

For citation:

**Filaretov V. F., Konoplin A. Ju., Getman A. V.** Experimental Determination of the Viscous Friction Coefficients for Calculation of the Force Impacts on the Moving Links of the Underwater Manipulators, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no 11, pp. 738–743.

DOI: 10.17587/mau/16.738-743

#### References

1. **Coiffet P.** Robot Technology: Interaction with the environment, London, Kogan Page Ltd., 1983, 290 p.
2. **Filaretov V. F., Alekseev Yu. K., Lebedev A. V.** *Sistemy upravleniya podvodnymi robotami* (Control systems for underwater robots), Moscow, Kruglyi god, 2001, 288 p. (in Russian).
3. **McLain T. W., Rock S. M., Lee M. J.** Experiments in the coordinated control of an underwater arm/vehicle system, *Autonomous Robots*, 1996, vol. 3, no. 2–3, pp. 213–232.
4. **Filaretov V. F., Konoplin A. Yu.** *Sistema avtomaticheskoy stabilizatsii podvodnogo apparata v rezhime zavisaniya pri rabotajushhem mnogozvennom manipulyatore. Chast' 1* (System of Automatic Stabilization of Underwater Vehicle in Hang Mode with Working Multi-link Manipulator. Part 1), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2014, no. 6, pp. 53–56 (in Russian).

5. **Filaretov V. F., Konoplin A. Yu.** *Sistema avtomaticheskoy stabilizatsii podvodnogo apparata v rezhime zavisaniya pri rabotajushhem mnogozvennom manipulyatore. Chast' 2* (System of Automatic Stabilization of Underwater Vehicle in Hang Mode with Working Multi-link Manipulator. Part 2), *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2014, no. 7, pp. 29–34 (in Russian).

6. **Tarn T. J., Shoults G. A., Yang S. P.** A dynamic model of an underwater vehicle with a robotic manipulator using Kane's method, *Autonomous Robots*, 1996, vol. 3, no. 2–3, pp. 269–283.

7. **Leabourne K. N., Rock S. M.** Model Development of an Underwater Manipulator for Coordinated Arm-Vehicle Control, *OCEANS '98 Conference Proceedings*, Oct 1998, vol. 2, pp. 941–946.

8. **Korpachev V. P.** *Teoreticheskie osnovy vodnogo transporta lesa: Uchebnoe posobie dlja vuzov* (Theoretical foundations of water transport of wood: textbook for high schools), Moscow, Akademija Estestvoznaniya, 2009, 237 p. (in Russian).

9. **Jur'ev B. N.** *Jeksperimental'naja ajerodinamika. Chast' 1. Teoreticheskie osnovy jeksperimental'noj ajerodinamiki* (Experimental aerodynamics. Part 1: Theoretical foundations of experimental aerodynamics), Moscow — Leningrad, Oborongiz, 1939, 302 p. (in Russian).

10. **Martynov A. K.** *Jeksperimental'naja ajerodinamika* (Experimental aerodynamics), Moscow, Oborongiz, 1958, 348 p. (in Russian).

11. **Abramovich G. N.** *Teorija turbulennyh struj* (The theory of turbulent jets), Moscow, JeKOLIT, 2011, 720 p. (in Russian).

УДК 004.896

DOI: 10.17587/mau.16.743-751

**Е. И. Шестаков**, студент, shestakov.ei@gmail.com, **М. Ю. Васюта**, студент,  
**А. М. Косоруков**, студент, **С. А. К. Диане**, аспирант, **Я. В. Вершинин**, студент,  
Московский государственный технический университет "МИРЭА"

## Учебно-исследовательский комплекс на базе LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 для отработки технологий многоагентных робототехнических систем

Описывается учебно-исследовательский комплекс, разработанный на базе LEGO MINDSTORMS NXT 2.0, предназначенный для отработки методов и алгоритмов группового управления, а также проведения экспериментальных исследований, демонстрирующих принципы работы многоагентных робототехнических систем. Обсуждаются принципы построения таких систем, состав их программно-алгоритмического обеспечения, описывается предложенный вариант реализации. Приводятся результаты натурного эксперимента, показывающие работоспособность и эффективность применения многоагентных робототехнических систем.

**Ключевые слова:** многоагентная робототехническая система, групповое управление, автономный мобильный робот

### Введение

В современной робототехнике все большее внимание уделяется многоагентным робототехническим системам (МАРС), особенность которых состоит в возможности решения широкого спектра задач с большой эффективностью за счет распараллеливания выполняемых процессов между несколькими агентами. Исследования, проводимые в этой области, направлены как на эффективную координацию автономных роботов (агентов) для выполнения общих задач, так и на достижение высокой производительности всей системы [1]. Существует большое разнообразие подходов к построению МАРС и способов их реализации, особенно преуспевают в этом США, Япония, страны Юго-Восточной Азии и Европы [2]. Актуальность разработки и

проектирования таких систем связана, прежде всего, с более эффективным по времени и энергоресурсам выполнением МАРС поставленной задачи по сравнению с выполнением той же задачи одним автономным роботом. Существует широкий спектр прикладных задач, которые можно и нужно решать с применением МАРС, например, возведение строительных конструкций, поиск различных объектов на местности, картографирование и др.

Сложившаяся ситуация, несомненно, обязывает проводить большую работу по подготовке кадров в области робототехники и мехатроники с привлечением учебно-исследовательских комплексов для отработки алгоритмов и методов группового управления. Среди разработанных МАРС большую часть составляют прототипы военного образца, такие как "COUGAR" (Cooperative Unmanned Ground Attack

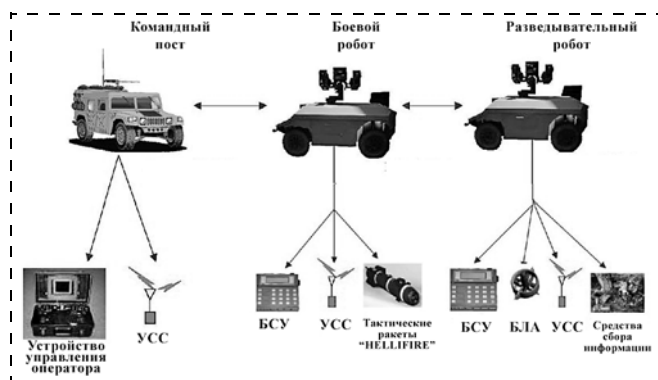


Рис. 1. Структура и состав МАРС "COUGAR"

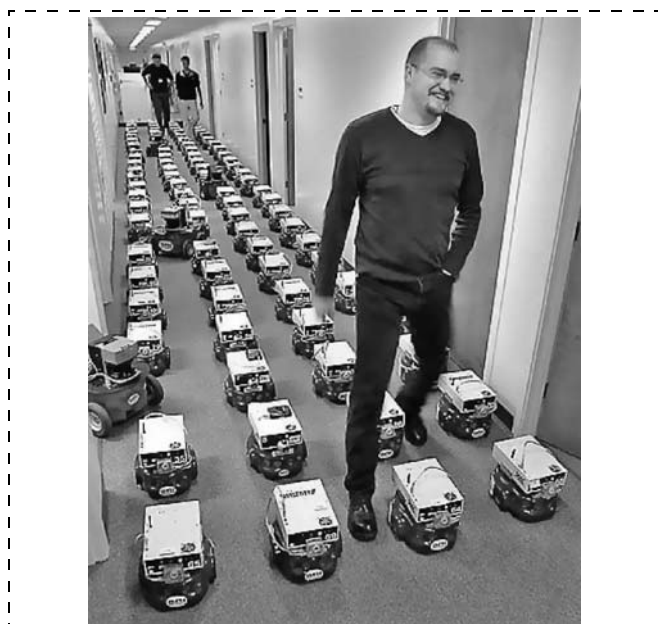


Рис. 2. МАРС "Centibots"

Robots) (рис. 1), или научно-исследовательского назначения, например "Centibots" (рис. 2).

Подобные системы обладают высокой стоимостью и нацеленностью на решение определенного круга задач. Наличие этих обстоятельств не позволяет использовать данные системы в учебном процессе для подготовки специалистов.

Данная статья посвящена разработке на кафедре "Проблемы управления" МГТУ МИРЭА учебно-исследовательского комплекса, предназначенного для отработки алгоритмов и методов группового управления, представляющего интерес для подготовки специалистов в области робототехники и мехатроники.

### Общие требования к построению МАРС

При построении МАРС особое внимание следует уделить следующим аспектам: сетевой архитектуре МАРС (информационно-логическому взаимодействию между агентами) и требованиям, за счет выполнения которых робототехническая система может считаться многоагентной.

Известны три схемы информационно-логического взаимодействия между агентами: централизованная, децентрализованная и смешанная.

Централизованная схема построения МАРС предполагает наличие некоторого узлового элемента (в качестве которого может выступать и один из агентов), реализующего командные функции по анализу и контролю выполнения поставленной прикладной задачи, формированию и распределению заданий на основе ее декомпозиции, сбору и комплексированию поступающей информации с последующей интерпретацией полученных моделей текущей ситуации, рабочей обстановки и т. д. Главный недостаток этой схемы заключается в ее "уязвимости", поскольку выход из строя командного узла неизбежно приводит к нарушению работоспособности МАРС в целом.

Децентрализованная схема предполагает равноправие агентов, самостоятельно принимающих решение о своем участии в зависимости от действий соисполнителей. При этом каждый из агентов должен обладать всей полнотой информации о ходе выполнения поставленной задачи, рабочей обстановке, внешней среде и т. д. Соответствующие требования к организации потоков передачи данных в системе обуславливают необходимость установления информационного взаимодействия каждого агента с каждым по сетевым каналам связи. Таким образом, при прочих равных условиях определенным недостатком данной схемы является повышенная интенсивность суммарного информационного обмена, что потенциально может ограничивать предельно допустимую численность состава МАРС при превышении характеристик пропускной способности сети.

Смешанные схемы построения МАРС являются компромиссными вариантами, при которых недостатки централизованной и децентрализованной архитектуры проявляются в меньшей степени.

Создание таких систем, в полной мере отвечающих предъявляемым к ним требованиям, сопряжено с решением следующих ключевых проблем:

- организация развитого человеко-машинного интерфейса, позволяющего обеспечить оперативную постановку общей прикладной задачи;
- организация целесообразного взаимодействия между отдельными агентами в интересах выполнения общей прикладной задачи;
- обеспечение автономности агентов и системы в целом.

В свою очередь, обеспечение автономности робота (как самостоятельного элемента многоагентной системы, априорно ориентируемого на работу в условиях неопределенности) предполагает наличие интеллектуальной бортовой системы управления, имеющей иерархическую структуру и реализующей весь спектр необходимых функций на основе комплексного применения современных технологий обработки знаний. В общем случае в

состав этой иерархии должны включаться следующие основные подсистемы:

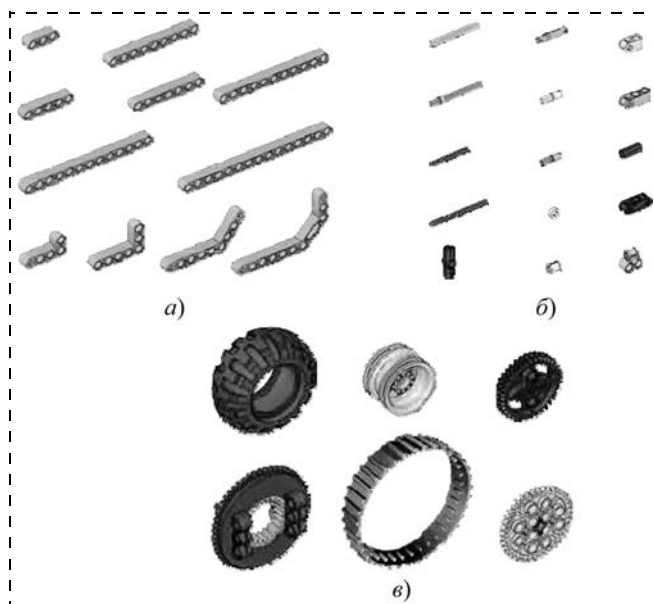
- подсистема стратегического уровня, обеспечивающая решение задач планирования целесообразного поведения с учетом особенностей текущей ситуации, прогноза развития событий и обучения системы;
- подсистема тактического уровня, обеспечивающая решение задач планирования перемещений и управления движением с учетом неопределенностей внешней среды;
- подсистема исполнительного уровня, обеспечивающая реализацию сформированных законов управления;
- подсистема сбора и обработки сенсорной, командной и других видов внешней информации, обеспечивающая построение модели рабочей обстановки и среды в целом с замыканием контуров управления всех уровней [3–6].

Из предъявленных требований видно, что, с одной стороны, разработка автономного робота требует больших финансовых вложений, с другой — процесс разработки и отладки автономного робота для работы в составе МАРС является достаточно трудоемким. В результате проведения аналитического обзора возможных подходов к реализации учебно-исследовательского комплекса в рамках данной работы предложено использовать конструктор Lego Mindstorms NXT 2.0, поскольку это позволит сэкономить время и денежные ресурсы.

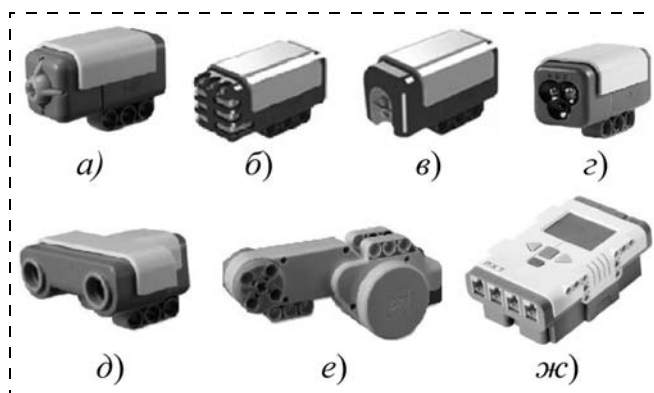
LEGO Mindstorms — конструктор (набор сопрягаемых деталей и электронных блоков) для создания программируемых роботов [7]. Наборы LEGO Mindstorms комплектуются набором стандартных деталей LEGO (балки, оси, колеса, шестерни) для построения механических конструкций и набором сенсоров, двигателей и программируемого блока (рис. 3, 4).

Блок-процессор Mindstorms NXT, поставляемый с конструктором Mindstorms NXT 2.0, является специализированным микрокомпьютером на базе двух микроконтроллеров с флеш-памятью. Габаритные размеры блок-процессора составляют  $14,5 \times 9,6 \times 6,1$  см, масса (без учета аккумуляторов и батареек) составляет 235 г. На корпусе выделяются четыре кнопки управления и монохромный жидкокристаллический дисплей при разрешении в  $100 \times 60$  точек. Задняя сторона блока является крышкой батарейного отсека, предназначенного для установки шести элементов питания размерами АА, Нижнюю и верхнюю грани корпуса занимают порты ввода/вывода, позволяющие подключить электромоторы и сенсоры.

Вычислительная основа блок-процессора Mindstorms NXT — два микроконтроллера фирмы Atmel. В первом, AT91SAM7S256, используется 32-битный процессор ARM7TDMI с тактовой частотой ядра 48 МГц, во втором — микроконтроллер ATmega48, основанный на 8-битном AVR-процессоре с тактовой частотой 8 МГц.



**Рис. 3. Механические блоки, входящие в набор Lego Mindstorms NXT 2.0:**  
а — балки; б — оси, крепления; в — шестерни, колеса, шины, гусеницы



**Рис. 4. Электронные блоки, входящие в набор Lego Mindstorms NXT 2.0:**  
а — датчик касания; б — датчик звука; в — датчик света; г — датчик цвета; д — ультразвуковой датчик; е — двигатель; ж — блок-процессор NXT

Корпус оснащен портом USB 2.0, позволяющим подключать устройство к компьютеру. Для более универсального варианта подключения используется адаптер Bluetooth, который позволяет Mindstorms NXT взаимодействовать с блоками прочих наборов Mindstorms NXT 2.0, а также со смартфонами и компьютерами. На корпусе процессора предусмотрено место для динамика, чтобы воспроизводить звуки с качеством 8 бит, 16 кГц [6–7].

### Конструкция робота

Ограниченность набора базовых элементов LEGO обусловила простоту конструкции разработанного робота, тем не менее, обеспечивающего минимально необходимые функциональные возможности для решения различных задач при отработке методов и алгоритмов группового управления. В качестве примера применения рассматривается задача

строительства блочных конструкций. Строительные блоки представляются кубиками различных цветов, установка которых в заданной последовательности будет соответствовать возведению требуемого инженерного сооружения. Конструкция робота представлена на рис. 5 (см. третью сторону обложки).

### Программное обеспечение бортовой системы управления агента

Одним из принципов создания МАРС является обеспечение автономности агентов и системы в целом. Поэтому задачи целенаправленного движения, поиска блоков и доставки их в целевую точку должны выполняться бортовой системой управления агента.

Состав библиотек алгоритмов системы должен быть адекватен назначению робота и условиям, при которых он выполняет задачу. Существует множество алгоритмов и подходов к планированию движения и целесообразных действий. Один из них основан на реализации элементарных действий: "движение вперед", "движение назад", "поворот на заданный угол", "поднять схват", "опустить схват", "считать показания с датчика", "обработка показаний датчика", комбинируя которые, можно описать различные сложные операции.

В данной работе планирование целесообразных действий и поведения осуществляется на основе технологии фреймообразных структур путем закладывания моделей (сценариев) типового поведения в определенных условиях и последующего выбора той или иной модели в зависимости от ситуации.

Для решения этой задачи была использована среда разработки Robot C, предназначенная для программирования роботов LEGO. Программное обеспечение бортовой системы управления роботом построено таким образом, чтобы иметь возможность работать с вложенными сценариями. Для описания работы приведем пример: на борт робота приходит команда "Искать зеленый блок". Система управления анализирует принятую команду и запускает соответствующий сценарий "Поиск зеленого блока". Последний, в свою очередь, запускает модели типового поведения: "Движение вперед", "Поворот налево", "Поворот направо" и др., которые обеспечивают выполнение поиска блока.

### Система навигации

При отсутствии датчиков навигации в наборе LEGO Mindstorms NXT 2.0 вопрос о построении подсистемы определения текущего местоположения агентов приходится решать с привлечением дополнительных программно-аппаратных средств. Предлагаемый подход связан с использованием внешней системы технического зрения, обеспечивающей контроль текущего местоположения и ориентации роботов на основе технологии распознавания символов (оптических глифов), примеры которых представлены на рис. 6, а. На поверхности

каждого агента закрепляется своя уникальная метка, позволяющая идентифицировать агента и его местоположение. При таком подходе камера, расположенная параллельно рабочей поверхности, снимает символы и определяет координаты его центра.

Последовательный разбор изображения осуществляется по следующему алгоритму:

- поиск потенциальных символов (поиск всех четырехугольников на изображении);
- трансформация найденных четырехугольников в квадратные изображения;
- сравнение квадратных изображений с эталонными (рис. 6, а);
- запись координат центров всех опознанных символов.

Приняв один из углов поля за начало координат и зная параметры местоположения центра и угол поворота оптического глифа, можно однозначно определить состояние агента на рабочей плоскости (рис. 7).

С увеличением расстояния от центра снимаемого изображения до камеры увеличивается и несоответствие реальных координат, полученных после распознавания. Поэтому следует вывести корректирующую формулу для определения точных координат.

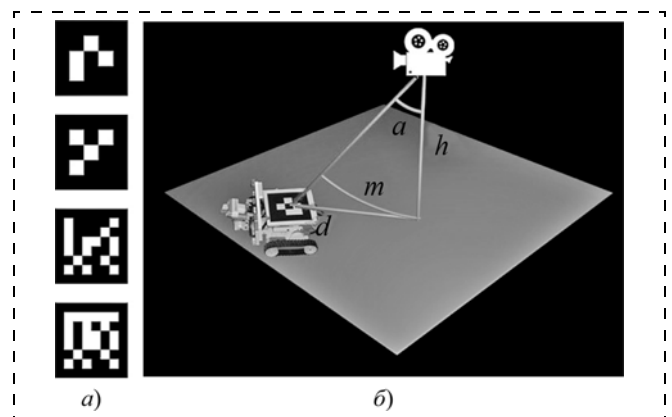


Рис. 6. Оптические глифы (а), определение координат системы навигации (б)

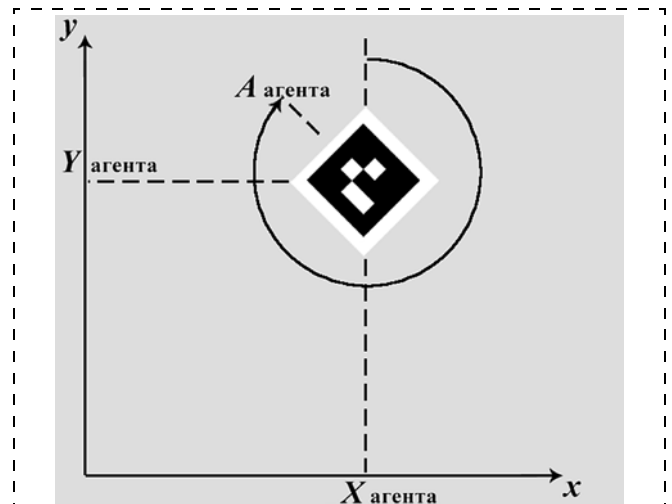


Рис. 7. Определение координат агента и его ориентации

Пусть  $h$  — высота от оптического глифа до камеры. Будем считать нулем отсчета точку, в которой высота пересекает рабочую плоскость (см. рис. 6, б). Дуга  $m$  — это расстояние в пикселях от точки отсчета до точки с координатами одного из опознанных символов;  $a$  — угол между высотой и расстоянием от камеры до координат символа;  $d$  — искомое расстояние. Тогда из несложных геометрических соображений вычисляем  $d$  по формуле

$$d = htga = htg \frac{180mscale}{\pi h},$$

где  $scale$  — коэффициент масштабирования, находящийся эмпирически, переводящий расстояние  $m$  в пикселях в расстояние в миллиметрах. В результате имеем реальные координаты (в мм) каждого робота на рабочей плоскости.

При анализе полученных с камеры изображений происходит поиск оптических глифов и определение их ориентации. Используя четыре варианта эталонного изображения — оригинальное, повернутое на  $90^\circ$ , на  $180^\circ$  и на  $270^\circ$ , можно вычислить угол поворота метки относительно горизонтальной оси следующим образом. Пусть  $x_1, y_1, x_2, y_2$  — координаты левого и правого углов прямоугольника. Тогда угол поворота относительно горизонтальной оси равен

$$a = \arctg \left( \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right).$$

Прибавив к углу поворота угол, соответствующий тому варианту эталонного изображения, с которым успешно прошло сравнение оптического глифа, получаем полный угол поворота оригинала относительно горизонтальной оси.

### Центр управления и программное обеспечение

Выбранная централизованная схема МАРС (рис. 8) предполагает набор агентов, информационно соединенных с центром управления (компьютером), берущим на себя функции по планированию и распределению задач.

Планирование целесообразных действий МАРС осуществляется на основе анализа сценария поэтапной реализации решаемой прикладной задачи. Соответствующая сценарная модель строится в виде сети типовых конечных автоматов, структура взаимосвязей и состояние которых отражают логику следования и стадию выполнения необходимых технологических операций.

При этом выявление доступных для исполнения операций осуществляется по мере очередности завершения предыдущих (рис. 9), обеспечивая возможность формирования заданий для интеллектуальных автономных роботов, действующих в составе многоагентной системы [7].

Планирование и распределение операций центром управления реализовано в виде установленного программного обеспечения, написанного на языке программирования C#. При этом программа пока-



Рис. 8. Централизованная схема МАРС

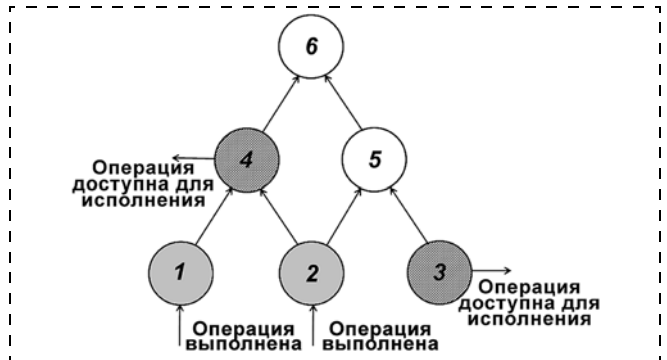


Рис. 9. Контроль за выполнением поставленной прикладной задачи, представленной в виде сценарного графа

зывает возможности МАРС в различных условиях: предусмотрены принудительное отключение одного из агентов, наличие различной информации о состоянии задачи (координаты всех блоков известны/неизвестны) и ее выполнении (агент сообщает/не сообщает координаты случайно найденных блоков, которые не являются его целью).

### Организация связи

Общее информационное пространство между агентами и центром управления (ЦУ) является одной из основных составляющих при разработке МАРС. Существует множество технологий передачи информации, например WiFi, WiMAX, Bluetooth и др. Использование Bluetooth для беспроводной передачи данных между агентами и ЦУ в данной работе продиктовано тем, что на каждом агенте есть встроенный Bluetooth-модуль. Эта технология поддерживает обмен информацией в радиусе до 100 м, что является достаточным условием, учитывая размеры полигона учебно-исследовательского комплекса.

Задача осуществления связи между агентами и ЦУ разделяется на две подзадачи (рис. 10):

- 1) разработка алгоритмов и программного обеспечения передачи данных от агентов к ЦУ;
- 2) разработка алгоритмов и программного обеспечения передачи данных от ЦУ к агентам.

Протокол передачи данных был разработан на языке программирования C#. Формат данного

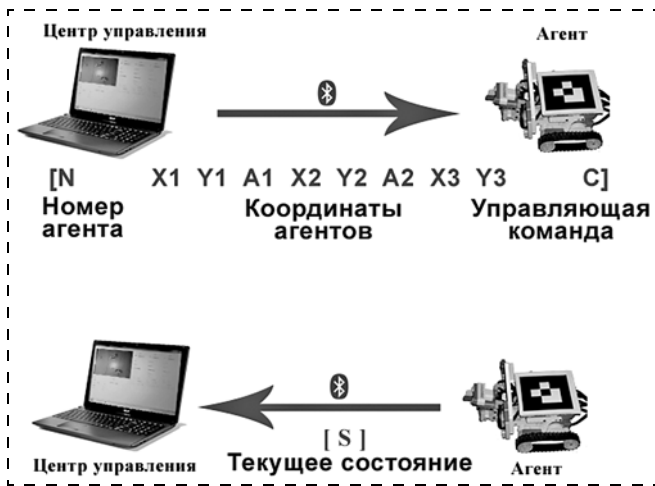


Рис. 10. Осуществление связи между агентом и ЦУ

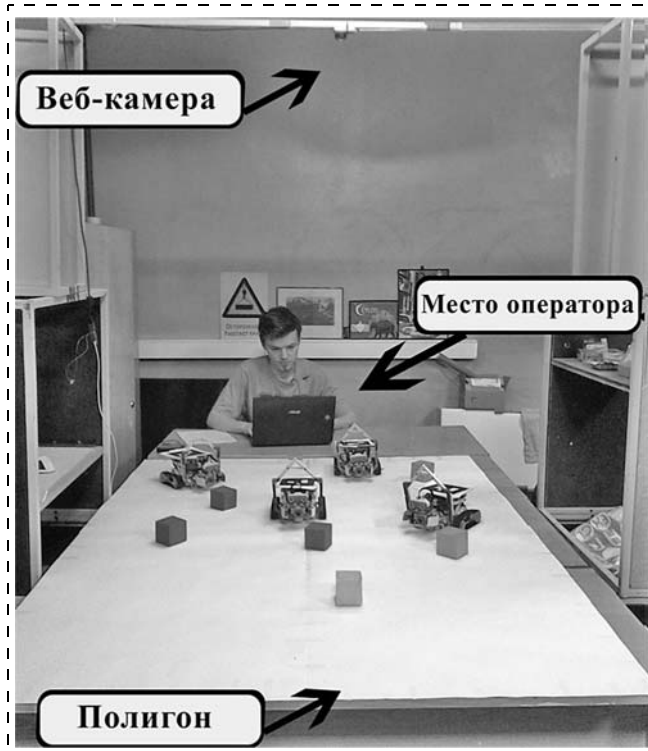


Рис. 11. Учебно-исследовательский комплекс

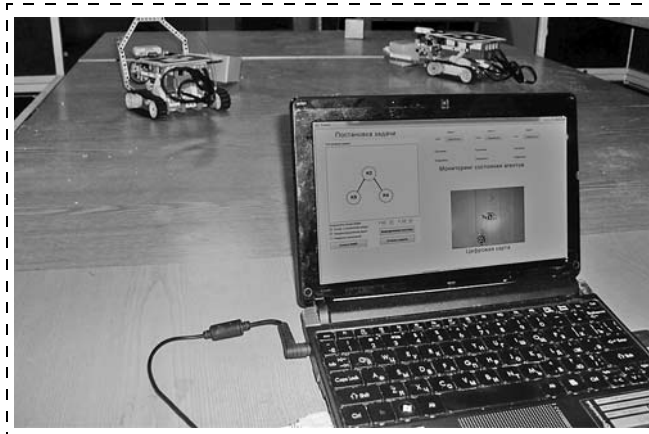


Рис. 12. Рабочее место оператора

протокола представляет собой определенный набор символов:  $[N X1Y1A1 X2Y2A2 X3Y3A3 C]$ , где

$N$  — номер агента;

$X1Y1A1$  — координаты первого агента  $X$ ,  $Y$  и его угол  $A$  (от англ. angle);

$X2Y2A2$  — координаты второго агента  $X$ ,  $Y$  и его угол  $A$ ;

$X3Y3A3$  — координаты третьего агента  $X$ ,  $Y$  и его угол  $A$ ;

$C$  (от англ. Control) — управляющая команда, которая передает агенту информацию о действии, которое необходимо выполнить.

От агента к ЦУ приходит одна переменная —  $S$  (от англ. Status), которая сообщает о состоянии агента в настоящий момент времени. Примеры состояний агента:

- free ("свободен") — агент свободен и готов к выполнению новых задач;
- searching red/green/blue block ("поиск красного/зеленого/голубого кубика") — агент в данный момент выполняет алгоритм поиска кубика нужного цвета;
- find red/green/blue block ("найден красный/зеленый/голубой кубик") — агент нашел кубик определенного цвета и сообщил об этом;
- go to red/green/blue goal ("ехать к красной/зеленой/голубой цели") — агент едет в точку доставки кубика соответствующего цвета.

#### Образец полигона учебно-исследовательского комплекса

Основная часть комплекса — полигон — имеет габаритный размер  $1,5 \times 1,5$  м. Над ним располагается веб-камера, а в торце — место оператора. Образец полигона представлен на рис. 11.

#### Человеко-машинный интерфейс

Эффективность применения МАРС во многом определяется возможностями средств человеко-машинного интерфейса по постановке решаемых прикладных задач и контролю их выполнения оператором. Разработанный в данной работе человеко-машинный интерфейс обладает всеми необходимыми модулями, позволяющими эффективно осуществлять постановку задачи и контроль за ее выполнением.

Оператор описывает задачу построения блочной конструкции с помощью сценарного графа (см. рис. 9), задавая число, цвет, целевое местоположение блоков, а также порядок их установки, выбирает необходимое число агентов, необходимых для решения задачи. В ходе выполнения поставленной задачи оператор осуществляет контроль выполнения поставленной задачи (рис. 12):

- с помощью получаемого с камеры изображения, показывающего текущее положение роботов;
- с помощью сценарного графа, поэтапно, с отображением завершения отдельных операций в рамках установленного сценария;
- с помощью блока информации об агентах, отслеживая состояния отдельных роботов, функционирующих в составе МАРС.

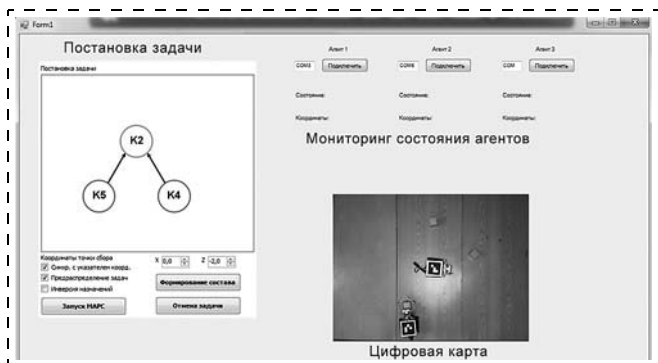


Рис. 13. Скриншот человеко-машинного интерфейса для MARC

**Эксперимент по исследованию работоспособности учебно-исследовательского комплекса на базе LEGO MINDSTORMS NXT 2.0**

Стартовая позиция	
<p>Постановка задачи системе по расстановке кубиков (два зеленых и один красный) в определенном порядке</p>	<p>Описание задач:            G1: g080080180 — установка зеленого кубика в точке с координатами (80;80).            G2: g120080180 — установка зеленого кубика в точке с координатами (120; 80).            R: r080300180 — установка красного кубика в точке с координатами (80; 300)</p>
Выполнение задачи	
<p>Контроль за работой системы через камеру, которая выводит изображение на человеко-машинный интерфейс</p>	<p>Первый агент нашел зеленый кубик, поместил его в захватное устройство и направляется к своей цели. Второй агент находится в состоянии поиска. G1 и G2 помечены как выполняемые</p>
Выполнение задачи	
<p>Успешное завершение операции по установке кубика в точку с координатами (80;80)</p>	<p>Распределитель задач помечает задачу G1 как выполненную. Так как задача G2 не выполнена, то первый агент находится в состоянии ожидания, так как доступных задач на данный момент нет</p>
Задача завершена	
	<p>Задача завершена. Роботам передается команда вернуться в исходное положение</p>

Скриншот интеллектуального человеко-машинного интерфейса для MARC представлен на рис. 13.

Для каждой задачи в сценарном графе составляется описание, удобное для оператора. Разработанный протокол для постановки задачи имеет следующий вид:

(#RGB)XXXYYYYAAA,

где (#RGB) — обозначение цвета кубика, который агенту необходимо найти; возможные значения: r (красный), g (зеленый), b (синий);

XXX — координаты по оси X системы навигации, куда агент должен после нахождения кубика доставить объект; обязательным условием является запись координат в виде трех цифр (примеры: 240, 010, 400, 005);

YYY — координаты по оси Y системы навигации, куда агент должен после нахождения кубика доставить объект; обязательным условием является запись координат в виде трех цифр (примеры: 120, 030, 300, 000);

AAA — угол в градусах, на который агент должен повернуться по достижении цели; был добавлен из-за неоднозначности пути агента к цели; обязательным условием является запись в виде трех цифр (примеры: 155, 015, 350).

Пример описания задачи: g080240180. Данная запись означает для агента — "поместить зеленый кубик в точку (80; 240) с ориентацией (углом) A = 180°".

**Испытания**

Для проверки выдвинутых гипотез и принципов построения MARC была проведена серия экспериментов, результаты которых подтвердили работоспособность предложенных вариантов системы навигации, связи, программного обеспечения ЦУ и бортовой системы агента и человеко-машинного интерфейса. В качестве примера в таблице приведено пошаговое описание одного из экспериментов.

**Заключение**

В рамках данной работы были разработаны конструкция робота-агента, входящего в состав MARC, система навигации, основанная на технологии распознавания символов, программное обеспечение центра управления и человеко-

машинный интерфейс для МАРС, протокол передачи данных по Bluetooth, программное обеспечение бортовой системы управления агента и образец полигона, на котором проходили испытания.

Разработанный научно-исследовательский комплекс позволяет обрабатывать различные методы и алгоритмы группового управления. Для научных целей представляет интерес построение различных распределителей и планировщиков задач для МАРС, составление моделей и сценариев типового поведения агента, оценки их эффективности и др. Для учебных целей проводится целый ряд лабораторных работ в уже существующих дисциплинах: "Искусственный интеллект в автономных информационных и управляющих системах", "Программное обеспечение мехатронных и робототехнических систем", "Средства связи и передачи информации в системах управления автономными роботами", "Управление интеллектуальными роботами и робототехническими системами" и других в соответствии с направлениями подготовки бакалавров и магистров по специальностям 221000.62 "Мехатроника и робототехника" и 220400.62 "Управление в технических системах".

1. **Jiming Lui, Jianbing Wu.** Multi-agent robotic system. CRC Press 2001.
2. **Robotics Institute Research Guide.** URL: [http://www.ri.cmu.edu/research\\_guide/multi\\_agent\\_systems.html](http://www.ri.cmu.edu/research_guide/multi_agent_systems.html)
3. **Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Крюченков Е. Н., Кучерский Р. В., Диане С. А.** Мультиагентные робототехнические системы: примеры и перспективы применения // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 2. С. 22—32.
4. **Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П.** Принципы построения и проблемы разработки мультиагентных робототехнических систем // Мехатроника, автоматизация, управление. № 3. 2012. С. 11—16.
5. **Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Крюченков Е. Н., Кучерский Р. В., Худак Ю. И.** Модели и алгоритмы планирования действий и распределения заданий в мультиагентных робототехнических системах // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 5. 2012. С. 44—50.
6. **Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Диане С. А. К.** Способы представления знаний и особенности функционирования мультиагентных робототехнических систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 1. С. 36—39.
7. **Обзор робота Lego Mindstorms NXT 2.0** / transgumanist.net. URL: <http://transgumanist.net/forum/showthread.php?t=88>
8. **Lego Mindstorms** / Wikipedia. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Mindstorms\\_\(%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F\\_LEGO\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Mindstorms_(%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F_LEGO))

## Educational Research Complex for Improvement of the Algorithms and Methods of the Robot Group Control Based on LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 Kit

**E. I. Shestakov**, [shestakov.ei@gmail.com](mailto:shestakov.ei@gmail.com)✉, **M. Ju. Vasjuta**, **A. M. Kosorukov**,  
**S. A. K. Diane**, **Ja. V. Vershinin**,

Moscow State University of Computer Science, Radio Engineering and Electronics, MIREA,  
Moscow, 119454, Russian Federation

*Corresponding author:* **Shestakov Evgenii I.**, Student, Moscow State University of Computer Science,  
Radio Engineering and Electronics, MIREA, Moscow, 119454, Russian Federation,  
e-mail: [shestakov.ei@gmail.com](mailto:shestakov.ei@gmail.com)

*Received on July 09, 2015*

*Accepted on July 24, 2015*

*In today's robotics, an increasing attention is devoted to Multi-Agent Robotic Systems (MARS), which allow us to accomplish a wide range of tasks with high efficiency due to distribution of the tasks among several agents. The present paper is concerned with the development of an educational research complex intended to improve the algorithms and methods of robot group control at the Chair of Management Problems of the Moscow State University of Computer Science, Radio Engineering and Electronics (MIREA). As a result of an analytical review of the possible approaches to the development of the educational research complex within the framework of the present project, it was suggested to use Lego Mindstorms NXT 2.0 kit in order to save time and financial resources. Despite the simplicity of the structure due to the scantiness of the Lego set of the basic elements, the developed robot, however, provides the minimum of the necessary functional possibilities for solving of different tasks to work out the methods and algorithms of the robot group control. Planning of the appropriate actions and behavior of the robots is based on the technology of the frame-based structures for providing models (scenarios) of the typical behavior and the subsequent selection of a particular model, depending on the situation. Determination of the agents' current location and their orientation is carried out by an external vision system based on the optical character recognition (optical glyphs) technology. For the wireless data exchange between the control centre and the agents, Bluetooth technology of data transmission is used. The planning and distribution of tasks by the control centre of the MARS is realized in the form of software written in C#. The man-machine interface developed within the present research has all the necessary modules allowing us to realize the problem statement and to efficiently control its implementation. As an application example, we consider the task of building block constructions. The construction blocks are represented by cubes of different colours to be installed in a given sequence, corresponding to the construction process. The results of the experiments fulfilled in order to test our hypotheses and construction principles of the MARS are presented.*

**Keywords:** multi-agent robotic system, robot group control, mobile robot, agent, multi-agent



For citation:

**Shestakov E. I., Vasjuta M. Ju., Kosorukov A. M., Diane S. A. K., Vershinin Ja. V.** Educational Research Complex for Improvement of the Algorithms and Methods of the Robot Group Control Based on LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 Kit, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no 11, pp. 743–751.

DOT: 10.17587/mau/16.743-751

### References

1. **Jiming Lui, Jianbing Wu.** Multi-agent robotic system, CRC Press, 2001.
2. **Robotics** Institute Research Guide. Carnegie Mellon University, available at: [http://www.ri.cmu.edu/research\\_guide/multi\\_agent\\_systems.html](http://www.ri.cmu.edu/research_guide/multi_agent_systems.html)
3. **Makarov I. M., Lohin V. M., Man'ko S. V., Romanov M. P., Krjuchenkov E. N., Kucherskiy R. V., Diane S. A.** *Mul'tiagentnye robototekhnicheskie sistemy: primery i perspektivy primeneniya* (Multi-agent robotic systems: examples and prospects of application), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2012, no. 2, pp. 22–32 (in Russian).
4. **Makarov I. M., Lohin V. M., Man'ko S. V., Romanov M. P.** *Principy postroeniya i problemy razrabotki mul'tiagentnyh robototekhnicheskikh sistem* (The construction principles and problems of development of multi-agent robotic systems / mechatronics, automation, control), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2012, no. 3, pp. 11–16 (in Russian).

5. **Makarov I. M., Lohin V. M., Man'ko S. V., Romanov M. P., Krjuchenkov E. N., Kucherskiy R. V., Hudak Ju. I.** *Modeli i algoritmy planirovaniya dejstvij i raspredeleniya zadaniy v mul'tiagentnyh robototekhnicheskikh sistemah* (Models and algorithms for planning and allocating tasks in multi-agent robotic systems) *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2012, no. 5, pp. 44–50 (in Russian).

6. **Lohin V. M., Man'ko S. V., Romanov M. P., Diane S. A. K.** *Sposoby predstavleniya znaniy i osobennosti funkcionirovaniya mul'tiagentnyh robototekhnicheskikh sistem* (Methods of knowledge representation and functioning of multi-agent robotic systems), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2014, no. 1, pp. 36–39 (in Russian).

7. **Obzor** robota Lego Mindstorms NXT 2.0 / [transgumanist.net](http://transgumanist.net), available at: <http://transgumanist.net/forum/showthread.php?t=88> (Review of robot Lego Mindstorms NXT 2.0 / [transgumanist.net](http://transgumanist.net) <http://transgumanist.net/forum/showthread.php?t=88>)

8. **Lego** Mindstorms, available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Mindstorms\\_\(%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F\\_LEGO\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Mindstorms_(%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F_LEGO))

УДК 159.9:62

DOI: 10.17587/mau.16.751-756

**С. Ф. Сергеев**, д-р психол. наук, проф., [s.f.sergeev@spbu.ru](mailto:s.f.sergeev@spbu.ru),  
Санкт-Петербургский государственный университет

## Системно-психологические аспекты автоматизации и роботизации техногенных сред\*

*Исследуются методологические и психологические проблемы интеллектуализации глобальных техногенных сред и действующих в них агентов. Показаны научные предпосылки интеграции человека с техногенной средой. Рассматриваются свойства автономных агентов и интеллектуальных образований в искусственных средах.*

**Ключевые слова:** аутопоэзис, роботизация, робоэтика, робот, искусственные среды, техногенный мир, техногенная среда, технибиод

### Введение

История техногенной цивилизации планеты Земля насчитывает всего несколько столетий. Она связана с появлением в Европе XVII века особого типа социального развития, основанного на успехах точных наук, антропоцентрической культуре и идеологии веры в созидательные возможности человеческого разума. Возник новый тип общественного развития, основанный на ускоряющемся изменении мира посредством внедрения технических новшеств, достижений науки и технологии.

Традиционно выделяют три этапа эволюции техногенной цивилизации: преиндустриальный, индустриальный и постиндустриальный. По мнению В. С. Степина, "идея преобразования мира и подчинения человеком природы была доминантой в культуре техногенной цивилизации на всех этапах ее истории" [1, с. 86]. Каждый этап развития техногенного мира отмечен особыми свойствами воз-

никающей искусственной среды по отношению к человеку. В настоящей работе сделана попытка анализа основных инженерно-психологических проблем, появляющихся в условиях интенсивного развития процессов автоматизации и роботизации глобальной техногенной среды.

### Истоки проблемы "человек в техногенном мире"

Человечество постиндустриального общества первой половины XXI века впервые столкнулось с интенсивным развитием информационных технологий и появлением глобальной техногенной информационно-коммуникационной среды сети Интернет.

По данным компании We Are Social, к концу 2014 г. число пользователей сети Интернет составило 3,01 млрд человек при населении планеты 7,2 млрд, что составляет 41,8 % от общего населения планеты Земля (в 2011 г. — 28,7 %). Социальными сетями активно пользуются 2,078 млрд человек (29 % населения), а мобильные аккаунты в них имеются у 1,685 млрд (23 %) [2].

\* Работа поддержана грантом РФФИ (проект № 13-08-00161).