

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 004.8:[004.832.28+004.89]

ДИМАКОВ
Валентин Михайлович

**НЕЙРОСЕТЕВАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
АВТОНОМНЫМ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ**

Специальности:

05.13.15 – «Вычислительные машины и системы»

05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 2004

Работа выполнена в Учреждении образования «Брестский государственный технический университет»

Научный руководитель –

доктор технических наук, доцент Головки В.А.

Брестский государственный технический университет

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Птичкин В.А.,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники;

кандидат технических наук, старший научный сотрудник Дудкин А.А.,

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

Оппонирующая организация –

Белорусский национальный технический университет

Защита состоится 16 сентября 2004г. в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.04 при Учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 2398989.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан « 10 » августа 2004г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации определяется динамикой развития современной вычислительной техники в области разработки специализированных вычислительных систем для распределенной обработки информации. Реализация подобных технологий обусловлена современными требованиями в решении поставленных задач, где требуется высокая точность решения, толерантность к ошибкам, высокая скорость обработки информации. В настоящее время подобными свойствами обладают нейросетевые технологии, которые благодаря своей способности обобщения информации в процессе обучения способны обрабатывать данные с высокой точностью, что находит применение в различных приложениях: распознавании образов, прогнозировании временных рядов, цифровой обработке сигналов, робототехнике.

Одним из основополагающих направлений развития нейронных сетей в робототехнике является разработка систем обработки сенсорных данных в интеллектуальных системах принятия решения для автономных транспортных средств. Решение подобных задач с помощью традиционных методов трудноосуществимо, поскольку требует реализации надежной системы обработки информации от сенсорных устройств, подверженной искажениям при контакте автономного робота с реальным миром. При этом необходимо, чтобы автономная система работала в пространстве, которое может иметь бесконечное множество состояний из-за наличия в среде движущихся объектов, что требует реализацию глубоко продуманной модели поведения для адекватной реакции автономного транспортного робота на ситуации в любой точке операционного пространства.

В последнее время нейронные сети все чаще используются в робототехнике в качестве элементов управления. При этом в некоторых системах используются нейронные сети с алгоритмом обратного распространения ошибки для движения робота по заданной траектории. Однако реализация подобных систем требует учителя в процессе обучения, где необходимо полагаться на знание пользователя, гарантирующее, что среда, используемая во время обучения, будет соответствовать среде, представленной во время работы системы. Поэтому большее распространение получили самоорганизующиеся нейронные системы, которые позволяют транспортному средству самостоятельно адаптироваться к условиям окружающей среды. Это особенно актуально в процессе планирования маршрута движения для объезда препятствий при движении робота к цели, где нейронные сети получили наибольшее распространение вместе с картами размещений (occipancy grids), которые характеризуются подробным описанием окружающей среды. Использование карт размещений гарантирует надежность управления транспортным средством для осуществления локальных маневров, но требует значительных вычислительных затрат для поиска глобального маршрута движения, что является критичным по отношению к системам реального времени. С другой стороны, для топологических карт существуют эффективные методы планирования глобального маршрута движения, но при этом существует проблема точного определения структуры

среды, т.е. нахождения способа размещения узлов топологического графа на карте размещений (occupancy grids). Наличие данных проблем определяет актуальность исследований, целью которых является разработка нейросетевой навигационной системы для автономного мобильного робота, где осуществляется интеграция локальной стратегии поведения транспортного средства для объезда препятствий при обработке данных от сенсорных устройств с топологическими способами планирования глобального маршрута движения. Реализация данной цели определила задачи и методы исследования.

Связь работы с научными программами, темами. Результаты диссертационной работы связаны с выполнением госбюджетной НИР «Разработка нейронной системы для автономного управления транспортным роботом» (договор ФФИ РБ №М96-076 от 17.02.97г.), а также в рамках международных проектов программы INTAS по теме «Интеллектуальная нейронная система для автономного управления мобильным роботом» в 1997-2000гг. (INTAS-97-2028) и программы DLR (Немецкого центра по воздухоплаванию и космонавтике) по теме «Интеллектуальная нейронная система для автономного управления мобильным роботом» в 1999-2001гг. (BLR99/003).

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы заключается в разработке нейросетевой навигационной системы для управления автономным мобильным роботом. Для достижения цели работы решаются следующие задачи:

- разработка тактической навигационной системы для объезда препятствий с учетом данных от сенсорных устройств;
- разработка самоорганизующейся нейронной сети для организации топологической карты среды;
- разработка нейронной сети для кратчайшего планирования маршрута движения;
- разработка стратегической навигационной системы для управления мобильным роботом с использованием топологической карты местности;
- разработка самоорганизующейся нейронной сети для локализации робота в пространстве.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования диссертационной работы является автономный мобильный робот, способный самостоятельно перемещаться внутри помещений и оборудованный независимыми системами питания и управления. Предметом исследования является нейросетевая навигационная система, управляющая движением названного робота внутри помещений с учетом статических и динамических препятствий.

Методология и методы проведения исследования. Для решения рассматриваемых в диссертации задач использовались методы вычислительной математики, теории нейронных сетей и теории графов, методы программного моделирования и проектирования проблемно-ориентированных вычислительных средств.

Научная новизна и значимость полученных результатов. Предложена концепция поведения объекта в незнакомой среде на основе модели свободных интервалов, где в отличие от существующих систем с использованием карт размещений (occupancy grids) осуществляется ориентация робота не на объезд препятствий, а на способность робота двигаться в свободных промежутках пространства между ними. Это, с одной стороны,

позволяет компактно описывать состояние окружающей среды вокруг робота, а, с другой стороны, автоматически решается проблема расстановки узлов топологической карты среды на перекрестках для планирования глобального маршрута движения. На ее основе реализована тактическая навигационная система для автономного мобильного робота.

Произведена классификация структурных компонентов операционной среды для эффективного составления топологических карт помещений. Введено понятие указателя в качестве узла топологической карты, который «указывает» возможные направления движения робота на перекрестках. В отличие от существующих систем, где существует проблема выбора способа размещения узлов топологической карты среды, расстановка узлов в предложенной системе осуществляется на перекрестках и в тупиках с использованием модели свободных интервалов навигационной системы. На ее основе разработана самоорганизующаяся нейронная сеть для организации топологической карты, которая отслеживает состояние операционного пространства и адаптируется к нему в процессе исследования роботом окружающей среды. Использование данного подхода позволяет с помощью интервалов естественным образом отобразить состояние среды, полученного в результате обработки данных от сенсорных устройств, на топологическую карту без существенных вычислительных затрат, где перекрестки образуют узлы топологической карты, а попарно связывающие их интервалы логически образуют ребра топологического графа для целенаправленного движения от одного перекрестка к другому.

Разработана нейронная сеть для решения задачи о кратчайшем маршруте с использованием формулы минимума одномерного ряда. В отличие от аналогичных систем с использованием нейронных сетей и генетических алгоритмов позволяет всегда находить кратчайший маршрут за определенное количество итераций.

Предложен высокоуровневый алгоритм стратегического управления роботом с использованием элементов предсказания поведения транспортного средства в сложных ситуациях. Он объединяет в себе различные технологии и способы обработки информации для достижения роботом поставленной цели в результате тесного взаимодействия с тактической навигационной системой и нейронными сетями для организации карты местности и планирования кратчайшего маршрута движения на всех этапах движения мобильного робота.

Практическая значимость полученных результатов состоит в использовании новых и эффективных способов обработки информации и управления в решении актуальных задач планирования поведением робота в незнакомой среде. Основные результаты данной диссертационной работы были использованы при выполнении госбюджетной НИР (грант ФФИ РБ), а также международных проектов INTAS и DLR по разработке интеллектуальной навигационной системы для автономного транспортного средства. Теоретические результаты исследования были апробированы на мобильных роботах «WALTER» (в 1997г.) и «PIONEER-I» (в 2000г.) в лаборатории робототехники при Фаххохшеле Равенсбурга-Вайнгартена (Германия) в рамках проведения экспериментальных исследований по международным проектам и используются в учебном процессе на лекционном курсе «Методы и системы принятия решений» для студентов

специальностей «Автоматизированные системы обработки информации» электронно-механического факультета Брестского государственного технического университета.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- тактическая навигационная система, использующая модель свободных интервалов для объезда препятствий на пути следования робота;
- самоорганизующаяся нейронная сеть для организации топологической карты среды на основе модели указателей маршрутов движения;
- двухслойная нейронная сеть для решения задачи о кратчайшем маршруте;
- высокоуровневый алгоритм стратегического управления мобильным роботом;
- самоорганизующаяся нейронная сеть для локализации робота на местности в процессе инициализации навигационной системы.

Личный вклад соискателя. Основные положения диссертации получены соискателем лично и отражены в 14 публикациях. Соавтором в работах [4, 5] является научный руководитель – доцент Брестского государственного технического университета, д.т.н. В.А. Головки, которому принадлежит постановка задачи и обсуждение методов ее решения.

Апробация результатов диссертации. Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы докладывались:

- на X научно-технической конференции «Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике» (Брест, 1998);
- на международной конференции «20th International Scientific Symposium of Students and Young Scientific Workers» (Зелена Гура, Польша, 1998);
- на XXXIV научно-технической конференции аспирантов и студентов (Минск, 1998);
- на международной конференции «International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'99)» (Брест, 1999);
- на международной конференции «3rd Eurel Workshop and Masterclass, European Advanced Robotics Systems Development» (Манчестер, Великобритания, 2000);
- на международной конференции «2nd ICSC Symposium on Neural Computation NC'2000» (Берлин, Германия, 2000);
- на международном симпозиуме «6th IFAC Symposium on Robot Control, SYROCO'00» (Вена, Австрия, 2000);
- на международной конференции «International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'01)» (Минск, 2001).

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, включая 11 статей в материалах конференций и 3 статьи в журнале. Общий объем публикаций – 81 страница.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 165 страницах машинописного текста, содержит 81 рисунок, 5 таблиц и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 108 названий, и 2 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена обзору современного состояния вопроса, анализу литературы, выбору и обоснованию цели и задач работы.

В главе рассмотрены основные принципы построения автономных навигационных систем для управления транспортным роботом. Выделены важные проблемы, стоящие перед разработчиком, связанные с погрешностями сенсорных устройств, одометрической системы, сложностью операционной среды. Дана классификация основных стратегий (тактической и стратегической) поведения автономных транспортных роботов в операционных средах. Показаны их достоинства и недостатки по отношению друг другу в процессе планирования маршрута движения для достижения цели.

Выполнен детальный анализ современных подходов и методов реализации тактических навигационных систем. Такие системы ориентированы, прежде всего, на выполнение роботом отдельных маневров, таких как движение по коридору или вдоль стены, объезд статических и динамических препятствий, прохождение двери, парковка робота в фиксированной точке пространства. Дан критический анализ существующих систем на основе нейронных сетей, элементов нечеткой логики и эвристических алгоритмов, показывающий трудоемкость в реализации поведенческих моделей в нестационарных средах.

Проведено исследование методов для реализации стратегических систем планирования маршрута движения, показывающее проблематичность решения и трудности, связанные с динамичностью и многомерностью среды. Данный подход планирования требует не только глубоко продуманную модель поведения транспортного средства, но и значительные вычислительные затраты для решения задачи с множеством измерений. К данной группе можно отнести вероятностный метод планирования, подкрепляющее обучение и методы планирования маршрута с использованием теории графов. При этом в последнем случае возникает проблема с расстановкой узлов на карте, создаваемой при исследовании роботом операционной среды. Показано, что использование только стратегических систем планирования для автономных роботов ведет к значительным издержкам в процессе работы в реальном масштабе времени.

Показана актуальность проблемы локализации и проанализированы основные направления исследований в данной области. Анализ существующих концепций продемонстрировал трудности в реализации, связанные с определением и классификацией признаков среды, по которым робот может определить свое положение в пространстве с учетом его постоянной видоизменяемости.

Обоснована актуальность темы и дана постановка задачи, которая ориентирована на разработку гибридной (тактической и стратегической) навигационной системы для автономного мобильного робота с использованием нейронной сети для решения задачи о кратчайшем маршруте и системы локализации робота на местности.

Во второй главе описывается общая архитектура навигационной системы и реализация тактической навигационной системы для мобильного робота. Описываемая навигационная система состоит из следующих компонентов: тактического и стратегического планировщика, нейросетевой базы данных, которая формирует

топологическую карту среды, нейронных сетей для планирования кратчайшего маршрута и локализации робота.

Задача тактической навигационной системы состоит в следующем: имеется целевая точка движения и карта препятствий, сформированная от сенсорных устройств. При этом роботу разрешается совершать любые виды маневров для объезда препятствий на своем пути, но при этом он должен целенаправленно двигаться к цели и избегать возможных столкновений с другими объектами, приводящими к выходу из строя оборудования. При наличии препятствий в процессе движения робота, навигационной системой осуществляется соответствующий маневр их объезда с сохранением условия, чтобы угол γ между целевым вектором β и текущим направлением робота α всегда оставался минимальным, т.е.: $\{\gamma = \beta - \alpha\} \rightarrow \min$.

В процессе работы тактической навигационной системы имеет место решение следующих задач: 1) выделение свободных интервалов движения; 2) выбор направления и скорости движения; 3) активизация подсистем дальнего и ближнего обзора, где различие между ними определяется расстоянием от центра робота до некоторой границы пространства, после которой считается, что дальше нет никаких препятствий (для дальней системы обзора – это два метра при свободном движении робота в пространстве, а для ближней системы обзора – 0.5м для парковки робота возле стены или при движении в узких интервалах); 4) если направление движения не было определено, то ситуация рассматривается как *тупиковая* и роботом формируется команда разворота на 180° .

Общая архитектура тактической навигационной системы изображена на рис. 1. Она состоит из следующих функциональных блоков: а) двухканального сенсорного коммутатора; б) блоков генерации направления движения; в) диспетчеров блоков генерации направления; г) главного диспетчера.

Двухканальный сенсорный коммутатор предназначен для подключения необходимых участков карты препятствий для последующего анализа их блоками генерации направления. Данная возможность позволяет реализовать т.н. концепцию виртуального «вращения головы» робота, когда он анализирует все сенсорное пространство вокруг себя, прежде чем принять окончательное решение. Это позволяет существенно сократить количество механических движений робота и обеспечить его плавное движение в пространстве. Коммутация сенсорной информации для каждого из каналов осуществляется по следующему правилу:

$$SA_i = \begin{cases} S[\gamma - AD_{\kappa\alpha} + 90 + i] & , \text{если } (\gamma - AD_{\kappa\alpha} + 90 + i) \geq 0 \\ S[\gamma - AD_{\kappa\alpha} + 90 + i + 360], \text{ иначе} & , i = \overline{0, 180} \end{cases} \quad (1)$$

$$SB_i = \begin{cases} S[\gamma + AD_{\kappa\beta} + 90 + i] & , \text{если } (\gamma + AD_{\kappa\beta} + 90 + i) \leq 360 \\ S[\gamma + AD_{\kappa\beta} + 90 + i - 360], \text{ иначе} & , i = \overline{0, 180} \end{cases} \quad (2)$$

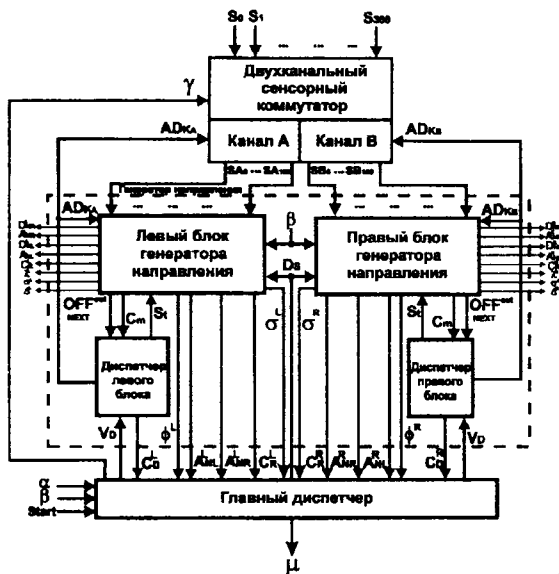


Рис. 1. Архитектура тактической системы управления

завершению анализа выбранного интервала.

В задачу блоков генерации направления входит выделение и анализ интервалов в сенсорном пространстве, что подразумевает формирование направления движения робота для каждого из выделенных интервалов движения (рис. 2).

Каждый из них состоит из процессорного элемента **PE** и набора пороговых элементов: одного *направляющего* (α), 178 *промежуточных* (β) и двух *конечных* (Ω) пороговых элементов. Назначение *направляющего порогового элемента* состоит в определении позиции, с которой начинается сканирование сенсорного пространства в поиске необходимого свободного интервала. Он осуществляет сравнение коммутируемого сенсорного входа SA_{90} (или SB_{90}) с пороговым значением D_S (2м для дальней системы обзора и 0.5м – для ближней). Если значение SA_{90} больше порога D_S , то с помощью остальных пороговых элементов осуществляется выделение интервала, иначе выделение свободного интервала осуществляется на следующем этапе сканирования пространства. При этом интервал, выделенный пороговыми элементами, описывается следующими параметрами (рис. 3): ϕ – азимут интервала (направление α -нейрона, $\phi = \beta - AD_{KA}$ для левого блока генерации направления, $\phi = \beta + AD_{KB}$ – для правого), $A_L(A_R)$ – угловое расстояние до границ интервала относительно ϕ , $D_L(D_R)$ – метрическое расстояние до границ интервала, OFF_{NEXT} – смещение до следующего свободного интервала относительно ϕ . После этого процессорный элемент **PE** завершает обработку выделенного интервала и осуществляет сначала проверку на прохождение его роботом:

где γ – угловое расстояние между текущим положением робота и целевым вектором; SA_i – коммутируемая информация для левого блока генерации направления; SB_i – соответственно, коммутируемая информация для правого блока генерации направления; $S[j]$, $j=0..360$ – полярная карта расположения препятствий, которая получается при интеграции данных от различного рода сенсорных устройств, и представлена в виде набора расстояний до препятствий вокруг робота в выбранном направлении j . Начальные адреса сканирования AD_{KA} и AD_{KB} изменяются в пределах от 0 до 180° соответствующим диспетчером блока генерации направления по

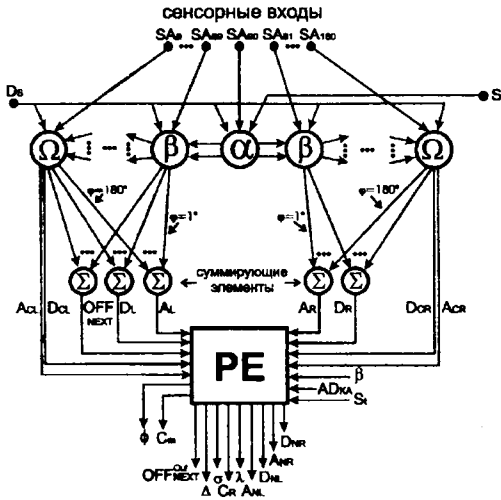


Рис. 2. Архитектура блока генерации направления движения

$$\sigma = \phi + \begin{cases} (\delta_L - A_L) - (\delta_R - A_R), & \text{если } (\delta_L > A_L) \wedge (\delta_R > A_R) = 1 \\ \delta_L - A_L, & \text{если } (\delta_L > A_L) \wedge (\delta_R \leq A_R) = 1 \\ A_R - \delta_R, & \text{если } (\delta_L \leq A_L) \wedge (\delta_R > A_R) = 1 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (4)$$

где δ_L (δ_R) – минимально допустимое отклонение робота от границы препятствия для безопасного движения:

$$\delta_{L(R)} = \begin{cases} \arcsin\left(\frac{R' + D_0}{D_{L(R)}}\right), & \text{если } R' + D_0 \leq D_{L(R)} \\ \arcsin\left(\frac{R' + D_0 - D_{L(R)}}{D_{L(R)}}\right) + 90^\circ, & \text{иначе} \end{cases} \quad (5)$$

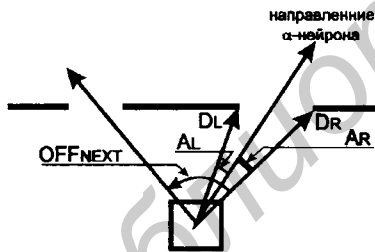


Рис. 3. Параметры описания исследуемого интервала

После завершения анализа интервала, выделения следующих интервалов осуществляется аналогично с помощью диспетчеров блоков генерации направления через изменение начальных адресов сканирования ($AD_{\alpha(\beta)} = AD_{\alpha(\beta)} + OFF_{NEXT}$) и подключения через коммутатор новых областей сенсорной информации. При этом функция синхронизации всех процессов тактической системы управления закреплена за главным диспетчером, где формируется окончательное направление движения робота μ . Если по ходу движения робота не было найдено ни одного свободного интервала, то поиск интервалов осуществляется в ближней системе обзора. Если в ней также отсутствуют свободные интервалы движения, то тактическая навигационная система разворачивает робот на 180° – для вывода его из тупика.

$$C_r = \begin{cases} 1, & \text{если } D'_r > 2 \cdot (R' + D_0) - 1 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (3)$$

где D'_r – ширина интервала, вычисленная с помощью теоремы косинусов; R' – радиус воображаемой окружности, описанной вокруг робота; D_0 – минимально допустимое расстояние между роботом и препятствием. Если интервал удовлетворяет условию (3), то для него вычисляется соответствующее направление движения робота σ :

Предлагасмая навигационная система была адаптирована к роботам «WALTER» [4,6] и «PIONEER-1» [4] в ходе реализации испытаний в Фахшохшуде Равенсбург-Вайнгартен в рамках совместных проектов по программам INTAS и DLR. Являясь многокомпонентными структурами, тактические навигационные системы обоих роботов различались фактически только способом построения карты препятствий и командами управления подвижной платформы. Остальные компоненты навигационной системы оставались неизменными, что позволяло адаптировать систему управления практически к любому типу автономного транспортного робота.

В третьей главе описывается реализация стратегической навигационной системы. Она состоит из следующих функциональных блоков: а) стратегического планировщика; б) нейросетевой карты среды; в) нейронной сети для планирования кратчайшего маршрута; г) нейронной сети для локализации робота.

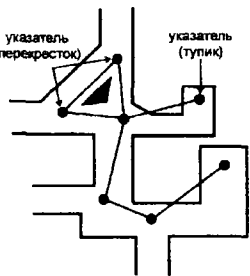


Рис. 4. Пример организации карты среды на основе указателей

Глобальное планирование маршрута движения предусматривает наличие карты среды. Если карты среды нет, то стратегическая навигационная система осуществляет ее построение на основе модели указателей, реализующей концепцию топологического графа, где указатели образуют узлы графа, а принадлежащие им интервалы – соответственно, ребра топологической карты среды (рис. 4). При этом непосредственное управление роботом осуществляется на уровне тактической навигационной системы.

Организация топологической карты среды осуществляется с помощью нейросетевой базы данных, которая запоминает интервалы, связывающие указатели между собой. Она реализована на нейронных сетях Кохонена для вычисления индексов

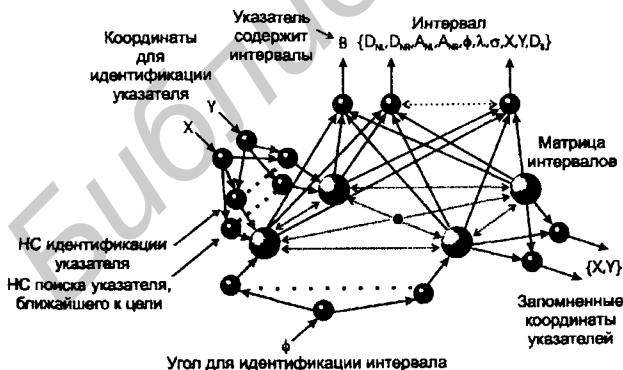


Рис. 5. Архитектура нейросетевой карты среды

выбранного интервала по координатам указателя и азимуту интервала, и однослойного персептрона с линейной функцией активации для организации соответствующих ячеек памяти (рис. 5).

Для планирования глобального маршрута движения робота в процессе работы стратегической навигационной системы осуществляется извлечение из

нейросетевой базы данных расстояний между указателями для построения кратчайшего маршрута. При этом поиск кратчайшего маршрута осуществляется с помощью соответствующей нейронной сети (НС), состоящей из двух слоев: *решающего* (нижнего) и

декодирование (верхнего) слоя. Первый из них формирует предварительное решение в виде набора ребер, принадлежащих кратчайшему маршруту. Последний – расшифровывает его в виде последовательности узлов маршрута. Каждый слой НС состоит из n^2 нейронных элементов, где n – размер задачи.

Одной из важных особенностей данной нейронной сети является использование в нейронах нижнего слоя формулы минимума для членов одномерного целочисленного ряда для получения предварительного решения.

Утверждение. Значение $y=y_i \in Y$ является минимальным значением одномерного ряда Y тогда и только тогда, когда выполняется условие:

$$y = y_i = \min_{j=1, n} \{y_j\}, \text{ если } \sum_{j=1}^n \text{Sign}(y_j - y_i) = n - 1, \quad (6)$$

где $\text{Sign}(x)$ – пороговая функция, область значений которой определяется множеством $\{-1, 1\}$. Очевидно, что данное условие справедливо для любых целых чисел одномерного ряда, но, к сожалению, его невозможно использовать для организации параллельных вычислений в НС. Это связано с невозможностью декомпозиции функции $\text{Sign}(x)$. Одним из вариантов решения проблемы состоит в замене ее функцией следующего вида:

$$f(x) = 1 - a \cdot \text{Exp}\left(-\frac{(x+b) \cdot c - d}{2}\right), \quad (7)$$

где параметры функции принимают следующие значения: $a=0.01$, $b=0.7$, $c=15$, $d=9$. После преобразования (6) с использованием функции $f(x)$, условие минимума принимает следующий вид:

$$y_i = \min_{j=1, n} \{y_j\}, \text{ если } M(y_i, Y) \geq n - 1 \quad (8)$$

где

$$M(y_i, Y) = \varepsilon + (n-1) - 0.01 \cdot \text{Exp}(7.5 \cdot y_i - 0.75) \cdot \sum_{j=1}^n \text{Exp}(-7.5 \cdot y_j) \quad (9)$$

Здесь $\varepsilon=(n-1)(1-f(0))$ – это вычислительная погрешность, n – размерность задачи, y_i – члены целочисленного ряда Y . С помощью данной формулы можно определить, является ли элемент ряда y_i минимальным по отношению к другим членам ряда, т.е. например:

$$\begin{aligned} M(230, \{500, 501, 230, 503, 231, 600, 700, 230, 549\}) &= 8.03306 \geq 8 \text{ \{истина\}} \rightarrow \text{Минимум} \\ M(231, \{500, 501, 230, 503, 231, 600, 700, 230, 549\}) &= -9.04339 \geq 8 \text{ \{ложь\}} \end{aligned} \quad (10)$$

Это позволяет, с одной стороны, исключить из нейронной сети рекуррентные процессы для выявления победителя среди нейронов-конкурентов, а с другой – требуются определенные вычислительные затраты для вычисления экспоненциальных функций.

В отличие от рекуррентных нейронных сетей и генетических алгоритмов, где решение задачи о кратчайшем маршруте осуществляется путем схождения вычислительной системы от некоторого случайного начального состояния к оптимальному решению с определенной степенью погрешности, решение в данной нейронной сети осуществляется путем «выстраивания» маршрута движения. При этом каждый нейрон нейронной сети нижнего слоя характеризуется своей принадлежностью к определенному

ребру графа, которое используется при построении кратчайшего маршрута. Математическое решение задачи делится на три стадии: а) для нейронов, связанных с узлом-приемником, б) для нейронов, связанных с узлом-источником, и в) для остальных нейронов. В первом случае, (i,j) -тый нейрон маркируется как приемник ($f_{ij}^b=1, f_{ij}^a=0$) и, соответственно, не транслирует никакой информации остальным нейронам:

$$a_{ij} = \left(\sum_{s=1}^n w_{sij} \cdot n_{si} \right) \cdot \underbrace{(1 - f_{ij}^a)}_{=0} + \underbrace{(1 - I_{ij}^b)}_{=0} \cdot d_{ij} \cdot \underbrace{(1 - I_{ij}^a)}_{=0} = 0; \quad n_{ij} = 0, \quad (11)$$

где a_{ij} – длина маршрута на (i,j) -м нейроне до конкуренции, n_{ij} – длина маршрута после конкуренции между нейронами в j -м столбце, w_{sij} – весовая связь для трансляции информации от (s,i) -нейрона нейронам i -той строки нижнего слоя, d_{ij} – длина (i,j) -того ребра графа, f_{ij}^a – идентификатор нейрона, связанного с узлом-источником. Во втором случае, (i,j) -й нейрон, маркируемый как источник ($f_{ij}^a=1, f_{ij}^b=0$), транслирует только длину ребра d_{ij} остальным нейронам и не принимает от них никакой информации:

$$a_{ij} = \left(\sum_{s=1}^n w_{sij} \cdot n_{si} \right) \cdot \underbrace{(1 - f_{ij}^a)}_{=0} + \underbrace{(1 - I_{ij}^b)}_{=1} \cdot d_{ij} \cdot \underbrace{(1 - I_{ij}^a)}_{=1} = d_{ij}; \quad n_{ij} = \begin{cases} d_{ij}, & \text{если } d_{ij} = \min_{k=1, n} \{a_{kj}\}, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (12)$$

где функция $\min(x)$ вычисляется на каждом нейроне j -того столбца с помощью (9). В последнем случае для остальных нейронов решение задачи принимает следующий вид:

$$a_{ij} = \sum_{s=1}^n w_{sij} \cdot n_{si} + d_{ij} = [1 \dots 1 \dots 1] \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \min_{r=1, n} \{a_{rj}\} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + d_{ij} = \min_{r=1, n} \{a_{rj}\} + d_{ij}; \quad (13)$$

$$n_{ij} = \begin{cases} a_{ij}, & \text{если } a_{ij} = \min_{k=1, n} \left\{ \min_{r=1, n} \{a_{rk}\} + d_{kj} \right\}, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (14)$$

т.е. решение предполагает наличие только одного активного нейрона в столбце нижнего слоя. Рассуждая по индукции и выстраивая цепь вычислений от начального до конечного узла, мы всегда получаем с помощью данной НС оптимальное решение и при этом $n_{ij} > 0$ только у тех нейронов, которые принадлежат кратчайшему маршруту.

Одним из важных компонентов стратегической навигационной системы является стратегический планировщик, который предназначен для глобального управления поведением мобильного робота на всем маршруте его движения по направлению к цели. Он является главным компонентом стратегической навигационной системы и осуществляет синхронизацию всех ее процессов с помощью специального алгоритма, который реализует следующие модели поведения: 1) составление карты среды; 2) движение вдоль кратчайшего маршрута; 3) выход из тупика. Все стадии алгоритма выполняются при условии нахождения робота на перекрестке, либо в тупике (см. рис. 4).

При этом движение робота вдоль коридоров осуществляется с помощью тактической навигационной системы.

Этап составления карты среды состоит из следующих шагов: 1) *вычисление положения указателя* (т.е. координат перекрестка рядом с роботом) и *преобразование относительно него интервалов, полученных тактической навигационной системой*; 2) *проверка достижения целевого указателя при выходе робота из тупика* (т.е. осуществляется мониторинг за изменениями среды и модификация ее карты); 3) *создание связи между указателями* (т.е. построение ребра графа при достижении следующего перекрестка); 4) *формирование кратчайшего маршрута движения для достижения цели*. При этом описание кратчайшего маршрута определяется как набор соответствующих пар индексов, с помощью которых интервалы локализуются в нейросетевой базе данных, т.е.: $КратчМаршр = \{\{УказИнд_1, ИнтервИнд_1\}, \dots, \{УказИнд_n, ИнтервИнд_n\}\}$, где $УказИнд_i$ – индекс указателя; $ИнтервИнд_i$ – индекс интервала, принадлежащего данному указателю. С помощью этих двух индексов однозначно определяется необходимый интервал для движения от одного указателя к другому вдоль всего спланированного маршрута. В случае неудачи, выбирается свободный интервал, ближайший по направлению к целевому вектору.

Стадия движения вдоль спланированного маршрута предполагает выполнение следующей последовательности действий: 1) *вычисление положения перекрестка и преобразование интервалов, полученных тактической навигационной системой, относительно него*; 2) *проверка на достижение роботом требуемого перекрестка в кратчайшем маршруте* (мониторинг изменений среды – появление новых направлений движения); 3) *проверка на существование интервала, ведущего к следующему указателю в кратчайшем маршруте* (т.е. проверка возможности дальнейшего движения вдоль кратчайшего маршрута); 4) *если все условия выполнены и робот не достиг конца кратчайшего маршрута, то робот продолжает двигаться вдоль него, иначе осуществляется переключение в режим составления карты среды*.

Обработка тупиковой ситуации подразумевает выполнение следующих действий при наличие робота в тупике: 1) *удаление ребра графа, если при движении вдоль кратчайшего маршрута оно заблокировано препятствием*; 2) *проверка на достижение целевой точки движения в тупике* (т.е. выполнение маневра парковки робота, если предполагается, что глобальная цель движения находится где-то поблизости в тупике); 3) *иначе возврат робота к предыдущему перекрестку и переключение в режим составления карты среды*.

Для определения положения робота на местности в случае его инициализации, используется нейронная сеть для локализации робота. В процессе составления топологической карты среды данная НС параллельно накапливает необходимую информацию о среде в виде бинарных образов перекрестков, с помощью которой осуществляется коррекция позиции робота относительно глобальной системы координат. Система локализации реализуется в виде нейронной сети встречного распространения, где, с одной стороны, на вход подается бинарный образ перекрестка M из 120 элементов, образуемый по принципу: единица, если 3° -й сектор карты препятствий принадлежит свободному интервалу на перекрестке, и ноль – в обратном случае, а, с другой стороны, –

на выходе координаты перекрестка. Первый слой НС для локализации робота является самоорганизующейся сетью Кохонена, осуществляя поиск необходимого перекрестка согласно представленной входной информации по следующей формуле:

$$z_k = \begin{cases} 1, & \text{если } q_k = \min_j(q_j) \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (15)$$

Она определяет условие выбора нейрона-победителя z_k промежуточного слоя нейронной сети встречного распространения, если он обладает минимальным евклидовым расстоянием q_k между входным вектором $M=(m_j)$ и весовым вектором матрицы $W=(w_{ij})$ НС, которое вычисляется следующим образом:

$$d_j = \sum_i |m_i - w_{ij}| \quad (16)$$

и затем нормализуется по следующему правилу:

$$q_j = \left(\frac{d_j}{f_j + 1} \right) \cdot (\alpha_j + \beta_j - \alpha_j \cdot \beta_j) + 10^6 \cdot \chi_j \cdot \delta_j \quad (17)$$

Здесь f_j – частота выбора j -того нейрона сети Кохонена, параметры α_j и β_j определяют условие, которое «разрешает» j -тому нейрону принять участие в конкуренции:

$$\alpha_j = \begin{cases} \text{sign} \left(\frac{(s-p)}{d_j} - 1 \right), & \text{если } d_j > 0 \\ 1, & \text{иначе} \end{cases}, \quad \beta_j = \text{sign}(0.5 - f_j) \quad (18)$$

где s – длина входного вектора ($s=120$), p – пороговое значение, определяющее допустимую корреляцию входного вектора с весовым вектором нейрона ($p=115$), $\text{sign}(x)$ – пороговая функция с областью значений из множества $\{0,1\}$. Соответственно, параметры χ_j и δ_j «блокирует» участие нейрона в конкуренции:

$$\chi_j = \text{sign} \left(\frac{d_j}{(s-p)} - 1 \right), \quad \delta_j = \text{sign}(f_j - 0.5). \quad (19)$$

Изменение весов сети Кохонена осуществляется по упрощенному правилу: $W_k=M$, $f_k=f_k+1$, где k – индекс нейрона-победителя. Инициализация НС осуществляется случайными значениями в диапазоне $[0,1]$. После того, как входной образ был идентифицирован сетью Кохонена, осуществляется сохранение (либо восстановление) соответствующих координат перекрестка во втором слое сети встречного распространения, представленного в виде однослойного персептрона с линейной функцией активации.

Предлагаемая система стратегического управления является результатом дальнейшего развития навигационной системы, представленной в предыдущей главе. Она является продуктом анализа поведения автономного транспортного средства в незнакомой операционной среде, который был не способен накапливать знания о структуре среды и использовать полученные знания для планирования оптимального маршрута движения для достижения цели.

В четвертой главе рассматриваются технические аспекты реализации навигационной системы на реальных роботах «WALTER» и «PIONEER-1». Выполняется анализ поведения транспортных средств в ходе экспериментального тестирования в

офисных помещениях, а также даются некоторые рекомендации по улучшению конструкции роботов, чтобы обеспечить надежное управление в различных операционных средах.

Тестирование тактической навигационной системы проводилось на роботе «WALTER» в здании лабораторного корпуса Фаххошпуле (Равенсбург, Германия) (рис. 6) в рамках международного проекта INTAS.

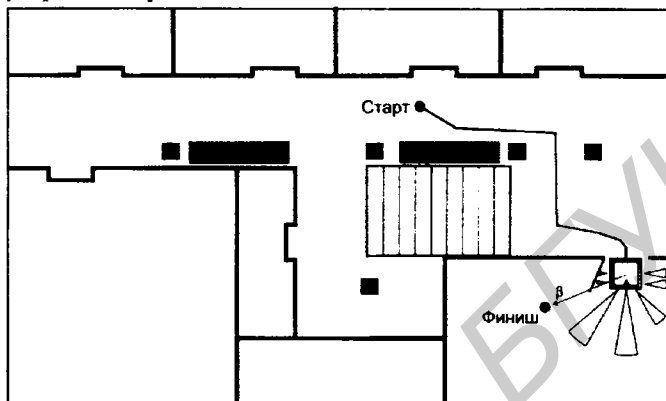


Рис. 6. Экспериментальное тестирование навигационной системы на мобильном роботе «WALTER»



Рис. 7. Дверь в лабораторию, через которую проезжал робот (фотография получена с помощью видеокamеры робота)

В ходе испытаний навигационной системы были использованы следующие режимы работы робота: *режим движения* и *непрерывный режим поворота*. В ходе реализации экспериментов с роботом ставились следующие навигационные задачи: а) свободное движение робота по коридору; б) объезд роботом статических и динамических препятствий при движении к цели; в) парковка робота у стены; г) прохождение роботом дверей.

В качестве примера на рис. 7 показана дверь, ведущая из коридора в лабораторию, через которую роботу необходимо было проехать. При этом ширина робота составляла 78см, в то время как ширина двери – 1м. В ходе испытаний робот уверенно объезжал препятствия, но при этом «испытывал трудности» с заездом в лабораторию через дверь – т.е. «отказывался» ехать внутрь помещения. Анализ причин данного поведения показал, что для безопасного движения через дверь необходимо, чтобы дверь была шире диаметра воображаемой окружности, описанной вокруг робота, имеющего почти квадратную форму, т.е. около 110см. Данное условие гарантирует безопасное движение в двери при случайном повороте робота более чем на 60°. Только

уменьшение критерия безопасности робота в навигационной системе позволило увеличить процент удачных испытаний при выполнении данного маневра до 95%. В остальных случаях робот проезжал мимо двери и после разворота со следующей попытки достигал цели.

В рамках международного проекта DLR в здании лабораторного корпуса Фаххохшуде (Равенсбург, Германия) проводились также испытания тактической навигационной системы на роботе «PIONEER». Целью исследования было адаптация предложенной навигационной системы на роботе с серьезными недостатками сенсорной и одометрической системы для подтверждения надежности и универсальности предложенной концепции автономной навигационной системы. В ходе исследований с данной моделью робота были использованы дополнительные компоненты программного управления для надежного обнаружения препятствий вокруг робота. Это, с одной стороны, привело к замедлению работы навигационной системы, а с другой – позволило надежно определять расположение объектов вокруг робота, чтобы избежать с ними столкновений в ходе экспериментальных исследований.

В этой главе рассмотрено также экспериментальное тестирование компонентов стратегической системы управления, связанное с решением задачи локализации в пространстве и глобальным планированием маршрута движения. Дается анализ и оценка эффективности предложенной многокомпонентной структуры навигационной системы по управлению автономным транспортным роботом для решения различных навигационных задач.

Заключение описывает основные результаты исследований и выводы, сделанные на их основе.

В приложении 1 содержатся сведения об аппаратуре и функциональных особенностях мобильных роботов «WALTER» и «PIONEER-1», алгоритм построения карты препятствий для мобильных роботов с интеграцией данных от ультразвуковых датчиков и инфракрасного сканера.

В приложении 2 приводятся акты внедрения результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главный результат диссертационной работы заключается в разработке многокомпонентной навигационной системы для автономного мобильного робота. Предложенный вариант системы, построенный на гибридной основе, сочетает в себе достоинства различных технологий обработки информации и управления, нацеленных на достижение наиболее эффективного результата. Основные их особенности и научные результаты можно сформулировать следующим образом:

1. На основе анализа поведения автономной навигационной системы предложена оригинальная концепция интервалов. С ее помощью осуществляется компактное описание среды непосредственно вокруг робота, где «внимание» навигационной системы обращается не на препятствия, которые окружают робота, а на те промежутки в пространстве, которыми робот может воспользоваться для построения маршрута движения [4,6]. Это позволяет существенно снизить требования к вычислительным

ресурсам, реализовать простой механизм построения топологической карты среды и повысить общую производительность системы при решении навигационных задач. На ее основе предложена тактическая навигационная система для планирования маршрута движения мобильного робота в пределах области действия сенсорных устройств. Ее использование в качестве навигационной системы для двух разных мобильных роботов продемонстрировало универсальность предложенной концепции системы [4].

2. Разработана нейросетевая система картографии на основе модели интервалов и указателей. С ее помощью осуществляется организация и накопление информации при исследовании роботом незнакомой местности, а также ее восстановление на этапе глобального планирования маршрута [2,7].
3. Предложена нейронная сеть для решения задачи о кратчайшем маршруте. В ее основе лежит концепция поиска минимума одномерного целочисленного ряда, которая позволяет отдельным нейронам сети без итерационных процессов однозначно определять принадлежность ребер графа кратчайшему маршруту. Это позволяет математически распараллелить вычисления и ускорить процесс сходимости нейронной сети к оптимальному решению [1,8-10].
4. Разработан алгоритм стратегического управления мобильным роботом [2], имеющий в своей основе логические правила поведения автономного транспортного средства в различных операционных средах. Предложенный подход организации навигационной системы позволил объединить достоинства нейронных сетей при организации карты местности и планирования маршрута с алгоритмом управления для достижения конкретного результата. Применение гибридного подхода, в отличие от ориентации только на нейросетевую технологию [11], позволило создать компактную систему принятия решения с использованием различных типов логики [12-14].
5. Разработана нейросетевая модель для решения задачи локализации робота на местности, которая осуществляет «привязку» отличительных признаков среды в виде бинарных образов перекрестков маршрутов к глобальной системе координат. Предложенная модель локализации использует модель интервалов и указателей, благодаря которой удастся существенно сократить объем обрабатываемой информации и повысить производительность навигационной системы [3].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах и научных сборниках

1. Димаков В. М. Модель нейронной сети для решения задачи о кратчайшем маршруте: вопрос сходимости и единственности решения // Вестник Брестского государственного технического университета: Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. – 2001. – №4. – С.87-92.
2. Димаков В. М. Система картографии и планирования маршрута для автономного мобильного робота// Вестник Брестского государственного технического университета: Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. – 2003. – №4. – С.58-62.
3. Димаков В. М. Локализация автономного мобильного робота в динамической среде: нейросетевое решение проблемы // Вестник Брестского государственного технического университета: Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. – 2003. – №4. – С.62-66.

Материалы научно-технических конференций

4. Golovko V., Albertos P., Schilling K., Dimakov V., Ignatiuk O. The neural network approach for reactive control of a mobile robot // In Proc. of 6th IFAC Symposium on Robot Control, SYROCO'00. – Vienna AUT, 2000. – P. 213-217.
5. Dimakov V., Golovko V. Self-Organizing Path Planning Control System for a Vehicle // In Proc. of the 2nd ICSC Symposium on Neural Computation, Berlin, Germany/ Eds.: H.Bothe&R.Rojas, International Computer Science Conventions, Canada/Switzerland. – 2000. – P. 572-676.
6. Димаков В.М. Модель системы поведения робота в незнакомой обстановке// Сб. стат. н.-т. конф. «Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике», 31 марта-1 апреля/ Брестский политехнический институт. – Брест, 1998. – С.78-83.
7. Dimakov V. Self-Organizing Path Planning System for an Autonomous Mobile Robot: A Neural Subsystem of World Cartography // Proc. of the 2nd International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence ICNNAI'2001, Minsk/ BSUIR. – Minsk, 2001. – P. 214-217.
8. Dimakov V. The Neural Network Approach for the Shortest Path Planning Problem // In Proc. of the 2nd ICSC Symposium on Neural Computation, Berlin, Germany/ Eds.: H.Bothe&R.Rojas, International Computer Science Conventions, Canada/Switzerland. – 2000. – P.70-75.
9. Димаков В. Нейронная сеть планирования маршрута для транспортного робота // Сб. стат. н.-т. конф. «Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике», 31 марта-1 апреля / Брестский политехнический институт. – Брест, 1998. – Т.2. – С. 25-32.
10. Dimakov V. The Approach of the Shortest Path Planning Problem Solution on the Basis of a Neural Network // Proc. of the International Conference on Neural Networks and

Artificial Intelligence (ICNNAI'99)/ Ed. Vladimir Golovko, BPI. – Brest, 1999. – P.79-84.

11. Dimaĸov V. Intelligent Neural System of a Route Planning for the Mobile Robot// Proceedings of the 20th International Scientific Symposium of Students and Young Scientific Workers/ Politechnika Zielonogorska – Zielona Gura PL, 1998. – Vol.3. – P. 106-110.
12. Димаков В.М. Основные концепции системы планирования маршрута для автономного управления мобильным роботом// Сб. стат. XXXIV научно-технической конференции аспирантов и студентов/ Мн.: БГУИР, 14-17 апреля. – Минск, 1998. – С.54-59.
13. Dimakov V. Self-Organizing System Forming Strategy of the Global Behavior for Control of an Autonomous Mobile Robot // Proc. of the International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'99)/ Ed. Vladimir Golovko, BPI. – Brest, 1999. – P.73-78.
14. Dimakov V. An Approach of the Optimal Motion Route Formation for an Autonomous Mobile Robot // In Proc. of 3rd Eurel Workshop and Masterclass, European Advanced Robotics Systems Development/ University of Salford. – Manchester UK, 2000. – Vol.2. – P.76-81.



Библиотека БГУИР

РЭЗЮМЭ

дысертацыі Дзімакова Валянціна Міхайлавіча

**«Нейрасеткавая навігацыйная сістэма для кіравання аўтаномным
мабільным роботам»**

Ключавыя словы: мабільныя роботы, аўтаномныя навігацыйныя сістэмы, задача аб найкарацейшым маршруце, тактычнае кіраванне мабільным роботам, стратэгічнае планаванне маршруту руху, глабальная аптымізацыя, лакалізацыя робата на мясцовасці.

У дысертацыйнай рабоце прапанована адзіная канцэпцыя навігацыйнай сістэмы для эфектыўнага кіравання аўтаномным транспартным роботам. Абгрунтавана і распрацавана многакампанентная структура сістэмы, нацэленая на раўнамернае размеркаванне падзадач паміж рознымі функцыянальнымі блокамі сістэмы на розных стадыях руху аўтаномнага транспартнага сродка.

Прапанована арыгінальная канцэпцыя інтэрвалаў, з дапамогай якой ажыццяўляецца кампактнае апісанне асяроддзя непасрэдна вакол робата і на яе аснове распрацавана мадэль тактычнага планавання паводзіны робата, якая лакальна прагназуе паводзіны транспартнага сродка ў аперацыйных асяроддзях. Распрацавана эфектыўная нейрасеткавая сістэма для будавання карты мясцовасці на аснове мадэлі паказальнікаў. З яе дапамогай ажыццяўляецца арганізацыя і збіранне інфармацыі, як на стадыі даследавання незнамай мясцовасці, так і аднаўленне яе на этапе глабальнага планавання маршруту. Распрацавана нейронная сетка для рашэння задачы аб найкарацейшым маршруце. У яе аснове ляжыць арыгінальная канцэпцыя пошуку мінімуму ў аднамерным цэлалікавым радзе, якая дазваляе абасобленым нейронам сеткі без рекуррэнтных працэсаў адзначна вызначаць прыналежнасць раброў графа найкарацейшаму маршруту. Распрацаван з'ўрыстычны алгарытм глабальнага планавання маршруту руху, які маець у сваёй аснове лагічныя правілы паводзін аўтаномнага транспартнага сродка ў розных аперацыйных асяроддзях. Прапанована нейрасеткавая мадэль для рашэння задачы лакалізацыі робата на мясцовасці. Эфектыўнасць яе абумоўлена, перш за ўсё, спосабам прывязкі адметных прымет аперацыйнага асяроддзя да адпаведнаму становішчу робата. Гэта, у сваю чаргу, дазваляе значна скарачаць паток апрацаванай інфармацыі і ўзняць хуткасць сістэмы на змяненні ў аперацыйным асяроддзі.

Атрыманая вынікі могуць ужывацца для будавання аўтаномных транспартных сродкаў пры рашэнні розных транспартных задач на прамысловасці, у тым ліку са шкоднымі экалагічнымі ўмовамі.

РЕЗЮМЕ

диссертации Димакова Валентина Михайловича

«Нейросетевая навигационная система для управления автономным мобильным роботом»

Ключевые слова: мобильные роботы, нейронные сети, автономные навигационные системы, задача о кратчайшем маршруте, тактическое управление мобильным роботом, стратегическое планирование маршрута движения, глобальная оптимизация, локализация робота на местности.

В диссертационной работе предложена единая концепция навигационной системы для эффективного управления автономным транспортным роботом. Обоснована и разработана многокомпонентная структура системы, нацеленная на равномерное распределение подзадач между различными функциональными блоками системы на различных стадиях движения автономного транспортного средства.

Предложена оригинальная концепция интервалов, с помощью которой осуществляется компактное описание среды непосредственно вокруг робота и на ее основе разработана модель тактического управления поведением робота, которая локально прогнозирует поведение транспортного средства в сложных операционных средах. Разработана эффективная нейросетевая система для составления карты местности на основе модели указателей. С ее помощью осуществляется организация и накопление информации, как на стадии исследования незнакомой местности, так и восстановление ее на этапе глобального планирования маршрута. Разработана нейронная сеть для решения задачи о кратчайшем маршруте. В ее основе лежит оригинальная концепция поиска минимума в одномерном целочисленном ряду, которая позволяет отдельным нейронам сети без рекуррентных процессов однозначно определять принадлежность ребер графа кратчайшему маршруту. Разработан эвристический алгоритм глобального планирования маршрута движения, имеющий в своей основе логические правила поведения автономного транспортного средства в различных операционных средах. Предложена нейросетевая модель для решения задачи локализации робота на местности. Эффективность ее обусловлена, прежде всего, способом привязки отличительных признаков операционной среды к соответствующему положению робота. Это в свою очередь позволяет значительным образом сократить поток обрабатываемой информации и повысить скорость реакции системы на изменения в операционной среде.

Полученные результаты могут быть использованы для создания автономных транспортных средств при решении различных транспортных задач на производстве, в том числе с вредными экологическими условиями.

SUMMARY

of the PhD-Thesis

“The neural network navigating system for control by an autonomous mobile robot” by
Dimakov Valentin Mihailovich

Key words: mobile robots, neural networks, autonomous navigating systems, shortest path problem, reactive control by a mobile robot, strategic path planning, global optimization, robot localization.

This PhD-Thesis proposes a uniform conception of the navigating system for the robust control by an autonomous transport robot. The multi-component structure of the system, which realizes the proportional distribution of subtasks between different blocks of the system during the different motion stages of the autonomous vehicle, was validated and developed.

The original conception of intervals, which is a basic idea of the compact description of an environment around the robot, was proposed. The model of the reactive path-planning based on interval conception, which predicts locally the vehicle behavior in the complex operation environments, was developed. The efficient neural network realizing the model of the environment cartography based on the model of indicators was developed. It helps to realize the maintenance and accumulation of information in the stage of exploration of an unfamiliar territory as well as its restoration in the stage of the global path-planning. The neural network for the solution of the shortest path problem was developed. It is based on the minimum search in the one-dimensional integer series as the original conception, and which allows to neurons of the neural network to determine uniquely the identity of graph arcs to the shortest path without recurrent processes. The heuristic algorithm of the global path-planning of motion, which is based on the logical behavior rules of the autonomous vehicle in various operational environments, was developed. The neural network model for the initial localization of the robot was developed. Its efficiency depends first of all on an approach of the determination of the environment landmarks for the certain positions of the vehicle. It allows also to reduce significantly the computational expenses and to increase the system reaction on changes in the operational environments.

The results received in the PhD-Thesis can be applied for the development of the autonomous vehicle at the solution of various transport tasks in an industry including the bad ecological conditions.

Димаков Валентин Михайлович

НЕЙРОСЕТЕВАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

Специальности:

05.13.15 – «Вычислительные машины и системы»

05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 20.07.2004.

Бумага офсетная.

Уч.-изд. л. 1,2.

Печать ризографическая.

Тираж 80 экз.

Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 1,63.

Заказ 465.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования

«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.

Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0133108 от 30.04.2004.

220013, Минск, П. Бровка, 6