

Научная статья

DOI: 10.15593/2499-9873/2022.03.04

УДК 004.8

Г.П. Виноградов^{1,2}

¹ Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

² Центрпрограммсистем, Тверь, Россия

ПАТТЕРНЫ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМИ СУЩНОСТЯМИ

В настоящее время активно идет процесс интеграции автономных роботизированных комплексов и личного состава войсковых соединений. Такой новый объект в вооруженных силах (вооруженных сил) должен обладать свойством самодостаточного поведения, гарантирующего выполнения некоторой миссии. Проблема состоит в построении информационных процессов в системах управления, обеспечивающих предсказуемое поведение автономной искусственной системы в составе подразделений вооруженных сил, подобное человеческому. В настоящее время ответом на эти вопросы является разработка искусственных сущностей, использующих символьные или нейросетевые методы и модели приобретения и формализации «знаний». Онтологии позволили сделать эти методы и модели знаний интерпретируемыми в естественно-языковой семантике и вывести проблему человеко-машинного взаимодействия на новый уровень, что отмечалось рядом исследователей. Однако следует отметить, что пока не существует модели процесса познания, полученные теоретические результаты не востребованы практикой и представляют только теоретический интерес. Наблюдается разрыв между примитивными моделями поведения искусственных сущностей, моделями их взаимодействия и ожиданиями со стороны практики. В исследовании предложен подход к интеллектуализации поведения искусственных сущностей путем пересмотра логических и математических абстракций, положенные в основу построения их бортовых систем управления на основе развития теории паттернов. Такой подход обеспечивает перенос эффективного человеческого опыта в системы управления искусственными сущностями и совместимость теологического подхода и подхода, основанного на причинно-следственных связях. Показано, что выбор в условиях жесткого дефицита времени осуществляется на основе паттернов поведения, которые отражают эффективный опыт. Паттерны образуют как информационную структуру представлений, так и множество возможных вариантов представлений. Оценки удовлетворенности текущей ситуацией выбора субъектом приводят к изменению структуры интересов субъекта, и он может ее выбирать. Разработана формальная модель паттерна поведения. Рассматриваются проблемы идентификации и построения моделей паттернов. Предложено для этих целей использовать четыре позиции обработки информации, разработан метод логического вывода на паттернах. В работе предложен подход к разработке программного обеспечения интеллектуальных систем управления автономными системами на базе теории паттернов. Приведены результаты решений идентификации паттерна поведения, использующие тренажерные системы нового поколения с голосовым управлением. Рассматриваются вопросы построения архитектуры безэкипажных автономных необитаемых подводных аппаратов с бортовой системой управления, использующей модели паттернов и систему логического вывода на паттернах. Решается проблема тактики поведения узла – автономного необитаемого аппарата – на основании данных от бортовой сенсорной системы.

Ключевые слова: принятие решений, паттерны, интеллектуальная система управления, нечеткое суждение, ситуация выбора, автономный необитаемый подводный аппарат, искусственная сущность, когнитивные модели, автономный агент, бортовой интеллект, ситуационная осведомленность.

G.P. Vinogradov^{1,2}

¹ Tver State Technical University, Tver, Russian Federation

² Research Institute Centerprogramsystem, Tver, Russian Federation

PATTERNS IN INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS FOR AUTONOMOUS ENTITIES

Abstract. Nowadays, the process of integrating autonomous robotic systems (ARS) and military personnel formation is actively underway. Such a new object in the armed forces (AF) should have the property of self-sufficient behavior that guarantees mission fulfillment. The problem is in the construction of information processes in control systems that ensure a predictable behavior of an autonomous artificial system within the Armed Force subdivisions similar to a human one. Currently, the solution for this problem is the development of artificial entities that use symbolic or neural network methods and models for acquiring and formalizing "knowledge". Ontologies made it possible to make these methods and knowledge models interpretable in natural language semantics and to bring the problem of human-machine interaction to a new level, which was noted by a number of researchers. Nevertheless, it should be noted that as long as there is no cognition process model, the theoretical results obtained are not in demand in practice and are only of theoretical interest. There is a gap between primitive behavior models of artificial entities, their interaction models and expectations from practice.

The purpose of this work is to propose an approach to the intellectualization of the artificial entities' behavior by revising the logical and mathematical abstractions underlying the construction of their onboard control systems based on the pattern theory development. Such approach ensures the transfer of effective human experience to the control systems of artificial entities, as well as the compatibility of the theological and causal approach. It is shown that the choice under severe time constraints is based on behavioral patterns that reflect effective experience. Patterns form both the information structure of representations and a set of possible variants of representations. Subject's assessments of satisfaction with the current choice situation lead to a change in a subject's interest structure, and he can choose it. There is a developed formal model of the behavioral pattern and a method of logical inference on patterns. The paper considers the problems of identification and construction of pattern models. It proposes to use four positions of information processing for these purposes. The paper proposes an approach to developing software for intelligent control systems for autonomous systems based on the pattern theory. There are the results of behavioral pattern identification solutions that use new generation training systems with voice control. The paper considers the issues of constructing the architecture of unmanned undersea vehicles with an onboard control system that uses pattern models and a pattern inference system. It also solves the problem of the behavior tactics of the node – autonomous unmanned vehicle based on the onboard sensor system data.

Keywords: decision making, patterns, intelligent control system, fuzzy judgment, choice situation, AUV, artificial entity, cognitive models, autonomous agent, onboard intelligence, situational awareness.

Введение

Актуальность работ по созданию и внедрению робототехнических комплексов во флоте связана с изменением концепции ведения боевых действий силами ВМФ РФ. Предполагается, что российский флот будет представлен ударно-разведывательными группировками, в которых силы подводного и надводного базирования, как носители оружия удара и обнаружения, командование и управления этими силами будут интегрированы с помощью средств связи и сетевых технологий в единую информационно-управляющую систему. Элементами та-

кой системы должны быть: традиционные объекты вооруженной борьбы (корабли, самолеты, подводные лодки и т.п.); робототехнические комплексы (РТК) на основе: безэкипажных летательных аппаратов (БПЛА); автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) глайдерного типа; автономных безэкипажных катеров (АБЭК); беспилотных морских мобильных средств (БММС); оперативно развертываемое преимущественно с подводных носителей донное оборудование различной номенклатуры и назначения.

Достичь желаемого резкого повышения эффективности вновь создаваемых робототехнических комплексов для такой системы возможно, главным образом, путем направления усилий конструкторов и ученых на совершенствование интеллектуальной составляющей их системы управления: 1) средств ситуационной осведомленности; 2) совокупности алгоритмов бортовых систем управления (алгоритмы); 3) алгоритмов деятельности экипажа, осуществляющего управление РТК [1; 2]. Эта совокупность образует «бортовой интеллект» РТК (АНПА), что позволяет из набора разрозненных систем бортового оборудования создать функционально целостный объект, нацеленный на выполнение задачи текущего сеанса функционирования.

Под АНПА будем понимать автономную интеллектуальную систему (в дальнейшем – агент), проявляющую поведение, подобное человеческому, и имеющую в своем составе [3; 4]:

- бортовые измерительные устройства (или комплекс бортовых измерительных устройств), выполняющих роль сенсоров, позволяющих получить информацию о состоянии внешней среды и собственном состоянии;
- бортовые исполнительные устройства (или комплекс бортовых исполнительных устройств), с помощью которых система воздействует на внешнюю среду и на саму себя, выполняющие роль эффекторов;
- средства коммуникации с другими системами;
- «бортовой интеллект», составляющими которого могут быть бортовые вычислительные машины, их программное обеспечение, экипаж, являющийся носителем набора алгоритмов для решения задач предметной области, полученный за счет обучения и тренировок.

Агент выполняет поставленные задачи исходя из понимания своего состояния, из своих внутренних (субъективных) представлений о состоянии среды и развитии боевой ситуации, а также информации,

полученной через модуль коммуникации. Агент способен прогнозировать изменение среды от своих действий и оценивать их полезность.

Развитие эффективности и функциональности подобных систем проводится по двум направлениям: а) совершенствование функциональной и аппаратной составляющей в перспективных образцах ВМФ; б) разработка более совершенных алгоритмов выполнения задач экипажем, их передача через обучение и тренировки. Отметим, что совершенствование возможностей агента по этим направлениям недостаточно. Поэтому усилия разработчиков направлены на системную интеграцию всех подсистем бортового оборудования путем разработки информационных технологий на базе моделей алгоритмов искусственного интеллекта и сетевых технологий [5–7]. Необходимость такой интеграции связана с тем, что свойства окружения в настоящее время таковы, что требуемая скорость принятия решений приближается, а в некоторых ситуациях превышает предельно возможные для человека скорости обработки информации, выбора способа реагирования и его реализации. Одним из подходов решения этой проблемы является агентно-ориентированное моделирование [8–10], где агент рассматривается как система, способная адекватно реагировать на изменение внешней среды, не предусмотренной явно встроенными поведенческими механизмами. Однако следует отметить, что подавляющее число исследований в этой области остается на теоретическом уровне [11–13]. Существует разрыв между примитивными моделями поведения сущностей, например в роевой робототехнике, моделями их взаимодействия и ожиданиями со стороны практики [14–16].

На современном этапе при управлении безэкипажным объектом бортовой системой решаются в основном задачи: 1) обработки информации, полученной от сенсоров; 2) применения средств воздействия на изменение внешней обстановки. Задачи целеполагания (стратегии изменения ситуации в благоприятном направлении) и выбора рационального способа (тактики) достижения цели (принятия решений) являются прерогативой только человека-оператора при дистанционном управлении АНПА [17; 18].

В зависимости от степени включения экипажа в контур управления можно выделить три класса бортовых интеллектуальных систем [17; 18]:

- система «Ситуационная осведомленность экипажа», предоставляющая экипажу информацию о текущей внешней и внутренней бор-

товой обстановке (логическая и информационная модели внешней и внутренней обстановки), ситуационные оценки (с их расшифровкой), достаточные для: 1) формирования базы знаний ситуаций и принятия решений по способам действия; 2) выполнения этапа целеполагания; 3) корректировки базы знаний по результатам успешных действий экипажа;

- бортовые советующие экспертные системы, предъявляющие в реальном времени экипажу варианты способов действия с достаточной глубиной проработки, учитывающие понимание ситуации экипажем для их последующей реализации после согласия экипажа [10; 19].

- бортовые интеллектуальные системы управления, объединяющие два перечисленных выше этапа, способные действовать без вмешательства экипажа и к коммуникации с оператором для получения оценки реализованного сеанса и корректировки базы знаний.

В перечисленных интеллектуальных системах используются различные механизмы вывода для выбора рационального способа действия в различных ситуациях [18]. Один из них – оперативный вывод, основанный на лучших паттернах поведения.

Исходные предположения и гипотезы

Примем гипотезу, что переживание/поведение человека следует рассматривать как функцию взаимодействия ситуации и человека. Целенаправленное действие человека зависит как от признаков ситуации, так и от его личностных черт (степень мотивации, структуры способностей, знания и т.п.). Ситуацию можно интерпретировать как компонент причины, которая порождает субъективное отражение (модель) ее у человека. Человек, выбирая определенное поведение на основе субъективного представления ситуации, оказывает влияние на ситуацию, изменяя ее. В то же время процессы, происходящие в сознании человека при выполнении определенных действий, приводят к расширению его структуры способностей (знания, опыт). То есть устойчивые черты человека, которые проявляются в его действиях, через поведение и переживания, могут влиять на ситуацию, изменяя ее. И, наоборот, ситуация может оказывать обратное влияние на устойчивые черты человека, когда он, интерпретируя ее, изменяет свои ценности, нормы, способы действия и опыт, то есть осуществляет адаптацию своих субъективных моделей [20]. Модель поведения агента должна учитывать этот феномен взаимовлияния АНПА и ситуации.

Отметим, что технология использования АНПА в соответствии с вышеизложенным предполагает при решении проблемы их «интеллектуализации» разработку как минимум трех систем:

- внебортовые системы подготовки АНПА к выполнению текущей боевой задачи, которые должны: а) обеспечить перенесение на борт АНПА всей необходимой для успешного выполнения сеанса информации (цели, задачи, карты, алгоритмы связи, способы получения коррекций и т.п.); б) подготовку экипажа сопровождения АНПА;
- вторую группу составляют собственно бортовые интеллектуальные системы управления, обеспечивающие выполнение боевой задачи в автономном режиме;
- третью группу представляют интеллектуальные системы анализа результатов выполнения сеансов АНПА. Результаты их работы являются основой для накопления эффективной и актуальной базы паттернов, а также формирования требований к функциональной и аппаратной составляющей АНПА.

При разработке бортовых интеллектуальных систем управления конструктивным оказалось понятие «типовая ситуация» (ТС). Под ним понимается функционально замкнутая с четко обозначенной значимой целью часть работы АНПА, которая как единое целое встречается в различных (реальных) сеансах, конкретизируясь в них по условиям протекания и по доступным способам разрешения возникающих в ТС проблемных субситуаций [3; 17].

При полной интеллектуализации АНПА ТС и способы действия как реакция на нее образуют индивидуальный паттерн поведения. Деятельность регулируют определенные когнитивные модели целенаправленных действий. Эти модели включают в себя представление о временной последовательности выполнения отдельных видов действий. По аналогии путем реализации способов действия агент также целенаправленно воздействует на объекты среды. Основой для выработки способов действия следует рассматривать субъективные представления агента о ситуации целеустремленного состояния [10]. Будем предполагать, что наблюдаемая деятельность агента является функцией выработанных им программ, являющихся, в свою очередь, результатом присущих ему когнитивных процессов, которые с различной степенью эффективности служат выполнению поставленных задач или достиже-

нию желаемых результатов. Таким образом, план деятельности и его реализация являются продуктом внутреннего программирования. Его результатом является программа (алгоритм) действий, использующий операции, доступные агенту. Она позволяет агенту путем ее реализации преобразовать наблюдаемую ситуацию в желаемую (целевую). Реализуемость созданного алгоритма человек оценивает лингвистическими переменными «убежденность» и «эффективность». Проблема идентификации этих программ должна решаться путем анализа языковых паттернов и невербальной коммуникации.

Понятие о паттернах

Интеллектуализация АНПА должна реализовываться в направлении включения его в деятельность и согласовываться с оператором (командиром). Его поведение и действия должны быть понятны и корректируемы.

Определение. Паттерн – это результат активности человека (группы лиц), связанный с действием, принятием решений, поведения и т.п., осуществленный в прошлом, и рассматриваемый как шаблон (образец) для повторных действий или как обоснование действий по этому шаблону. Человек, проводя освоение своего опыта, нацелен на агрегирование его путем создания моделей паттернов.

Следовательно, модель паттерна следует рассматривать как единицу человеческого опыта, для которой в ситуации, схожей с типовой (кластер), у человека сформирована определенная степень уверенности в получении желаемых состояний. Моделирование паттернов выполняется с ограниченным подмножеством естественного языка, в том числе и моделирование рассуждений на паттернах (*case based reasoning*), что образует специфическую часть человеческого опыта – метаопыт.

Как правило, ситуации, возникающие перед автономной системой, достаточно сложны для конструктивной формализации их традиционными формальными методами, но они хорошо описываются средствами естественного языка и по ним имеется опыт (паттерны) их лучшего разрешения. Носитель такого опыта называется лидером. Опыт лидеров передается с помощью средств коммуникации на выбранном языке [21].

Моделирование паттернов

Процесс моделирования паттернов должен быть направлен на различные уровни сложности тех или иных навыков и способностей.

Простые поведенческие паттерны включают в себя специфические, конкретные, доступные непосредственному наблюдению действия, выполнение которых занимает короткий временной период, например, уклонение от препятствий.

Простые когнитивные паттерны включают в себя специфические, легко идентифицируемые и поддающиеся проверке психические процессы, выполнение которых занимает короткий временной период. Это – запоминание имен объектов среды (внешней и внутренней), формирование онтологии понятий, создание мысленного образа ситуации, оценки, нормы и т. д. Подобные паттерны мышления идентифицируются путем легко поддающихся наблюдению и измерению поведенческих результатов носителей этих паттернов, а также через непосредственную обратную связь.

Простые лингвистические паттерны включают в себя распознавание и использование команд, содержащих определенные ключевые слова, фразы, умение формировать специфические запросы, распознавание и реакцию на команды, пересмотр ключевых команд или отказ от них и т. д. Применение этих навыков также доступно для непосредственного наблюдения и измерения.

Сложные поведенческие (или интерактивные) паттерны включают в себя установление и координацию последовательности или сочетаний простых поведенческих действий. Сложные когнитивные паттерны требуют синтеза или последовательности других простых навыков мышления. Примерами использования сложных когнитивных паттернов являются диагностика проблемы или текущей ситуации, составление программы моделирования развития ситуации или программы действий и т. д.

Сложные лингвистические паттерны требуют интерактивного использования языка в высокодинамичных ситуациях. Примерами способностей, требующих сложных лингвистических навыков, являются убеждение кого-либо в чем-либо, ведение переговоров и т. д.

Подход к идентификации и построению модели паттерна

Можно выделить четыре базовые позиции восприятия, с которых осуществляется сбор и интерпретация информации: первая позиция

(собственная точка зрения человека), вторая позиция (восприятие ситуации с точки зрения другого человека), третья позиция (рассмотрение ситуации с точки зрения незаинтересованного наблюдателя), четвертая позиция восприятия подразумевает рассмотрение ситуации с точки зрения системы, задействованной в ситуации.

Моделирование из первой позиции заключается в том, чтобы попытаться сделать что-либо самостоятельно и исследовать способ, которым это делается. Анализ способа действия выполняется точки зрения исследователя.

Важно подчеркнуть, что для получения подобного описания агентом уже произведенных действий рассматриваемый субъект должен выйти из своей прежней позиции деятельности и перейти в новую позицию, внешнюю как по отношению к уже выполненным действиям, так и по отношению к будущей, проектируемой деятельности. Это называется рефлексией первого уровня: новая позиция агента, характеризующаяся относительно прежней позиции, будет называться рефлексивной позицией, а знания, вырабатываемые в ней, будут рефлексивными знаниями, поскольку они берутся относительно знаний, выработанных в первой позиции.

Вторая позиция предполагает возможно полную имитацию поведения агента, когда исследователь пытается думать и действовать максимально приближенно к мыслям и поступкам агента. Такой подход позволяет понять на интуитивном уровне существенные, но неосознанные аспекты мыслей и действий моделируемого агента. Моделирование с третьей позиции заключается в наблюдении за поведением моделируемого агента в качестве незаинтересованного наблюдателя. В третьей позиции предполагается построение модели способа действия с точки зрения конкретной научной дисциплины, связанной с предметной областью агента. Четвертая позиция предполагает своего рода интуитивный синтез всех полученных представлений с целью получить модель, характеризующуюся максимальными значениями показателей удельной ценностью по результату и эффективности.

Одной из целей моделирования является выявление и идентификация неосознанной компетентности и доведение ее до сознания с целью лучшего понимания, совершенствования и передачи навыка.

Когнитивная и поведенческая компетентность могут быть смоделированы либо «имплицитно», либо «эксплицитно». Имплицитное мо-

делирование предполагает занятие второй позиции по отношению к субъекту моделирования с тем, чтобы добиться интуитивного понимания субъективных переживаний данного человека. Эксплицитное моделирование состоит в переходе в третью позицию с целью описать явную структуру переживаний моделируемого агента так, чтобы ее можно было передать другим. ИмPLICITное моделирование является в первую очередь индуктивным процессом, с помощью которого мы принимаем и воспринимаем структуры окружающего мира. Эксплицитное моделирование по существу является дедуктивным процессом, с помощью которого мы описываем и осуществляем это восприятие. Оба процесса необходимы для успешного моделирования. С одной стороны, без «имPLICITной» стадии не может быть эффективной интуитивной базы, на основе которой можно построить «эксплицитную» модель. С другой стороны, без «эксплицитной» фазы смоделированная информация не сможет воплотиться в приемах или средствах и быть переданной другим.

Результатом должна быть модель, в которой синтезированы: а) интуитивное понимание способностей агента, б) непосредственные наблюдения за работой агента, и в) эксплицитные познания исследователя в предметной области агента.

Основные фазы моделирования

Они отражают движение от имPLICITного моделирования к эксплицитному.

Подготовка. Она подразумевает выбор личности, обладающей той способностью, которую требуется смоделировать, и определение: а) контекста моделирования; б) места и времени доступа к моделируемой личности; в) предпочтительных отношений с моделируемой личностью; г) состояния исследователя в процессе моделирования.

Кроме того, в эту фазу входит создание благоприятных условий, которые позволят полностью погрузиться в процесс.

Фаза 1. Интуитивное понимание. Первая фаза процесса моделирования включает в себя вовлечение моделируемого человека в желаемую деятельность или реализацию способности в соответствующем контексте. Моделирование начинается с принятия «второй позиции» с целью прийти к интуитивному пониманию навыка, который демонстрирует агент. Здесь не надо делать попыток для определения паттер-

нов. Нужно войти в состояние модели и внутренне идентифицировать себя с ней, мысленно имитируя действия агента. Внешнее поведение агента является поверхностной структурой. Вторая позиция позволяет получить информацию о стоящей за ней глубинной структуре. Это фаза рефлексии представлений моделируемого агента или фаза «неосознанного понимания».

Как только получен достаточный уровень интуитивного понимания изучаемой способности, надо создать контекст, в котором можно использовать эту способность, и применить ее, действуя так, как действует агент. Затем надо попытаться достичь того же результата, будучи «самим собой». Таким способом будет получено «двойное описание» моделируемого навыка. Первая фаза моделирования заканчивается тогда, когда будут получены приблизительно такие же результаты, какие получает агент.

Фаза 2. Абстрагирование. Следующий этап процесса моделирования – отделение существенных элементов поведения модели от случайных, посторонних. На этой стадии моделируемые стратегии и виды поведения становятся более эксплицитными. Поскольку выявлена способность достигать результаты, сходные с результатами агента, необходимо построить способ действия на основе представлений исследователя для достижения тех же результатов, используя для этого «первую позицию».

Задача заключается в том, чтобы выявить и определить специфические когнитивные и поведенческие шаги, необходимые для достижения желаемого результата в избранном контексте (контекстах). Для этого используется прием «вынесения за скобки» элементы идентифицированных стратегий или видов поведения, чтобы оценить их значимость. Если при отсутствии какого-либо элемента реакции остаются неизменными, значит, он не является существенным для модели. Если же вследствие пропуска какого-либо элемента полученный результат изменяется – значит, удалось установить нечто важное. Назначение такой процедуры заключается в сведении моделируемых действий к наиболее простым и наиболее элегантным формам, а также в выделении существенного.

По завершении этого этапа будет получена «минимальная модель» понимания способности агента в самом себе (т. е. из «первой позиции») и выработано интуитивное понимание способностей агента из «второй позиции». Вдобавок будет и «третья позиция» – ракурс, в котором будет видна разница между выявленным способом воспроизве-

дения моделируемой способности и тем, как сам человек проявляет эту способность.

Фаза 3. Интегрирование. Финальная стадия моделирования подразумевает конструирование контекста и процедур, которые позволили бы другим освоить смоделированные вами навыки, а следовательно, получить те же результаты, что и человек, послуживший для этого моделью. Для того чтобы составить необходимый план, необходимо синтезировать информацию, полученную во всех позициях восприятия. В отличие от простой (пошаговой) имитации, подражания действиям моделируемого человека, наиболее эффективным считается создание у обучающихся соответствующего референтного опыта, который позволяет обнаружить и разработать «последовательности операций», необходимых для успешного осуществления навыка. Для приобретения этого навыка необязательно проходить через всю процедуру моделирования. Снова заметим, что руководящим принципом на этой стадии является «полезность» способов действия для тех агентов, на которых рассчитана модель.

Пример использования программной реализации алгоритма вывода по паттерну

Рассматриваются вопросы построения архитектуры безэкипажных АНПА с бортовой системой управления, использующей модели паттернов и систему логического вывода на паттернах. Решается проблема тактики поведения узла – автономного необитаемого аппарата (АНПА) – на основании приведенных следующих данных. Входная информация:

а) *ситуационный вектор* $x_i, i = \overline{1, 10}$ – дальность до цели; видимость; глубина; скорость; запас хода; количество боеприпасов; состояние АНПА; видимость противником; метеорологические условия; возможность атаки;

б) *термы*. Для каждой координаты ситуационного вектора определены термы (табл. 1);

в) *функции принадлежности*. В качестве функций принадлежности выбраны трапециевидные функции принадлежности координат ситуационного вектора;

г) *паттерны*: залечь на дно; вернуться на базу; продолжать, но быть готовым вернуться; продолжать, соблюдая осторожность; продолжать выполнять задание в штатном режиме.

Таблица 1

Термы для координаты ситуационного вектора

№ п/п	Координаты ситуационного вектора	Термы
1	Дальность до цели	Очень малая; малая; средняя; большая; очень большая
2	Видимость	Нулевая; малая; средняя; большая; отличная
3	Глубина	Минимальная; малая; средняя; большая; максимальная
4	Скорость	Минимальная; малая; средняя; большая; максимальная
5	Запас хода	Почти нет; малый; средний; достаточный; максимальный
6	Количество боеприпасов	Почти нет; мало; среднее; достаточное; полный боезапас
7	Состояние АНПА	Авария; пока движется; без крит. повреждений; хорошее; очень хорошее
8	Видимость противником	Оч. низкая; низкое; среднее; высокое; оч. хорошее
9	Метеорологические условия	Оч. плохие; плохие; нормальные; хорошие; отличные
10	Возможность атаки	Почти нет; слабая; средняя; высокая; оч. высокая

Каждое логическое высказывание – это нечеткое отношение соответствующих нечетких множеств. Например, для строки j это будет

$$a_1^{j1} \cdot a_2^{j2} \cdot \dots \cdot a_n^{jn}.$$

Функция принадлежности нечеткого множества, образованного этим нечетким отношением, будет

$$\mu_{a_1}^{j1}(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_{a_i}^{ji}(x_i) \wedge \dots \wedge \mu_{a_n}^{jn}(x_n).$$

Здесь вычисление этого выражения осуществляется с помощью операции \min .

Блок логических высказываний, относящийся к паттерну d_j , представляет собой объединение соответствующих нечетких множеств, образованных строками выделенного блока. Тогда функция принадлежности этого объединения будет определяться

$$\mu_{d_j}(x_i, i = \overline{1, n}) = \bigvee_{i=1}^p \bigwedge_{i=1}^n \mu_i^{jK_j}(x_i),$$

где « \vee » означает операцию max.

Формально представленный алгоритм определения функции принадлежности паттерна d_j можно записать в виде:

а) фиксируем произвольную точку

$$x_i^* \in U_i, i = \overline{1, n};$$

б) для каждого блока матрицы знаний, соответствующего d_j , определим $\mu_{d_j}(x_i, i = \overline{1, n})$ в этой точке согласно табл. 2 [2; 3].

Таблица 2

Определение координаты ситуационного вектора

№ п/п	Координаты ситуационного вектора					min	max	d_j
	x_1	...	x_i	...	x_n			
...
$i_1 \dots$ j_s \dots j_{K_j}	$(a_1^{j1})^*$ ...	...	$(a_i^{ji})^*$ ...	...	$(a_1^{jn})^*$...	$\min_i (a_i^{i1})^*$	$\max_{j_s} \min_i (a_i^{jss})^*$	μ_{d_j}
	$(a_1^{js})^*$ ...	...	$(a_i^{js})^*$ ...	...	$(a_n^{js})^*$...	$\min_i (a_i^{is})^*$		
	$(a_1^{jK_j})^*$ ...	...	$(a_i^{jK_j})^*$ ...	...	$(a_n^{jK_j})^*$...	$\min_i (a_i^{iK_j})^*$		
...

Заметим, что для фиксированной точки $x_i^* \in U_i, i = \overline{1, n}$ блок матрицы, представленный в табл. 2, является числовым, так как вместо каждого термина a_i^{js} из этого блока поставлено значение его функции принадлежности $(a_i^{js})^*$, вычисленное в точке x_i^* . Операция $\min_i (a_i^{is})^*$ производится над числами, стоящими в строках « i » $\overline{1, n}$, и в столбец «min» заносится минимальное число в соответствующей строке. Операция $\max_{j_s} \min_i (a_i^{jss})^*$ определяет в полученном массиве строчных минимумов $j_s \in \overline{1, K_j}$ наибольшее значение. Проводя такие вычисления для каждой точки универсального множества, получим требуемые значения функции принадлежности.

Список литературы

1. Борисов П.А., Виноградов Г.П., Семенов Н.А. Интеграция нейросетевых алгоритмов, моделей нелинейной динамики и методов нечеткой логики в задачах прогнозирования // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2008. – №1. – С. 78–84.
2. Системы управления вооружением истребителей: основы интеллекта многофункционального самолета / под ред. академ. Е.А. Федосова; Российская академия ракетных и артиллерийских наук. – М.: Машиностроение, 1999. – С. 2005.
3. Виноградов Г.П., Кирсанова Н.В., Фомина Е.Е. Теоретико-игровая модель целенаправленного субъективно рационального выбора // Нейроинформатика. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 1–12.
4. Vinogradov G.P. A Subjective Rational Choice // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 803 (2017). – 012176. DOI: 10.1088/1742-6506/803/1/012176.
5. Федунев Б.Е., Прохоров М.Д. Вывод по прецеденту в базах знаний бортовых интеллектуальных систем // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. – №3. – С. 63–72.
6. Грибов В.Ф., Федунев Б.Е. Бортовая информационная интеллектуальная система «Ситуационная осведомленность экипажа» для боевых самолетов // Труды ГосНИИАС. Серия ВА. – 2010. – Вып. 1 (18). – С. 5–16.
7. Федунев Б.Е. Механизмы вывода в базе знаний бортовых оперативно-советующих экспертных систем // Изв. РАН ТиСУ. – 2002. – № 4.
8. Городецкий В.И., Самойлов В.В., Троцкий Д.В. Базовая онтология коллективного поведения автономных агентов и ее расширения // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2015. – №5. – С. 102–121.
9. Виноградов Г.П., Кузнецов В.Н. Моделирование поведения агента с учетом субъективных представлений о ситуации выбора // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2011. – № 3. – С. 58–72.
10. Виноградов Г.П. Моделирование принятия решений интеллектуальным агентом // Программные продукты и системы. – 2010. – № 3. – С. 45–51.
11. A methodology for adaptive multi-agent systems engineering / C. Bernon, M.-P. Gleizes, S. Peyruqueou, G. Picard // Proc. III ESAW. – 2002. – Vol. 2577. – P. 156–169. DOI: 10.1007/3-540-39173-8_12.
12. Fog computing and its role in the internet of things / F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, S. Addepalli // Proc. MCC. – 2012. – P. 13–16. DOI: 10.1145/2342509.2342513.
13. Multi-robot exploration for search and rescue missions: a report of map building in RoboCupRescue 2009 / Nagatani K., Okada Y., Tokunaga N., Yo-

shida K., Kiribayashi S., Ohno K., Takeuchi E. [et al.] // *Journal of Field Robotics*. – 2011. – Vol. 28, no. 3. – P. 373–387. DOI: 10.1002/rob.20389.

14. Виноградов Г.П., Прохоров А.А. Ontologies in the problems of building domain model // *Программные продукты и системы*. – 2018. – № 4. – С. 677–684. DOI: 10.15827/0236-235x.124.677-683.

15. Подход к проектированию программного обеспечения систем управления искусственными сущностями / Г.П. Виноградов, И.А. Конюхов, А.А. Прохоров, Г.А. Шепелев // *Программные продукты и системы*. – 2021. – Т. 34, № 1. – С. 197–206. DOI: 10.15827/0236-235X.133.197-206.

16. Финн В.К. Далеко не все функции естественного интеллекта могут быть формализованы и автоматизированы // *Коммерсант. Наука*. – 2019. – Т. 68. – С. 33–36.

17. Федунев Б.Е. Конструктивная семантика для разработки алгоритмов бортового интеллекта антропоцентрических объектов // *Изв. РАН ТиСУ*. – 1998. – №5.

18. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Радио и связь, 1996.

19. Федунев Б.Е., Шестопалов Е.В. Оболочка бортовой оперативно советующей экспертной системы для типовой ситуации полета «Ввод группы в воздушный бой» // *Изв. РАН ТиСУ*. – 2010. – №3.

20. Vinogradov G.P. A subjective rational choice // *Journal of Physics: Conf. Series*. – 2017. – Vol. 803. – P. 012176–012176. DOI: 10.1088/1742-6596/803/1/012176.

21. Vinogradov G.P. Pattern control system // *Software Journal: Theory and Applications*. – 2020. – № 2. – P. 10–19.

References

1. Borisov P.A., Vinogradov G.P., Semenov N.A. Integration of neural network algorithms, nonlinear dynamics models, and fuzzy logic methods in prediction problems. *J. of Computer and Systems Sciences Intern.*, 2008, vol. 47, pp. 72–77.

2. *Sistemy upravleniya vooruzheniyem istrebiteley: osnovy intellekta mnogofunktsional'nogo samoleta* [Fighter weapon control systems: the basics of the intelligence of a multifunctional aircraft]. E.A. Fedosov (Ed.). Moscow, Mashinostroenie, 1999, 2005 p.

3. Vinogradov G.P., Kirsanova N.V., Fomina E.E. Teoretiko-igrovaya model' s tselenapravlennoy sub'yektivno ratsional'nogo vybora [Game-theoretic model of purposeful subjectively rational choice]. *Neuroinformatics*, 2017, vol. 10, no. 1, pp. 1–12. Available at: http://www.niisi.ru/iont/ni/Journal/V10/N1/Vinogradov_et_al.pdf (Accessed 01 May 2022).

4. Vinogradov G.P. A Subjective Rational Choice. *IOP Conf. Series: J. of Physics: Conf. Series*, 803 (2017) 012176 DOI: 10.1088/1742–6506/803/1/012176.
5. Fedunov B.E., Prokhorov M.D. Vyvod po pretsedentu v bazakh znaniy bortovykh intellektual'nykh sistem [Inference by precedent in the knowledge bases of onboard intelligent systems]. *Artificial intelligence and decision making*, 2010, no. 3, p. 63–72.
6. Gribov V.F., Fedunov B.E. Bortovaya informatsionnaya intellektual'naya sistema "Situatsionnaya osvedomlennost' ekipazha" dlya boyevykh samoletov [On-board information intelligent system "Crew situational awareness" for combat aircrafts]. *Trudy GosNIAS, seriya VA*, no. 1 (18), 2010, p. 5–16.
7. Fedunov B.E. Mekhanizmy vyvoda v baze znaniy bortovykh operativno sovetuyushchikh ekspertnykh sistem [Output mechanisms in the knowledge base of on-board advising expert systems]. *Izv. RAN TiSU*, 2002, no. 4.
8. Gorodetsky V.I., Samoylov V.V., Trotskii D.V. The reference ontology of collective behavior of autonomous agents and its extensions. *J. of Computer and Systems Sciences Intern.*, 2015, iss. 54, p. 765–782.
9. Vinogradov G.P., Kuznetsov V.N. Modelirovaniye povedeniya agenta s uchetom sub'yektivnykh predstavleniy o situatsii vybora [Modeling the agent's behavior taking into account subjective ideas about the situation of choice]. *Artificial intelligence and decision making*, 2011, no. 3. pp. 58–72.
10. Vinogradov G.P. Modelirovaniye prinyatiya resheniy intellektual'nym agentom [Modeling decision making by an intelligent agent]. *Software & systems*. 2010, no. 3, pp. 45–51.
11. Bernon C., Gleizes M.-P., Peyruqueou S., Picard G. A methodology for adaptive multi-agent systems engineering. *Proc. III ESAW*, 2002, vol. 2577, pp. 156–169. DOI: 10.1007/3-540-39173-8_12.
12. Bonomi F., Milito R., Zhu J., Addepalli S. Fog computing and its role in the internet of things. *Proc. MCC*, 2012, pp. 13–16. DOI: 10.1145/2342509.2342513.
13. Nagatani K., Okada Y., Tokunaga N., Yoshida K., Kiribayashi S., Ohno K., Takeuchi E. et al. Multi-robot exploration for search and rescue missions: A report of map building in RoboCupRescue 2009. *J. of field robotics*, 2011, vol. 28, no. 3, pp. 373–387. DOI: 10.1002/rob.20389.
14. Vinogradov G.P., Prokhorov A.A. Ontologies in the problems of building domain model. *Software & systems*, 2018, no. 4, pp. 677–684. DOI: 10.15827/0236-235x.124.677-683.
15. Vinogradov G.P., Konyukhov I.A., Prokhorov A.A., Shepelev G.A. Podkhod k proyektirovaniyu programmogo obespecheniya sistem upravleniya iskusstvennymi sushchnostyami [An approach to designing software for control systems for artificial entities]. *Software & systems*, 2021, no. 1, pp. 197–206. DOI: 10.15827/0236-235X.133.197-206.

16. Finn V.K. Daleko ne vse funktsii yestestvennogo intellekta mogut byt' formalizovany i avtomatizirovany [Not all functions of natural intelligence can be formalized and automated]. *Kommersant. Nauka*, 2019, no. 68, pp. 33–36.

17. Fedunov B.E. Konstruktivnaya semantika dlya razrabotki algoritmov bortovogo intellekta antropotsentricheskikh ob"yektov [Constructive semantics for developing onboard intelligence algorithms for anthropocentric objects]. *Izv. RAN TiSU*, 1998, no. 5.

18. Zadeh L. Ponyatiye lingvisticheskoy peremennoy i yeye primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy. [The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions]. Moscow, Radio i svyaz', 1996.

19. Fedunov B.E., Shestopalov E.V. A shell of an onboard online advisory expert system for typical flight situation "Introduction of a group into an air fight". *J. of Computer and Systems Sciences Intern.*, 2010, iss. 49, pp. 426–443.

20. Vinogradov G.P. A subjective rational choice. *J. of Physics: Conf. Series*, 2017, vol. 803, pp. 012176–012176. DOI: 10.1088/1742-6596/803/1/012176.

21. Vinogradov G.P. Pattern control system. *Software Journal: Theory and Applications*, 2020, no. 2, pp. 10–19. Available at: <http://swsys-web.ru/en/pattern-control-system.html> (Accessed 01 May 2022).

Сведения об авторе

Виноградов Геннадий Павлович (Тверь, Россия) – доктор технических наук, доцент, профессор, Тверской государственный технический университет, Научно-исследовательский политехнический университет (170023, Тверь, ул. Маршала Конева, 12, e-mail: wgp272ng@mail.ru).

About the author

Gennady P. Vinogradov (Tver, Russia) – Dr. Habil. in Engineering, associate professor, Professor of the Computer Science and Applied Mathematics Faculty, Tver State Technical University (12, Marshal Konev St., Tver, 170023, e-mail: wgp272ng@mail.ru)

Библиографическое описание статьи согласно

ГОСТ Р 7.0.100–2018:

Виноградов, Г. П. Паттерны в интеллектуальных системах управления автономными сущностями / Г. П. Виноградов. – текст : непосредственный. – DOI: 10.15593/2499-9873/2022.3.04 // Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences. – 2022. – № 3. – С. 69–87.

Цитирование статьи в изданиях РИНЦ:

Виноградов, Г. П. Паттерны в интеллектуальных системах управления автономными сущностями / Г. П. Виноградов // Прикладная математика и вопросы управления. – 2022. – № 3. – С. 69–87. – DOI: 10.15593/2499-9873/2022.3.04

Цитирование статьи в references и международных изданиях

Cite this article as:

Vinogradov G.P. Patterns in intelligent control systems for autonomous entities. *Applied Mathematics and Control Sciences*, 2022, no. 3, pp. 69–87. DOI: 10.15593/2499-9873/2022.3.04 (in Russian)

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Вклад. 100 %.

Поступила: 10.04.2022

Одобрена: 20.04.2022

Принята к публикации: 01.09.2022