

Сетевая структура обработки информации в распределенных системах управления наземными робототехническими комплексами

*В.Ф. Петров, С.Б. Симонов, А.И. Терентьев,
О.В. Петров, Д.Н. Корольков*

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
Москва, Россия*

pvf@olvs.miee.ru

Существующие наземные робототехнические комплексы (РТК) тяжелого класса в основном представляют собой системы с дистанционным управлением. Повышение степени автономности работы РТК исключает человеческий фактор в управлении и расширяет область их применения. В работе рассмотрены актуальные научно-технические задачи в области построения перспективных наземных РТК и методов их решений. Особое внимание уделено интеграции в систему управления функциональных элементов, распределенных в сетевой структуре РТК. Выполнен анализ методов обработки информации в распределенных системах для построения единой информационно-управляющей среды на основе открытых стандартов и технологий с обеспечением открытости, согласованности, масштабируемости, отказоустойчивости и прозрачности. Рассмотрены особенности циркуляции информации в РТК тяжелого класса и предложена модель информационного сопряжения между программными модулями для решения коммуникационной задачи в сетевой структуре распределенной системы РТК. Представлена алгоритмическая реализация предложенного технического решения. Приведены имеющиеся ограничения на применение разработанного программного обеспечения и пути его дальнейшего развития. Полученные результаты могут быть использованы при создании систем управления РТК тяжелого класса.

Ключевые слова: наземный робототехнический комплекс; распределенная система управления; система дистанционного управления; безэкипажный наземный робот; автономный наземный робот

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект №8.8952.2017/БЧ).

Для цитирования: Сетевая структура обработки информации в распределенных системах управления наземными робототехническими комплексами / В.Ф. Петров, С.Б. Симонов, А.И. Терентьев и др. // Изв. вузов. Электроника. – 2018. – Т. 23. – № 4. – С. 389–398. DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-4-389-398

Information Processing Network Structure in Distributed Control Systems of Ground Robotic Systems

V.F. Petrov, S.B. Simonov, A.I. Terentiev, O.V. Petrov, D.N. Korolkov

National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia

pvf@olvs.miee.ru

Abstract: The existing heavy class land robotic Complexes (RTC) mainly represent the systems with remote control. An increase of the RTC operation autonomy eliminates the human factor in the control and extends the field of their application. The actual scientific and technical problems in the field of constructing the perspective land robotic RTC and the methods of their solution have been considered. Special attention is paid to the integration into the control system of the functional elements, distributed in the network structure of robotic system. The analysis of the information processing methods in distributed systems for building a common information management environment based on open standards and technologies to insure the openness, the consistency, the stability, the fault tolerance and transparency has been performed. The peculiarities of the information circulation in heavy class robotic systems have been considered, and the model of the information interface between the software modules to solve the communication problem in the network structure of a distributed system RTC has been proposed. The algorithmic implementation of the proposed technical solution has been presented. The existing restrictions for the application of the developed software and ways of its further development have been presented. The obtained results can be used in creating systems for heavy class RTC control.

Keywords: a land robotic complex; the distributed control system; the system of remote control; the unmanned land robot; the independent land robot

Acknowledgements: the work is executed at financial support of the Ministry of education and science of Russia, project №8.8952.2017/БЧ

For citation: Petrov V.F., Simonov S.B., Terentiev A.I., Petrov O.V., Korolkov D.N. Information processing network structure in distributed control systems of ground robotic systems. *Proc. Univ. Electronics*, 2018, vol. 23, no. 4, pp. 389–398. DOI: 10.24151/1561-5405-2018-23-4-389-398

Введение. Подвижные наземные робототехнические комплексы (РТК) тяжелого класса используются в слабо детерминированной естественной среде. Такие роботы имеют прорывной экономический потенциал, так как предназначены для выполнения тяжелых ресурсоемких задач, в том числе и в кооперации с человеком. Например, в агропромышленном комплексе технологии точного земледелия уже сейчас позволяют существенно повысить урожайность и сократить расходы на проведение сельскохозяйственных работ с помощью роботизированных тракторов. Проводятся исследования по созданию автомобилей, решающих задачи автономного управления в городской среде. Актуальным является создание роботизированных образцов тяжелой карьерной техники [1, 2]. Разрабатываются и совершенствуются наземные РТК для решения специаль-

ных и военных задач: разминирования, пожаротушения, транспортировки грузов, эвакуации раненых, сопровождения и поражения целей [3].

Назначение и задачи РТК. Существующие наземные РТК тяжелого класса в основном представляют собой системы с дистанционным управлением. Наиболее совершенные из них обеспечивают телеуправление роботом группой операторов с использованием множества видеокамер [4]. Однако настоящий потенциал РТК может быть раскрыт только при повышении степени автономности их работы. Автономное управление без участия человека позволяет добиться большей скорости, точности и, следовательно, эффективности решения задач [5].

Для выполнения роботом поставленной задачи вычислительными средствами РТК в реальном времени решается множество разноплановых задач, связанных с измерением сигналов, их комплексированием, преобразованием и обработкой, анализом информации и генерацией команд управляющим подсистемам и исполнительным механизмам. По информационной связанности можно разделить решаемые задачи на три уровня. На нижнем уровне находятся задачи управления отдельными исполнительными механизмами, задачи сбора и предварительной обработки данных с датчиков. На среднем уровне – задачи, решаемые с использованием средств нижнего уровня, такие как движение с заданным вектором скорости, автоматическое управление трансмиссией, обнаружение препятствий. На верхнем уровне находятся комплексные и интеллектуальные задачи, использующие данные и сервисы нижележащих уровней. Наиболее актуальными интеллектуальными задачами подвижных РТК тяжелого класса являются автономное движение в колонне, распознавание и объезд препятствий, движение по заданному маршруту, разведка местности с построением актуальной 3D-карты.

Одним из ключевых элементов РТК является система технического зрения (СТЗ). При проектировании СТЗ используются такие технологии, как экспертные системы, нечеткая логика, искусственные нейронные сети, ассоциативная память, которые достаточно тесно связаны между собой. Представленные технологии объединяет общее свойство – способность решения задач классификации как наиболее распространенных задач СТЗ.

Нечеткая логика позволяет приблизиться к стилю мышления человека при управлении РТК в условиях недостаточно определенной среды, когда преобладают «мягкие» знания, применимые к конкретным ситуациям только с некоторой степенью уверенности. В отличие от классической экспертной системы, решения в которой дискретны, нечеткие логические системы (НЛС) не только применимы при построении СТЗ, но и могут использоваться в автономной двухуровневой системе управления движением РТК в недетерминированных условиях. НЛС «Штурман» прокладывает маршрут по цифровой карте местности, анализируя глобальные препятствия и опасности. НЛС «Водитель» отвечает за оперативное планирование движения, учитывающее скоростной режим и локальные препятствия [6].

Искусственные нейронные сети (ИНС) являются математическим аналогом биологических нейронов мозга. ИНС могут обучаться на примерах в ситуациях, когда неизвестны зависимости между входными и выходными данными, а также тенденции развития ситуаций. Важным преимуществом ИНС-технологии является потенциально высокое быстродействие, достигаемое за счет параллельной обработки информации при аппаратной реализации. Архитектура параллельной обработки позволяет ИНС функционировать даже при повреждении отдельных элементов сети. Несмотря на широкие возможности, практическому использованию ИНС при проектировании СТЗ со-

путствует ряд недостатков, связанных с формированием обучающей выборки и выбором правильной модели сети.

Одной из задач при проектировании систем управления наземными РТК является построение различных регуляторов, управляющих разными подсистемами. Перспективным методом решения этой задачи является создание математических моделей РТК с дальнейшим проведением компьютерных экспериментов. Как показывает практика, в качестве инструментария целесообразно использовать программные комплексы Matlab, Labview [7].

Сетевая структура обработки информации. Особенностью РТК тяжелого класса является большое количество первичных источников информации и исполнительных механизмов, а также их расположение в разных частях робота на расстоянии до десятков метров. Также в состав РТК входят специализированные функциональные вычислители, решающие определенные задачи второго или третьего уровней. Поэтому система управления РТК тяжелого класса представляет собой многомашинную, распределенную систему – совокупность автономных вычислительных машин, объединенных коммуникационными сетями и оснащенных программными системами, функционирующими для получения согласованных управляющих результатов. Для функционирования таких систем должна быть решена так называемая коммуникационная задача, которая заключается в построении единого информационного пространства для программно-алгоритмических модулей [8]. Коммуникационная задача должна обеспечить следующие свойства многомашинной распределенной системы: разделение ресурсов; открытость; согласованность; масштабируемость; отказоустойчивость и прозрачность. Для обеспечения сопряжения между программными модулями обычно используются широко известные программные интерфейсы, такие как Socket или Unix pipe, а также модель «клиент – сервер». Однако в РТК тяжелого класса применяется большое количество вычислительных машин, связанных различными сетевыми интерфейсами, такими как CAN, RS-485, Ethernet, в том числе через шлюзы и модемы аппаратуры беспроводной передачи данных.

Для решения коммуникационной задачи в РТК в настоящей работе предлагается использовать модель асинхронной передачи сообщений между программными модулями (ПМ) через агенты и групповую коммуникацию. Взаимодействие между программными модулями осуществляется по схеме «{Множество программных модулей} – {Множество агентов} – {Множество программных модулей}» (рис.1).

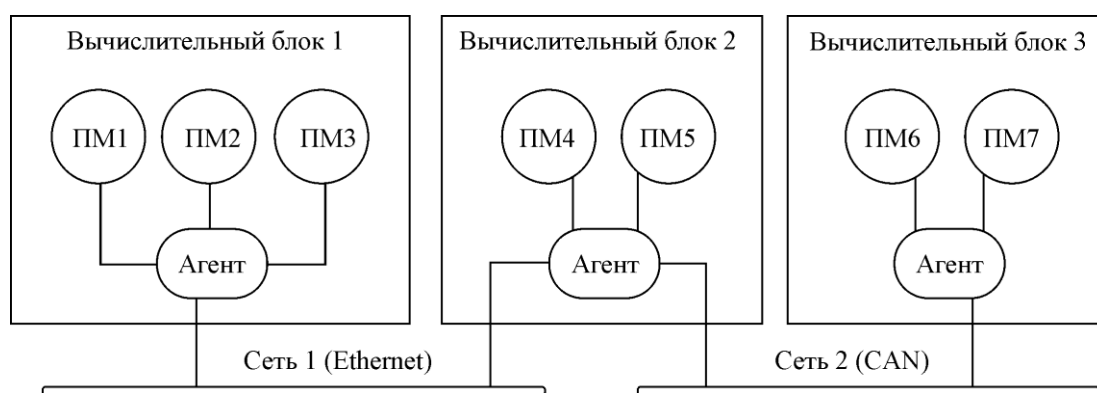


Рис.1. Пример организации информационного обмена между программными модулями РТК через агенты

Fig.1. Information exchange between programs through agents in robotic system

Множество агентов представляет собой специализированное сервисное приложение, обеспечивающее решение коммуникационной задачи, в том числе унифицированный базовый программный интерфейс для ПМ и трансляцию сообщений через доступные интерфейсы связи. Например, ПМ1, используя один программный интерфейс, может передавать сообщения ПМ3 (тот же вычислитель), ПМ4 (вычислитель в той же сети) и ПМ6 (вычислитель другой сети). Агенты обеспечивают открытость, прозрачность и согласованность по доступу к интерфейсам связи.

На базе асинхронных сообщений программные модули могут взаимодействовать между собой по различным моделям, например организовать сервис проверки доставки сообщения. Для создания базового программного интерфейса и выбора модели информационного взаимодействия проведен анализ особенностей циркуляции информации в системах управления РТК тяжелого класса, который показал следующие особенности:

1. Для РТК тяжелого класса типичным является передача данных от одного источника множеству заинтересованных потребителей. Например, навигационные данные могут использоваться различными подсистемами РТК. Поэтому агенты должны обеспечивать трансляцию сообщений в несколько адресов, а в РТК следует использовать сетевые интерфейсы с возможностью передачи широкоэмительных сообщений, например CAN или Ethernet, так как при этом не создаются отдельные копии сообщений для каждого адресата.

2. Для обеспечения отказоустойчивости системы в нее закладываются резервные вычислительные блоки или программные модули, а это означает, что одна и та же информация может поступать от разных источников.

3. Циркулирующая в РТК информация неоднородна: можно выделить команды управления, цифровые показания датчиков, видеопотоки и др. Каждый вид информации передается со своей частотой, имеет различные размеры пакетов, свои пределы допустимых задержек обработки и передачи данных. Состав и объем передаваемой информации может меняться в процессе функционирования РТК в зависимости от режимов работы и окружающей обстановки.

4. В РТК могут применяться каналы радиосвязи, в которых пропускная способность может снижаться, а вероятность потерь данных может возрастать в зависимости от помеховой обстановки.

5. Информация, передаваемая в системе управления РТК, быстро устаревает и непрерывно обновляется. Время актуальности данных составляет от десятков миллисекунд до секунды.

Все перечисленные особенности хорошо вписываются в модель обмена программных задач через информационные потоки. В этой модели программные модули не адресуют сообщения друг другу, а передают сообщения в тот или иной информационный поток и читают сообщения из необходимого информационного потока. Количество задач, читающих или пишущих сообщения в информационный поток, может быть произвольным. Информационный поток определяет как логическую сущность передаваемых через него данных, например видеопоток от обзорной камеры, так и параметры обработки сообщений. Дополнительно вместе с сообщением адресат получает метаинформацию: идентификатор программного модуля, отправившего сообщение, и оценку времени передачи сообщения.

Перечень программных модулей, информационных потоков и их параметры являются исходными конфигурационными данными для агентов коммуникационной зада-

чи. Для каждого информационного потока задаются следующие параметры, которые не меняются в процессе функционирования РТК:

- перечень и расположение в распределенной сети программных модулей, которым разрешается передавать сообщения в информационный поток;
- перечень и расположение в распределенной сети программных модулей, которым разрешается принимать сообщения из информационного потока;
- ограничения на максимальный поток и размер передаваемых программным модулем сообщений в информационный поток;
- количество сообщений, которое хранит агент в памяти, а также время хранения сообщений (определяется для каждого программного модуля, принимающего сообщения из информационного потока);
- приоритет обработки при трансляции данных информационного потока.

Исходя из множества программных модулей, взаимодействующих с информационным потоком, определяются маршруты трансляции данных информационного потока между вычислителями. При этом для обеспечения отказоустойчивости маршрут может включать резервированные линии связи. Таким образом, получаем необходимую информацию для определения данных, которыми обмениваются между собой агенты (обмен за пределами вычислительного блока) и агенты с программными модулями.

Ограничения на поток и размер сообщений повышают отказоустойчивость системы, так как позволяют предотвратить перегрузку линий связи и вычислительных ресурсов при возникновении ошибки в передающем программном модуле. Количество и время хранения агентами сообщений до момента считывания программным модулем позволяют контролировать актуальность данных.

Традиционным подходом к решению проблемы согласованности доступа к сетевым ресурсам и обеспечения временных характеристик при трансляции сообщений является обработка передаваемых данных на основе приоритетов. В первую очередь приоритет информационного потока должен определять очередность обработки на всех уровнях сетевой передачи данных, в том числе и в коммуникационной аппаратуре на сетевом уровне. Для сети Ethernet параметр «приоритет» отображается в поле TOS (Type of Service) IP пакета, а для сети CAN – в старших битах поля идентификатора CAN-сообщения. В более сложных вариантах приоритет задает класс, определяющий способ обработки данных. При решении коммуникационной задачи используется заимствованная из технологии сетей ATM (Asynchronous Transfer Mode) техника фрагментации больших сообщений на небольшие сообщения – ячейки с наибольшим размером 512 байт. Таким образом, передача большого сообщения не приводит к существенной задержке в процессе обработки высокоприоритетных сообщений.

Программное обеспечение ARTEX. На основе предложенных к использованию методов обработки информации разработано программное обеспечение ARTEX (Asynchronous Real Time Exchange) для решения коммуникационной задачи в распределенной системе РТК. ARTEX апробировано при создании систем управления РТК специальной пожарной машиной.

Основным приложением ARTEX является «Агент», которое взаимодействует как с программными модулями (Task), так и с другими агентами через один или несколько каналов связи (Channel). Для эффективного использования ресурсов вычислителя приложение состоит из множества взаимодействующих программных потоков. Поэтому алгоритм работы «Агента» удобно проиллюстрировать на примере прецедента трансляции от ПМ (Task_1) сообщения в направлении другого ПМ (Task_2) на том же вычислителе и в направлении другого агента на другом вычислителе через канал связи (Channel_1). На рис. 2 представлена соответствующая диаграмма взаимодействия.

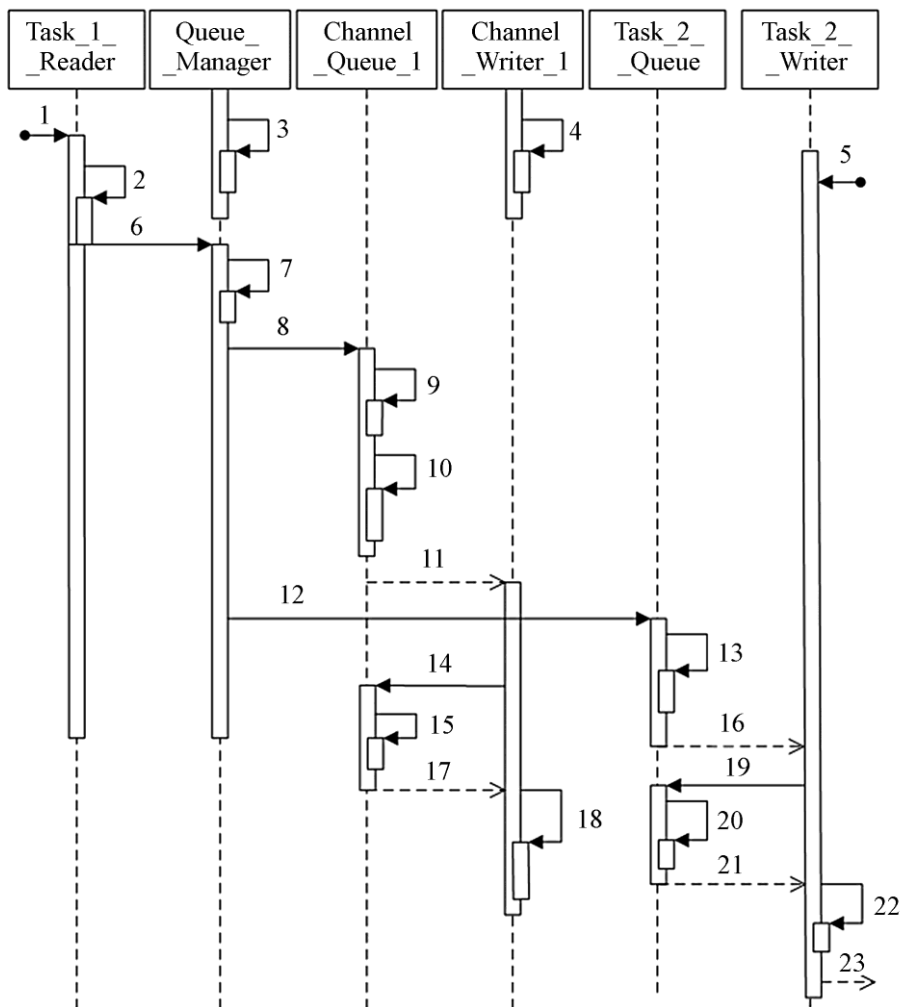


Рис.2. Диаграмма последовательности для прецедента приема агентом от ПМ1 сообщения и трансляции его в канал связи и в ПМ2: 1 – отправить сообщение в поток; 2 – фрагментировать сообщение на ячейки; 3 – загрузить маршруты трансляции; 4 – открыть и настроить канал связи; 5 – получить сообщение из потока stream; 6 – передать ячейки в поток; 7 – отбросить дубликаты ячеек; 8 – поставить ячейки в очередь канала; 9 – отбросить ячейки при переполнении очереди; 10 – поместить в очередь и сортировать по приоритету; 11 – готовность данных; 12 – поставить ячейки в очередь задачи; 13 – сортировать ячейки по принадлежности сообщению; 14 – получить данные; 15 – выбрать ячейки из очереди; 16 – готовность сообщения потока stream; 17 – данные; 18 – создать и передать датаграмму в канал связи; 19 – получить сообщение потока stream; 20 – выбрать ячейки сообщения потока stream; 21 – данные; 22 – собрать кадр и метаданные из ячеек; 23 – сообщение потока stream

Fig.2. Interaction diagram for use case where agent is receiving message from program 1 and translating it to computer's connection channel and to program 2: 1 – send a message to the stream; 2 – fragment the message into cells; 3 – load translation routes; 4 – open and configure the communication channel; 5 – receive a message from the stream; 6 – transfer cells to the stream; 7 – drop duplicate cells; 8 – put cells in the channel queue; 9 – drop cells when the queue is full; 10 – put in the queue and sort them by priority; 11 – data readiness; 12 – put cells in the task queue; 13 – sort cells by message accessories; 14 – get data; 15 – select cells from the queue; 16 – ready stream message; 17 – data; 18 – create and send a datagram to the communication channel; 19 – receive the message from the stream; 20 – to select a cell in the message stream; 21 – data; 22 – assemble the frame and the metadata from the cell; 23 – message of the stream

Для каждого программного модуля, с которым взаимодействует «Агент», создается поток, предоставляющий базовый программный интерфейс для приема или передачи сообщений, а также преобразования сообщений в ячейки. На диаграмме этим потокам соответствуют объекты Task1_Reader для приема агентом сообщений от ПМ и Task2_Writer для передачи сообщений от агента в ПМ.

Менеджер очередей распределяет данные по каналам связи и подписанным на поток приложениям в соответствии с идентификатором потока и таблицей маршрутизации. Для каждого канала связи и приложения, принимающего данные, определена очередь ячеек, которая отвечает за обработку ячеек в соответствии с заданным приоритетом. В ARTEX программному потоку назначается комплексный приоритет, задающий очередность трансляции сообщений и очередность удаления сообщений в случае перегрузки канала связи. Программное обеспечение ARTEX реализовано для операционной системы реального времени QNX6. В настоящее время ARTEX поддерживает сети Ethernet и CAN. В сети Ethernet данные передаются по специально разработанному протоколу, работающему поверх протокола UDP.

В системе управления РТК специальной пожарной машины с помощью ARTEX обеспечено информационное взаимодействие около 25 программных модулей через более чем 50 информационных потоков.

Однако разработанная система имеет следующие технические особенности, ограничивающие ее применение в РТК:

- интеграция интерфейсов связи (отличных от Ethernet) требует разработки специальных программных компонент, отвечающих за прием и передачу данных по этому интерфейсу. Например, для интеграции сети CAN потребовалось определить специальный формат идентификатора CAN-сообщения. Ввиду ограниченного размера в сообщении не содержится информация о его принадлежности к тому или иному информационному потоку. Эту информацию восстанавливают агенты, сопоставляя идентификаторы задач-отправителей в сообщениях;

- наличие специализированного протокола, т.е. к агенту невозможно напрямую подключить устройство, работающее по другому протоколу, например IP-камеру. Эта проблема может быть решена путем создания программного адаптера для преобразования выходных данных устройства в требуемый формат. Таким образом, сопряжение будет осуществляться по схеме «Внешнее устройство» – сеть – «ПМ преобразователь» – «Агент» – «Потребители».

Заключение. В настоящее время программное обеспечение ARTEX реализовано только для операционной системы QNX6, но в сетевой структуре РТК могут присутствовать вычислительные блоки с другими операционными системами или без них. Для создаваемых оконечных устройств-источников (например, датчиков) и потребителей информации (например, исполнительных систем) в распределенной системе РТК поддержка системы ARTEX может быть заложена на протокольном уровне на этапе разработки программного обеспечения. В таких изделиях принимаемые и передаваемые информационные потоки предопределены, однако не требуется реализация всех функциональных возможностей «Агента».

В предложенном решении используется статическая маршрутизация информационных потоков и, следовательно, оно не может быть применено в системах управления группой роботов, в которой меняются количество взаимодействующих объектов и каналы связи между ними.

Развитие программно-алгоритмического обеспечения ARTEX планируется продолжить по следующим направлениям:

- перенести имеющееся программное обеспечение в операционную систему Linux;
- провести оптимизацию алгоритмов работы для каждой операционной системы;
- ослабить статическую маршрутизацию, обеспечив программному модулю возможность приема и передачи сообщений через доступный информационный поток без необходимости предварительной конфигурации «Агента»;
- добавить высокоуровневый сервис гарантированной доставки сообщения с подтверждением;
- разработать программный интерфейс для статистического анализа работы агента и каналов связи.

Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при создании систем управления РТК тяжелого класса.

Литература

1. Жукова О. Точность на полях // «Агропрофи»: технологии производства и управления. – 2008. – № 3 (6). – С. 12–34.
2. Научно-технические вопросы изменения организации управления открытыми горными работами с применением роботизированной карьерной техники / К.Н. Трубецкой, М.В. Рыльникова, Д.А. Клебанов и др. // Горная промышленность. – 2017. – №5 (135). – С. 27–30.
3. Корчак В.Ю., Лапишов В.С., Рубцов И.В. Перспективы развития наземных робототехнических комплексов военного и специального назначения // Изв. ЮФУ. Технические науки. – 2015. – №10 (171). – С. 83–95.
4. Электронный комплекс управления для роботизированной специальной пожарной машины / В.А. Бархоткин, В.Ф. Петров, С.Б. Симонов и др. // Изв. вузов. Электроника. – 2015. – Т. 20. – №5. – С. 543–550.
5. Перспективы разработки автономных наземных робототехнических комплексов специального военного назначения / В.С. Лапишов, В.П. Носков, И.В. Рубцов и др. // Изв. ЮФУ. Технические науки. – 2016. – №1 (174). – С. 156–168.
6. Бархоткин В.А., Кочетков М.П. Построение базы нечетких правил для идентификации объектов по обучающей выборке ограниченного объема // Изв. ТулГУ. Технические науки. – 2014. – №12-2. – С. 130–138.
7. Vinogradov A., Terentev A., Petrov V., Petrov O. Development of mathematical model of moving wheeled robot using visual programming platform Labview // IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). – St. Petersburg, 2017.
8. Jia W., Zhou W. Distributed network systems. From Concepts to Implementation. – Boston: Springer Science + Business Media Inc., 2005.

Поступила 18.04.2018 г.; принята к публикации 24.04.2018 г.

Петров Владимир Федорович – кандидат технических наук, заместитель директора по экономике Института микроприборов и систем управления Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), pvf@olvs.miee.ru

Симонов Сергей Борисович – кандидат технических наук, ведущий инженер-программист Института микроприборов и систем управления Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), sb.simonov@gmail.com

Терентьев Алексей Игоревич – кандидат технических наук, доцент Института микроприборов и систем управления Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), terentev@olvs.miee.ru

Петров Олег Владимирович – кандидат технических наук, ведущий инженер-электроник Института микроприборов и систем управления Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), povmiet@yandex.ru

Корольков Дмитрий Николаевич – ведущий инженер-электроник Института микроприборов и систем управления Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), jimmy@olvs.miee.ru

References

1. Zhukova O. Accuracy on fields. *Agroprofii: tekhnologii proizvodstva i upravleniya*, 2008, no. 3 (6), pp.12–34. (in Russian).
2. Trubeckoj K.N., Ryl'nikova M.V., Klebanov D.A. et al. Scientific and technical questions of change of the organization of management of open mining operations with use of the robotic career equipment. *Gornaya promyshlennost' = Mining Industry Journal*, 2017, no. 5 (135), pp. 27–30. (in Russian).
3. Korchak V.Yu., Lapshov V.S., Rubcov I.V. Prospects of development of land robotic complexes of a military and special purpose. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2015, no. 10 (171), pp. 83–95. (in Russian).
4. Barhotkin V.A. et al. Electronic complex of management for the robotic special fire truck. *Izvestiya vuzov. Elektronika = Proceedings of Universities. Electronics*, 2015, vol. 20, no. 5, pp. 543–550. (in Russian).
5. Lapshov V.S., Noskov V.P., Rubtsov I.V. et al. Prospects of development of autonomous land robotic complexes special military. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2016, no. 1 (174), pp. 156–168. (in Russian).
6. Barhotkin V.A., Kochetkov M.P. Creation of base of indistinct rules for identification of objects for the training selection of limited volume. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2014, no. 12-2, pp. 130–138. (in Russian).
7. Vinogradov A., Terentev A., Petrov V., Petrov O. Development of mathematical model of moving wheeled robot using visual programming platform Labview. *2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*. St. Petersburg, 2017.
8. Jia W., Zhou W. *Distributed network systems. From Concepts to Implementation*. Boston. Springer Science + Business Media Inc., 2005.

Submitted 18.04.2018; Accepted 24.04.2018.

Information about the authors:

Vladimir F. Petrov – Cand. Sci. (Eng.), Deputy Director of the Institute of Microdevices and Control Systems, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq.,1), pvf@olvs.miee.ru

Sergey B. Simonov – Cand. Sci. (Eng.), Senior Software Engineer of the Institute of Microdevices and Control Systems, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq.,1), s.b.simonov@gmail.com

Alexey I. Terentev – Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof. of the Institute of Microdevices and Control Systems, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq.,1), terentev@olvs.miee.ru

Oleg V. Petrov – Cand. Sci. (Eng.), Leading Electric Engineer of the Institute of Microdevices and Control Systems, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq.,1), povmiet@yandex.ru

Dmitry N. Korolkov – Leading Electric Engineer of the Institute of Microdevices and Control Systems, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq.,1), jimmy@olvs.miee.ru