

УДК 004.82

С.М. СОКОЛОВ, доктор физико-математических наук, профессор

ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ И ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ БОЕВОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

На основе анализа зарубежного и отечественного опыта в развитии и использовании систем технического зрения применительно к решению задач двойного и военного применения выделяются ключевые технологии в создании подобных систем. Акцентируется роль программного обеспечения и систем представления знаний. Рассматриваются примеры использования систем технического зрения для решения боевых задач применительно к наземным средствам, предлагаются и кратко описываются наиболее экономически целесообразные пути развития боевой робототехники в части оснащения информационными системами на основе сбора и обработки зрительных данных.

Ключевые слова: системы технического зрения; задачи наземной робототехники; технологии создания бортовых информационных систем; программное обеспечение; унификация; модульность; конфигурационное пространство.

Введение

Одной из тенденций в развитии современной робототехники является переход от телеуправления к автономным беспилотным средствам. Эту задачу призваны решать подвижные робототехнические комплексы (РТК) с повышенной степенью автономности (ПСА). За человеком остаётся целеполагание – указание конечной цели перемещений, помощь бортовой информационно-управляющей системе (БИУС) 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.)¹. Целенаправленные перемещения лежат в основе решения широкого круга задач автономной робототехники. Без обеспечения таких перемещений нельзя решить задачи наблюдения, разведки, воздействия на объекты интереса в окружающем пространстве. Ещё одной тенденцией подвижной робототехники является всё более активное выдвигание на основную роль среди средств информационного обеспечения робототехнических комплексов 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. Кроме того, эти системы открывают возможность скрытого наблюдения за счёт регистрации внешней лучистой энергии. Широким фронтом ведутся работы по разработке эффективного алгоритмического обеспечения и его реализации на бортовых программно-аппаратных платформах подобных систем² [1].

Для наземных и воздушных средств наиболее полную систему информационного обеспечения решения навигационной задачи образует так называемый «навигационный крест», включающий: глобальную спутниковую навигационную систему; традиционную

¹ Беспилотные карьерные самосвалы. – https://ai-news.ru/2021/01/bespilotnye_karernye_samosvaly.html; Тренд на беспилотные самосвалы набирает обороты. – <https://mtarenda.ru/articles/trend-na-bespilotnye-samosvaly-nabiraet-oboroty>; Дойдут ли беспилотные самосвалы Komatsu до России? Исчезнет ли профессия водителя? – <https://www.komek.ru/staty/doydut-li-bespilotnye-samosvaly-komatsu-do-rossii-ischeznet-li-professiya-voditelya>; БелАЗ-7513R (беспилотный_самосвал) – [https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:БелАЗ-7513R_\(беспилотный_самосвал\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:БелАЗ-7513R_(беспилотный_самосвал)); Самосвал на миллион. – <https://dev.by/news/samosval-na-million>

² NVidia Jetson AGX Xavier. – <https://www.nvidia.com/ru-ru/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-agx-xavier>; Accelerate Automotive with Intel. – <https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/automotive/products/programmable/overview.html>; Meet Tesla's self-driving car computer and its two AI brains. – <https://www.cnet.com/news/meet-tesla-self-driving-car-computer-and-its-two-ai-brains>

навигационную систему, состоящую из инерциальной навигационной системы, системы счисления пути и корректировки по ориентирам; интерпретирующую (или качественную) навигацию³ и оператора. Комплексное использование всех составляющих этого креста обеспечивает решение навигационной задачи в большинстве практических случаев, но требует разнообразной инфраструктурной и сенсорной поддержки. В тех случаях, когда инфраструктура области перемещений заранее известна и неизменна в процессе движения и доступны данные глобальной спутниковой навигационной системы, организация целенаправленных перемещений РТК с ПСА может быть сведена к подаче звуковых команд на естественном языке или указанию GPS координат места назначения. Существенно сложнее ставить задачи целенаправленных перемещений в изменчивой, новой обстановке, без доступа к данным ГСНС или в обстановке с большим количеством препятствий и необходимостью высокоточного маневрирования. Примерами таких условий являются движение в естественных условиях вне урбанистической среды, движение в аварийных условиях, развалов, боевых действий и тому подобных.

В таких условиях проявляются сильные стороны, потенциальные возможности СТЗ. Но использование СТЗ выдвигает ряд требований к средствам их реализации. К датчикам, вычислительным и алгоритмическим средствам сбора и обработки зрительных данных. Кроме того, для практических применений важна и стоимость предлагаемых решений, экономическая целесообразность их применения. В группе компьютерного видения Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН мы сосредотачиваем свои усилия на технологиях создания эффективных (по соотношению цена/качество) унифицированных модульных программно-аппаратных архитектур СТЗ для решения задач информационного обеспечения перемещений подвижных средств с повышенной степенью автономности и полностью автономных в сложных условиях функционирования, когда нет возможности непрерывно использовать все многообразие навигационных средств одновременно. В военном деле это, прежде всего, разведка, наблюдение и обнаружение целей (на английском языке Reconnaissance, Surveillance, and Target Acquisition (RSTA)).

Различные подходы к использованию знаний для информационно-управляющих систем

Двигаясь в направлении повышения степени автономности робототехнических комплексов, необходимо снабдить их ситуационной осведомленностью – способностью собирать данные об области функционирования, обрабатывать, анализировать эти данные с целью решения поставленных задач. Такое обеспечение возлагается на искусственный интеллект – интеллектуальные алгоритмы. Большая часть ранних работ с роботами в области исследований искусственного интеллекта выполнялась в контексте использования только высокоуровневых символических знаний и представлений [2-4]. 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 [4]. 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 [5; 6; 13; 14].

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 архитектурой подчинения [6].

³ Кирильченко А.А., Платонов А.К., Соколов С.М. Теоретические аспекты организации интерпретирующей навигации мобильного робота: препринт. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2002. – https://www.keldysh.ru/papers/2002/prep5/prep2002_5.html

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.Albus⁴, R.Arkin [7] или С.Thorge [8], 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 [9] 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 ситуациями⁵. 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 информационно-управляющей системы, основанной на модели, схематично показана на рисунке 1.

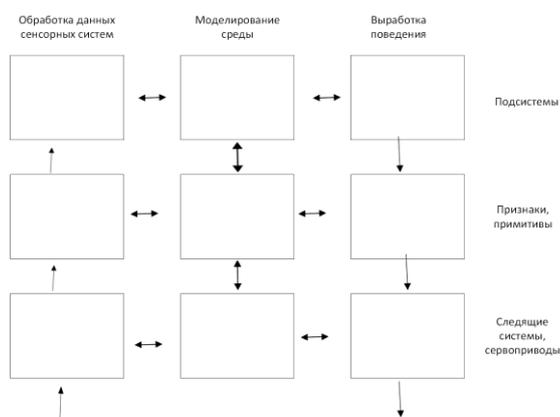


Рисунок 1 – Схема интеллектуальной иерархической информационно-управляющей системы

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 символные 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,

⁴ Albus J.S., Lumia R., Fiala J., Wavering A.J. NASREM – The NASA/NBS Standard Reference Model for Telerobot Control System Architecture, Proceedings of the 20th International Symposium on Industrial Robots, Tokyo, Japan, 1989. – https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=820142

⁵ *Ibid.*

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.

Наиболее значительными и сложными автономными мобильными роботами, созданными на сегодняшний день, являются американский армейский экспериментальный беспилотный аппарат (XUV), разрабатываемый для разведывательных миссий (миссий разведки, наблюдения и обнаружения целей (RSTA)), и американский марсоход^{6,7}.

Архитектура для XUV называется 4D/RCS, объединяя работу E.D.Dickmanns в Германии по отслеживанию дорог [10] и работу J.Albus в NIST⁸. 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 Земли⁹.

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.

⁶ Delaune J. Vision-Based Navigation for Mars Helicopters // NASA Jet Propulsion Laboratory, 2021. – <https://rpg.ifi.uzh.ch/docs/teaching/2021/NASA-JPL-seminar.pdf>

⁷ Maimone M. A Martian Vision: Impact of JPL Robotics Vision and Mobility Research on the Mars Rovers // NASA Jet Propulsion Laboratory, 2016. – <https://www-robotics.jpl.nasa.gov/media/documents/JPLRoboticsImpactOnMarsRovers.pdf>

⁸ Albus J.S., Lumia R., Fiala J., Wavering A.J. *Op. cit.*

⁹ Maimone M. *Op. cit.*

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 двумерные 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 [11; 12].

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 [13] 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 сгруппирована 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 [14; 15].

Обзор литературы показывает целый ряд исследований в области робототехники, в которых ST нашли применение. Примерами этого являются работы Челлы и др. [16], 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. [17] использовали ST для представления и управления взаимосвязями между объектами, которые были распознаны программным обеспечением *robotic vision*. Янко и Друри [18] создали таксономию для взаимодействия человека и робота (HRI), позволяющего сравнивать различные системы HRI.

Онтологии – один из семантических методов. 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 построения онтологий верхнего уровня¹⁰, а в последние годы активно ведутся работы по формированию онтологий конкретных прикладных областей, таких как воздушные, наземные, групповые РТК [19]. Это объемная работа и исследователями признается необходимость объединения усилий многих коллективов для её реализации¹¹. В робототехнике онтологии используются для определения и

¹⁰ IEEE RAS Ontologies for Robotics and Automation Working Group. – <https://www.ieee-ras.org/industry-government/standards>

¹¹ Christensen H.I., Sloman A., Kruijff G.-J., J. Wyatt (Eds.) Cognitive Systems. Reports on the European Union project on Cognitive Systems. – <https://cordis.europa.eu/projects>

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. Создатели контента для робототехники могут создавать сценарии для действий роботов, которые могут выполняться в нескольких роботах с одинаковым (или похожим) описанием воплощения.

Наш подход в создании информационных систем 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 [20]. 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 вычислительные и сенсорные средства. Результатом этого рассмотрения является определение связок алгоритм – предоставление исходных данных, исполнитель. Как и на предыдущем шаге определяется наличие или отсутствие таких связок. Опять-таки, при развитии предлагаемого онтологического подхода, перечень таких связок 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 неудовлетворительных 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 исследований. 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 «вручную» с привлечением экспертов конечного пользователя. По оси алгоритмов алгоритмическое обеспечение группируем в информационно-двигательные действия, которым присваиваются идентификаторы в виде ключевых слов, также включаемых в состав глоссария прикладной области. По оси аппаратуры работу с сенсорной частью – регистрируемыми блоками СТЗ – описываем на языке команд интерпретирующей навигации¹², значительная часть которых имеет автоматизированный перевод в программы-исполнители, которые, в свою очередь, имеют онтологическое описание в рамках каркаса программного обеспечения СТЗ реального времени¹³ и исполнены в стандарте системы ROS [21]. Систему указателей/посредников от формулировки задачи – последовательности алгоритмов на языке информационно-двигательных действий к командам интерпретирующей навигации в настоящий момент формируем вручную.

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

На основе анализа и обобщения зарубежного и отечественного опыта развития робототехники рассмотрены пути воплощения, технологии создания СТЗ для решения военно-технических задач. Компонентную информационно-управляющих систем РТК предложено вести в конфигурационном пространстве, конструктивно представляющем всё многообразие технологий, используемых при создании РТК с ПСА. Перспективным представляется онтологический подход в создании интеллектуальных роботов и автономных мобильных средств, в частности. В настоящее время делаются первые шаги 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 перед РТК с ПСА до компоновки программно-аппаратного комплекса системы информационного

¹² Ахтеров А.В. Некоторые аспекты интерпретирующей навигации мобильного робота: препринт. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2005. – https://www.keldysh.ru/papers/2005/rep97/rep2005_97.html

¹³ 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.

обеспечения РТК, решающей эту задачу, будет полностью автоматизирован. Учитывая большую трудоёмкость создания программных инструментальных средств, сбора и анализа исходных данных, 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.

Список использованных источников

1. Петричкович Я., Солохина Т., Беляев А., Кузнецов Д., Меньшенин Л., Путря Ф., Функнер А., Фролова С., Гусев В., Янакова Е. RoboDeus – 50-ядерная гетерогенная СнК для встраиваемых систем и робототехники // *Электроника: наука, технология, бизнес*. 2020. №7(198). – С. 52-63.
2. Laird J.E., Newell A., Rosenbloom P.S. Soar: An Architecture for General Intelligence // *Artificial Intelligence*. 1987. Vol.33. Iss.1. – P. 1-64.
3. Newell A., Simon H. GPS, A Program that Simulates Human Thought // *Computers and Thought* / Ed. by E.A.Feigenbaum, J.Feldman. McGraw-Hill, 1963. – P. 279-293.
4. Pearson J.D., Huffman S.B., Willis M.B., Laird J.E., Jones R.M. A Symbolic Solution to Intelligent Real-Time Control // *Robotics and Autonomous Systems*. 1993. Vol.11. – P. 279-291.
5. Etherington D.W. What Does Knowledge Representation Have to Say to Artificial Intelligence? *Proceedings of the Fourteenth National Conference on Artificial Intelligence and Ninth Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference, AAAI 97, IAAI 97, July 27-31, 1997, Providence, Rhode Island, USA. AAAI Press / MIT Press 1997. – P. 762.*
6. Siegwart R., Nourbakhsh I.R. *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. MIT Press, 2004. – 321 p.
7. Arkin R.C. *Navigational Path Planning for a Vision-Based Mobile Robot* // *Robotica*. 1989. Vol.7. – P. 49-63.
8. Thorpe C., Hebert M.H., Kanade T., Shafer S.A. *Vision and Navigation for the Carnegie Mellow NavLab* // *IEEE PAMI*. 1988. Vol.10. Iss.3. – P. 362-373.
9. Kuipers B. *The Spatial Semantic Hierarchy* // *Artificial Intelligence*. 2000. Vol.119. Iss.1-2. – P. 191-233.
10. Dickmanns E.D. *A General Dynamic Vision Architecture for UGV and UAV* // *Applied Intelligence*. 1992. Vol.2. – P. 251-270.
11. Lauria S., Bugmann G., Kyriacou T., Bos J., Klein E. *Converting natural language route instructions into robot executable procedures* // *Proc. IEEE Int. Workshop Roman, Berlin, Germany, 2002. – P. 223-228.*
12. Parker L.E. ALLIANCE: An Architecture for Fault Tolerant Multirobot Cooperation // *IEEE Transactions on Robotics and Automation*. April 1998. Vol.14. Iss.2. – P. 220-240.
13. Sellami Z., Camps V., Aussenac-Gilles N., Rougemaille S. *Ontology Co-construction with an Adaptive Multi-Agent System: Principles and Case-Study* // *Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management* / Ed. by A.Fred, J.L.G.Dietz, K.Liu, J.Filipe. Springer Berlin Heidelberg, 2011. – P. 237-248.
14. Schlenoff C., Messina E. *A Robot Ontology for Urban Search and Rescue* // *Proceedings of the 2005 ACM workshop on Research in knowledge representation for autonomous systems, KRAS 2005, Bremen, Germany, November 4, 2005. – P. 27-34.*
15. Tran Q., Low G. *MOBMAS: A Methodology for Ontology Based Multi-Agent Systems Development* // *Information and Software Technology*. Jun. 2008. Vol.50. Iss.7-8. – P. 697-722.
16. Chella A., Cossentino M., Pirrone R., Ruisi A. *Modeling ontologies for robotic environments* // *Proc. of the 14th international conference on Software engineering and knowledge engineering, 2002. – P. 80-83.*
17. Johnston B., Yang F., Mendoza R., Chen X., Williams M. *Ontology Based Object Categorization for Robots* // *Proceedings of the 4th International Conference on Computational Intelligence, Robotics and Automation (CIRAS 2007), Palmerston North, New Zealand. Citeseer, 2008. – P. 219-231.*
18. Yanco H., Drury J. *Classifying human-robot interaction: an updated taxonomy* // *Systems, Man and Cybernetics, 2004, IEEE International Conference. 2004. Vol.3. – P. 2841-2846.*
19. Paull L., Severac G., Raffo G.V., Angel-Fernandez J.M., Boley H., Durst P., Gray W., Habib M., Nguyen B., Sampath K., Veera R. *Towards An Ontology for Autonomous Robots* // *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems. Vilamoura, Algarve, Portugal. October 7-12, 2012. – P. 1359-1364.*
20. Богуславский А.А., Боровин Г.К., Карташев В.А., Павловский В.Е., Соколов С.М. *Модели и алгоритмы для интеллектуальных систем управления*. М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2019. – 228 с.
21. Newman W.S. *A Systematic Approach to Learning Robot Programming with ROS*. CRC Press, 2017. – 502 p.