

управление (МАУ-2009): Материалы Междунар. науч.-техн. конф. Т. 2. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 190-194.

**Каляев Игорь Анатольевич**

Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем Южного федерального университета.

E-mail: kaliaev@mvs.tsure.ru.

347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 2.

Тел.: 88634360376, 88634615459.

**Капустян Сергей Григорьевич**

E-mail: kap@mvs.tsure.ru.

**Гайдук Анатолий Романович**

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: gaiduk\_2003@mail.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634315494.

**Kalyaev Igor Anatol'evich**

Scientific research institute of multiprocessor computing systems of SFU.

E-mail: kaliaev@mvs.tsure.ru.

2, Chehova Street, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634360376, 88634615459.

**Kapustyan Sergey Grigor'evich**

E-mail: kap@mvs.tsure.ru.

**Gaiduk Anatoliy Romanovich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: gaiduk\_2003@mail.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634315494.

УДК 528.8

**А.В. Тимофеев**

**МУЛЬТИ-АГЕНТНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ  
И НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ\***

*Рассматриваются основы теории и перспективы развития мульти-агентных робототехнических систем. Описываются интеллектуальные и нейросетевые технологии групповой навигации, сетевого управления и параллельной обработки информации и разрешения конфликтов в прикладных задачах.*

*Системы интеллектуального управления; сетевые и нейросетевые агенты; мульти-агентные технологии.*

**A.V. Timofeev**

\* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 09-08-00767-а, РФФИ № 08-08-12183-офи и РФФИ-ГФЕН Китая 10-08-91159 и Проекта № 1.6 Программы № 1 Президиума РАН.

## MULTIAGENT ROBOTIC SYSTEMS AND NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES

*Theory bases and development perspectives for multi-agent robotic systems are considered. Intelligent and neural technologies of group navigation, neural control and parallel processing of information and conflict resolution in applied problems are described.*

*Intelligent control systems; network and neural agents; multi-agent technologies.*

**1. Интеллектуализация систем управления и навигации роботов.** В последние годы важное значение приобретает развитие принципов интеллектуального управления роботами, интеграции систем управления движением, навигации и функциональной диагностики, а также создание теории мульти-агентных робототехнических систем (МАРС).

Принцип интеллектуального управления роботами основывается на использовании элементов искусственного интеллекта (ИИ) [1–5]:

- ◆ моделирование среды (препятствий) на основе локальной сенсорной информации или средств виртуальной реальности;
- ◆ планирование кратчайших маршрутов и траекторий движения в среде с известными или неизвестными препятствиями;
- ◆ распознавание образов и функциональная диагностика.

Одним из наиболее эффективных средств распараллеливания процессов обработки информации и управления являются нейронные сети (НС). Предложенные в [6–12] методы интеллектуального и нейросетевого управления нашли применение в различных областях.

**2. Мульти-агентные робототехнические системы.** На практике роботы обычно интегрируются в мульти-агентные робототехнические системы (МАРС) для совместного достижения общих целей и решения сложных задач. При этом возникают новые проблемы группового управления и коммуникации, связанные с организацией “коллективного” поведения роботов. Традиционно эти проблемы решались на основе централизованного или децентрализованного управления.

Компромиссный подход заключается в сетевом управлении и групповой навигации МАРС. В этом случае роботы рассматриваются как интеллектуальные мехатронные агенты МАРС, локальные БД и БЗ и могут оперативно обмениваться информацией [4, 5].

Принцип действия МАРС основывается на декомпозиции общей задачи на ряд локальных задач, возлагаемых на агентов-роботов, распределении этих задач между ними, планировании коллективного поведения агентов, координации взаимодействия агентов на основе кооперации, реконфигурации, коммуникации и разрешения конфликтных ситуаций [4, 5].

Задачи стратегического уровня обычно возлагаются на специального агента-координатора, а задачи тактического уровня параллельно решаются роботами как мехатронными агентами. В результате мульти-агентного управления и групповой навигации значительно увеличивается надёжность, адаптивность и быстродействие МАРС в изменяющейся среде с препятствиями. В последние годы были разработаны основы теории управления МАРС и информационная технология мульти-агентной бесконфликтной навигации коллектива роботов, функционирующих в изменяющейся среде с препятствиями [4–6]. В частности, были предложены методы групповой навигации и управления коллективным движением роботов-агентов и разрешения конфликтов (предотвращения столкновений).

**3. Мульти-агентное управление информационными потоками в МАРС.** Совершенствование МАРС связано с развитием методологии автоматизации, адаптации и интеллектуализации систем сетевого управления информационными потоками на базе динамических моделей телекоммуникационных сетей (ТКС), как

сложных объектов управления с переменной структурой, методов оптимизации процессов маршрутизации информационных потоков и принципов адаптивного и интеллектуального управления трафиком с использованием мульти-агентных технологий и протоколов нового поколения (IPv6 и др.). На этом новом пути возможен как учет реальной динамики ТКС, т.е. фактического состояния или изменения структуры (топологии) и параметров (весов каналов связи) ТКС в реальном времени, так и адаптация к различным факторам неопределенности на основе мониторинга и функциональной диагностики ТКС [4–6].

Основные функции обработки информации, самоорганизации и управления информационными потоками по запросам внешних агентов распределяются между внутренними агентами, роль которых выполняют сетевые или нейросетевые агенты. Архитектура этих внутренних сетевых агентов аналогична архитектуре ТКС. В этом проявляется фрактальность сетевых и нейросетевых агентов по отношению к ТКС и ее подсетям.

Нейросетевые агенты предназначены прежде всего для параллельной передачи и обработки сложных мультимедийных сигналов и образов (2D- или 3D-изображения и т.п.). В результате обучения по множеству прецедентов из обучающей БД осуществляется настройка архитектуры (топологии сетевых нейронов) и параметров (синаптических весов) нейронных агентов на решаемую задачу [4–6, 10–12]. В последнее время разработаны модели нейросетевых агентов для адаптивной маршрутизации (агенты-маршрутизаторы) и автоматической классификации WEB-сайтов на естественном (русском) языке (агенты-классификаторы). Программная реализация и имитационное моделирование этих агентов свидетельствует об их эффективности и преимуществах по отношению к традиционным информационным технологиям.

Важное значение для эффективного распознавания образов и диагностики состояний в реальном времени представляют гетерогенные полиномиальные (ПНС) с самоорганизующейся архитектурой, которые аккумулируют «нейрообразы» и решающие (классифицирующие и идентифицирующие) правила и обеспечивают массовый параллелизм, хорошую экстраполяцию и высокое быстродействие при принятии оптимальных или субоптимальных решений [6–10].

Коллективное использование гетерогенных ПНС в качестве НС-агентов позволяет дополнительно распараллелить и распределить между локальными НС-агентами процессы решения сложных (глобальных) задач распознавания образов, анализа изображений и сцен, расширенной диагностики состояний и адаптивной маршрутизации информационных потоков.

**4. Логические методы и нейросетевые технологии распознавания сложных изображений и сцен.** Использование логических описаний образов позволяет свести задачи распознавания сложных изображений и интеллектуального анализа сцен к поиску логического вывода в исчислении предикатов. При этом решаются в МАРС три типа задач распознавания образов [9–10]:

- ◆ идентификация объекта из заданного класса на сложном изображении или 3D-сцене;
- ◆ классификация всех объектов на сложном изображении или 3D-сцене;
- ◆ анализ и локализация всех объектов на сложном изображении или 3D-сцене.

Для увеличения эффективности поиска предлагается иерархический способ формирования таких логических описаний. Нейросетевое представление иерархических логических описаний образов и решающих правил обеспечивает массовый параллелизм и высокое быстродействие при распознавании сложных изображений и интеллектуальном анализе сцен [9–12].

Предложенные логические методы и нейросетевые технологии успешно использовались для интеллектуального зрения роботов в МАРС при решении следующих прикладных задач [2, 3, 20, 25]:

- ◆ оценка потенциальной террористической опасности людей и предметов на вокзалах;
- ◆ распознавание и оценка террористической опасности транспортных средств, движущихся вблизи газопроводов [9–11].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимофеев А.В. Роботы и искусственный интеллект. – М.: Наука, 1978. – 192 с.
2. Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы. – Л.: Машиностроение, 1988. – 332 с.
3. Timofeev A.V. Intelligent Control Applied to Non-Linear Systems and Neural Networks with Adaptive Architecture. – Journal of Intelligent Control, Neurocomputing and Fuzzy Logic, 1996. V. 1. – № 1. – P. 1-18.
4. Тимофеев А.В. Мульти-агентное и интеллектуальное управление сложными робототехническими системами. Юбилейный сборник “Теоретические основы и прикладные задачи интеллектуальных информационных технологий”, посвященный 275-летию РАН и 20-летию СПИИ РАН. – СПб.: СПИИРАН, 1999. – С. 71-81.
5. Тимофеев А.В. Методы высококачественного управления, интеллектуализации и функциональной диагностики автоматических систем. Ч. I, Ч. II. Мехатроника, автоматизация, управление. – 2003. – № 5. – 2004. – № 2.
6. Каляев А.В., Тимофеев А.В. Методы обучения и минимизации сложности когнитивных нейромодулей супер-макро-нейрокомпьютера с программируемой архитектурой. – Доклады АН, 1984. Т. 337. – № 2. – С. 180-183
7. Тимофеев А.В. Методы синтеза диофантовых нейронных сетей минимальной сложности. – Доклады АН, 1995. Т. 345. – № 1. – С. 32-35.
8. Тимофеев А.В., Сырцев А.В. Модели и методы маршрутизации потоков данных в телекоммуникационных системах с изменяющейся динамикой. – М.: Изд-во «Новые технологии», 2005. – С. 85.
9. Timofeev A.V. Parallel Structures and Self-Organization of Heterogeneous Polynomial Neural Networks for Pattern Recognition and Diagnostics of States. – Pattern Recognition and Image Analysis, 2007. Vol. 17. – № 1. – P. 163-169.
10. Timofeev A.V., Azaletskiy P.S., Myshkov P.S., Kesheng Wang. Neural Network System for Knowledge Discovery in Distributed Heterogeneous Data. – Knowledge Enterprise: Intelligent Strategies in Product Design, Manufacturing, and Management. Vol. 207, 2006. – P. 144-151.
11. Косовская Т.М., Тимофеев А.В. Иерархическое описание классов и нейросетевое распознавание сложных образов. – Нейрокомпьютеры: разработка и применение, 2007. – № 6. – С. 30-33.
12. Амбарян Т.Р., Тимофеев А.В. Модели квантовых и нейронных вычислений в задачах обработки информации // Известия вузов. Приборостроение, 2005. Т. 48. – № 7. – С. 35-40.

#### **Тимофеев Адиль Васильевич**

Учреждение Российской академии наук Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН.

E-mail: tav@iias.spb.su.

199178, г. Санкт-Петербург, 14-я линия, д. 39.

Тел.: 88123280421.

#### **Timofeev Adil Vasilievich**

Institution of the Russian Academy of Sciences St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS.

E-mail: tav@iias.spb.su.

14-th Line, 39, St. Petersburg, 199178, Russia.

Phone: 88123280421.