

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Киберпреступность // Центр исследования компьютерной преступности [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://www.crime-research.ru/news/05.09.2007/3793/>. – Дата доступа: 27.11.2007.
2. Пресс-Центр // Антивирус ВирусБлокАда [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа: <http://www.antivirus.by/press/viruses/1485.html>. – Дата доступа: 25.08.2007.
3. Касперский, Е. Компьютерное зловредство / Е. Касперский. – СПб.: Питер, 2007. – 208 с.
4. Касперский, К. Записки исследователя компьютерных вирусов / К. Касперский. – СПб.: Питер, 2006. – 316 с.
5. Куприянов, А.И. Основы защиты информации / А.И. Куприянов, А.В. Сахаров. – М.: Академия, 2006. – 256 с.
6. Зайцев, О.В. Rootkits, spyware/adware, keyloggers & backdoors: Обнаружение и защита / О.В. Зайцев. – СПб.: BHV-Санкт-Петербург, 2006. – 304 с.
7. Проактивность как средство борьбы с вирусами // Интернет-безопасность [Электронный ресурс]. – 1996. – Режим доступа: <http://www.viruslist.com/ru/analysis?pubid=189544544>. – Дата доступа: 15.05.2008.
8. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М.: Вильямс, 2005. – 1424 с.
9. Дасгупта, Д. Искусственные иммунные системы и их применение / Д. Дасгупта; под ред. Д. Дасгупта. – М.: Физматлит, 2006. – 344 с.
10. Головкин, В.А. Нейронные сети: обучение, организация, применение / В.А. Головкин // Нейрокомпьютеры и их применение : учеб. пособие / В.А. Головкин. – М., 2001. – 256 с.
11. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.
12. Яхъяева, Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети / Г.Э. Яхъяева. – М.: Бином.ЛЗ, 2008. – 316 с.
13. Безобразов, С.В. Искусственные иммунные системы для защиты информации: применение LVQ сети / С.В. Безобразов // Нейроинформатика-2007: материалы IX Всеросс. науч.-техн. конф., Москва, 23–26 января 2007 г. / Московский инженерно-физический институт (государственный университет). – Москва, 2007. – С. 27–35.
14. Безобразов, С.В. Искусственные иммунные системы для защиты информации: обнаружение и классификация компьютерных вирусов / С.В. Безобразов, В.А. Головкин // Научная сессия МИФИ «Нейроинформатика»: материалы Всеросс. науч. конф., МИФИ, Москва, 20–23 янв. 2008. – Москва, 2008. – С. 23–27.
15. Bezobrazov, S. Neural Networks for Artificial Immune Systems: LVQ for Detectors Construction / S. Bezobrazov, V. Golovko // IDAACS'2007: proceedings of the 4 IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – Dortmund, 2007. – P. 180–184.
16. Bezobrazov, S. Neural networks and artificial immune systems – malware detection tool / S. Bezobrazov, V. Golovko // ICNNAI'2008: proceedings of the 5 International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence, Minsk, 27–30 May 2008. / Brest State University of Informatics and Radioelectronics. – Minsk, 2008. – P. 49–52.

Материал поступил в редакцию 19.11.09

BEZOBRAZOV S.V., GOLOVKO V.A. The Neuronet Immune System for Malware Detection: the Principles of Construction

The principles of the neuronet immune system construction for unknown malicious software detection are proposed. Research results are submitted.

УДК 004.5;621.38

Бутов А.А.

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ОДНОСВЯЗНЫХ И МНОГOSВЯЗНЫХ МНОГОУГОЛЬНИКОВ В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИИ СБИС

Введение. При производстве многих микроэлектронных устройств возникает задача формирования топологических структур на металлизированных фотошаблонах [1]. Эти структуры формируются с помощью специальных генераторов изображений, которые строят топологию на фотошаблоне из наборных элементов в виде прямоугольников различных размеров. Вначале топологические структуры представляются в векторной форме набором простых замкнутых ломаных, однако далее для каждой из этих структур формируется изображение, которое получается путем пошагового экспонирования отдельных областей структуры в виде прямоугольников, объединение которых дает изображение всей структуры с заданной точностью. Для получения изображения прямоугольника на экспонируемой поверхности используется перемещаемая диафрагма прямоугольной формы с регулируемыми размерами и ориентацией.

Автоматизированные системы подготовки топологической информации для микрофотонаборных генераторов изображений должны решать целый ряд достаточно сложных задач логико-комбинаторного характера [2, 3]. В настоящей работе предлагается описание метода решения одной из частных задач, которая связана с формированием односвязных и многосвязных многоугольников. Необходимость решения этой задачи обусловлена тем, что исходная топологическая информация, которая обычно задается множеством простых ломаных (контуров), не может быть непосредственно использована для решения задач покрытия элементов топологии СБИС прямоугольниками [4, 5], так как оказывается невозможным распознать, описывает ли очередной контур часть поверхности,

подлежащей покрытию, или это описание той внутренней части поверхности, которую не нужно покрывать.

Основные определения, постановка задачи. Точки плоскости a и b , заданные соответственно координатами (x_a, y_a) и (x_b, y_b) в декартовой системе, где x и y – переменные, связанные соответственно с осью абсцисс Ox и с осью ординат Oy , совпадают, если $x_a = x_b$ и $y_a = y_b$. Если хотя бы одно из этих равенств не выполняется, то точки считаются различными. *Отрезком ab* называется пара различных точек a и b плоскости, соединенных прямой линией. Точки a и b отрезка ab называются *граничными*. Рассмотрим различные точки плоскости a, b, c, d, \dots, m, n . Соединим эти точки отрезками $ab, bc, cd, \dots, mn, na$. Получим замкнутую ломаную, которую обозначим через $L = abcd\dots mn$. Точки a, b, c, d, \dots, m, n называются *вершинами* ломаной L , а отрезки $ab, bc, cd, \dots, mn, na$ – ее *сторонами*.

Два отрезка пересекаются, если существует хотя бы одна точка плоскости, принадлежащая каждому из них. Если такая точка отсутствует, то отрезки не пересекаются.

Замкнутая ломаная L является *простой*, если любая точка, общая для двух ее сторон, является граничной для этих и только для этих сторон. В дальнейшем простую ломаную будем называть *контуром*.

Два контура L_1 и L_2 не пересекаются, если ни одна из сторон контура L_1 не пересекается ни с одной из сторон контура L_2 .

Рассмотрим некоторый контур L . Этот контур делит плоскость на

Бутов А.А., аспирант Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси. Беларусь, ОИПИ НАН Беларуси, 220012, г. Минск, ул. Сурганова, 6.

две части. Одна часть содержит точки плоскости, находящиеся внутри контура L и на его сторонах, другая – точки плоскости, находящиеся вне контура L . Под *многоугольником* $M(L)$ будем понимать часть плоскости, находящуюся внутри контура L и на его сторонах.

Контур L_2 является вложенным в контур L_1 , если контуры L_1 и L_2 не пересекаются и многоугольник $M(L_1)$ содержит в себе все точки многоугольника $M(L_2)$.

Более общим является понятие *многосвязного* многоугольника $M(L_1, \{L_2, \dots, L_g\})$, которое основывается на рассмотрении последовательности непересекающихся контуров L_1, L_2, \dots, L_g . В этой последовательности контур L_1 называется *внешним* контуром многосвязного многоугольника. Контуры L_2, \dots, L_g называются *внутренними* контурами многосвязного многоугольника, так как каждый из них является вложенным в контур L_1 (однако никакая пара внутренних контуров не находится между собой в отношении вложенности). Многосвязный многоугольник $M(L_1, \{L_2, \dots, L_g\})$ содержит точки плоскости, находящиеся на сторонах представляющих его контуров, а также точки плоскости, находящиеся внутри внешнего контура, но не внутри внутренних контуров.

С учетом сказанного, обычный многоугольник $M(L)$ можно называть также *односвязным* многоугольником и записывать как $M(L, \{\emptyset\})$.

Необходимо отметить, что современные автоматизированные системы подготовки топологической информации для микрочитателей изображений используют методы и алгоритмы нахождения покрытий прямоугольниками только таких элементов топологии, которые описываются посредством односвязных и многосвязных многоугольников [4,5]. Так как информация о топологических структурах, поступающая на вход автоматизированной системы, обычно представлена в виде неупорядоченного множества контуров, то в настоящей работе рассматривается следующая задача.

На основе топологической информации, представленной в виде множества контуров L_1, L_2, \dots, L_n , необходимо сформировать последовательность из односвязных и многосвязных многоугольников, корректно описывающих исходные элементы топологии. Тем самым, решение данной задачи позволит перейти к решению задач следующего этапа – поиску покрытий элементов топологии прямоугольниками.

Формирование односвязных и многосвязных многоугольников. Метод формирования односвязных и многосвязных многоугольников проиллюстрируем на примере множества попарно непересекающихся контуров L_1, L_2, \dots, L_{11} (рис. 1), поступающих на вход автоматизированной системы подготовки топологической информации.

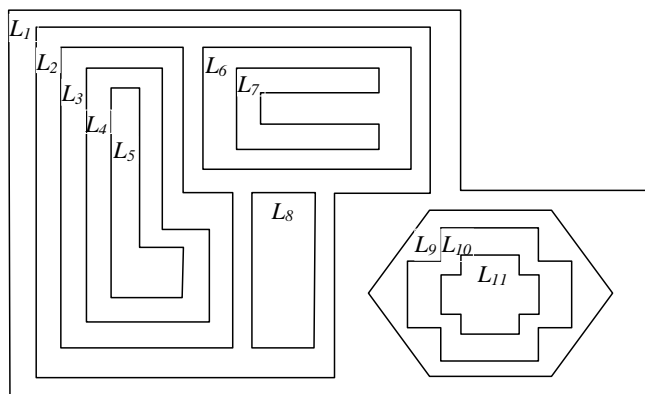


Рис. 1. Исходное множество контуров L_1, L_2, \dots, L_{11}

Это множество контуров описывает топологию СБИС, которая представлена на рисунке 2 (затемненные области будут подвергаться экспонированию посредством генератора изображений).

Таким образом, все контуры исходного описания топологической структуры можно разбить на два класса: в один класс входят контуры, которые являются внешними, а в другой класс – внутренними для односвязных и многосвязных многоугольников, являющихся

элементами данной топологической структуры. Для рассматриваемого примера контуры $L_1, L_3, L_5, L_6, L_8, L_{10}$ являются внешними, а контуры $L_2, L_4, L_7, L_9, L_{11}$ – внутренними для многоугольников (односвязных и многосвязных), описывающих топологическую структуру, показанную на рис. 2.

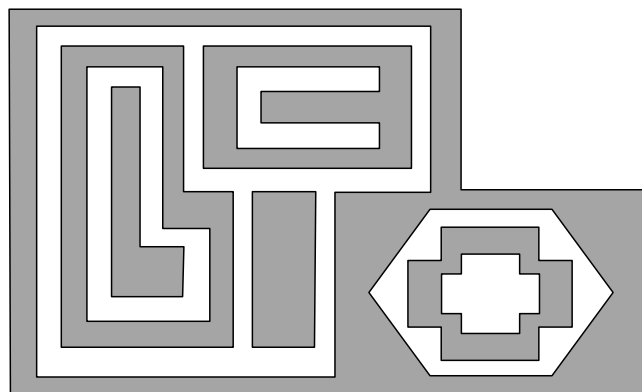


Рис. 2. Элементы топологии, подлежащие экспонированию

Построим ориентированный граф G по следующему правилу: вершины графа G ставятся в соответствие контурам L_1, L_2, \dots, L_n , а две вершины L_i и L_j соединяются дугой (выходящей из L_i и входящей в L_j), если контур L_j является вложенным в контур L_i .

Для нашего примера граф G будет выглядеть так, как показано на рис. 3. Матрица смежности R графа G представлена на рис. 4.

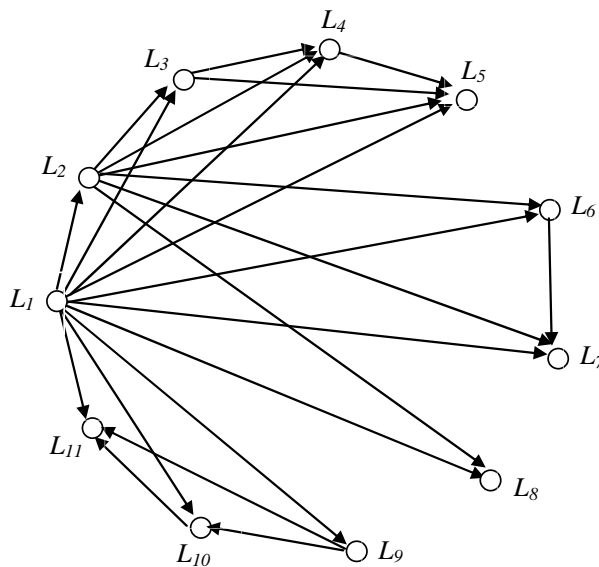


Рис. 3. Граф G отношения включения между контурами L_1, L_2, \dots, L_{11}

В матрице смежности R графа G число единиц в любой строке будет равно полустепени исхода вершины графа, соответствующей этой строке, а число единиц в любом столбце – полустепени захода вершины, соответствующей данному столбцу.

Поиск односвязных и многосвязных многоугольников, описывающих элементы топологической структуры, заключается в анализе строк и столбцов матрицы смежности R графа G .

В частности, подсчет числа единиц в столбцах матрицы смежности R позволяет сделать следующие выводы:

- если столбец матрицы смежности содержит четное число единиц, то соответствующий этому столбцу контур является внешним контуром некоторого многоугольника (односвязного или многосвязного). При этом, если соответствующая такому столбцу строка матрицы смежности не содержит ни одной единицы, то данный контур

является внешним контуром односвязного многоугольника, иначе – внешним контуром многосвязного многоугольника;

- если столбец матрицы смежности содержит нечетное число единиц, то соответствующий этому столбцу контур является внутренним контуром некоторого многосвязного многоугольника. При этом, если соответствующая такому столбцу строка матрицы смежности не содержит ни одной единицы, то данный контур является внутренним контуром, расположенным на самом нижнем уровне иерархии вложенности контуров друг в друга.

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}
L_1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L_2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
L_3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
L_4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
L_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
L_7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
L_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
L_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 4. Матрица смежности R графа G

Предлагаемый метод формирования односвязных и многосвязных многоугольников включает в себя следующие шаги.

1. Путем перестановки строк матрицу смежности R преобразуем в секционированную матрицу S , которая будет обладать следующими двумя свойствами: все ее строки упорядочены в порядке возрастания числа единиц, содержащихся в строках, и все строки, имеющие одинаковое число единиц, включены в одну и ту же секцию. При этом число секций матрицы S будет равно максимальной глубине вложенности контуров множества L_1, L_2, \dots, L_n друг в друга.
2. Создаем вспомогательное множество T^* , элементами которого могут быть те контуры из множества L_1, L_2, \dots, L_n , которые являются внутренними контурами многосвязных многоугольников. Получаем: $T^* = \emptyset$.
3. Перебираем контуры, соответствующие строкам первой секции матрицы S , и для каждого контура L_i определяем, является ли он внешним или внутренним контуром некоторого многоугольника (односвязного или многосвязного). Для этого анализируем столбец матрицы S , соответствующий рассматриваемому контуру. Если столбец содержит нечетное число единиц, то это внутренний контур. В случае четного числа единиц формируем пару (L_i, \emptyset) и начинаем анализировать элементы вспомогательного множества T^* , если оно не пусто. Если множество T^* содержит элемент L_r , для которого в графе G существует дуга, выходящая из вершины L_i и заходящая в вершину L_r (то есть в матрице смежности R на пересечении i -ой строки и r -го столбца стоит единица), то пару (L_i, \emptyset) заменяем парой $(L_i, \{L_r\})$, а элемент L_r удаляем из множества T^* . Если множество T^* не пусто, то снова проверяем, содержит ли оно элемент L_s , для которого в графе G существует дуга, выходящая из вершины L_i и заходящая в вершину L_s . Если такая дуга существует, то пару $(L_i, \{L_r\})$ заменяем парой $(L_i, \{L_r, L_s\})$, а элемент L_s удаляем из множества T^* . Такой процесс проверки элементов множества T^* для контура L_i заканчивается после просмотра всех элементов множества T^* . В результате будет сформирована пара $(L_i, \{L_r, L_s, \dots, L_t\})$, которая представляет многосвязный многоугольник $M(L_i, \{L_r, L_s, \dots, L_t\})$, включаемый в искомое решение. В частности, пара может сохранить первоначальный вид (L_i, \emptyset) и тогда будет найден односвязный многоугольник $M(L_i, \{\emptyset\})$.

После перебора всех строк первой секции матрицы S будет найдено столько многоугольников (односвязных и/или многосвязных), сколько внешних контуров задано строками этой секции. Далее все внутренние контуры, заданные строками первой секции, добавляются в множество T^* . После этого все описанные в этом пункте действия повторяются для строк второй секции, затем третьей и т.д. до тех пор, пока не будут обработаны все секции матрицы S . При этом множество T^* снова окажется пустым.

Продолжим рассмотрение примера. По матрице смежности R построим секционированную матрицу S , которая показана на рис. 5.

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}
L_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
L_6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
L_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
L_3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
L_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
L_2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
L_1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. 5. Секционированная матрица S

Выполним анализ контуров, заданных строками первой секции матрицы S . В этой секции первым задан контур L_5 . Анализируем столбец матрицы S , соответствующий этому контуру, и видим, что этот столбец содержит четное число единиц (4). Так как вначале $T^* = \emptyset$, то в итоге получаем пару (L_5, \emptyset) , представляющую односвязный многоугольник $M(L_5, \emptyset)$, который включаем в искомое решение. Следующим является контур L_7 , однако столбец матрицы S , соответствующий этому контуру, содержит нечетное число единиц (3), следовательно, это внутренний контур некоторого многосвязного многоугольника. Аналогичным образом анализируем контуры L_8 и L_{11} , также заданные строками первой секции, и находим еще один односвязный многоугольник $M(L_8, \emptyset)$, который также включаем в решение. Контур L_{11} оказывается внутренним контуром. Закончив анализ строк первой секции матрицы S , пополняем множество T^* , получая в итоге:

$$T^* = \{L_7, L_{11}\}.$$

В результате анализа строк второй секции матрицы S формируем два многосвязных многоугольника:

$$M(L_6, \{L_7\}), M(L_{10}, \{L_{11}\}),$$

которые включаем в решение, после чего корректируем множество T^* :

$$T^* = \{L_4\}.$$

В результате анализа строк третьей секции матрицы S формируем многосвязный многоугольник

$$M(L_3, \{L_4\})$$

и корректируем матрицу T^* :

$$T^* = \{L_9\}.$$

В результате анализа строк четвертой секции матрицы S выполняем только корректировку множества T^* :

$$T^* = \{L_2, L_9\}.$$

В результате анализа строк пятой, последней секции матрицы S формируем многосвязный многоугольник

$$M(L_1, \{L_2, L_9\}).$$

При этом множество T^* не будет содержать ни одного элемента.

Таким образом, искомое множество односвязных и многосвязных многоугольников, описывающих слой топологии СБИС, будет следующим:

$$M(L_5, \emptyset), M(L_8, \emptyset), M(L_6, \{L_7\}), M(L_{10}, \{L_{11}\}), \\ M(L_3, \{L_4\}), M(L_1, \{L_2, L_9\})$$

или, после упрощения записи одноэлементных множеств:

$$M(L_5), M(L_8), M(L_6, L_7), M(L_{10}, L_{11}), \\ M(L_3, L_4), M(L_1, \{L_2, L_9\}).$$

Инверсное представление топологии СБИС. Представление топологии СБИС может быть как позитивным, так и негативным. Позитивное представление означает, что экспонированию посредством генератора изображений будут подвергаться области, принадлежащие односвязным и многосвязным многоугольникам, описывающим топологию СБИС (затемненные области на рис. 6).

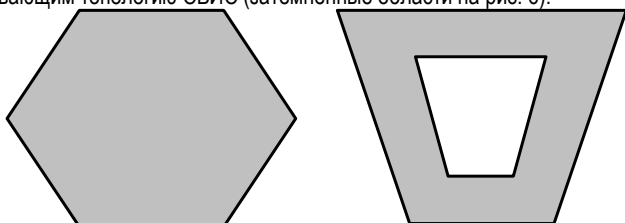


Рис. 6. Позитивное представление топологии

Негативное или инверсное представление означает, что экспонированию будут подвергаться области, не принадлежащие односвязным и многосвязным многоугольникам, описывающим топологию СБИС. Такие области экспонирования могут простираются до границ некоторого, включающего в себя все элементы топологии, ограничительного контура, как показано на рис. 7.

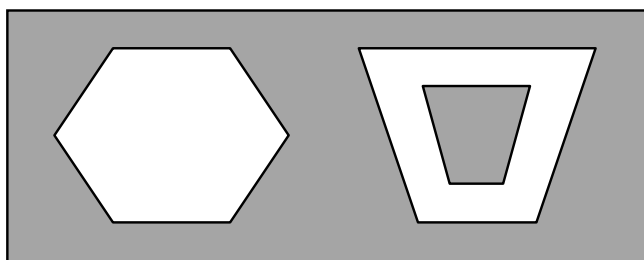


Рис. 7. Негативное (инверсное) представление топологии

Для получения инверсного представления необходимо указать координаты вершин ограничительного контура, который чаще всего имеет прямоугольную форму. Кроме того, возможна инверсия представления не всех элементов, составляющих топологию, а только некоторых из них.

Типовое решение задачи инверсного представления топологии СБИС заключается в добавлении к исходному множеству контуров L_1, L_2, \dots, L_n одного или нескольких контуров, задающих соответствующие ограничительные области, после чего к полученному расширенному множеству контуров применяется описанный выше метод формирования односвязных и многосвязных многоугольников.

Однако если топология СБИС уже представлена в виде множества односвязных и многосвязных прямоугольников, а инверсию представления необходимо выполнить для всех элементов топологии, то решение такой задачи может быть получено более простым способом. Это упрощение основано на следующем соображении.

Выполнение операции инверсии представления приводит к тому, что в матрицу смежности R будут добавлены: новый столбец справа, состоящий из одних нулей, и новая строка снизу, содержащая единицы во всех позициях, кроме крайней правой. Очевидно, что это приведет к тому, что во всех столбцах, за исключением крайнего справа, суммарное четное число единиц изменится на нечетное, а нечетное –

на четное. А это, в свою очередь, означает, что все внешние контуры теперь станут внутренними, а внутренние – внешними.

Поэтому, если множество односвязных и многосвязных многоугольников уже найдено, то оно может быть легко преобразовано в решение для негативного представления путем преобразования внешних контуров во внутренние и наоборот. Однако при этом важен порядок преобразования, который должен соответствовать обратному порядку получения элементов решения для позитивного представления топологии.

Снова обратимся к рассмотренному ранее примеру, где в рамках позитивного представления топологии было получено следующее решение:

$$M(L_5), M(L_8), M(L_6, L_7), M(L_{10}, L_{11}), \\ M(L_3, L_4), M(L_1, \{L_2, L_9\}).$$

В случае инверсного представления топологии решение будет следующим:

$$M(L^*, L_1), M(L_2, \{L_3, L_6, L_8\}), M(L_9, L_{10}), \\ M(L_4, L_5), M(L_7), M(L_{11}),$$

где через L^* обозначен контур, задающий ограничительную область. Полученное множество многоугольников описывает топологию СБИС, представленную на рис. 8.

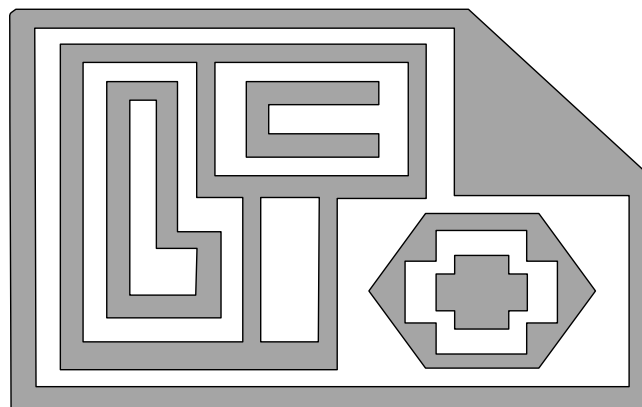


Рис. 8. Инверсное представление топологии СБИС

Заключение. В данной работе описан метод, который на основе топологической информации, представленной множеством простых замкнутых ломаных, формирует последовательность из односвязных и многосвязных многоугольников, корректно описывающих исходные элементы топологии. Метод может быть использован, в частности, в системах подготовки и оптимизации входной информации для генераторов изображений микротонаборных установок.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фейнберг, В.З. Геометрические задачи машинной графики больших интегральных схем. – М.: Радио и связь, 1987. – 178 с.
2. Шестаков, Е.А. Автоматизированная система подготовки информации для формирования фотошаблонов. Искусственный интеллект / Е.А. Шестаков, А.А. Бутов, Т.Л. Орлова, А.А. Воронов. – Донецк, 2008. – № 4. – С. 200–207.
3. Препарата, Ф. Вычислительная геометрия: введение; пер. с англ. Ф. Препарата, М. Шеймос. – М.: Мир, 1989. – 478 с.
4. Шестаков, Е.А. Декомпозиция многосвязного многоугольника в множество прямоугольников. – Вестник БрГТУ. – № 5: Физика, математика, информатика. – 2008.
5. Бутов, А.А. Анализ корректности покрытия многосвязного многоугольника / А.А. Бутов, Е.А.Шестаков // Вестник БрГТУ. – № 5: Физика, математика, информатика. – 2008. – С. 57–60.

Материал поступил в редакцию 16.09.09

BUTOV A.A. Method of forming simply connected and multiply connected polygons in the problems of designing the topology of VLSI

The problem of the formation of simply connected and multiply connected polygons based on the topological information provided by the set of simple closed polygonal lines is considered. This problem can be used, in particular, in automated systems for preparing and optimizing the input to the

microimagesetters image generators, constructing a picture from the fragments of a rectangular shape. The purpose of the work is the transformation of the original topology information in a form suitable for solving problems of covering elements of the topology with rectangles.

The subject of inquiry is multiply connected finite areas of the plane which are elements of the topology of photomasks.

The method, which is based on the topological information provided by the set of simple closed broken lines, forming a sequence of simply connected and multiply connected polygons, correctly describing the initial elements of topology, is developed. Thus, the source data are converted into a form suitable for problems of searching of covering of the topology elements with rectangles.

УДК 681.324

Савицкий Ю.В.

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ТЕСТОВОЙ ВЫБОРКИ

Введение. В настоящее время в сфере высшего технического образования наблюдается стремительное усиление интереса к автоматизации промежуточного и финального контроля результатов обучения студентов. Наиболее актуальным методом такого контроля является тестирование, основанное на диалоге вычислительной системы с пользователем [1]. Стремительный рост быстродействия компьютерных систем, появление мощных систем программирования, а также возрастающие из года в год требования к техническим знаниям специалистов увеличили потребность в производительных и объективных тестирующих системах.

В то же время детальный анализ существующих систем выявил ряд недостатков, значительно ограничивающих эффективность их практического использования в процессе обучения. Один из наиболее существенных недостатков связан с различным уровнем качества тестовой выборки (по критериям адекватности, сложности, определенности, однозначности и т.д.), предъявляемой слушателю для контроля знаний. Как показывает опыт, тестовое множество не является однородным в контексте критериев качества. Типичными ситуациями здесь являются: некорректная (слабо понимаемая) формулировка тестового задания, вариантов ответов; слабое отличие правильного и неправильных вариантов ответов; большое различие в сложности заданий и др. Наибольшую актуальность приобретает поставленная задача в случае организации тестового множества большого объема (несколько сотен вопросов), включающего несколько тематик и формируемых различными лицами (например, тестовые наборы для проведения комплексных экзаменов). Очевидно, что с этой точки зрения проблема оценивания качества тестовой выборки, являясь достаточно актуальной, относится к категории плохо формализуемой задачи, в связи с чем для ее решения предлагается использовать аппарат искусственных нейронных сетей (НС).

Нейропостановка и решение задачи исследования. Следует отметить, что нейросетевое направление является в настоящее время наиболее приоритетным в области работ, проводимых по искусственному интеллекту. Искусственные нейронные сети олицетворяют собой новую технологию обработки информации, связанную с переходом на принципиально новый нейросетевой базис. Высокая актуальность данного направления объясняется всё возрастающей потребностью в наличии эффективных средств для решения сложных нетривиальных задач в плохо формализуемых областях обработки информации [2,3]. В одной из работ, посвященных проблемам нейросетевых технологий, отмечено принципиальное различие подходов к решению задач при использовании стандартных алгоритмических методов и НС [4]. В первом случае разработка систем включает сложные этапы исследования специфики предметной области, создания алгоритмов, моделирования, проверки релевантности моделей и многочисленные опыты по методу проб и ошибок. Использование НС позволяет автоматизировать все эти процессы, обеспечивая при этом высокое качество решения задач. Широкие возможности НС по интеллектуальной обработке информации обусловлены наличием в ее архитектуре множества связанных нелинейных элементов, позволяющих организовывать высокоадаптивные нелиней-

ные фильтры с требуемой точностью. В общем случае задача нейросетевой обработки сводится к следующей постановке. Необходимо построить отображение FNN такое, чтобы на каждый возможный входной сигнал X формировался правильный выходной сигнал Y . Отображение задается конечным набором пар (<вход>, <известный выход>), называемых обучающими эталонами. Совокупность всех обучающих эталонов составляет обучающее множество НС. Процесс организации нейросетевой модели состоит из двух этапов. На первом этапе выбирается архитектура НС, способная адекватно описать исследуемый процесс. Второй этап заключается в адаптации параметров НС выбранной архитектуры с целью получения корректного отображения входного обучающего множества X в выходное Y . Адаптация модели заключается в проведении обучения на основе сформированного обучающего множества. В результате этой процедуры формируется требуемая функция обработки (если исходить из предположения о наличии зависимостей в исследуемом множестве данных).

В контексте поставленной задачи в качестве базовой архитектуры предлагается использовать гетерогенную многослойную НС с нейронами сигмоидального типа в скрытом слое и линейными нейронами выходного слоя сети [2, 4]. При этом количество M элементов входного рецепторного слоя должно соответствовать количеству наблюдаемых параметров (факторов оценки качества тестовой выборки), используемых для построения нужного отображения. Размерность L выходного вектора НС определяется количеством параметров, выбираемых исследователем для оценки теста.

Для обучения НС применяется алгоритм обратного распространения ошибки (и его более быстродействующие модификации), использующий метод градиентного спуска для минимизации функции среднеквадратичной погрешности [5, 6]. Благодаря высокой точности алгоритм позволяет достигать малой погрешности обучения, что является крайне важным фактором для решения большинства практических задач в нейросетевом базисе.

Пусть для обучения сформировано обучающее множество, состоящее из пар векторов $T = \{Xp, Dp\}, p=1, \dots, P$ размерностью, соответствующей количеству входов и выходов сети. Тогда задача процедуры обучения заключается в адаптации параметров сети (синоптических связей нейронов) таким образом, чтобы на любой входной вектор Xp обучающей выборки было сформировано корректное отображение Yp , отличающееся от желаемого Dp с минимальной ошибкой [4].

На основании вышеприведенного сформулируем предлагаемый подход генерации адаптивной модели для оценки качества тестовых заданий.

1) Выполнить инициализацию трехслойной гетерогенной нейронной сети с количеством входных элементов M , равным количеству вариантов ответов тестового задания, с количеством выходных нейронов L , равным размерности оценочной шкалы.

2) Сформировать обучающее множество T на основе эталонной тестовой выборки. Для этого обеспечить формирование набора

Савицкий Юрий Викторович, к.т.н., доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Физика, математика, информатика