

20. *Vlaskin K.I.* Razrabotka elektromagnitnykh sistem malogabaritnykh pervichnykh preobrazovateley ferrozondovogo tipa: diss. ... kand. tekhn. nauk [Development of electromagnetic systems of small-sized primary ferrosonde type converters: cand. of eng. sc. diss.]. Izhevsk: IzhGTU im. M.T. Kalashnikova, 2014. 150 p.
21. *Mushnikov N.V., Popov A.G., Potapov A.P., Lukshina V.A.* Nanokristallicheskie magnitnye materialy. Fizika magnitnykh materialov i nanostruktur [Nanocrystalline magnetic materials. Physics of magnetic materials and nanostructures], ed. by V.V. Ustinova, N.V. Mushnikova, V.Yu. Irkhina. Ekaterinburg: Institut fiziki metallov im. M.N. Mikheeva UrO RAN, 2020, 664 p.
22. Klassifikatsiya elektronnykh usiliteley [Classification of electronic amplifiers]. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Klassifikatsiya\\_elektronnykh\\_usiliteley](https://ru.wikipedia.org/wiki/Klassifikatsiya_elektronnykh_usiliteley) (accessed 20 Desember 2021).
23. *Rychkov A.V., Sokolov N.A., Shcherbakov G.N., Prokhorkin A.G., Feshchenko Ya.V.* Povyshenie chuvstvitel'nosti ferrozondovykh preobrazovateley magnitnogo polya dlya perenosnykh magnetometrov [Increasing the sensitivity of ferrosonde magnetic field converters for portable magnetometers], *Boepripasy* [Ammunition], 2021, No. 2, pp. 70-76.
24. *Afanas'ev Yu.V.* Ferrozondovye pribory [Ferrosonde devices]. Leningrad: Energoatomizdat, 1986, 187 p.
25. *Sokolov N.A.* Ferrozondovyy magnitmetricheskiy datchik. Patent RF na izobretenie ot 19.10.2021 № 2757650 [Ferrosonde magnetometric sensor. RF Patent for invention No. 2757650 dated 19.10.2021].
26. *Sokolov N.A.* Programma obrabotki signalov v mnogokanal'nom magnitmetricheskom obnaruzhitele. Svidetel'stvo RF na programmu dlya EVM ot 13.05.2021 № 2021617334 [Signal processing program in a multichannel magnetometric detector. Certificate of the Russian Federation for a computer program dated 13.05.2021 No. 2021617334].

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.С. Звездинский.

**Соколов Николай Александрович** – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский испытательный институт инженерных войск» Минобороны России; e-mail: [cniii\\_iv@mail.ru](mailto:cniii_iv@mail.ru); Нахабино, Россия; тел.: 89163658920; с.н.с.

**Рычков Андрей Владимирович** – Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая ордена Жукова академия Вооруженных Сил Российской Федерации»; e-mail: [cniii\\_iv@mail.ru](mailto:cniii_iv@mail.ru); г. Москва, Россия; тел.: 84997665759; д.т.н.; доцент.

**Sokolov Nikolai Alexandrovich** – FGBU «CNIII IV» of the Ministry of Defense of the Russian Federation; e-mail: [cniii\\_iv@mail.ru](mailto:cniii_iv@mail.ru); Nakhabino, Russia, phone: 89163658920; senior researcher.

**Rychkov Andrey Vladimirovich** – VUNTS SV «OVA VS RF»; e-mail: [cniii\\_iv@mail.ru](mailto:cniii_iv@mail.ru); Moscow, Russia; phone: 84997665759; dr. of eng. sc.; associate professor.

УДК 28.23.24: 28.23.27:004.82

DOI 10.18522/2311-3103-2022-1-42-59

**С.М. Соколов**

## **ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В СОЗДАНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ПОВЫШЕННОЙ СТЕПЕНЬЮ АВТОНОМНОСТИ**

*Рассматриваются аспекты, необходимые для воплощения робототехнических комплексов с повышенной степенью автономности (РТК с ПСА) в практическую работу. Указываются отличительные особенности таких комплексов, потребности соответствующих интеллектуальных информационно управляющих систем (ИИУС). Выделяется требование ситуационной осведомлённости и, как следствие, необходимость разнообразной системы представления знаний, средств восприятия внешней среды и сопоставления оперативной информации с моделями и априорной информацией об этой среде. Кроме того, указывается на необходимость автоматизации процессов создания РТК с ПСА, доступности, упрощения их использования. С целью ответа на поставленные вопросы в работе предлагается исполь-*

зывать концепцию и механизмы онтологий применительно к автономной робототехнике. Приводятся примеры уже имеющихся решений в этой области. В робототехнике онтологии используются для определения и концептуализации знаний, принятых сообществом, с использованием формального описания, которое является машиночитаемым, доступным для совместного использования и содержит гибкость для обоснования этих знаний, чтобы вывести дополнительную информацию. Онтологии представляют значительный интерес для мультиагентных систем для организации взаимодействия между агентами и с другими системами в гетерогенных средах, возможности повторного использования и поддержки разработки новых РТК. Описывается предлагаемое автором построение онтологии в такой прикладной области как информационное обеспечение целенаправленных перемещений автономных наземных средств на основе систем технического зрения. Всё рассмотрение ведётся в конфигурационном пространстве информационно-управляющих систем РТК с ПСА. Это пространство позволяет агрегировать большое количество разнообразных технологий, используемых при построении РТК. Воплощению конкретной системы соответствует «точка сборки». Согласование форм представления знаний в ИИУС обеспечивается последовательным рассмотрением плоскостей в этом пространстве. В качестве связующего звена – средства для автоматизированного перевода описаний дескриптивных онтологий в описания функциональных, машиночитаемых онтологий предлагается использование языка информационно-двигательных действий и команд интерпретирующей навигации. В заключении рассматриваются ближайшие перспективы развития описанного подхода, высказываются пожелания/предложения к отечественному сообществу робототехников.

*Подвижные робототехнические комплексы; информационно-управляющие системы; повышенная степень автономности; представление знаний; онтологии; интерпретирующая навигация; информационно-двигательные действия.*

**S.M. Sokolov**

#### **AN ONTOLOGICAL APPROACH TO THE CREATION OF ROBOTIC COMPLEXES WITH AN INCREASED DEGREE OF AUTONOMY**

*The aspects necessary for the implementation of robotic complexes with an increased degree of autonomy (RC with IDA) in practical work are considered. The distinctive features of such complexes, the needs of the corresponding intelligent information control systems (IICS) are indicated. The requirement of situational awareness is highlighted and, as a consequence, the need for a diverse system of knowledge representation, means of perception of the external environment and comparison of operational information with models and a priori information about this environment. In addition, it is pointed out the need to automate the processes of creating RC with IDA, accessibility, and simplification of their use. In order to answer these questions, the paper proposes to use the concept and mechanisms of ontologies in relation to autonomous robotics. Examples of existing solutions in this area are given. In robotics, ontologies are used to define and conceptualize knowledge accepted by the community, using a formal description that is machine-readable, shared, and contains the flexibility to justify this knowledge in order to derive additional information. Ontologies are of considerable interest for multi-agent systems for organizing interaction between agents and with other systems in heterogeneous environments, the possibility of reuse and support for the development of new RCs. The author describes the construction of an ontology proposed by the author in such an applied field as information support for targeted movements of autonomous ground vehicles based on technical vision systems. All consideration is conducted in the configuration space of the information and control systems of the RC with IDA. This space allows you to aggregate a large number of different technologies used in the construction of RC. The embodiment of a particular system in this space corresponds to the "assembly point". The coordination of the forms of knowledge representation in the IICS is ensured by the consistent consideration of planes in this space. As a connecting link – a means for automated translation of descriptions of descriptive ontologies into descriptions of functional, machine-readable ontologies, the use of the language of information-motor actions and interpretive navigation commands is proposed. In conclusion, the short-term prospects for the development of the described approach are considered, and wishes are expressed to the domestic community of roboticists.*

*Mobile robotic complexes; information and control systems; increased degree of autonomy; knowledge representation; ontologies; interpretive navigation; information and motor actions.*

**Введение.** Одной из тенденций в развитии современной подвижной робототехники является переход от телеуправления к автономным беспилотным средствам. Эта тенденция в перспективе должна привести к созданию технических систем, которые могут воспринимать, понимать и взаимодействовать с окружающей средой, а также развиваться для достижения результатов, подобных человеческим, в деятельности, требующей знаний, специфичных для контекста (ситуации и задачи). Признано, что достижение таких возможностей выходит за рамки современного уровня техники и будет оставаться таковым в течение многих лет. Исходя из этого видения, европейским научным сообществом было определено несколько промежуточных целей [1]. Достижение этих целей может послужить отправной точкой для дальнейшей работы над долгосрочным видением. В частности, одной из целей названо продвижение науки о когнитивных системах посредством междисциплинарного исследования требований, вариантов определения и компромиссов для автономных, роботизированных систем, включая требования к архитектуре, формам представления, механизмам восприятия, обучению, планированию, рассуждениям, мотивации, действиям и коммуникации. На этом пути обеспечение супервизорного режима управления целенаправленными перемещениями с минимальным участием человека является текущей задачей. Эту задачу призваны решать подвижные робототехнические комплексы (РТК) с повышенной степенью автономности (ПСА). За человеком остаётся целеполагание – указание конечной цели перемещений, помощь бортовой системе управления в сложных ситуациях и общий контроль за выполнением миссии подвижного средства. Уже есть примеры такого режима работы в специальных средах (движение самосвалов в карьерах, поездов в тоннелях и т.п.) [2–6]. Ещё одной тенденцией подвижной робототехники является всё более активное выдвигание на основную роль среди средств информационного обеспечения систем технического зрения (СТЗ). Видеокамеры различных диапазонов, радиолокационные системы в совокупности с высокопроизводительными вычислителями создают благоприятную основу для создания бортовых систем технического зрения. СТЗ представляют наиболее полную и достоверную информацию для идентификации и определения относительного расположения объектов окружающего пространства и подвижного средства. Широким фронтом ведутся работы по разработке эффективного алгоритмического обеспечения СТЗ и его реализации на бортовых программно-аппаратных платформах [7–10].

Чем большую степень автономности в различных условиях функционирования мы хотим передать РТК, тем более разнообразные знания и способы их обработки должны быть представлены и реализованы в бортовой информационно-управляющей системе. Несмотря на впечатляющий прогресс во многих конкретных подтемах в области искусственного интеллекта и когнитивных наук, область в целом, движется медленно. Большинство известных систем, способных выполнять сложные задачи, которые легко могут выполнять люди и другие животные, требуют тщательной индивидуальной разработки. Какой бы интеллект у них ни был, его можно было бы описать как "насекомоподобный", поскольку у них есть способности, которые они не понимают, они не знают, почему они поступают так, а не иначе, они не могут объяснить, что они делают, они не могут улучшить свою производительность, прислушиваясь к советам человека, и они не могут давать советы или помогать кому-то другому, выполняющему аналогичные задачи. Одной из причин этого является то, что за последние несколько десятилетий исследования были фрагментированными: многие отдельные лица и исследовательские группы сосредоточили свои усилия на узко определенных проблемах в области зрения, или обучения, или понимания языка, или решения проблем, или мобильной робототехники.

Известен подход к организации и структуризации знаний основанный на использовании онтологий. Онтологический подход не обеспечивает прорывное решение какой-то отдельной задачи, но его использование позволяет объединять знания различных областей, представленных в различных форматах. Онтологии предоставляют механизмы для анализа информации. Это включает в себя способность выводить информацию, которая может быть не представлена явно, а также способность задавать вопросы базе знаний и получать ответы. Один из способов обеспечения этой функциональности заключается в представлении символической информации в модели мира в логическом, интерпретируемом компьютером формате, например, в представлении Knowledge Inter face Format (KIF) [11].

Подходы и методы лингвистики полезны для общения между человеком и машиной, а также для обмена информацией между роботами. Многие результаты таких формальных методологий могут быть полезны для приложений управления. Поведение более высокого уровня и ситуации окружающей среды легче и эффективнее выражаются с помощью лингвистических представлений. Например, на более высоких уровнях управления описание окружающей среды вблизи автономного транспортного средства с помощью только именованых объектов является более компактным, чем перечисление ряда поверхностей и их математических описаний. Подобное описание положено в основу интерпретирующей навигации [12]. Геометрические описания необходимы для того, чтобы избежать столкновений, но данные такого формата должны обрабатываться более низким уровнем управления.

Существует ряд методологий и инструментов для анализа и моделирования знаний на символическом уровне. CommonKADS [13] является одним из таких инструментов, который поддерживает разработку структурированных знаний. В отечественном сообществе робототехников, к сожалению, нет такого разнообразия объединяющих проектов исследований и программного инструментария. В данной статье описывается имеющийся мировой опыт в использовании онтологического подхода и представляются результаты первых шагов автора в разработке онтологии систем информационного обеспечения целенаправленных перемещений автономных наземных средств на основе систем технического зрения. В заключении рассматриваются ближайшие перспективы развития описанного подхода, высказываются пожелания/предложения к отечественному сообществу робототехников.

**Различные подходы к использованию знаний для управления.** Большая часть ранних работ с роботами выполнялась в контексте исследований искусственного интеллекта с использованием только высокоуровневых символических знаний и представлений [14–16]. Это привело к печальному результату – отделению робототехники от геометрии и динамики реального мира и сосредоточению внимания на чисто символических подходах к восприятию, планированию и рассуждениям [17]. Мало что из этих ранних работ когда-либо находило практическое применение, хотя относительно недавние работы, связывающие планировщиков или агентов более высокого уровня с реальными системами, нашли новых сторонников, особенно в области космических приложений [18, 19].

Другое, направление в использовании знаний для управления – бихевиоралистская школа робототехники, начатая Родни Бруксом из Массачусетского технологического института. Здесь отвергалась идея чисто символического контроля как стерильная и не относящаяся к роботам, которые могли бы эффективно взаимодействовать с реальным миром. Брукс предложил использовать насекомых в качестве модели, определив управление как серию реактивных поведений, которые напрямую связывают входные данные датчиков с поведением с помощью конечных автоматов. Более сложное поведение было способно подавлять или подчинять более простое поведение более низкого уровня, поэтому это было названо архи-

тектурой подчинения [20]. Были достигнуты некоторые значительные достижения, в том числе эксперимент по обучению, который Брукс провел, чтобы продемонстрировать, что гексапод с сетью контроллеров может научиться ходить с соответствующей походкой *tri pod* [21]. Однако Брукс и другие явно отвергли концепцию модели мира, утверждая, что мир был его собственной моделью, и в результате поведенческие или реактивные системы не были применены ни к каким проблемам большой сложности. Гибридные системы, такие как совещательно-реактивные системы, предложенные J. Albus [22], R. Arkin [23] или C. Thorpe [24], атаквали более сложные проблемы. Интеллектуальные системы с несколькими уровнями и типами представлений находятся в меньшинстве. В. Kuipers и другие разработали семантическую пространственную иерархию *Semantic Spatial Hierarchy (SSH)*, которая вдохновлена человеческим когнитивным моделированием. SSH [25] содержит как качественные, так и количественные представления в иерархии.

Концепция интеллекта в управлении применима к множеству подходов к расширению классической теории управления, которые включают обучение, нелинейное управление, управление на основе моделей и, в целом, управление сложными системами, которые будут “поступать правильно” при столкновении с неожиданными или незапланированными ситуациями [22]. Можно сказать, что все “интеллектуальные” системы обладают некоторыми знаниями о системе, подлежащей управлению, или что они используют некоторую модель системы при расчете выходных данных управления. Фактически, словарь американского наследия определяет интеллект как “способность приобретать и применять знания”. Создание, сбор и использование знаний – то есть модели – системы, подлежащей управлению, является одной из ветвей того, что известно, как разработка знаний. Аспекты управления в реальном времени делают эту проблемную область отличной от других задач разработки знаний, таких как крупномасштабные онтологии. Например, существует необходимость в разработке несимволических аспектов знаний системы, таких как модели мира на основе карт. Интеллектуальное управление требует нескольких различных классов знаний и представлений.

Общая структура системы управления, основанной на модели, схематично показана на рис. 1.

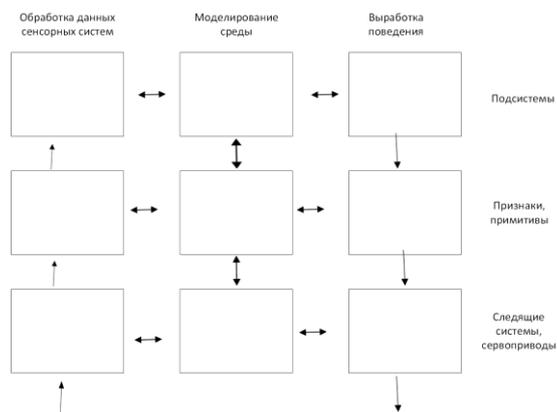


Рис. 1. Схема интеллектуальной иерархической информационно-управляющей системы

Существуют три разных класса знаний в иерархии управления: сенсорные сигналы, переменные состояния и системные параметры **на нижних уровнях**; пространственные модели (карты, изображения и объекты), которые представляют

геометрические и динамические знания **на средних уровнях**; и символичные данные, которые представляют математические, логические, лингвистические и процедурные знания **на высших уровнях**.

Отношения между этими тремя типами представлений могут быть выражены **в виде указателей** (посредников). Каждый уровень может содержать некоторые или все классы знаний, но в целом символические знания на самом низком (базовом) уровне использоваться не будут, а на самых высоких уровнях в основном будут использоваться символические знания. До последнего времени наука о разработке знаний не занимается иконической, параметрической и числовой информацией. Мы считаем, что необходимо учитывать эти типы представлений также при разработке моделей знаний для интеллектуальных систем. Мы можем далее отличать знания, которые изучаются или приобретаются, которые мы будем называть знаниями на месте, от знания, которые предварительно запрограммированы или на которые ссылаются из внешней базы данных, которые мы будем называть априорными знаниями. Это обеспечивает основу для рассмотрения вопросов обучения и адаптивного управления.

Существует еще третье средство дифференциации типов знаний, которое заключается в различении знания о вещах (существительные) и знания о действиях, задачах или поведении (глаголы). Модификаторы включают атрибуты вещей (прилагательные) и атрибуты задач (наречия). Это становится очень полезным на более высоких уровнях при рассмотрении взаимодействия автономных машин со сложными средами, где уместно анализировать характер объектов, встречающихся в окружающей среде. Различие между моделями объектов (вещей) и моделями поведения (действий) также помогает разработчику системы в согласовании спецификаций обработки датчиков и моделирования мира со спецификациями задач управления. Эти свойства знаний полезны не только для систем управления, а и для информационных систем на основе сбора и обработки зрительных данных.

Информация об уровне датчиков и управления основана на различных типах законов управления, приводящих к локально различным состояниям. Локальные геометрические карты с их индивидуальными системами отсчета строятся на уровне управления. Выше этого находится причинно-следственный уровень, который выводит дискретные модели действий из уровня управления. Топологический уровень содержит онтологию мест, путей и регионов, которая соединяет различные локальные метрические карты в лоскутное одеяло, которое может быть объединено в единую глобальную систему отсчета.

Наиболее значительными и сложными автономными мобильными роботами, созданным на сегодняшний день, является американский армейский экспериментальный беспилотный аппарат (XUV), разрабатываемый для разведывательных миссий (миссий разведки, наблюдения и обнаружения целей (RSTA)). И американский марсоход [26, 27].

Архитектура для XUV называется 4D/RCS, объединяя работу E.D. Dickmanns в Германии по отслеживанию дорог [28] и работу J. Albus в NIST [22]. Оба используют данные от нескольких датчиков для построения модели мира, а затем используют эту модель для планирования того, что должно делать транспортное средство. Армейский XUV успешно преодолел многие километры бездорожья, включая поля, леса, ручьи и холмистую местность, учитывая редкие путевые точки на карте с низким разрешением, составленной армейским разведчиком. XUV использовал свои бортовые датчики для создания карт окружающей среды высокой четкости с несколькими разрешениями, а затем успешно перемещался по очень сложной местности. По сути, это демонстрация использования карт с несколькими разрешениями в качестве средства представления знаний для объединения датчиков и планирования траекторий в автономных мобильных роботах. В течение следующих нескольких лет символические знания могут быть добавлены для обеспечения тактического поведения и взаимодействия человека и машины.

По тем же принципам иерархической системы построена система управления марсоходом и дроном в составе этой миссии. Здесь степень автономии снижена тем обстоятельством, что в целях обеспечения безопасности в процесс управления, для перепроверки принимаемых решений, в работу системы вмешиваются операторы с Земли [26].

Внедрение иконических данных, интегрированных с символьными данными и параметрическими данными в иерархическую модель мира с несколькими разрешениями, позволяет в режиме реального времени управлять сложными системами, взаимодействующими с реальным миром, включая способность иметь дело с динамическими взаимосвязями объектов в пространстве и времени. Это обеспечивает возможность для движущегося транспортного средства распознавать и правильно реагировать на неожиданные препятствия и события, что является сутью интеллектуального управления системами мобильности.

**Соображения по интеграции различных типов знаний.** Представление нескольких классов знаний в рамках интеллектуальной системы управления создает проблему интеграции принципиально различных представлений в единую унифицированную базу знаний. Это база знаний должна вести себя как единое целое и, как таковая, должна обеспечивать беспрепятственный обмен информацией и взаимодействие между всеми источниками знаний.

В автономной мобильности, параметрические знания могут быть сохранены как количественные наборы в компьютерную программу, представляющую ценные переменные состояния. Знаковые знания могут быть представлены в виде цифровых карт местности как двумерных массивы, а символическое знание может быть представлено множеством токенов с соответствующими атрибутами, хранящимися в базе данных.

Существуют проблемы интеграции знаний как внутри одного представительства, так и между разрозненными представительствами. Основываясь на приведенном выше примере автономной мобильности, исключительно на символическом уровне необходимо интегрировать априорную информацию о типах объектов, которые ожидается увидеть в окружающей среде, с позициями объектов, которые идентифицируются бортовыми датчиками по мере их обнаружения. Когда обе эти части информации представлены в базе данных, ассоциации ключей базы данных часто бывает достаточно для обеспечения необходимой интеграции.

В рамках исключительно знакового уровня необходимо интегрировать обработанные данные об окружающей среде с априорными картами местности. Это сложная задача из-за шума, связанного с полученными данными, а также из-за разного уровня разрешения между априорными картами и полученными данными. Кроме того, необходимо интегрировать два или более полученных изображения, которые могут быть получены двумя разными датчиками или одним и тем же датчиком в разное время. В области регистрации данных, исследователи активно решают эту проблему [29, 30].

Аналогичные проблемы возникают при интеграции знаний, полученных в различных представлениях. Хотя представления различаются, несомненно, будут существовать прямые корреляции между данными в каждом представлении. В случае распознавания объектов [31] информация, которая может быть выведена путем анализа данных, хранящихся в структуре иконической сетки, должна сравниваться с атрибутами класса, хранящимися в базе символьных знаний, чтобы определить, есть ли соответствие. Например, если группа занятых ячеек в пространственном представлении может быть сгруппированные в один объект, можно создать фрейм объекта и связать все пиксели в пространственном представлении с фреймом объекта. Этот фрейм объекта содержит список атрибутов объекта, которые являются измеряемыми свойствами кластера пикселей в пространственном

представлении. В зависимости от информации, хранящейся в пространственном представлении, можно определить диаметр объекта. на основе этой информации можно сравнить атрибуты наблюдаемого объекта с атрибутами прототипа класса объектов, которые, как ожидается, будут видны в среде.

Если соответствие найдено (в пределах желаемого порогового значения), устанавливаются связи между фреймом объекта и прототипом класса в базе данных. Это и есть процесс классификации. Ссылки, установленные в процессе классификации, являются двунаправленными указателями. Таким образом, имена классов и атрибуты классов могут быть привязаны обратно к объектному фрейму, а оттуда обратно к пикселям в пространственном представлении.

Архитектура 4D/RCS представляет собой иерархическую структуру управления, состоящую из узлов RCS, с различным диапазоном и разрешением во времени и пространстве на каждом уровне. Функциональность каждого уровня в иерархии 4D/RCS определяется функциональностью, характеристикой времени, пропускной способностью и алгоритмами, выбранными процессами генерации поведения для декомпозиции задач и целей на каждый уровень. Иерархическое наложение обеспечивает оптимальное использование памяти и вычислительных ресурсов при представлении времени и пространства. На каждом уровне параметры состояния, изображения и карты поддерживаются с разрешением в пространстве и времени, соответствующим этому уровню. На каждом последовательно более низком уровне иерархии, по мере геометрического увеличения детализации, диапазон вычислений геометрически уменьшается. Кроме того, по мере увеличения временного разрешения область интереса уменьшается. Это приводит к соотношению, которое остается относительно постоянным по всей иерархии.

Каждый узел RCS содержит одни и те же функциональные элементы, но адаптирован для данного уровня иерархии и конкретных обязанностей узла. RCS Узел содержит процессы, которые выполняют Сенсорную обработку (SP), Генерацию поведения (BG), Моделирование мира (WM) и оценочное суждение (VJ). На каждом уровне иерархии управления существуют процессы совещательного планирования, которые получают цели и приоритеты от вышестоящих и разбивают их на подцели для подчиненных на нижестоящих уровнях. На каждом уровне реактивные циклы реагируют на обратную связь, чтобы изменить запланированные действия таким образом, чтобы цели были выполнены, несмотря на неожиданные события.

На стороне сенсорной обработки иерархии информация, полученная из наблюдений на нижестоящих уровнях, фильтруется и обрабатывается вверх до более абстрактных уровней, используя априорные знания об объектах и ситуациях для интерпретации поступающих данных при обнаружении событий, распознавании объектов и развитии осведомленности о ситуации. Результаты сенсорной обработки используются для обновления модели мира на каждом уровне; таким образом, планирование осуществляется с учетом наилучшего возможного представления внешнего мира. На каждом уровне процессы сенсорной обработки и формирования поведения имеют доступ к модели мира, которая хранится в базе данных знаний. Эта модель мира позволяет интеллектуальной системе анализировать прошлое, планировать будущее и воспринимать сенсорную информацию в контексте ожиданий. Функции затрат обеспечивают ценность суждения и определение приоритетов, которые поддерживают разумное принятие решений, планирование и анализ ситуации. Функции затрат могут быть динамическими и определяются текущими командами, приоритетами, предпочтениями пользователей, прошлым опытом и другими источниками. Следовательно, разработка требований к знаниям на каждом уровне определяется обязанностями этого уровня: какие команды сможет выполнять узел RCS? Каково требуемое время отклика контура управления? Какой пространственный охват ему необходимо понять? С какими типами сущностей ему приходится иметь дело?

**Онтологии в робототехнике.** Семантические технологии (ST) – это термин, используемый для обозначения семейства методов и инструментов, разработанных для обеспечения понимания огромного объема информации, которая уже доступна в цифровом формате. Эти инструменты моделируют знания и связывают воедино несколько разнородных ресурсов таким образом, чтобы информация, предоставляемая этими ресурсами, могла автоматически обрабатываться агентами. Распространенными приложениями являются создание баз знаний и экспертных систем [32, 33].

Обзор литературы показывает целый ряд исследований в области робототехники, в которых ST нашли применение. Примерами этого являются работы Челлы и др. [34] где онтология использовалась для описания среды, в которой перемещается мобильный робот.

Используя эту информацию, робот в принципе мог бы принимать решения о правильном способе навигации в пространстве. Мендоса и др. [35] использовали ST для представления и управления взаимосвязями между объектами, которые были распознаны программным обеспечением *robotic vision*. Янко и Друри [36] создали таксономию для взаимодействия человека и робота (HRI), позволяющего сравнивать различные системы HRI. Обновленная таксономия, представленная в [37], включала высокоуровневые концепции, такие как роли взаимодействия и морфологии роботов, в качестве категорий, используемых для классификации роботов.

Онтологии один из семантических методов. Как уже было сказано во введении, онтологии предоставляют механизмы для анализа информации. Это включает в себя способность выводить информацию, которая может быть не представлена явно, а также способность задавать вопросы базе знаний и получать ответы. Уже более 10 лет этот подход развивается западными коллегами применительно к робототехнике. Сначала это были общие вопросы, построение онтологий верхнего уровня [38], а последние годы активно ведутся работы по формированию онтологий конкретных прикладных областей, таких как воздушные, наземные, групповые РТК [39]. Это объемная работа и исследователями признается необходимость объединения усилий многих коллективов для её реализации [1].

В робототехнике онтологии используются для определения и концептуализации знаний, принятых сообществом, с использованием формального описания, которое является машиночитаемым, доступным для совместного использования [40] и содержит гибкость для обоснования этих знаний, чтобы вывести дополнительную информацию [41]. Онтологии представляют значительный интерес для мультиагентных систем для организации взаимодействия между агентами и с другими системами в гетерогенных средах, возможность повторного использования и поддержка разработки [42]. Создатели контента для робототехники могут создавать сценарии для действий роботов, которые могут выполняться в нескольких роботах с одинаковым (или похожим) описанием воплощения.

В данной работе, опираясь на пятидесятилетний опыт разработки и исследований информационно-управляющих систем РТК с элементами искусственного интеллекта, накопленный в Ордена Ленина ИПМ им. М.В. Келдыша РАН мы предлагаем ряд решений по формированию онтологий такой востребованной области робототехники, как информационное обеспечение целенаправленных перемещений наземных РТК на основе сбора и обработки зрительных данных. Сначала опишем общие подходы к построению онтологий автономных роботов, затем укажем место наших исследований в этой большой работе, приведём примеры и приёмы применения онтологического подхода к указанной предметной области, наметим цели на ближайшую перспективу и выскажем ряд пожеланий к сообществу отечественных робототехников.

Два типа онтологий и их объединение в проекции на РТК с ПСА. Все онтологии по степени формальности представления знаний можно представить в виде спектра онтологий (рис. 2).



Рис. 2. Спектр онтологий по степени формальности представления. Косая черта разделяет системы, предоставляющие "человеко-понятные" (выше черты) и "машино-понятные" (ниже черты) описания

Каждая точка соответствует наличию некоторых ключевых структур в онтологии, отличающих ее от других точек на спектре. Косая черта условно отделяет онтологии от других ресурсов, имеющих онтологический характер. Первой точке на спектре соответствует *контролируемый словарь*, т.е. конечный список терминов (простейшим примером является каталог на основе идентификаторов). Каталоги представляют точную (не многозначную) интерпретацию терминов. Другой спецификацией онтологии может быть *гlossарий*, представляющий собой список терминов с их значениями. Значения описываются в виде комментариев на естественном языке. Это дает больше информации, поскольку люди могут прочесть такой комментарий и понять смысл термина. Интерпретации терминов могут быть многозначными. Глоссарии непригодны для автоматической обработки программными агентами, но можно, как и ранее, присвоить терминам ID.

Два класса онтологий. Обобщенная структура автономного наземного транспортного средства (UGV) представлена на рис. 3. Каждый элемент автономной системы транспортного средства, показанный на рис. 3 должен быть представлен в онтологии. В кроме того, связь между автономными агентами должна быть четко определена для содействия сотрудничеству, координации и связи нескольких беспилотных летательных аппаратов, например таких как UGV и AUV (БЛА).



Рис. 3. Структура автономной системы транспортного средства

Онтологии должны охватывать и использовать концепции для поддержки описания и процесса проектирования автономных систем. Нам нужно описать различные сущности, участвующие в работе системы.

Для системной онтологии необходимо разработать следующие пакеты, описанные в различных разделах этой статьи:

- ◆ Устройство: для описания различных устройств, таких как датчики и исполнительные механизмы.
- ◆ Стратегия управления: для управления автономными системами навигации.
- ◆ Восприятие: использовать сенсорную информацию для оценки состояния и представления мира.
- ◆ Планирование движения: планировать движения в воспринимаемом мире.
- ◆ Представление знаний: представление знаний о проблемах и решениях для принятия решений.

Эта предлагаемая онтология (системная) необходима для стандартизации этой развивающейся области. Такая онтология будет способствовать быстрому развитию и содействию сотрудничеству между агентами робототехники. На рис. 4 схематично представлено.

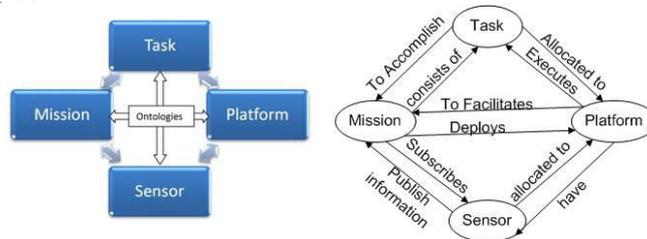


Рис. 4. Вездесущие проникновение/использование онтологии (слева) и отношения сущностей (справа) объясняющие концепцию построения онтологии в робототехнике

Для эффективного выполнения задач беспилотные наземные транспортные средства должны обрабатывать не только низкоуровневые данные датчиков и двигателей, но и семантическую информацию высокого уровня. Данные и информация связаны двунаправленно, при этом данные низкого уровня передаются вверх, а информация высокого уровня возвращается вниз с использованием семантической информации. Знания должны быть представлены и определены для того, чтобы их можно было интегрировать. Пример представления знаний о подсистемах беспилотного наземного средства приведен в табл. 1 [43].

Таблица 1

**Представление знаний для UGVs**

Sub-system	Descriptions
Locomotion	Legged mobile robot, wheeled mobile robot, differential steering, Ackerman steering, castor wheel, Swedish wheel, ball or spherical wheel
Power Plant	Batteries, power supplies
Kinematics	Models and constraints, position, orientation, forward kinematics, wheel kinematics constraints, robot kinematics constraints, maneuverability
Dynamics	Euler-Lagrange equation, Newton's laws of motion
Actuators	DC motors, servo motors, stepper motors, brushless motors
Sensors	Odometer, gyroscope, magnetometer, accelerometer, beacons, range sensors, infrared, laser, sonar, Doppler, vision, GPS
Control and stability	Open loop control, close loop control, path following, path tracking, PID control, linear quadratic optimal control, robust control, dynamic programming, linear quadratic regulator, backstepping, feedback linearization, sliding mode control, intelligent control, adaptive control, model predictive control, $H_\infty$ control, gain scheduling, input output feedback, forward speed control
Localization and mapping	Noise, aliasing, single hypothesis belief, multiple hypothesis belief, map representation, localization, probabilistic map-based localization, simultaneous localization and mapping
Planning	Discrete planning, geometric representations and transformations, configuration space, sampling-based motion planning, combinatorial motion planning, extension of basic motion planning, feedback motion planning, decision theory, sequential decision theory, sensor and information space, planning under sensing uncertainty, planning under differential constraint, sampling-based planning under differential constraints
Communications	Communication media, radio communication, communication data rate and bandwidth usage, antenna

**Наш подход в создании онтологии прикладной области информационного обеспечения целенаправленных перемещений на основе использования зрительных данных.** Всё рассмотрение ведём в конфигурационном пространстве, позволяющем свести всё множество технологий, используемых при создании РТК к обозримой и чётко управляемой структуре [44] (рис. 5).

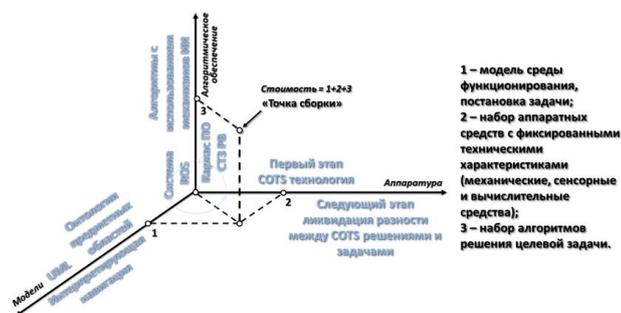


Рис. 5. Пространство конфигураций/архитектур систем информационного обеспечения мобильных роботов с повышенной степенью автономности

Создание, воплощение конкретного РТК с ПСА – это достижение точки сборки в конфигурационном пространстве. Согласование форм представления знаний в ИИУС обеспечивается последовательным рассмотрением плоскостей в этом пространстве. В качестве связующего звена – средства для автоматизированного перевода описаний дескриптивных онтологий в описания функциональных, машиночитаемых онтологий предлагается использование языка информационно-двигательных действий и команд интерпретирующей навигации. Приведём последовательность действий при формировании интересующей нас онтологии. Следует указать, что процесс определения точки сборки, воплощения РТК с ПСА итерационный и, следуя правилам динамического программирования, на каждом, уровне рассмотрения уточняет, детализирует описание используемых сущностей и реализуемых действий (пока не будет достигнут уровень конечного/доступного исполнителя).

Первый шаг – выбор координат создаваемого комплекса по оси моделей. На естественном языке формулируется цель создания – РТК, производится формирование тезауруса – толкового словаря предметной области с проверкой на однозначность формулировок (совместно экспертами разработчика и конечного пользователя). Этот шаг в дальнейшем, когда будет обобщен опыт имеющихся разработок, может быть опущен и использован уже имеющийся словарь. По нашему опыту, в составе словаря указанной области должны присутствовать, в частности, такие словарные статьи, как ориентир, долговременный ориентир, текущий ориентир, условия функционирования, условия достижения целевой точки и ряд других. Далее, в терминах сформированного/выбранного тезауруса, формулируется постановка задачи целенаправленного перемещения. Здесь также возможно использование уже имеющихся формулировок в виде прецедентов решения задач, сценариев реализации и, при необходимости, их дополнение/редакция.

Следующим шагом рассматривается ось алгоритмического обеспечения в разрезе сечения конфигурационного пространства плоскостью «модель-алгоритмическое обеспечение». По оси алгоритмического обеспечения выбираются алгоритмы, решающие поставленную задачу или отмечается их отсутствие.

На очередном шаге рассматривается ось аппаратуры в разрезе сечения плоскостью «алгоритмическое обеспечение – аппаратура». В рамках нашей прикладной области, по оси аппаратуры рассматриваются такие составляющие, как вычис-

лительные и сенсорные средства. Результатом этого рассмотрения является определение связей алгоритм – предоставление исходных данных, исполнитель. Как и на предыдущем шаге определяется наличие или отсутствие таких связей. Опять-таки, при развитии предлагаемого онтологического подхода, перечень таких связей уже может быть и будет использован. Далее, при условии заполнения всех пересечений/связок, формируется оценка времени исполнения всей задачи и стоимости полученного решения. Полученные количественные данные соотносятся с поставленной задачей и доступными ресурсами

В случае отсутствия решения во всех пересечениях/связках или не удовлетворительных оценок времени исполнения и стоимости, решается вопрос о целесообразности корректировки постановки задачи (изменения координат по оси моделей), разработки/доработки алгоритмического обеспечения и дополнения/разработки состава аппаратуры.

Говоря о создании РТК с ПСА необходимо указать на ключевую роль во всех рассмотренных составляющих программного обеспечения. Без программного инструментария все составляющие и действия с ними остаются разрозненным набором неких объектов и слов о них. Именно на эту составляющую сделаем акцент в описании нашего опыта. В ряде шагов вышеописанной схемы мы подобрали уже имеющийся программный инструментарий, в ряде предложили, разработали свой. Имеются и достаточно большие участки ручной работы на данном этапе исследования. Кратко опишем используемые программные и «ручные» решения.

При рассмотрении по оси моделей, в качестве исходного словаря берём существующие онтологии верхнего уровня робототехники и автономных роботов (к сожалению, здесь англоязычная среда, требующая уточнения и однозначного перевода). Взаимосвязь сущностей в описании задачи отображаем диаграммами UML. Проверку на неоднозначность реализуем «в ручную» с привлечением экспертов конечного пользователя. По оси алгоритмов алгоритмическое обеспечение группируем в информационно-двигательные действия (ИДД), которым присваиваются идентификаторы в виде ключевых слов, также включаемых в состав глоссария прикладной области. По оси аппаратуры работу с сенсорной частью – регистрирующими блоками СТЗ описываем на языке команд интерпретирующей навигации [45], значительная часть которых имеет автоматизированный перевод в программы-исполнители, которые, в свою очередь имеют онтологическое описание в рамках каркаса программного обеспечения СТЗ реального времени [46] и исполнены в стандарте системы ROS [47]. Систему указателей/посредников от формулировки задачи – последовательности алгоритмов на языке ИДД к командам интерпретирующей навигации в настоящий момент формируем в ручную.

Онтологический подход к созданию информационного обеспечения подвижных РТК с ПСА на основе сбора и обработки зрительных данных опробовался при разработке наземных РТК для ряда приложений, включая задачи двойного назначения. В качестве исходных баз данных и знаний использовались материалы собственных разработок и доступные сведения в открытых публикациях. Основная, ожидаемая эффективность описанного подхода может и должна проявиться при более широкой экспериментальной базе и привлечении результатов различных коллективов разработчиков. Оформление решений в одной парадигме, как уже отмечалось, позволит сравнивать различные решения в области РТК с ПСА, повысить эффективность процесса создания и самих РТК за счёт использования уже имеющихся решений.

**Заключение.** Резюмируя изложенное, можно сделать следующие выводы. Имеющийся мировой опыт показывает перспективность онтологического подхода в создании интеллектуальных роботов и автономных мобильных средств, в част-

ности. Описанные в работе результаты являются первыми шагами на пути систематизации представлений о наборе решений, необходимых для эффективного воплощения повышенной степени автономности не в одиночном РТК, а в их экономически эффективном широком внедрении. В текущем состоянии связи между декларативными и функциональными онтологиями реализуются в автоматизированном режиме с участием человека, в ближайшей перспективе путь от постановки задачи целенаправленного перемещения до компоновки программно-аппаратного комплекса системы информационного обеспечения РТК, решающей эту задачу, будет полностью автоматизирован. В целом, использование онтологического подхода при создании РТК с ПСА требует объединения усилий всего сообщества отечественных робототехников и формирования общенациональных проектов/программ унификации программного обеспечения РТК с ПСА.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Christensen H.I., Sloman A., Kruijff G-J. & J. Wyatt (Eds.) Cognitive Systems. Reports on the European Union project on Cognitive Systems.* – URL: <https://cordis.europa.eu/project/>.
2. RSS новости. Новости искусственного интеллекта. – URL: [https://ai-news.ru/2021/01/bespilotnye\\_karernye\\_samosvaly.html](https://ai-news.ru/2021/01/bespilotnye_karernye_samosvaly.html).
3. ООО «МосТрансАренда». – URL: <https://mtarenda.ru/articles/trend-na-bespilotnye-samosvaly-nabiraet-оборотy/#>.
4. КОМЕК МАШИНЕРИ. Дойдут ли беспилотные самосвалы Komatsu до России? Исчезнет ли профессия водителя? – URL: <https://www.komek.ru/staty/doydut-li-bespilotnye-samosvaly-komatsu-do-rossii-ischeznet-li-professiya-voditelya/>.
5. *Tadviser.* Продукт:БелАЗ-7513R\_(беспилотный\_самосвал). – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:БелАЗ-7513R\\_\(беспилотный\\_самосвал\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:БелАЗ-7513R_(беспилотный_самосвал)).
6. *Андрей Кожемякин.* Самосвал на миллион. – URL: <https://dev.by/news/samosval-na-million>.
7. *Петричкович Я., Солохина Т., и др.* RoboDeus – 50-ядерная гетерогенная СнК для встраиваемых систем и робототехники // *Электроника.* – 2020. – № 7 (00198). – С. 52-63.
8. NVidia Jetson AGX Xavier. – URL: <https://www.nvidia.com/ru-ru/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-agx-xavier/>.
9. Accelerate Automotive with Intel. – URL: <https://intel.ru/content/www/ru/ru/automotive/products/programmable/overview.html>.
10. *Stephen Shankland.* Tesla self-driving car computer. – URL: <https://www.cnet.com/news/meet-tesla-self-driving-car-computer-and-its-two-ai-brains>.
11. *Genesereth M. and Fikes R.* Knowledge Interchange Format, Stanford Logic Report Logic-92-1. – Stanford University, 1992.
12. CommonKADS General Information. – <http://www.commonkads.uva.nl/frameset-commonkads.html>, 2003.
13. *Кирильченко А.А., Платонов А.К., Соколов С.М.* Теоретические аспекты организации интерпретирующей навигации мобильного робота. Препринт ИПМ № 19. – М., 2008.
14. *Laird J.E., Newell A. and Rosenbloom P.S.* Soar: An Architecture for General Intelligence // *Artificial Intelligence.* – 1987. – Vol. 33. – P. 1-64.
15. *Newell A. and Simon H.* GPS; A Program that Simulates Human Thought, McGraw-Hill, 1963.
16. *Pearson J.D., Huffman S.B., Willis M.B., Laird J.E. and Jones R.M.* A Symbolic Solution to Intelligent Real-Time Control // *Robotics and Autonomous Systems.* – 1993. – No. 11. – P. 279-291.
17. *Etherington D.* What Does Knowledge Representation Have to Say to Artificial Intelligence? Proceedings at the AAAI, 1997.
18. *Siegrwart R., Nourbakhsh I.* Introduction to Autonomous Mobile Robots. – MIT Press 1997.
19. *Volpe R., Estlin T., Laubach S., Olson C. and Balaram J.* Enhanced Mars Rover Navigation Techniques // *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, CA, 2000.*
20. *Wasson G., Kortenkamp D. and Huber E.* Integrating Active Perception with an Autonomous Robot Architecture // *Robotics and Automation Journal.* – 1999. – Vol. 29. – P. 175-186.
21. *Brooks R.A.* A Robust Layered Control System for a Mobile Robot, MIT AI Lab, A.I. Memo 864, Sept. 1985.

22. *Maes P. and Brooks R.* Learning to Coordinate Behaviors // Proceedings AAAI. – 1990. – P. 796-802
23. *Albus J., Lumia R., Fiala J. and Wavering A.* NASREM: The NASA/NBS Standard Reference Model for Telerobot Control System Architecture // Proceedings of the 20th International Symposium on Industrial Robots, Tokyo, Japan, 1989.
24. *Arkin R.* Navigational Path Planning for a Vision-Based Mobile Robot // *Robotica*. – 2003. – No. 7. – P. 49-63.
25. *Thorpe C.* Vision and Navigation for the Carnegie Mellow NavLab // *IEEE PAMI*. – 1988. – No. 10 (3).
26. *Kuipers B.* The Spatial Semantic Hierarchy // *Artificial Intelligence*. – 2000. – Vol. 119 (1–2). – P. 191-233.
27. *Maimone M.* A Martian Vision. JPL, 2016.
28. *Delaune J.* Vision-Based Navigation for Mars Helicopters. – JPL, 2021.
29. *Dickmanns E.D.* A General Dynamic Vision Architecture for UGV and UAV // *Journal of Applied Intelligence*. – 1992. – No. 2. – P. 251.
30. *Lauria S., Kyriacou T., Bugmann G., Bos J., Klein E.* Converting natural language route instructions into robot executable procedures // *Proc. IEEE Int. Workshop Roman, Berlin, Germany, 2002*. – P. 223-228.
31. *Parker L.E.* ALLIANCE: An architecture for fault tolerant multirobot cooperation, *Robotics and Automation // IEEE Transactions on*. – 1998. – Vol. 14, No. 2. – P. 220-240.
32. *Sellami Z., Camps V., Aussenac-Gilles N., and Rougemaille S.* Ontology Co-construction with an Adaptive Multi-Agent System: Principles and Case-Study, *Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*. – 2011. – P. 237-248-
33. *Schlenoff C. and Messina E.* A robot ontology for urban search and rescue // in *Proceedings of the 2005 ACM workshop on Research in knowledge representation for autonomous systems*. – 2005. – P. 273-4.
34. *Tran Q. and Low G.* MOBMAS: A methodology for ontology based multi-agent systems development // *Information and Software Technology*. – Jun. 2008. – Vol. 50, No. 7-8. – P. 697-722.
35. *Gennari J.H., Musen M.A., Ferguson R.W., Grosso W.E., Crubezy M., Eriksson H., Noy N.F., and Tu S.W.* The evolution of protégé: an environment for knowledge-based systems development // *International Journal of Human-Computer Studies*. – 2003. – Vol. 58 (1). – P. 89-123,
36. *Matthews B.* Semantic web technologies // *E-learning*. – 2005. – No. 6(6):8.
37. *Pearson J.D., Huffman S.B., Willis M.B., Laird J.E. and Jones R.M.* A Symbolic Solution to Intelligent Real-Time Control // *Robotics and Autonomous Systems*. – 1993. – No. 11. – P. 279-291.
38. *Schlenoff C.* Linking Sensed Images to an Ontology of Obstacles to Aid in Autonomous Driving // *Proceedings of the 18th National Conference on Artificial Intelligence: Workshop on Ontologies for the Semantic Web, 2002*.
39. *Wasson G., Kortenkamp D. and Huber E.* Integrating Active Perception with an Autonomous Robot Architecture // *Robotics and Automation Journal*. – 1999. – Vol. 29. – P. 175-186.
40. *Chella A., Cossentino M., Pirrone R., and Ruisi A.* Modeling ontologies for robotic environments // In *proceedings of the 14th international conference on Software engineering and knowledge engineering*. – ACM, 2002. – P. 80.
41. *Mendoza R., Johnston B., Yang F., Huang Z., Chen X., and Williams M.* OBOC: Ontology Based Object Categorisation for Robots // In *Proceedings of the 4th International Conference on Computational Intelligence, Robotics and Automation (CIRAS 2007), Palmerston North, New Zealand. Citeseer, 2007*.
42. *Molich R. and Nielsen J.* Improving a human-computer dialogue // *Communications of the ACM*. – 1990. – Vol. 33 (3). – P. 348.
43. *Yanco H. and Drury J.* Classifying human-robot interaction: an updated taxonomy // In *Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on*. – 2004. – Vol. 3. – P. 2841-2846.
44. *Juarez A., Bartneck C., & Feijs L.* Using Semantic Web Technologies to Describe Robotic Embodiments // *Proceedings of the 6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Lausanne*. – 2011. – P. 425-432.
45. *Богуславский А.А. и др.* Модели и алгоритмы для интеллектуальных систем управления. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2019. – 232 с.

46. *Ахтеров А.В.* Некоторые аспекты интерпретирующей навигации мобильного робота. Препринт ИПМ № 97. – М.: 2005. – 16 с.
47. *Boguslavsky A.A., Sokolov S.M.* Component Approach to the Applied Visual System Software Development // 7th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2003), July 27-30, Orlando, Florida, USA, 2003.
48. *Newman W.* A Systematic Approach to Learning Robot Programming with ROS. – CRC Press, 2018.

#### REFERENCES

1. *Christensen H.I., Sloman A., Kruijff G-J. & J. Wyatt (Eds.)* Cognitive Systems. Reports on the European Union project on Cognitive Systems. Available at: <https://cordis.europa.eu/project/>.
2. RSS novosti. Novosti iskusstvennogo intellekta [RSS news. Artificial Intelligence News]. Available at: [https://ai-news.ru/2021/01/bespilotnye\\_karernye\\_samosvaly.html](https://ai-news.ru/2021/01/bespilotnye_karernye_samosvaly.html).
3. ООО «MosTransArenda» [MosTransArenda LLC]. Available at: <https://mtarenda.ru/articles/trend-na-bespilotnye-samosvaly-nabiraet-ovoroty/#>.
4. КОМЕК MASHINERI. Doydut li bespilotnye samosvaly Komatsu do Rossii? Ischeznet li professiya voditelya? [КОМЕК MACHINERY. Will Komatsu unmanned dump trucks reach Russia? Will the driver's profession disappear?]. Available at: <https://www.komek.ru/staty/doydut-li-bespilotnye-samosvaly-komatsu-do-rossii-ischeznet-li-professiya-voditelya/>.
5. Tadviser. Produkt:BelAZ-7513R\_(bespilotnyy\_samosval) [Advisor. Product: BelAZ-7513 R\_(unmanned dump truck)]. Available at: [https://www.tadviser.ru/index.php/Produkt:BelAZ-7513R\\_\(bespilotnyy\\_samosval\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Produkt:BelAZ-7513R_(bespilotnyy_samosval)).
6. *Andrey Kozhemyakin.* Samosval na million [Dump truck for a million]. Available at: <https://dev.by/news/samosval-na-million>.
7. *Petrichkovich Ya., Solokhina T., i dr.* RoboDeus – 50-yadernaya geterogennaya SnK dlya vstraivaemykh sistem i robototekhniki [RoboDeus - 50-nuclear heterogeneous SnC for embedded systems and robotics], *Elektronika* [Electronics], 2020, No. 7 (00198), pp. 52-63.
8. NVidia Jetson AGX Xavier. Available at: <https://www.nvidia.com/ru-ru/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-agx-xavier/>.
9. Accelerate Automotive with Intel. Available at: <https://intel.ru/content/www/ru/ru/automotive/products/programmable/overview.html>.
10. *Stephen Shankland.* Tesla self-driving car computer. Available at: <https://www.cnet.com/news/meet-tesla-self-driving-car-computer-and-its-two-ai-brains>.
11. *Genesereth M. and Fikes R.* Knowledge Interchange Format, Stanford Logic Report Logic-92-1. Stanford University, 1992.
12. CommonKADS General Information. Available at: <http://www.commonkads.uva.nl/frameset-commonkads.html>, 2003.
13. *Kiril'chenko A.A., Platonov A.K., Sokolov S.M.* Teoreticheskie aspekty organizatsii interpretiruyushchey navigatsii mobil'nogo robota. Preprint IPM № 19 [Theoretical aspects of the organization of interpretive navigation of a mobile robot. IPM Preprint No. 19]. Moscow, 2008.
14. *Laird J.E., Newell A. and Rosenbloom P.S.* Soar: An Architectue for General Intelligence, *Artificial Intelligence*, 1987, Vol. 33, pp. 1-64.
15. *Newell A. and Simon H.* GPS; A Program that Simulates Human Thought, McGraw-Hill, 1963.
16. *Pearson J.D., Huffman S.B., Willis M.B., Laird J.E. and Jones R.M.* A Symbolic Solution to Intelligent Real-Time Control, *Robotics and Autonomous Systems*, 1993, No. 11, pp. 279-291.
17. *Etherington D.* What Does Knowledge Representation Have to Say to Artificial Intelligence? Proceesings ate the AAAI, 1997.
18. *Sieghart R., Nourbakhsh I.* Introduction to Autonomous Mobile Robots. MIT Press 1997.
19. *Volpe R., Estlin T., Laubach S., Olson C. and Balaram J.* Enhanced Mars Rover Navigation Techniques, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, CA, 2000*.
20. *Wasson G., Kortenkamp D. and Huber E.* Integrating Active Perception with an Autonomous Robot Architecture, *Robotics and Automation Journal*, 1999, Vol. 29, pp. 175-186.
21. *Brooks R.A.* A Robust Layered Control System for a Mobile Robot, MIT AI Lab, A.I. Memo 864, Sept. 1985.
22. *Maes P. and Brooks R.* Learning to Coordinate Behaviors, *Proceedings AAAI*, 1990, pp. 796-802

23. Albus J., Lumia R., Fiala J. and Wavering A. NASREM: The NASA/NBS Standard Reference Model for Telerobot Control System Architecture, *Proceedings of the 20th International Symposium on Industrial Robots, Tokyo, Japan, 1989*.
24. Arkin R. Navigational Path Planning for a Vision-Based Mobile Robot, *Robotica*, 2003, No. 7, pp. 49-63.
25. Thorpe C. Vision and Navigation for the Carnegie Mellow NavLab, *IEEE PAMI*, 1988, No. 10 (3).
26. Kuipers B. The Spatial Semantic Hierarchy, *Artificial Intelligence*, 2000, Vol. 119 (1-2), pp. 191-233.
27. Maimone M. A Martian Vision. JPL, 2016.
28. Delaune J. Vision-Based Navigation for Mars Helicopters. JPL, 2021.
29. Dickmanns E.D. A General Dynamic Vision Architecture for UGV and UAV, *Journal of Applied Intelligence*, 1992, No. 2, pp. 251.
30. Lauria S., Kyriacou T., Bugmann G., Bos J., Klein E. Converting natural language route instructions into robot executable procedures, *Proc. IEEE Int. Workshop Roman, Berlin, Germany, 2002*, pp. 223-228.
31. Parker L.E. ALLIANCE: An architecture for fault tolerant multirobot cooperation, *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, 1998, Vol. 14, No. 2, pp. 2202-40.
32. Sellami Z., Camps V., Aussenac-Gilles N., and Rougemaille S. Ontology Co-construction with an Adaptive Multi-Agent System: Principles and Case-Study, *Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*, 2011, pp. 237-248.
33. Schlenoff C. and Messina E. A robot ontology for urban search and rescue, in *Proceedings of the 2005 ACM workshop on Research in knowledge representation for autonomous systems*, 2005, pp. 273-4.
34. Tran Q. and Low G. MOBMAS: A methodology for ontology based multi-agent systems development, *Information and Software Technology*, Jun. 2008, Vol. 50, No. 7-8, pp. 697-722.
35. Gennari J.H., Musen M.A., Ferguson R.W., Grosso W.E., Crubezy M., Eriksson H., Noy N.F., and Tu S.W. The evolution of protégé: an environment for knowledge-based systems development, *International Journal of Human-Computer Studies*, 2003, Vol. 58 (1), pp. 89-123.
36. Matthews B. Semantic web technologies, *E-learning*, 2005, No. 6(6):8.
37. Pearson J.D., Huffman S.B., Willis M.B., Laird J.E. and Jones R.M. A Symbolic Solution to Intelligent Real-Time Control, *Robotics and Autonomous Systems*, 1993, No. 11, pp. 279-291.
38. Schlenoff C. Linking Sensed Images to an Ontology of Obstacles to Aid in Autonomous Driving, *Proceedings of the 18th National Conference on Artificial Intelligence: Workshop on Ontologies for the Semantic Web*, 2002.
39. Wasson G., Kortenkamp D. and Huber E. Integrating Active Perception with an Autonomous Robot Architecture, *Robotics and Automation Journal*, 1999, Vol. 29, pp. 175-186.
40. Chella A., Cossentino M., Pirrone R., and Ruisi A. Modeling ontologies for robotic environments, In *pro ceedings of the 14th international conference on Software engineering and knowledge engineering*. ACM, 2002, P. 80.
41. Mendoza R., Johnston B., Yang F., Huang Z., Chen X., and Williams M. OBOC: Ontology Based Object Categorisation for Robots, In *Proceedings of the 4th International Conference on Computational Intelligence, Robotics and Automation (CIRAS 2007)*, Palmerston North, New Zealand. Citeseer, 2007.
42. Molich R. and Nielsen J. Improving a human-computer dialogue, *Communications of the ACM*, 1990, Vol. 33 (3), pp. 348.
43. Yanco H. and Drury J. Classifying human-robot interaction: an updated taxonomy, In *Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on*, 2004, Vol. 3, pp. 2841-2846.
44. Juarez A., Bartneck C., & Feijs L. Using Semantic Web Technologies to Describe Robotic Embodiments, *Proceedings of the 6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Lausanne*, 2011, pp. 425-432.
45. Boguslavskiy A.A. *i dr. Modeli i algoritmy dlya intellektual'nykh sistem upravleniya* [Models and algorithms for intelligent control systems]. Moscow: IPM im. M.V. Keldysha RAN, 2019, 232 p.
46. Akhterov A.V. Nekotorye aspekty interpretiruyushchey navigatsii mobil'nogo robota. Preprint IPM № 97 [Some aspects of the mobile robot's interpretive navigation. IPM preprint No. 97]. Moscow: 2005, 16 p.

47. Boguslavsky A.A., Sokolov S.M. Component Approach to the Applied Visual System Software Development, 7th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2003), July 27-30, Orlando, Florida, USA, 2003.
48. Newman W. A Systematic Approach to Learning Robot Programming with ROS. CRC Press, 2018.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. М.Ю. Медведев.

**Соколов Сергей Михайлович** – KIAM; e-mail: sokolsm@list.ru; г. Москва, Россия; тел.: 84992501314.

**Sokolov Sergey Mikhailovich** – KIAM; e-mail: sokolsm@list.ru; Moscow, Russia; phone: +74992501314.

УДК 007:621.865.8

DOI 10.18522/2311-3103-2022-1-59-70

**А.И. Наговицин, Б.Б. Молоткова, Д.У. Азимов**

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗА НАЗНАЧЕНИЕМ РАДИОЧАСТОТ НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РАДИОСВЯЗИ В ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Применение в Вооруженных Силах Российской Федерации широкой номенклатуры радиостанций различных поколений привело к невозможности полного учета всех их особенностей при планировании радиосвязи. К примеру, учесть весь перечень самопораженных частот излучениями собственных гетеродинов различных радиостанций, а также запрещенных для установления и ведения радиосвязи частот становится крайне сложной задачей. В связи с этим кратно возросли риски отсутствия радиосвязи или нарушения правил использования радиочастотного диапазона в том числе и в подразделениях робототехнических комплексов военного назначения (РТК ВН). В статье отмечено, что одной из самых больших проблем при создании единой цифровой системы управления боем, технической основой которой будет являться беспроводная сеть связи - сеть радиосвязи, работающая в различных частотных диапазонах, сегодня является выполнение требований электромагнитной совместимости (ЭМС) и в частности выполнение требований по корректному использованию радиочастотного спектра. Для оптимизации процесса планирования радиосвязи в формированиях РТК ВН, повышения его оперативности и эффективности в статье предложено создать и применить автоматизированную систему контроля за назначением радиочастот на основе риск-ориентированного подхода. Показано, что риск-ориентированный подход при планировании радиосвязи в подразделениях РТК ВН предполагает проведение сравнительной оценки номинала назначенной рабочей частоты со списком самопораженных частот каждой из применяемых радиостанций, а также со списком запрещенных частот для установления радиосвязи (частоты для передачи сигналов бедствия и др.). Аргументировано отмечено, что такой подход позволит снизить риски отсутствия радиосвязи или нарушения правил использования радиочастотного диапазона. Позволит оптимизировать процессы автоматизированного планирования радиосвязи в формированиях РТК ВН и повысить оперативность и эффективность автоматизированного планирования и управления радиосвязью в ходе боевых действий. В статье описан алгоритм работы автоматизированной системы контроля за назначением радиочастот. Программная реализация данного алгоритма предполагает создание и хранение в соответствующей области памяти библиотек (баз данных) основных запрещенных частот определенных законодательством РФ. Кроме того, в данных библиотеках (базах данных) хранятся списки самопораженных частот излучениями собственных гетеродинов всех типов применяемых радиостанций, приведенных в техническом описании каждой из применяемых радиостанций.*

*Планирование радиосвязи; частотный план; самопораженная и запрещенная частота; автоматизированный контроль за назначением радиочастот.*