

6. Сравнение качества л.н. различной мощности, очевидно, неравномерно в связи с зависимостью $\Phi_\lambda = f(P)$ [6]. При этом, как показывают проведенные измерения, потребляемая мощность в процессе эксплуатации возрастает. Поэтому, в общем случае, при расчётах коэффициента качества л.н. разной мощности в (7) следует вместо лучистого

потока ввести светотдачу $\eta_\lambda = \frac{\Phi_\lambda}{P}$. Это позволит ча-

стично учесть затраты энергии в показателе качества л.н., а также с учётом этого определить и срок её службы.

Таким образом, учёт энергетических затрат в процессе эксплуатации оказывает влияние на показатель качества л.н. Выбор определяющего параметра качества $\Phi_\lambda(t)$ или $\eta_\lambda(t)$ зависит от назначения и условий эксплуатации источника света.

Как показывает анализ полученных результатов, разброс $\overline{\Phi_\lambda}$ в партиях л.н. составляет (среднеквадратическое отклонение) $\sigma_\Phi = 50$ (для ламп Б220-40) и $\sigma_\Phi = 70$ (для ламп Б230-240-60). Поэтому погрешность расчёта коэффициента качества, а, следовательно, и статистическая достоверность его изменения в процессе проведения мероприятий по повышению качества можно принимать только при условии $\pm \Delta K > \pm 3\sigma$.

ВЫВОДЫ

1. Уточнённая оценка качества л.н. отражает действительный уровень качества через его основные потребительские свойства: $\Phi_\lambda(t), T, P$.

УДК 681.324.01

Игнатюк О.Н.

ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

ВВЕДЕНИЕ

Способность нейронных сетей к обучению создает предпосылки к созданию на их базе систем управления мобильными роботами, которые способны адаптироваться к окружающей среде. Это позволяет обеспечить робастное управление мобильным роботом при неточной информации от сенсорных устройств. Реактивное управление предполагает взаимодействие робота с неизвестной окружающей средой. В этом случае известны только координаты целевой точки движения. Используя информацию от сенсорных устройств, робот должен достичь целевой точки, избегая столкновений с препятствиями. В настоящее время существуют два основных метода обучения таких систем: обучение с учителем [1-3], при котором известна эталонная выходная информация, и подкрепляющее обучение [1,4,5].

В отличие от традиционных методов нейросетевой аппарат создает потенциальные предпосылки для создания самообучающихся и самоорганизующихся систем. Возможность создания таких систем базируется на обобщающей способности нейронных сетей, которая позволяет интегрировать частные данные для определения закономерностей процесса. В результате этого нейронная сеть способна выдавать правильную реакцию на входных данных, которые не входили в обучающую выборку.

Игнатюк О.Н. Ассистент каф. ЭВМ и С Брестского государственного технического университета. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Машиностроение, автоматизация, ЭВМ

2. Количество регистрируемых параметров для обобщённой оценки качества составляет один параметр – $\Phi_\lambda(t)$.

3. С принятием единого критерия качества упрощается и удешевляется контроль многих ранее регистрируемых параметров. При этом методика измерения и методы статистического контроля этих параметров останутся без изменения.

4. На основе коэффициента качества возможно ввести аттестацию качества продукции на разных предприятиях, а также стимулировать повышение качества путём введения ценовых надбавок за качественную продукцию и осуществлять выбор типа светильников с комплектацией их разными типами л.н.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Овсянников Г.Н. К вопросу о качестве электровакуумных приборов. Материалы НТК БПИ, Наука и Мир, Брест, 1994
2. Будин В.П. Аппроксимация функции относительной спектральной световой эффективности. Оптика-механическая промышленность, 1984, №81. с. 19-21
3. ГОСТ2239-60 Лампы накаливания электрические осветительные общего назначения. М. 1960
4. Мешков В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники. Энергоатомиздат, М., 1989
5. Левин С.И. Планирование испытаний источников света на надежность. Ученые записки Мордовского ГУ (сер. инж.-техн. науки), 1970, №15, ч.1, с.63-71
6. Ламехов О.А. и др. Светотехника и светоизмерения. Машиностроение, М., 1980.

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

При разработке такой системы предполагается, что движение робота осуществляется в неизвестном пространстве. Задача робота состоит в том, чтобы зная координаты целевой точки, достичь конечного пункта движения в пространстве с препятствиями. В основе описываемой системы лежит нейросетевой аппарат, что обеспечивает корректное управление роботом при неточной информации от сенсорных устройств, а также способность к самоорганизации и самообучению. Нейронная система состоит из различных типов нейронных сетей, которые интегрируются в единую систему. Основные принципы такой системы могут применяться для любых мобильных роботов.

Общая архитектура нейронной системы представлена на рис. 1. Она предназначена для решения следующих задач:

- интеграция данных от различных сенсорных устройств (data fusion);
- реактивное управление мобильным роботом при движении в неизвестном пространстве;
- формирование глобальной карты местности;
- выбор оптимального маршрута при движении в известном пространстве;
- генерация на каждом шаге направления движения.

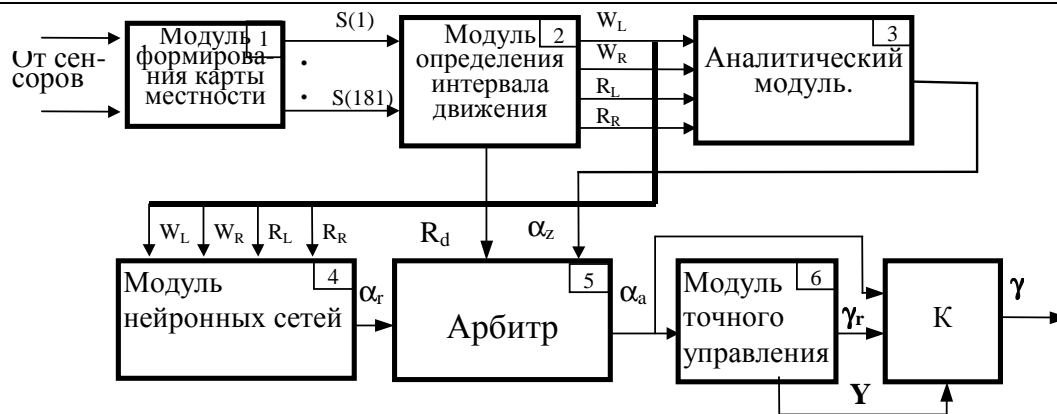


Рисунок 1 – Общая архитектура нейронной системы.



Рисунок 2 – Структура программного обеспечения системы.

Модуль создания карты местности генерирует локальную карту местности, которая соответствует интеграционной картине окружающей обстановки.

Модуль формирования интервала движения предназначен для выделения в окружающем пространстве с препятствиями оптимального промежутка движения.

Модуль нейронных сетей предназначен для ориентации робота на узких интервалах движения. Он формирует робастное направление движения робота. На узких интервалах движения неточная карта местности становится критической для ориентации робота. Если обучить модуль нейронных сетей корректным выходным данным при недостоверной входной информации, то за счет обобщающей способности он обеспечит робастное управление роботом.

Модуль точного управления служит для управления роботом в ситуации, когда боковое расстояние до препятствия является слишком маленьким для осуществления резких поворотов. Направление, которое формирует модуль точного

управления, не превышает определенной величины, например 5° . Это обеспечивает исключение контакта робота с боковыми препятствиями.

Арбитр и коммутатор в зависимости от ситуации формируют текущее направление движения робота.

Таким образом, в зависимости от ситуации роботом могут управлять следующие модули:

- аналитический модуль
- модуль нейронных сетей
- модуль точного управления совместно с аналитическим
- модуль точного управления совместно с модулем нейронных сетей.

Такой подход обеспечивает устойчивое движение робота в различных ситуациях. Нейронная система использует систему ближнего и дальнего обзора. Скорость и шаг движения робота нормируются в зависимости от расстояния до препятствия. Останов робота происходит, если расстояние до цели меньше определенной величины.

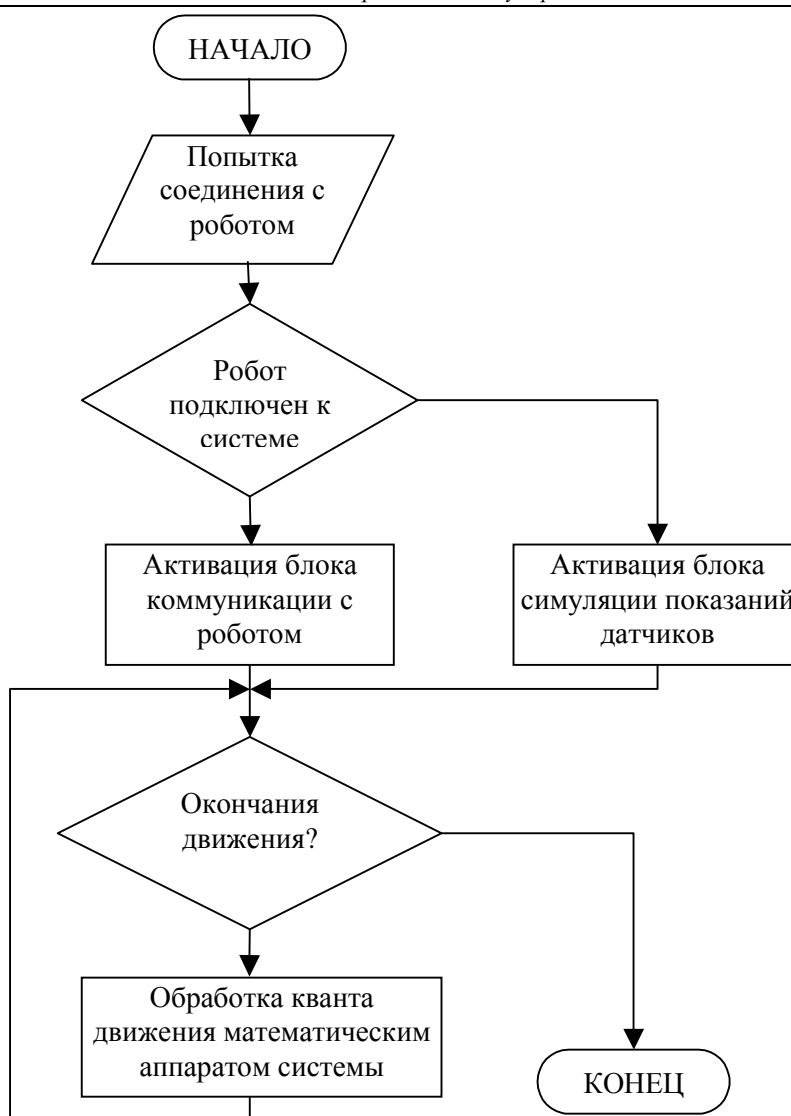


Рисунок 3 – Обобщенный алгоритм работы системы.

2. СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ

Рассмотрим общие принципы построения программного обеспечения для системы управления роботом. Основными задачами данной программной системы являются:

- коммуникация с аппаратным обеспечением мобильного робота;
- получение сенсорных данных с различных датчиков робота;
- обработка полученных данных согласно алгоритму функционирования [7];
- накопление информации в базе данных для последующего обучения робота и для формирования глобальной карты местности;
- реализация обучения различных типов нейронных сетей и их эксплуатация;
- передача команд управления движением роботу и контроль корректности выполнения данных команд;
- организация пользовательского интерфейса операторской рабочей станции для наглядного и эффективного использования системы.

Таким образом, структуру программного обеспечения системы можно представить в виде рис. 2.

3. ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Общий принцип работы системы построен на двух возможных вариантах функционирования: коммуникация с ре-

альным роботом и симуляция показаний датчиков при отсутствии соединения с роботом (рис. 3).

На начальном этапе происходит попытка связи с роботом согласно установленным правилам коммуникации и обмен с ним основными данными. Дальнейшая работа системы основана на принципе квантования времени и «покадровой» передаче управления математическому аппарату системы, который принимает решение согласно принятому алгоритму [6].

Выполнение программы приостанавливается по достижении роботом заданной цели либо принудительно со стороны оператора.

Блок симуляции показаний датчиков позволяет моделировать поведение произвольного робота, построив собственную конфигурацию датчиков и внося погрешности в генерируемые данные от сенсоров. Для этого нужно также создать карту местности, в которой будут моделироваться эксперименты.

4. НАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Натурные эксперименты проводились с использованием робота 'Walter' и 'Pioneer' в лаборатории робототехники (Германия). В качестве полигона для движения использовалась лаборатория и коридор здания. Задача робота состояла в достижении конечной точки движения при ориентации на незнакомой местности с препятствиями.

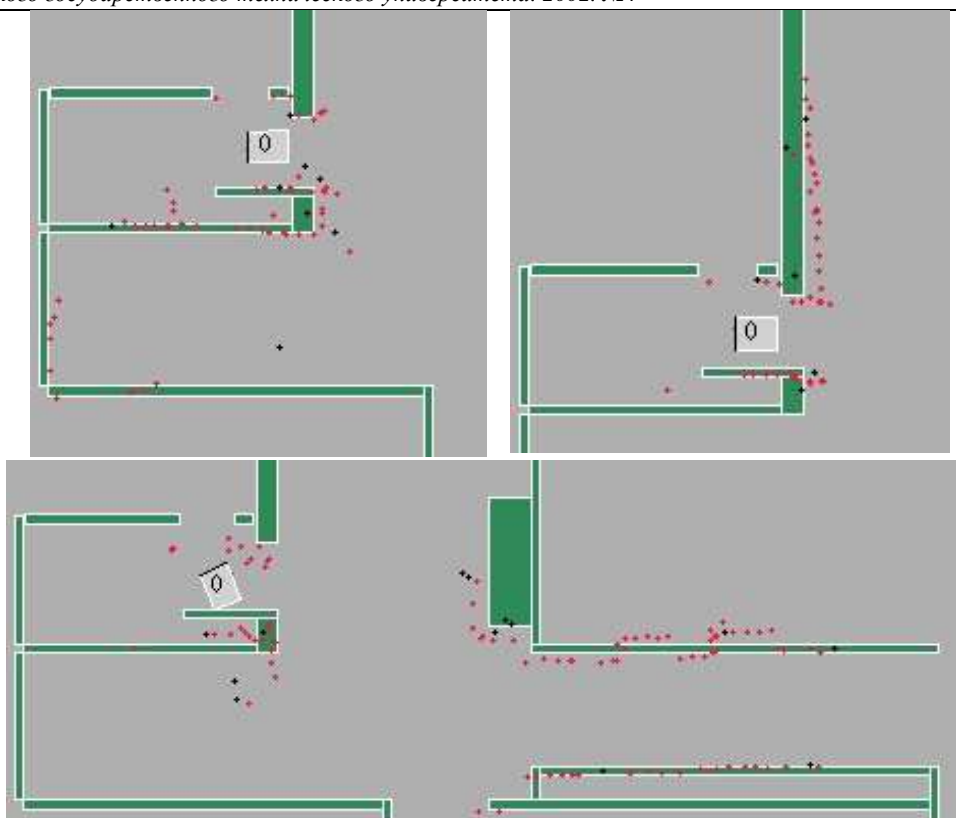


Рисунок 6 – Примеры работы программы (робот достиг заданной точки).

Для отображения окружающей обстановки мобильные роботы оборудованы различными сенсорными устройствами. В качестве сенсорных устройств на роботе «Walter» (рис.) используются как недорогие ультразвуковые датчики и 2D инфракрасный сканер, так и видеочамера.

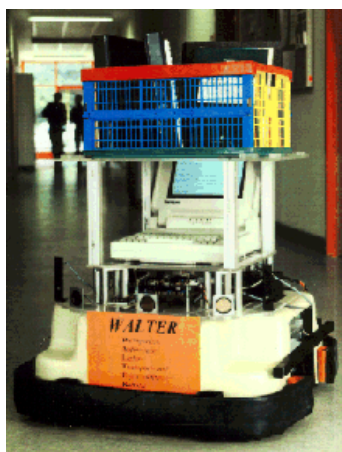


Рисунок 4 – Мобильный робот "Walter".



Рисунок 5 – Мобильный робот 'Pioneer-I'.

Каждый из них характеризуется частотой 35 кГц и углом излучения 20°. Инфракрасный сканер расположен по фронту робота. В качестве него используется сканер RS2-180 фирмы «Leuze electronic». Робот «Walter» (рис.4) имеет квадратную форму, на бамперах которого расположены тактильные датчики. Они предназначены для фиксации столкновения робота с препятствиями. Кроме этого робот оборудован портативным компьютером, а также телекоммуникационной аппаратурой для связи со станцией «Sun». Управление роботом может производиться как в операторном режиме при помощи джойстика, так и автономно при помощи соответствующей системы. Это создает хорошую базу для проведения экспериментальных исследований.

Мобильный робот 'Pioneer-I' имеет 7 ультразвуковых датчиков, 5 из которых расположены по фронту, а 2 – с боковых сторон робота (рис.5). Дистанция действия датчиков находится в диапазоне от 150мм до 10м. Максимальная развиваемая скорость составляет 300 мм/с. Локальная карта местности для этого робота строится в радиусе 1,5 м. Робот был разработан для проведения экспериментов внутри помещения, имеет встроенный микрокомпьютер и соединяется с помощью кабеля последовательного интерфейса RS-232 с управляющей вычислительной машиной.

Тестовая программная система была разработана на базе языка программирования C/C++, библиотеки PAI (Pioneer Application Interface) и стандартных библиотек X-Windows. Для связи между микрокомпьютером робота и станцией Sun Sparcstation с установленной ОС Sun Solaris использовался интерфейс RS-232.

Для всесторонней проверки разработанной системы была проведена серия экспериментов в различной окружающей обстановке. Для этого в маршрут движения к целевой точке были включены участки различной ширины и конфигурации, дверные проемы, коридоры и другие сложные для прохождения элементы.

Программа позволяет следить за движением робота и показаниями датчиков относительно реальной схемы помещения (рис. 6).

Эксперименты показали устойчивое движение робота в незнакомом пространстве при использовании различных видов препятствий. Так, робот мог проходить узкие участки движения, такие как дверные проемы или узкие коридоры без столкновений с препятствиями. При этом, несмотря на неточную информацию от сенсорных устройств, нейронная система обеспечивала робастное управление роботом, что соответствует рассмотренным ранее теоретическим результатам.

5. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Одной из существенных особенностей данной программной системы является ее применимость к различным аппаратным базам мобильных роботов, в том числе предполагается вариативность следующих характеристик:

- различные типы моторики робота, способов и скорости его движения;
- различные типы сенсорных устройств – инфракрасные сканеры, ультразвуковые и тактильные датчики;
- различия в системах коммуникации с управляющим компьютером.

Соблюдение этих характеристик возможно благодаря модульной системе построения программного обеспечения, вследствие чего для использования системы с другим роботом достаточно заменить только некоторые блоки программы без потери функциональности.

Важной особенностью является то, что в зависимости от различных аппаратных особенностей мобильного робота возможно внесение изменений и дополнений в алгоритм функционирования системы. В качестве иллюстрации этого можно привести пример, связанный с тестированием системы с использованием мобильного робота Pioneer. Данный робот оснащен только лишь ультразвуковыми датчиками, которые характеризуются небольшим углом отражения от препятствий (рис. 7), что не позволяет получить четкую картину окружающей среды.

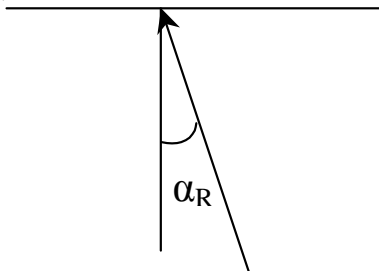


Рисунок 7 – Угол отражения ультразвуковых датчиков составляет менее 20° .

В связи с этим были внесены изменения в аналитический модуль, формирующий траекторию движения в виде дуги эллипса, при прохождении дверных проемов [6]. В данном случае конфигурация проема может быть определена ошибочно и движение по дуге может привести к столкновению с одной из сторон стены. Поэтому логика движения в таких ситуациях была заменена на следующие действия (рис. 8):

- движение параллельно стене до середины дверного проема;
- разворот на 90° в сторону прохода;
- прохождение проема под прямым углом, обеспечивающее безопасность с точки зрения столкновений с боковыми препятствиями.

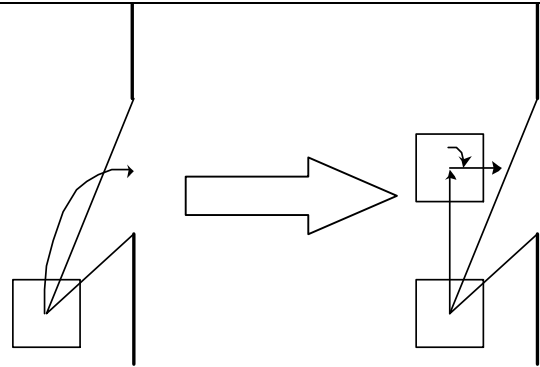


Рисунок 8 – Изменения в модуле, формирующем траекторию движения в виде дуги эллипса.

Также в связи с малой точностью показаний датчиков был разработан блок памяти для временного хранения глобальной карты местности. Такая карта формируется по принципу повторяемости показаний датчиков, полученных с различных позиций относительно препятствия. Чем большее количество «попаданий» датчиков в данную точку карты, тем больше достоверность этих показаний (рис. 9). Информация из этого блока памяти используется при формировании локальной карты местности, вследствие чего обеспечивается большая стабильность движений робота.

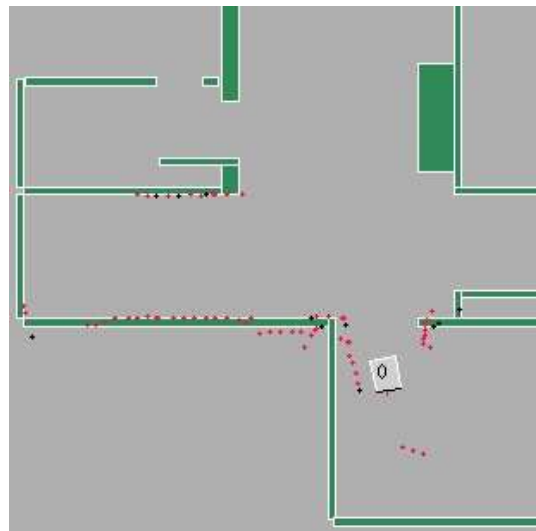


Рисунок 9 – Глобальная карта местности (светлые точки – «достоверные» показания датчиков).

Кроме того, еще одной особенностью системы является платформонезависимость управляющей части ПО, позволяющая использовать ее в самых различных средах. Поэтому программные модули разрабатывались на переносимом языке программирования C++ с использованием свободных библиотек графических примитивов для реализации пользовательского интерфейса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описана программная система, реализующая нейросетевой подход для управления мобильным роботом. При этом робот способен самообучаться в процессе функционирования. В процессе взаимодействия робота с окружающей средой формируются тренировочные наборы, используемые для обучения. Такой подход позволяет роботу адаптироваться к различным ситуациям. Описанная система работает в реальном масштабе времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. S.Thrun. *An approach to learning mobile robot navigation*. // Robotics and Autonomous Systems. 1995, V.15, N.4, pp.301-319.
2. Головкин В.А. *Нейронные сети: организация, обучение и применение*. // Москва: Радиотехника, 2001. – 320 с.
3. Ron Sun. *Autonomous learning of sequential tasks: Experiments and analyzes*. // IEEE transactions on Neural networks. 1998, V.9, N.6, pp.1217-1233.
4. Jose del R.Millan. Reinforcement learning of goal-directed obstacle avoiding reaction strategies in an autonomous mobile robot. // Robotics and Autonomous Systems. 1995, V.15, N.4, pp. 275-299.

5. V.Golovko, K.Schilling, H.Roth, R.Sadykhov, P.Albertos, V.Dimakov. *The architecture of the neural system for control of a mobile robot*. // Proceedings of the ICNNAI'99, Brest, Belarus, 1999, pp. 57-61.
6. V. Golovko and V. Dimakov. *Architecture of Neural System for Control of Autonomous Vehicles* // Preprints of the 3rd IFAC Symposium of Intelligent Autonomous Vehicles, Madrid, Spain, 1998– Oxford UK: Elsevier Science Ltd, 1998, v. 1.
7. Головкин В., Игнатюк О.Н., Садыхов Р. *Нейросетевой подход к реактивному управлению мобильным роботом* // Датчики и системы. - 2002. - №7 (38). - С. 41 - 43.

УДК 681.324

Головкин В.А., Чумерин Н.Ю., Савицкий Ю.В.

НЕЙРОСЕТЕВОЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СПЕКТРА ЛЯПУНОВА ПО НАБЛЮДАЕМЫМ РЕАЛИЗАЦИЯМ

ЭКСПОНЕНТА ЛЯПУНОВА

Одним из условий хаотичности динамической системы является чувствительность к значениям начальных условий. В качестве количественной меры этого понятия обычно рассматривают старший показатель Ляпунова (экспоненту Ляпунова).

Рассмотрим точку $\mathbf{x}(t_0)$, принадлежащую аттрактору некоторой динамической системы в начальный момент времени t_0 . Задавшись некоторым малым положительным числом $\varepsilon(t_0)$, выберем на аттракторе ещё одну точку $\tilde{\mathbf{x}}(t_0)$ так, чтобы $\|\tilde{\mathbf{x}}(t_0) - \mathbf{x}(t_0)\| = \varepsilon(t_0)$. Через промежуток времени Δt точки $\mathbf{x}(t_0)$ и $\tilde{\mathbf{x}}(t_0)$ эволюционируют соответственно в $\mathbf{x}(t)$ и $\tilde{\mathbf{x}}(t)$, расстояние между ними обозначим через $\varepsilon(t)$, где $t = t_0 + \Delta t$ (см. рис. 1).

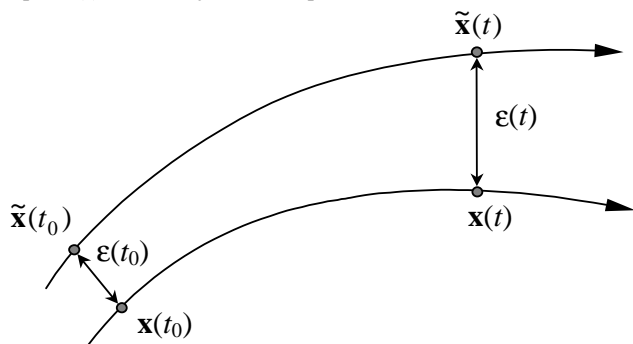


Рисунок 1 – Эволюция двух близких точек динамической системы (к определению понятия экспоненты Ляпунова).

Очевидно, что $\varepsilon(t)$ зависит от положения точек $\mathbf{x}(t_0)$ и $\tilde{\mathbf{x}}(t_0)$, промежутка времени Δt и, конечно, свойств самой динамической системы. Однако, упрощённо, можно считать, что

$$\varepsilon(t) \cong \varepsilon(t_0) e^{\lambda \Delta t}, \tag{1}$$

где λ – параметр, характеризующий динамическую систему и называемый старшим показателем Ляпунова или экспонентой Ляпунова.

После элементарных преобразований получим:

$$\lambda \cong \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon(t_0)}, \tag{2}$$

Сразу необходимо сделать два замечания:

- во-первых, в последнем соотношении, в силу ограниченности аттрактора (а значит ограниченности $\varepsilon(t)$) Δt должно возрастать до тех пор, пока $\varepsilon(t)$ существенно меньше размеров аттрактора, иначе λ будет равен нулю, при $\Delta t \rightarrow \infty$;
- во-вторых, вычисленное в соответствии с (2) значение λ следует рассматривать как усредненное по всем начальным точкам $\mathbf{x}(t_0)$ аттрактора системы.

С учётом этих замечаний можно строго определить старший показатель Ляпунова соотношением:

$$\lambda = E_{\mathbf{x}(t_0) \in A} \left\{ \lim_{\substack{\Delta t \rightarrow \infty \\ \varepsilon(t) < \text{diam } A}} \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon(t_0)} \right\}, \tag{3}$$

где A – аттрактор системы, $\text{diam } A$ – его диаметр, а $E\{\cdot\}$ – математическое ожидание.

Старший показатель Ляпунова характеризует степень экспоненциального расхождения близких траекторий. Наличие у системы положительной экспоненты Ляпунова свидетельствует о том, что любые две близкие траектории быстро расходятся с течением времени, то есть имеет место чувствительность к значениям начальных условий. Поэтому определение экспоненты Ляпунова позволяет идентифицировать динамическую систему с точки зрения присутствия в ней хаотического поведения.

Гораздо более тонко динамику системы отражает понятие, обобщающее понятие экспоненты Ляпунова – спектр Ляпунова. Спектр Ляпунова позволяет оценить скорость расхождения (сближения) траекторий вдоль разных координатных направлений.

*Головкин Владимир Адамович. К.т.н., профессор каф. ЭВМ и С Брестского государственного технического университета.
 Чумерин Николай Юрьевич. Аспирант каф. ЭВМ и С Брестского государственного технического университета.
 Савицкий Юрий Викторович. К.т.н., доцент каф. ЭВМ и С Брестского государственного технического университета.
 Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*