

УДК 792.8:621.397

ББК 32.94

Андреев В. П., Кувшинов С. В., Раев О. Н.

**ПРОБЛЕМЫ ТРЁХМЕРНОГО ВОСПРИЯТИЯ
ОКРУЖАЮЩЕГО ПРОСТРАНСТВА
МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ**

Андреев Виктор Павлович, доктор технических наук, профессор

E-mail: andreevvipa@yandex.ru

Московский государственный технологический университет
«СТАНКИН»

Кувшинов Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент

E-mail: kuvshinov@rggu.ru

Международный институт новых образовательных технологий
РГГУ

Раев Олег Николаевич, кандидат технических наук, доцент

E-mail: ncenter@list.ru

Технологический университет имени дважды героя Советского

Союза, лётчика-космонавта А. А. Леонова,

Сергиево-Посадский филиал Всероссийского государственного
института кинематографии имени С. А. Герасимова

В статье рассмотрена проблема обеспечения режима реального времени при передаче и обработке информации о внешних объектах в стереоскопических телевизионных системах мобильных роботов. Показано, что определение расстояний до объектов сенсорной системой посредством использования триангуляции по стереопарам, получаемым двумя телекамерами, оказывается затратным в вычислительном плане. обосно-

вано, что организация обработки сенсорной информации и управления в мобильном роботе в режиме реального времени возможна лишь при реализации в архитектуре системы управления мобильных роботов распределённых вычислений по аналогии с мультиагентными системами.

Ключевые слова: стереопара, система технического зрения, сенсорная система, видеопоток, робототехническая система, распределённые вычисления.

1. УПРАВЛЕНИЕ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Современная тенденция совершенствования интеллектуальной робототехники, используемой как в быту, так и на производстве, неразрывно связана с обеспечением возможности максимальной автономности работы этой техники. Автономность (*autonomy*) робота — это способность робота без вмешательства человека «выполнять задачи по назначению на основе текущего состояния и восприятия внешней среды» [6]. Из данного определения следует, что автономность робота обеспечивается не только сложностью алгоритмов систем управления, но и развитой сенсорной системой робота. Роботы, как и люди, «живут» в трёхмерном мире и должны выполнять свои функции, оперируя элементами каких-либо конструкций. Промышленные роботы функционируют в технологическом процессе на производстве, сервисные роботы — в процессе обеспечения комфортной жизнедеятельности людей.

Одно из главных требований к робототехническим системам заключается в обеспечении выполнения ими своих функций в режиме реального времени. Под реальным временем в робототехнике будем понимать такую производительность робота, при которой время, в течение которого показания датчиков сенсорной системы актуальны, а реакция системы управления заканчивается до того, когда эти показания перестанут быть актуальными. Данное требование накладывает жёсткие ограничения на допустимое время анализа сенсорной информации, на время формирования задания исполнительным органам робота и на собственно время исполнение этих заданий.

По аналогии с человеком, воспринимающим информацию об объектах трёхмерного мира с помощью органов чувств, из которых наиболее информативным и универсальным является зрительная система, при конструировании мобильных роботов разрабатыва-

ются системы технического зрения, состоящие, как правило, из телекамер и вычислительных устройств, выполняющих анализ видеопотока от телекамер. Для организации безопасного движения мобильного робота в трёхмерной недетерминированной среде, а также для активного взаимодействия робота с объектами этой среды необходимо формировать в его искусственной памяти трёхмерные модели объектов окружающего пространства, а также самого робота — их геометрические и динамические параметры.

2. КРАТКИЙ АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

При построении систем технического зрения, как правило, за основу берётся очевидное решение — использовать стереоскопическую систему, состоящую из двух телекамер для построения двух изображений (стереопары), по которым в динамическом режиме вычислять дальность до объектов. Однако попытка использования двух телекамер в сенсорной системе мобильного робота наталкивается на ряд трудностей:

- применение двух телекамер в два раза увеличивает объём передаваемой и обрабатываемой цифровой информации,

- при записи и передаче стереоскопического изображения недопустимо кодирование видеопотока со сжатием, что не позволяет снизить битрейт видеопотока без потери его информационного качества,

- вычислительному устройству требуется дополнительное время на расчёт по двум изображениям расстояний до объектов.

Таким образом, вычислительное устройство робота должно выполнять сложный алгоритм анализа видеопотоков в реальном времени:

- произвести идентификацию («распознавание») объектов,

- выбрать на изображениях объектов опорные точки,

- рассчитать значения параллаксов опорных точек в стереоизображении,

- из параллаксов рассчитать расстояния до этих точек на объектах.

И всё это за время, определяемое динамикой процессов, происходящих в окружающем мире, или заданное технологией промышленного производства. Кроме того, необходимо ещё успеть

выработать алгоритм взаимодействия с внешней средой (например, сформировать траекторию движения робота или его манипулятора и выполнить соответствующее перемещение робота или манипулятора в заданную точку пространства, или объехать возникшее препятствие и др.) и выполнить заданный функционал ещё до того, как пространственное расположение объектов и робота изменится. Человек всё это успевает сделать за счёт параллельной обработки информации в его нейронной сети. Но современным технологиям организации вычислительных процессов такой параллелизм недоступен.

Отметим, что стереоэффект проявляется только на близких расстояниях. Причём, чем больше расстояние до объекта, тем с меньшей точностью определяется это расстояние с помощью стереоэффекта, а начиная с некоторого расстояния, зависящего от величины стереобазы, стереоэффект вообще не работает [8].

Поэтому мозг человека при анализе расстояний до объектов активно использует не только стереоэффект, но и монокулярные признаки глубины пространства, как статические, так и динамические [9]. Этим объясняется, что люди с одним действующим глазом легко перемещаются как в городской среде, так и в природной обстановке.

Аналогично и в системах технического зрения возможно применение не только стереоскопического зрения с использованием двух телевизионных камер, но и одной телевизионной камеры, если точность расчёта расстояний до объектов из монокулярных признаков глубины пространства окажется достаточной для выполнения поставленных роботу задач.

Для уменьшения объёма поступающей в вычислитель информации можно использовать иные методы ориентирования в пространстве, основанные на использовании датчиков, выполняющих непосредственное определение расстояния до объектов, т. е. без использования телекамер, по аналогии с животным миром, как, например, летучие мыши и дельфины используют ультразвук для ориентирования в пространстве. Поэтому в современных робототехнических системах широко используются ультразвуковые и инфракрасные датчики расстояния [5, 11]. Но и они не лишены ряда недостатков. Так, ультразвуковые датчики, принцип действия которых основан на определении расстояния по времени между

моментом излучения звуковой волны и моментом регистрации эха от неё, позволяют лишь обнаружить препятствие на пути движения мобильного робота, поскольку из-за широкого угла направленности ультразвуковой волны не удаётся определить форму объекта. Инфракрасные датчики, принцип действия которых основан на аналогичном использовании излучаемого лазером света, позволяют измерить расстояние до конкретной точки объекта, но для определения формы объекта требуется сканирование пространства как по азимуту, так и по углу места (по горизонтали и по вертикали). Такое сканирование лазерным лучом реализовано в лидарах, с помощью которых строится «карта дальностей» — цифровое «изображение», значения яркости в каждом пикселе которого заменяется на величину расстояния (матрица значений дальности в плоскости анализируемой сцены). Лидары уже используются в системах беспилотного вождения автомобилей, но тестовые испытания таких автомобилей показали, что ни один из современных датчиков не способен решить «в одиночку» проблему надёжного движения автономного робота в недетерминированной среде.

Таким образом, системы технического зрения будут наиболее эффективны, если они будут состоять из нескольких датчиков, работающих на разных физических принципах, а показания датчиков будут комплексироваться.

При комплексировании существенно возрастает поток информации, который необходимо обрабатывать, — это видеопоток от телекамер и тепловизоров, непрерывно меняющиеся «дальностные изображения» от лидара, показания ультразвуковых и инфракрасных датчиков, датчиков внутреннего состояния мобильного робота: гироскопов, акселерометров, энкодеров. Причём параметры режима реального времени зависят от скорости изменения положения робота относительно других объектов:

- в автомобиле определяется скоростью движения автомобиля, достигающей 100–200 км/час,

- для промышленного робота на конвейере — скоростью выполнения технологических операций,

- для сервисных роботов — скоростью выполнения им функций при взаимодействии робота с человеком.

Процесс сложных взаимодействий автономного мобильного робота с окружающей средой в масштабе реального времени при

постоянно усложняющейся функциональности робототехнических систем возможно реализовать лишь посредством распределённых вычислений — никакой, даже перспективный, моно-вычислитель при данных условиях не в состоянии реализовать подобный алгоритм [10].

Существуют суперкомпьютеры, состоящие из десятков, или даже сотен процессоров, способных выполнять параллельные вычисления, при этом каждый из этих процессоров все операции выполняет последовательно. Однако габариты таких суперкомпьютеров и количество потребляемой электроэнергии не позволяют устанавливать их на мобильные робототехнические системы.

В то же время скорость обработки информации в самих микропроцессорах существенно выше по сравнению со скоростью обработки и распространения сигналов в нейронной сети человека. Следовательно, возможен компромисс — такая архитектура построения сенсорной и управляющей системы, в которой процесс обработки информации и выработки решений распараллеливается за счёт организации распределённых вычислений.

Одна из первых работ по реализации метода параллельной обработки изображений относится к 1979 году, в ней описана программная модель пирамидального процессора, выполняющего сегментацию изображений [3].

3. МОДУЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Для решения поставленной задачи необходима разработка модульной архитектуры робототехнической системы. Принцип организации такой архитектуры заключается в разбиении функции робототехнической системы на подфункции, которые реализуются в полнофункциональных модулях и подмодулях (субмодулях) — создаётся многоуровневая иерархическая сетевая топология системы управления мобильным роботом (рис. 1).

Свойство полной функциональности заключается в том, что каждый модуль робота должен быть способен выполнять свою целевую функцию, используя только собственные средства для выполнения команд от внешней для данного модуля системы управления [1].



Рис. 1. Многоуровневая иерархическая сетевая топология системы управления мобильным роботом

На вершине архитектуры располагается модуль интеллектуального управления, отвечающий за планирование и распределение задач между модулями второго уровня — общесистемное управление. В этой архитектуре модули на втором и третьем уровнях иерархии отвечают за одну укрупнённую функцию робота согласно принципу полной функциональности:

- транспортный модуль выполняет перемещение робота в пространстве (транспортная функция),

- силовой модуль обеспечивает электропитанием все компоненты робота (энергетическая функция),

- дистанционный сенсорный модуль обнаруживает объекты и определяет их геометрические и динамические параметры (информационная функция),

- модуль воздействия на среду реализует манипулирование объектами, механическую обработку и т. п. (технологическая функция),

— модуль организации беспроводной связи реализует коммуникацию с внешним супервизором [2].

Данная топология обеспечивает снижение алгоритмической сложности вычислительного процесса в модулях и субмодулях, что позволяет использовать в их системах управления микропроцессоры невысокой производительности — встраиваемые вычислительные устройства. При взаимодействии модулей в системе управления с иерархической топологией группа полнофункциональных мехатронных субмодулей, решающих однотипные задачи и работающие совместно, должны управляться мехатронным модулем более высокого уровня — модулем-супервизором. Тогда межмодульное взаимодействие в системе реализуется по принципу «Master — Worker group». В результате увеличивается быстродействие системы за счёт реализации распределённых вычислений на вычислительных устройствах модулей и субмодулей. Одновременно упрощается реализация свойства реконфигурирования и масштабирования, но существенно возрастает роль алгоритмов межмодульного взаимодействия.

Полагаем, что принципы создания такой пирамидальной структуры могут быть основаны на теории мультиагентных систем, что позволит использовать достижения в этой области для реализации распределённых вычислений в системе управления мобильным роботом. «Интеллектуальные мультиагентные системы — одно из новых перспективных направлений искусственного интеллекта, которое сформировалось на основе результатов исследований в области распределённых компьютерных систем, сетевых технологий решения проблем и параллельных вычислений» [7].

На рис. 2 приведён один из возможных вариантов реализации изображённой на рис. 1 архитектуры системы управления мобильного робота в виде мультиагентной системы, построенной по иерархическому принципу [4].

Агент с индексом 0.0 является пультом дистанционного управления мобильного робота (пульт человека-оператора). По радиоканалу агент с индексом 0.0 взаимодействует с агентом с индексом 1.0, который представляет собой модуль-агент интеллектуального управления (см. рис. 1) и располагается на первом уровне иерархии. В соответствии со своим функциональным назначением агент

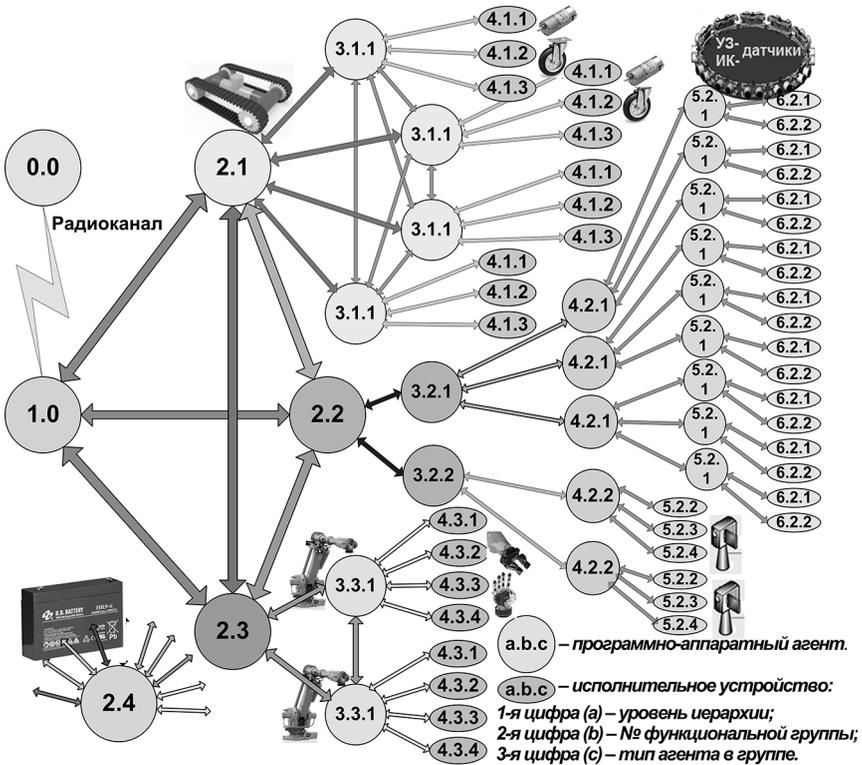


Рис. 2. Мультиагентная система — сенсорная и управляющая система работа с модульной архитектурой

модуля интеллектуального управления выполняет формирование заданий для модулей-агентов второго уровня иерархии:

- модуля-агента с индексом 2.1 транспортного модуля,
- модуля-агента с индексом 2.2 силового модуля,
- модуля-агента с индексом 2.3 модуля воздействия на среду,
- модуля-агента с индексом 2.4 силового модуля.

Все агенты второго уровня иерархии имеют каналы информационного взаимодействия друг с другом. Информационное взаимодействие между модулями одного уровня иерархии, если оно необходимо, должно осуществляться непосредственно, а не через модуль верхнего уровня. Данное требование обеспечивает уменьшение вычислительной нагрузки на этот модуль и снижение трафика между модулями разных уровней иерархии.

Третий уровень иерархии формируется из агентов с индексом 3.1.1. Эти агенты являются программно-аппаратными модулями систем управления движителей (колёс, ног и т. п.). Количество агентов 3.1.1 может меняться, например, от трёх до восьми, в зависимости от конструкции транспортного модуля: 3-колёсная — 8-колёсная; 4-ногая — 8-ногая, сочетание ног и колёс и т. п. Также может изменяться функционал этого агента — ведущий (с приводом) или пассивный (только датчики). Агенты с индексом 4.1.1, располагаемые на четвёртом уровне иерархии, являются исполнительными устройствами — приводами, снабжёнными соответствующими датчиками.

Агент с индексом 2.3 соответствует модулю воздействия на среду (см. рис. 1). Он выполняет роль координатора работы двух манипуляторов, каждый из которых имеет собственную систему управления, и которые обозначены как два одинаковых агента с индексом 3.3.1. Эти агенты фактически реализуют систему управления многозвенного манипулятора (с приводами 4.3.1–4.3.3), оснащённого схватом (агент-привод 4.3.4).

Агент с индексом 2.4 соответствует силовому модулю. В его функции входит обеспечение электропитанием всех модулей и субмодулей. По проводным линиям электропитания он информационно взаимодействует со всеми модулями и субмодулями иерархии, поскольку на него возложен контроль и управление состоянием электропитания модулей и субмодулей в процессе функционирования системы.

Агенты с индексами 3.2.1 и 3.2.2 относятся к третьему уровню иерархии и представляют собой сенсорные модули ближнего действия и сенсорные модули дальнего действия. Сенсорные модули ближнего действия (с индексами 3.2.1) наиболее рационально реализовать на ультразвуковых и инфракрасных датчиках расстояния, которые располагаются по периметру мобильного робота. По их данным формируется карта дальностей.

Из-за большой вычислительной сложности обработки сигналов, поступающих одновременно от ультразвуковых и инфракрасных датчиков (агенты с индексом 6.2.1 и 6.2.2), процесс такой обработки распараллеливается за счёт использования аналогичной пирамидальной архитектуры — агентов четвёртого и пятого уровней (с индексами 4.2.1 и 5.2.1). Однако наличие здесь шести

уровней иерархии может оказаться необязательным — их может быть больше или меньше. Количество уровней зависит от общего количества датчиков, сложности алгоритма комплексирования их показаний и производительности микропроцессора, что влияет на величину задержки реакции системы.

Агент с индексом 3.2.2, т. е. сенсорные модули дальнего действия, может представлять собой стереоскопическую систему технического зрения, выполняющую комплексирование видеoinформации от левой и правой телекамер (индексы 5.2.2–5.2.4). Комплексирование видеоданных от двух телекамер, например, от каждой из нескольких зон поля зрения, выполняется агентами с индексом 4.2.2. При подключении иных дистанционных датчиков данная ветвь иерархического дерева может быть расширена, например, при подключении тепловизоров или лидаров. Можно предположить, что ввиду огромного потока видеoinформации, поступающего на вход системы технического зрения, дерево иерархии будет состоять из существенно большего количества уровней, чем показано на рис. 2. Однако чем больше уровней, тем больше задержки во времени, вызванные необходимым временем на обработку информации на каждом уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ процессов, происходящих в сенсорной и управляющей системе автономного мобильного робота при его взаимодействии с окружающей средой, показал, что соблюдения режим реального времени при постоянно усложняющейся функциональности робототехнической системы возможно лишь посредством организации распределённых вычислений — никакой, даже перспективный, моно-вычислитель при данных условиях не в состоянии реализовать подобный алгоритм.

При организации взаимодействия автономного мобильного робота с внешней средой необходима комплексная сенсорная система, состоящая не только из нескольких телекамер, образующих стереоскопическую систему технического зрения, но и использующая дистанционные датчики, работа которых основана на иных физических принципах.

Наиболее перспективной в мобильной робототехнике является архитектура построения сенсорной и управляющей системы,

в которой процесс обработки информации и выработки решений распараллеливается за счёт организации распределённых вычислений.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ: Грант № 19-07-00892а.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Андреев В. П., Ким В. Л., Плетенев П. Ф.* Принцип полной функциональности модулей в гетерогенных модульных мобильных роботах // Экстремальная робототехника (ЭР 2017). Труды международной научно-технической конференции. 2017. № 1. С. 81–91.

2. *Андреев В. П., Ким В. Л., Эприков С. Р.* Аппаратно-программный фреймворк для разработки модульных мобильных роботов с иерархической архитектурой // Известия ЮФУ. Технические науки. Раздел IV. Связь, навигация и наведение. 2020. № 1(211). С. 199–218.

3. *Андреев В. П.* О возможности построения технической зрительной системы на основе вычислительной среды параллельного действия // Методы и модели для управления роботами и манипуляторами в производстве и научных исследованиях. Москва : Московский Дом научно-технической пропаганды им. Ф. Э. Дзержинского, 1979. С. 76–82.

4. *Андреев В. П.* Система управления модульных мобильных роботов как мультиагентная система с пирамидальной топологией // «Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки». 2020. № 3(207). С. 41–54.

5. *Андреев В. П., Тарасова В. Э.* Определение формы препятствий мобильным роботом с помощью сканирующих угловых перемещений ультразвукового датчика // Мехатроника, Автоматизация, Управление. 2017. № 11. Том 18. С. 759–763.

6. ГОСТ Р 60.0.0.4-2019. Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения. [Электронный ресурс] // docs.cntd.ru : мультимедийный портал. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200162703> (дата обращения: 14.03.2021).

7. Мультиагентные системы. Основные понятия теории агентов. [Электронный ресурс] // intellect.icu : мультимедийный портал. URL: <https://intellect.icu/11-multiagentnye-sistemy-5354> (дата обращения: 14.03.2021).

8. Рожков С. Н., Овсянникова Н. А. Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике. Терминологический словарь. Москва : Парадиз, 2003. 136 с.

9. Рожкова Г. И., Матвеев С. Г. Зрение детей : проблема оценки и функциональной коррекции. Москва : Наука, 2007. 315 с.

10. Andreev V. Control System Mobile Robots with Modular Architecture as a Multi-Agent System with a Hierarchical Topology, Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium / B. Katalinic (Ed.). Vienna, Austria : DAAAM International. 2019. P. 0010–0019.

11. Andreev V., Tarasova V. The Mobile Robot Control for Obstacle Avoidance with an Artificial Neural Network Application // Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium / B. Katalinic (Ed.). Vienna, Austria : DAAAM International. 2019. P. 0724–0732.

Victor P. Andreev, Sergey V. Kuvshinov, Oleg N. Raev

**PROBLEMS OF THREE-DIMENSIONAL PERCEPTION
OF THE ENVIRONMENT BY MOBILE ROBOTS**

Victor P. Andreev, PhD (Engineering), professor

E-mail: andreevvipa@yandex.ru

Moscow State University of Technology “STANKIN”

Sergey V. Kuvshinov, PhD (Engineering), associate professor

E-mail: kuvshinov@rggu.ru

International Institute of New Educational Technologies, Russian State University for the Humanities

Oleg N. Raev, PhD (Engineering), assistant professor

E-mail: ncenter@list.ru

Leonov Moscow Region University of Technology,
Russian Federation State Institute of Cinematography
named after S. A. Gerasimov

The paper considers the problem of providing a real-time mode when transmitting and processing information about external objects in stereoscopic television systems of mobile robots. It is shown that determining distances to objects by a sensor system by using triangulation from stereo pairs obtained by two television cameras is computationally expensive. It is proved that the organization of sensor information processing and control in a mobile robot

in real time is possible only if the architecture of the control system of mobile robots realizes distributed computing by analogy with multi-agent systems.

Key words: stereo pair, technical vision, sensor system, video stream, robotic system, distributed computing.

REFERENCES

1. Andreev V. P., Kim V. L., Pletenev P. F. Printsip polnoi funktsional'nosti modulei v geterogennykh modul'nykh mobil'nykh robotakh // Ekstremal'naya robototekhnika (ER 2017). Trudy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. 2017. No 1. P. 81–91.

2. Andreev V. P., Kim V. L., Eprikov S. R. Appararno-programmnyi freimvork dlya razrabotki modul'nykh mobil'nykh robotov s ierarkhicheskoi arkhitekturoi // Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki. Razdel IV. Svyaz', navigatsiya i navedenie. 2020. No 1(211). P. 199–218.

3. Andreev V. P. O vozmozhnosti postroeniya tekhnicheskoi zritel'noi sistemy na osnove vychislitel'noi sredy parallel'nogo deistviya // Metody i modeli dlya upravleniya robotami i manipulyatorami v proizvodstve i nauchnykh issledovaniyakh. Moscow : Moskovskii Dom nauchno-tekhnicheskoi propagandy im. F. E. Dzerzhinskogo, 1979. P. 76–82.

4. Andreev V. P. Sistema upravleniya modul'nykh mobil'nykh robotov kak mul'tiagentnaya sistema s piramidal'noi topologiei // "Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki". 2020. No 3(207). P. 41–54.

5. Andreev V. P., Tarasova V. E. Opredelenie formy prepyatstviia mobil'nym robotom s pomoshch'yu skaniruyushchikh uglovykh peremeshchenii ul'trazvukovogo datchika // Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie. 2017. No 11. Vol. 18. P. 759–763.

6. GOST R 60.0.0.4-2019. Roboty i robototekhnicheskie ustroistva. Terminy i opredeleniya. [Elektronnyi resurs] // docs.cntd.ru : mul'timediinyi portal. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200162703> (data obrashcheniya: 14.03.2021).

7. Mul'tiagentnye sistemy. Osnovnye ponyatiya teorii agentov. [Elektronnyi resurs] // intellect.icu : mul'timediinyi portal. URL: <https://intellect.icu/11-multiagentnye-sistemy-5354> (data obrashcheniya: 14.03.2021).

8. Rozhkov S. N., Ovsyannikova N. A. Stereoskopiya v kino-, foto-, videotekhnike. Terminologicheskii slovar'. Moscow : Paradiz, 2003. 136 p.

9. Rozhkova G. I., Matveev S. G. Zrenie detei : problema otsenki i funktsional'noi korrektsii. Moscow : Nauka, 2007. 315 p.

10. Andreev V. Control System Mobile Robots with Modular Architecture as a Multi-Agent System with a Hierarchical Topology, Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium / B. Katalinic (Ed.). Vienna, Austria : DAAAM International. 2019. P. 0010–0019.

11. Andreev V., Tarasova V. The Mobile Robot Control for Obstacle Avoidance with an Artificial Neural Network Application // Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium / B. Katalinic (Ed.). Vienna, Austria : DAAAM International. 2019. P. 0724–0732.