

feedback principal. Application of the method reduces solving. Cauchy problem for differential kinematic equations of a manipulator motion. Vectors of the angular and linear velocities contained in these equations are considered as controls. They are formed according to the feedback principal as certain functions of the generalized coordinates so that every chosen end effector position is asymptotically stable in the whole. In this case any particular solution to the differential kinematics equations will aspire in asymptotically stable way to the desired point in the space of the generalized coordinates corresponding to the target position of the end effector of a manipulator.

As the result of solving of Cauchy problem for any given initial values of the generalized coordinates from their operational range the generalized coordinates, will finally take the values corresponding to the desired position of the end effector, so that the inverse kinematics problem will be solved. The advantages of the new method are the following: the method gives a unique solution (if there is such) for the chosen control law and given initial position; it ensures high accuracy solutions and high performance; but, above all, it is non-iterative. The paper extends and supplements the results presented in [1, 2].

Keywords: robot-manipulator, Stanford robot arm, direct kinematics problem, dual direction cosine matrix, biquaternion, kinematics equations, inverse kinematics problem

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 12-01-00165.

For citation:

Nelaeva E. I., Chelnokov Yu. N. Solution to the Problems of Direct and Inverse Kinematics of the Robots-Manipulators Using Dual Matrices and Biquaternions on the Example of Stanford Robot Arm. Part 1, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 6, pp. 373–380.

DOI: 10.17587/mau.16.373-380

References

1. **Lomovceva E. I., Chelnokov Ju. N.** Dual'nye matrichnye i bivatnionnye metody reshenija prjamoj i obratnoj zadach kinematiki robotov-manipuljatorov na primere stjenfordskogo manipuljatora. I. (Dual Matrix and Biquaternion Methods of Solving Direct and Inverse Kinematics Problems of Manipulators, for Example Stanford Robot Arm. I), *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Ser. Matematika. Mehanika. Informatika*, 2013, vol. 13: 4, pp. 82–89 (in Russian).

2. **Lomovceva E. I., Chelnokov Ju. N.** Dual'nye matrichnye i bivatnionnye metody reshenija prjamoj i obratnoj zadach kinematiki robotov-manipuljatorov na primere stjenfordskogo manipuljatora. II (Dual Matrix and Biquaternion Methods of Solving Direct and Inverse

Kinematics Problems of Manipulators, for Example Stanford Robot Arm. II), *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Ser. Matematika. Mehanika. Informatika*, 2014, vol. 14:1, pp. 88–95 (in Russian).

3. **Chelnokov Ju. N.** Bivatnionnoe reshenie kinematicheskoy zadachi upravlenija dvizheniem tverdogo tela i ego prilozhenie k resheniju obratnyh zadach kinematiki robotov-manipuljatorov (Biquaternion Solution of the Kinematic Control Problem for the Motion of a Rigid Body and Its Application to the Solution of Inverse Problems of Robot-Manipulator Kinematics), *Izvestiya RAN. Mehanika tverdogo tela*, 2013, no. 1, pp. 38–58 (in Russian).

4. **Fu K., Gonsales P., Li K.** *Robototekhnika* (Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence), Moscow, Mir, 1989, 621 p. (in Russian).

5. **Chelnokov Ju. N.** Kvatnionnye i bivatnionnye modeli i metody mehaniki tverdogo tela i ih prilozhenija. *Geometrija i kinematika dvizhenija* (Quaternion and Biquaternion Models and Methods of Mechanics of a Rigid Body and their Applications. Geometry and Kinematics.), Moscow, Fizmatlit, 2006, 511 p. (in Russian).

Corresponding author:

Nelaeva Ekaterina I., Postgraduate Student, Chair of Mathematical and Computer Modeling, Saratov State University, Saratov, 410012, Russian Federation, e-mail: LomovtsevaEI@yandex.ru

УДК 621.865.8: 004.946

О. В. Даринцев, д-р техн. наук, зав. лабораторией, ovd@uimech.org,

А. Ю. Алексеев, мл. науч. сотр., aleksandr_na@list.ru,

Б. С. Юдинцев, мл. науч. сотр., bogdan.u86@gmail.com,

Институт механики им. П. П. Мавлютова Уфимского научного центра РАН, г. Уфа

Технологии расширенной и виртуальной реальности как средства компенсации информационной недостаточности микророботов¹

Рассматриваются методики компенсации информационной недостаточности микросистем, основанные на использовании технологий расширенной и виртуальной реальности. Описаны структура информационной системы, маркера, метод формирования динамического двумерного кода, виртуализация датчиков. Показаны способы использования предлагаемых методик при синтезе нейросетевой системы планирования траекторий коллектива микророботов.

Ключевые слова: расширенная и виртуальная реальности, маркер, двумерный код, коллектив микророботов, нейросетевые системы

Введение

Проблема создания многокомпонентных робототехнических систем или коллективов роботов в настоящее время стала одной из актуальнейших про-

блем робототехники [1]. В основном это связано с заявленной многими министерствами и ведомствами необходимостью проведения работ в экстремальных условиях, характеризующихся высокой опасностью для человека, что исключает проведение этих работ непосредственно человеком и поэтому требует использования роботов. При этом интерес проявляется не только к роботам "стандартных" размеров,

¹ Работа выполняется при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН I.40П "Актуальные проблемы робототехники".

но также намечен целый круг задач для микророботов и микромеханических систем. В отличие от классического использования роботов в промышленности с жестко упорядоченной внешней средой функционирования, при функционировании в экстремальных условиях внешняя среда робота является плохо упорядоченной и недетерминированной, информация об окружающей обстановке является неполной, динамичной и непредсказуемой. Требования высокой мобильности и автономности, предъявляемые к экстремальным роботам, могут быть реализованы лишь при постоянном пополнении и уточнении информации. Для микророботов также характерно то, что выполняемые ими операции обычно являются нетиповыми и достаточно сложно реализуемыми, а их функциональная ограниченность и низкая скорость перемещения приводят к необходимости организации микророботов в коллективы для выполнения функционально сложных или территориально разнесенных действий.

Примеры использования микророботов в настоящее время представлены только лабораторными экспериментами, скромные результаты которых являются следствием ограниченных возможностей бортовых информационных систем. Так, системы ближней локации микророботов могут определить препятствия с точностью не более 50...100 мкм, в то время как точность позиционирования некоторых микророботов составляет 10 нм и выше.

Увеличение же числа и точности датчиков приводит к значительному сокращению времени автономной работы из-за возрастающего энергопотребления.

В связи с вышесказанным актуальной является разработка информационных методик, позволяющих увеличить объем и количество информации, необходимых для качественной работы систем управления и планирования [2].

Постановка задачи

Специфика использования мини- и микророботов состоит в том, что ввиду ограниченности их функциональных возможностей и бортовых источников энергии они способны решать задачи лишь при их массовом применении. Коллективы микророботов, в свою очередь, являются ярким примером проявления эмерджентности, когда у таких сложных систем резко возрастает надежность, гарантируется достижение результата даже при выходе из строя ряда агентов, обеспечивается гибкость алгоритма решения задач за счет временного или территориального распределения операций. Но при всех положительных свойствах использования таких коллективов нерешенными остаются вопросы информационного обмена как между отдельными роботами, так и с верхним уровнем управления или системой контроля. Оперативное получение информации от роботов приобретает особую актуаль-

ность при решении следующих "характерных" задач для многоагентных робототехнических систем:

- мониторинг труднодоступных участков окружающей среды;
- разведка, охранные функции;
- диагностика внутренних полостей сложных объектов;
- выполнение специфических спасательных работ.

Информационная недостаточность в системах управления коллективом микророботов, кроме объективных аппаратных причин, может быть также и следствием загруженности каналов передачи данных, которой подвержены наиболее популярные в микроробототехнике беспроводные технологии передачи данных (*Bluetooth*, *ZigBee*, *WiFi*). Высокая загруженность каналов приводит к запаздываниям в передаче управляющих сигналов, задержкам в получении отклика от агентов, что может привести к ошибкам при отработке операций и даже к потере управляемости всего коллектива.

Поэтому предлагается использовать информационные технологии, основанные на использовании систем виртуальной и расширенной реальности (*Virtual Reality (VR)* и *Augmented Reality (AR)*), которые в последнее время достаточно часто стали использоваться при решении задач повышения эффективности, надежности систем управления с участием человека.

Использование технологии VR при реализации интерфейса оператора микротехнологического комплекса

Первый опыт использования новых информационных технологий был получен при конструировании микророботов и соответствующей оснастки при создании прототипов микротехнологических комплексов. Кажущаяся простота конструкции микросистем в итоге привела к значительным временным затратам, которые связаны с необходимостью разработки и внедрения в состав проектируемого комплекса новых типов микророботов, а тестирование скоординированной работы с уже существующими устройствами потребовало изготовления натурных образцов и перенастройки систем управления — планирования с учетом новых компонентов [3].

С учетом сложности процессов отладки было предложено разработать систему виртуальной реальности (СВР), которая не только оперирует данными физической среды, но и широко использует модельные и виртуальные данные, конструкции, процессы. Для контроля работы реального оборудования передача в интерфейсную надстройку СВР необработанных телевизионного растра и сенсорной информации с датчиков была заменена на передачу ограниченного числа параметров, образующих вектор состояния всей системы. Тем самым вместо значительного по объему пакета данных в СВР передается минимальный набор параметров, который однозначно определяет состояние техно-

логического оборудования и рабочей среды и, с использованием технологии виртуальной реальности, предоставляет возможность наблюдать рабочую среду из любой точки в пространстве и под любым ракурсом, сделать "разрез" интересующего устройства и т. д. Стереоскопическое визуальное отображение расширило восприятие глубины и ощущение пространства, перевело наблюдаемую область рабочей зоны в "привычный" оператору объемный вид, значительно облегчая задачу восприятия окружающей обстановки и снижая нагрузку. При использовании технологий *VR* появляется возможность осуществлять гиперскопическое визуальное отображение рабочей сцены — одновременное наблюдение с помощью нескольких виртуальных камер под произвольными ракурсами (несколькими наблюдателями, операторами) (рис. 1, см. вторую сторону обложки). При выполнении микроманипуляционных и сборочных операций это может дать качественно новое представление о взаимном расположении объектов и движении рабочих органов относительно целевых точек.

Функционирование СВР базируется на использовании и обработке двух основных видов информации:

- априорные данные, описывающие реальные микротехнологические объекты-прототипы: геометрическая форма и оптические свойства их поверхностей (цвет, отражательные свойства и т. п.);
- апостериорные данные, поступающие в реальном времени из интерфейсного комплекса (копирующий режим работы СВР с привязкой к физической среде) или из моделирующего комплекса (виртуальный режим работы СВР без привязки к физической среде) и описывающие движение и состояния объектов и поведение их подсистем (взаимное движение звеньев, составных движущихся частей и т. п.).

Первый из указанных типов информации используется для синтеза изображений виртуальных объектов, второй — для реконструкции состояния реальной среды (взаимное положение, ориентация) на момент наблюдения.

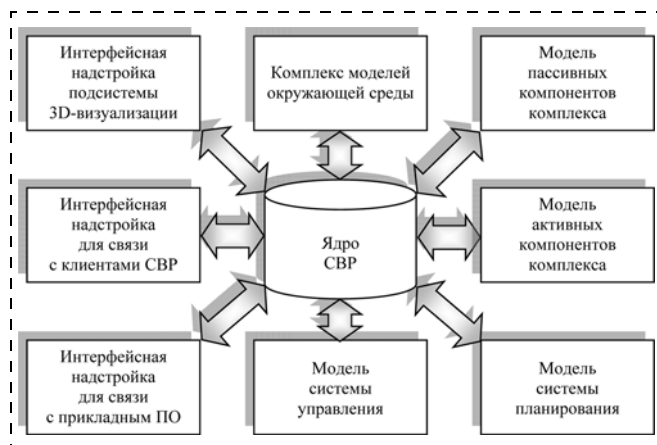


Рис. 2. Иерархическая архитектура СВР

Компьютерная обработка этих видов информации реализуется вычислительным ядром, математическим обеспечением которого являются программные динамически подключаемые алгоритмы систем планирования и управления; вычислительное ядро расположено на вершине многоуровневой иерархической архитектуры СВР (рис. 2). Благодаря выделению в отдельный модуль вычислительного ядра СВР появляется возможность придать системе такие качества, как открытость и модульность (возможность дополнения новых виртуальных моделей активных и пассивных компонентов, моделей окружающей среды и т. д.), возможность унификации библиотек базовых алгоритмов планирования и управления (возможность использования исполнительного кода для управления как физической средой, так и виртуальной), а также относительная универсальность программного комплекса в целом (программно-языковая и аппаратная независимость).

Виртуальное пространство, в котором проводится оценка состояния управляемых объектов системы (микротехнологических роботов, обслуживающих манипуляторов, позиционеров, компонентов сборки и т. д.), можно трактовать как носитель обратной связи, что расширяет традиционное винеровское понятие, и тем самым становится возможной разработка новых подходов к решению задач управления такими сложными техническими объектами, какими являются микротехнологические комплексы.

Предложенная архитектура построения имитационно-технологического комплекса и структура СВР позволяют решить некоторые существенные проблемы управления микросистемами, а разработанные функциональные и информационные схемы взаимодействия уровней комплекса позволяют синтезировать новые методы исследования сложных технических систем и протекающих в них процессов — технологию погружения виртуального объекта в реальный мир с частичным или полным "визуальным" и "тактильно-силовым" очувствлением. Побочным эффектом использования *VR* стала разработка комплекса удаленного управления микротехнологическим комплексом [4], который, благодаря значительному сокращению объемов передаваемой информации, позволил реализовать управление микророботами и другими элементами системы с использованием даже смартфонов при сохранении визуального контроля.

Использование технологий *AR* при синтезе систем управления — планирования коллективов микророботов

Если в прототипе микротехнологического комплекса, описанного выше, предполагалось использование не более трех микророботов, то в случае с коллективом микророботов планируется не менее десятка (десятков) активных агентов. Недостатки информационного обеспечения систем управления —

планирования коллектива роботов часто приводят к синтезу жесткого набора базовых алгоритмов или сценариев для роботов заданных уровней иерархии, что делает невозможным реализацию различных методов адаптации и самообучения, динамики изменения целей, коррекции приоритетов задач и т. д. Достаточно часто для контроля коллектива микророботов используют системы технического зрения (СТЗ), что позволяет, используя технологии расширенной реальности, без значительных затрат решить вышеприведенную проблему, повысить надежность каналов обратной связи и увеличить объемы информации об окружающей среде, а также обеспечить функционирование в едином информационном и оперативном пространстве. Последний из приведенных эффектов в конечном итоге должен обеспечить создание именно коллектива роботов и реализацию коллективного поведения, а не построение классической распределенной робототехнической системы. Поэтому вопросы информационной достаточности имеют большую значимость, и особые требования к объему данных предъявляются со стороны системы планирования траекторий.

В работе [5] описывается метод планирования траекторий мобильных роботов на основе "нейронных карт", базирующийся на использовании рекуррентной самоорганизующейся нейронной сети с заданной топологией, которая отображает дискретное рабочее пространство мобильных роботов в формате, удобном для работы алгоритма. Траектории рассчитываются по информации о состоянии рабочего пространства, поступающей от СТЗ или от датчиков препятствий отдельных роботов. Если рабочее пространство изменилось или робот обнаружил на своем пути неизвестное препятствие, возникает необходимость оповещения системы об обнаружении нового препятствия и внесения его координат на общедоступную карту рабочей зоны, после чего необходимо выполнить перерасчет конфликтных траекторий. Задачу оперативной передачи информации о таких изменениях можно решить не только увеличением скорости опроса коллектива роботов, но и с помощью имеющейся СТЗ и динамических маркеров — основных элементов технологии расширенной реальности. В таблице представлены перспективы использования *AR* при решении различных задач при управлении коллективом роботов.

Маркеры расширенной реальности. Для проведения экспериментов в качестве одного из первых вариантов маркера был выбран двумерный код (рис. 3), который отображается на дисплее мобильного робота (передатчик) и распознается СТЗ (приемник); шаблон поиска двумерного кода выбран из расчета плотности упаковки информационного сообщения [6]. При этом в процессе работы информационная плотность маркера может меняться, например, в случае работы в штатном режиме, когда объем передаваемой информации минимален,

Возможности технологии расширенной реальности

Задачи	Применение
Задачи равномерного распределения (поддержание "строя", соблюдение дистанций, обход "запрещенных" зон, следование за "ведущим")	Одномоментное получение обобщенной информации о действиях всего коллектива (локализация роботов, дистанция, состояние)
Инспекционные задачи (обнаружение препятствий, следование к заданным координатам, поиск маяков)	Обнаруженное мобильным роботом скрытое препятствие, нераспознанное СТЗ, дотраивается на карте, что в дальнейшем позволяет их учитывать при построении маршрутов движения других роботов
Манипуляция оптически неразличимыми небольшими объектами (захват, поворот, перенос объекта)	Система может дотроить виртуальный объект и визуализировать процесс его обработки роботом

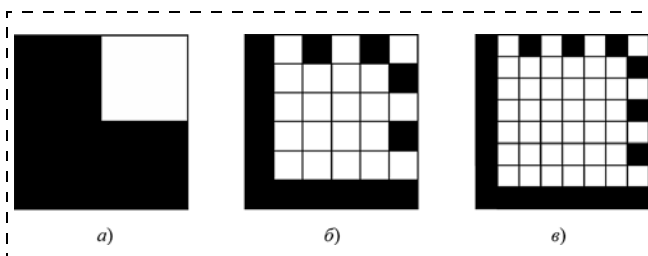


Рис. 3. Маркер расширенной реальности, объем данных: а — минимальный; б — штатный режим; в — максимальный

маркер робота укрупняется. Увеличение геометрических размеров отдельного элемента маркера упрощает процесс распознавания кода и служит в качестве признака отсутствия непредвиденных ситуаций. В то время как "рядовые" агенты коллектива, работая в штатном режиме, передают минимально необходимое сообщение, выделяемый координатор группы отправляет более подробный детальный код.

Для корректной работы оптического канала передачи информации был разработан базовый алфавит языка, учитывающий особенности работы в штатных и нештатных ситуациях [7]. Минимальный объем информации, который в штатном режиме требуется передать агенту коллектива, — это статус "нет проблем", означающий, что робот выполняет поставленную задачу, все действия проводятся без задержки и посторонних помех. Для передачи такого статуса требуется один бит информации — достаточно отобразить на дисплее один белый квадрат в черной рамке (рис. 3, а).

При передаче более подробной информации о текущей активности мобильный робот генерирует информационный маркер с менее крупными ячейками, который, например, может содержать информацию о текущем состоянии агента, его идентификационный номер и линейную скорость (рис. 3, б). Для предотвращения возможных потерь сообще-

Результаты экспериментов

Для проверки предлагаемых методик использования технологий *AR* и *VR* были сконструированы и изготовлены мобильные роботы (рис. 6), в которых для индикации маркеров кодов используются полноцветные *OLED*-дисплеи [3].

Апробировались предлагаемые методики использования технологий *AR* и *VR* в ходе экспериментов с нейросетевой системой планирования траекторий, которая построена на базе сети Хопфилда и выполняет следующие операции.

1. Ввод начальных значений нейросети: координаты цели, расположение известных препятствий, генерация нормированного вектора приоритетов $P = [P_1, P_2, \dots, P_n]$ со значениями приоритета для 1-го, 2-го и n -го мобильного робота соответственно.

2. Формирование нейронных карт в виде матрицы энергии сети для каждого из агентов.

3. Работа конструктора пути.

4. Пошаговый расчет и коррекция траектории для каждого мобильного робота с учетом возникших конфликтных ситуаций и приоритетов.

Когда в траекторный конфликт вовлечено более двух агентов, итерационный процесс затягивается, и для некоторых вариантов окружающей обстановки может быть построена энергетически невыгодная траектория агента с многочисленными остановками, резкими изменениями курса и т. д. Достаточно часто такая ситуация встречается при перемещениях в ближайшей окрестности агента других роботов с более высоким приоритетом, так называемых динамических препятствий. В ходе экспериментов отработывалась технология использования в процессе синтеза новых траекторий виртуальных препятствий и искусственных "шлейфов". Если виртуальные препятствия по координатам совпадают с текущим положением в пространстве роботов, обладающих более высоким приоритетом, то направление шлейфа (виртуальное препятствие с потенци-

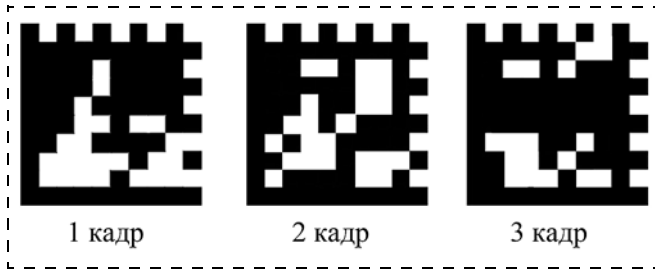


Рис. 4. Пример раскадровки динамического двумерного кода

ние кодируется методом Рида—Соломона, что дает возможность восстановить при распознавании кода до 30 % ошибочно принятых данных.

При отработке алгоритмов достижения цели, предусматривающих такие маневры, как объезд препятствий, следование за ведущим, поиск маяков, мониторинг окружающего пространства, могут иметь место различные нештатные ситуации:

- появление нового препятствия или другого мобильного робота;
- разряд аккумулятора;
- отказ датчика, двигателя, узла и т. д.

В этом случае предусматривается генерация наиболее насыщенного пакета данных в виде информационного сообщения с мелкими ячейками кода, емкость которого (размер ячейки) зависит от разрешающей способности СТЗ (рис. 3, *в*). Для передачи данных большого объема генерируется так называемый динамический код, представляющий последовательную передачу отдельных кадров пакета, формируемых таким образом, чтобы обеспечить целостность информации при передаче (рис. 4).

Другой апробированный вариант маркера расширенной реальности был реализован в виде квадрантного кода, который получил такое название, потому что его центральная часть представляет собой круг, разделенный на квадранты, соответствующие направлениям робота "вперед", "назад", "вправо", "влево". Направление "вперед" выделено слева полноразмерным черным шевроном, а справа расположен шеврон половинного размера; в центре возможно присутствие черного "опорного" квадрата (рис. 5, см. вторую сторону обложки). Квадранты кода заливаются контрастными цветами в зависимости от данных, получаемых с датчиков расстояния, размер заливки соответствует дистанции до соседнего робота или препятствия в данном направлении, при этом без использования опорного квадрата применяются только три варианта заливки: "далеко", "норма", "близко".

Предлагаемый квадрантный код используется при работе системы планирования траекторий, так как он позволяет оперативно получать и одновременно обрабатывать информацию о ближайшей окрестности большого числа роботов, входящих в состав коллектива: в одном кадре может находиться значительная часть коллектива или даже он весь.

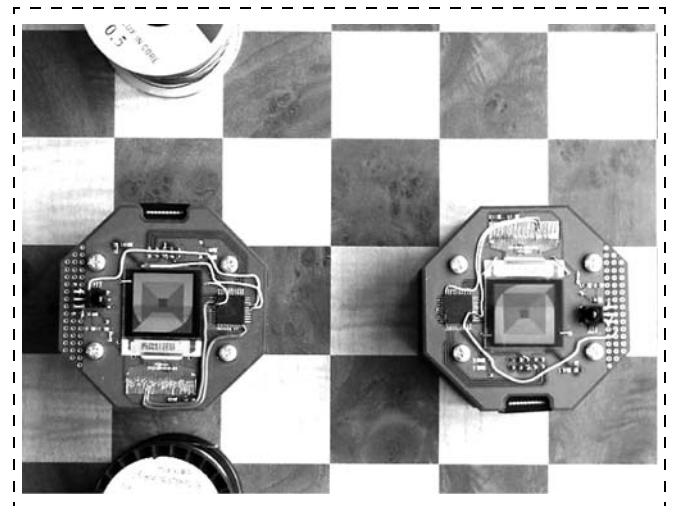


Рис. 6. Эксперименты с маркерами на реальных роботах: слева — двумерный код, справа — квадрантный

альной энергией выше статического препятствия, но ниже энергии свободных ячеек) совпадает с направлением перемещения этих роботов, а длина шлейфа пропорциональна их скорости.

Примененная в ходе экспериментов виртуализация препятствий, изменение весовых характеристик соответствующих узлов нейросети в зависимости от параметров шлейфа позволили избавиться от многошаговых итерационных процессов коррекции траекторий и тем самым поднять производительность системы планирования на 10...15 %, получить в итоге более гладкие, энергетически эффективные решения.

Один из полученных при моделировании результатов представлен на рис. 7. Так как нейросетевая система планирования в основном предназначена для синтеза траекторий в ближайшей окрестности робота, то для экспериментов использовали рабочее пространство небольших размеров: в данном случае 10×10 . Поэтому для оценки эффективности работы исследуемых алгоритмов синтеза траекторий, приведенных на рис. 7, б и 7, в, использовали такие параметры, как длина траекторий, время перемещения, рысканье по курсу, число и время остановок.

Заключение

Приведенные в статье методики использования технологий виртуальной и расширенной реальности позволяют повысить качество работы систем управления микророботами за счет создания нового канала связи, предоставляющего возможность увеличить не только скорость передачи информации за счет одновременного получения в одном кадре данных от многих роботов, но и скорость генерации сигналов управления, новых траекторий благодаря технологиям параллельной и мультипоточной обработки. Хорошие перспективы при синтезе систем управления коллективом мобильных роботов показало использование маркеров и других элементов технологий расширенной и виртуальной реальности [8].

Список литературы

1. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустин С. Г. Модели и алгоритмы коллективного поведения в группах роботов. М.: Физматлит, 2009.

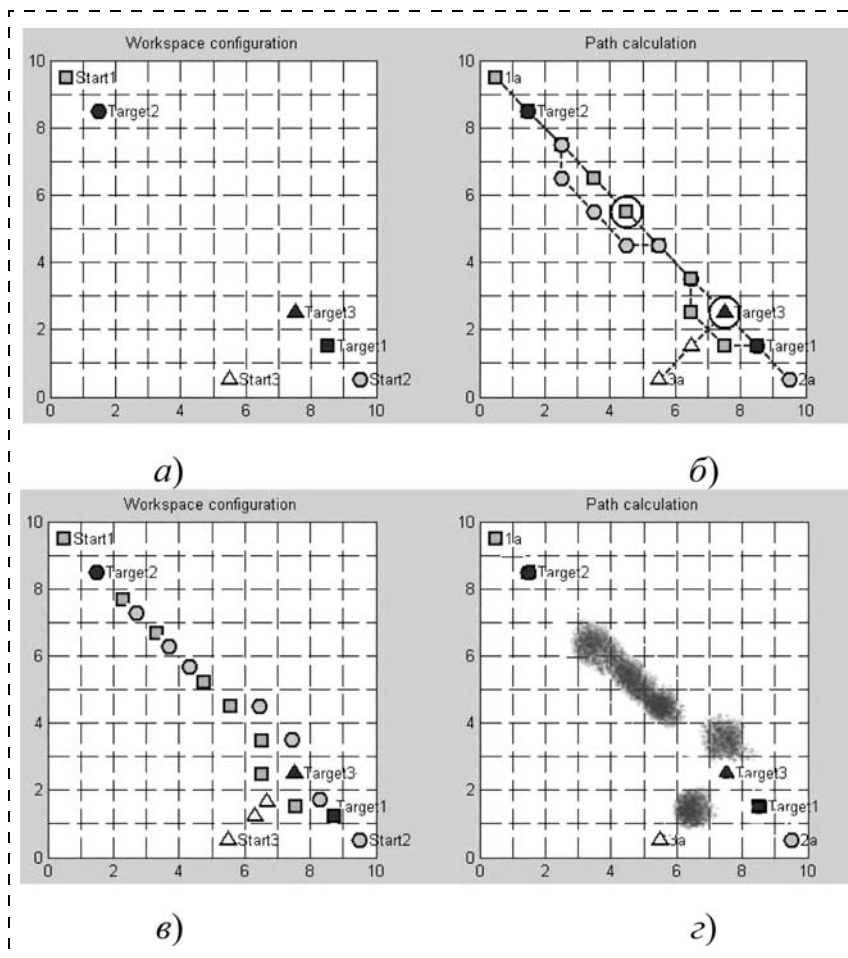


Рис. 7. Результаты работы нейросетевой системы планирования:
a — исходное состояние; *б* — классический алгоритм работы; *в* — алгоритм с использованием виртуальных препятствий и шлейфов; *г* — конфликтные участки траекторий, где использовалась виртуализация

2. Кулаков Ф. М. Технология погружения виртуального объекта в реальный мир // Информационные технологии. Приложение. 2004. № 10.

3. Даринцев О. В., Мигранов А. Б. Манипуляционные микроробототехнические системы и проблемы производства гибридных МЭМС // Нано- и микросистемная техника. 2005. № 2. С. 38—44.

4. Даринцев О. В., Мигранов А. Б. Виртуальный комплекс управления микророботами через сеть Интернет // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 3. С. 37—39.

5. Юдинцев Б. С., Даринцев О. В. Экспериментальные исследования эффективности нейросетевой системы планирования траекторий для коллектива мини (микро) роботов // Proc. of the 2nd Internat. Conf. "Information Technologies for Intelligent Decision Making Support" and the Intended International Workshop "Robots and Robotic Systems", May 18—21. Ufa, Russia. 2014. Vol. 3. P. 274—278.

6. Алексеев А. Ю. Оптический код как информационный базис интеллектуальной системы принятия решений группы мобильных роботов // Proc. of the 2nd Internat. Conf. "Information Technologies for Intelligent Decision Making Support" and the Intended International Workshop "Robots and Robotic Systems", May 18—21, Ufa, Russia. 2014. Vol. 3. P. 279—283.

7. Алексеев А. Ю. Оптический канал беспроводной передачи данных коллектива мобильных роботов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/115-11922> (дата обращения: 30.01.2014).

8. Даринцев О. В. Использование технологий расширенной и виртуальной реальности при реализации алгоритмов управления коллективом роботов // Искусственный интеллект. № 3. С. 479—487.

Technologies of Augmented and Virtual Realities as Means for Compensation for the Information Insufficiency of Microrobots

O. V. Darintsev, ovd@uimech.org, A. Ju. Alekseyev, aleksandr_na@list.ru,
B. S. Yudinets, bogdan.u86@gmail.com, Institute of Mechanics named after R. R. Mavlyutov,
Ufa Research Center, RAS, Ufa, 450054, Russian Federation

Received on February 25, 2015

The article presents techniques for compensation for microsystems' information insufficiency, based on the use of augmented and virtual realities. The constructed system of virtual reality makes it possible to reduce considerably the volumes of information of the robotic system transferred between its components. The article also contains description of the information system's structure, of a marker, of a method for synthesis of a dynamic two-dimensional code, and virtualization of the sensors. Collisions are avoided by keeping strictly the buffer distances and consistent communication between the robots with the use of 2D marker and quadrant codes, which are shown in the mobile robots. Obstacle identification is implemented due to the perceiving ability of the robotic agents in a collective and the ability of a global vision system. Often obstacles cannot be identified through vision mechanisms. In this case, virtual objects in global maps may be used instead of small real obstacles, which are located by the robot local sensors only. Sharing the obstacle information within the group can be achieved by broadcasting signals to the control or trajectory planning system with the help of markers of augmented reality. During experiments the technology of the virtual obstacles and artificial "loops (comet tail)" for synthesis of new trajectories was realized. The authors demonstrate the ways of using the offered techniques for a synthesis of the neural network system planning of the trajectories for a microrobot collective.

Keywords: augmented and virtual realities, marker, two-dimensional code, collective of microrobots, neural network systems

Acknowledgements: This work is performed with financial support of the Program of basic researches of Presidium of the RAS of I.40P "Actual problems of a robotics".

For citation:

Darintsev O. V., Alekseyev A. Yu., Yudinets B. S. Technologies of Augmented and Virtual Realities as Means for Compensation for the Information Insufficiency of Microrobots, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 6, pp. 380–386.

DOI: 10.17587/mau.16.380-386

References

1. Kaljaev I. A., Gajduk A. R., Kapustjan S. G. *Modeli i algoritmy kolektivnogo povedenija v gruppah robotov* (Models and algorithms of collective behavior in groups of robots), Moscow, Fizmatlit, 2009 (in Russia).
2. Kulakov F. M. *Tehnologija pogruzenija virtual'nogo ob'ekta v real'nyj mir* (Technology of incapsulation of virtual object to the real world), *Informacionnye Tehnologii, Prilozhenie*, 2004, no. 10 (in Russia).
3. Darintsev O. V., Migranov A. B. *Mani puljacionnye mikrorobototekhnicheskie sistemy i problemy proizvodstva gibridnyh MEMS* (Handling microrobotic systems and problems of production of hybrid MEMS), *Nano- i Mikrosistemnaja Tehnika*, 2005, no. 2, pp. 38–44 (in Russia).
4. Darintsev O. V., Migranov A. B. *Virtual'nyj kompleks upravlenija mikrorobotami cherez set' Internet* (Virtual complex of microrobots control through the Internet), *Mehatronika, Avtomatizacija, Upravlenie*, 2007, no. 3, pp. 37–39 (in Russia).

5. Judincev B. S., Darintsev O. V. *Jeksperimental'nye issledovanija jeffektivnosti nejrosetevoj sistemy planirovanija traektorij dlja kolektiva mini (mikro) robotov* (Experimental research of efficiency of neural network system of planning trajectories for mini (micro) robots collective), *Proc. of the 2nd International Conference "Information Technologies for Intelligent Decision Making Support" and the Intended International Workshop "Robots and Robotic Systems"*, May 18–21, Ufa, Russia, 2014, vol. 3, pp. 274–278 (in Russia).

6. Alekseev A. Ju. *Opticheskij kod kak informacionnyj bazis intellektual'noj sistemy prinjatija reshenij grupy mobil'nyh robotov* (Optical code as information basis for intellectual decision-making system of mobile robots group), *Proc. of the 2nd International Conference "Information Technologies for Intelligent Decision Making Support" and the Intended International Workshop "Robots and Robotic Systems"*, May 18–21, Ufa, Russia, 2014, vol. 3, pp. 279–283 (in Russia).

7. Alekseev A. Ju. *Opticheskij kanal besprovodnoj peredachi dannyh kolektiva mobil'nyh robotov* (Optical channel wireless data transmission collective of mobile robots), *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovanija*, 2014, no. 1 (in Russia); available at: <http://www.science-education.ru/115-11922>.

8. Darintsev O. V. *Ispol'zovanie tehnologij rasshirennoj i virtual'noj real'nostej pri realizacii algoritmov upravlenija kolektivom robotov* (Use of technologies of augmented and virtual realities at realization of control algorithms of robots collective), *Iskusstvennyj Intellekt*, 2013, no. 3, pp. 479–487 (in Russia).

Corresponding author:

Darintsev O. V., D. Sc., Head of Department, Institute of Mechanics of Ufa Branch, RAS, Ufa, 450054, Russian Federation, e-mail: ovd@uimech.org

ИНФОРМАЦИЯ

7—9 сентября 2015 г.
в районе Волгограда (база отдыха в "Волго-Ахтубинской пойме") состоится

XII Всероссийская школа-конференция молодых ученых "УПРАВЛЕНИЕ БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ"

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

- Фундаментальные математические основы теории управления
- Информационные технологии в управлении
- Управление организационными, социально-экономическими системами
- Управление эколого-экономическими и медико-биологическими системами
- Управление техническими системами, технологическими процессами и промышленными установками

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Волгоградский государственный университет, каф. ФИОУ
Телефоны: +7 927 067 0231. E-mail: voronin.prof@gmail.com