

центрацию отравляющих веществ. Точки, в которых концентрация превышает допустимый уровень, помечаются на карте и, по результатам измерений, корректируется картограмма заражения. По команде «Поиск безопасных маршрутов» в автоматическом режиме строятся маршруты эвакуации персонала, а по команде «Маркировка и нейтрализация» производится разбиение роботов на группы в соответствии с их специализацией. Часть роботов передвигается к очагам заражения для их нейтрализации, а другие роботы размещаются вдоль маршрутов эвакуации в качестве маркеров (на рис. 11 они снабжены флажками).

Разработанная многоагентная робототехническая система может применяться как в случае техногенных аварий на химически опасных объектах, в условиях радиационного или биологического заражения (при использовании специального оборудования), так и при ликвидации последствий различных природных катастроф.

Заключение. Развитие робототехники вступает в новую стадию, когда от задач дистанционного управления мобильными и манипуляционными робототехническими устройствами мы переходим к управлению кооперативного типа, при котором робот становится полноценным участником процесса управления – партнером оператора. При этом существенно упрощается задача оператора, которому практически не требуется предварительной подготовки. Однако усложняется сама робототехническая система, обладающая теперь высокой степенью автономности и обладающая возможностями, которые относят к искусственному интеллекту. Благодаря этому становится возможным решать с помощью робототехнических устройств значительно более широкий круг задач, чем раньше. Проблемы теперь упираются, с одной стороны, в возможности вычислительной техники, которая должна оценивать текущую обстановку и управлять мобильными роботами в реальном масштабе времени с учетом достаточно высоких скоростей движения. А с другой – в психофизиологические возможности человека-оператора в сопровождении автономной деятельности мобильных роботов во внешнем мире. Если первая проблема постепенно решается в ходе технического прогресса, то вторая, в силу ограниченности возможностей человека требует постоянного развития интерфейса «человек-робот» с учетом его психологических ограничений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Kristensen S, Horstmann S., Klandt J., Lohner F., and Stopp A.* Human-friendly interaction for learning and cooperation // Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seoul, Korea, 2001. IEEE. – P. 2590-2595.
2. *Герасимов В.Н., Михайлов Б.Б.* Решение задачи управления движением мобильного робота при наличии динамических препятствий // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. Спецвыпуск "Робототехнические системы". – 2012. – № 6. – С. 83-92.
3. *Ulas C., Temeltas H.* Multi-Layered Normal Distribution Transform for Fast and Long Range Matching // Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2013. – Vol. 71 (1). – P. 85-108.
4. *Герасимов В.Н.* Алгоритм SLAM на основе корреляционной функции // Экстремальная робототехника: Сборник докладов всероссийской научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во «Политехника-сервис», 2015. – С. 126-133.
5. *Герасимов В.Н.* К вопросу управления движением мобильного робота в динамической среде // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. – № 1 (2). – С. 44-51.
6. *Nist'er D., Naroditsky O., Bergen J.* Visual odometry for ground vehicle applications // Journal of Field Robotics. – 2006. – Vol. 23 (1). – P. 3-20.
7. *Девятериков Е.А., Михайлов Б.Б.* Использование данных визуального одометра для автономного возвращения мобильного робота в среде без фиксированных точек отсчета // Экстремальная робототехника: Сборник докладов всероссийской научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во «Политехника-сервис», 2015. – С. 356-361.

8. *Девятериков Е.А.* Алгоритм описания траектории мобильного робота по данным визуального одометра для автоматического возвращения к оператору // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 12. – С. 705-715.
9. *Девятериков Е.А., Михайлов Б.Б.* Визуальный одометр // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. Спецвыпуск "Робототехнические системы". – 2012. – № 6. – С. 68-82.
10. *Кандрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А.* Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах. – М.: Наука, 1989. – 328 с.
11. *Ющенко А.С.* Маршрутизация движения мобильного робота в условиях неопределенности // Мехатроника, автоматизация и управление. – 2004. – № 1.
12. *Ющенко А.С., Тачков А.А.* Интегрированная система управления пожарным разведывательным роботом // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. Спецвыпуск «Робототехнические системы». – 2012. – № 6. – С. 106-11.
13. *Воротникова С.А., Ермишин К.В.* Интеллектуальная система управления сервисным мобильным роботом // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. Спецвыпуск «Робототехнические системы». – 2012. – № 6. – С. 285-289
14. *Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука: Физматлит, 1990. – 271 с.
15. *Ющенко А.С.* Диалоговое управление роботами на основе нечеткой логики // Экстремальная робототехника: Сборник докладов всероссийской научно-технической конференции. – СПб: Изд-во «Политехника-сервис», 2015. – С. 143-146.
16. *Ющенко А.С.* Интеллектуальное планирование в деятельности роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 3. – С. 5-18.
17. *Жонин А.А.* Алгоритм обучения менеджера диалога речевой диалоговой системы управления роботом // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: Сборник научных трудов международной конференции. – М.: Физматлит, 2011. – С. 395-406.
18. *Назарова А.В., Рыжова Т.П.* Методы и алгоритмы мультиагентного управления робототехнической системой // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. – 2012. – № 6. – С. 93-105.
19. *Jennings N., Paratin P., Jonson M.* Using Intelligent Agents to Manage Business Processes // The Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology: Proceedings of the First Intern. Conference. London (UK). – 1996. – P. 345-376.
20. *Капустян С.Г.* Алгоритм коллективного улучшения плана при решении задач распределения целей в группе роботов // Штучный интеллект. – 2005. – № 3. – С. 463-474.
21. *Даринцев О.В.* Система управления коллективом микроботов // Штучный интеллект. – 2006. – № 4. – С. 391-399.

REFERENCES

1. *Kristensen S, Horstmann S., Klandt J., Lohner F., and Stopp A.* Human-friendly interaction for learning and cooperation, *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seoul, Korea, 2001. IEEE*, pp. 2590-2595.
2. *Gerasimov V.N., Mikhaylov B.B.* Reshenie zadachi upravleniya dvizheniem mobil'nogo robota pri nalichii dinamicheskikh prepyatstviy [he task of mobile robot movement control decision in the presence of moving obstacles], *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Priborostroenie. Spetsvyпуск "Robototekhnicheskie sistemy"* [Vestnik BMSTU Priborostroenie. Special issue «Robotic Systems»], 2012, No. 6, pp. 83-92.
3. *Ulas C., Temeltas H.* Multi-Layered Normal Distribution Transform for Fast and Long Range Matching, *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2013, Vol. 71 (1), pp. 85-108.
4. *Gerasimov V.N.* Algoritm SLAM na osnove korrelyatsionnoy funktsii [SLAM algorithm on the base of a covariation function], *Ekstremal'naya robototekhnika: Sbornik dokladov vserossiyskoy nauchno-tekhnikeskoy konferentsii* [Extreme robotics: a Collection of reports of all-Russian scientific-technical conference]. St. Petersburg: Izd-vo «Politekhniko-servis», 2015, pp. 126-133.
5. *Gerasimov V.N.* K voprosu upravleniya dvizheniem mobil'nogo robota v dinamicheskoy srede [To the problem of a mobile robot control in the dynamic environment], *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika* [Robotics and Technical Cybernetics], 2014, No. 1 (2), pp. 44-51.

6. Nist'er D., Naroditsky O., Bergen J. Visual odometry for ground vehicle applications, *Journal of Field Robotics*, 2006, Vol. 23 (1), pp. 3-20.
7. Devyaterikov E.A., Mikhaylov B.B. Ispol'zovanie dannykh vizual'nogo ometra dlya avtonomnogo vozvrashcheniya mobil'nogo robota v srede bez fiksirovannykh tochek otscheta [Application of visual odometer datum for mobile robot autonomous return in the unknown environment], *Ekstremal'naya robototekhnika: Sbornik dokladov vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Transaction of the Conference Extreme Robotics]. St. Petersburg: Izd-vo «Politekhniko-servis», 2015, pp. 356-361.
8. Devyaterikov E.A. Algoritm opisaniya traektorii mobil'nogo robota po dannym vizual'nogo ometra dlya avtomaticheskogo vozvrashcheniya k operatoru [Algorithm of the trajectory planning for a mobile robot return to operator using the visual odometer datum], *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana* [Nauka i Obrazovanie. BMSTU], 2014, No. 12, pp. 705-715.
9. Devyaterikov E.A., Mikhaylov B.B. Vizual'nyy ometr [Visual odometer], *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Priborostroenie. Spetsvypusk "Robototekhnicheskie sistemy"* [Vestnik BMSTU Priborostroenie. Special issue «Robotic Systems»], 2012, No. 6, pp. 68-82.
10. Kandrashina E.Yu., Litvintseva L.V., Pospelov D.A. Predstavlenie znaniy o vremeni i prostranstve v intellektual'nykh sistemakh [Time and Space Presentation in Intelligent Systems]. Moscow: Nauka, 1989, 328 p.
11. Yushchenko A.S. Marshrutizatsiya dvizheniya mobil'nogo robota v usloviyakh neopredelennosti [The Route of a Mobile Robot Planning in undetermined environment], *Mekhatronika, avtomatizatsiya i upravlenie* [Mechatronics, Automatics and Control], 2004, No. 1.
12. Yushchenko A.S., Tachkov A.A. Integrirovannaya sistema upravleniya pozhnym razvedyvatel'nyim robotom [An integrated Control System of a Fire Reconnaissance Robot], *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Priborostroenie. Spetsvypusk "Robototekhnicheskie sistemy"* [Vestnik BMSTU Priborostroenie. Special issue «Robotic Systems»], 2012, No. 6, pp. 106-11.
13. Vorotnikov S.A., Ermishin K.V. Intellektual'naya sistema upravleniya servisnym mobil'nyim robotom [Intelligent Control System of a Service Mobile Robot], *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Priborostroenie. Spetsvypusk "Robototekhnicheskie sistemy"* [Vestnik BMSTU Priborostroenie. Special issue «Robotic Systems»], 2012, No. 6, pp. 285-289.
14. Melikhov A.N., Bernshteyn L.S., Korovin S.Ya. Situatsionnye sovetuyushchie sistemy s nechetkoy logikoy [Situative Adviser Systems on the Base of Fuzzy Logic]. Moscow: Nauka: Fizmatlit, 1990, 271 p.
15. Yushchenko A.S. Dialogovoe upravlenie robotami na osnove nechetkoy logiki [Dialogue Mode of Robot Control on the Base of Fuzzy Logic], *Ekstremal'naya robototekhnika: Sbornik dokladov vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Extreme robotics: a Collection of reports of all-Russian scientific-technical conference]. St. Petersburg: Izd-vo «Politekhniko-servis», 2015, pp. 143-146.
16. Yushchenko A.S. Intellektual'noe planirovanie v deyatel'nosti robotov [Intelligent Planning of Work of Robots], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automatics and Control], 2005, No. 3, pp. 5-18.
17. Zhonin A.A. Algoritm obucheniya menedzhera dialoga rechevoy dialogovoy sistemy upravleniya robotom [The learning algorithm of the dialog Manager speech dialog system for robot control], *Integrirovannye modeli i myagkie vychisleniya v iskusstvennom intellekte: Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy konferentsii* [Integrated models and soft computing in artificial intelligence: proceedings of the international conference]. Moscow: Fizmatlit, 2011, pp. 395-406.
18. Nazarova A.V., Ryzhova T.P. Metody i algoritmy mul'tiagentnogo upravleniya robototekhnicheskoy sistemoy [Methodology and Algorithms of Multyagent Control of a Robotic Sysytem], *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Priborostroenie* [Vestnik BMSTU Priborostroenie. Special issue № 6 «Robotic Systems»], 2012, No. 6, pp. 93-105.
19. Jennings N., Paratin P., Jonson M. Using Intelligent Agents to Manage Business Processes, *The Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology: Proceedings of the First Intern. Conference. London (UK)*, 1996, pp. 345-376.

20. *Kapustyan S.G.* Algoritm kolektivnogo uluchsheniya plana pri reshenii zadach raspredeleniya tseley v gruppe robotov [Algorithm of Collective Improvement of Planning of the Tasks Distribution in a Group of Robots], *Shtuchnyy intellect* [Shtuchny Intellect], 2005, No. 3, pp. 463-474.
21. *Darintsev O.V.* Sistema upravleniya kolektivom mikrorobotov [A System of a Group of Robots Control], *Shtuchnyy intellect* [Shtuchny Intellect], 2006, No. 4, pp. 391-399.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор В.Г. Градецкий.

Ющенко Аркадий Семенович – Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана); e-mail: robot@bmstu.ru; 105037, Москва, Измайловская пл., 7; Научно-учебный центр «Робототехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана; д.т.н.; профессор.

Михайлов Борис Борисович – Научно-учебный Центр «Робототехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана; к.т.н.; доцент.

Назарова Анаид Варгановна – Научно-учебный Центр «Робототехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н.; доцент.

Yuschenko Arkady Semenovich – Bauman Moscow State Technical University (BMSTU); e-mail: robot@bmstu.ru; 7, Izmailovskaya sq., Moscow, 105037, Russia; Scientific-Educational Center “Robototechnika” BMSTU; dr of eng. sc.; professor,

Mikhailov Boris Borisovich – Scientific-Educational Center “Robototechnika” BMSTU, cand. of eng. sc.; associate professor.

Nazarova Anaïd Vartanovna – Scientific-Educational Center “Robototechnika” BMSTU; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 681.511.4+004.896:519.876.5

В.Ф. Гузик, В.А. Переверзев, А.О. Пьявченко, Р.В. Сапрыкин

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСТРАПОЛИРУЮЩЕГО
МНОГОМЕРНОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО ПЛАНИРОВЩИКА
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОННО-ТРАЕКТОРНОГО
УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ***

Рассмотрены принципы построения экстраполирующего многомерного нейросетевого планировщика (ЭМНП) интеллектуальной системы позиционно-траекторного управления подвижными объектами. Так здесь представлены результаты исследования модернизированного метода нейросетевого планирования перемещения роботизированного подвижного объекта применительно к многомерному пространству с использованием бионического принципа восприятия окружающей обстановки в условиях неопределенности и наличия препятствий, обладающих динамикой перемещения. В качестве основного принципа структуризации и построения ЭМНП предложено использовать иерархический принцип построения систем обработки информации, на основе которого синтезирована предложенная в статье иерархическая структура комплексной экстраполирующей многомерной нейроподобной сети. Такую многомерную нейроподобную сеть отличает наличие отдельных слоев, предназначенных для различных этапов обработки модельного плана среды, полученного от системы технического зрения роботизированного подвижного объекта в упомянутых выше условиях. Иерархическое строение комплексной многомерной нейроподобной сети базируется на принципах параметрического объектно-ориентированного синтеза, синтеза пространственных планов взвешенных признаков положения объектов

* Работа поддержана грантами РФ (гранты № 14-19-01533, № 16-19-00001), выполненными ЮФУ.