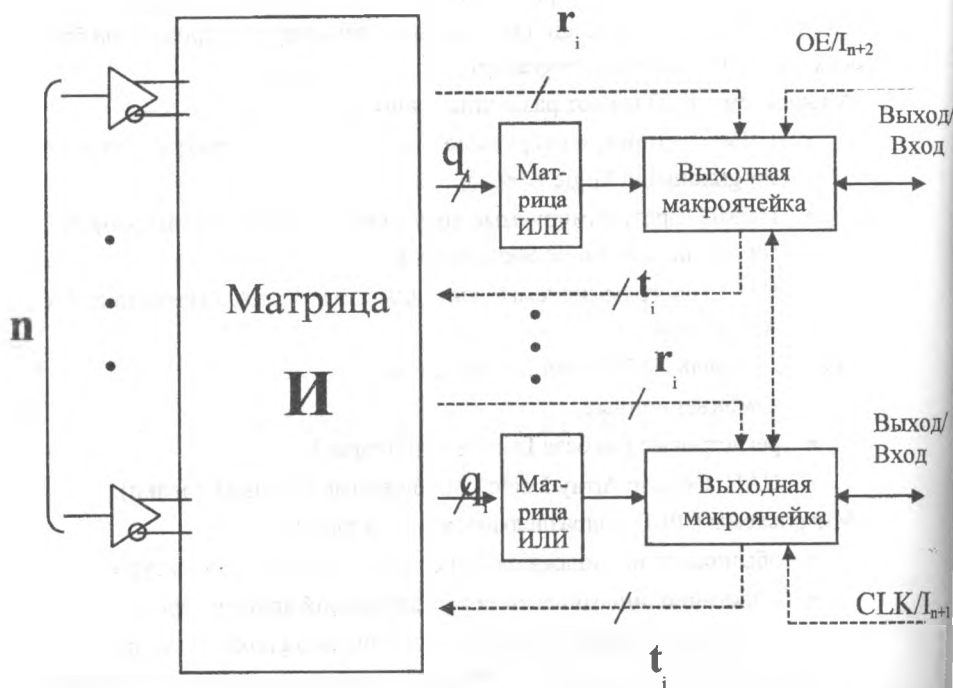


рис. 1. Модель PAL с одним входом синхронизации.

модель (рис. 1.).

Основными параметрами PAL являются:

- $n$  - число “чистых” входов микросхемы;
- $m$  - число выходных макроячеек;
- $p$  - число выходных макроячеек используемых как входы.

Параметрами выходной секции являются:

- $q_i$  - число промежуточных шин, объединяемых одной секций матрицы ИЛИ;
- $r_i$  - число промежуточных шин, используемых для управления выходной макроячейкой;
- $t_i$  - число обратных связей, заводимых с выходной макроячейки на матрицу И.

Пунктиром на рис.1 показаны связи, которые могут не использоваться.

Типы выходных макроячеек могут быть различными в зависимости от рассматриваемой микросхемы. Обобщая выше сказанное, общие параметры микросхем можно описать следующими неравенствами:

1. Число входов:

$$n \leq N \leq n + p + I_{n+1} + I_{n+2},$$

где

$N$  - необходимое число входов;

$I_{n+1}$  - дополнительный вход используемый вместо сигнала CLK;

$I_{n+2}$  - дополнительный вход используемый вместо сигнала OE;

2. Число выходов:

$$m - p \leq M \leq m,$$

где

$M$  - необходимое число выходов;

3. Общее число промежуточных шин:

$$Q = \sum q_i, \text{ где}$$

$Q$  - число промежуточных шин, объединяемых всеми секциями матрицы ИЛИ. Основными проблемами при проектировании устройств на базе PAL являются распределение входных и выходных переменных и минимизация числа промежуточных шин в секциях матрицы ИЛИ, а также эффективное использование их архитектур при проектировании устройств.

Функциональным развитием технологии PLD являются микросхемы CPLD. Как уже было отмечено выше, существует три класса таких микросхем. Но наибольший интерес представляют устройства с возможностью динамического изменения своей конфигурации.

*Динамическое изменение конфигурации или динамическая реконфигурация* - это изменения функционирования микросхемы осуществляемые в процессе работы и без выключения напряжения питания. Данный процесс осуществляется специальным контроллером.

Для устройств, построенных на базе динамических CPLD, разработаны две модели: с управлением реконфигурацией извне (рис. 2 а) и самореконфигурирующие устройства (рис. 2 б)



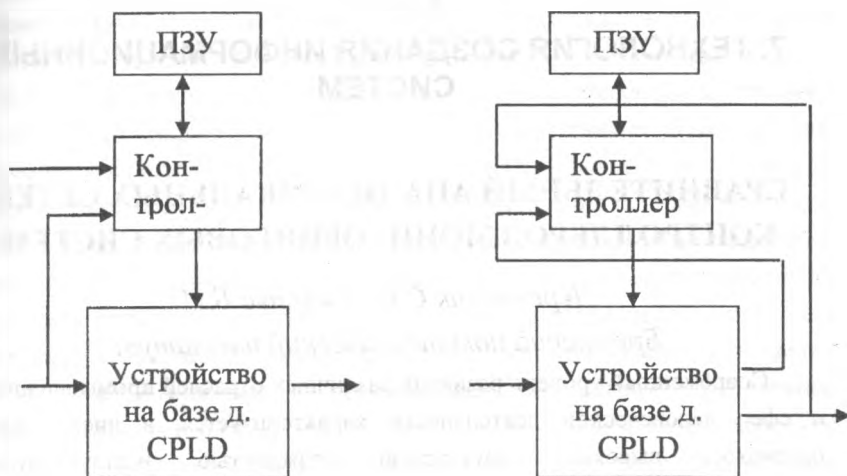


Рис 2. Модели устройств на базе динамических CPLD.

Т.о. рассмотрена общая модель микросхем PLD, а также были предложены модели устройств на базе динамически реконфигурируемых CPLD.

### Литература:

1. Texas Instrument Databook "Program Logic Device" 1997 г.

## 7. ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ КОНТРОЛЛЕРОВ МОНИТОРИНГОВЫХ СИСТЕМ

*Дереченник С.С., Склипус Б.Н*

*Брестский политехнический институт*

Современный уровень развития различных отраслей промышленности и сфер человеческой деятельности характеризуется, в числе прочих признаков, высокой структурной сложностью эксплуатируемых технических объектов, взаимосвязанностью таких объектов в производственных, отраслевых и государственных системах, а также значительным влиянием их функционирования на экологическое состояние окружающей среды и безопасность жизнедеятельности в целом. Эффективное использование технических систем предполагает максимально полный мониторинг их работы, оптимизацию их технологических режимов, оперативный контроль критических и предаварийных состояний, исключение аварий. Задача многоточечного контроля сложного динамического объекта принципиально не является абсолютно новой и ранее решалась для целого ряда технических систем. Рассмотрим основные характеристики мониторинговых систем на примерах наиболее распространенных сетей контроллеров.

CANbus (Controller Area Network) впервые была использована компанией Bosch для объединения различных электронных блоков автомобиля в единую систему с центральным пультом и индикационной панелью водителя. В дальнейшем интерфейс CAN был стандартизирован (ISO11898) и налажен выпуск интегрированных устройств - CANадаптеров, поддерживающих обмен информацией между контроллерами, датчиками и

исполнительными устройствами. Информация между CAN-станциями передается пакетами фиксированной длины - сообщениями. Каждое сообщение содержит идентификатор, являющийся уникальным для всей системы и определяющий тип передаваемых данных (температура, давление, обороты и т.п.). Одновременно идентификатор определяет и приоритет сообщения, что является важным моментом при распределении общего информационного канала между конкурирующими станциями. Если контроллеру некоторой станции необходимо передать сообщения одной или большему количеству станций, он подготавливает данные для передачи и их идентификаторы. Затем подготовленные сообщения поступают в CAN-адаптер, который ожидает освобождения разделяемого канала. Получив доступ к каналу адаптер осуществляет передачу сообщений. На протяжении передачи сообщений адаптеры всех остальных станций находятся в режиме приема. Каждый CAN-адаптер, получив сообщение, определяет его принадлежность данной станции. Если полученное сообщение предназначено для станции, то из него выделяются данные и передаются контроллеру станции. Иначе сообщение игнорируется [1].

Значения идентификаторов для различных типов передаваемых данных определяются на этапе проектирования системы и не могут быть изменены в дальнейшем. Идентификатор с наименьшим (двоичным) значением имеет наивысший приоритет. Конфликты, возникающие при одновременном доступе к информационному каналу нескольких станций, разрешаются поразрядным арбитражем идентификаторов, которые наблюдаются каждой станцией в канале на битовом уровне. При этом используется аппаратный механизм, реализующий логическую функцию "схемное И". В результате, если несколько станций одновременно передают идентификаторы своих сообщений в канал, то результирующим окажется идентификатор с наименьшим значением и передающая его станция продолжит передачу. Остальные станции автоматически прекращают передачу и осуществляют прием сообщений до момента

## 7. Технология создания информационных систем

---

освобождения канала передающей станцией без попыток возобновления передачи. В CANbus реализуется распределение магистрали между ожидающими своей передачи сообщениями как способ передачи информации по запросам с децентрализованным управлением распределения магистрали. Метод побитового арбитража позволяет на аппаратном уровне решить проблему распределения магистрали анализом идентификаторов сообщений на протяжении 13 (для стандартного формата) или 33 (для расширенного формата) битовых интервалов для любого периода доступа к шине. Дополнительно, приоритетность сообщений позволяет передавать высокоприоритетные данные в первую очередь даже при перегрузке магистрали. Таким образом, CANbus обеспечивает быстрый потокозависимый неразрушающий доступ к магистрали на основе побитового арбитража и принятой системы приоритетов сообщений, что гарантирует передачу всех сообщений при достаточно малом времени ожидания доступа к магистрали. Для обнаружения ошибок протокол CANbus использует три механизма на уровне сообщения: циклический контроль по избыточности (CRC); проверка общего формата сообщения; АСК ошибки. На битовом уровне используются два способа обнаружения ошибок: текущий контроль при передаче; кодирование отдельных битов по алгоритму NRZ (non-return-to-zero).

INTERBUS - кольцевая система, использующая процедуру доступа к каналу "ведущий-ведомый". Отличительной особенностью является то, что прямая и обратная линии содержатся в одном кабеле, который проходит через каждое одиночное устройство. Это позволяет строить системы с физической структурой как линейной, так и древовидной [3]. Для передачи сигналов на физическом уровне используется витая пара проводов в соответствии со стандартом RS485. Из-за кольцевой структуры и необходимости соединения по цепи 0V два устройства соединяются пятипроводным кабелем, что обеспечивает возможность передачи информации между ними со скоростью 500 кбит/с на расстояние до 400 м.

Интегрированный в каждом устройстве активный повторитель позволяет строить на базе INTERBUS распределенные системы с общей протяженностью до 13 км. Максимальное количество устройств в системе не более 512. Кольцевая структура системы имеет два существенных достоинства. Во-первых, и в отличие от шинной структуры, кольцо позволяет одновременно передавать и получать данные (полный дуплекс). Во-вторых, значительно повышается качество самодиагностируемости в системе. Т.е., полная топология соединений разбивается на электрически изолированные сегменты. В результате, неисправность на каком-либо сегменте заблокирует только передачу информации между соответствующим ведущим и ему подчиненными устройствами. Такая ситуация может быть легко распознана и локализована с помощью диагностических функций устройств более высокого уровня (вплоть до указания техническому персоналу географического места расположения неисправности).

Протокольный пакет INTERBUS структурирован в трех уровнях в соответствии с ISO/OSI моделью. Особенностью является гибридная структура, разработанная для обеспечения оптимальной поддержки для двух типов данных - циклических данных процессов и нециклических параметров. Информация передается по протоколу "одного общего кадра". Интервал передачи одного кадра при скорости 500 кбит/с и 128 устройствах составляет 4 мс. Достоверность информации обеспечивается: одновременным приемом передаваемой информации; формированием 16 битовой контрольной суммы в каждом кадре; развитыми функциями самодиагностики на всех уровнях устройств.

### Литература

1. CAN Produkts : CAL/CANopen - SDS - Device Net : Catalog.- Electronic System Design GmbH.- Hanover, Germany, 1997.- 48 P.

2. CAN Application Layer for Industrial Applications : CiA Draft Standard 201... 207 (Version 1.1).- Erlangen, Germany: CiA International Headquarters, 1997.- 150 P.
3. InterBus - The Sensor/Actuators Bus : Short Form Catalog, InterBus-S Club.- Blomberg, Germany: Phoenix Contact GmbH IB-SC, 1997.- 22 P.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОНИТОРНЫХ СИСТЕМ КАК СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ МОБИЛЬНОСТИ ППП БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА**

*Матюшков Л.П., Муравьев Г.Л., Мухов С.В.*

*Брестский политехнический институт*

В связи с компьютеризацией бухгалтерской деятельности возник рынок программных продуктов, ориентированных на использование в сфере учета и планирования коммерческой деятельности. Ценность же любого рыночного продукта состоит в возможности его использования в конкретном контексте запросов пользователя.

Одним из основных критериев при оценке предлагаемых ППП бухгалтерского учета является их потребительская стоимость как ее видит и понимает заказчик, а именно, работник бухгалтерии, менеджер фирмы. Потребительская стоимость программного продукта в широком смысле определяется следующими свойствами пакета:

- возможностью позадачного внедрения ППП с обеспечением выхода на единый баланс предприятия, что позволяет "попробовать" пакет на реальных данных с минимальными финансовыми потерями (особо актуально для случая, когда заказчик приходит к выводу об ошибке в выборе пакета), позволяет обеспечить поэтапное обучение персонала и соответственно заполнение баз данных и, в конечном итоге, дает

возможность иметь целостное представление о складывающейся финансовой ситуации;

- обеспечением долговременного сотрудничества с разработчиком ППП в части его оперативного сопровождения, что актуально с учетом динамики поведения законодательной власти, наличия большого количества контролирующих органов и необходимости оперативного контроля над финансовой ситуацией;
- возможностью настройки системы по принципу выбора рабочих модулей (решаемых задач) из всего предлагаемого набора;
- типизацией пользовательского интерфейса и прежде всего в части обеспечения вызова функциональных модулей, ввода и редактирования данных, в типовых операциях на картотеках и параметрического определения выполняемых работ;
- возможностью использования в ЛВС фирмы и обеспечения достаточного уровня защиты информации.

Рассматривая вышеизложенное как целевую установку при проектировании ППП бухгалтерского учета и руководствуясь требованием повышения мобильности создаваемого программного продукта, приходим к концепции динамической конфигурации ППП, базирующейся на принципе указания (выбора) некоторого подмножества выполнимых функциональных модулей (задач). Такой модуль вызывается для выполнения работы (или группы работ) из некоторой управляющей программы (монитора), использует специальную общую область памяти ЭВМ для связи с другими модулями и динамически запрашивает необходимые для работы ресурсы.

При наличии связующего модуля, обеспечивающего выход на единый баланс предприятия, такие компьютерные бухгалтерские системы позволят сравнительно несложно производить модернизацию системы компьютерного учета в рамках базового понятия - "задача бухгалтерского учета". Это, например, основные средства, материалы, торгово-закупочная деятельность, зарплата и т.д. При этом программные модули,

ответчающие за конкретную задачу бухгалтерского учета, будут заменяться в соответствующих библиотеках (каталогах) без реконfigurирования всей системы. Это же позволит применять для модернизации такой системы средства удаленной передачи модулей.

Важнейшим качеством таких систем является также их мобильность с точки зрения экономии затрат при переходе на более совершенные модели ПЭВМ, СУБД, при использовании различных программных оболочек. Динамическое конфигурирование системы по принципу выбора вариантов обеспечивает реализацию таких переходов также с минимальными затратами.

Таким образом, использование динамических мониторинговых систем позволит повысить рыночную привлекательность ППП за счет возможности продажи и эксплуатации пакета "по кускам" и обеспечить минимальные затраты на эксплуатацию (сопровождение и модернизацию) всей системы.

### Литература

1. Осейко Н. Бухгалтерский учет с помощью персонального компьютера.- Киев: СофтАРТ, 1996.- 288 с.
2. Кольвах О.И. Компьютерная бухгалтерия для всех.- Ростов н/Д: Феникс, 1996.- 416 с.



УДК 519.6

## **СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР РАСПРЕДЕЛЕННЫХ БАНКОВ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ**

*Кухта С.В., Косяк Л.Н., Глебко А.Н.*

*Полоцкий государственный университет*

Создание автоматизированных систем управления и информационно-вычислительных систем (ИВС) связано с широким внедрением сетей ЭВМ, распределенных банков данных и систем передачи информации.

Распределенный банк данных представляет собой систему логически интегрированных и территориально распределенных баз данных, языковых, программных, технических и организационных средств, предназначенных для создания, ведения и обработки распределенной информации. Для распределенных банков данных (РБнД) характерным является накопление, обновление и хранение данных в географически распределенных узлах ИВС, логическая интеграция территориально-распределенных данных, процессов обработки, обновления и поиска информации, обеспечение автоматического взаимодействия между локальными базами данных в процессе решения задач пользователей.

Синтез оптимальной логической структуры РБнД является одной из центральных проблем разработки ИВС. Решаемые на этом этапе задачи отличаются большой размерностью, сложностью и трудоемкостью, что определяется следующими факторами:

- распределенностью процессов хранения и обработки данных;
- необходимостью учета большого количества характеристик используемой информации и процедур ее обработки;
- многообразием критериев эффективности;

## 7. Технология создания информационных систем

- ограничениями систем управления РБнД, СУБД, операционных систем и технических средств.

Содержательная постановка задачи синтеза оптимальной логической структуры РБнД формулируется следующим образом: по известным характеристикам  $P_U, P_Q, P_\Omega, P_3, P_K$  множеств пользователей РБнД, узлов ИВС, групповых информационных элементов, детерминированных запросов и заданий на корректировку необходимо определить логическую структуру РБнД в виде множеств типовых логических записей  $H = \{ h_i \}$  и отношений между ними  $A^{3П} = [a_{ij}^{3П}]$ , а также размещение типов записей в ИВС  $\Psi^{3П} = [\psi_{ij}^{3П}]$ , которые обеспечивают оптимальное значение заданного критерия эффективности функционирования РБнД и выполнение сетевых, системных и структурных ограничений, т.е. выполнить преобразование

$$IM \langle P_U, P_Q, P_\Omega, P_3, P_K \rangle \xrightarrow{\mathcal{E}^{N\Omega} (\Phi \longrightarrow opt)} N\Omega \langle P_{DDV} \rangle,$$

где  $\mathcal{E}^{N\Omega} (\Phi \longrightarrow opt)$  - оператор синтеза, обеспечивающий оптимум заданной целевой функции;

$P_{DDV}$  - множество характеристик оптимальной логической структуры РБнД.

Формальная постановка задачи синтеза оптимальных логических структур РБнД не приводится в виду ее большого объема.

Результаты решения задачи синтеза позволяют определить состав, структуру и характеристики типов логических записей, отношения между ними, размещение типов записей в ИВС и использование их процедурами обработки данных.

В качестве системных, сетевых и структурных ограничений в задачах логического синтеза используется:

- стоимость обработки множества запросов и корректировок;
- заданное время выполнения множества запросов, корректировок;
- длина формируемой логической записи;

- количество типов формируемых записей;
- степеней дублирования формируемых записей при размещении в ИВС;
- пропускная способность каналов связи и другие.

Рассмотрим приближенный алгоритм решения задачи синтеза оптимальной логической структуры РБнД, обеспечивающей минимум суммарного времени выполнения множества корректировок записей. Для решения задачи большой размерности разработан приближенный алгоритм, позволяющий на основе ряда упрощающих допущений выполнить декомпозицию сложной задачи проектирования РБнД на множество более простых, последовательно решаемых задач оптимизации, для решения которых адаптированы известные алгоритмы. Алгоритм решения задачи состоит из следующей последовательности взаимосвязанных этапов:

Этап 1. Определение оптимального места размещения в ИВС деревьев корректировки, обеспечивающего минимум трафика в ИВС. Под деревом корректировки понимается подграф графа канонической структуры, в терминах которого пользователь формирует задание на корректировку и обновление.

Этап 2. Определение оптимального места размещения в ИВС избыточного множества групповых информационных элементов.

Этап 3. Синтез типов логических записей, обеспечивающий минимум общего времени локальной обработки задания на корректировку в узле ИВС.

Этап 4. Проверка ограничений на задачу. Если ограничения выполняются, то конец алгоритма. В противном случае выполнить классификацию типов записей. Разместить дубликаты типов записей в ИВС в пределах заданных ограничений.

Решаемая на первом этапе задача эквивалентна общей задаче о паросочетаниях в двудольном графе, минимизационный вариант которой известен как задача о назначениях или транспортная задача. Ее решение основано на применении модифицированного венгерского алгоритма.

## 7. Технология создания информационных систем

---

Решение задачи этапа 2 осуществляется методом предварительной ранжировки дублируемых групповых информационных элементов по весовым коэффициентам и определения с учетом результатов ранжировки оптимального размещения. В качестве оценки используется величина суммарного трафика, получаемого при корректировке дублируемых групповых информационных элементов.

Задача этапа 3 эквивалентна задаче разбиения графа канонической структуры на множество подграфов (типов записей), которые удовлетворяют ряду условий и обеспечивают оптимальное значение критерия разбиения - максимум внутренних связей между групповыми информационными элементами, входящими в один тип записей.

Результатом выполнения этапов 1-3 является множество типов записей, распределенных по узлам ИВС, без учета ограничения на стоимость передачи информации при реализации множества запросов и ограничения на оперативность получения заданной информации по запросу  $k$ -го пользователя. Алгоритм задачи, решаемой на этапе 4, заключается в последовательном размещении в ИВС дубликатов типов записей в пределах данных ограничений.

Предлагаемый алгоритм использовался при проектировании информационного обеспечения корпоративной информационно-вычислительной сети с распределенной обработкой данных Белорусского производственно-технического управления связи. Практическое применение приближенного алгоритма при решении задач средней размерности (количество групп порядка 70, количество узлов - 6) дало результаты, отличающиеся на 10-15% от результатов, полученных точными методами.

## К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ

*Зинькович В.В., Подскробко Н.И.*

*Могилевский машиностроительный институт*

В настоящее время сферы применения компьютерных средств поддержки процесса обучения стремительно расширяются. Становится стандартом снабжать новые сложные машины и технологии компьютерными обучающими системами (КОС), ускоряющими процесс их внедрения. Разработка компьютерных средств обучения - дело весьма дорогостоящее в силу его высокой наукоемкости и необходимости совместной работы специалистов разных профилей. Несмотря на это проекты создания КОС финансируются, активно ведутся перспективные разработки в этой области.

С самого начала КОС развивались по двум направлениям. Первое основано на идее программированного обучения. В его рамках разрабатывались универсальные автоматизированные обучающие системы. Универсальная автоматизированная обучающая система позволяет преподавателю - разработчику вводить свой материал в базу данных и программировать с помощью специальных средств алгоритмы его изучения.

Второе направление компьютеризации обучения - это отдельные программы, пакеты программ, предназначенные для автоматизации трудоемких расчетов, для получения навыков оптимизации процессов на математических моделях, для исследования свойств объектов и т.п. КОС этого направления могут быть классифицированы по назначению следующим образом:

- компьютерные учебники;

## 7. Технология создания информационных систем

---

- предметно-ориентированные среды ( моделирующие программы, учебные пакеты);
- лабораторные практикумы;
- тренажеры;
- контролирующие программы;
- справочники и базы данных учебного назначения.

В КОС этого направления больше возможностей для использования графических иллюстраций, гипертекста. Системы гипермедиа позволяют использовать оцифрованную речь, звукозаписи, фотографии, анимацию, видеоклипы и т.п. Применение таких КОС в учебном процессе носит более массовый характер, чем использование универсальных автоматизированных обучающих систем.

Прогресс в развитии аппаратных и программных средств информационных технологий дает возможность для реализации в КОС различных дидактических идей. Однако, как показывает анализ отечественных и зарубежных разработок, уровень качества КОС закладывается на этапе проектирования, при создании сценариев учебной работы, при разработке задач и упражнений. К сожалению, нетехнологичность имеющихся методик проектирования КОС приводит к существенному разрыву между потенциальными и реальными возможностями информационных технологий обучения. Отсюда напрашивается вывод об отсутствии в настоящий момент удобных инструментальных средств для создания КОС современного уровня.

CASE-технология представляет собой совокупность методологий анализа, проектирования, разработки и сопровождения систем программного обеспечения, поддержанную комплексом взаимосвязанных средств автоматизации.

По нашему мнению CASE-пакет мог бы служить инструментом и для постановщиков задачи, и для разработчиков и для программистов, позволяющим автоматизировать процесс проектирования и разработки программного обеспечения КОС. Использование CASE-технологии

позволит автоматизировать такие этапы создания развитой КОС, как разработка проблемно - ориентированного интерфейса, проектирование базы данных, анализ структуры программного обеспечения, определение архитектуры вычислительного комплекса и аппаратного оснащения рабочих мест, подготовка технической документации по проекту. Использование CASE-технологии при разработке КОС значительно уменьшит время разработки и внедрения проекта, освободит разработчика от рутинной работы, снизит стоимость готового программного продукта, сведет к минимуму количество ошибок при проектировании, упростит процесс сопровождения разработанной программы.

Однако CASE-пакет для создания развитых КОС должен быть специализирован, оснащен специфическими инструментами, учитывающими особенности процесса проектирования обучающих программ.

Все вышеизложенное приводит к выводу об актуальности задачи создания специализированной CASE-технологии для построения КОС.

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ СИНТЕЗА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА**

*Дереченник С.С., Склипус Б.Н., Четверкина Г.А.*

*Брестский политехнический институт*

Эффективное предупреждение аварийных ситуаций, равно как и обеспечение оптимальной эксплуатации сложных технических объектов в различных отраслях промышленности и сферах человеческой деятельности немислимо без решения задачи надежного и достоверного контроля (мониторинга) множества важнейших физико-химических параметров в различных частях объекта. Полная информация о состоянии объекта

## 7. Технология создания информационных систем

---

мониторинга позволяет прогнозировать его поведение, автоматизировать управление режимами его работы, принимать адекватные и своевременные управленческие решения.

Известные теоретические концепции и отечественные информационно-измерительные системы ориентированы, в первую очередь, на аппаратные средства, в том числе микропроцессоры, предыдущего поколения и не всегда удовлетворяют требованиям надежности и скорости обработки информации. Современные же однокристальные микроЭВМ, аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и схемы специальной обработки сигналов, высокопроизводительные персональные ЭВМ и вычислительные станции позволяют реализовывать новые методы и подходы к решению задачи мониторинга - как в плане точности, скорости и надежности получения первичной информации в точках контроля, так и в плане оптимальной аппаратно-программной архитектуры системы мониторинга, ее функциональной полноты, универсальности и эффективности. Настоящее исследование посвящено концептуальной разработке обобщенной методологии структурного синтеза универсальных и функционально-ориентированных микропроцессорных систем многоточечного и многофакторного мониторинга сложных объектов.

Синтезу предшествует комплексный анализ и моделирование подлежащего мониторингу динамического процесса в технической системе. При *объектном* моделировании (разработке технологической схемы) выделяются элементы и функции процесса, а также связи между ними в виде потоков вещества, энергии и информации. *Функциональное* моделирование процесса (разработка схемы управления и регулирования) позволяет выделить существенные параметры, определяющие поведение системы и рассматриваемые в дальнейшем как входные, промежуточные и выходные (зависимые и независимые) сигналы - переменные процесса. Завершающим этапом комплексного анализа может являться математическое *информационное* моделирование процесса с точки зрения



оптимального оценивания (устранения информационной избыточности) наблюдаемых сигналов с учетом степени его априорной определенности.

Важнейшим этапом проектирования мониторинговой системы является *выбор сенсоров* для получения первичной информации, осуществляемый исходя из типа сигналов, их спектральных характеристик и допустимых ошибок измерения. Так, результаты спектрального анализа полезного сигнала и шума позволяют выбрать частоту опроса  $f_0$  сенсоров из следующих соображений:

- для динамических, быстро меняющихся сигналов – на основании теоремы Котельникова-Шеннона:  $f_0 = f_{zp} / \sqrt{6\varepsilon}$ , где  $\varepsilon$  – заданная относительная ошибка, а  $f_{zp}$  – практически необходимая верхняя граничная частота полезного сигнала, которая меньше максимальной частоты его спектра и выбирается исходя из соотношения амплитуд сигнал/шум на этой частоте –40...–20 дБ;

- для низкочастотных, медленно меняющихся сигналов:  $f_0 = (6..8) / T_{\Delta}$ , где  $T_{\Delta}$  – интервал времени, за который сигнал меняется не более, чем в пределах установленной погрешности;

- для аperiodических процессов с постоянной времени  $T_x$ :  $f_0 = (4..8) / T_x$ ;

- для гармонических процессов с частотой  $f_x$ :  $f_0 = (6..12) f_x$ .

Частота опроса сенсоров, диапазон изменения наблюдаемых сигналов, разрядность их аналого-цифрового преобразования и внутримашинного представления, пространственное расположение точек контроля обуславливают выбор АЦП на структурном (центральный с мультиплексированием или локальный) и элементном уровне. Выбранный на этапе информационного моделирования алгоритм первичной обработки, частота опроса и разрядность представления наблюдаемых сигналов предопределяют состав и технические характеристики *контроллера первичной обработки* (разрядность и производительность микроЭВМ, количество портов ввода-вывода, объем и организация ОЗУ и ПЗУ). *Топологическая схема* организации многоуровневой системы мониторинга

## 7. Технология создания информационных систем

сложного распределенного (многообъектного) процесса и ее *интерфейсы* определяются количеством и удаленностью точек (объектов) контроля, необходимой скоростью и надежностью передачи информации, алгоритмом формирования интегральной оценки процесса.

В соответствии с изложенными критериями оценки сложной технической системы как динамического объекта мониторинга предложена *обобщенная концепция синтеза* многоуровневой структуры мониторинговой системы, которая базируется на реализации конечного числа этапов анализа и принятия решений:

- 1) на основании результатов анализа физической природы и динамики наблюдаемых параметров определяется типовой и количественный состав применяемых сенсоров (элементов нулевого уровня) по группам – аналоговые сенсоры, сенсоры с цифровым либо частотноопределенным выходным сигналом;
- 2) на основе характеристик выбранных сенсоров, методов и алгоритмов обработки сигналов определяются информационно-алгоритмические требования к техническим средствам первичной обработки – устройствам первого уровня, которые связаны с элементами нулевого уровня, как правило, по радиальной топологии;
- 3) наличие в системе устройств второго уровня – средств концентрации (централизованного сбора и обработки) наблюдаемой информации – обусловлено необходимостью формирования интегральной оценки процесса. Форма, содержание интегральной оценки, сложность ее получения и способ использования в целях управления определяют требования к средствам приема, обработки, визуализации и протоколирования информации. Выдвинутые требования могут быть удовлетворены аппаратурой трех классов – универсальными персональными ЭВМ, специализированными промышленными микропроцессорными станциями, оригинальными программируемыми микроконтроллерами. Взаимодействие аппаратуры первых двух классов с устройствами первого уровня базируется на применении

типовых интерфейсов (CANbus, INTERbus), предусматривающих определенные структурные топологии (соответственно, «линия» и «кольцо»). Использование же оригинальных микроконтроллеров перспективно в плане формирования иных топологий, более приемлемых по критериям надежность : скорость : стоимость, а также позволяющих развить мониторинговую систему за счет третьего структурного уровня;

- 4) построение третьего уровня мониторинговой системы на базе универсальной персональной ЭВМ высокой производительности предполагает ее адаптацию – аппаратную (к принятой топологии и протоколам обмена подчиненных уровней) и программную (выбор операционной системы и алгоритма ее взаимодействия с информационными потоками нижних уровней);
- 5) синтез эффективной многоуровневой мониторинговой системы предусматривает решение задачи оптимального распределения вычислительных нагрузок между устройствами различных уровней и в пределах каждого уровня, что может быть выполнено путем имитационного моделирования работы системы на инструментальной ЭВМ.

Предложенная концепция может быть использована при функциональном и схемотехническом проектировании типологического ряда аппаратных средств реализации уровней мониторинговых систем, а также при разработке специализированных библиотек программного обеспечения обработки и обмена информацией, что позволит с наименьшими затратами создавать эффективные системы, ориентированные на решение поставленной задачи мониторинга.

УДК 621.3

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

*Сусиков В.А., Хвещук В.И.*

*Брестский политехнический институт*

Центральное место в сложной, многогранной и трудоемкой деятельности по организационному управлению производством на разных уровнях занимают процессы принятия решений. Увеличивающаяся информационная нагрузка на лица принимающие решения (ЛПР) и высокая ответственность за принимаемые решения, особенно связанные с той или иной долей риска, требуют серьезной поддержки: логических обоснований, обеспечения информацией, подтверждения расчетами. Оказание помощи ЛПР, осуществляемое систематически, по определенным процедурам, в индивидуальном порядке или при работе группы или коллектива, и ориентированное на выработку конкретных и конечных решений сложных неструктурированных проблем, - это основная функция системы поддержки решений (СПР).

СПР дополняют и усиливают некоторые личные способности ЛПР к восприятию (к наблюдению и сбору информации об объектах, ситуациях и событиях), анализу (к разложению целого на части и его рассмотрению по частям), адаптации (к распознаванию неравновесных состояний и явлений и нахождению путей их устранения), синтезу (к конструированию целого из частей, формулированию моделей объектов, ситуаций и событий). Именно потому, что СПР обладает не всеми способностями своего главного пользователя и не в полном объеме, она и служит для поддержки решений, а не для их принятия.

Можно выделять следующие типы СПР [1]: индивидуальные (персональные), групповые, организационные, межорганизационные.

Индивидуальная СПР обслуживает отдельно ЛПР. Задача системы в данном случае - обеспечить на всех этапах процесса принятия решений персональную поддержку личного труда ЛПР в конкретной предметной области принятия решений.

Групповая СПР ориентирована на обслуживание группы ЛПР, взаимодействующих между собой при решении какой-либо проблемы. Поддержка процесса выработки групповых решений осуществляется за счет устранения коммуникационных барьеров между членами группы, применения количественных методов анализа решений группой лиц, рациональной организации самих процедур работы группы.

Наиболее сложными типами СПР являются организационные и межорганизационные системы. Решения организационного и межорганизационного характера часто влекут за собой достаточно отдаленные последствия и возможность или необходимость принятия новых решений, часть из которых даже трудно предвидеть на момент принятия первоначального решения.

Двумя частыми и давно известными формами поддержки управленческих решений являются предоставление руководству информации и выполнение расчетов для него. Существование упомянутых двух форм обуславливается особенностями процессов выработки и поддержки управленческих решений и сопутствующих им процессов переработки информации, которые могут значительно отличаться между собой по сложности. В одних случаях это совокупность элементарных логических или арифметических процедур, в других случаях это сложные процессы, требующие разнородной и неформализуемой информации, сложных видов ее анализа, математических вычислений. Примером первой формы поддержки управленческих решений может служить информационная система (ИС) "Строительство", созданная автором для комитета по экономике и рыночным отношениям Брестского облисполкома. Эта ИС обеспечивает сбор информации об объектах

строительства в области и выдачу различных справок и сводок на основе собранной информации.

В настоящее время широко применяются различные автоматизированные информационно-расчетные системы, позволяющие выполнять определенные математические вычисления как по сравнительно простым формулам, так и по сложным моделям оптимизационного характера. При работе таких систем к руководителю попадают уже результаты расчетов, которым он дает окончательную оценку с точки зрения их использования.

Известная ограниченность моделей приводит к тому, что степень упрощения действительности часто оказывается неприемлемой для ЛПР, что может обесценить саму содержащуюся в них идею. Стремясь отреагировать на возможную критику подобного рода, аналитики обычно вводят в модель новые переменные, допущения, ограничения, в результате чего ее сложность возрастает по экспоненте. В таких случаях, возникает дилемма между сложностью модели и возможностью пользования ею, и каждый раз здесь должен быть найден разумный компромисс.

ИС “Вексельное обращение в регионе”, описанная в работе [2] является примером системы, которая объединяет в себе обе формы поддержки управленческих решений. Она состоит из нормализованной реляционной базы данных и двух подсистем: “Перечень предприятий” и “Расчет вексельных цепочек”. Подсистема “Перечень предприятий” осуществляет функции ведения базы данных и предоставления необходимой информации пользователю, а подсистема “Расчет вексельных цепочек” осуществляет расчет возможных путей движения векселя. Для расчета разработана модель представления связей между предприятиями, функция контроля входной информации алгоритмы, с помощью которых ведутся расчеты возможных путей движения векселя. Один из алгоритмов предоставляет результаты за короткое время, но качество результатов невысоко, а с помощью второго можно получить высокое качество

результатов, но время расчета резко возрастает. Выбор алгоритма расчета осуществляется пользователем.

Рассмотренные ИС реализованы на языке Delphi 2.0 для Windows'95. ИС "Строительство" находится на стадии отладки, а ИС "Вексельное обращение в регионе" - на стадии внедрения. В перспективе предполагается использование этих ИС в аналогичных службах горисполкомов и райисполкомов.

Несмотря на все ограничения, системы поддержки решений находят широкое применение на предприятиях и организациях нашей республики. Проблемы же, которые системы данного типа решить не в состоянии (задачи с неполными данными, отсутствие точного алгоритма решения задачи и др.), требуют применения экспертных систем, нейронных сетей и других современных методов и средств [3,4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лескин А.А., Мальцев В.Н. Системы поддержки управленческих и проектных решений. - Л.: Машиностроение, 1990. - 167 с.
2. Брич В.Г., Сусиков В.А. Информационная система вексельного оборота в регионе // Сборник материалов научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Молодежь и научно-технический прогресс». - Брест, 1997. - с. 98 - 100.
3. Герман О.В. Введение в теорию экспертных систем и обработку знаний. - Мн.: ДизайнПРО, 1995. - 255 с.
4. Кузнецов О.П. О некомпьютерных подходах к моделированию интеллектуальных процессов мозга // Международная летняя школа-семинар по искусственному интеллекту для студентов, аспирантов и молодых ученых: Сборник трудов. - Мн.: БГУИР, 1997. - 264 с.

## ОСОБЕННОСТИ АКУСТИКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

*Гладышук В.Б., Кузавко Ю.А., Склипус Б.Н.*

*Брестский политехнический институт*

Ультразвук широко применяется в биологической и медицинской лабораторной практике, а также в фармакологии и фармации с целью диспергирования различных биологических структур, для относительно тонких воздействий на структуру клеток, создания изменений химического состава крови, при стерилизации лекарственных веществ, для приготовления аэрозолей и т.д.

Помимо активного воздействия ультразвука на вещество не менее важное и обширно используемое его пассивное воздействие, результатом которого является диагностика как неживой, так и живой материи. Принято, что ультразвук интенсивности до  $50 \text{ мВт/см}^2$  и при длительности воздействия в несколько минут не оказывает вредного влияния на человеческие ткани. Вследствие этого диагностические ультразвуковые преобразователи изготавливаются и работают при вышеуказанных малых интенсивностях и в частотном диапазоне 0,1-20 МГц. Отметим, что порог слышимости человеческого уха составляет по звуковому давлению  $p_0 = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$  (по интенсивности  $I_0 = 10^{-16} \text{ Вт/см}^2$ ), а со значения  $p_0 = 20 \text{ Па}$  ( $I_0 = 10^{-4} \text{ Вт/см}^2$ ) начинается его болезненное состояние. В ультразвуковой технике интервал изменения интенсивности ультразвука очень велик - от пороговых значений  $\sim 10^{-16} \text{ Вт/см}^2$  до  $\sim 10^9 \text{ Вт/см}^2$  ( $p \sim 10^8 \text{ Па}$ ) в фокусе ультразвуковых концентраторов.

Известно, что применение малых интенсивностей (до  $2 \text{ Вт/см}^2$ ) обычно вызывает положительные биологические эффекты. Так, в частности, при облучении ультразвуком семян ускоряется их прорастание и последующий рост растений. Применение сравнительно больших интенсивностей ( $3-10 \text{ Вт/см}^2$ ) и длительное облучение, как правило, вызывает необратимые повреждения клеток и тканей.



При превышении определенной пороговой интенсивности ультразвука, соответствующей возникновению в среде кавитации, происходит разрушение различных микроорганизмов, бактерий и вирусов; при этом имеет место прямая пропорциональность между интенсивностью ультразвука и разрушающим эффектом. Ниже указанного порога не только не возникает разрушения жизнеспособных организмов, но при определенных условиях происходит увеличение их числа. Прозвучивание крови совместно с лазерным излучением повышает устойчивость красных кровяных телец к их разрушению и обесцвечиванию.

Ультразвук может использоваться для разрушающего воздействия на яйца, личинки и куколки некоторых насекомых. Установлено, что облучение малых живых организмов (рыб, лягушек) ультразвуком даже не больших интенсивностей (около  $2 \text{ Вт/см}^2$ ) приводит к параличу и последующей гибели животных. При этом разрушающий эффект зависит не только от длительности и интенсивности облучения, но и от частоты, которая для каждого организма имеет строго определенное значение, наиболее неприемлемое для него и имеющее отпугивающее действие. Так ультразвук небольшой интенсивности, но определенных частот отпугивает комаров и других насекомых, заставляет крыс и других грызунов покидать места своего обитания.

Причиной изменений, возникающих в биологических объектах под действием ультразвука, могут быть также вторичные эффекты физико-химического характера, заключающиеся в изменении скорости протекания химических реакций в ультразвуковом поле или возникновении химических реакций, обусловленных действием ультразвука. Звукохимические превращения наблюдаются при интенсивности ультразвука от долей  $\text{Вт/см}^2$  до десятков или сотен  $\text{Вт/см}^2$  на частотах от  $1 \text{ кГц}$  до нескольких  $\text{МГц}$ . Так как эти частоты на много порядков меньше собственных частот колебаний молекул, химических изменений в системе вследствие резонансного поглощения ультразвука не наблюдается и

варьирование частоты в указанном диапазоне мало сказывается на характере возникающих реакций.

Вследствие образования акустических течений происходит интенсивное перемешивание внутриклеточных микроскопических структур. Кавитация в среде приводит к разрыву отдельных молекулярных связей. Так молекулы воды распадаются на свободные радикалы  $\text{OH}^\cdot$  и  $\text{H}^\cdot$ , что является первопричиной окисляющего действия ультразвука. Подобным же образом происходит расщепление под действием ультразвука высокомолекулярных соединений в биологических объектах, например крахмала, нуклеиновых кислот, белковых веществ. Ультразвук вызывает изменение рН в биологических тканях в щелочную или кислую сторону в зависимости от его интенсивности и продолжительности воздействия. Ультразвук может повышать проницаемость клеточных оболочек и ускорять процессы обмена веществ путем диффузии, что играет большую роль при его терапевтическом применении, являясь своеобразным катализатором, ускоряющим установление равновесного с физиологической точки зрения состояния организма, т.е. здорового состояния.

Биологическая среда делится на растительного и животного происхождения. В растительной среде распространяются как продольные, так и поперечные акустические волны, хотя последние имеют гораздо большее затухание, чем в большинстве твердых тел. В живой среде распространяются только продольные волны, а распространение поперечных волн еще более слабо. Это обусловлено тем, что живая ткань по своим характеристикам (плотность вещества, скорость звука) весьма близка к обычной воде. Живая ткань в отличие от мертвой, обладает свойством «дыхания», т.е. в ней непрерывно происходит движение как самой, так и ее частей и клеток. Такие движения живой ткани вызывают слабые акустические излучения, которые, являясь широкополосными, несут ценную информацию о её функционировании, которая в принципе с помощью широкополосных высокочувствительных ультразвуковых

приемников может быть зафиксирована, а в последствии и расшифрована. В мертвой ткани такие движения отсутствуют, но не смотря на это её акустические характеристики остаются весьма сложными. Будем ткань аппроксимировать моделью микронеоднородной гетерогенной среды, в какой-то степени близкой по свойствам к аморфному телу и обыкновенной воде. С термодинамической точки зрения это означает, что ткань обладает преимущественно только объемной вязкостью и в весьма малой степени поперечной вязкостью. С топологической точки зрения ткань представляет собой множество плотно упакованных волокон диаметром 0,1 мм и менее и существенно впитавших в себя физиологический раствор - обыкновенную воду с растворенными в ней солями и другими питательными веществами, необходимыми для нормальной жизнедеятельности клеток. Если имеются отклонения от нормального функционирования клеток, то это говорит о их заболеваемости и соответственно в этих местах качественно и количественно изменяется состав физиологического раствора (организм борясь с заболеванием вынужден увеличивать обмен веществ в очаге заболевания, подводить больше питательных веществ и т.д.).

Так как предполагаем рассматривать только ультразвуковые частоты диапазона 0,1-10 МГц, то размеры волокон оказываются меньше длины продольного звука в ткани  $\lambda=15-0,15$  мм. Поэтому вполне приемлемой становится модель микронеоднородной гетерогенной среды с небольшой поперечной вязкостью и феноменологически вводимыми релаксационными процессами, определяющими поглощение звуковых колебаний в ней. Предполагаем, что распространение акустических волн в такой среде является прямолинейным.

Тогда в силу сделанных предположений можно легко записать волновое уравнение для акустических колебаний в ткани следующим образом:

$$\rho \ddot{u}_x = c_1 \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + c_2 \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \beta \frac{\partial^2 \dot{u}_x}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где в правой части первое слагаемое ответственно за распространение продольного звука и является определяющим, второе слагаемое определяет поперечные эффекты, третье слагаемое отвечает за поглощение звуковых волн. Здесь в (1)  $\rho$  - плотность ткани,  $u_x$  - упругое смещение,  $C_1$  и  $C_2$  - жесткость ткани,  $\beta$  - эмпирический коэффициент, ответственный за превращение акустической энергии в тепловую. Все данные параметры существенно зависят от температуры, давления и концентрации солей и пищевых добавок  $\alpha$  в физиологическом растворе. Так как рассматриваемый ультразвук является по интенсивности диагностическим, то уравнение (1) выписано в линейном приближении, и вышеуказанные параметры от деформаций ткани не зависят.

Отметим, что отмирание живой ткани связано с прекращением подвода к ней питательных веществ, т.е. резким изменением концентрации физиологического раствора  $\alpha$ . От этого параметра естественно зависят все четыре параметра:  $\rho$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $\beta$ . Помимо этого при отмирании живой ткани её температура снижается от  $t_0=36,5^\circ\text{C}$  до температуры окружающей среды. Можно воспользоваться линейным разложением параметров  $\rho$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ , и  $\beta$  в ряд по малым отклонениям концентрации  $\Delta\alpha$  и температуры  $\Delta t$ ; давление при этом остается неизменным, т.е. атмосферным.

Следовательно, получим в первом приближении

$$\rho = \rho_0(1 + a_1\Delta t + b_1\Delta\alpha), \quad (2)$$

$$c_2 = c_{10}(1 + a_2\Delta t + b_2\Delta\alpha), \quad (3)$$

$$c_2 = c_{20}(1 + a_3\Delta t + b_3\Delta\alpha), \quad (4)$$

$$\beta = \beta_0(1 + a_4\Delta t + b_4\Delta\alpha), \quad (5)$$

где  $\rho_0$ ,  $C_{10}$ ,  $C_{20}$ ,  $\beta_0$  - параметры для живой нормальной ткани,  $a_1\dots a_4$ ,  $b_1\dots b_4$  - некоторые константы.

Решение уравнения (1) хорошо известно и может быть записано в виде:

$$u = u_0 e^{-\Gamma x} e^{i(kx - \omega t)}, \quad (6)$$

где  $\Gamma$  - коэффициент затухания звука,  $k = \omega/S$  - волновое число,  $\omega$  - частота,  $S$  - скорость звука в ткани,  $u_0$  - амплитуда звука при его вводе в ткань. Для затухания  $\Gamma$  и скорости звука вблизи  $t=t_0$  и  $\alpha=\alpha_0$  получим

$$\Gamma = \Gamma_0 + f_1(\Delta t; \Delta \alpha), \quad (7)$$

$$S = S_0 + f_2(\Delta t; \Delta \alpha). \quad (8)$$

Учитывая выражения (2)-(5), для живой ткани выражения (7), (8) в линейном приближении по  $\Delta t$  и  $\Delta \alpha$  запишутся:

$$\Gamma = \Gamma_0 + f_{11} \Delta t + f_{12} \Delta \alpha, \quad (9)$$

$$S = S_0 + f_{21} \Delta t + f_{22} \Delta \alpha. \quad (10)$$

Здесь предполагается, что процесс отмирания ткани происходит гораздо медленнее процессов распространения ультразвука. Другими словами процесс отмирания ткани является квазистатическим по отношению к волновым процессам.

Из (9) и (10) видна зависимость акустических параметров от температуры и концентрации физиологического раствора. Единственно необходимо ввести критические значения температуры  $t_{кр}$  и концентрации физиологического раствора  $\alpha_{кр}$ , при которых отмирание тканей уже является необратимым без внешнего вмешательства. Если нам известны численные значения параметров в (1) - (5) и ультразвуковая измерительная

техника обладает высокой чувствительностью, то можно зафиксировать ультразвуковыми методами момент смерти. Если к рассматриваемой модели живой ткани добавить ранее отброшенный фактор дыхания, то возможно ожидать скачкообразного изменения акустических параметров  $\Gamma$  и  $S$  в момент смерти ткани. Математически это означает, что в уравнении (1) необходимо ввести временную зависимость параметров  $\rho, c_1, c_2, \beta$ , хотя бы в простейшем виде

$$\rho = \rho_0 \left( 1 + \sum_{i=1}^N A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) \right), \quad (11)$$

где  $A_i$  - амплитуды колебаний ткани при собственных частотах  $\omega_i$ ,  $\varphi_i$  - фазы для этих колебаний. Амплитуды  $A_i$  также оказываются зависящими от температуры  $t$  и концентрации физиологического раствора  $\alpha$  и в первом приближении запишутся в виде

$$A_i = A_{i0} (1 - a_5 \Delta t - b_5 \Delta \alpha). \quad (12)$$

Опять вводим критические значения  $\tilde{t}_{кр}$  и  $\tilde{\alpha}_{кр}$ , при которых процесс отмирания ткани является уже необратимым. Очевидно, что смерть наступает при следующих значениях температуры  $\tilde{t}_{кр}$  и  $\tilde{\alpha}_{кр}$ , определяемых согласно правилам

$$\tilde{t}_{кр} = \max \{ t_{кр}, \tilde{t}_{кр} \}, \quad (13)$$

$$\alpha_{кр}^{см} = \max \{ \alpha_{кр}, \tilde{\alpha}_{кр} \} \quad (14)$$

С учетом (11), (12) выражения (2) - (5) запишутся

$$\rho = \rho_0 \left( 1 + a_1 \Delta t + b_1 \Delta \alpha + \sum_{i=1}^N A_{i0} (1 - a_5 \Delta t - b_5 \Delta \alpha) \sin(\omega_i t + \varphi_i) \right), \quad (15)$$

$$c_1 = c_{10} \left( 1 + a_2 \Delta t + b_2 \Delta \alpha + \sum_{i=1}^N A_{i0} (1 - a_5 \Delta t - b_5 \Delta \alpha) \sin(\omega_i t + \varphi_i) \right), \quad (16)$$

$$c_2 = c_{20} \left( 1 + a_3 \Delta t + b_3 \Delta \alpha + \sum_{i=1}^N A_{i0} (1 - a_5 \Delta t - b_5 \Delta \alpha) \sin(\omega_i t + \varphi_i) \right), \quad (17)$$

$$\beta = \beta_{10} \left( 1 + a_4 \Delta t + b_4 \Delta \alpha + \sum_{i=1}^N A_{i0} (1 - a_5 \Delta t - b_5 \Delta \alpha) \sin(\omega_i t + \varphi_i) \right). \quad (18)$$

Выражение (12) обращается в нуль при условии  $a_5 \Delta t + b_5 \Delta \alpha = 1$ ,

когда  $\Delta t = t_0 - t_{кр}$  и  $\Delta \alpha = \alpha_0 - \alpha_{кр}$ , и при дальнейшем уменьшении  $t$  и  $\alpha$  остается равным нулю, т.е. осцилляция живой ткани прекращается.

Таким образом, исходя из построенной акустической модели живой среды, можно однозначно судить о смерти человека по измерениям скорости и затухания звука, а по спектральным характеристикам акустических колебаний - о физиологическом состоянии организма (заболевание, отмирание), если известны зависимости (15)- (18). Параметрами, характеризующими живую среду, являются ее температура, концентрация физиологического раствора и собственные колебания, обусловленные дыханием и движением клеток. Естественно, возникает вопрос, насколько сильно зависимы измеряемые акустические параметры сигналов прозвучивания ткани от ее вышеприведенных характеристик. Именно этим определяется возможность регистрации входящей информации, т.е. достаточна ли чувствительность ультразвуковой аппаратуры для достижения поставленной цели. Данное предложение выходит за рамки проводимых исследований, так как требует использования медицинских данных и постановки дополнительных физиологических экспериментов.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СЖАТИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ФРАКТАЛЬНЫМ СПОСОБОМ

*Савастюк Е.В.*

*Брестский политехнический институт*

В настоящее время наблюдается рост интереса к использованию в различных отраслях науки и техники компьютерной графики, например, проектирование электронных узлов приборов, моделирование различных физических процессов, решение ряда прикладных математических задач и т.д.

Хранение графической информации в электронной памяти компьютера имеет ряд преимуществ перед другими способами хранения. Данные в памяти ЭВМ могут быть легко классифицированы, систематизированы и обработаны в соответствии с заданным алгоритмом.

Однако специфика данных, представляющихся в графическом формате, такова, что для их хранения требуется довольно много пространства в памяти компьютера.

Этот факт подтолкнул разработчиков программного обеспечения к необходимости разработки, создания и внедрения методов сжатия графической информации, которые обеспечили бы экономию памяти ЭВМ при ее хранении.

В настоящее время существует довольно много стандартных и нестандартных методов кодирования графической информации. К ним можно отнести следующие методы: широко распространенное RLE - кодирование, применяющееся для сжатия растровых изображений форматов BMP и PCX, такие методы как Solid\_Run, Bit\_String, Pattern\_Run и Vertical\_Replication\_Count, применяемые для форматов



GEM IMG, алгоритм LZW (Lempel-Ziw & Welch), применяющийся для уплотнения информации в файлах GIF и TIFF -формата, способы сжатия CCITT/3, CCITT/3 1-D и PackBit для обычных файлов TIFF и FAX CCITT Group 3, FAX CCIN Group 4 для изображений TIFF, передаваемых по факсу.

В 90-х годах были начаты работы по исследованию принципиально нового метода сжатия графической информации, использующего теорию фракталов.

На основе информации об этой теории, которую с трудом удалось получить из неофициальных источников, реализована экспериментальная версия программы, кодирующей и декодирующей растровые изображения. Фрактальный метод сжатия графической информации представляет собой последовательность следующих действий:

- ◆ рекурсивное разбиение изображения на квадранты (домены);
- ◆ классификация доменов по средней яркости;
- ◆ подклассификация доменов по квадратам средней яркости;
- ◆ приведение доменов в каноническую позицию;
- ◆ назначение доменам симметрической операции восстановления;

Выходные результаты представляют собой совокупность данных о доменах изображения, операциях по его восстановлению и данных о расположении и ориентации доменов.

Метод фрактального сжатия имеет большие перспективы, так как при проведении опытных испытаний программы он показал возможность сжатия данных до коэффициента 5 (в пять раз), что превосходит многие из существующих методов сжатия графической информации. Однако надо заметить, что данный способ кодирования не позволяет достичь 100% - го восстановления информации, то есть, при ее сжатии происходит ухудшение качества изображения.

В настоящее время ведутся работы по исследованию возможностей модификации данного метода сжатия информации и сокращению потерь

качества изображения при его восстановлении. В перспективе планируется исследование возможности его применения к видеоизображению.

Разработанная программа реализована на языке Turbo C++ в рамках преддипломной практики. Минимальные требования: IBM - PC/AT 286, 1Mb RAM, 100 Kb HDD. Рекомендуется Pentium - 100, 8Mb RAM, 1Mb HDD.

## **ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫХ ПЛАНОВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ**

*Стадник А.Н., Хвещук В.И.*

*Брестский политехнический институт*

Стремительное развитие средств вычислительной техники и повсеместное их использование дает возможность автоматизации различных видов ручной рутинной работы (начисление заработной платы, автоматизация бухгалтерского учета, ведение различного рода статистики и т.п.). Одним из видов деятельности, которую необходимо автоматизировать в рамках института, является ведение, хранение и распечатка учебных планов, а так же распределение учебной нагрузки между преподавателями кафедр.

В данной работе представлены результаты разработки и реализации средств автоматизации ведения учебных планов и формирования учебной нагрузки преподавателей, обеспечивающих автоматизацию процесса составления, ведения, редактирования, хранения и распечатки учебных планов, а так же распределения учебной нагрузки между преподавателями. Система позволяет решать следующие задачи:

- внесение в БД новых и редактирование старых записей о ВУЗах, факультетах, кафедрах, специальностях, специализациях, дисциплинах и практиках;
- составление и редактирование графиков учебных процессов для различных специальностей и специализаций на каждый семестр с учетом примечаний;
- просмотр всей информации, хранящейся в базе, в удобном для пользователя виде;
- расчет учебной нагрузки и распределение между преподавателями кафедр.

Система обеспечивает диалоговый режим взаимодействия с пользователями и предназначена для заведующих кафедрами; лиц, ответственных за составление графиков учебных процессов; преподавателей; секретарей, а так же работников деканатов и учебной части института.

Для нормального функционирования системе необходимо: ПЭВМ типа IBM с процессором 486DX2-66; ОЗУ объемом не менее 8 Мбайт; накопитель НЖМД, с объемом свободной памяти не менее 25 Мбайт; видеосистема VGA или SVGA; принтер формата А3; операционная система MS Windows'95; СУБД MS Visual FoxPro версии 3.0.

Система реализуется на СУБД Microsoft Visual FoxPro версии 3.0 в рамках ОС Microsoft Windows'95.

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ “ФИЛАТЕЛИЯ”

*Куванов Ю.А., Хвещук В.И.*

*Брестский политехнический институт*

Массовое использование средств вычислительной техники для решения различного рода производственных задач стимулирует их применение и в непроизводственных областях жизни общества. Не обходит это стороной и хобби. Объединения людей по интересам ведет к созданию общественных организаций не только на уровне городов, районов, областей, но и республики в целом. Одной из таких организаций является Белорусский Союз Филателистов (БСФ).

Важной и трудоемкой задачей при функционировании БСФ является проблема ведения, хранения, обработки и распространения информации о членах общества и об их деятельности.

В данной работе представлены результаты разработки и реализации информационной системы (ИС) “Филателия”, обеспечивающей автоматизацию процесса сбора, хранения, введения и обработки информации о:

- ◆ филателистических материалах, являющихся предметом торговли частных и государственных фирм,
- ◆ клиентах этих фирм,
- ◆ поставщиках филателистических материалов этим фирмам,
- ◆ торговых операциях между всеми перечисленными выше субъектами.

Кроме этого, система предусматривает предоставление помощи пользователям в исследовании рынка данной предметной области, основанном на обработке хранящихся в ИС данных.

ИС обеспечивает диалоговый режим взаимодействия с пользователями и ориентирована на членов БСФ и клиентов перечисленных торговых организаций.

В настоящее время для ИС произведены испытания и ее можно применять:

- во всех отделениях Белорусского Союза Филателистов;
- в государственных объединениях «Белпочта» и «Белсоюзпе-чать»;
- других торговых организациях, занимающихся продажей филателистических материалов.

Для нормального функционирования ИС необходимо: процессор 486DX2-66MG, RAM 8 MB, 160 MB жесткого диска для СУБД MS Visual Fox Pro 5.0, 15 MB свободного дискового пространства, монитор VGA с видеоадаптер 1MB, операционная система MS Windows'95, СУБД MS Visual Fox Pro 5.0.

Система реализована на языке FoxPro в рамках ОС Microsoft Windows'95. Интерфейс с системой идентичен интерфейсу программ Microsoft Word, Excel и др., а также операционной среды Microsoft Windows'95.

## **РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

*Сегенчук А.А., Хвещук В.И.*

*Брестский политехнический институт*

*Информационные системы (ИС) – это сложные изделия, состоящие из разнородных по своей специфике компонентов: программного и информационного обеспечения, технических и других средств, которые сами по себе являются сложными системами.*

## 7. Технология создания информационных систем

Жизненный цикл ИС включает такие фазы как создание, сопровождение и эксплуатация. Создание ИС – это длительный, сложный и трудоёмкий процесс, требующий от разработчиков много времени, средств и высокой квалификации. В результате к началу 80-х годов были созданы технологии промышленной разработки программных систем в виде различного типа CASE-систем, которые нам практически недоступны из-за высокой стоимости. Состояние дел в этой области в нашей стране и странах СНГ можно охарактеризовать как неблагоприятное. Это вызвано недооценкой разработчиками, и особенно заказчиками, роли технологии создания АС.

В данной работе предложен проект диалоговой системы автоматизации проектирования (САПР) ИС, ориентированной на обеспечение некоторых действий проектировщиков программного обеспечения (ПО) на этапах разработки технического задания (ТЗ) и эскизного проектирования. Данная САПР предназначена для автоматизации следующих действий:

- создание ТЗ на разработку ПО ИС;
- разработку спецификаций задач и функций;
- формирование информационной модели предметной области (ПрО);
- построение структуры базы данных (БД).

Создание ТЗ на разработку ПО ИС представляет собой подготовку текста проекта ТЗ, который в соответствии с ГОСТ определяется как определённая совокупность разделов. К ним можно отнести: основания для разработки, назначение разработки, требования к программной документации и другие. Основной информацией, которая используется для продолжения процесса проектирования, является описание решаемых задач ИС. Кроме этого, для каждого проекта ТЗ определяется идентификатор разработчика, название и код проекта.

Обеспечение процесса создания проектов ТЗ реализовано в виде редактора текста, ориентированного на подготовку документа

определённой структуры. Созданный проект можно использовать для продолжения процесса проектирования и/или вывести на печать.

Разработка спецификаций задач ориентирована на определение перечня функций, обеспечиваемых создаваемой ИС. Внешняя спецификация представляется как совокупность следующей информации для каждой решаемой задачи; входная и выходная информация; функциональная связь между входной и выходной информацией; преобразование системы; характеристики надёжности и эффективности. Процесс определения спецификаций – это итеративный процесс, в результате которого возможна как декомпозиция отдельных задач на более мелкие задачи, так и возможность их агрегации. В ходе разработки спецификаций определяется словарь данных (СД), в котором для каждого элементарного данного содержится следующая информация: идентификатор, формат, диапазон возможных значений, размерность и другие характеристики. Результаты разработки спецификаций представляются в системе перечнем спецификаций задач и СД.

На основе этих результатов определяется информационная модель ПрО. Она формируется путём определения процессов, которые состоят из ранее определённых задач. Для процессов определяется схема передач управления, определяющая иерархию процессов ИС.

Проектирование структуры БД включает основные компоненты концептуального и логического проектирования реляционных БД. Концептуальное проектирование служит для построения модели БД как совокупности взаимосвязанных сущностей, каждая из которых определяется перечнем атрибутов. Сущности и атрибуты сущностей формируются на основе информации, содержащейся в СД проекта. Связи между сущностями и атрибутами сущностей определяются на основе анализа их использования задачами. Логическое проектирование структуры БД включает операции нормализации.

Система реализована на языке Clipper 5.0 в рамках операционной системы MS DOS 6.22. и имеет модульную организацию.

В процессе диалога с системой пользователь имеет возможность создавать проекты, разрабатывать ТЗ к каждому из проектов, формировать информационную модель ПрО, т.е. структуру передач потоков данных между задачами, строить структуру БД.

Диалоговый режим взаимодействия реализован с использованием различного рода запросов, сообщений и подсказок. В основу построения диалога положена оконная технология с использованием таких элементов, как окно выбора, окно ввода, меню и др. Интерфейс с системой ориентирован на минимизацию вводимой с клавиатуры буквенно-цифровой информации, позволяя вместо этого пользователю выбирать информации из предложенного списка.

Данная система представляет собой САПР, ориентированную на использование в учебном процессе в рамках дисциплины «Системное программное обеспечение».

УДК 658.012.011.56.005:681.3.06:681.322.12.001.362

# **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ**

*Ивкин А.В.*

*Институт технической кибернетики НАН Беларуси.*

## **1. Введение**

Система технического зрения (СТЗ) представляет собой единый комплекс аппаратных и программных средств, обеспечивающих анализ изображений в целях автоматизации различных технологических процессов. Поэтому архитектура (состав и структура) программного обеспечения СТЗ определяется в первую очередь используемыми



алгоритмами обработки изображений, а также распределением функций между аппаратными и программными средствами их реализации.

Промышленная СТЗ должна быть многофункциональной, что при отсутствии универсальных процедур видеонализа, пригодных для решения любых технологических задач, достигается за счет программной реализации более частных алгоритмов обработки. Такой подход обуславливает особую важность требования простоты перепрограммирования СТЗ на выполнение новой технологической операции, означающего как возможность создания прикладных программ в рамках существующих уже аппаратно-программных средств, так и возможность реализации новых процедур анализа изображений. Такие свойства система может иметь только при наличии соответствующего программного обеспечения (ПО). Участие СТЗ в технологическом процессе обуславливает необходимость ее взаимодействия с технологическим оборудованием и человеком-оператором. Обеспечение этого взаимодействия также возлагается на программные средства.

И наконец, программное обеспечение должно удовлетворять общим требованиям, предъявляемым к программным системам [1].

## **2. Сущность структурно-объектного подхода в построении систем технического зрения и распознавания**

Существует большое число систем, предназначенных для автоматизации различных технологических процессов [2], разработки комплексов обработки и анализа изображений на базе специализированного аппаратного обеспечения [3], средств идентификации в различных прикладных областях (медицина, криминалистика, микроэлектроника) [4,5]. Однако в архитектуре их программного обеспечения можно выделить ряд общих черт.

Во-первых, в состав алгоритмического обеспечения систем входит широкий набор процедур обработки изображений.

## 7. Технология создания информационных систем

---

Во-вторых, пользователями СТЗ являются лица с различным уровнем подготовки, как в области анализа изображения, так и разработки программного обеспечения. В связи с этим ПО СТЗ делится на три уровня: 1) прикладной; 2) проблемно-ориентированный; 3) системный. Это является основой структурно-объектного подхода.

Яркий пример подобного подхода - система программирования графических процессоров конвейерной архитектуры, описанная в [3]. В данной системе реализованы элементы технологии проектирования, разработки и сопровождения сложных систем программного обеспечения, поддерживаемой комплексом взаимосвязанных средств автоматизации (технология CASE -Computer Aided Software Engineering).

Первый уровень, доступный пользователям систем распознавания образов, идентификации и обработки изображений, а также операторам технологического оборудования, позволяет создать прикладную программу для конкретного применения системы, исходя из ее функциональных возможностей.

Второй уровень программирования - проблемно-ориентированный, требующий достаточно высокой квалификации в области анализа изображений и программирования, обеспечивает разработку и исследование алгоритмов, а также написание программ для задач, решение которых невозможно в рамках функционального меню. Работа на данном уровне предусматривает наличие одного или нескольких языков программирования как высокого, так и низкого уровней.

Третий уровень - системный, предназначен для изменения конфигурации аппаратно-программных средств СТЗ. Для работы на этом уровне необходима высокая квалификация в области системного программирования.

### **3. Формы разработки программного обеспечения комплексов технического зрения и распознавания при помощи инструментальных систем**

Реализация разных уровней программирования, особенно проблемно-ориентированного и системного, требует широкого набора развитых программных средств, не используемых при работе системы в реальном режиме (технологическом процессе). Следствием этого является разделение программного обеспечения СТЗ на две части: инструментальное ПО отладочного комплекса и разрабатываемое с его помощью ПО рабочего комплекса.

Инструментальное ПО включает средства генерации системы, управления проектом, редактирования и компоновки модулей системы. Часть этих средств типична для операционных систем. Универсальный подход предполагает независимость от операционной системы на уровне предопределенного набора основных средств. Подобный инструментарий делает систему инвариантной к используемой аппаратно-программной платформе, под которой обычно понимается тандем "операционная система/архитектура ЭВМ".

### **4. Заключение**

В настоящее время особое внимание уделяется параллельным вычислительным системам (ЛВС). Исследование и разработка параллельных алгоритмов обработки изображений для ПВС различных классов в настоящее время являются одной из наиболее актуальных проблем [6].

Широкая номенклатура вычислительных средств ставит задачу их оценки, выбора по критериям, определяемым конкретными особенностями разрабатываемой СТЗ. Эту задачу желательно решить на ранних этапах проектирования.

Многие задачи обработки данных, решаемые в СТЗ, связаны с преобразованием исходного изображения и получением новых изображений. Поэтому оперативное управление процессом обработки в интерактивном режиме является основной методологией этапа тестирования и отладки.

Анализ перечисленных выше особенностей процесса разработки СТЗ делает весьма актуальной задачу создания специализированных средств поддержки и автоматизации всех этапов разработки систем обработки изображений. Такие средства объединяются в инструментальную систему обработки изображений, которая служит своеобразным стендом для разработки, отладки, испытания и оценки алгоритмов обработки изображений.

## 5. Литература

1. Г.В.Письменный, Б.Б.Михайлов, А.Ю.Корнеев. Системы технического зрения в робототехнике. М. 1991.
2. Machine vision for robotics and automated inspection / Edited by Richard K.Miller. Technical insights, inc., V.3. Manufacturers & Systems, 1983.
3. Programming a pipelined image processor. Thomas J.Olson, John B.Taylor. Computer vision and image understanding. 64. No.3. 1996.
4. Spoilt. An interactive identikit system. R.Brunelli and O.Mich. Graphical models and image processing. 58. No.5. 1996.
5. Е.К.Чехович. Оптико-электронные методы автоматизированного контроля изделий микроэлектроники. Мн., 1989.
6. Е.П.Путягин, С.И.Аверин. Обработка изображений в робототехнике. М. 1990.

УДК 658.512.011.56:681.325.65

## **ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПЕРЕПРОЕКТИРОВАНИЮ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ**

*Калюта А.Г.*

*Институт Технической Кибернетики НАН Беларуси*

### **Введение**

Средства автоматизации в настоящее время находят применение практически на всех этапах проектирования, контроля и моделирования электронных систем. Конкурентная борьба, а также большая сложность современных СБИС сделало необходимым применение развитых средств автоматизации проектирования. Сегодня проблематика проектирования интегральных схем стала настолько широка, что общая задача проектирования разбивается на отдельные подзадачи, решение которых постоянно исследуется и совершенствуется. Одной из таких проблем является и проблема перепроектирования. В данной статье рассматриваются основные подходы к задаче перепроектирования.

### **1. Суть проблемы перепроектирования**

Достаточно формализованным и проработанным при проектировании является подход, когда на входе системы имеется высокоуровневое исходное описание проектируемой схемы, описания используемой технологии, описание проектных ограничений и стоимостных функций. Таким образом, имеет место преобразование типа «описание - схема». Однако на практике такой подход применяется лишь к построению схем небольшой сложности.

При проектировании схем большой сложности, проектируемая схема разбивается с помощью специальных методов декомпозиции на достаточно простые составляющие, при проектировании которых и применяются преобразования типа «описание - схема». Однако возникает задача оптимального объединения спроектированных составляющих, при решении которой может потребоваться перепроектирование отдельных частей схемы. При перепроектировании осуществляется преобразование типа «схема - новая схема», где новая схема должна обладать некоторыми новыми качествами, определяемыми критериями перепроектирования. В качестве критериев перепроектирования могут выступать, например, ограничения по производительности, потребляемой мощности [3], площади занимаемого кристалла или требований удоботестируемости.

## 2. Перепроектирование программно-аппаратных систем

Кроме перепроектирования логических схем, термин «перепроектирования» употребляется и в отношении сложных аппаратно-программных систем, жизненный цикл которых в настоящее время весьма ограничен. Разработка столь сложных аппаратно-программных комплексов занимает большой промежуток времени, поэтому перед разработчиками стоит задача скорейшей модернизации ранее выпущенных систем, а так же оперативное исправление недостатков, обнаруженных уже при эксплуатации системы или на поздних этапах проектирования [4]. Перепроектирование аппаратно-программных систем предполагает использование аппаратно-программного исполнения предыдущей версии системы для получения новой версии посредством изменения программной части [1]. Определение возможности перепроектирования таких систем предполагает последовательное выявление изменений в спецификации, определение временных ограничений из предыдущего аппаратного исполнения, которые должны быть согласованы с новым программным исполнением. Далее производятся изменения в программной части с

учетом временных ограничений, накладываемых аппаратной частью и проверяется соответствуют ли новые характеристики производительности тем, которые были заложены в спецификации. При неудовлетворительном результате производится либо корректировка исходных данных перепроектирования, либо параметров перепроектирующей системы.

### 3. Оптимизация и изменение базиса

Частным случаем перепроектирования является задача оптимизации логических схем.

Глобальная оптимизация[2] предполагает упрощение логических уравнений на основе глобального подхода, который позволяет производить значительное преобразование схемы в соответствии с выбранными критериями оптимизации и не зависит от базовой технологии. После глобальной оптимизации необходимо провести технологически-ориентированные преобразования схемы, которые должны обеспечивать наиболее компактную и эффективную реализацию полученной логической схемы на основе базовой технологии.

Подход, основанный на правилах[2], состоит в осуществлении иерархически организованной последовательности локальных преобразований над логической схемой в соответствии с выбранным критерием оптимизации. На этапе локальных преобразований осуществляется перевод описания схемы на уровень вентилей и при помощи некоторого набора правил обеспечивается основная оптимизация схемы. Производится учет задержек, и преобразования выполняются в том случае, если они обеспечивают улучшение технических или габаритных показателей, которые являются критериями оптимизации. Качество оптимизации существенно зависит от порядка применения правил.

Перепроектирование так же применяется при переводе логических схем из одной базовой технологии в другую, обеспечивающую большую степень интеграции или производительность. Естественно, что прямое

замена вентиля одного базиса вентилем другого базиса является весьма неэффективным. Поэтому здесь возможно применение как методов глобальной, так и локальной оптимизации. 5.

### Заключение

На сегодняшний день наиболее исследованной областью применения перепроектирования является глобальный подход к оптимизации логических схем при помощи аппарата булевых функций. Проблематика оптимизации с использованием локального подхода исследована несколько хуже и поэтому представляет определенный интерес. И совсем малоизученной областью является задача обратного синтеза, когда новая схема реализует функции исходной схемы, но построена на другом технологическом базисе и использует схемную реализацию элементов нового базиса. Задача обратного синтеза находит свое применение в системах, осуществляющих автоматическое восстановление логической схемы непосредственно по изображениям кристалла. В таких системах она решает проблему перепроектирования логической схемы с учетом новых и существовавших прежде схемных решений на основе некоторого технологического базиса.

### Литература

1. C.Coelho, J.Yang, V.Mooney and G.De Micheli. Redesigning Hardware-Software Systems. Third International Workshop on Hardware/Software Co-Design, September 1994.
2. A.Newton, A.Sangiovanni-Vinsentelli. CAD Tools for ASIC Design, Малый тематический выпуск по специализированным интегральным схемам. Август 1996.
3. R.Rahar, F.Somenzi. Boolean Techniques for Low-Power Driven Re-Synthesis, DECE, University of Colorado, Boulder.



4. H.J. Eikerling, W.Hardt, J.Gerlach, W.Rosenstiel. A Methodology for Rapid Analysis and Optimization of Embedded Systems.

## ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ АДАПТИРУЕМЫХ АРМ.

*Косинов Г.П., Шибeko В.Н*

*Гомельский политехнический институт им. Сухого П.О.*

Внедрение новой компьютерной техники и программного обеспечения в нашей стране происходит в больших масштабах. Причем на момент внедрения программное обеспечение полностью отвечает требованиям законодательства и конечных пользователей и поставляется в виде набора баз данных, файлов инструкций и исполняемого кода программы. Руководство предприятия и пользователи зачастую не подозревают о том, что даже небольшие изменения должны производиться над исходным текстом программы, который часто просто отсутствует. Горячая телефонная линия в данной ситуации не поможет, а фирма, выпустившая программное обеспечение, реагирует на такие изменения крайне неохотно, так как программное обеспечение разрабатывается универсальное и в небольших клиентах они просто не заинтересованы. Пользователь просто отказывается от такого программного продукта. Если же разработчик отдает текст программы, то при нынешней ситуации с авторскими правами, его АРМ просто никто не купит.

Поэтому наряду с общеизвестными требованиями к внедряемым программным продуктам - надежность, эффективность, сопровождаемость, мы выделяем новое требование - модифицируемость.

Модифицируемость - это способность пользователя программного обеспечения без участия разработчика и изменения исходного текста программы изменять поток и структуру входных данных, алгоритм расчета и организацию выходных потоков информации.

## 7. Технология создания информационных систем

---

Это свойство программного обеспечения становится особенно актуальным в связи:

- с развитием новой техники,
- усовершенствованием алгоритмов обработки информации,
- постоянно возрастающим опытом, знаний пользователей программного обеспечения,
- изменением в законодательстве страны.

Для того, чтобы обеспечить свойство модифицируемости была создана технология адаптации программного обеспечения. Суть ее состоит в том, чтобы разработчик максимально возможное количество информации и в доступной для понимания форме помещал во внешние файлы.

Работа любого АРМ начинается с создания индексных файлов для системы. Что должен с нашей точки зрения, предоставить разработчик пользователю: - это добавлять, удалять, изменять индексные ключи. Разработанная технология позволяет это делать через файл глобального описания системы. Его структура следующая:

- имя файла БД,
- описание его (примечание),
- имя индексного файла, его ключ.

Таким образом при инициализации АРМ открывается этот файл и последовательно открываются БД, входящие в систему, под которые создаются индексные файлы или происходит реиндексация.

Следующий этап работы АРМ - инициализация глобальных переменных системы. Обычно это параметры организации, в которой установлен АРМ, цветовая настройка, пути доступа к файлам и т.д. Администратор системы может изменить любые параметры через файл управления конфигурацией. Его структура:

- имя переменной
- тип
- значение.

Последовательно объявляются как глобальные переменные системы и им присваиваются значения из поля «Значения» файла управления конфигурацией.

Организация меню. Разработанная технология позволяет создавать меню, модифицировать его по усмотрению пользователя. Файл меню - это также внешний файл БД, структура которого следующая:

- Поле отца,
- Поле сына,
- Горячая клавиша (код),
- Вызываемая процедура,
- мемо-поле помощи.

При начальной инициализации системы база данных меню фильтруется по «полю отца» со значением «Главное» и в начальный момент пользователю доступны к продолжению соответствующей альтернативы «полей сыновей». При нажатии клавиши «Ввод» или горячей клавиши выполняется процедура, соответствующая данной строке БД. Если это стандартная процедура меню, то одним из параметров её будет «поле сына», по которому уже будет далее фильтроваться БД меню. Пользователю в данном режиме предоставляется возможность организовать диалог по понравившейся ему схеме, а также не изменяя исходный текст программы модифицировать меню под конкретные нужды предприятия или организации.

Этап работы АРМ «Организация входных потоков» происходит используя SCR - технологию. Любой появляющийся перед пользователем экран программы описан во внешнем SCR - файле. Его структура:

- имя сценария отображения экрана,
- мемо-поле.

В мемо-поле описываются границы экрана; поля, доступные для просмотра и редактирования; их координаты на экране; предусловия на входжение в редактирование и условия на окончание редактирования каждого поля. Файл также доступен администратору для корректировки.

## 7. Технология создания информационных систем

---

Самый сложный этап при функционировании любого АРМ - алгоритм расчета. Созданная среда разработки позволяет использовать среду электронных таблиц, настраиваемый файл формул или prf - технологию. Базы данных и электронные таблицы имеют реляционную структуру, поэтому при использовании пользовательских функций позволяет добиваться хороших результатов. Файл настройки формул не столь универсален, однако также часто полезен при организации систем. Часто приходится разрабатывать системы, в которых структура расчета остаётся та же, однако формулы изменяются. С точки зрения человека, сопровождающего такую систему, данная функция просто необходима. Структура данного файла:

- принимающее поле,
- описание формулы,
- собственно сама формула.

PRF - технология позволяет создавать отчётные формы. Её также просто использовать для настройки как формул, так и выходных документов. Структура PRF - файла:

- имя сценария печати,
- мемо-поле.

В мемо-поле хранится сценарий печати документа. Условлено, что если первый символ в строке - «пробел», то данная строка печатается, если нет, то является строкой вычисления значений (или блоком кода).

Разработанная технология позволяет гибко работать с системой помощи, строить графики, включает в себя функции поддержки баз данных (модифицирование структуры, упаковка, очистка, индексация), в любом режиме получить доступ к функциям ассистента (калькулятор, получить сумму, среднее, заморозить столбец, выделить, и т.д.).

## 8. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ

УДК 546.28:539.216.2

### ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОК АМОРФНОГО ГИДРОГЕНЕЗИРОВАННОГО КРЕМНИЯ В КОМБИНИРОВАННОМ РАЗРЯДЕ.

*Босяков М.Н., Грунский Д.И., Жук Д.В.*

*Белорусский Государственный Университет  
Информатики и радиоэлектроники.*

Аморфный гидрогенизированный кремний ( $a\text{-Si:H}$ ) является в настоящее время широко используемым материалом электронной техники в классе аморфных и стеклообразных полупроводников. Среди его наиболее важных применений можно выделить такие изделия, как элементы солнечных батарей, сенсоры различного диапазона излучения, дозиметры ионизирующего излучения, адресуемые матрицы транзисторов для жидкокристаллических экранов и многое другое. Дальнейший прогресс в технологии получения этого материала, что может быть достигнут за счет применения новых методов осаждения пленок  $a\text{-Si:H}$ .

Современные успехи в получении  $a\text{-Si:H}$  достигнуты эмпирическим путем и, как правило, связаны с оптимизацией параметров технологических процессов, обеспечивающих осаждение пленок с "приборными" оптоэлектронными свойствами. В настоящее время эффективным способом получения пленок  $a\text{-Si:H}$  является разложение силана в неравновесной плазме тлеющего ВЧ-разряда, который позволяет формировать пленки  $a\text{-Si:H}$  с параметрами, необходимыми для использования их в фотопреобразователях.

## 8. Современные проблемы электроники и автоматики

Однако этому способу осаждения присущи некоторые недостатки, во - первых, недостаточная воспроизводимость характеристик получаемых пленок, обусловленная высокой чувствительностью скорости их роста к изменению параметров процесса и, во - вторых, относительно низкая скорость роста.

В последнее время усилия исследователей были сосредоточены на изучении процесса осаждения в VHF-разряде ( $f=100-250$  МГц), более перспективном, чем RF -разряд ( $f=13.56$  МГц), в плане получения больших скоростей процесса /1/. Однако этот способ осаждения требует значительно более сложной аппаратуры, чем при обычном RF -разряде. В то же время имеются сообщения /2/ о возможности осаждения пленок a-Si:H «приблизительного качества» в плазме НЧ-разряда ( $f=55$ кГц) со скоростями, сравнимыми с полученными в VHF-разряде.

Целью нашей работы являлось исследование процесса осаждения пленок a-Si:H в силансодержащей плазме ( $\text{SiH}_4[5\%]+\text{Ar}$ ) комбинированного разряда, т.е. разряда, формируемого одновременно приложением к катоду напряжений ВЧ- ( $f=13.56$  МГц) и НЧ- ( $f=15-55$  кГц) диапазонов.

В данном случае удалось совместить высокую химическую активность плазмы, определяемую ВЧ-мощностью, и обеспечить управление степенью ионной и электронной бомбардировки растущей пленки, что осуществлялось изменением амплитуды напряжения и частоты НЧ-генератора.

Согласно модели /3/ скорость осаждения пленок a-Si:H зависит от следующих параметров:

$$V_d = 5,2 \cdot 10^3 \frac{pT_s}{T_0^2} D_R^0 \left( \frac{1}{\delta} - \frac{\alpha\delta}{6} \right) + \frac{\langle N_e \times \sigma_d V \rangle}{\frac{1}{\tau_R} + \frac{1}{\tau_d}} X_C \quad (1)$$

где  $p$  - среднее давление в камере (Па);

$T_s$  - температура подложки, К,  $T_0$  - 273К;

$D_R^0$  - коэффициент диффузии радикалов  $\text{SiH}_2$   $\text{SiH}_3$ ;

$\delta$  - ширина приграничного слоя Ландау-Лившица, зависящая от межэлектродного расстояния, динамической вязкости и концентрации аргона и скорости газового потока;

$\langle N_e \rangle$  - величина средней концентрации электронов в плазме,  $m^{-3}$

$\langle \sigma_d V \rangle$  - коэффициент скорости генерации радикалов,  $m^3 / c$ ;

$X_c$  - доля  $SiH_4$  в смеси ( $Ar+SiH_4$ );

$1/\tau_R$  - величина обратная времени жизни радикалов в плазме,  $c^{-1}$ ;

$1/\tau_D$  - величина обратная времени диффузии радикалов в плазме,  $c^{-1}$ ;

Из этой зависимости следует, что изменения характеристик разряда (расход газа, давление, мощность) вызывают изменения параметров плазмы - концентрации электронов ( $N_e$ ), ФРЭЭ, времени жизни частиц, скорости диффузии и скорости реакций частиц в объеме плазмы и на поверхности растущей пленки.

Однако, в реальном разряде нельзя получить скорость роста пленки выше некоторой предельной из-за деградации качеств пленки, низкой диффузии радикалов  $SiH_2$  и  $SiH_3$ , ограничений в генерации этих радикалов внутри плазмы обусловлена вторичными реакциями и т.д.

Ряд ограничений, присущих обычному RF-разряду можно преодолеть при использовании комбинированного разряда. Так, например интенсивность ионной бомбардировки растущей пленки в RF-разряде ограничена наличием потенциального барьера между плазмой и приэлектродным слоем; а в комбинированном разряде путем вариации добавкой НЧ - мощности можно гибко управлять потоком ионов к поверхности, и, кроме того, изменять скорость генерации радикалов  $\langle \sigma_d V \rangle$  (см.1). В свою очередь наличие в комбинированном разряде высокочастотной мощности позволяет поддерживать относительно высокое значение концентрации электронов  $\langle N_e \rangle$ , обеспечивающее эффективную диссоциацию  $SiH_4$ . Экспериментально было установлено, что в комбинированном разряде возможно получение более высоких скоростей осаждения, чем в ВЧ или НЧ разрядах (рис.)

Максимальные скорости роста пленки  $a-Si:H$  при различных режимах разряда.

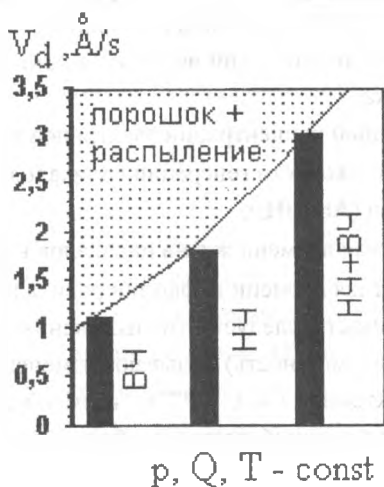


Рис.

## ЛИТЕРАТУРА

1. The influence of frequency and pressure on the material quality of PECVD a-Si:H/ W.G.J.H.M. Van Sark, J.Bezemer, E.M.B. Heller, M. Kars and W. F. Van Der Weg/AST 95.
2. Budaguan B.G., Aivazav A.A., Sazonov A.Yu., Popov A.A., and Berdnikov A.E. High-rate deposition of a-Si:H films in 55kHz glow discharge: growth mechanisms and film structure. Abstracts of MRS Spring Meeting. San Francisco, USA, 1997, P.14.
3. Е. П. Прокопьев, «Химия высоких энергий». 26, 169 (1992).



УДК 546.28:539.216.2

## КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ПЛЕНОК $a\text{-Si:H}$ В СИЛАНСОДЕРЖАЩЕЙ ПЛАЗМЕ.

*Босяков М.Н., Грунский Д.И., Жук Д.В.*

*Белорусский Государственный Университет  
Информатики и радиоэлектроники*

Среди наиболее важных применений аморфного гидrogenизированного кремния ( $a\text{-Si:H}$ ) можно выделить такие изделия, как элементы солнечных батарей, сенсоры различного диапазона излучения и дозиметры ионизирующего излучения. Разработка новых устройств на основе  $a\text{-Si:H}$  требует дальнейшего прогресса в технологии получения этого материала, что может быть достигнуто за счет развития более глубоких представлений о процессах осаждения и механизмах роста пленок, базирующихся на современных методах диагностики плазмы.

Оптическая эмиссионная спектроскопия (ОЭС) - метод бесконтактной диагностики и контроля процессов происходящих в плазме. Полученная с ее помощью информация позволяет определить концентрации частиц в плазме, их температуры и характер взаимодействия.

Нами был исследован спектр излучения силансодержащей плазмы ( $\text{SiH}_4$  (5%)+Ag) в ВЧ и НЧ разрядах в диапазоне 200 - 900 нм. Эмиссионный спектр плазмы  $\text{SiH}_4$  содержит линии и полосы SiI, H,  $\text{H}_2$  ArI, ArII и SiH. Так как, наиболее важными проблемами при формировании  $a\text{-Si:H}$  являются обеспечение высокой скорости осаждения и качества растущих пленок, то исследования проводились в двух направлениях, касающихся изучения возможности:

- ♦ контроля скорости роста пленок  $a\text{-Si:H}$  во время плазмо- химического осаждения;

- ♦ контроля концентрации водорода в плазме и соответственно, в растущей пленке;

Известно, что интенсивность излучения полосы SiH ( $\lambda=4142$  нм.) коррелирует со скоростью осаждения пленок a-Si:H [1]. Однако интенсивность в данном случае зависит не только от концентрации радикалов SiH в плазме, но и от технологических параметров разряда (давления, мощности, расхода газа), поэтому изменения технологических параметров могут вызвать увеличение интенсивности излучения SiH без прироста скорости осаждения a-Si:H. Нами использовался актинометрический метод, суть которого состоит в том, что при отношении интенсивностей линии исследуемой частицы плазмы (например, SiH, Si) к интенсивности линии частицы актинометра (концентрация которого известна) при условии, что уровни возбуждения у исследуемой частицы и актинометра обладают одинаковыми сечениями, можно определить концентрацию частиц в плазме не зависимо от технологических параметров. В нашем случае в качестве актинометра использовались линии аргона, а информацию о концентрации пленкообразующих частиц можно получить из интенсивностей линий Si, SiH, H<sub>α</sub> и H<sub>2</sub>.

Данные, полученные с помощью ОЭС при осаждения пленок a-Si:H, представлены на рис. 1, 2, 3.

**Зависимость скорости осаждения и отношения интенсивностей линий от мощности разряда  
( $f=155$  кГц,  $P=0.6$  торр)**

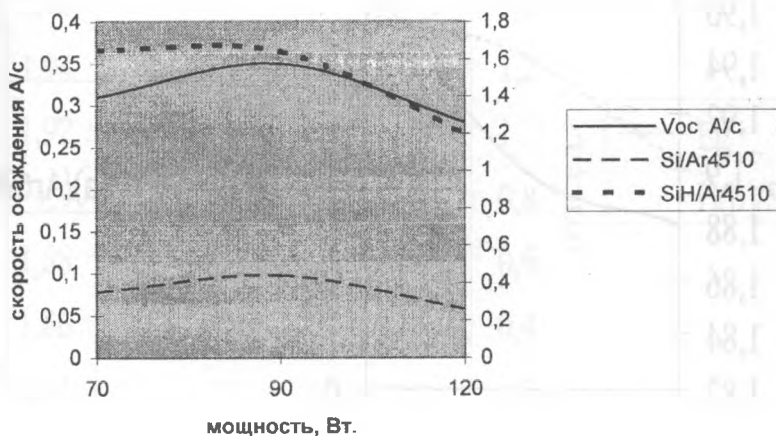


Рис.1.



Рис.2.

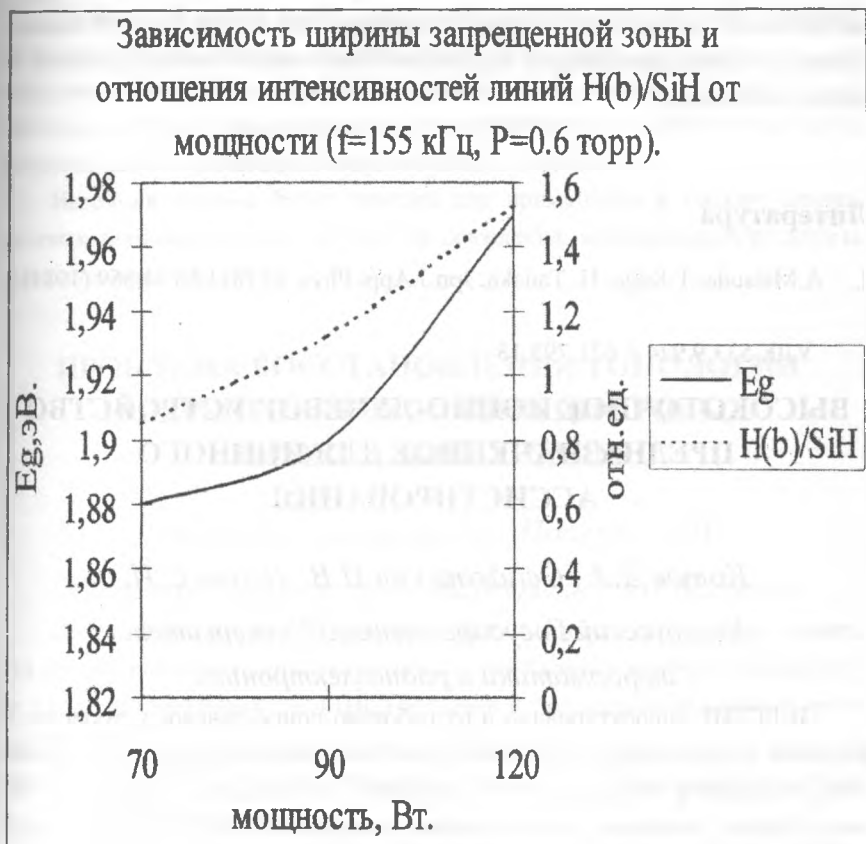


Рис.3.

Аналогичные корреляции с шириной запрещенной зоны пленок наблюдаются и у отношения интенсивностей  $I_H/I_{SiH}$  и  $I_H/I_{Si}$ , что представляет интерес при использовании чистого силана в качестве плазмообразующего газа. Полученные данные свидетельствуют о том, что, используя актино-

метрический метод, из отношения интенсивностей линий H и SiH можно судить об электрофизических характеристиках пленок непосредственно в процессе их роста.

## Литература

1. A.Matsuda, T.Kaga, H. Tanaka, Jpn.J.Appl.Phys. 23 (8),L567-L569 (1984).

УДК 533.9.924 + 621.793.18

### **ВЫСОКОТОЧНОЕ ИОННО-ЛУЧЕВОЕ УСТРОЙСТВО ПРЕДНАЗНАЧЕННОЕ ДЛЯ ИОННОГО АССИСТИРОВАНИЯ**

*Котов Д.А., Сवादковский И.В., Дудин С.И.*

*Белорусский Государственный Университет  
информатики и радиоэлектроники*

В БГУИР спроектировано и разработано ионно-лучевое устройство с разрядом в скрещенных ЕхН полях с двойным анодным слоем и управляемой диаграммой направленности широкого пучка ионов. Ионный источник обладает широким энергетическим диапазоном 25-1100 эВ и током пучка свыше 1 А.

Оригинальная трехпольная конструкция магнитной системы данного ионно-лучевого устройства позволяет оперативно управлять геометрическими параметрами и энергетикой ионного пучка во время одного технологического процесса. Источник плазмы может функционировать в широком диапазоне рабочих давлений. Разработанное устройство позволяет проводить процессы ионно-лучевого ассистирования осаждению и работать в комплексе с различными осаждающими устройствами.

Проведены исследования с целью определения оптимальных режимов позволяющих реализовать равномерное распределение плотности тока по поверхности обрабатываемой подложки большой площади. Выявлены основные разрядные характеристики в зависимости от рабочего давления, скорости подачи питающих газов, питающих напряжений.

Источник плазмы будет полезен для применения в составе ионно-лучевых технологических систем для осаждения, модификации и синтеза поверхностных структур.

## **ПРОБЛЕМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТОПОЛОГИИ И ПЕРЕПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ**

*Дудкин А.А., Мачнев А.Г., Поденок Л.П.*

*Институт технической кибернетики НАН Беларуси*

Современное состояние электронной вычислительной техники таково, что подавляющее большинство сложных электронных приборов реализуется в виде интегральных схем (ИС) большой и сверхбольшой степени интеграции. При этом они различаются типом интегральной технологии, а в рамках конкретной технологии имеют большие различия в зависимости от методологии проектирования.

В тоже время, расширение сферы применения ИС, повышение требований к их быстродействию, габаритам и рассеиваемой мощности и др., приводит к необходимости создания прототипов схем в новом технологическом базисе с измененными или новыми параметрами. Причем последнее всегда имеет место всегда при смене технологического базиса. Перепроектирование устройства, реализованного в БИС или СБИС, представляет собой чрезвычайно сложную задачу. Решение этой задачи основывается на анализе топологических слоев кристалла ИС по их изображениям.

### Технические средства восстановления топологий

Прежде всего, необходимо получить топологическое изображение схемы на кристалле, как совокупность изображений слоев кристалла. Изображение одного топологического слоя ИС для последующей цифровой обработки можно получить с помощью системы, в состав которой входит оптический микроскоп, оснащенный столом сканирования и цветной видеокамерой. В практическом диапазоне увеличений в поле зрения микроскопа попадает лишь небольшая часть слоя ИС. Поэтому полное изображение топологического слоя ИС представляет собой набор отдельных снимков, перекрывающих друг друга. Размеры областей перекрытия зависят от точности, с которой стол сканирования перемещает размещенный на нем кристалл. Чем хуже точность перемещения, тем больше должна быть зона перекрытия полученных снимков. При большом увеличении и низкой точности стола сканирования для восстановления изображения всего топологического слоя может потребоваться реальный объем данных, в два-четыре раза больший теоретически необходимого и перемещение стола сканирования с шагом, равным половине поля зрения микроскопа.

В свою очередь, поверхность слоя кристалла, подлежащего топологическому анализу, оказывается в значительной степени загрязненной осевшей из атмосферы пылью и микроорганизмами. При этом размеры топологических элементов ИС могут на порядок быть меньше, чем размер пылинки, выпавшей на поверхность кристалла. В этом случае для достоверного восстановления топологии слоя может потребоваться второй набор цифровых снимков этого кристалла, что еще более увеличивает объем данных. К примеру, представительный комплект цифровых снимков кристалла размером около 6 кв. мм содержит около тысячи снимков общим объемом около 500 Мбайт (для одного набора).

Дополнительные трудности для цифрового анализа и восстановления топологии ИС вызываются тем обстоятельством, что увеличение снимков не является строго постоянным, а лежит в некотором диапазоне значений



вследствие изменения фокусировки микроскопа. Эффект, проявляющийся в несовпадении увеличения перекрывающихся областей смежных снимков слоя кристалла, затрудняет их сшивку, требуя дополнительных вычислительных затрат на компенсацию метрических искажений. Далее, класс изображений топологических слоев ИС характеризуется преобладанием прямоугольных элементов, ориентированных в двух-четыре направлениях. С одной стороны, это существенно упрощает восстановление и идентификацию топологических элементов, полностью расположенных в границах отдельного снимка, а с другой стороны, очень осложняет восстановление топологии широких шинных полей, ориентированных в одном направлении и расположенных в границах нескольких снимков.

## Основные задачи перепроектирования

Качественное решение задачи анализа и восстановления ИС в большой мере определяет и успешное решение последующих задач: перепроектирование схем либо с сохранением топологической структуры с учетом новых технологических норм, либо восстановление принципиальной схемы, внесение изменений на этом уровне и т.д. При этом имеют место следующие задачи перепроектирования, которые затрагивают структурный уровень описания без изменения ее функциональных характеристик.

1). Внесение изменений осуществляется с целью улучшения тех или иных характеристик. При этом, очевидно, нет необходимости разрабатывать проект с нуля (это было бы экономически невыгодно). Достаточно внести соответствующие изменения, обусловленные новыми технологическими требованиями, в спецификации, используемые на последних стадиях проектирования.

2). Перепроектирование при переходе к новой технологии. Причем, такие изменения являются обязательными, так как топологические методы нельзя просто заменить один другим. Технология вызывает значительные изменения в стратегии генерации топологии.

3). Проектирование устройства как часть некоторой большой схемы.

Структурные модификации невозможно внести разработчику вручную. Все это говорит о необходимости разработки автоматизированных средств перепроектирования, которые могут быть использованы как автономно, так и встроены в архитектуру кремниевого компилятора (КК) для увеличения его эффективности. Дело в том, что КК по разным причинам генерирует неприемлемые топологии. Это особенно характерно для КК, работающих с функциональными описаний.

УДК 681.325

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОПТИКО-  
ЭЛЕКТРОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ФИЗИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ СРЕД.**

*Афанасьев А.А., Писарик В.В., Гоголинский В.Ф., Марков  
А.П.*

*Могилевский Машиностроительный Институт*

Одним из важнейших узлов ОЭП является оптическая система, основное назначение которой заключается в формировании потоков излучения, содержащих информацию о контролируемом объекте. Для обеспечения нормального функционирования ОЭП необходимо выполнить энергетические соотношения между параметрами фотоприёмника, с одной стороны, и параметрами (структурой) оптических элементов, формирующих поток излучения, оптическими свойствами объекта контроля и окружающей среды, с другой стороны.

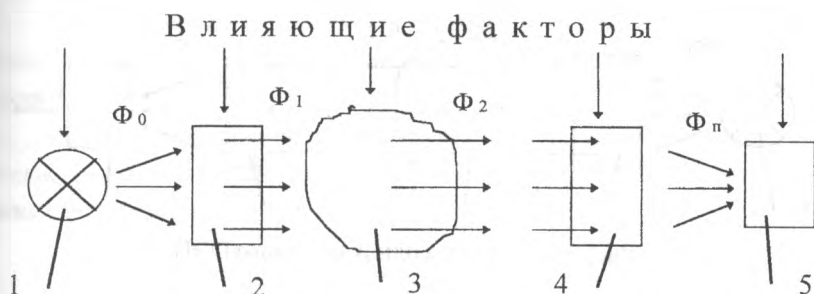


Рисунок 1 - Обобщенная модель ОЭП

Обобщенная модель ОЭП представлена на рисунке 1.

Поток излучения  $\Phi_0$ , генерируемый источником 1, формируется передающей оптической системой 2 с целью получения требуемых для нормальной работы ОЭП энергетических, геометрических и спектральных характеристик потока  $\Phi_1$ , непосредственно взаимодействующего с объектом контроля 3. Контролируемые параметры объекта воздействуют на поток  $\Phi_1$  и результирующий поток  $\Phi_2$ , собранный приемной оптической системой 4 и направляемый на светочувствительный слой фотоприемника 5 в виде потока  $\Phi_n$ .

На все структурные элементы ОЭП воздействуют влияющие факторы, к которым относятся: температура, влажность, посторонние потоки излучения, изменения коэффициентов пропускания оптических элементов в следствие старения и загрязнения, нестабильность напряжений, питающих источник излучения и фотоприемник, оптические свойства среды, окружающие объект контроля и через которую распространяются потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Величины и характер воздействия влияющих факторов в общем случае случайны и для их минимизации следует проводить тщательный анализ и оптимизацию структуры ОЭП. Рассмотрим структурные схемы ОЭП и их математические модели.

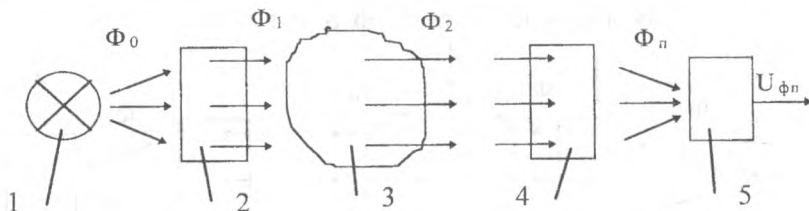


Рисунок 2 - Схема одноканального ОЭП

Поток  $\Phi_0$  от источника 1 формируется передающей оптической системой 2 и в виде потока  $\Phi_1$  подводится к объекту контроля 3, после взаимодействия с которым преобразуется в поток  $\Phi_2$ , формируемый затем приемной оптической системой 4 в поток  $\Phi_n$ , падающий на фотоприемник 5. На выходе фотоприемника генерируется электрический сигнал  $U_{фп}$ , являющийся функцией многих переменных:

$$U_{фп} = I_{п} \cdot K_{пр} \cdot \tau_1 \cdot \tau_{п1} \cdot \tau_{ос} \cdot \tau_{ок} \cdot \tau_2 \cdot \tau_{п2} \cdot S_{фп}, (1)$$

где

$I_{п}$  - прямой ток, протекающий через источник излучения;

$K_{пр}$  - коэффициент преобразования электрического тока в поток излучения;

$\tau_1, \tau_2$  - коэффициенты пропускания передающей и приемной оптических систем;

$\tau_{п1}, \tau_{п2}$  - коэффициенты пропускания оптических поверхностей передающей и приемной оптических систем, контактирующих с окружающей средой.

$\tau_{ос}$  - коэффициент пропускания окружающей среды;

$\tau_{ок}$  - коэффициент пропускания объекта контроля;

$S_{фп}$  - спектральная характеристика фотоприемника.

Информативным параметром в выражении (1) является величина  $\tau_{ок}$ , которая изменяется при изменении физических параметров объекта контроля.

Можно предположить, что параметры  $\tau_1$  и  $\tau_2$ , характеризующие оптические свойства передающей и приемной системы, остаются практически неизменными и тогда

$$U_{фп} = f(I_{п}, K_{пр}, \tau_{п1}, \tau_{ос}, \tau_{ок}, \tau_{п2}, S_{фп}). \quad (2)$$

В частном случае, когда объект контроля жидкость или газообразная среда, заполняющие пространство между передающей и приемной оптическими системами, параметр  $\tau_{ос}$  в выражении (2) можно исключить:

$$U_{фп} = f(I_{п}, K_{пр}, \tau_{п1}, \tau_{ок}, \tau_{п2}, S_{фп}). \quad (3)$$

Величины  $I_{п}$  и  $K_{пр}$  зависят от типа используемого источника излучения и величины питающего напряжения и непосредственно влияют на параметр  $\Phi_0$ . Следовательно, чтобы поток  $\Phi_0$  оставался постоянным, необходимо стабилизировать напряжение источника питания (при неизменном внутреннем сопротивлении источника излучения). Если внутреннее сопротивление источника излучения изменяется, например, под воздействием температуры, то будет изменяться и поток  $\Phi_0$ . Состояние оптических поверхностей зависит от окружающей среды (условий эксплуатации) и от объекта контроля. Для лабораторных условий при контроле объектов, не контактирующих с оптическими элементами 2 и 4, можно предположить параметры  $\tau_{п1}$  и  $\tau_{п2}$  неизменными.

Существенно уменьшить воздействие влияющих факторов на параметр  $U_{фп}$  можно путем периодического размещения в измерительном канале ОЭП эталона (объекта с известным и неизменным параметром  $\tau_3$ ) вместо контролируемого объекта (рисунок 3).

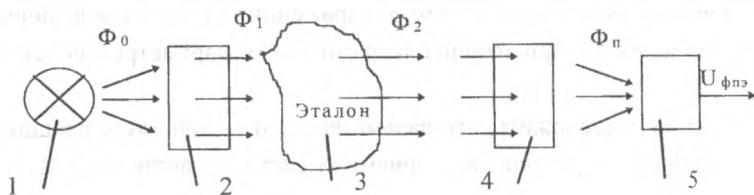


Рисунок 3 - Схема одноканального ОЭП с эталоном в измерительном канале

Выходной сигнал фотоприемника в таком ОЭП будет равен:

$$U_{\text{фпэ}} = I_{\text{п}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot \tau_1 \cdot \tau_{\text{п1}} \cdot \tau_{\text{ос}} \cdot \tau_3 \cdot \tau_2 \cdot \tau_{\text{п2}} \cdot S_{\text{фп}}, \quad (4)$$

где  $\tau_3$  - коэффициент пропускания эталона.

Сигнал  $U_{\text{фпэ}}$  следует зафиксировать после преобразования его в двоичный код или частотный сигнал, например, в оперативном запоминающем устройстве. После этого то же следует проделать с контролируемым объектом и найти отношение величин  $U_{\text{фп}}$  и  $U_{\text{фпэ}}$ :

$$\frac{U_{\text{фп}}}{U_{\text{фпэ}}} = \frac{I_{\text{п}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot \tau_1 \cdot \tau_{\text{п1}} \cdot \tau_{\text{ос}} \cdot \tau_{\text{ок}} \cdot \tau_2 \cdot \tau_{\text{п2}} \cdot S_{\text{фп}}}{I_{\text{п}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot \tau_1 \cdot \tau_{\text{п1}} \cdot \tau_{\text{ос}} \cdot \tau_3 \cdot \tau_2 \cdot \tau_{\text{п2}} \cdot S_{\text{фп}}} \quad (5)$$

Большинство влияющих факторов, воздействующих на ОЭП, являются медленно меняющимися и если в процессе измерения интервал времени между формированиями сигналов  $U_{\text{фп}}$  и  $U_{\text{фпэ}}$  будет незначителен, то выражение (5) можно преобразовать к виду:

$$\frac{U_{\text{фп}}}{U_{\text{фпэ}}} = \frac{\tau_{\text{ок}}}{\tau_3} = k \cdot \tau_{\text{ок}} \quad (6)$$

Величина  $k = \frac{1}{\tau_3}$  - постоянная для ОЭП, определяемая только параметрами эталона.

Безразмерная величина  $N = \frac{U_{\text{фп}}}{U_{\text{фпэ}}} = k \cdot \tau_{\text{ок}}$  является функцией

контролируемого параметра:

$$N = f(\tau_{\text{ок}}). \quad (7)$$

Используя соответствующие масштабные коэффициенты, можно построить требуемую градуировочную характеристику.

Полученные результаты исследования математических моделей ОЭП показывают, что при конструировании приборов оптического контроля физико-технических параметров сред предпочтение следует отдавать одноканальным ОЭП с эталоном в измерительном канале, так как они обеспечивают наибольшую точность в сочетании с простой структурой, присущей одноканальным ОЭП.

## ЭЛЕКТРОННО-УПРАВЛЯЕМЫЕ СОСТАВНЫЕ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

*М.М.Карпук, Ю.А.Кузавко, Б.Н.Склипус*

*Брестский политехнический институт*

Электромеханические преобразователи преобразуют электрическую энергию в механическую и наоборот. На средних частотах (1÷100 МГц) можно пользоваться пьезоэлектрическими преобразователями. Высокая добротность  $Q$  таких преобразователей как механических резонаторов позволяет использовать их в качестве как стабилизаторов частоты электрических сигналов в генераторах, так излучателей и приемников ультразвуковых волн в измерительной технике. Но добротность даже низкодобротной пьезокерамики РКР-1  $Q=60$  оказывается еще достаточно большой для достижения коротких и сверхкоротких импульсов (длительность составляет

$\tau=QT$ , где  $T$  - период акустических колебаний). Следовательно необходимо применять специальные меры для снижения добротности ультразвуковых пьезокерамических преобразователей (УЗП), заключающиеся в механическом и электрическом демпфировании и согласовании с исследуемой средой пьезоэлемента. Низкая добротность  $Q$  УЗП однозначно влечет за собой уменьшение длительности  $\tau$  излучаемого сигнала и соответственно увеличение пространственного разрешения при измерениях. Теоретически известно, что  $\delta$ -функция имеет бесконечный спектр, и следовательно более короткому по длительности сигналу соответствует более широкий частотный спектр. Такие широкополосные ультразвуковые излучатели и приемники находят существенное применение в задачах диагностики и измерительной техники. С другой стороны узкополосные УЗП, например, кварц, являются эталонами частоты и широко используются в различных радио-электронных устройствах.

Здесь мы рассматриваем развитие таких УЗП, существенной особенностью которых является наличие контактирующего с пьезоэлектриком (ПЭ) слоя магнитоакустического материала (МАМ). Под МАМ понимаем вещество, например, гематит  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  или борат железа  $\text{FeBO}_3$ , в которых экспериментально наблюдалась сильная зависимость скоростей объемных продольных (до 10%) и поперечных (до 50%) упругих волн от внешнего магнитного поля  $\dot{H}$ . Теоретические зависимости скорости звука имеют вид [1]:

$$\tilde{S}_t = S_t(1 - \zeta)^{1/2} \quad (1)$$

для поперечного звука и

$$\tilde{S}_l = S_l(1 - t\zeta)^{1/2} \quad (2)$$

для продольного звука. Здесь  $S_t$ ,  $S_l$  и  $\tilde{S}_t$ ,  $\tilde{S}_l$  - соответственно скорость поперечного и продольного звука, не подверженного и подверженного магнитоупругому (МУ) взаимодействию,  $t = S_t^2 / S_l^2$ ,



$$\zeta = \frac{2H_E H_{me}}{2H_E H_{me} + H(H + H_D)} - \text{параметр МУ связи; } H_E, H_D, H_{me} -$$

эффективные внутренние поля обмена, Дзялошинского-Мория и магнито-стрикции.

Приведем также выражения для коэффициента поглощения звука в МАМ [2]

$$\alpha = \alpha_0(1 - a\zeta)^{-1/2} \quad (3)$$

где  $a=1$  и  $a=-1$  - соответственно для поперечного и продольного звука. С учетом затухания акустический импеданс МАМ может быть представлен в виде

$$Z = Z_a - iZ_b \quad (4)$$

где  $Z_a = \rho S \frac{k^2}{k^2 + \alpha^2}$ ,  $Z_b = \rho S \frac{\alpha k}{k^2 + \alpha^2}$ ,  $\rho$  - плотность,  $k$  - волновое

число. В отсутствие затухания  $\alpha=0$  акустический импеданс  $Z = \rho S$ .

Тем самым возникает реальная возможность перестраивать полем акустоэлектронные параметры преобразователя, т.е. резонансную частоту, полосу частот и длительность излучаемого импульса, амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики (АЧХ и ФЧХ), амплитуды излучения и приема.

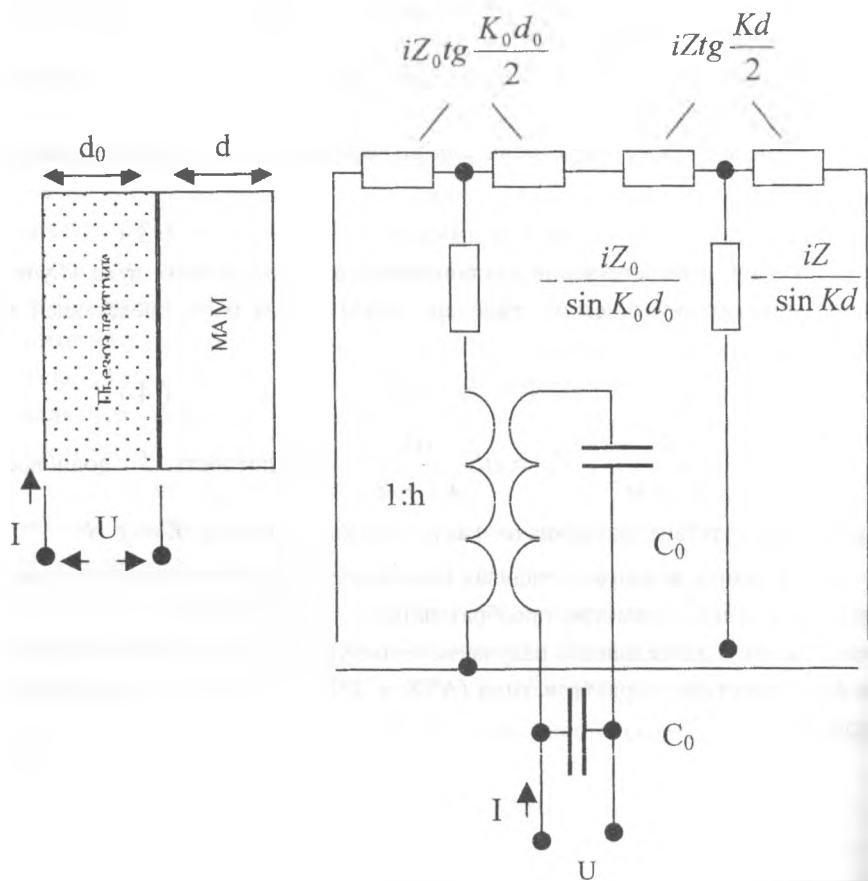


Рис.1. Конструкция УЗП. Его эквивалентная электромеханическая схема.  $h$  – коэффициент трансформации.

Конструкция рассматриваемого УЗП приведена на Рис.1, в котором пьезоэлектрический материал с нанесенными тонкими металлическими

электродами механически контактирует с МАМ. Исходя из эквивалентной электрической схемы такого УЗП, можно рассчитать его электрический импеданс

$$Z_e = \frac{1}{i\omega C_0} \left[ 1 - k^2 \frac{Z_0}{\beta_0} \frac{B + A(\operatorname{tg}\beta_0 - \frac{Z_b}{2Z_a})}{A^2 + B^2} + ik^2 \frac{B - A(\operatorname{tg}\beta_0 - \frac{Z_b}{2Z_a})}{A^2 + B^2} \right], \quad (5)$$

где  $A = Z_a + Z_0 \operatorname{tg}\beta_0 - Z_0 \operatorname{tg}^2 \beta_0 + \frac{2Z_0 \operatorname{tg}\beta_0 - Z_b}{\sin^2 \beta_0}$ ,

$$B = Z_a \operatorname{tg}\beta_0 - Z_b + Z_0 - \frac{2Z_0}{\sin^2 \beta_0}, \quad \beta_0 = \frac{k_0 d_0}{2}.$$

Сумма первых двух членов в данном выражении обращается в ноль при электрическом резонансе (излучение), в то время как третий член определяет вносимое поглощение в системе под действием нагрузки и определяет конечную амплитуду резонансной кривой. Отметим, что частота  $\omega_1$  электрического резонанса всегда ниже частоты  $\omega_0$  механического резонанса (прием) и их разность  $\omega_0 - \omega_1$  тем больше, чем выше значение константы электромеханической связи  $k$ .

Расчет механического резонанса выполняется следующим образом. Амплитуда упругих колебаний в такой слоистой структуре при приложении на электроды напряжения  $U = U_0 e^{i\omega x}$  находится, исходя из уравнений теории упругости и электродинамики с учетом механических и электрических граничных условий.

Амплитудно-частотная характеристика УЗП запишется тогда следующим образом:

$$U_0 = \frac{\gamma U_0}{2\alpha d_0 Z_0} \frac{\left[ 2(1 - \cos \beta_0) - 2 \frac{Z}{Z_0} \sin \beta_0 \operatorname{tg} \beta + \frac{Z^2}{Z_0^2} \operatorname{tg}^2 \beta \right]^{1/2}}{\sin \beta_0 + \frac{Z}{Z_0} \cos \beta_0 \operatorname{tg} \beta} \quad (6)$$

Здесь  $U_0$  - амплитуда колебаний в МАМ.  $\gamma$  - константа пьезоэффекта, затухание в МАМ не учтено. При учете затухания необходимо в (6) сделать формальные замены:

$$Z \rightarrow Z_a - iZ_b, \quad \beta \rightarrow kd(1 + i\alpha).$$

Так как  $\beta = \frac{\omega d}{S} = \frac{S_0}{S} \frac{d}{d_0} \frac{\omega d_0}{S_0} = \frac{S_0}{S} \frac{d}{d_0} \beta_0$  и  $S = S(\vec{H})$ , то всегда

можно достичь значения  $\beta = \beta_0$ . При  $\beta_0 = \pi/2$  достигается первый механический резонанс, если не учитывались потери в преобразователе. Рассмотренный УЗП может служить для возбуждения и приема как продольных, так и поперечных волн, но при этом в выражениях (5) и (6) необходима подстановка соответствующих материальных констант для продольных и поперечных волн.

Численные расчеты АЧХ и ФЧХ выполнялись нами для следующих слоистых структур: гематит с ниобатом лития, керамикой РКР-1 и кварцем при изменении магнитного поля от 2000Э до 50Э. В таких структурах перестройка резонансной частоты преобразователя может достигать 30% и 100% соответственно для генерации продольных и поперечных волн, а при определенных соотношениях толщины ПЭ и МАМ первые два УЗП способны эффективно функционировать на нескольких рабочих частотах при достаточной широкополосности принимаемых сигналов, которая может быть дополнительно увеличена с использованием демпфирующих и четвертьволновых согласующих с исследуемым объектом слоев. Так как кварц является материалом с рекордно высокой добротностью  $Q > 10^5$ , что обусловило его применение в генераторах для стабилизации частоты, то треть

устройство способно выполнять перестраиваемую полем стабилизацию частоты сигналов в радиоэлектронных устройствах без заметного ухудшения их добротности.

На Рис. 2 представлены АЧХ составного УЗП при различных значениях внешнего магнитного поля. Откуда видны вышеоговоренные особенности поведения УЗП и возможности его функционирования на нескольких рабочих частотах. Сделаем вывод, что слоистые структуры с МАМ, содержащие низкодобротные пьезоэлектрики, удобные в качестве широкополосных излучателей и приемников звука, в которых с помощью внешнего магнитного поля выбирается требуемый частотный диапазон при излучении и приеме. С другой стороны аналогичные структуры, содержащие высокодобротные пьезоэлектрики, весьма перспективны в качестве перестраиваемых стабилизаторов частоты в радиоэлектронных устройствах. Существующий технологический разброс в параметрах кварцевых устройств может быть устранен вследствие использования таких подстроечных магнитоакустических слоев.

1. Е.А.Туров, В.Г.Шавров. Наружная симметрия и магнитоакустические эффекты в ферро- и антиферромагнетиках // УФН. 1983, Т.140. №3. С.429-462
2. Yu. Kuzavko, H. Roth, V. Golovko. Ultrasound controlled piezoceramical transducers for medical diagnostic tomography // Proceedings of Workshop on Design Methodologies for Signal Processing. Zakopane. Poland. 1996. P.131-135.

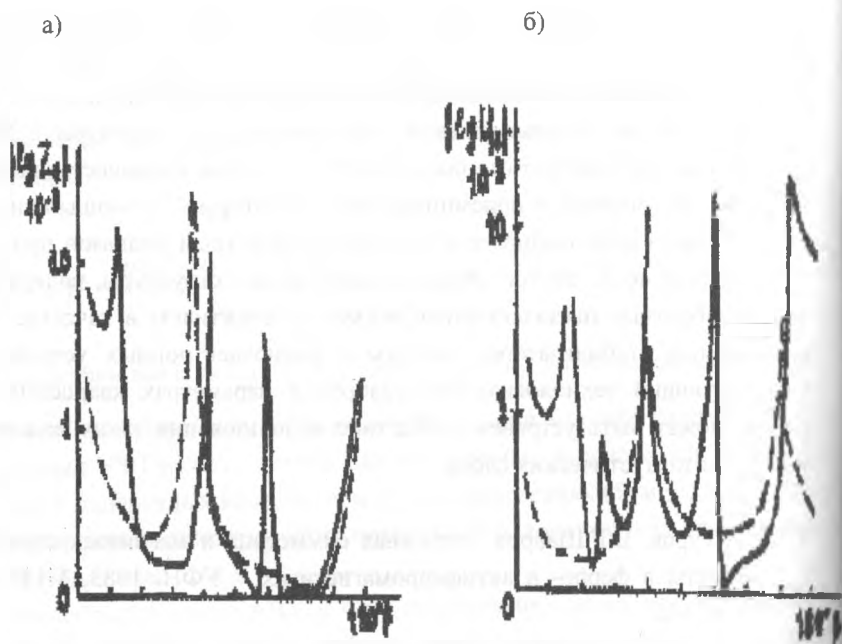


Рис. 2. АЧХ составного УЗП:  
а) при излучении; б) при приеме  
(---  $H=2000 \text{ Э}$ , -  $H=50 \text{ Э}$ )

## НОРМАЛЬНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ С МАГНИТО- АКУСТИЧЕСКИМ СЛОЕМ

*Карпук М.М., Кузавко Ю.А., Склипус Б.Н.*

*Брестский политехнический институт*

При распространении упругих волн (УВ) через пластинку, зажатую между двумя твердыми полупространствами, в зависимости от соотношения упругих констант материалов, составляющих такую слоистую структуру, и фазовой толщины пластинки  $\varphi = Kd$  ( $K = 2\pi/\lambda$  - волновое число,  $\lambda$  - длина волны,  $d$  - толщина пластинки), возникают интересные особенности для отраженных и прошедших волн [1]. В частности, при определенных соотношениях вышеуказанных параметров может возникать полное отражение звуковых колебаний, т.е. такая пластинка становится звукоизоляционной.

В данной работе рассматривается нормальное падение продольной и поперечной УВ на слой магнитоакустического материала (МАМ), которым, например, является легкоплоскостной ферромагнетик гематит  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , находящийся в области ориентационного фазового перехода  $\bar{H}_0$ , приложенному в базисной плоскости кристалла  $xu$  [2].

На рисунке показаны направления возникающих отраженных и прошедших волн, а также колебания в слое. Для МАМ слоя скорости поперечных и продольных волн запишутся:

$$\tilde{S}_i = S_i (1 - \zeta \cos^2 2\alpha)^{1/2}, \quad (7)$$

$$\tilde{S}_l = S_l(1 - t\zeta \sin^2 2\alpha)^{1/2}, \quad (8)$$

где  $S_l = (\mu/\rho)^{1/2}$  и  $S_l = [(\lambda + 2\mu)/\rho]^{1/2}$  - скорости неподверженного магнитоупругому (МУ) взаимодействию звука,  $t = S_l^2/S_l^2$ ,  $\rho$  - плотность,  $\lambda$  и  $\mu$  - коэффициенты Ламэ,  $\alpha$  - угол между нормалью к пластинке и внешним магнитным полем  $H_0$ ,  $\zeta = \omega_{me}^2 / \omega_{1S}^2$  - параметр МУ связи,  $\omega_{me}^2 = g^2 \cdot 2H_E H_{me}$  - МУ щель в спектре спиновых волн,  $\omega_{1S}^2 = \theta_N^2 (aK)^2 + g^2 [H_0(H_0 + H_D) + 2H_E H_{me}]$  - закон дисперсии нижней ветви спиновых волн,  $\theta_N$  - приведенная температура Нееля,  $a$  - параметр кристаллической решетки,  $H_E$ ,  $H_D$ ,  $H_{ml}$  - эффективные поля обмена, Дзялошинского-Мория, магнитострикции.



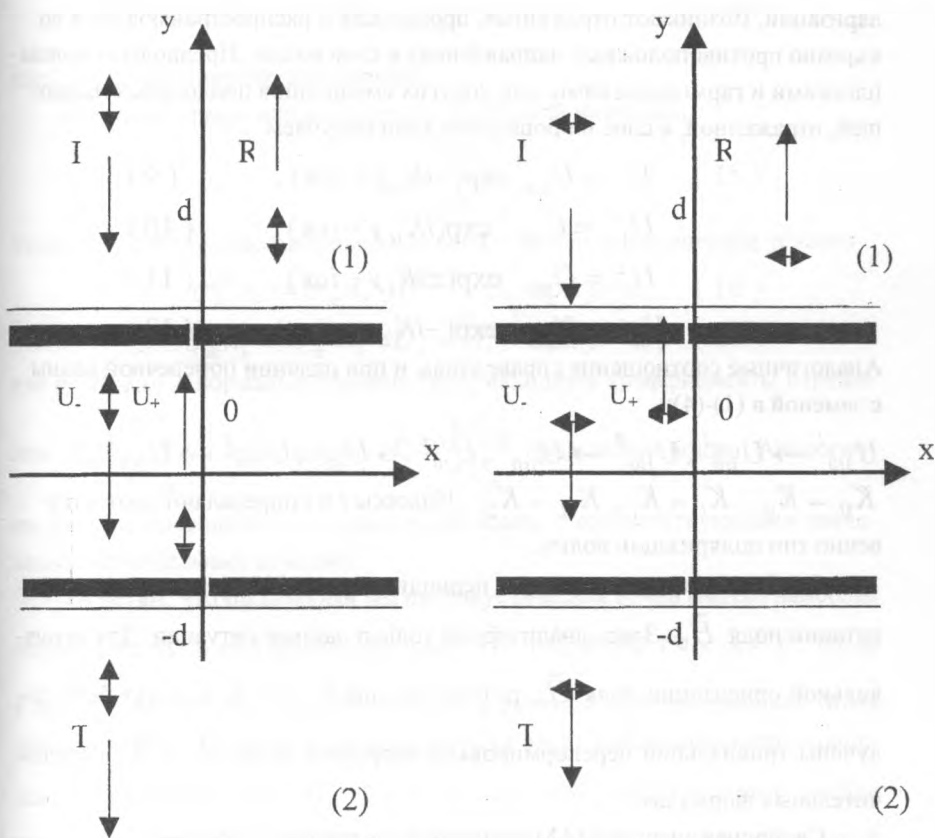


Рис. Нормальное распространение продольных (а) и поперечных (б) акустических волн в слоистой структуре.

При нормальном падении упругой волны не происходит изменения ее поляризации. Возникают отраженная, прошедшая и распространяющиеся во взаимно противоположных направлениях в слое волны. Предполагая волны плоскими и гармоническими, для упругих смещений в продольных падающей, отраженной, в слое и прошедшей волн получаем

$$U_1^I = U_{110}^I \exp(-iK_{1l}y - i\omega t), \quad (9)$$

$$U_1^R = U_{110}^R \exp(iK_{1l}y - i\omega t), \quad (10)$$

$$U_{10}^\pm = U_{110}^\pm \exp(\pm iK_{1l}y - i\omega t), \quad (11)$$

$$U_2^T = U_{110}^T \exp(-iK_{2l}y - i\omega t). \quad (12)$$

Аналогичные соотношения справедливы и при падении поперечной волны с заменой в (1)-(4):

$$U_{110}^I \rightarrow U_{1t0}^I, U_{110}^R \rightarrow U_{1t0}^R, U_{10}^\pm \rightarrow U_{1t0}^\pm, U_{210}^T \rightarrow U_{2t0}^T,$$

$K_{1l} \rightarrow K_{1t}, K_l \rightarrow K_t, K_{2l} \rightarrow K_{2t}$ . Индексы  $l$  и  $t$  определяют соответственно тип поляризации волны.

Особенности проявляются с периодичностью  $90^\circ$  при изменении ориентации поля  $\vec{H}_0$ . Здесь анализируем только данные ситуации. Для произвольной ориентации поля  $\vec{H}_0$  результаты для  $R_l, T_l$  и  $R_t, T_t$  могут быть получены тривиальной перенормировкой скоростей звука  $\vec{S}_l$  и  $\vec{S}_t$  в заключительных формулах.

Свободная энергия МАМ запишется следующим образом [2]:

$$F_y = \frac{1}{2} \lambda U_{ii}^2 + \mu U_{ik}^2 - 2\mu\xi U_{xy}^2 \quad (13)$$

Для материалов 1 и 2 слоистой структуры справедливо выражение (7) без третьего слагаемого с собственными материальными константами. Из формулы (7) рассчитываются упругие напряжения:

$$\sigma_{ik} = \frac{\partial F_y}{\partial U_{ik}}, \quad (14)$$

где  $U_{ik}$  - тензор упругих деформаций.

Волновое уравнение для упругих колебаний имеет вид:

$$\rho \ddot{U}_i = \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial x_k} \quad (15)$$

Решая его для трех рассматриваемых сред и используя граничные условия

$$\sigma_{ik}^{(1)} n_k = \sigma_{ik} n_k, U_i^{(1)} = U_i \text{ при } y=d, \quad (16)$$

$$\sigma_{ik} n_k = \sigma_{ik}^{(2)} n_k, U_i = U_i^{(2)} \text{ при } y=-d, \quad (17)$$

где  $n_k=(0;1;0)$  – нормаль к границе сред, находятся коэффициенты отраже-

ния  $R_l = \frac{U_{110}^R}{U_{110}^I}$  и прохождения  $T_l = \frac{U_{210}^T}{U_{110}^I}$  продольной волны. Аналогич-

но расчеты проводятся для поперечной волны с соответствующими значениями материальных констант.

Отметим, что продольная магнитоакустическая волна (МАВ) наиболее подвержена МУВ при ориентации поля  $\vec{H}_0$  под углом  $45^\circ$  к оси  $\vec{y}$ . Тогда в выражении (2)  $\sin^2 2\alpha$  обращается в единицу. Для поперечных МАВ максимальный эффект изменения скорости звука наблюдается при совпадении ориентации поля  $\vec{H}_0$  и оси  $\vec{y}$ . При этом вышеуказанные коэффициенты отражения  $R_l$  и прохождения  $T_l$  продольной волны в такой слоистой структуре получаем:

$$R_l = \frac{(z_{1l} - z_{2l})\tilde{z}_l + itg2\Psi_l(z_{1l}z_{2l} - \tilde{z}_l^2)}{(z_{1l} + z_{2l})\tilde{z}_l + itg2\Psi_l(z_{1l}z_{2l} + \tilde{z}_l^2)}, \quad (18)$$

$$T_l = -\frac{2z_{1l}\tilde{z}_l e^{-i\Psi_{2l}}}{\cos 2\Psi_l(z_{1l} + z_{2l})\tilde{z}_l + i \sin 2\Psi_l(z_{1l}z_{2l} + \tilde{z}_l^2)}, \quad (19)$$

## 8. Современные проблемы электроники и автоматики

где  $z_{\dots} = \rho_{\dots} \cdot S_{\dots}$  - акустический импеданс,  $2\Psi_l = 2K_l d$  - фазовая толщина пластинки.

Для коэффициентов отражения  $R_l$  и прохождения  $T_l$  поперечной волны справедливы соотношения (12) и (13) с заменой  $z_{1l}, z_l, z_{2l} \rightarrow z_{1l}, z_l, z_{2l}$  и  $\Psi_l \rightarrow \Psi_l = K_l d$ . Отметим, что коэффициенты  $R$  и  $T$  согласно (12), (13) являются комплексными:  $R = |R| e^{i\varphi_R}$  и  $T = |T| e^{i\varphi_T}$ , где модули  $R$  и  $T$  определяют амплитудно-частотные характеристики при отражении и прохождении, а фазы  $\varphi_R$  и  $\varphi_T$  - фазо-частотные характеристики.

Если в (12), (13)  $\Psi_l$  соответственно равны  $\pi/4$  или  $\pi/2$ , то о слое МАМ можно говорить как о четвертьволновой или полуволновой пластинке. Тогда из (12), (13) получим:

$$R_l(2\Psi_l = \pi/2) = \frac{z_{1l}z_{2l} - \tilde{z}_l^2}{z_{1l}z_{2l} + \tilde{z}_l^2}, \quad (12')$$

$$|T_l|(2\Psi_l = \pi/2) = \frac{2z_{1l}\tilde{z}_l}{z_{1l}z_{2l} + \tilde{z}_l^2}, \quad (13')$$

$$R_l(2\Psi_l = \pi) = \frac{z_{1l} - z_{2l}}{z_{1l} + z_{2l}}, \quad (12'')$$

$$T_l(2\Psi_l = \pi) = -\frac{2z_{1l}}{z_{1l} + z_{2l}}, \quad (13'')$$

Откуда видно, что для четвертьволновой пластинки с импедансом  $z_l = \sqrt{z_{1l}z_{2l}}$  полностью отсутствует отражение и получается полное прохождение звука через нее, а для полуволновой пластинки отражение и прохождение волны идентично случаю прохождению ею границы двух сред (влияние пластинки согласно 12', 12'' полностью отсутствует). Так как в соотношениях (10), (11) акустический импеданс  $\tilde{z}$  зависит в конечном итоге от внешнего магнитного поля, то такие пластинки становятся управляемыми с помощью поля интенсивностью отраженных либо прошедших

волн и могут использоваться в функциональных устройствах твердотельной акустоэлектроники.

## Литература

1. Л.Ф.Лепендин. Акустика/ М.: Высшая школа. 1978. с.448.
2. Ю.А.Кузавко, В.Г.Шавров. Отражение магнитоакустических волн в окрестности спиновой переориентации// Акустический журнал. 1993. Т.39. №6. С.1088-1092.

УДК 681.325

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСТРОВОГО СОПРЯЖЕНИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ДАТЧИКА ДЛЯ КОММУТАЦИИ БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

*Бусел Н.П.*

*Могилевский машиностроительный институт*

При формировании квадратурных гармонических сигналов в оптоэлектронных датчиках для коммутации бесколлекторных электродвигателей воспользуемся растровым сопряжением из модулятора с радиальными штрихами и неподвижной маски со считывающим окном ступенчатой формы, обеспечивающем кусочно-линейную аппроксимацию задаваемой гармонической функции. Для оптимизации конструктивных параметров такого растрового сопряжения примем за основу число периодов  $p$  формируемого гармонического сигнала и ширину  $b$  площадки фотоприемника, после чего обратимся к геометрической интерпретации задачи, представленной на рисунке 1.

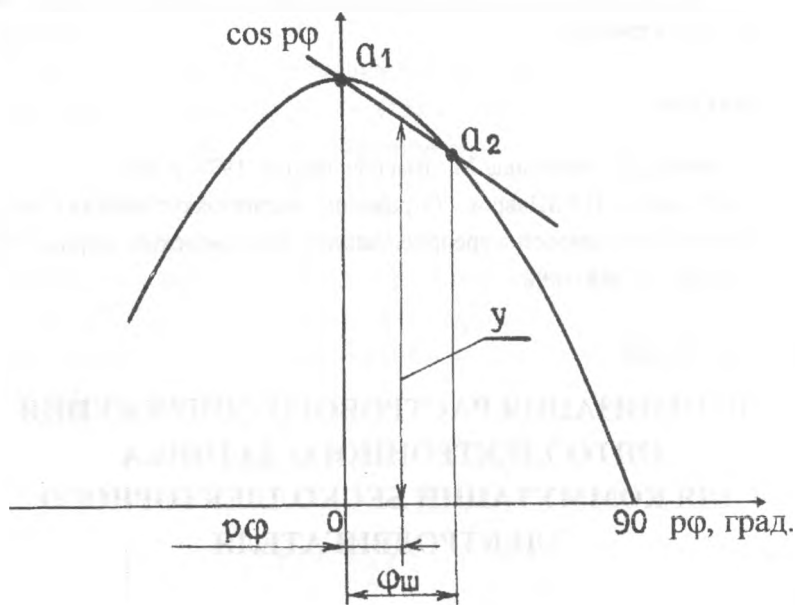


Рисунок 1.

Для начала введем в рассмотрение угловую ширину  $\varphi_{ш}$  площадки фотоприемника на делительной окружности ( на радиусе установки )

$$\varphi_{ш} = p \frac{b}{2\pi R} 360^\circ, \quad (1.1)$$

где  $R$ -радиус установки фотоприемника.

После этого определим координаты точек  $a_1$  и  $a_2$  пересечения аппроксимирующей прямой с исходной функцией и запишем уравнение для ординаты  $y$  этой прямой в пределах рассматриваемого шага

$$y = 1 - \frac{1 - \cos \varphi_{ш}}{\varphi_{ш}} p \varphi. \quad (1.2)$$

Далее рассмотрим величину относительной погрешности аппроксимации

$$\delta = \frac{\cos p\varphi - y}{\cos p\varphi} = 1 - \frac{y}{\cos p\varphi}. \quad (1.3)$$

С учетом (1.2) относительную погрешность  $\delta$  (1.3) перепишем в виде :

$$\delta = 1 - \frac{1}{\cos p\varphi} + \frac{1 - \cos\varphi_{III}}{\varphi_{III} \cos p\varphi} p\varphi, \quad (1.4)$$

где  $\varphi$  - угол поворота моделирующего элемента.

В первом приближении можно считать , что максимальная погрешность аппроксимации имеет место в середине шага при  $p\varphi = \varphi_{III}/2$  .Тогда из (1.4) при  $p\varphi = \varphi_{III}/2$  получим :

$$\delta_{\max} \approx 1 - \frac{1}{\cos\varphi_{III}/2} + \frac{1 - \cos\varphi_{III}}{2\cos\varphi_{III}/2}.$$

Для удобства на рисунке 2 представлена максимальная погрешность аппроксимации  $\delta_{\max}$  в зависимости от угловой ширины  $\varphi_{III}$  площадки фотоприемника ,выраженной в градусах.

В частности оказывается ,что при  $\varphi_{III} \leq 14^\circ$  погрешность аппроксимации не превышает 1 % , что приемлемо для датчиков коммутации бесколлекторных электродвигателей . С другой стороны , при размерах площадки фотоприемника  $1,5 \times 1,5$  мм из (1.1) находим :

$$R = p \frac{b \cdot 360}{2\pi\varphi_{III}} = p \frac{1.5 \cdot 360}{2\pi \cdot 14} = 6.14 \text{ p мм.}$$

В действительности радиус установки фотоприемника малогабаритных датчиков может составлять 8-25 мм /1/, что указывает на пренебрежимо малую погрешность аппроксимации для дорожек с четырьмя периодами оборот вала ( $p = 4$ ). При увеличении числа периодов ( $p \geq 8$ ) высокая точность аппроксимации при условии сохранения радиуса установки фотоприемника в пределах 25 мм возможна при некотором сужении угловой

ширины площадки фотоприемника за счет его диафрагмирования в соответствии с условием (1.1) /2/.

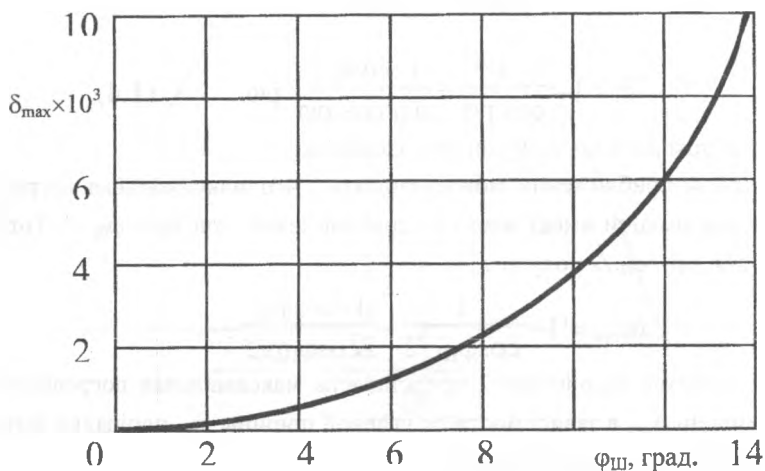


Рисунок 2.

## Литература

1. Домрачев В.Г., Мейко Б.С. Цифровые преобразователи угла: Принципы построения, теория точности, методы контроля. -М.: Энергоиздат, 1984-328 с.
2. Оптоэлектронный измеритель углового рассогласования для следящих систем и электроприводов / Бусел Н.П., Печников И.Н., Лосев Л.Д. Ав-



томатизированный электропривод промышленных установок:  
Тез. докл. - Минск, 1994. с. 55.

УДК 53.082.32:681.7

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАЗМЕРНОГО КОНТРОЛЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

*Гоголинский В.Ф., Афанасьев А.А., Писарик В.В.*

*Могилевский машиностроительный институт*

Совершенствование существующих и создание новых технологий и оборудования неразрывно связано с совершенствованием методов и средств оценки состояния наиболее ответственных деталей и узлов. В машиностроении важное значение имеет контроль линейных размеров изделий как при изготовлении, так и в процессе ремонта и эксплуатации, который составляет около 80% от общего числа контролируемых операций, выполняемых в данной отрасли.

Значительное место среди автоматических средств размерного контроля занимают бесконтактные пневматические приборы благодаря таким достоинствам, как высокая точность, чувствительность, бесконтактность измерений и др. /1/

Пневматические измерительные приборы в настоящее время применяются главным образом для высокоточных бесконтактных измерений и автоматизации контроля размеров в подшипниковой, авиационной и тракторной промышленности. Однако, невысокое быстродействие ( $t_y = 0,8 \dots 1,0$  с) и небольшой диапазон измерений (до 0,2 мм) типовых пневматических приборов накладывают определенные ограничения на их применение при технологическом контроле. Кроме того, автоматизация контроля с использованием известных пневматических измерительных приборов

## 8. Современные проблемы электроники и автоматики

сопряжена с рядом трудностей, т.к. выходной сигнал, как правило, представляется в аналоговой форме, что затрудняет реализацию связи между ЭВМ и измерительным устройством.

Существенного улучшения метрологических характеристик пневматических приборов можно достичь, используя в них цепь отрицательной обратной связи.

На кафедре "Электротехника и электроника" разработано устройство автоматического контроля линейных размеров объектов, сочетающее пневматический и оптический принципы преобразования информации [2]. Устройство контроля отличается тем, что в нем наряду с оптико-электронным функциональным преобразованием внесен элемент слежения сигнала первичной информации. Такая структура контрольно-измерительного устройства обеспечивает расширение диапазона измерений линейных размеров при высоком быстродействии, надежности и стабильности.

В результате исследований получены математические модели первичного пневматического и промежуточного оптического измерительных преобразователей, что явилось основой по улучшению метрологических характеристик и оптимизации параметров измерительного устройства.

Для описания пневматической системы автоматического контроля был принят изотермический газодинамический режим. Исследования функционирования пневматических преобразователей показали, что их анализ в изотермическом режиме обеспечивает эффективное преобразование измерительной информации. При этом упрощается методика исследования и ее практическое применение в инженерных расчетах, а отклонение от принятого адиабатического режима составило менее 5% при диаметрах входных дросселей, не превышающих  $0,8 \cdot 10^{-3}$  м.

Передаточная функция первичного бесконтактного пневматического следящего преобразователя (БПСП) представляется формулой:

$$\Phi(P) = \frac{K_0}{T_1^2 P^2 + T_2 P + K_0 + 1},$$

где  $K_0 = \frac{f_3}{d} K_h$  — чувствительность пневматической дифференциальной системы;

$K_h$  — чувствительность пневматической измерительной камеры;

$T_1, T_2$  — постоянные времени, учитывающие, соответственно, величину собственных колебаний и степень демпфирования выходных колебаний.

Анализ теоретических и экспериментальных исследований показал, что время реакций БПСП определяется чувствительностью  $K_h$ , эффективной площадью  $f_3$  упругих элементов и их жесткостью  $d$ , массой подвижной системы. Например, уменьшение жесткости увеличивает чувствительность, что может привести к потере устойчивости и необходимости дополнительного демпфирования. С уменьшением в БПСП объема измерительной камеры и диаметра отверстия входного дросселя расширяется полоса пропускания /3/.

С целью исключения обратного воздействия вторичного измерительного преобразователя на параметры пневматической системы использован оптический преобразователь перемещений, который наиболее полно реализует преимущества пневматического бесконтактного метода. Получена функция преобразования волоконно-оптического преобразователя (ВОП), учитывающая параметры оптической системы и описываемая выражением

$$Y = B_0 \operatorname{tg} \left[ 2 \left( \arcsin \frac{X_0 + \Delta X}{R} - \arcsin \frac{X_0}{R} \right) + \operatorname{arctg} \frac{Y_0}{R} \right] - Y_0,$$

где  $X$  — входное воздействие;

$Y$  — выходное воздействие;

$B_0, R$  — конструктивные параметры;

## 8. Современные проблемы электроники и автоматики

$X_0, Y_0$  — начальные значения.

Разработанное пневмо-оптическое измерительное устройство, построенное на совокупном использовании пневматического и оптоволоконного измерительных преобразователей, обеспечивает быстрдействие и диапазон измерений. Исследования показали, что погрешность от нелинейности БПСП в диапазоне  $1.2 \cdot 10^{-3}$  м не превышает 0.5 %, а по быстрдействию и диапазону измерения он в 10 раз превышает типовые пневматические средства размерного контроля.

Реализация алгоритма обработки измерительной информации с помощью специализированного вычислительного устройства (СВУ) позволяет автоматизировать процесс контроля линейных размеров изделий в производственных условиях и повысить точность и достоверность результатов измерения.

### Литература:

1. Высоцкий А.В. Основные направления развития средств линейных измерений, контроля и управления в машиностроении / Измерительная техника. - 1983-№4-с.35-36.
2. Пневматический способ измерения поперечных размеров движущегося изделия и устройство для его осуществления. А.С. N1453170. Авторы: Гоголинский В.Ф., Потапов А.И., 1989 г.
3. Гоголинский В.Ф., Балабанов И.Н., Кравченко Е.А. Повышение быстрдействия и диапазона измерения бесконтактных пневматических приборов размерного технологического контроля / Материалы международной 52-ой НТК "Технические ВУЗы - Республика". Минск, 1997 г.

УДК 681.325

## **МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ И СВЕТОВОДНАЯ ТЕХНИКА В ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ СРЕД.**

*Марков А.П., Тихонов А.В.*

*Могилевский Машиностроительный Институт*

Использование новых технологий для автоматизации производственных процессов в различных отраслях связано с проблемой получения и преобразования первичной информации о состоянии и свойствах управляемых объектов. Оптимальное управление предполагает функционирование информационных систем в реальном времени, что требует высокого быстродействия, надежности и достоверности как от преобразовательной техники, так и средств обработки информации.

При технологическом контроле газообразных и жидких сред предъявляются повышенные требования к функционированию датчиковой аппаратуры, которая подвергается различным дестабилизирующим воздействиям. Вместе с тем параметры и режимы работы первичных преобразователей не должны исказить информационную картину реально функционирующего объекта.

Оптимизация структуры и состава информационно-диагностических систем предполагает более эффективное применение новейших информационных технологий электронно-вычислительной и преобразовательной техники. Применительно к задачам фотометрического контроля газообразных и жидких сред, как наиболее перспективного оптического вида контроля, оптимальным являются структуры систем с максимальным использованием преимуществ микропроцессорной и оптико-электронной элементной базы. В такой совокупности наиболее рационально реализуется

## 8. Современные проблемы электроники и автоматики

весь информационный процесс от возбуждения и восприятия первичной информации до формирования управляющих воздействий на объект .

Наиболее рациональным является применение микропроцессоров для обработки сигналов в системах контроля использующих многоканальные датчики, либо в случае многопараметрового контроля состояния жидких и газообразных сред с помощью одноканального датчика.

Получение информации о составе ,количестве и распределении дисперсных частиц является одной из основных задач применения волоконно-оптических преобразователей для оценки состояния исследуемой среды .Принцип измерения концентрации частиц в исследуемых средах основан на оценке значения коэффициента пропускания излучения, прошедшего через среду .В коэффициенте пропускания ,учитываются две составляющие определяемые двумя фундаментальными причинами ослабления излучения : молекулярным поглощением химическими компонентами и рассеянием на частицах, содержащихся в среде .

$$T_p = T_{pg} * T_r \quad (1)$$

где  $T_p$  - коэффициент пропускания излучения средой,  
 $T_{pg}$  - коэффициент поглощения излучения молекулами,  
 $T_r$  - коэффициент рассеяния излучения на частицах.

в свою очередь :

$$T_r = \exp(-k * I * N), \quad (2)$$

где:

$I$  - толщина просвечиваемого слоя,  
 $N$  - количество частиц в единице объема,  
 $k$  - коэффициент ослабления.

Однако, закономерности рассеяния света на частицах, меньших длины волны излучения, равных длине волны и больших длины волны излучения, различны.

Важную роль при анализе процессов рассеяния и поглощения излучения в средах имеет учет физических параметров исследуемой среды (тем-

пература ,давление и т.д.) .Например при измерении концентрации взвешенных частиц в газах ,на результат измерения при фиксированной толщине просвечиваемого слоя ,существенное влияние оказывает температура и давление ионизированного газа .

Большое внимание при выборе длины волны зондирующего сигнала следует уделять химическому составу исследуемой среды, так как в ней могут оказаться вещества с различными спектрами поглощения излучения. Например ,спектр поглощения гидравлических и моторных масел существенно меняется при добавлении различных присадок к этим маслам.

Следует учитывать и тот факт ,что экспоненциальный характер кривой коэф. пропускания существенно снижает точность измерения параметров на краях диапазона .Для решения краевых задач требуется линеаризация экспоненциальной кривой ,осуществляемая путем применения датчика со ступенчато изменяемым расстоянием от приемного до передающего световодов .

При разработке световодной техники контроля состояния сред в отдельную задачу выделяется борьба с загрязнениями оптических поверхностей волоконно-оптических датчиков вследствие взаимодействия их элементов с контролируемой средой .Решение этой задачи достигается путем разработки таких конструкций волоконно-оптических преобразователей ,которые сводят к минимуму загрязнение оптики ,а также введение в функцию преобразования средств измерения дополнительного параметра учитывающего степень загрязнения элементов датчика .

Тем самым ,для решения поставленных задач необходимо применение микропроцессорных систем .

Устройство создаваемое на базе микропроцессора позволяет осуществить: прием в цифровом виде сигналов от восьми измерительных каналов и их обработку в соответствии с заданным алгоритмом ,хранение промежуточной информации ,управление и коррекцию режимов контроля ,отображение результатов измерений на жидкокристаллическом индикаторе.

## 8. Современные проблемы электроники и автоматики

Система строится на базе однокристалльной микро-ЭВМ типа 80с552, применялась для контроля газообразной среды, содержащей частицы сажи. Обработка сигналов ведется в соответствии с функциями преобразования:

$$N = (1 - q (t+273)/373) * 100\% \quad (3)$$

$$M = - 6.67 * \ln q * (t+273/373) \quad (4)$$

где : N-коэффициент поглощения излучения средой.

M-показатель ослабления излучения средой

q-выходной сигнал первого измерительного канала

t-выходной сигнал второго измерительного канала пропорциональный температуре окружающей среды.

Пределы измерения устройства составляют : по шкале N- 0 - 100%по шкале M- 0 - 10 ;предел основной приведенной погрешности не хуже2%.С помощью микропроцессорной техники обеспечивается высокая эффективность систем контроля при небольших массогабаритных параметрах ,высокое быстродействие и надежность.

УДК 620.179.14

### **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ МАГНИТОГРАФИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Скрябина Г.И., Синица М.А., Синица А.Н.*

*Могилевский машиностроительный институт*

В настоящее время одной из актуальных проблем неразрушающего контроля (НК) является решение задач дефектометрии, т.е. определение параметров дефекта по характеристикам его магнитного поля. Решение



задач дефектометрии позволит подойти к оценке главного параметра контроля - степени опасности дефекта, что даст возможность принять своевременное решение о его устранении.

Широко применяющийся магнитографический метод контроля для изделий из ферромагнитных материалов по полученным в процессе контроля информативным параметрам не позволяет дать однозначную оценку величины дефекта и глубины его залегания. Так например при МГК амплитуда сигнала от дефекта величиной 5% от толщины изделия на глубине залегания, равной менее половины толщины изделия, может быть равна амплитуде сигнала от дефекта величиной 20% на глубине залегания вблизи нижней границы изделия относительно контролируемой поверхности.

В связи с этим представляет интерес разработка методик обработки информативных параметров получаемых в процессе контроля, т.к. в магнитной записи поля дефекта содержится информация о величине и глубине залегания дефекта. Такие методики могут быть созданы только на основе широкого применения ЭВМ методом последовательных приближений к данным экспериментальных исследований. Характеристики магнитографических дефектоскопов могут быть существенно усовершенствованы за счет применения микро-ЭВМ, позволяющих в процессе контроля решать сложные уравнения взаимосвязи между измеряемыми и неизменяемыми характеристиками дефекта, что приведет к повышению точности и достоверности магнитографического контроля.

В качестве датчика, регистрирующего магнитное поле дефекта, предлагается использовать двухслойную магнитную ленту, т.к. она позволяет записать поле одного и того же дефекта в двух параллельных плоскостях и тем самым получить больший объем информации, позволяющий в последствии составить два математических выражения для аналитического описания амплитуд сигналов в функции от величины и глубины залегания дефекта. Были проведены теоретические и экспериментальные исследования магнитостатических полей дефектов и амплитуд сигналов, считываемых с двухслойной магнитной ленты от глубины залегания и величины дефекта.

## 8. Современные проблемы электроники и автоматики

---

В качестве математической модели для расчета амплитуд сигналов была выбрана модель цилиндрического дефекта, залегающего в пластине ограниченных размеров, т.к. эта модель и ее исследование может дать наиболее ценные для практики результаты, поскольку подобные дефекты часто встречаются, а результаты исследований могут быть экстраполированы на дефекты с другой формой поперечного сечения. Учитывая, что магнитная лента регистрирует тангенциальную составляющую, производили расчет  $H_{td}$  для двух точек наблюдения. При считывании записи с ленты индукционной головкой амплитуда сигнала пропорциональна градиенту  $dH_{td}/dx$ , математическое выражение для которого (1) получено на базе дипольной теории [1,2] и метода зеркальных отображений.

Выражение (1) соответствует полю дефекта, считываемого с верхней ленты. Выражение для нижней ленты отличается от (1) количеством отображенных диполей, отсутствием коэффициента  $2\mu/(1+\mu)$  и координатой точки наблюдения.

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial H_{\text{уд}}}{\partial x} = & \frac{2\mu}{1+\mu} \cdot 2x \left[ D_0 \frac{x^2 - 3y^2}{(x^2 + y^2)^3} + D \frac{x^2 - 3 \cdot (y - a^2/2 \cdot l_1)^2}{\left\{x^2 + (y - a^2/2 \cdot l_1)^2\right\}^3} + \right. \\
 & + M \frac{x^2 - 3 \cdot (y + a^2/2 \cdot l_2)^2}{\left\{x^2 + (y + a^2/2 \cdot l_2)^2\right\}^3} + M' \frac{x^2 - 3 \cdot (y + 2 \cdot l_2 - a^2/2 \cdot l_2)^2}{\left\{x^2 + (y + 2 \cdot l_2 - a^2/2 \cdot l_2)^2\right\}^3} + \\
 & + D' \frac{x^2 - 3(y + 2 \cdot l_2 + a^2/2 \cdot l_1)^2}{\left\{x^2 + (y + 2 \cdot l_2 + a^2/2 \cdot l_1)^2\right\}^3} + m_1 \frac{x^2 - 3(y + 2 \cdot l_2)^2}{\left\{x^2 + (y + 2 \cdot l_2)^2\right\}^3} + \\
 & + d' \frac{x^2 - 3 \cdot (y + 2 \cdot l_1 + 2 \cdot l_2 - a^2/2 \cdot l_1)^2}{\left\{x^2 + (y + 2 \cdot l_1 + 2 \cdot l_2 - a^2/2 \cdot l_1)^2\right\}^3} + m_2 \frac{x^2 - 3 \cdot (y + 2 \cdot l_1 + 2 \cdot l_2)^2}{\left\{x^2 + (y + 2 \cdot l_1 + 2 \cdot l_2)^2\right\}^3} + \\
 & \left. + m' \frac{x^2 - 3 \cdot (y + 2 \cdot l_1 + a^2/2 \cdot l_2)^2}{\left\{x^2 + (y + 2 \cdot l_2 + 2 \cdot l_1 + a^2/2 \cdot l_1)^2\right\}^3} \right] \quad (1)
 \end{aligned}$$

где  $D_0, D, M, M', D', m_1, d', m_2$  — диполи, многократно отображенные от границ раздела сред;  $X, Y$  - координаты рабочей точки.

Экспериментальные исследования проводили на образцах, размеры которых соответствуют параметрам дефектов, принятых для теоретических расчетов. Запись магнитного поля дефектов осуществляли на две магнитные ленты типа В-3806, одна из которых укладывалась непосредственно на поверхности изделия, а другая отстояла от поверхности изделия на расстоянии  $\Delta=0,5$  мм, которое являлось оптимальным для исследуемого диапазона размеров дефектов. Считывание магнитной записи с двух лент осуществлялось на магнитографическом дефектоскопе МД-11Г, по шкале ко-

## 8. Современные проблемы электроники и автоматики

того определяли амплитуды сигналов, обусловленные дефектами, с нижней и верхней лент.

По данным экспериментальных исследований были построены графики зависимостей амплитуд сигналов, считанных с нижней и верхней лент от глубины залегания дефектов для различных величин дефектов и графики зависимостей амплитуд сигналов от величин дефектов для различных глубин залегания дефектов, которые сравнивались с графиками аналогичных зависимостей градиентов  $dN_{td}/dx$ , полученных при теоретических исследованиях. Анализ графиков показал, что и теоретические и экспериментальные зависимости аналогичным образом зависят от величины и глубины залегания дефектов, причем характер этих зависимостей для нижней и верхней лент различный.

На основании математического метода аппроксимации полученных экспериментальных результатов элементарными функциями были получены математические выражения для описания амплитуд сигналов от параметров дефектов для нижней и верхней лент, которые в общем виде можно представить следующим образом:

$$A_{1,2}(l;a)=[(c_{01}+c_{11}\ln(a))\exp((c_{21}+c_{31})\ln(a))*l], \quad (2)$$

где  $l$  — глубина залегания дефекта;  $a$  — диаметр дефекта;  $c_{ji}$  — коэффициенты аппроксимации.

Выражение (2) можно представить в виде системы двух уравнений, решение которой с помощью численных методов и методов математического анализа позволяет получить универсальные выражения для расчета величины и глубины залегания дефектов.

Разработана методика и программное обеспечение для расчета параметров дефектов при магнитографическом контроле изделий из ферромагнитных материалов различной толщины с использованием микро-ЭВМ, которая подсоединена к магнитографическому дефектоскопу. Автоматизация контроля позволяет с высокой точностью и достоверностью производить обработку информативных параметров для определения величины и глубины залегания дефектов.

## Литература

1. Щербинин В.Е., Шур М.Л. Учет границ изделия на поле цилиндрического дефекта // Дефектоскопия. — 1976. — № 7. — С. 30-36.
2. Шур М.Л., Щербинин В.Е. Магнитостатическое поле дефекта, расположенного в плоскопараллельной пластине // Дефектоскопия. — 1977. — № 3. — С. 92-96.

УДК 62-50

### **АНАЛИЗ ИМПУЛЬСНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

*Калина В.А., Кузнецов А.П., Батура М.П.*

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники*

Импульсные стабилизаторы постоянного напряжения из-за высоких энергетических показателей, большой надежности и хороших массогабаритных характеристик получили широкое распространение в системах электропитания различных устройств автоматики, электроники, вычислительной техники. Они являются системами автоматического регулирования, в которых имеет место амплитудно-импульсная модуляция (АИМ), частотно-импульсная модуляция (ЧИМ) или широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Такие системы являются существенно нелинейными, анализ и синтез которых до настоящего времени представляет собой сложную задачу. Сейчас наибольшее количество результатов по анализу и синтезу получены для систем с АИМ, в меньшей степени для систем с ЧИМ и ШИМ первого рода, а для систем с ЧИМ и ШИМ второго рода имеется наименьшее количество результатов по их исследованию. В данной работе рас-

считается широтно-импульсный стабилизатор постоянного напряжения, отличающийся по сравнению с остальными стабилизаторами рядом преимуществ.

Рассмотрим методику вывода математической модели импульсного стабилизатора напряжения (ИСН). Структурная схема и временные диаграммы напряжений ИСН с модуляцией заднего фронта импульсов приведены на рис.1 и 2.

На вход ИСН поступает опорное напряжение  $U_0$  и напряжение обратной связи

$$U_{oc}(t) = K_{oc} U_{вых}(t), \quad (1)$$

где  $K_{oc}$  – коэффициент передачи цепи обратной связи по напряжению. пилообразное напряжение  $U_{п}(t)$  поступает на один из входов импульсного

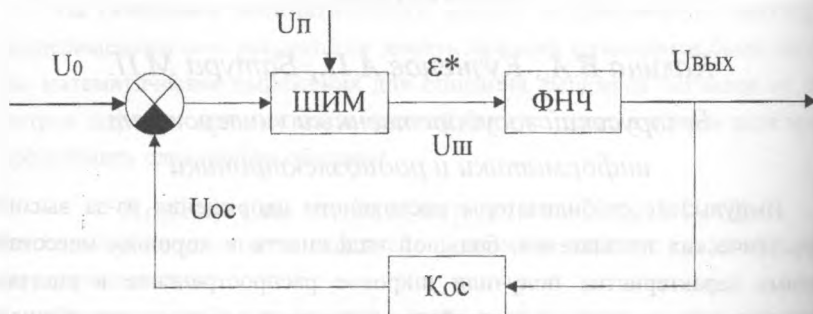


Рис.1 Структурная схема ИСН

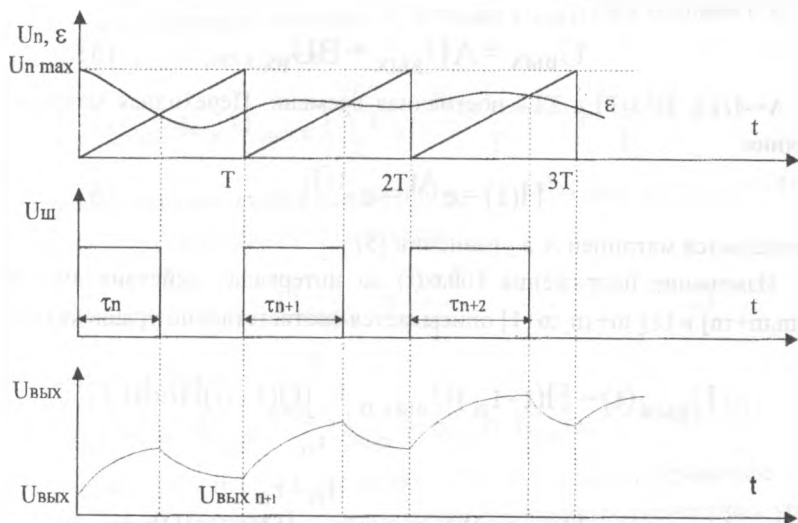


Рис.2 Временные диаграммы ИСН

элемента. Сигнал ошибки  $\varepsilon(t)$ :

$$\varepsilon(t) = U_0 - U_{oc} \quad (2)$$

преобразуется импульсным элементом (ИЭ) в последовательность прямоугольных импульсов  $U_{ш}(t)/U_{из}(t)$ , модулированных по длительности, которые поступают на вход непрерывной линейной части (НЛЧ) системы, представляющей собой фильтр нижних частот с передаточной функцией  $W(p)$ :

$$W(p) = \frac{U_{вых}(p)}{U_{вх}(p)} = \frac{1}{1+T_1 p} \quad (3)$$

Дифференциальное уравнение имеет вид

$$U_{вых}(p)[1+T_1 p] = U_{вх}(p) \quad (4)$$

Уравнение состояния

$$U_{\text{ВЫХ}} = AU_{\text{ВЫХ}} + BU_{\text{ВХ}}, \quad (5)$$

где  $A = -1/T_1$ ,  $B = 1/T_1$ , а  $T_1$  — постоянная времени. Переходная матрица состояния:

$$H(t) = e^{At} = e^{-t/T_1}, \quad (6)$$

определяется матрицей  $A$  в уравнении (5).

Изменение напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}(t)$  на интервалах действия импульсов  $t \in [t_n, t_n + \tau_n]$  и  $t \in [t_n + \tau_n, t_n + 1]$  описывается соответственно уравнениями:

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = H(t - t_n)U_{\text{ВЫХ}n} + \int_{t_n}^t H(t-u)Bhdu, \quad (7)$$

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = H(t - t_n)U_{\text{ВЫХ}n} + \int_{t_n}^{t_n + \tau_n} H(t-u)Bhdu. \quad (8)$$

Полагая в (8)  $t = t_n + 1$ , получим разностное уравнение НЛЧ

$$U_{\%dh(n+1)} = H^{-TT_1} U_{\%dh(n)} + hH^{-(T-\tau_n)/T_1} - hH^{-TT_1}. \quad (9)$$

Разностное уравнение модулятора (уравнение замыкания) в моменты времени определяемыми уравнением  $U_n - \epsilon = 0$  (формирование заднего фронта импульсов):

$$K_{\Pi} t - U_0 + K_{\text{OC}} U_{\text{ВЫХ}} = 0, \quad (9)$$

где  $K_{\Pi}$  — коэффициент наклона пилы,  $K_{\Pi} = U_{n \text{ max}}/T$ .

Подставляя  $U_{\text{ВЫХ}}$  из уравнения (7) при  $t = \tau_n$  и  $t_n = 0$  получается

$$K_{\Pi} \tau_n - U_0 + K_{\text{OC}} e^{-\tau_n/T_1} U_{\text{ВЫХ}n} + K_{\text{OC}} h - K_{\text{OC}} h e^{-\tau_n/T_1} = 0. \quad (10)$$

Нелинейные разностные уравнения (Ошибка! Закладка не определена.), (10) представляют собой динамическую модель ИСН с ШИМ, позволяющую при заданных начальных условиях вычислить переходный процесс в



ИСН, т.е. последовательно находить  $\tau_n$ , а также  $U_{\text{вых}}(t)$ . При условии  $t = \tau_n + \tau_n$  и подставляя (7) в (9) находится

$$\tau_n = (U_0 - K_{\text{ос}} U_{\text{вых } n}) / \left( K_{\text{п}} \frac{K_{\text{ос}} U_{\text{вых } n} + K_{\text{ос}} h}{T_1} \right). \quad (11)$$

Рассматривая установившийся режим при  $\tau_n = \tau_{n+1} = \tau^* = \text{const}$  и  $U_{\text{вых } n} = U_{\text{вых } n+1} = U_{\text{вых}}^* = \text{const}$  из уравнения (12) получим

$$U_{\text{вых}}^* = \frac{h \tau^*}{T}. \quad (12)$$

Из уравнения (10) имеем

$$K_{\text{п}} \tau^* - U_0 + K_{\text{ос}} e^{-\tau^*/T_1} U_{\text{вых}}^* + K_{\text{ос}} h - K_{\text{ос}} h e^{-\tau^*/T_1} = 0. \quad (13)$$

Уравнения (12) и (13) определяют  $\tau^*$  и  $U^*$ , причем уравнение (13) трансцендентное. Производя линеаризацию нелинейных разностных уравнений относительно установившихся значений  $\tau^*$  и  $U^*$  для оценки устойчивости процессов в ИСН, разлагаем разностные уравнения (Ошибка! Закладка не определена.), (10) в ряды Тейлора относительно  $U_{\text{вых}}^*$  и  $\tau^*$ , исключая затем члены, относящиеся к установившемуся режиму, и отбрасывая члены выше первого порядка, получаем систему линейных разностных уравнений вида

$$U_{\text{вых } n+1} = A U_{\text{вых } n}. \quad (14)$$

Здесь  $U_{\text{вых } n} = \text{colon}(\Delta U_{\text{вых } 1 n}, \Delta U_{\text{вых } 2 n}, \dots, \Delta U_{\text{вых } m n})$ ,  $A = (a_{ij})$  - квадратная матрица. Асимптотическая устойчивость решения системы уравнений (14) определяется характеристическими числами  $\lambda_i$  матрицы  $A$ , удовлетворяющими уравнению

$$\det(A - \lambda E) = 0, \quad (15)$$

где  $E$  - единичная матрица. Если все характеристические числа  $\lambda_i$  лежат внутри круга единичного радиуса, то исследуемый процесс асимптотиче-

ски устойчив. Проводя исследование устойчивости процесса, область устойчивости будет определяться неравенством вида

$$(2T_1/T) - 1 > K_{ш} K_{ос}. \quad (16)$$

Использование данной методики позволяет производить моделирование переходного процесса и строить области устойчивости ИСН.

## Литература

1. Кузнецов А.П., Батура М.П., Шилин Л.Ю. Анализ и параметрический синтез импульсных систем с фазовым управлением. -Мн: Наука и техника, 1993.
2. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. - М.:Наука, 1988.

## МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ КАБИНЕТА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

*Козак А.Ф., Суслов В.А.*

*Брестский политехнический институт*

Кабинеты вычислительной техники (КВТ) на базе ПЭВМ в настоящее время позволяют наиболее эффективно использовать компьютерное оборудование. При такой организации работы к ПЭВМ получает доступ наибольшее количество пользователей, что способствует распространению компьютерной грамотности и повышает интенсивность использования дорогостоящего оборудования, имеющего малые сроки морального старения.

Проектирование и монтаж КВТ выполняется, как правило, в непригодных помещениях, инженерное оборудование которых не соответствует оптимальной организации КВТ и не всегда обеспечивает безопасные

условия эксплуатации компьютеров. Одним из основных элементов инженерной подготовки КВТ является модернизация существующей или разработка новой схемы электропитания и заземления компьютеров.

Настоящий доклад обобщает действующие нормативно-технические документы, а также личный опыт авторов в рамках заявленной темы. Авторами обсуждается также влияние реактивных параметров питающих проводов на работу оборудования КВТ и приводятся примеры отклонения параметров реальной сети электропитания от гостированной.

Разработку схемы электропитания следует начинать с анализа помещения для выявления факторов, влияющих на выбор вида электропроводки, марки провода и способа его прокладки, а также на выбор схемы заземления. Помещение не должно располагаться в подвале или цокольном этаже здания, ориентация окон должна быть на север или северо-восток. Рабочие места необходимо, по возможности, располагать по периметру помещения на максимальном удалении от металлических конструкций, имеющих связь с землей.

Питание КВТ должно осуществляться отдельной линией от распределительного щита с установкой на вводе дополнительного автоматического выключателя. Это обусловлено малой установленной мощностью оборудования КВТ, а значит и малыми токами потребления. Имеющиеся в распределительных щитах автоматические выключатели с большими номинальными токами не могут обеспечить надежную защиту дорогостоящего оборудования КВТ. Допускается в качестве отрезка линии от распределительного щита до автоматического выключателя использовать часть существующих линий электропитания при условии, что в данных линиях отсутствуют мощные потребители электроэнергии или устройства, включение которых может вызвать сбой в работе компьютеров (электродвигатели, ТЭНы, люминисцентные лампы и т.п.).

Схема электропитания может быть как однолучевой, так и многолучевой с установкой защитных автоматов в каждой линии. Многолучевая схема позволяет более рационально использовать компьютерную технику и

## 8. Современные проблемы электроники и автоматики

выводить из эксплуатации часть компьютеров для обслуживания или ремонта.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок [1, гл. 2.1] все электропроводки разделяются на два вида - открытые и скрытые. Выбор вида электропроводки осуществляется с учетом типа помещения в отношении опасности поражения людей электрическим током [1, гл. 1.1]. КВТ необходимо размещать в помещениях без повышенной опасности. При этом скрытая электропроводка, выполненная в штукатуриваемых бороздах, является наиболее предпочтительной исходя из требований электро- и пожарной безопасности, а также из экономических соображений. Открытая электропроводка иногда может упростить монтаж. Тогда ее целесообразно выполнять с прокладкой проводов в декоративном электротехническом канале или металлорукаве.

Соединения токопроводящих жил проводов могут быть выполнены при помощи опрессовки, пайки или сжимов. Необходимо учитывать, что при малых токах потребления (например в режиме экономии энергии центральным процессором) из-за недостаточного контакта может произойти кратковременное нарушение питания компьютера. Кроме того, высокое контактное сопротивление такого соединения может служить источником помех для других компьютеров, работающих от общей линии.

Для электропроводок КВТ предпочтительным является использование проводов с медными жилами. Это связано с низким активным и реактивным сопротивлением медного провода. Однако провода с алюминиевыми жилами значительно дешевле, что обуславливает их более широкое применение в сетях электропитания. В этом случае не рекомендуется, чтобы общая длина электропроводки превышала 50...60 м из-за опасности перекрестных помех по питающему проводу и относительной электрической 'мягкости' алюминиевой жилы.

Выбор сечений токопроводящих жил проводов должен осуществляться по условию нагрева длительным рабочим током в соответствии с методикой, изложенной в [1, гл. 1.3]. Расчетный рабочий ток линии определяет-

ся суммарной установленной мощностью компьютеров и периферийных устройств в линии. Значение коэффициента мощности в данных расчетах может быть принято в пределах (0.6...0.65). Мощность одного IBM-совместимого компьютера (без печатающего устройства, сканера и модема) составляет приблизительно 180 Вт. Каждое дополнительно подключаемое устройство требует еще 10...20 Вт. По рабочему току линии выбирается также автоматический выключатель [2]. При этом необходимо помнить, что однополюсные выключатели по условиям электробезопасности должны устанавливаться только в фазных линиях.

Для обеспечения требований электробезопасности, а также для снижения уровня импульсных помех оборудование КВТ должно быть заземлено. Это требование содержится в технических описаниях на все ПЭВМ. В соответствии с ПУЭ (п. 1.7.39) в сетях с глухо заземленной нейтралью, которые используются для питания жилых и общественных зданий, заземление должно выполняться только совместно с занулением. Практически это реализуется соединением на распределительном щите линии рабочего нуля и заземляющего проводника. К данной точке подключается защитный контакт каждой розетки.

Для заземления оборудования компьютерного класса оптимальным вариантом является наличие отдельного заземлителя. Сопротивление заземлителя должно быть не более 4 Ом [1, п. 1.7.62]. Заземлитель должен выполняться и аттестовываться организацией, имеющей лицензию на такой вид работ.

Подключение защитного заземления к персональному компьютеру осуществляется одновременно с подачей питающего напряжения при помощи трехпроводного шнура электропитания и евrorозетки. Каждое рабочее место должно быть присоединено к заземлителю при помощи отдельного ответвления. Последовательное включение компьютеров в заземляющий проводник не допускается. Соединения заземляющих проводников между собой должны выполняться посредством сварки. Допускается применение других способов, обеспечивающих требования ГОСТ 10434-82

"Соединения контактные электрические. Общие технические требования" ко 2-му классу соединений.

### Литература:

1. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР.- М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. В 2-х кн. Под общ. ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского.- М.: Энергия. 1980.

## ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

*Овсянников Г.Н*

*Брестский политехнический институт*

Предлагаемая в [1] оценка качества ламп накаливания в виде коэффициента качества

$$K = \frac{\Phi T}{CP} \quad (1)$$

где:

$\Phi$  - световой поток, лм;

$T$  - продолжительность горения, час.;

$P$  - мощность, Вт.;

$C$  - себестоимость в условных единицах;

осуществляется на основе контроля всех параметров, входящих в (1). Кроме того, согласно технологического процесса, контролируются и другие параметры. Например, светотдача  $\eta = \frac{\Phi}{P}$ , ток, геометрические размеры и т.д. В совокупности объем контроля, а главное затраты на него, составляют

до 10% от себестоимости, в зависимости от типа источника света [2]. Как показывает опыт и анализ не все контролируемые параметры равнозначны по своему влиянию на другие и на коэффициент качества (1), в частности [1,3].

Действительно:  $\frac{\partial K}{\partial P} > \frac{\partial K}{\partial \Phi} > \frac{\partial K}{\partial T}$ ; т.е. функция цели  $K$  дает наибольшие приращения по параметру  $P$ . И практически почти не бывает источников света, не удовлетворяющих требованиям по другим параметрам, если они удовлетворяют требованиям по мощности  $P$ . Следовательно можно ограничиться только контролем мощности, имея надежную гарантию выполнения поставленных требований по другим параметрам. При этом оценку качества можно сохранить в виде эквивалентном выражению (1). Для этого используем известные [3] выражения:

$$\frac{P}{P_o} = \left(\frac{U}{U_o}\right)^{1,6} ; \quad \frac{\Phi}{\Phi_o} = \left(\frac{U}{U_o}\right)^{3,6} ; \quad \frac{T}{T_o} = \left(\frac{U}{U_o}\right)^{-14} , \quad (2)$$

где:  $X_i, X_{oi}$  - соответственно текущее и фиксированное (например, математическое ожидание - м.о.) значение  $i$ -го параметра.

Подставив (2) в (1), получим:

$$K = K_o \left(\frac{P_o}{P}\right)^{7,5} = \mu K_o \quad (3)$$

где:  $\mu = (\delta)^{7,5}$ ;  $K_o = \frac{\Phi_o T_o}{P_o C}$  - м.о. критерия качества. Или

$K_o = \eta_o \mathfrak{R}_o$ , где  $\eta_o = \frac{\Phi_o}{P_o}$  - м.о. светоотдачи,  $\mathfrak{R}_o = \frac{T_o}{C}$  - м.о. экономиче-

ской продолжительности горения. Аналогично  $K = \eta \mathfrak{R}$ .

А приращение функции цели  $K$  можно выразить в виде [ 4 ]:

$$dK = \frac{\partial K}{\partial \eta} d\eta + \frac{\partial K}{\partial \mathfrak{R}} d\mathfrak{R} \quad \text{или} \quad \Delta K \approx K_\eta \Delta \eta + K_{\mathfrak{R}} \Delta \mathfrak{R} .$$

## 8. Современные проблемы электроники и автоматики

Для  $\delta$ , полученного из контрольной выборки, и приняв  $\Delta\eta = \Delta\mathcal{R} = 1$  получим,  $\Delta K$  рис.1.

Экспресс расчеты коэффициента  $K$  можно выполнять с заданной периодичностью с помощью ЭВМ или вручную с помощью номограммы рис.2.

### Выводы:

Особенностью контроля качества источников света является:

1. Наличие единого количественного критерия качества.
2. Значительное сокращение объема контроля и испытаний.
3. Контроль качества выполняется фактически по одному параметру.

### Литература.

1. Овсянников Г.Н. К вопросу о качестве электровакуумных приборов. Материалы НТК «Наука и Мир», Брест 1994г.
2. Александров А.И. и др. От контроля брака к управлению процессом сборки ламп накаливания. Межвузовский сборник. МГУ им. Полежаева, г.Саранск 1982 г.
3. Ламехов О.А. и др. Светотехника и светоизмерения. М., Изд. Машиностроитель 1980 г.
4. Первозванский А.А. Математические модели в управлении производством. Изд. Наука. М.; 1975 г.



## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ

Овсянников Г.Н.

*Брестский политехнический институт*

Всегда желательно в качестве оценки качества иметь единый количественный критерий, который позволяет однозначно оценивать продукцию. Применительно к источникам света таким критерием является коэффициент качества - К [1]:

$$K = \frac{\Phi T}{CP} \quad (1)$$

где:  $\Phi$  - световой поток, лм;

$T$  - продолжительность горения, час;

$P$  - мощность, Вт;

$C$  - себестоимость в условных единицах.

Параметры, входящие в (1), кроме  $C$ , являются случайными величинами с нормальным распределением [2]. Производя оценку качества, при выборочном контроле продукции, важно знать возможные отклонения критерия качества, например: математическое ожидание  $\bar{K}$  и дисперсию его  $D_K$  или среднеквадратическое отклонение  $\sigma_K = \sqrt{D_K}$ . Согласно [2], если

функция  $K$  - непрерывна и дифференцируема, то

$$\bar{K} \approx \frac{1}{C} \frac{\bar{X}_1 \bar{X}_2}{\bar{X}_3} = \frac{1}{C} \frac{\bar{\Phi} \bar{T}}{\bar{P}}$$

$$D_K \approx \sum_{i=1}^3 \left( \frac{\partial K}{\partial X_i} \right)^2 D_{X_i} + \sum_{i \neq j} \left( \frac{\partial K}{\partial X_i} \right) \left( \frac{\partial K}{\partial X_j} \right) \text{COV}(X_i, X_j) \quad (2)$$

## 8. Современные проблемы электроники и автоматики

где:  $\overline{\Phi}$ ,  $\overline{T}$ ,  $\overline{P}$ , - математические ожидания соответствующих параметров;

$\frac{\partial K}{\partial X_i}$  - частные производные, которые принято называть передаточными отношениями;

ными отношениями;

$COV(X_i, X_j) = (\overline{X_i X_j}) - \overline{X_i} \overline{X_j}$  - ковариация случайных величин  $X_i, X_j$ .

Если случайные величины  $X_i, X_j$  независимы, то  $COV(X_i, X_j) = 0$ . Степень неточности равенств (2) зависит от линейности рассматриваемой функции  $K$ , и при линейности ее, они становятся детерминировано точными. В данном случае, исходя из известных зависимостей [3] параметров, входящих в (1),  $COV(X_i, X_j) \neq 0$ .

Произведем вычисления  $\overline{K_d}, \sigma_{kd}$  - действительных параметров критерия  $K$  по данным ламповых заводов [4] для лампы Б230-240-60.

$\overline{P_g} \approx 60,9 \text{ Вт}$ ,  $\sigma_{pg} \approx 0,66$ ,  $\overline{\Phi_g} \approx 679,3 \text{ лм}$ ,  $\sigma_{fg} \approx 41,2$ ,  $\overline{T_g} \approx 1151,5 \div \text{ас}$ ,  $\sigma_{tg} \approx 42,6$ ,  $C \approx$  условных единиц

$$COV(P_g \Phi_g) \approx -0,2, \quad COV(P_g T_g) \approx -15, \quad COV(T_g \Phi_g) \approx 804.$$

В результате расчета по (2) получим:

$$\overline{K_g} \approx 183; \quad D_{kg} \approx 127,9 \quad \sigma_{kg} \approx 11,3.$$

Согласно действующего ГОСТа 2239-70 на источник света Б230-240-60, параметры его должны быть:

$\overline{P_g} = 60 \text{ Вт}$ ,  $\overline{\Phi_g} = 650 \text{ лм}$ ,  $\overline{T_g} = 1250 \div \text{ас}$ . В процессе аттестации продукции по заводам [4] установлены и разбросы этих параметров.

$\Delta P = \pm 0,3 \approx 6\sigma_{pz} \rightarrow \sigma_{pz} \approx 0,1$ ; аналогично  $\sigma_{fz} \approx 3,3$ ;  $\sigma_{mz} \approx 13,3$ . Расчеты по (2) для стандартных исходных дают:

$\overline{K_z} \approx 193$ ,  $D_{Kz} \approx 48,7$ ,  $(\sigma_{Kz} \approx 7,0)$ . Откуда следует, что фактический уровень качества (по среднему - математическому ожиданию коэффициента качества  $\overline{K_g}$ ) значительно ниже уровня, установленного ГОСТом, а также и разброс  $\sigma_g$ , как показатель нестабильности технологического процесса, а, следовательно, и качество продукции хуже почти вдвое. И вместе с тем на ряде заводов продукция аттестована даже по I категории качества.

### Выводы:

1. Использование единого количественного критерия качества  $K$  дает возможность однозначного, объективного, хотя и приближенного, определения уровня качества продукции.
2. Учет случайных факторов при оценке качества продукции дает полный анализ состояния технологического процесса и указывает пути повышения его эффективности.
3. Накопление статистики по критерию качества и последующий анализ ее показывает динамику процесса, на основе которого возможно моделирование технологического процесса с целью оперативного и долгосрочного прогнозирования.

### Литература:

1. Овсянников Г.Н. Частные критерии оценки качества ламп накаливания. Материалы НТК БПИ, Брест 1996г.
2. Корданский Х.Б. Приложения теории вероятностей в инженерном деле. Изд. ФМ, м-л, 1963г.
3. Ломехов О.А. и др. Светотехника и светоизмерения. М., 1980г.
4. Будасов Н.В., Фадеев В.Т. Итоги отраслевой аттестации источников света. Сб. Электротехническая промышленность, вып.5, 1971г.

## РЕГУЛИРУЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ В ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОННОМ ИСПОЛНЕНИИ

*Парфенович О.Н., Кебеде Д.Н.*

*Могилевский машиностроительный институт*

В настоящее время 67% электроэнергии, вырабатываемой различными энергоисточниками, потребляется электродвигателями. У нас в республике 90% электродвигателей – нерегулируемые, на западе таких двигателей – не более 40-50%; тенденция - использовать только регулируемые электродвигатели, что, в целом, уже сейчас дает свыше 10-15% экономии электроэнергии. В частности, в РБ не менее 40% электроэнергии потребляют различного рода нагнетатели (насосы, вентиляторы и пр.), приводимые в движение нерегулируемыми электродвигателями. Установка в нагнетателях вместо дросселирования регулируемых электродвигателей дает экономию электроэнергии – до 40-50%, воды 15-20%, тепла – 20%.

Следует, однако, отметить, что массовое внедрение в электропривод частотных электронных регуляторов на основе автономных инверторов в настоящее время для стандартных электродвигателей ограничивается высокой стоимостью этих регуляторов (в 10 – 15 раз превышающей стоимость управляемого электродвигателя) и относительно большими их массогабаритными характеристиками.

В Могилевском машиностроительном институте в течении последних лет проводились исследования по разработке параметрически регулируемых асинхронных с короткозамкнутым ротором электродвигателей в электромеханотронном исполнении, которые, при организации промышленного производства, могут быть в 3 - 4 раза дешевле применяемых регулируемых электроприводов на базе частотных инверторов и, к тому же, обладают бо-

лее высокой структурной надежностью. В настоящее время на Могилевском заводе "Электродвигатель" изготовлены и испытаны макетные образцы указанных электродвигателей. Образцы выполнены на базе стандартных двигателей типоразмера АИРС-100S4.

Особенности конструкции рассматриваемого электродвигателя показано на рис 1.

Электродвигатель содержит корпус – станину 1; подшипниковые щиты 2 и 3; вал ротора 4; подшипники 5 и 6; магнитопровод статора 7 с вольной обмоткой; удлиненный магнитопровод силового ротора 8 со стержневой обмоткой; встроенный в выступающую часть силового ротора малый ротор 9; подшипники малого ротора 10, закрепленный на малом роторе вентилятор 11; лопасти теплорассеивателя и вентилятора 12 силового ротора; стакан 13 для встройки синхронного тахогенератора 14; кожух 15; корпус 16 электронного блока 17 регулирования частоты вращения ротора.

Такая конструкция электродвигателя обеспечивает: интенсивную передачу тепловых потерь силового ротора 8 в торцевую часть, где расположены лопасти теплорассеивателя – вентилятора 12, имеющего большую поверхность теплоотдачи; принудительную вентиляцию электродвигателя при его работе на естественной и регулировочной характеристиках, когда вентилятор 11 вращается с постоянной частотой, независимо от частоты вращения ротора 8 двигателя. Достаточный вращающий момент ротора 9 вентилятора 11 обеспечивается потокосцеплением ротора 8 с ротором 9 вентилятора 11, в том числе и наличием магнитопровода со стороны наружного диаметра выступающей части ротора 8. Повышенный  $\cos\phi$  на регулировочных характеристиках создается за счет увеличения сопротивления стержневой роторной обмотки, на регулировочных характеристиках сопротивление обмотки ротора 8 возрастает, за счет увеличения эффекта частотного сжатия тока в стержнях выступающей части ротора, что приводит к увеличению  $\cos\phi$ , уменьшению пускового тока, увеличению пускового момента и допустимого по условиям нагрева момента электродвигателя при его работе на естественной и регулировочной характеристиках; в це-

## 8. Современные проблемы электроники и автоматики

лом массогабаритные параметры электродвигателя на кВт. полезной мощности используются, при этом, эффективнее. Были изготовлены и испытаны опытные образцы электродвигателей (условно названы ДАС-10).

Конструкция электронного модуля (блока) может быть реализована в 4 вариантах (рис. 2, 3, 4, 5).

Макетный образец модуля на основе полностью управляемой противо-параллельной тиристорной схемы (рис.2) был изготовлен в виде отдельного блока размером  $230 \times 200 \times 130$  мм.

Испытания данного модуля дали положительные результаты. Исследования электронного модуля с целью оптимизации его массогабаритных, функциональных и энергетических характеристик в комплекте с двигателем продолжаются. Модуль на основе полууправляемой противоположной диодно-тиристорной схем (рис.3) проще по конструкции и дешевле, но имеет приблизительно на 10% худшие энергетические характеристики.

Модуль на основе широтно-импульсного тиристорного регулятора (на схеме рис.4) проще в управлении (не нужны узлы синхронизации с сетью, контроля порядка чередования фаз и пр.), энергетика подобных преобразователей лучше, чем вышеприведенных, значительно проще здесь решаются также вопросы электромагнитной совместимости (устранения помех от преобразователей в сеть).

Модуль на основе широтно-импульсного транзисторного регулятора (рис.5) имеет то преимущество, что может быть изготовлен на элементной базе производства заводов РБ (в частности Молодечненском заводе "Электромодуль"). Следует однако отметить, что техническая реализация преобразователей по рис.4,5 требует определенных исследований и доработки, например, в части оптимизации контура разряда реактивной мощности, изготовления силовых электронных элементов в виде интегральных блоков на одной теплопроводящей подложке, с целью размещения этих блоков в клеммной коробке электродвигателя.

Предлагаемый электродвигатель может быть рекомендован для применения в регулируемом электроприводе машин и механизмов, в частности, наиболее целесообразно его использование в электроприводе различного рода нагнетателей, в подъемно-транспортных машинах, работающих в режиме частых пуско-тормозных циклов.

УДК 621.313.333 (075.8)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

*Ковалев Л.М., Жидунова С.Е., Бураковский С.А.*

*Могилевский машиностроительный институт*

Одним из широко распространённых методов диагностирования асинхронных электродвигателей (АД) является метод ненагруженного двигателя. Этот метод позволяет определить постоянные потери в двигателе (механические и в стали) и получить характеристики холостого хода, имеющие самостоятельное значение при контроле качества. По результатам такого диагностирования можно не только выявить соответствие показателей АД техническим требованиям, но и по их сочетанию ориентировочно диагностировать ход технологического процесса по изготовлению двигателей.

Для определения механических потерь, потерь в стали и полных характеристик холостого хода в процессе диагностирования АД работает на холостом ходу при изменении питающего напряжения от наибольшего допустимого (обычно 130% от номинального) до наименьшего, при котором ещё возможно устойчивое вращение диагностируемой машины с заданной частотой (у АД- это момент, когда начинает расти ток статора из-за увеличения скольжения). При этом рекомендуется включать двигатель при номинальном напряжении, затем увеличивать его до максимального, а затем

## 8. Современные проблемы электроники и автоматики

уже снижать, снимая 9-11 отсчётов. При каждом отсчёте измеряются среднее значение напряжения и тока статора  $I_0$  в трёх фазах, частота питающего напряжения, потребляемая мощность  $P_1$ , сопротивление  $R$  фазы обмотки статора при температуре опыта. Суммарные потери холостого хода  $P_0$  определяются по формуле:

$$P_0 = P_1 - I_0^2 R \quad (1)$$

Экстраполяция нижней прямолинейной части зависимости потерь  $P_0$  от квадрата отсекает по оси ординат величину механических потерь  $P_{мх}$ .

При автоматизации рассмотренного процесса диагностирования следует ожидать значительного увеличения его производительности при применении ускоренного метода, когда приложенное к двигателю напряжение будет непрерывно изменяться по линейному закону:

$$U(t) = U_0 - a \cdot t, \quad (2)$$

где  $U_0$  - наибольшее допустимое напряжение;

$a$  - скорость изменения напряжения.

При этом скорость изменения напряжения " $a$ " должна быть подобрана такой, чтобы минимизировать появление динамических факторов в исследуемых характеристиках. Эту задачу можно решить путём математического моделирования процесса диагностирования в режиме ненагруженного двигателя.

Считая потери в стали сосредоточенными и осуществляя обратный переход от установившегося режима к дифференциальным уравнениям, получим следующую модель АД в виде системы дифференциальных и алгебраических уравнений:



$$\begin{aligned}
 \frac{d\Psi_{\alpha 1}}{dt} &= U_m \cos \omega_0 t - R_1 i_{\alpha 1} - R_m (i_{\alpha 1} + i_{\alpha 2}); \\
 \frac{d\Psi_{\beta 1}}{dt} &= U_m \sin \omega_0 t - R_1 i_{\beta 1} - R_m (i_{\beta 1} + i_{\beta 2}); \\
 \frac{d\Psi_{\alpha 2}}{dt} &= -R_2 i_{\alpha 2} - \omega \Psi_{\beta 2} - R_m \frac{\omega}{\omega_0} (i_{\alpha 1} + i_{\alpha 2}); \\
 \frac{d\Psi_{\beta 2}}{dt} &= -R_2 i_{\beta 2} - \omega \Psi_{\alpha 2} - R_m \frac{\omega}{\omega_0} (i_{\beta 1} + i_{\beta 2}); \\
 i_{\alpha 1} &= \frac{\omega_0 \alpha_s}{R_1} (\Psi_{\alpha 1} - \Psi_{\alpha 2} k_r); \\
 i_{\alpha 2} &= \frac{\omega_0 \alpha_r}{R_2} (\Psi_{\alpha 2} - \Psi_{\alpha 1} k_s); \\
 i_{\beta 1} &= \frac{\omega_0 \alpha_s}{R_1} (\Psi_{\beta 1} - \Psi_{\beta 2} k_r); \\
 i_{\beta 2} &= \frac{\omega_0 \alpha_r}{R_1} (\Psi_{\beta 2} - \Psi_{\beta 1} k_s); \\
 M &= \frac{3}{2} P_0 \omega_0 \frac{k_r}{x_s \sigma} (\Psi_{\alpha 2} \Psi_{\beta 1} - \Psi_{\alpha 1} \Psi_{\beta 2}); \\
 \frac{d\omega}{dt} &= \frac{P_0}{J} (M - M_{MX}); \\
 \alpha_s &= \frac{R_1}{x_s \sigma}; \quad k_s = \frac{x_m}{x_s}; \quad \alpha_r = \frac{R_2}{x_r \sigma}; \quad k_r = \frac{x_m}{x_r}; \\
 \sigma &= 1 - k_r k_s; \quad x_s = x_m + x_1; \quad x_r = x_m - x_2
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где

$x_s(x_r)$  - синхронное реактивное сопротивление обмотки статора (ротора); учитывающее магнитную связь с двумя другими фазными обмотками статора (ротора);

$x_m$  - индуктивное сопротивление взаимной индукции;

$x_l(x_2)$  - индуктивное сопротивление рассеяния статора (ротора);

$\omega_0, \omega$  - угловая скорость соответственно поля статора и ротора;

$J$  - момент инерции ротора АД;

$P_0$  - число пар полюсов.

Для реальной машины мгновенные значения токов фаз статора и ротора определяется как:

$$\left. \begin{aligned} i_A &= i_{a1}; \\ i_B &= i_{a1} \cos(-120^\circ) - i_{\beta 1} \sin(-120^\circ); \\ i_C &= i_{a1} \cos(120^\circ) - i_{\beta 1} \sin(120^\circ). \end{aligned} \right\} (4)$$

Модель в виде уравнений (3) и (4) дополняется уравнениями изменения амплитуды питающего напряжения:

$$\left. \begin{aligned} U_m &= U_{m0} \quad \text{при} \quad 0 \leq t \leq t_n; \\ U_m &= U_{m0} - a(t - t_n) \quad \text{при} \quad t > t_n, \end{aligned} \right\} (5)$$

где

$U_m(U_{m0})$  - максимальная амплитуда напряжения питания, с которой начинается процесс диагностирования ( $1,3U_{ном} \sqrt{2}$ );

$t_n$  - время, необходимое для выхода на установившейся режим при максимальном напряжении питания.

Для определения характеристик двигателя из его мгновенных значений используем расчёт средних за период интегральных энергетических показателей. В качестве периода усреднения выбран период основной гармоники электромагнитного поля статора

$$T = 2\pi / \omega_0. (6)$$

Такой подход согласуется с процессом получения нижеприведенных величин при использовании измерительных преобразователей.

Так, средняя за период потребляемая активная мощность двигателя определяется как:

$$P_{ly}(t) = \sum_{k=1}^m \frac{1}{T_0} \int_t^{t+T_0} U_k(t) \cdot i_k(t) dt, (7)$$

где

$m$  - число фаз;

$U_k(t)$  - мгновенное значение напряжения  $k$ -ой фазы;

$i_k(t)$  - мгновенное значение тока статора  $k$ -ой фазы.

Действующее (среднее квадратичное) значение тока статора  $k$ -ой фазы определяется по выражению:

$$I_{ky}(t) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_t^{t+T_0} i_k^2(t) dt}, (8)$$

Потери холостого хода  $P_{oy}$  при ускоренном диагностировании определяются в соответствии с выражением (1). Полученные значения позволяют построить зависимости, необходимые для анализа  $I_{oy}(U)$ ,  $P_{oy}(U)$ ,  $P(U^2)$ .

Анализ характеристик, полученных на модели для АД различной мощности и при различных "а" показывает, что отставание динамических характеристик от статических составляет в среднем величину

$$\Delta U = \alpha T_0, (9)$$

где  $T_0 = (x_1 - x_m) / (R_1 + R_m) \omega_0$  - электромагнитная постоянная времени АД в режиме холостого хода.

Минимизируя  $\Delta U$ , можно определить допустимую скорость изменения напряжения. Если задать ошибку в определении  $P_{mxy}$  5% от  $P_{mxc}$  в статике, то достаточно задать  $\Delta U = 1-3\%$  от  $U_{ном}$  и определить соответствующую скорость изменения напряжения при ускоренном диагностировании.

## 9. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ОБРАЗОВАНИИ

### РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА КАК ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА СОСТОЯНИЯ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

*Маркевич К.М., Наумчик В.Н.*

*Брестский политехнический институт*

В последнем десятилетии в связи с компьютеризацией образования в обучении появились компьютерные методы оценивания знаний учащихся. Среди них - рейтинговый контроль, который применяется во многих вузах Республики Беларусь, в том числе в Брестском политехническом институте. Рейтинговая система более подробно описывает состояние успеваемости студентов в учебной группе, чем пятибалльная [1], но не известно насколько адекватно, так как этот вопрос не изучен в педагогической практике высшей школы. Учитывая, что рейтинговый контроль применяется в обучении и, многие преподаватели итоговую рейтинговую отметку выставляют как итоговую по дисциплине [2], необходима проверка такого отождествления, ибо; с одной стороны, оно усиливает управляющие возможности рейтинговой системы в активизации учения и учебной деятельности обучаемого [3]; с другой, входит в противоречие с принятыми нормами оценивания в пятибалльной системе, согласно которым итоговая отметка выставляется на основе экзаменационного ответа студента. Чтобы проверить правомочность указанного отождествления было проведено сравнение рейтинговой и пятибалльной оценочных систем. На основе данных преподавания физики и теории автоматического управления для 342-х студентов специальностей: 12.01, 12.02, 21.03 были определены коэффициенты

корреляции  $R_{xy1} - R_{xy5}$ , которые позволяют сделать некоторые суждения о рейтинговой системе как средстве контроля знаний студентов и информационной системе. Коэффициенты корреляции определялись на основе следующих отметок и множеств отметок:

**Результирующая рейтинговая отметка** - рейтинговый результат студента по дисциплине, который рассчитывает компьютер после занесения набранных экзаменационных баллов в программу. Эти отметки образовали множество  $\{X_p\}$ .

**Итоговая рейтинговая отметка.** Результирующая рейтинговая отметка может иметь десятые, сотые, тысячные значения балла и лишь в частных случаях целочисленные. На экзамене преподавателю приходится округлять рейтинг-отметку до значений «3», «4», «5». Эта округленная отметка является итоговой рейтинговой отметкой. В совокупности такие отметки образовали множество  $\{X_{и}\}$ .

**Итоговая пятибалльная отметка** выставлялась на экзамене по правилам пятибалльной системы. Эти отметки образовали множество  $\{Y_{и}\}$ .

**Результирующая отметка дисциплин физико-математического профиля** - средне-арифметическая отметка высшей математики (за два семестра); теоретической механики (за два семестра); сопротивления материалов; электроники, электротехники, микропроцессорной техники. Эти отметки образовали множество  $\{Y_{ср}\}$ .

**Результирующая рейтинговая отметка по физике** - средне-арифметическая отметка студента за два семестра, в течение которых его знания оценивались по рейтинговому методу. Такие отметки образовали множество  $\{X_{ф}\}$ .

Коэффициенты корреляции множеств рейтинговых  $\{X\}$  и пятибалльных  $\{Y\}$  отметок приведены в таблице.

Таблица

$R_{xy1}$	$R_{xy2}$	$R_{xy3}$	$R_{xy4}$	$R_{xy5}$
$\{X_p\}, \{Y_n\}$	$\{X_n\}, \{Y_n\}$	$\{X_p\}, \{Y_{cp}\}$	$\{X_n\}, \{Y_{cp}\}$	$\{X_\phi\}, \{Y_{cp}\}$
0,8672	0,999999	0,6611	0,7612	0,7582

Как видим, обе оценочные системы имеют, примерно, одинаковые контролирующие свойства и, пожалуй, рейтинговая итоговая отметка может использоваться как альтернативная итоговой пятибалльной.

### Литература:

1. Гладковский В.И., Маркевич К.М., Чопчиц Н.И. Относительная рейтинговая система оценки знаний по физике. Брест. политехн. ин-т. Брест, 1990, - Деп. в НИИВШ 02.07.90, №1122-90.
2. Иванов Е.Е. Использование ВС СМ 1600 для организации самостоятельной работы студентов по теоретической механике: Тез. докл. X-й зональной конф. препод. общ. физики вузов Белоруссии, республик Прибалтики и Калининградской области РСФСР. - Гродно, 1989.
3. Гладковский В.И., Гладышук А.А., Маркевич К.М., Смаль А.С., Чопчиц Н.И. Управление учебным процессом при помощи рейтинговой системы оценки знаний. Брест. политехн. ин-т. - Брест, 1991, - Деп. в НИИВШ, 25.11.91, №745-91.

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К КАЧЕСТВУ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ С ВЫСШИМ ОБРАЗОВАНИЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЙТИНГОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ**

*Гладковский В.И., Панасюк И.М.*

*Брестский политехнический институт*

Качество подготовки специалиста с высшим образованием зависит от следующих его личностных качеств:

во-первых, уровня системного видения объекта деятельности;

во-вторых, глубины, ширины и прочности усвоения фундаментальных законов, принципов и отношений между соответствующими понятиями, отраженными в изучаемых научных и научно-прикладных дисциплинах;

в-третьих, степени владения наиболее рациональными и прогрессивными методами деятельности в данной предметной области;

в-четвертых, от эффективности самоорганизации деятельности в процессе обучения [1].

Из этого следует, что главной задачей высшей школы является реализация потребности личности в интеллектуальном, культурном и нравственном развитии [2]. Такое развитие само по себе является естественным творческим процессом со всеми вытекающими из него как внешними, так и внутренними противоречиями [3].

Как известно, в традиционной системе высшего образования отсутствует процедура текущего контроля степени усвоения изучаемого материала на протяжении семестра, что дезориентирует студента в определении интенсивности обучения. Иначе говоря, при отсутствии постоянного контроля студенты, в особенности младших курсов, в принципе предоставлены сами себе. Большинство из них в этом случае

## 9. Вычислительная техника в образовании

---

находятся в состоянии неустойчивого равновесия - учиться сразу и регулярно по собственной инициативе или подождать пока не возникнет необходимость (коллоквиум, зачет, экзамен и т.п.). К сожалению второе случается значительно чаще, что обычно приводит к напряженной работе в конце семестра самого студента, а также к затратам рабочего времени преподавателя, учебно-вспомогательного персонала и т.п. Естественно это приводит к непредвиденным дополнительным материальным, нравственным и физическим затратам.

С кибернетической точки зрения такой учебный процесс можно «представить» в виде так называемого «черного ящика». Одним из негативных последствий такого положения вещей является то обстоятельство, что в этом случае студенты лишены возможности самостоятельно регулировать интенсивность своей учебной деятельности, т.е. играют роль пассивного приемника знаний. Для преодоления данного противоречия в процессе обучения целесообразно ввести некий обобщенный сигнальный показатель активности студента при овладении знаниями по той или иной дисциплине. Введение этого показателя сделает «черный ящик» более прозрачным.

С нашей точки зрения для достижения этой цели наиболее удобно использовать так называемые рейтинговые технологии обучения [4-6]. В развиваемом нами системном подходе к организации учебного процесса, рейтинговая оценка, выставляемая студенту преподавателем, существенно отличается от традиционной (которую в конечном счете можно также считать упрощенным рейтингом студента). Дело в том, что при традиционном оценивании, отметка зависит не только от уровня знаний студента, но и еще от многих факторов (настроений преподавателя и студента, их личных отношений и т.д.). То есть отметка, как бы ни был хорошо организован учебный процесс, является субъективным (в большей или меньшей степени) показателем. С целью уменьшения (а возможно и устранения) этой субъективности в оценивании, согласно предлагаемой методики, преподаватель должен разработать определенную технологию



оценивания, то есть некие общеизвестные «правила игры». Эти «правила» представляют собой перечень положений и требований, в соответствии с которыми начисляются баллы по определенным видам учебной деятельности. Затем баллы, набранные студентами, трансформируются при помощи специальной программы (рейтингового редактора) в обобщенный сигнальный показатель активности их учебной деятельности, представляющий рейтинговую оценку интенсивности и качества усвоения учебного материала, сопряженную с традиционной пятибалльной. Наличие данного показателя помогает администрации факультета постоянно контролировать успеваемость и выполнять воспитательные функции управления процессом обучения, незамедлительно реагируя на любые проблемные ситуации. Студенты, руководствуясь значением обобщенного сигнального показателя, могут корректировать свои усилия по конкретным видам учебной деятельности. Это позволяет превратить студентов из пассивных в активных участников управления учебным процессом. То есть, суть системного подхода к качеству подготовки специалистов с высшим образованием с использованием рейтинговых технологий обучения, заключается в том, что преподаватель и студенты становятся активными элементами саморегулирующейся системы с положительной обратной связью. В результате чего учебный процесс становится в определенном смысле управляемым, как в отношении обучения, так и в отношении воспитания специалиста с высшим образованием.

На 2-ой Международной конференции «Высшая школа: состояние и перспективы», состоявшейся в октябре 1997 года в РИВШ БГУ, предлагаемый подход при создании системы текущей аттестации студентов высшей школы положительно оценен и принято предложение рекомендовать вузам рассмотреть возможность его использования при организации обучения.

### Литература:

1. Некоторые итоги экспертизы новых квалификационных характеристик специалистов с высшим образованием. Л.И.Романкова, Т.Г.Михалева/ В сб. «Основные результаты исследований НИИ высшего образования в 1989 году»/ Под общ. ред. д.т.н., проф. А.Я.Савельева. -М.: 1990.
2. Политика реформ в области образования в СССР и претворении ее в жизнь. А.И.Галаган /В сб «Основные результаты исследований НИИ высшего образования в 1989 году»/ Под общ.ред. д.т.н., проф. А.Я.Савельева.-М.: 1990.
3. Исследование развития творческой активности студентов в учебно-воспитательном процессе. Л.И.Коханович, М.Ф.Фатхуллин, Р.Ф.Шахова, Л.Н.Мигалик/ В сб. «Основные результаты исследований НИИ высшего образования в 1989 году»/ Под общ.ред. д.т.н., проф. А.Я.Савельева.-М.:1990.
4. Гладковский В.И., Гладышук А.А., Маркевич К.М., Смаль А.С., Чопчиц Н.И. Управление учебным процессом при помощи рейтинговой системы оценки знаний.Брест.политех.ин-т.-Брест,1991,-Деп. в НИИВШ, 25.11.91, №745-91.
5. Гладковский В.И., Маркевич К.М., Чопчиц Н.И. Относительная рейтинговая система оценки знаний по физике. Брест.политех. ин-т.-Брест,1990,-Деп. в НИИВШ, 02.07.90, № 1122-90.
6. Гладковский В.И., Панасюк И.М., Черненко В.П. Применение принципов научного менеджмента и рейтинговой системы оценки знаний для активизации учебного процесса. Брест.политех.ин-т.-Брест,1996,-Деп. в ин-те «Белинформпрогноз», 12.12.1996, № Д 199646.

## НОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОТНОШЕНИЯ В СФЕРЕ УЧЕТА И ПРОБЛЕМЫ ОБУЧЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ БУХГАЛТЕРИИ

*Матюшков Л.П., Муравьев Г.Л., Мухов С.В., Лысюк И.А*

*Брестский политехнический институт*

Снижение стоимости вычислительной техники и появление сравнительно недорогих настраиваемых (программируемых) бухгалтерских систем для выполнения типовых учетных операций приводит к массовому использованию ПЭВМ в сфере учета деятельности предприятий и позволяет говорить о переходе в этой сфере к принципиально новому уровню развития производительных сил, появлению принципиально новых профессиональных навыков и производственных отношений.

И если раньше качество и производительность учетных операций полностью определялись потенциалом и профессиональной компетентностью бухгалтера в сфере ручного учета, то сейчас они определяются как совокупный результат деятельности работников учетной сферы, структур, занятых разработкой, наладкой и внедрением в производство учетного инструментария, а также структур, выполняющих обучение и переподготовку персонала.

Таким образом, в настоящее время сфера финансового учета Республики Беларусь обладает следующими особенностями.

1. Характерно дальнейшее расширение использования в экономической сфере рыночных механизмов при сохранении прежних структур государственного контроля с акцентом на интенсивный документооборот.

2. Основная масса учетных работников обладает навыками ручного учета и только незначительная их часть методическими навыками

## 9. Вычислительная техника в образовании

использования компьютерных систем на уровне работы с некоторым "черным ящиком".

При этом, в силу того, что учетный работник является финансово подотчетным лицом, простого понимания компьютерных систем на таком уровне для него недостаточно (возможно поэтому наблюдается и определенная тенденция к "недоверию" вычислительной технике в учетной сфере).

3. Аналогично большинство проектировщиков систем компьютерного учета обладает навыками проектирования и программирования компьютерных систем и недостаточно детальным пониманием учета на уровне общих концепций.

Для преодоления сложностей текущей ситуации необходимо: 1) разработать типовые модели задач бухгалтерского учета на базе существующей системы финансового учета и учитывая мировой опыт; 2) на базе указанных моделей должны быть спроектированы и разработаны ППП бухгалтерского учета, учитывающие сложившуюся специфику подготовки финансовых документов, отвечающие модульным принципам проектирования систем прежде всего в плане подготовки данных для ведения общего баланса предприятия, обладающие типовыми механизмами указания выполняемой работы, ввода и корректировки данных и настройки системы; 3) должны быть разработаны методики привязки типовых моделей к конкретному производству и на их базе методики (процедуры) внедрения задач в производство; 4) должны быть предложены адекватные методики подготовки учетных кадров.

Важная роль в решении поставленных задач и обучении необходимым производственным навыкам может принадлежать высшей школе, где бухгалтерский учет для студентов экономических специальностей является базовым предметом. Компьютеризация бухгалтерской деятельности требует не только корректировки программ соответствующих курсов обучения в сторону увеличения времени на работу с компьютерными системами бухгалтерского учета, но и

пересмотр прежних концепций обучения "от ручного к компьютерному учету".

Учитывая сказанное, а также тот факт, что компьютерную бухгалтерию в силу принципиальных особенностей ее организации невозможно изучать как частный случай ручного учета, курс изначально должен строиться от типовых моделей бухгалтерского учета с отработкой на компьютере типовых практических навыков и с разбором на практике актуальной специфики учета, исходя из наличных нормативных актов и т.д.

Сам курс обучения должен быть ориентирован на выработку следующих типовых навыков:

- привязке типовой модели задачи бухгалтерского учета к реальному производственному процессу;
- построению модели бухгалтерского учета для конкретного ППП;
- приведению в соответствие реально используемой модели бухгалтерского учета до внедрения компьютерной системы и модели, поддерживаемой программными средствами;
- нахождению элементов типизации в пользовательском интерфейсе ППП;
- построению последовательности выполнения работ в рамках конкретной бухгалтерской системы для реального производственного события;
- сохранению и трансформированию баз данных при смене программного обеспечения.

В практических работах студенты должны изучать как основные приемы выполнения типовых бухгалтерских операций на базе универсальных АРМ бухгалтера, так и знакомиться со специализированными подсистемами АРМ бухгалтера (для отдельных категорий работ), ориентированными на использование в условиях Республики Беларусь.

Все практические занятия желательно строить по единой технологической схеме на базе общей информационной модели

## 9. Вычислительная техника в образовании

---

гипотетического предприятия (учреждения), включающего кадры, финансы, склады, основные средства и т.д., когда каждый студент (бригада) сможет осуществлять бухгалтерский учет своего предприятия, имитируя разные виды его бухгалтерского обслуживания в течение некоторого промежутка времени с выдачей отчетных документов за месяц/квартал/год.

Таким образом, при соответствующем пересмотре концепций обучения, с учетом наличия в рамках учебных заведений структур, выполняющих соответствующие научно-исследовательские разработки, высшая школа за счет наличия развитого механизма обучения может стать центром по обучению разработке и эксплуатации современных компьютерных бухгалтерских систем.

### Литература

1. Нидлз Б., Андерсон Х., Колдуелл Д. Принципы бухгалтерского учета: Пер с англ.- М.: Финансы и статистика, 1994.- 496 с.
2. Вуд Ф. Бухгалтерский учет для предпринимателей: В 2-х т.: Пер с англ.- М.:Аскери, 1992.- 610 с.
3. Снитко М.А. Теория бухгалтерского учета. - Мн.:Мисанта, 1996. - 263 с.

## О ПОСТРОЕНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОБУЧЕНИЯ (АСО) АЛГОРИТМИЗАЦИИ И ПРОГРАММИРОВАНИЮ

*Муравьев Г.Л., Кирьянов А.П., Лысюк И.А.*

*Брестский политехнический институт*

Процессы информатизации и компьютеризации человеческого общества традиционно связаны с выработкой алгоритмического (логического, системного) мышления и обучением, привитием навыков использования достижений современных информационных технологий.

При формировании алгоритмического стиля мышления важно развитие умения планировать длинные последовательности действий, предусматривать их последствия и всевозможные варианты и условия протекания. Работа с алгоритмами важна хотя бы потому, что они представляют собой специфическую форму отображения знаний о технологии решения самых разнообразных задач, независимо от их природы, нужны для построения информационно-логических моделей и т.д. Кроме того, алгоритмическое мышление пользователей по-прежнему восполняет недостаточный уровень интеллектуальности современных ЭВМ, требующий программирования при решении множества нестандартных, но часто встречающихся на практике задач.

Здесь рассматриваются принципы построения и применения АСО для обучения процессу решения задач, т.е. их алгоритмизации и программирования с помощью ЭВМ, что связано с рядом таких типовых работ, как проверка корректности алгоритма, поиск и устранение ошибок и т.д.

Для решения указанных задач нужно иметь: 1) входной язык описания (спецификации) алгоритмов; 2) банк аттестованных и

## 9. Вычислительная техника в образовании

классифицированных по сложности и тематике задач с набором тестовых входных и выходных значений; 3) разработать концепцию автоматизации обучения алгоритмизации задач на базе ЭВМ, а также процедуры ввода и редактирования алгоритмов в терминах входного языка, процедуры синтаксического и семантического анализа для контроля правильности написания алгоритмов, генерации адекватного загрузочного кода для последующего исполнения, процедуры отладки алгоритмов в классической манере с пошаговым трассированием, процедуры автоматического тестирования алгоритма с использованием банка эталонных задач и т.д.; 4) промакетировать и разработать соответствующий программный инструментарий.

В настоящее время разработано огромное множество языков программирования, но, как правило, большинство из них слишком сложны для новичка, которому вместо того, чтобы сосредоточиться и решать чисто алгоритмические проблемы, приходится параллельно осваивать многочисленные и непреложные языковые "мелочи".

Поэтому в качестве входного языка здесь предлагается так называемый псевдо-язык, сконструированный на принципах структурного программирования с минимальным набором изобразительных средств и правил их использования для отображения алгоритмов.

Он должен включать набор базовых управляющих структур (типа СЛЕДОВАНИЕ, ВЕТВЛЕНИЕ и ЦИКЛ), адекватно отображающих соответствующие математические понятия, поддерживать наиболее распространенные скалярные и структурные типы (имеющие математический эквивалент), содержать библиотеку стандартных математических и служебных функций и процедур с возможностью расширения до библиотек языков программирования (например, Турбо Паскаля).

Сами псевдопрограммы, т.е. алгоритмы, записанные на псевдо-языке, должны строиться по одно или многомодульной схеме, отличаться минимумом сокращений и соответственно высокой мнемоничностью и



читаемостью записей, команд (должен использоваться алфавит русского и латинского языка), типы данных должны уточняться таблично по инициативе самой системы, ввод-вывод строится по упрощенной схеме.

Сам программный инструментарий может быть построен экономно на принципе автоматической генерации по псевдопрограмме функционально-адекватного ей текста на каком-либо языке программирования высокого уровня, что позволит далее работать с ним, максимально используя мощности и возможности соответствующих стандартных турбо сред и компиляторов.

Соответственно, необходима собственная турбо среда, позволяющая типовым образом проводить все работы. Она должна объединять:

а) средства поддержки банка аттестованных тестовых задач и средства работы с файловой системой компьютера;

б) типовой текстовый редактор псевдопрограмм (например, как в турбо средах программирования);

в) конвертор псевдопрограмм в текст на языке программирования с синтаксическим и семантическим анализаторами для контроля правильности написания алгоритма;

г) генератор отладочной информации в алгоритме и сам отладчик для "прокрутки" псевдопрограммы в режиме пошагового трассирования алгоритма (в стиле, присущем классическим турбо-средам - с расстановкой контрольных точек, до курсора и т.д.). При этом отладочная информация должна отображаться либо в стандартной форме в окне наблюдения либо, что наиболее удобно пользователю, в виде отладочных таблиц, когда легко прослеживается характер изменения во времени всех трассируемых величин;

д) стандартный компилятор языка программирования высокого уровня.

Работа системы возможна в нескольких режимах, в том числе, в режиме аттестации новых алгоритмов и заполнения банка эталонных задач, в режиме счета, когда она используется как обычный инструмент

решения задач, в режиме пошаговой отладки, в режиме контроля знаний и навыков обучаемого на основе банка эталонных задач и т.д.

Выполнено макетирование базовых частей системы. Основные модули реализованы в языке СИ и Turbo Vision 1.0. Общение с системой ведется через интегрированную среду, напоминающую классические программные.

Указанный подход к построению АСО даст возможность осуществлять индивидуальное обучение на единой методической и информационной основе, развивать навыки самостоятельной работы, оказывать своевременную помощь, контролировать усвоение знаний и направлять процесс обучения.

Пользователь сможет решать задачи в содержательной форме без первоначального знания какого-либо языка программирования, что особенно важно для непрофессионалов в области вычислительной техники, либо активизировать обучение в современных технологиях разработки программ, начиная с этапа алгоритмизации.

### **ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Козинский А. А.*

*Брестский областной институт повышения  
квалификации и переподготовки*

*руководящих работников и специалистов образования*

Три года назад в Брестском областном институте усовершенствования учителей была создана система управления базами данных «Учет педагогических кадров». Проведенная работа позволила автоматизировать учет информации обо всех работниках общеобразовательных учреждений

области, упростить процесс планирования и организации повышения квалификации педагогов, получения стандартных списков и отчетов. В настоящее время в системе содержится информация по 36 показателям личной карточки учета педагогов более чем о 34 тысячах работниках 1613 учреждений образования области. Форма карточки будет представлена во время доклада.

Опыт создания и эксплуатации системы частично описан в данной статье. При изложении автор опирается на версию 2.2 указанной системы, созданной им в соавторстве с В. Сеченком. При написании программы использован язык управления базами данных FoxPro версии 2.6 для операционной системы DOS. Указанный выбор связан с тем, что с одной стороны основная масса учреждений образования оснащена компьютерами, работающими под управлением DOS различных версий. С другой стороны FoxPro позволяет без дополнительных трудовых затрат перейти к программированию для компьютеров, оснащенных системными оболочками Windows 3.XX или операционной системой Windows 95. Определенную роль в выборе системы программирования сыграла оценка объема обрабатываемых баз данных.

Опыт нашей работы показывает, что на всех этапах создания и сопровождения системы учета кадров, основное внимание необходимо уделять методической и организационной деятельности. По указанной причине основное внимание в статье уделено мероприятиям, которые позволяют повысить эффективность работы и точность заносимой информации. Информационная система имеет три организационных уровня, которые соответствуют структуре системы образования: область, район, учреждение. Для работы на всех уровнях используется один и тот же программный модуль. Без внесения изменений в программу возможно организовать работу и на уровне «Республика». Кроме того, наличие одного программного модуля позволяет упростить процесс создания справочной системы, стандартизировать работу пользователя.

## 9. Вычислительная техника в образовании

Практика показывает, что наилучшей результативности в работе можно достигнуть только в том случае, когда на каждом из указанных уровней выполняется строго определенная система действий. На высшем уровне (область) происходит разработка программы, методики ее внедрения и сопровождения, ежегодная сверка занесенных данных. На уровне района собираются и проверяются базы данных, подготовленные в учреждениях. Главными учреждениями нижнего уровня являются средние школы, в которых находятся центры микрорайонов. На территории микрорайонов расположены базовые школы, дошкольные и внешкольные учреждения. Уровни район и школа получили название соответственно первого и второго пользовательских уровней, уровень области – «управленческий уровень». Кратко опишем отдельные аспекты работы на каждом из них. Предварительно необходимо отметить, что эксплуатация системы на всех уровнях ведется без специального финансирования процесса сопровождения и организационно-методических мероприятий.

Массовая эксплуатация системы на втором пользовательском уровне стала возможной благодаря успешному началу реализации Программы информатизации системы образования, принятой Брестским облисполкомом решением № 2 от 16 января 1997 года. Реализация указанной программы позволит установить в 1998 году во всех средних и частично базовых школах хотя бы один современный компьютер. Последнее даст возможность организовать занесение данных о педагогических кадрах всех учреждений, находящихся на территории микрорайона школы ее работником, чаще всего – учителем информатики. Систематическая работа пользователя второго уровня позволяет иметь точную и своевременную информацию о педагогических кадрах области. Кроме того, внедрение справочных систем, аналогичных системе «Учет педагогических кадров» значительно расширяет области применения дорогостоящей техники за рамки школьного предмета «Информатика».

Основная сложность работы на первом пользовательском уровне – отсутствие квалифицированных специалистов, которые могут применять

компьютер в процессе делопроизводства и планирования. С другой стороны, специалисты районного (городского) отдела образования – основные потребители педагогической информации. Разрешение указанного противоречия позволило в 1997 году, впервые в республике, провести полную компьютерную сверку педагогических кадров области.

На управленческом уровне главной задачей является организация процесса внедрения и эксплуатации системы. На примере одного из частных решений покажем отдельные стороны деятельности по созданию и управлению информационной системой «Учет педагогических кадров».

В процессе эксплуатации справочной системы на управленческом уровне возникла необходимость классификации стандартной информации, которая представлена в тридцати двух справочниках. К первому классу отнесены справочники, которые не могут быть изменены на пользовательских уровнях. Например, справочники квалификационных категорий педагогов, видов образований и т.д. Ко второму классу отнесены условно-изменяемые справочники (список названий предметов, должностей и т.д.). Информация в них может быть изменена пользователем, но вносимые коррективы должны быть незначительны и контролироваться на первом пользовательском и управленческом уровнях. Основная роль такого контроля – предотвращение роста размеров справочников и внесения ошибочной информации. Изменения в справочниках третьего уровня практически не контролируются из-за того, что эта работа малоэффективна (большие размеры справочников, редкость использования в процессе эксплуатации и др.). Примерами таких справочников являются списки законченных педагогами учебных заведений, учреждений повышения квалификации и другие. Необходимость наличия таких справочников должна строго отслеживаться на всех этапах создания информационных систем.

Таким образом, в процессе создания, внедрения и эксплуатации справочно-информационной системы «Учет педагогических кадров» на всех указанных выше уровнях получило развитие следующее положение:

целесообразно проведение классификации справочной информации используемых баз данных.

К общим выводам нами могут быть отнесены следующие:

1). Структура справочно-информационных систем, организация процесса их эксплуатации должны строго соответствовать структуре управления учреждениями образования.

2). В процессе сопровождения справочно-информационных систем в образовании приоритетное направление приобретает комплекс организационно-методических мероприятий, к числу которых относятся выделение уровней эксплуатации системы, обучение пользователей и т.д.

В связи со сказанным выше в программу повышения квалификации учителей информатики включен модуль: «Использование новых информационных технологий в процессах учета и планирования работы учреждений образования». В содержание модуля, кроме изучения справочно-информационных систем, используемых в образовании, вошли системы составления расписания занятий.

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТУДЕНТАМИ ПЭВМ ДЛЯ РАСЧЕТА И САМОКОНТРОЛЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ И ТИПОВЫХ РАСЧЕТОВ**

*Кирилюк Н. И., Панасюк И.М.*

*Брестский политехнический институт*

Владение наиболее прогрессивными и рациональными методами организации самостоятельной учебной деятельности студентов - один из путей решения задачи повышения качества подготовки специалистов с высшим образованием.

Одной из многочисленных форм контроля степени усвоения студентами учебного материала, является выполнение расчетно-графических работ (РГР). При этом эффективность данной формы самостоятельной работы студентов зависит от ее организации не только со стороны преподавателя, но и со стороны обучаемых (т.е. возможность поэтапного контроля выполнения задания; разнообразие вариантов, средств и методов их выполнения; гибкость системы расчетно-графических заданий и т.д.) [1].

Система заданий РГР, с нашей точки зрения, должна удовлетворять следующим требованиям: 1)обеспечение индивидуальности заданий при любом числе студентов на потоке; 2)возможность генерирования заданий с разнообразной схемной топологией и сложностью; 3)наличие прикладных программ и программных пакетов (таких например как «EUREKA», «MERCURY», «MATHCAD», «MATHLAB», «MATHEMATICA» и т.п.); 4)наличие у преподавателя опорных числовых значений рассчитываемых в РГР величин.

На кафедре автоматизации технологических процессов и производств БПИ накапливается опыт разработки и использования программ генерирования и расчета заданий к РГР, как собственной разработки («ТОК», «ELK», «VED1») [2,3], так и любезно предоставленные коллегами из других вузов («ТОЕ1», «ТОЕ2», «ТОЕ3»). Эти программные продукты, используемые преподавателями кафедры в течение почти шести лет, позволили сгенерировать около пяти тысяч вариантов индивидуальных заданий по различным типовым расчетам (расчет электрической цепи постоянного тока; расчет электрической цепи однофазного синусоидального тока; расчет трехфазной электрической цепи; расчет переходных процессов классическим и операторным методами и т.д.).

Используемые программы обеспечивают генерацию заданий в форме распечаток исходных параметров электрических схем разнообразной топологии и сложности, что позволяет успешно организовать самостоятельную индивидуальную работу студентов. Наличие у

преподавателя распечаток всех вариантов числовых значений величин (рассчитываемых в РГР), качественно упрощает проверку и поэтапный контроль за ходом выполнения задания, как со стороны преподавателя, так и со стороны студента. Самоконтроль, при выполнении задания различными методами расчета одной и той же электрической цепи, позволяет студенту исключить ошибки в расчетах до сдачи РГР преподавателю на проверку, и тем самым дает возможность освободиться от лишней рутинной работы, сосредоточившись на более творческой - анализе полученных результатов расчета.

Одной из основных целей внедрения ПЭВМ в учебный процесс, является разгрузка студентов от выполнения трудоемких математических расчетов и построений графиков, при которых не всегда обеспечивается надлежащая точность и графика.

В плане приобретения практических навыков в решении широкого спектра заданий электротехнического профиля и повышения качества выполнения РГР, мы считаем, является положительный опыт использования студентами вышеупомянутых прикладных программных пакетов. Богатый набор встроенных математических функций (возможность работы с комплексными числами, системами уравнений, графическое и табличное представление результатов расчета и т.п.), позволяет значительно повысить интенсивность работы студентов и улучшить качество РГР.

### Литература:

1. Беспалько В.П., Талатур Ю.Г. Системно-методическое обеспечение учебно-вспомогательного процесса подготовки специалистов. -М.: «Высшая школа», 1989.
2. Клопоцкий А.В., Панасюк И.М. Роль самостоятельной работы в профессиональной подготовке инженеров строителей при изучении



- курса электротехники. XXI научно-техническая конференция в рамках проблемы «Наука и мир». Тез. Докл. Ч.1.,- Брест. Политех. Ин-т.,1994.
3. Кузнецов В.С., Малащицкая Н.В. Использование ПЭВМ в самостоятельной работе студентов. Компьютеризация учебного процесса по курсам «Электротехника и основы электроники» и «Теоретические основы электротехники». Научно-методич. Семинар. Тез. докл.-Астрахан. Технич. Ин-т рыбн. Пром-ти и хоз-ва.,1992.

## СОДЕРЖАНИЕ

3. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ.....	3
Головко В.А. Нейроинтеллект: проблемы и исследования.....	3
Головко В.А., Дунец А.П., Левонюк Д.Н. Метод обучения многослойной нейронной сети.....	8
Головко В.А. Интеллектуальная нейронная система для автономного управления мобильным роботом.....	15
Димаков В.М. Нейронная система планирования маршрута для транспортного робота.....	25
Головко В.А., Николайчук Д.Ю., Климович А.Н. Нейронные сети для управления мобильным роботом.....	33
Савицкий Ю.В. Архитектура и алгоритм обучения нейронной сети прогнозирования.....	41
Савицкий Ю.В., Ваткин М.Е., Поляков М.М. Нейросетевые технологии в задачах прогнозирования.....	48
Телятников Р.В., Спиридонов С.В. Модификация структуры нейронной сети прямого распространения и алгоритма ее обучения.....	49
Костомаров В.В. Хвещук В.И. Подсистема визуального конструирования моделей нейронных сетей и экспериментов.....	54
Костюк Д. А., Хвещук В. И. Подсистема генерации нейронных сетей и проведения экспериментов.....	58
Пашкевич А.П., Пашкевич М.А., Антонов Е.П. Применение генетических алгоритмов для оптимизации распределения технологических операций между роботами.....	62
Громов Д.В. Генетические алгоритмы в задачах параметрической оптимизации систем с переменной структурой.....	66
Н.В.Водополова Система показателей анализа динамических рядов показателей.....	70
4. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ И АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	74
Селиханович А.М. Алгоритм выделения информативных признаков изображений на основе ортогонального базиса Уолша.....	74
Садыхов Р.Х., Мачнев А.Г., Селиханович А.М. Алгоритм выделения областей металлизации на изображениях топологических слоев кристалла СБИС.....	78
Садыхов Р.Х., Ракуш В.В. Алгоритмы векторного квантования в системе идентификации речевых сигналов.....	83

Садыхов Р.Х., Муравин А.Л. Алгоритмы распознавания рукописных символов на основе кольцевых и секторных моментных функций.....	88
Вершок Д.А. Алгоритм выделения эллиптических объектов основанный на преобразовании Хафа и использовании геометрических свойств объектов.....	92
Селингер М. Л. Быстрый алгоритм вычисления центральных моментов двумерных изображений.....	97
Шуть В. Н. Головкин В. А. Распознавание неизвестной структуры соединений.....	101
Одинец Д.Н. Сжатие изображений рукописных символов на основе клеточной логики.....	104
Калабухов Е.В. Концепция построения системы распознавания рукописных символов.....	109
Маленко О.Г. Исследование и устранение разрывов в задачах структурного распознавания рукописных символов.....	113
6. ДИАГНОСТИКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.....	118
Калоша Е.П., Грудовик К.В. Алгоритм поиска целевых сигналов в генераторе тестов с использованием метода временных диаграмм.....	118
Махнист Л. П. Сравнительный анализ достоверности некоторых методов компактного тестирования.....	122
Махнист Л. П. Сигнатурные анализаторы с одинаковыми границами достоверности.....	126
Данилов М.А. Обзор новых способов тестирования FPGA.....	129
Янушкевич А.И. Построение неизбыточных IDDQ тестов.....	133
Шмидман А.М. Синтез генератора тестовых воздействий для самотестирования аналого-цифровых устройств.....	137
Климец Ю.В. Разработка методов неразрушающего тестирования ОЗУ на основе адаптивного сигнатурного анализа.....	142
Иванюк А.А. Методы повышения достоверности адаптивного сигнатурного анализа.....	147
Хомич О. В. Алгоритмические и программные средства синтеза самотестируемых СБИС.....	152
Мурашко И.А., Малащенко В.С. Методика вычисления дискретного логарифма.....	157
5. МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИНТЕЗ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	161
Anatoly Prihozhy and Redouane Merdjani Methods and tools for high and system level synthesis.....	161

Прихожий А.А. Алгебра частичной логики.....	168
Поттосян Ю. В., Шестаков Е. А. Сведение декомпозиции системы частичных булевых функций к покрытию графа полными двудольными подграфами.....	174
Капанов Н. А., Кузнецов А. П., Батура М. П. Анализ нелинейных дискретных систем при случайных воздействиях.....	178
Лялько А. П. Использование аппарата маркированных графов для описания поведения управляющих автоматов.....	182
Радишевский В.А. Система имитационного моделирования мультипроцессорных управляющих вычислительных комплексов реального времени.....	186
Соловьев В.В., Ожигина М.П., Васильев А.Г. Применение PLD для синтеза управляющих автоматов.....	190
Луцик Ю.А., Клыга А.И. Модели динамически реконфигурируемых CPLD.....	196
<b>6. ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....</b>	<b>202</b>
Дереченник С.С., Склипус Б.Н. Сравнительный анализ локальных сетей контроллеров мониторинговых систем.....	202
Матюшков Л.П., Муравьев Г.Л., Мухов С.В. Использование динамических мониторинговых систем как средства повышения мобильности ППП бухгалтерского учета.....	206
Кухта С.В., Косяк Л.Н., Глебо А.Н. Синтез оптимальных логических структур распределенных банков данных в информационно- вычислительных сетях.....	209
Зинькович В.В., Подскробко Н.И. К вопросу о проектировании компьютерных обучающих систем.....	213
Дереченник С.С., Склипус Б.Н., Четверкина Г.А. Методологическая концепция синтеза микропроцессорной системы мониторинга сложного объекта.....	215
Суиков В.А., Хвещук В.И. Некоторые аспекты использования систем поддержки решений на предприятиях.....	220
Гладышук В.Б., Кузавко Ю.А., Склипус Б.Н. Особенности акустики биологических сред.....	224
Савастюк Е.В. Разработка программных средств сжатия графической информации фрактальным способом.....	232
Стадник А.Н., Хвещук В.И. Программная система автоматизации составления учебных планов и распределения учебной нагрузки.....	234

Куванов Ю.А., Хвещук В.И. Разработка информационной системы "Филателия".....	236
Сегенчук А.А., Хвещук В.И. Разработка средств автоматизации проектирования информационных систем.....	237
Ивкин А.В. Новые технологии построения программного обеспечения систем технического зрения и распознавания.....	240
Калюта А.Г. Основные подходы к автоматизированному перепроектированию логических схем.....	245
Косинов Г.П., Шибeko В.Н. Технология создания адаптируемых АРМ.....	249
<b>8. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ.....</b>	<b>253</b>
Босьяков М.Н., Грунский Д.И., Жук Д.В. Получение пленок аморфного гидрогенизированного кремния в комбинированном разряде.....	253
Босьяков М.Н., Грунский Д.И., Жук Д.В. Контроль процесса осаждения пленок a-Si:H. в силансодержащей плазме.....	257
Котов Д.А., Сवादковский И.В., Дудин С.И. Высокоточное ионно-лучевое устройство предназначенное для ионного ассистирования.....	262
Дудкин А.А., Мачнев А.Г., Поденок Л.П. Проблема восстановления топологии и перепроектирования цифровых интегральных схем.....	263
Афанасьев А.А., Писарик В.В., Гоголинский В.Ф., Марков А.П. Математическое моделирование информационных процессов в оптико-электронных преобразователях физических параметров сред.....	266
Карпук М.М., Кузавко Ю.А., Склипус Б.Н. Электронно-управляемые составные пьезокерамические преобразователи.....	271
Карпук М.М., Кузавко Ю.А., Склипус Б.Н. Нормальное распространение акустических волн в слоистой структуре с магнито- акустическим слоем.....	279
Бусел Н.П. Оптимизация растрового сопряжения оптоэлектронного датчика для коммутации бесколлекторного электродвигателя.....	285
Гоголинский В.Ф., Афанасьев А.А., Писарик В.В. Совершенствование средств автоматического размерного контроля в машиностроении.....	289
Марков А.П., Тихонов А.В. Микропроцессорная и световодная техника в информационно-диагностических системах контроля сред.....	293
Скрябина Г.И., Сеница М.А., Сеница А.Н. Применение компьютерных методов обработки информации при магнитографическом контроле изделий из ферромагнитных материалов.....	296
Калина В.А., Кузнецов А.П., Батура М.П. Анализ импульсного стабилизатора напряжения с широтно-импульсным управлением.....	301

Козак А.Ф., Суслов В.А. Методика проектирования схемы электропитания для кабинета вычислительной техники.....	306
Овсянников Г.Н. Особенности контроля качества источников света.....	310
Овсянников Г.Н. Оценка качества продукции с учетом случайных факторов.....	313
Парфенович О.Н., Кебеде Д.Н. Регулируемый асинхронный электродвигатель в электромеханотронном исполнении.....	316
Ковалев Л.М., Жидунова С.Е., Бураковский С.А. Моделирование процесса диагностирования асинхронного электродвигателя.....	319
<b>9. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ОБРАЗОВАНИИ.....</b>	<b>324</b>
Маркевич К.М., Наумчик В.Н. Рейтинговая система как информационная система состояния обучения по дисциплине.....	324
Гладковский В.И., Панасюк И.М. Системный подход к качеству подготовки специалистов с высшим образованием при использовании рейтинговых технологий обучения.....	327
Матюшков Л.П., Муравьев Г.Л., Мухов С.В., Лысюк И.А. Новые производственные отношения в сфере учета и проблемы обучения компьютерной бухгалтерии.....	331
Муравьев Г.Л., Кирьянов А.П., Лысюк И.А. О построении автоматизированных систем обучения (АСО) алгоритмизации и программированию.....	335
Козинский А. А. Особенности эксплуатации информационных систем в учреждениях образования брестской области.....	338
Кириллюк Н. И., Панасюк И.М. Использование студентами ПЭВМ для расчета и самоконтроля при выполнении расчетно-графических заданий и типовых расчетов.....	342

Научное издание

## **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ**

Труды X научно-технической конференции профессорско-  
преподавательского состава, аспирантов и студентов

(31 марта - 1 апреля 1998 года)

Часть 2

Ответственный за выпуск  
и научный редактор

М.В. Голуб

Редактор

Т.В. Строкач

Художественный редактор

Я.А. Акулич

Технический редактор

Н.В. Кудинов

Компьютерный дизайн  
и верстка

А.П. Дунец

Подписано в печать 20.03.98. Формат 60x84/16. Бумага CopyRex.  
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л.20,46.Уч.-изд. л. 22.Заказ №180  
Тираж 100 экз. Отпечатано на ризографе Брестского политехнического  
института. 224017, г. Брест, Московская, 267.