

УДК 004.896:007.52

К.В. Ильичев, С.А. Манцеров

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

РАЗРАБОТКА МАСШТАБИРУЕМОЙ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РОЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В настоящее время робототехника является стремительно развивающейся областью знания, которая имеет достаточно большой потенциал, чтобы существенно повлиять на характер инженерного и научного образования на всех его уровнях. Наиболее актуальными последними разработками в данной области являются проекты групповой робототехники. Данные исследования тесно связаны с эффектом системного поведения, которое можно наблюдать у различных социальных насекомых, что называется с роевым интеллектом. Такая особенность заключается в том, что однозначные и простые правила поведения каждого члена группы создают сложное организованное поведение всей группы. Роботы, взаимодействуя между собой, а также с окружающей их средой, формируют желаемое групповое поведение. При этом возникает система постоянной обратной связи, состоящая из кооперации членов группы, и целевая функция как логичность поведения не индивидуума, а всей группы роботов. Нельзя не отметить техническую направленность данной области науки, которая ставит задачи проектирования конструкций роботов, создание систем управления, а также алгоритмов и механизмов взаимодействия. Основными факторами, которыми следует руководствоваться при проектировании групповых робототехнических систем, выступают тенденции к уменьшению стоимости единицы робота в группе, а также тенденция к уменьшению габаритных размеров робота. Поэтому в настоящее время при создании таких систем особое внимание уделяется задаче создания простой конструкции робота. Непрерывно изменяющийся внешний мир и современные условия диктуют нам новые тенденции, согласно которым широкое использование больших групп простых и дешевых роботов, имеющих довольно ограниченные процессы взаимодействия и обработки данных, целесообразнее использования мощного, габаритного, дорогого робота во многих недетерминированных, динамических и опасных для человека средах.

В статье рассматривается задача создания робототехнической системы роевого взаимодействия, а также разработки методов и алгоритмов управления данной системой для поддержания рядности движения группы относительно робота-ведущего. Приводятся результаты моделирования мехатронной робототехнической системы роевого взаимодействия в среде NI LabVIEW Robotics Environment Simulator.

Ключевые слова: робототехника, роевое взаимодействие, блок-схема, сенсоры.

K.V. Ilichev, S.A. Mancеров

Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alexeev

DEVELOPMENT OF SCALABLE MOBILE ROBOT SWARM INTERACTION SYSTEM

Currently, robotics is a rapidly evolving field of knowledge, which has a large enough potential to significantly affect the nature of engineering and science education at all levels. One of the most relevant recent developments in this area are a group of robotics projects. These studies are closely related to the effect of the system behavior that can be observed in a variety of social insects is called swarm intelligence. This feature is that unambiguous and simple rules of the behavior of each member of the group to create a complex organized behavior of the entire group. The robots, interacting with each other and with their environment, form the desired group behavior. At the same time, a system of continuous feedback, consisting of co-operation of members of the group, and the objective function as a logic of behavior is not the individual but the whole group of robots. It should be noted technical focus of this field of science, which puts structural design tasks robots, the establishment of management systems, as well as algorithms and mechanisms of interaction. The fundamental factors that should guide the design of robotic systems group, are the tendency to decrease the cost of the robot unit in the group, as well as the tendency to reduce the overall size of the robot. Therefore, at the present time to create such systems we focus on the task of creating a simple robot design. Continuously changing the outside world and the current conditions dictate new trends, according to which the widespread use of large groups of simple and cheap robots with very limited data communication and processing processes of the feasibility of using a powerful, oversized, expensive robot in many non-deterministic, dynamic and dangerous for the human environment.

The article deals with the problem of creating a robotic system of collective interaction, as well as the development of methods and algorithms of management of the system to maintain the movement tiering group regarding a robot master. The results of modeling mechatronic robotic system of collective interaction in the environment NI LabVIEW Robotics Environment Simulator.

Keywords: robotics, swarm interaction, algorithm, sensors.

Введение. Научно-технический прогресс последних десятилетий имеет прочную связь с интеллектуальным продуктом, а также с различными открытиями и изобретениями, создаваемыми в результате инновационной деятельности. При этом их роль в современной экономике непрерывно возрастает изо дня в день. Без применения инноваций невозможно создавать конкурентоспособную продукцию, имеющую высокую степень наукоемкости и новизны. Именно инновации занимают одно из центральных мест в современной рыночной экономике, так как ведут к созданию новых потребностей, снижению себестоимости продукции, а также притоку инвестиций. Для потребителя продукты инновационной деятельности представляют собой максимально простые и удобные решения многих проблем.

Робототехника является одним из ведущих направлений современной прикладной науки. Данное направление занимается созданием

и внедрением в жизнь человека автоматических машин, существенно облегчающих как промышленную сферу деятельности человека, так и его бытовую жизнь. В настоящее время на многих предприятиях роботы выполняют большую часть различных по характеру работ. Активно создается разная техника с высоким уровнем интеллекта, позволяющая изучать космическое пространство и подводные глубины. Все это свидетельствует о том, что роботостроение является существенно развитой отраслью промышленности.

Групповая, или роевая робототехника – это направление в науке, которое ставит задачу изучения и нахождения новых подходов к координации систем, состоящих из большого количества роботов, преимущественно обладающих простой конструкцией. В таких системах прогнозируемое поведение коллектива является результатом взаимодействия единиц роботов между собой, а также с окружающей средой. Результаты биологических исследований насекомых, а именно муравьев, пчел, а также результаты исследований в иных областях природы, где имеет место роевое поведение, были адаптированы в направлении по искусственному роевому интеллекту [2, 3].

Каждое действие единицы робота в такой системе должно быть обусловлено деятельностью всего роя. Взаимодействие и взаимосвязь между рядовыми роботами в системе упорядочены, существуют правила и задачи для каждого отдельного участника. Именно взаимодействие между членами группы и создает постоянную обратную связь. Соответственно сложное организованное поведение целого роя воплощается благодаря простым правилам индивидуального поведения [6]. Понятие центрального управления уходит на второй план, вместо него возникает роевой интеллект и даже групповой внутри одного большого роя. Управление системой будет осуществляться, исходя из общей задачи группы, а также из положения каждого отдельного робота в определенный момент времени, предсказывая поведение окружающих участников [8, 10].

Создание подобных сложных систем, состоящих из простых компонентов, связано с решением целого ряда специфических проблем, типичных для совместной работы роботов. Среди них отмечаются такие, как:

– непредсказуемое постоянное изменение внешней среды вплоть до сознательного противодействия;

- наличие неполного объема данных о внешней среде и о участниках группы;
- большое разнообразие векторов путей достижения цели, структур коллектива, распределения ролей и т.д.;
- распределенный и динамический характер планирования действий коллектива;
- проблемы, обусловленные тем, что роевые системы являются собой совокупность физических объектов, функционирующих в реальной сложной среде (проблемы надежной коммуникации, распределенность коллектива в пространстве и т.д.);
- прочие технические проблемы (архитектура сети, протоколы, операционные средства и т.д.).

Преимущества и характеристики роя роботов можно проследить, сравнив такую систему с единичным роботом. Характеристики роя роботов достаточно схожи с характеристиками роев насекомых в природе.

Индивидуальный робот обычно обладает сложной структурой и различными модулями управления, в результате чего расходы на дизайн, разработку конструкции, а также на его обслуживание достаточно большие. Такой робот достаточно уязвим. Повреждение даже незначительных частей может привести к выходу из строя всей системы. В свою очередь, рой роботов выполняет поставленные задачи посредством межгруппового взаимодействия. Такие системы имеют преимущество благодаря многократному использованию простых по конструкции роботов, а также низкой себестоимости и небольших издержек на обслуживание. Рой роботов особенно подходит для выполнения больших масштабируемых задач.

Роевые системы отличаются возможностью к масштабированию, что позволяет роботам-единицам вступить во взаимодействие или выйти из него в любое время, не прерывая выполнение задачи. Рой адаптируется к изменению численности роботов, входящих в него, используя только локальную связь. Такую систему возможно разработать с использованием беспроводных систем передачи данных в радиочастотном или инфракрасном диапазоне. Это означает, что такие системы обладают достаточной гибкостью, не требующей изменений как в конструктивной части, так и в программной. Поэтому рой роботов хорошо применим для реальных условий [9].

Также нельзя не отметить такое свойство подобных систем, как параллелизм. Количество участников в рое роботов достаточно легко увеличивается, что дает большим по численности системам возможность фокусироваться на нескольких целях внутри одной задачи. Это свидетельствует о том, что такой рой может выполнять задачи, связанные с несколькими целями, распределенными в огромном диапазоне окружающей среды. Таким образом, мы сокращаем время выполнения задания.

Следующим отличительным свойством является стабильность. Исходя из масштабируемости, рой роботов обладает высокой надежностью, даже когда часть единиц-роботов потеряла работоспособность вследствие воздействия различных факторов. Повреждение одного или нескольких роботов группы в общем случае не приводит к срыву выполнения операции. Уменьшение количества роботов в рое ведет к ухудшению характеристик такой системы, тем самым снижая эффективность работы роя, однако оставшаяся часть имеет тенденцию к выполнению поставленной задачи. Такая особенность особенно важна для задач в экстремальных условиях [15]. Потеря работоспособности отдельных блоков у одиночного робота может привести к срыву выполняемой им работы, а попытки дублирования самых важных функциональных блоков робота приводят к увеличению массы, габаритов, стоимости робота, но не увеличивают эффективность работы (даже снижают, учитывая большие габариты и массу).

Нельзя не отметить экономичность подобных систем. Из вышеизложенного следует, что стоимость обслуживания, разработки и производства роев роботов существенно меньше, чем комплекс индивидуальных единичных роботов, даже если численность роя – сотни и даже тысячи. Возможно массовое производство роев роботов в отличие от серийного высокоточного производства индивидуальных роботов [7].

Затрагивая тему энергетических затрат, единичный робот в рое обладает простой конструкцией и имеет меньшие размеры по сравнению с индивидуальным роботом; соответственно, энергетические затраты и емкость аккумулятора не столь велики. Это означает, что жизненный цикл роя роботов может быть увеличен. В окружающей среде, где отсутствуют топливные или электроэнергетические запасы, рой роботов более пригоден, чем традиционный индивидуальный робот [13, 16].

Число возможных областей применения роев роботов достаточно велико. Назовем основные из них:

– добыча сырья. Данное направление предполагает большие возможности применения, однако также требует большого количества навыков от роя роботов, таких как коллективное исследование, нахождение кратчайшего пути, эффективное распределение и управление задачами. Оно также включает в себя задачу коллективной транспортировки объекта;

– работа в экстремальных ситуациях. Осуществление поисково-спасательных операций в местах природных и техногенных катастроф, а также в зонах боевых действий. К примеру, рой роботов может решить задачу разминирования быстрее и дешевле, чем индивидуальный робот. Выполнение технологических операций, в том числе на опасных и вредных производствах. Роботы с малыми габаритами и массой могут беспрепятственно перемещаться в тесных проходах, оставаясь незамеченными для радиолокационных станций противника;

– мониторинг, разведка и изучение планеты Земля и других планет Солнечной системы. Сюда же можно отнести задачи разведки территорий и акваторий в условиях организованного противодействия противника, задачи поиска пострадавших в завалах после природных или техногенных катастроф, задачи поиска и обезвреживания взрывных устройств при выполнении антитеррористических операций в условиях плотной городской застройки;

– очистка земной поверхности, акваторий морей и океанов, а также космического пространства от опасных химических и радиоактивных веществ;

– выполнение некоторых хирургических операций, например неинвазивное удаление злокачественных опухолей [1].

Достижения в разработке конструкций роботов имеют тенденцию к миниатюризации и удешевлению конструкции. Рой роботов может выполнять функции разведки, осмотра различных конструкций, сокращая время выполнения данной задачи. Роботы в рое имеют ограниченные возможности осязания, однако коллективное восприятие роя можно направить для реализации глобальных задач (построение карты местности). Такие задачи, как исследование космического пространства, использование нанороботов в человеческих венах и артери-

ях в медицинских целях (для борьбы с заболеваниями), можно представить в недалеком будущем [14].

Основополагающими факторами в роевых робототехнических системах выступают стоимость и миниатюризация. Это две главные задачи при разработке больших групп роботов. Исходя из всего вышеизложенного, наиболее оправданным является подход с реализацией роевого интеллекта для достижения значимого поведения на уровне группы, а не на индивидуальном уровне. Роевая робототехника открывает возможность создания в будущем роев роботов, способных коллективно решать большое число задач, при этом информационно, а также физически объединяться в единое целое на основе принципа самоорганизации [12]. Важно отметить, что выход из строя отдельных роботов не уменьшает или уменьшает незначительно функциональные возможности роя в целом.

В процессе создания различных роботов возникает задача моделирования различных алгоритмов для реализации движения робота, алгоритмов кооперации с другими роботами-соседями, а также взаимодействия с внешним миром. В настоящее время благодаря развитию программных средств существует возможность заранее протестировать желаемые алгоритмы на виртуальной модели, изучить их сильные и слабые стороны, устранить недоработки, при этом не конструируя реального робота [4].

Выбрав аппаратную составляющую проекта, мы также использовали полностью совместимое программное обеспечение Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW). Данная платформа является программным обеспечением, позволяющим конструировать робототехнические системы при помощи базового программного пакета LabVIEW и дополнительного модуля LabVIEW Robotics. Эта система основывается на методах графического программирования и достаточно широко используется в промышленных проектах, а также в научно-исследовательских лабораториях в качестве классического программного обеспечения сбора данных и управления различными приборами [11]. Сам базовый пакет является некой кроссплатформенной графической средой разработки. Он широко применяется в системах управления различными техническими объектами, технологическими процессами, а также в системах сбора данных [5]. На сегодняшний день выпущено немалое количество библиотек, что намного

упрощает процесс взаимодействия с техникой различных производителей. Для кооперации с робототехническими системами выпущен модуль Robotics, включающий данные библиотеки, к тому же имеется возможность их регулярного обновления.

Структура программы состоит из двух панелей. Первая панель называется лицевой, на которой представлен интерфейс пользователя. Она является некой имитацией лицевой панели традиционного прибора. На ней располагаются различные ручки управления, кнопки, графические индикаторы и другие элементы управления, которые по своей сути являются инструментами ввода данных со стороны пользователя, а также множество элементов индикации – выходные данные из программы. Интерфейс пользователя лицевой панели представлен на рис. 1.

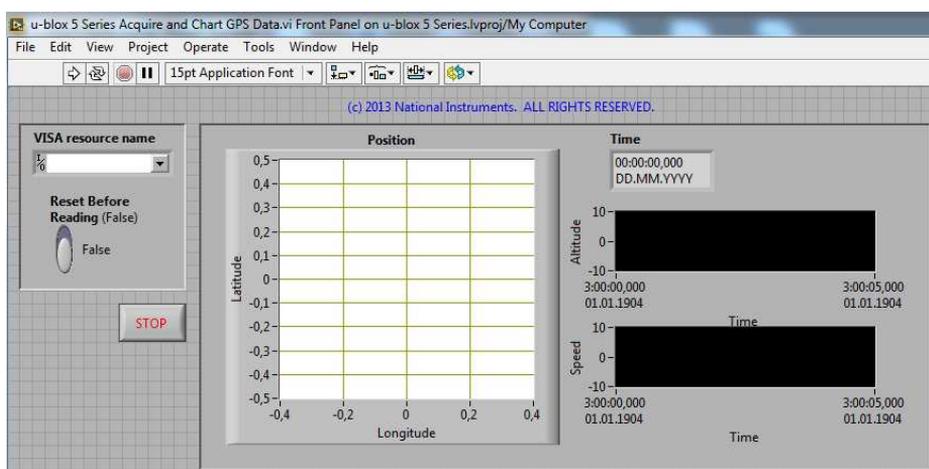


Рис. 1. Интерфейс пользователя лицевой панели LabVIEW

Вторая панель представляет из себя блок-диаграмму, которая содержит исходный код программы виртуального прибора (ВП). Собственный язык программирования именуется G-языком. Пользователь программирует задачу из графической блок-диаграммы, которая впоследствии компилирует алгоритм в машинный код. Эта панель содержит компоненты более низкого уровня, встроенные функции ПО, а также различные константы и структуры управления выполнением программы. Связь между объектами задается соответствующими проводниками. Так реализуется поток данных. Объекты лицевой панели на блок-диаграмме представлены соответствующими терминалами. Данные через них могут поступать от пользователя в программу и обратно.

Изображение графического кода на блок-диаграмме представлено на рис. 2.

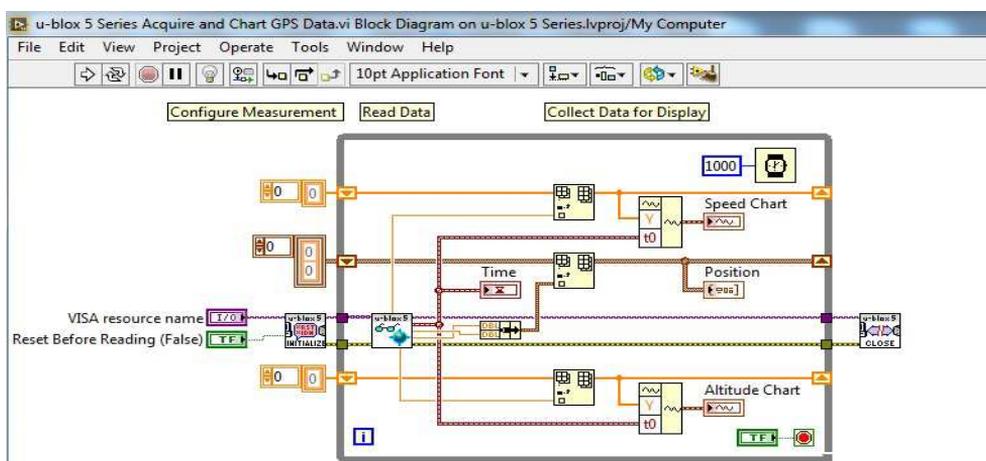


Рис. 2. Демонстрация графического кода на блок-диаграмме LabVIEW

Подключаемый модуль LabVIEW Robotics представляет собой программное обеспечение для конструирования различных роботов, а также содержит средство визуального моделирования Robotics Environment Simulator, благодаря которому имеется возможность смоделировать как конструкции самих роботов, так и внешнюю среду с соблюдением физических законов. Данное дополнение содержит множество библиотек различных датчиков, сенсоров, камер, технических устройств, узлов большинства современных производителей. На рис. 3 представлена среда моделирования с несколькими роботами.

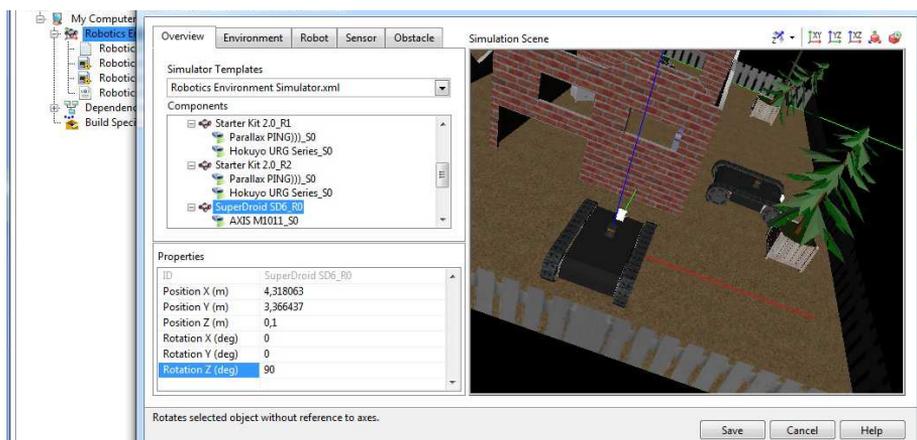


Рис. 3. Изображение среды моделирования Robotics Environment Simulator

В результате проведенной работы была разработана робототехническая система роевого взаимодействия. При её создании использовалась следующая парадигма: очувствление, расчет, действие, графическое представление её дано на рис. 4.



Рис. 4. Графическое представление парадигмы управления робототехнической системой

Задача создания масштабируемой робототехнической системы связана с разработкой определенных алгоритмов взаимодействия в целях реализации задачи коллективного поведения. Управление робототехнической системой формирует задачу поддержания рядности движения группы относительно робота-ведущего. Такая формулировка означает, что несколько роботов должны двигаться линией, сохраняя параллельность относительно ведущего. Данная задача часто встречается во многих робототехнических системах, где реализуются мониторинг местности, её разведка и изучение, а также при очистке поверхности Земли, морей и океанов от опасных веществ при выполнении процессов добычи сырья, а также при работе в экстремальных ситуациях.

Для её реализации была создана группа, состоящая из трех роботов NIStarterKit 2.0. Каждый робот оборудован датчиком положения GPSu-blox 5, а также IP-камерой AXIS M101 и лидаром Hokuyo URG Series в целях получения большей информативности процесса мониторинга внешней среды. Внешний вид роботов представлен на рис. 5.

С целью реализации данной задачи был разработан следующий общий алгоритм, представленный на рис. 6. Сущность данного алгоритма заключается в том, что, получая данные о положении роботов в группе с датчиков GPSu-blox 5, происходит построение курса всех

рядовых роботов, членов группы в зависимости от перемещения робота-ведущего, который может управляться как автономно, так и с помощью пульта ручного управления оператора. После этого вырабатываются управляющие сигналы, которые впоследствии подаются на исполнительные механизмы рядовых роботов, тем самым осуществляется перебазирование роботов группы относительно робота-ведущего.

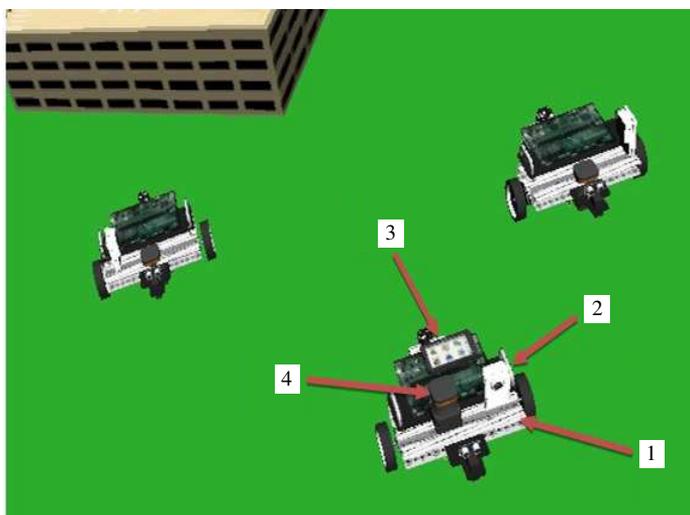


Рис. 5. Внешний вид роботов с установленными датчиками на сцене: 1 – несущая конструкция (база), 2 – IP-камера, 3 – GPS-датчик, 4 – лидар

Если кнопка завершения моделирования не нажата, происходит обновление данных, тем самым постоянно корректируется заданный вектор движения всех роботов с определенной частотой.

Математическую основу данного алгоритма составляет расчет вектора движения робота-единицы в группе. Представим рядового робота-единицу и робота-лидера как материальные точки, изображение которых представлено на рис. 3–8. Зная координаты положения каждого робота, мы вычислим длину вектора между ними. Примем значение широты за Y , а значение долготы за X . Индексы у данных величин соответствуют роботу в ряду. К данному примеру координаты (x_1, y_1) соответствует рядовому роботу-единице в ряду, координаты (x_0, y_0) – роботу-лидеру. По формуле нахождения модуля вектора по двум точкам мы вычисляем расстояние между двумя роботами:

$$L = \sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2}. \quad (1)$$

Это будет некоторое фиксированное расстояние между ними в ряду. Изменяя свое положение, робот-лидер формирует свой вектор движения по формуле

$$\vec{R}_0 = (x_{00} - x_{01}, y_{00} - y_{01}), \quad (2)$$

где (x_{00}, y_{00}) координаты начальной точки во временном отрезке, (x_{01}, y_{01}) – координаты конечной точки во временном отрезке. Зная соответствующие координаты, мы найдем угол данного вектора по формуле

$$\alpha = \arctg\left(\frac{y_{00} - y_{01}}{x_{00} - x_{01}}\right). \quad (3)$$

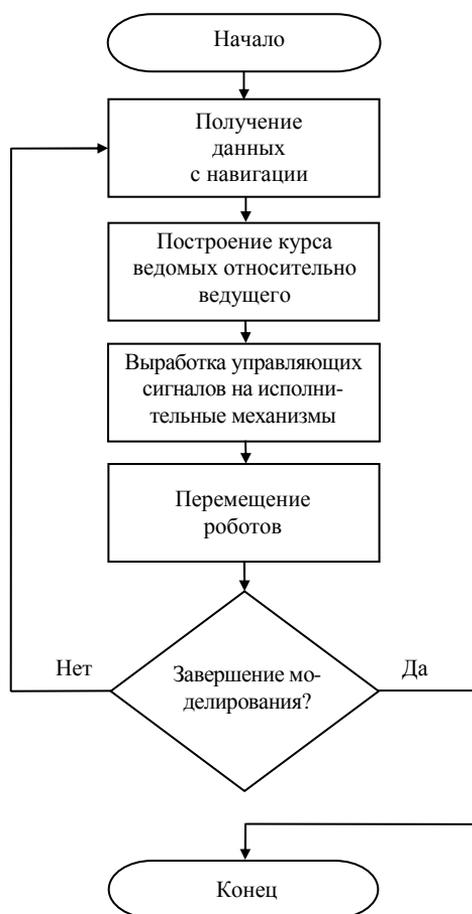


Рис. 6. Общий алгоритм поддержания рядности движения группы роботов

Сравнивая значения расстояния L и L_1 между роботами соответственно в начале и конце временного отрезка, мы формируем команду на выполнение движения рядовым роботом-единицей в группе. В соответствии с полученным курсом движения робота мы формируем управляющие воздействия на двигатели рядовых роботов.

При этом важно выбрать соответствующие временные отрезки в целях реализации обновления данных с определенной частотой. Таким образом, будет происходить процесс постоянной корректировки курса движения. В соответствии с разработанным алгоритмом была создана лицевая панель робототехнической системы для построения курса движения роботов.

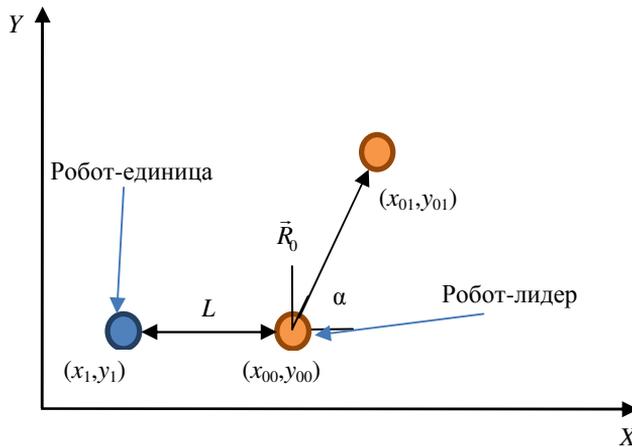


Рис. 7. Схематичное представление робота-лидера и робота-единицы как материальных точек

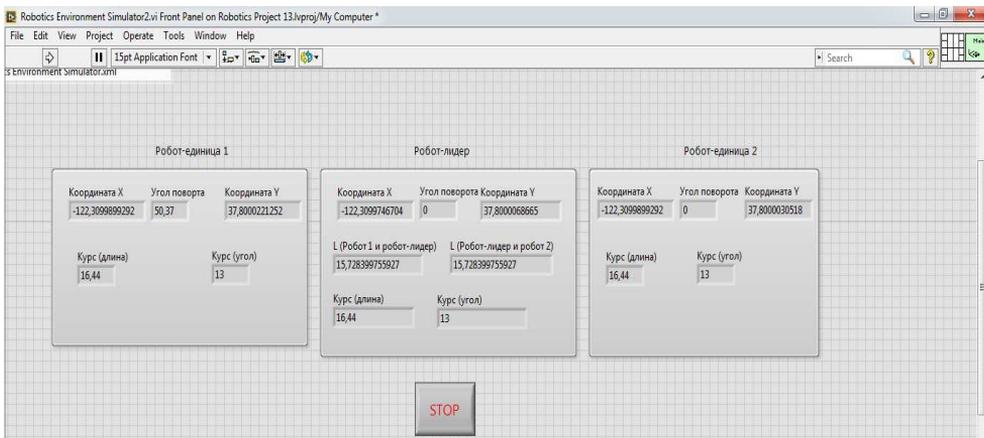


Рис. 8. Лицевая панель робототехнической системы для построения курса движения роботов

Выводы. Преимуществами групповых робототехнических систем в сравнении с одним центральным роботом являются возможности широкого масштабирования с единственной локальной связью, отказоустойчивость, а также возможность к самоорганизации и саморегулированию. Область применения подобных систем непрерывно увеличивается. Она включает в себя различные задачи, начиная от автономного поиска и проведения спасательных операций до развертывания децентрализованных автономных систем в целях защиты. Однако в настоящее время непредсказуемость и быстрая динамика внешней среды определяют ряд проблем, связанных с неполнотой и противоречивостью данных о состоянии внешнего мира, а также информации о других участниках группы, с многообразием вариантов достижения цели, структур коллектива и прочим. Решение данных задач качественно улучшит как аппаратную, так и программную часть роботов, входящих в группы, повысит гибкость системы, увеличит надежность, мощность группы роботов.

В результате данной работы был предложен общий алгоритм поддержания рядности движения группы роботов, а также в среде NI LabVIEW Robotics Environment Simulator была создана конструкция рядового робота в роевой робототехнической системе на основе платформы NI LabVIEW Robotics Starter Kit 2.0 и проведены опытные испытания в среде моделирования, которые подтвердили правильность расчетов. Также была разработана лицевая панель оператора робототехнической системы роя роботов для сбора данных и управления.

Библиографический список

1. Иванов Д.Я. Использование принципов роевого интеллекта для управления целенаправленным поведением массово применяемых микроботов в экстремальных условиях // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2011. – № 9. – С. 74–76.
2. Каляев И.А. Стайные принципы управления в группе объектов // Искусственный интеллект. Интеллектуальные и многопроцессорные системы-2004: материалы междунар. науч. конф. Т. 2. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004.
3. Кубанских О.В., Хлебород С.А., Чалый Д.А. Алгоритмы оптимизации, основанные на симуляции социального поведения в природе // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты:

сб. материалов XVI Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. С.С. Чернова. – Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2014. – 254 с.

4. Лукинов А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2012. – 608 с.

5. Манцеров С.А. Создание баз данных объектов машиностроения на основе формул функциональной систематики // Вестник ВГТУ. – 2007. – Т. 3. – № 11.

6. Матарик М. Принципиальные связи динамической робототехнической системы при выполнении распределенных задач // Лаборатория исследователей робототехники университета Южной Калифорнии. – 2014. – № 6.

7. Макларкин Д. Создание дешевой многоагентной робототехнической системы в целях мониторинга внешней среды // 13 International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems. – 2010.

8. Марко Д. Развитие самоорганизующихся систем коллективного взаимодействия // Автономные роботы. – 2009. – № 17.

9. Нагпаль Р. Создание самоорганизующихся структур из мобильных роботов // Тезисы Гарвард. ун-та. – 2014.

10. Смирнова О.С., Богорадникова А.В., Блинов М.Ю. Описание роевых алгоритмов, инспирированных неживой природой и бактериями, для использования в онтологической модели // International Journal of Open Information Technologies. – 2015. – Vol. 3. – № 12. – С. 28–37.

11. Тревис Дж. LABView для всех / пер. с англ. Н.А. Клушин. – М.: ДМК-Пресс; ПриборКомплект, 2005. – 544 с.

12. Тимофеев А.В. Интеллектуальное и мультиагентное управление робототехническими системами // Экстремальная робототехника: матер. XI науч.-техн. конф. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001.

13. Фаршад А. Автономная микроробототехническая система группового взаимодействия // Междунар. журнал новейших робототехнич. систем. – 2014.

14. Чайнинг Ч. Групповая робототехническая система кооперации движений для передвижения объектов / Лаборатория робототехники Шеффилдс. ун-та. – 2011.

15. Штейн А. Оптимальные и эффективные алгоритмы планирования пути для недетерминированных сред // Материалы междунар. конф. по робототехнике и автоматизации. – Атланта, штат Джорджия, 1994. – № 4.

16. Юревич Е.И. Принципы группового управления роботами // Экстремальная робототехника: материалы науч. молодеж. школы. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003.

References

1. Ivanov D.Ia. Ispol'zovanie printsipov roevogo intellekta dlia upravleniia tselenapravlenным povedeniem massovoprimentaemykh mikrorobotov v ekstremal'nykh usloviiah [The usage of swarm Intelligence for management of micro robots goal-seeking behavior in extreme conditions]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie*, 2011, no. 9, pp. 74-76.

2. Kaliev I.A. Stainye printsipy upravleniia v grupe ob"ektov [Social principles of object management in groups]. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii “*Iskusstvennyi intellekt. Intellektual'nye i mnogo-protseornye sistemy-2004*”. Taganrofskii gosudarstvennyi radio-tekhnicheskii universitet, vol. 2, 2004.

3. Kubanskikh O.V., Khleborod S.A., Chalvi D.A. Algoritmy optimizatsii, osnovannye na simuliatsii sotsial'nogo povedeniia v prirode [Optimization algorithms, based on social behavior simulation in vivo]. *Sbornik materialov XVI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii “Fundamental'nye i prikladnye issledovaniia: problemy i rezul'taty”*, Novosibirsk, 30 December 2014. Novosibirsk, 2014.

4. Lukinov A.P. Proektirovanie mekhatronnykh i robototekhnicheskikh ustroistv [Designing the mechatronics and robotic devices]. Saint Petersburg: Lan', 2012. 676 p.

5. Mantserov S.A. Sozdanie baz dannykh ob"ektov mashinostroeniia na osnove formul funktsional'noi sistematiki [Creating the mechanical engineering object data bases on the base of robust classification]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2007, vol. 3, no. 11.

6. Matarik M. Printsipial'nye sviazi dinamicheskoi robototekhnicheskoi sistemy pri vypolnenii raspredelennykh zadach [Fundamental relations of dynamic robotic system while executing the distributed tasks]. *Laboratoriia issledovatelei robototekhniki universiteta Iuzhnoi Kalifornii*, 2014, no. 6.

7. Maklarkin D. Sozdanie deshevoi mnogoagentnoi robototekhnicheskoi sistemy v tseliakh monitoringa vneshnei sredy [Designing the cheap multi-

agents robot systems in order the monitoring of outdoor environment]. *13 International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems*, 2010.

8. Marko D. Razvitiye samoorganizuiushchikhsia sistem kollektivnogo vzaimodeistviia [Training system development of collective interaction]. *Avtonomnye roboty*, 2009, no. 17.

9. Nagpal' R. Sozdanie samoorganizuiushchikhsia struktur iz mobil'nykh robotov [Self-organized structure development made from mobile robots]. *Tezisy Garvardskogo universiteta*, 2014.

10. Smirnova O.S., Bogoradnikova A.V., Blinov M.Iu. Opisanie roevykh algoritmov, inspirirovannykh nezhivoi prirodou i bakteriiami, dlia ispol'zovaniia v ontologicheskoi modeli [Swarm intelligence description, orchestrated by inanimate nature and bacteria for using it in ontological model]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2015, vol. 3, no. 12, pp. 28-37.

11. Trevis Dzh. LABView dlia vsekh [LABView for everybody]. Moscow: DMK-Press; PriborKomplekt, 2005. 544 p.

12. Timofeev A.B. Intellektual'noe i mul'tiagentnoe upravlenie robototekhnicheskimi sistemami [Intellectual and multi-agented management of robotics systems]. *Materialy XI nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Ekstremal'naia robototekhnika"*. Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2001.

13. Farshad A. Avtonomnaia mikrorobototekhnicheskaiia sistema gruppovogo vzaimodeistviia [Self-sufficient micro-robotic system of teamwork]. *Mezhdunarodnyi zhurnal noveishikh robototekhnicheskikh sistem*, 2014.

14. Chaining Ch. Gruppovaia robototekhnicheskaiia sistema kooperatsii dvizhenii dlia peredvizheniia ob"ektov [Team robotic system of movement cooperation for object movements]. *Laboratoriia robototekhniki Sheffildskogo universiteta*, 2011.

15. Shtein A. Optimal'nye i effektivnye algoritmy planirovaniia puti dlia nedeterminirovannykh sred [Optimal and efficient algorithms of planning the way for nondet environment]. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii po robototekhnike i avtomatizatsii*. Atlanta, shtat Dzhordzhii, 1994, no. 4.

16. Iurevich E.I. Printsipy gruppovogo upravleniia robotami [Approaches of robot group control]. *Materialy nauchnoi molodezhnoi shkoly "Ekstremal'naia robototekhnika"*. Taganrogskii gosudarstvennyi radiotekhnicheskii universitet, 2003.

Сведения об авторах

Ильичев Кирилл Владимирович (Н. Новгород, Россия) – магистрант кафедры автоматизации машиностроения Института промышленных технологий машиностроения Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, (603155, Н. Новгород, ул. Минина, 26, корп. 4, ауд. 4210, тел.: 8-908-739-70-08, e-mail: kirill989ilichev@gmail.com).

Манцеров Сергей Александрович (Н. Новгород, Россия) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации машиностроения Института промышленных технологий машиностроения Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, (603155, Н. Новгород, ул. Минина, 26, корп. 4, ауд. 4202, тел.: 8 (831) 436-73-54, e-mail: sergei639@gmail.com).

About the authors

Ilichev Kirill Vladimirovich (Nizhny Novgorod, Russian Federation) is a Master Student of Automation Engineering department, Institute of industrial engineering technology Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva (603000, Nizhny Novgorod, 26, Minina Str., aud. 4210, tel.: 8-908-739-70-08, e-mail:kirill989ilichev@gmail.com).

Mantserov Sergey Aleksandrovich (Nizhny Novgorod, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor head of the Automation Engineering department, Institute of industrial engineering technology Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva (603155, Nizhny Novgorod, 26, Minina Str., aud. 4202, tel.: 8 (831) 436-73-54), e-mail: sergei639@gmail.com).

Получено 16.02.2017