

6. *Васильев С.Н.* Методы интеллектуализации компьютерных систем обучения // Материалы 1-й Всероссийской научной конференции с международным участием "Системный анализ и семиотическое моделирование" (SASM-2011). – 2011. – С. 3-12.
7. *Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф., Пономаренко В.А.* Образ в системе психической регуляции деятельности. – М.: Наука, 1986.
8. *Бодров В.А., Орлов В.Я.* Психология и надежность: человек в системе управления техникой. – М.: ИП РАН, 1998.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.Х. Пшихопов.

Васильев Станислав Николаевич

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.

E-mail: snv@ipu.ru.

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65.

Тел.: 84953348910.

Директор института; академик РАН.

Данилова Светлана Кузьминична

E-mail: lab57_1@ipu.ru.

Тел.: 84953349240.

Ведущий научный сотрудник; к.т.н.

Борисов Владимир Георгиевич

Ведущий научный сотрудник; к.т.н.

Vasiliev Stanislav Nikolaevich

Trapeznikov Institute to Control Sciences of Russian Academy of Sciences.

E-mail: snv@ipu.ru.

65, Profsoyuznaya Street, Moscow, 117997, Russia.

Phone: +74953348910.

Director of the Institute; Academician RAS.

Danilova Svetlana Kuziminichna

E-mail: lab57_1@ipu.ru.

Phone: +74953349240.

Leading scientific employee; Cand. of Eng. Sc.

Borisov Vladimir Georgievich

Leading scientific employee; Cand. of Eng. Sc.

УДК. 004.89

А.В. Ивашенко, О.В. Карсаев, П.О. Скобелев, А.В. Царев, Р.М. Юсупов

**МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

Рассматривается технология разработки мультиагентных систем, развиваемая совместными усилиями СПИИРАН и НПК "Разумные решения" (Группа компаний «Генезис знаний»), которая может использоваться для разработки сетецентрических систем управления. Дается сопоставление возможностей мультиагентных систем с проблемами, связанными с разработкой сетецентрических систем управления.

Мультиагентная технология; сетецентрические системы управления.

A.V. Ivaschenko, O.V. Karsaev, P.O. Skobelev, A.V. Tzarev, R.M. Usupov

MULTI AGENT TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT OF NETWORK-CENTRIC CONTROL SYSTEMS

The paper describes multi agent systems development technology that is elaborated mutually by SPIIRAS and Smart Solutions ("Knowledge Genesis" Group of Companies) and can be used for development of network-centric control systems. Comparison of agent based system opportunities to problems that are related to development of network-centric control systems is considered.

Agent based technology; network-centric systems of control.

Введение. В настоящее время одной из основных проблем, стоящих перед современной Россией, является обеспечение национальной безопасности границ государства и сохранение государственного суверенитета. Решение обозначенных задач является одним из приоритетных направлений политики Правительства РФ, что подтверждается принятием и утверждением Президентом Российской Федерации в мае 2009 г. «Стратегии национальной безопасности РФ до 2020 года». В этом документе приводится анализ и прогноз военно-политической обстановки в условиях разнонаправленного воздействия глобальных факторов, а также изложены основные национальные приоритеты России в различных сферах национальной безопасности [1]. Особенность данного документа состоит в том, что безопасность страны обеспечивается через реализацию стратегических национальных приоритетов. В их числе определены оборона, государственная и общественная безопасность.

В то же самое время совершенно очевидно, что защита государства невозможна без создания эффективной системы организации и планирования боевых действий, управления военными подразделениями и службами масштаба государства или отдельных регионов, военных округов и др., а также без внедрения современных моделей управления. На реализацию данных моделей направлена проводимая в настоящее время военная реформа. Суть той реформы состоит в переходе от громоздкой и неуклюжей военной машины, содержание которой обходится стране очень большими затратами и при этом не обеспечивается высокий уровень безопасности государства, к компактным высококомобильным Вооружённым силам (ВС), оснащённым современными образцами вооружения, военной и специальной техники, и способным к оперативному реагированию на возникающие вызовы и угрозы [2]. Для обеспечения эффективного взаимодействия между такими мобильными подразделениями в процессе проведения боевых операций потребуется внедрение самых современных информационных технологий.

В связи с этим в настоящее время рассматриваются новые принципы организации и управления системы вооружения ВС РФ. В частности, в работе [3] указывается, что в числе основных требований к перспективам развития системы вооружения ВС РФ на современном этапе важнейшей задачей представляется переход от централизованного иерархического управления к «сетевому».

Одним из наиболее перспективных подходов для реализации принципов сетевого управления является разработка информационных систем на основе мультиагентных технологий. Целью настоящей статьи является обоснование этого утверждения. Для достижения данной цели в первом разделе статьи приводится сопоставление концепции сетевых систем с концепцией мультиагентных систем (МАС). С одной стороны, дается краткое описание ключевых проблем, решение которых определяет возможность и эффективность создания сетевых систем управления. С другой стороны, приводится обобщенное описание характерных свойств и возможностей мультиагентных технологий, предназначенных для решения проблем подобного рода. В последующих разделах статьи приводится концептуальное описание предлагаемого подхода к разработке сете-

центрических систем управления, функциональные возможности системы, с точки зрения различных пользователей, а также основные технические аспекты предлагаемой МАС.

1. Сопоставление сетецентрических систем управления с возможностями мультиагентных систем.

1.1. Распределенная программная среда. В соответствии с работой [4], концепция сетецентрической системы рассматривает представление любого вооруженного формирования в виде компьютерной сети, объединяющей элементы сбора информации (сенсоры), средства физического воздействия на объекты противника (акторы), и интеллектуальные (информационно-управляющие) элементы, реализующие функции анализа ситуации, принятия и реализации решений по управлению сенсорами и акторами. При этом также указывается, что практическая реализация концепции сетецентрических систем невозможна без эффективного решения вопросов создания ряда ключевых компонент, одной из которых является «распределенная программная среда». Эта среда должна «концентрировать в себе интеллект всей проектируемой мегасистемы ...». Достижение такого качества в распределенной системе главным образом обеспечивается за счет организации эффективной схемы взаимодействия ее элементов.

Указанная проблема полностью ассоциируется с основами построения МАС. Основные элементы таких систем агенты, являющиеся в сообществе агентов «представителями» сущностей предметной среды. В данном случае, агенты могут рассматриваться представителями выше указанных сенсоров, акторов, информационно-управляющих элементов. В агентах описываются соответствующие сущностям сценарии поведения и правила принятия решений. При этом основное свойство МАС проявляется в том, что поведение агентов предусматривает их взаимодействие при решении тех или иных задач. Следует отметить, что многоагентные технологии воплощают в реальность новую парадигму компьютерных вычислений, основанных на взаимодействиях. Изучение и разработка различных схем и протоколов взаимодействия агентов является одним из основных направлений исследований в рамках данных технологий. Наряду с протоколами взаимодействия, реализующих адресную систему обмена сообщениями, используются так называемые «доски сообщений», реализующие общедоступную область памяти для хранения и обмена информацией. Выбор того или иного подхода, главным образом, зависит от того, на одном или на различных вычислительных устройствах, входящих в состав распределенной системы, должны функционировать агенты.

Еще одной ключевой компонентой является создание надежной телекоммуникационной среды для обеспечения информационного обмена между элементами системы. Разработка такой среды рассматривается вне рамок исследования мультиагентных технологий. Предметом же исследований, имеющих самое непосредственное отношение к этому, является «платформа агентов». Такие компоненты образуют инфраструктуру, обеспечивающую агентам необходимые сервисы для использования телекоммуникационной среды. При этом платформы агентов рассматриваются как многократно используемые готовые, проблемно независимые решения.

В связи с сетецентрическим подходом рассматривается новый путь развития системы вооружения [4], направленный на повышение эффективности системы, с точки зрения сопоставления качества и стоимости разрабатываемых средств вооружения. Этот путь связывается с переходом к массовому созданию менее чувствительных, менее интеллектуальных в отдельности средств, но при этом обеспечивающих за счет их коллективного использования требуемый уровень интеллектуальных возможностей системы в целом. Образно такой подход автор работы [4] определяет следующим образом: «Вместо нескольких «птиц» или «акул» ... целе-

сообразно иметь «рой насекомых». В связи с этим необходимо указать следующее сопоставление с мультиагентными технологиями. Достаточно активно используется подход к разработке МАС, в соответствии с которым множество агентов, по сути, реализует поведение и интеллект роя. В системах такого типа агенты являются относительно «простыми» программными сущностями (иначе их называют «легкими агентами»). При этом интеллектуальность системы в целом, ее возможности определяются, главным образом, не столько возможностями агентов, а сколько схемой и возможностями их взаимодействия.

1.2. Открытая среда. Одним из характерных свойств функционирования сетцентрических систем является динамическое изменение состава элементов, входящих в систему. Во времени может происходить изменение состава и возможностей сенсоров и акторов, может происходить передислокация или появление дополнительных подразделений, изменение условий их боевого применения, и т.д. В связи с этим к сетцентрическим системам предъявляется следующее требование [4]: *«Любой элемент боевого построения должен иметь возможность быстро включиться в сеть или отключиться в процессе ее функционирования без отрицательных последствий для работоспособности и своей и сети».*

Системы, которые характеризуются указанным свойством, называют «открытыми системами». К системам этого класса также относятся и МАС. Предполагается, что состав агентов может динамически изменяться в соответствии с изменениями, происходящими в окружающей среде. При этом возможность функционирования сообщества агентов в системе поддерживается с помощью специальных механизмов, называемых «белыми» и «желтыми страницами» и реализуемых в составе платформы агентов. Эти механизмы предоставляют агентам возможность публиковать свои сервисы (возможности), находить других агентов, обладающих требуемыми сервисами, и осуществлять взаимодействия на основе переговоров и использования сервисов других агентов для достижения своих целей. В случае изменения состава агентов эти механизмы позволяют агентам получать и поддерживать в актуальном состоянии данные, необходимые для того, чтобы знать с кем в тех или иных ситуациях можно или нужно взаимодействовать для решения своих задач. Необходимо также отметить, что существуют варианты реализации данных механизмов как в централизованном, так и в децентрализованном и распределенном вариантах.

1.3. Самоорганизация. Одним из ключевых свойств сетцентрических систем является «самосинхронизация», под которой понимается возможность обеспечения наибольшей эффективности как своих действий, так и действий других частей и подразделений на основе их взаимного согласования. В качестве основного условия для достижения требуемой самосинхронизации рассматривается необходимость наличия правил согласования действий, которые [4] *«должны ориентироваться не на традиционный иерархический принцип управления, а на результат согласования задач управления с учетом реально складывающейся обстановки».*

Свойство «самосинхронизации» элементов систем иначе называют как свойство самоорганизации. Для реализации свойства самоорганизации в МАС также используются различные правила, определяющие поведение агентов. Исследование возможностей и различных подходов для реализации свойства самоорганизации в области мультиагентных технологий имеет объективное обоснование. Это связано с тем, что во многих приложениях в качестве основы рассматривается P2P (peer-to-peer)-архитектура. Поведение агентов в таких системах по сути уже является самоорганизацией. При этом для согласования действий агентов вводятся правила согласования, имеющие проблемно-ориентированное происхождение. В качестве примера здесь можно привести правила, используемые для достижения

самоорганизации в прототипе МАС, предназначенной для управления воздушным движением в зоне аэропорта [5]. На основе этого прототипа исследовались возможности решения задачи управления движением без участия диспетчеров. Агенты в данном прототипе являются представителями экипажей воздушных судов, находящихся в зоне аэропорта, и согласовывают свои решения и действия на основе P2P переговоров в соответствии со следующими правилами. На основе топологии допустимых коридоров движения и в соответствии с текущими координатами воздушных судов и планов их дальнейшего движения агенты формируют группы. В каждую группу входят агенты тех воздушных судов, между которыми могут возникать недопустимые сближения (конфликты). Внутри каждой группы агенты осуществляют информационный обмен, на основании которого каждый агент знает намерения других агентов. На основании этой информации каждый агент, в частности может определить другие воздушные суда, имеющие намерение использовать тот же самый коридор движения. В такой ситуации действует правило определения приоритета принятия решения. Для определения приоритета своего и других воздушных судов используется ряд характеристик, к которым относятся: 1) высота движения судна; 2) количество пассажиров; 3) время отклонения от расчетного графика полета, и другие. На основании рассчитываемых приоритетов определяются агенты воздушных судов, имеющие первоочередное право принимать решения. Агенты других воздушных судов, имеющих меньший приоритет, корректируют планы движения для избегания конфликтов с учетом этих решений.

2. Предлагаемый подход к построению сетецентрических систем управления. В общем случае организация боевых действий включает в себя: принятие решений, постановку боевых задач, организацию взаимодействия, управления, всестороннего обеспечения и планирования боевых действий для множества различных подразделений. При этом наибольшую сложность при отработке комплексной тактической задачи представляют вопросы, связанные с необходимостью быстро принимать решения в условиях априорной неопределённости, высокой динамики событий, непредсказуемости развития ситуации, когда в процессе принятия решения нужно учитывать множество взаимосвязанных факторов. Всё это усугубляется тем, что в военной сфере как в никакой другой очень высока цена ошибки, поскольку речь идёт об обеспечении безопасности и неприкосновенности страны и её граждан.

При возникновении вооружённого конфликта, как правило, требуется эффективная оперативная переброска вооружённых подразделений и военной техники, имеющей множество своих особенностей, к месту событий, что требует согласованных действий множества людей, а также поддержки от принимающей стороны и других участников, осуществляющих доставку и другие обеспечивающие действия.

Например, внезапное начало боевых действий требует немедленной мобилизации различных видов войск, включая сухопутные войска, мотострелковые отряды, военно-воздушные силы и другие. Кроме этого, может возникать необходимость в эвакуации мирного населения из зоны конфликта, что требует наличия специальной техники, выделения самолётов (или другого транспорта) в заданное время, принятия необходимых мер безопасности и обеспечения возможности немедленного проведения эвакуации.

Всё это требует решения сложных задач согласованного планирования различных служб и подразделений в центре и на местах, интеллектуального управления планами, их согласования и исполнения в реальном времени, ситуационного управления действиями войск с учётом множества факторов и взаимных зависимостей.

Решение такого рода сложных и динамичных задач требует разработки и применения принципиально новых методов и средств ситуационного управления ресурсами для обеспечения быстрой реакции на события, гибкого и эффективного планирования доставки специальной техники, принятия продуманных и согласованных решений, снижения человеческого фактора при принятии решений и обеспечения ряда других новых возможностей управления ресурсами в реальном времени.

Для решения обозначенных выше задач с учетом сравнительного сопоставления сетевых систем управления и МАС, приведенного в первом разделе статьи, предлагается разработка специализированной интеллектуальной системы согласованного управления ресурсами и войсковыми подразделениями на основе мультиагентных технологий, технологий semantic web, а также Глонавс/GPS навигации.

Разработка предлагаемой системы может быть выполнена на основе мультиагентной платформы, которая совместно разрабатывается в СПИИРАН и НПК «Генезис знаний». Данная платформа предназначена для создания систем интеллектуального ситуационного динамического планирования различного рода ресурсов, в том числе – мобильных (транспортных) ресурсов (грузовики, такси, корабли и др.) [6–15].

Предлагаемая к разработке система призвана в автоматическом режиме реагировать на незапланированные события, выполнять планирование мобильных ресурсов (через сотовый телефон или другие средства коммуникации), вести мониторинг исполнения планов и инициировать пересмотр планов в случае возникновения расхождения плана и факта.

Предлагаемая система позволяет также моделировать «миры» различных боевых ситуаций (например, расставляя и связывая объекты на местности) и задавать базовые сценарии действий в указанных ситуациях (типы операций, соединенные определенными отношениями временного следования) в так называемых онтологиях (базах знаний). Онтологии разрабатываются вне программного кода системы. Это позволяет в дальнейшем иметь возможность описания различных таких ситуаций широким кругом специалистов без перепрограммирования системы (рис. 1).



Рис. 1. Пример сцены мира возможной боевой ситуации

В основе предлагаемого метода решения задач будут лежать *сети потребностей и возможностей* восковых частей и подразделений, задаваемые в онтологии [16]. Например, для оперативной переброски вооружения, боеприпасов или солдат к месту военного конфликта могут использоваться разные ресурсы (самолёт, вертолёт, речной транспорт, грузовики, железнодорожный транспорт и т.д.). Но для переброски самолётом нужен аэропорт, расположенный рядом с местом боевых действий, вертолёт – специализированная площадка или поляна, автотранспортом – подходящие дороги, средства транспортировки, и т.д.

В рамках созданного и загруженного мира можно будет создавать различные конкретные начальные проблемные ситуации и моделировать процесс развёртывания рассмотренных выше сценариев в условиях возникновения незапланированных событий (новая оперативная задача, недоступность или повреждение ресурса и т.д.), в ходе отработки которых система адаптивно построит и далее будет адаптивно менять планы согласованной работы мобильных ресурсов различных войсковых подразделений, демонстрируя «коллективный интеллект» в решении поставленных задач по доставке специальной техники.

Адаптивность создаваемого расписания работы всех ресурсов будет обеспечиваться за счёт работы агентов потребностей и возможностей, которые будут постоянно искать друг друга и пересматривать существующие возможности в случае возникновения новых событий или при наличии времени. Так, система сразу пересмотрит расписание, если появляются новые возможности или происходят какие-то очень значимые изменения в сложившейся ситуации. Например, если очаг боевых действий переместился с одного места на другое, проезд по дороге оказался недоступным из-за упавшего дерева, появилась новая возможность «обхода» территории со стороны, где раньше было непроходимое болото (а теперь оно высохло) и т.п.

Система может быть реализована с использованием самых передовых средств Интернет и электронных карт, мультиагентных технологий и технологий *semantic web* (семантического Интернета), средств ГЛОНАСС/GPS навигации, а также возможностей современных мобильных телефонов, которые обеспечат средства двухстороннего диалога в ходе планирования и исполнения рассматриваемых планов.

В дальнейшем данный подход может быть расширен на создание сети интеллектуальных планировщиков войсковых подразделений в масштабе ВС РФ, что позволит расширять круг решаемых задач.

3. Функциональные возможности системы. В данном разделе рассматривается в качестве примера функциональные возможности предлагаемой МАС с точки зрения различных пользователей. Полагается, что таковыми, в частности, могут являться различные подразделения ВС РФ, Генеральный штаб (ГШ) ВС РФ, командования военных округов, органы пограничного контроля, разведки, а также все лица, ответственные за принятие решений в данной сфере.

Генеральный штаб получает сигнал о возникновении чрезвычайной ситуации или военного конфликта и инициирует процессы принятия мер, оперативного планирования и согласования решений с командованиями военных округов по доставке специальной техники и войсковых подразделений к месту события. Пользователи на этом уровне смогут выделять имеющиеся ресурсы (войска, технику), управлять процессами согласования и планирования операций. Далее – контролировать движение техники по выбранному маршруту на электронной карте (с помощью средств спутниковой навигации и онтологии системы). Маршрут может отображаться с учётом особенностей географической местности, наличия дорог, военных и гражданских объектов (больница, аэродром, военный склад и др.). Эта

информация может использоваться в ходе планирования, и отображаться на осой условной карте, например, показывающей векторами этапы движения по маршруту, если детальная карта отсутствует в силу удалённости района. При этом пользователи этого уровня смогут видеть как карты и диаграммы Ганта планов по каждому участнику операции, так и далее процесс исполнения планов и перемещения техники по маршруту, а также получать отчёт о выполнении важных этапов операции от ее участников.

Командование военного округа (командный центр), в котором произошёл конфликт, с помощью средств отображения ситуации может решать следующие задачи. Планировать доставку военной техники и войсковых подразделений, находящихся в своём подчинении, к месту боевых действий. Планировать и координировать деятельность подразделений, осуществлять оперативную постановку боевой задачи, расчёт времени на её выполнение, оценку обстановки и отдачу указаний по всестороннему обеспечению боевых действий, а также, в случае необходимости, запрашивать помощь/ресурсы из других военных округов. Командование может осуществлять руководство всей операцией, утверждать формирующиеся планы по каждому участнику и их пересмотру в реальном времени, давать санкции на их корректировку, а также определять стандарты и нормы представления данных от округов (регионов), которые позволяют эффективно описывать ситуацию в каждом регионе (в виде сетей потребностей и возможностей). Использовать такое представление при анализе каждой проблемной ситуации. Так, в случае возникновения проблемной ситуации в одном из округов, данный округ должен будет обеспечить не только карту в одном из допустимых видов, но и быструю разметку нужных объектов на ней, включая аэропорт, варианты дорог, наличие мостов с определёнными ограничениями по нагрузке, наличие транспортных средств, боевой техники и т.д. Это целесообразно сделать заранее (стратегическое планирование) для наиболее важных объектов, сформировав, своего рода, «паспорт территории», который может оперативно редактироваться соответствующими региональными службами непосредственно в ходе работы системы, поскольку предсказать многие ситуации заранее не представляется возможным. В ходе планирования эта информация используется для выбора наилучших маршрутов, позволяющих минимизировать затраты, сокращать время на решение задачи, минимизировать риски и т.д.

Мобильные военные бригады – осуществляют немедленный выезд в зону военного конфликта для ликвидации врага, несут ответственность за оперативное выполнение плана командного центра на местах, обеспечивают командование военного округа оперативной и достоверной информацией с зоны боевых действий для принятия решений в реальном времени.

Специализированные организации – обеспечивают транспортные средства для доставки техники к месту аварии или чрезвычайной ситуации, к числу которых могут относиться специальные транспортные тележки, самолеты и т.д. Эти организации смогут получать через систему заказы (требования) на предоставление ресурсов, а также наблюдать их планирование и вести мониторинг их использования.

В будущем каждый из участников сможет иметь собственный оперативный планировщик ресурсов, которые будут объединены в сеть для выработки, моделирования и принятия согласованных решений.

4. Краткое описание предлагаемой системы. С учетом сравнительного сопоставления, приведенного в первом разделе статьи, для обеспечения функциональных возможностей, описанных в предыдущем разделе, предлагается создание распределённой МАС. В качестве дополнения к контексту первого раздела следует подчеркнуть, что МАС позволяют реализовать современную тенденцию, наблю-

даемую в области разработки информационных технологий. Она состоит в следующем. В последние годы при решении сложных проблем наметился переход от создания крупных интегрированных программных пакетов и систем к разработке небольших интеллектуальных программных компонентов, «функционирующих автономно» (независимо друг от друга) и способных взаимодействовать друг с другом и с пользователями [17].

В этой связи архитектура предлагаемой системы строится как сеть мультиагентных динамических планировщиков штабов, войсковых подразделений ВС, мобильных (транспортных) ресурсов и др., взаимодействующих друг с другом и совместно согласующих планы своих действий на базе P2P-архитектуры.

Данные компоненты функционируют на базе сервисно-ориентированной архитектуры (SOA, Service Oriented Architecture) через общую информационную шину предприятия ESB (Enterprise Service Bus), которая при необходимости может быть реализована отдельным коммуникационным сервером, и выполняют функции оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации, принятие решений и управления мобильными бригадами для устранения опасности.

Реализация системы на основе P2P-архитектуры имеет принципиальное значение, поскольку позволяет осуществить переход к высокопроизводительным мультисерверным решениям, базирующимся на моделях сопряжённого сетевого взаимодействия динамических планировщиков.

В отличие от классических подходов, разработка P2P-архитектуры предполагает, что каждый планировщик каждой мобильной бригады может взаимодействовать с любым другим по схеме «каждый с каждым» и «равный с равным». В этом случае возможно согласованное взаимодействие между планировщиками, в котором уже нет места привычной схеме «master-slave» (ведущий – ведомый), когда одна система даёт задания другой системе, а вторая только выполняет данные ей команды.

Рассмотрим суть задачи сопряжённых взаимодействий на простом примере, включающем взаимодействие динамических планировщиков органов пограничного контроля и транспорта.

Предположим, что система планирования Центра получает сообщение о ведении боевых действий на границе с прилегающим государством. В этом случае динамический планировщик Центра должен немедленно запланировать ресурсы и транспорт для оцепления и ликвидации очага конфликта, что, в определённых условиях, может потребовать, в частности, эвакуацию мирного населения из зоны конфликта. Динамический планировщик транспорта, получив данный запрос, должен быстро проанализировать текущую ситуацию, географическое положение места боевых действий (на основе данных военного округа), удалённость от места выезда и др., и, с учётом текущей ситуации, построить наилучший маршрут для доставки солдат и подобрать наиболее подходящий вид/виды транспорта. При этом, в процессе построения маршрута будут широко использоваться возможности спутниковых навигационных систем, таких как ГЛОНАСС или GPS.

Для прокладки маршрутов движения к месту на электронной карте могут быть реализованы несколько стратегий на основе использования различных агентов маршрутов. Например, с помощью «автономного агента» большая часть задачи по планированию маршрута будет выполняться автоматически, без участия человека. Данный агент будет функционировать по принципу «чёрного ящика», прокладывая маршрут на основе собственных «знаний» о местности, заданных критериев построения маршрута (минимум времени, минимальное расстояние, близость к определённому объекту и др.). В процессе планирования данный агент будет использовать информацию об имеющихся географических «ограничениях» на местности (на электронной карте), а также ограничения, заданных непосредственным пользователем (к примеру, пользователь на основе своего опыта может пометить часть терри-

тории как недоступную для прокладки маршрута и эта информация будет учитываться при планировании). «Полуавтономный агент» будет функционировать в полуавтоматическом режиме, анализируя варианты маршрутов, предложенные пользователем, и выбирая наиболее подходящий из них с учётом заданных ограничений. Наконец, «простой агент» будет лишь обеспечивать пользователя информацией о наличии физических препятствий в проложенных маршрутах, в то время как сами маршруты будут строиться и выбираться пользователями.

Помимо средств спутниковой навигации, при планировании маршрута будут также учитываться «знания» непосредственных участников процесса планирования. Например, пилот вертолёта-разведчика, направленного на место конфликта, может выявить основные очаги боевых действий, после чего эта информация будет использоваться в процессе оперативного планирования действий других войск.

Или обратный пример: служба разведки может сообщить о наличии у врага средств ПВО, что затруднит возможность использования средств авиации для десантирования солдат над определённой территорией (как минимум, до устранения данного «ограничения»). В этом случае территория, где расположены средства ПВО, помечается как «временно недоступная» для планирования воздушных операций, и система должна перепланировать маршрут или ресурс для доставки солдат «на лету» и предложить другой, более безопасный график движения. При этом пилоты, водители подвижных объектов могут также стать «глазами и ушами» системы, что позволит оперативно получать важную информацию о затруднённом проезде по дороге, обнаружении подозрительных объектов, например, с помощью мобильного приложения на сотовом телефоне, что будет сразу инициировать изменения в планах всех остальных мобильных ресурсов в реальном времени. Иными словами, система будет «адаптировать» своё поведение в ответ на изменение внешних условий.

Однако одним из наиболее важных применений системы, делающим её незаменимой для Вооружённых сил, должна стать возможность согласованного планирования ресурсов военных мобильных бригад непосредственно в процессе проведения боевых операций в реальном времени, включающая планирование задач групп солдат, взаимодействия между ними и с другими военными подразделениями, а также с ВВС, артиллерией, танковыми частями и др.

Проиллюстрируем это на следующем примере: предположим, командный центр военного округа получает информацию о перестрелке с группой неизвестных лиц, происходящую на территории данного округа. Командование должно на основе полученной информации оперативно принять решение и немедленно выделить имеющиеся в наличии ресурсы (военные бригады) для ликвидации конфликта. Информация о зоне конфликта, характере нападения и др. загружается в планировщик, после чего система планирует ресурсы для боевого выезда и строит маршрут движения с учётом «знаний» о географической местности, ограничений, стратегии планирования и других настроек, заданных пользователем. Военная бригада в составе нескольких групп войск связи, разведки, лёгкой артиллерии и боевых машин пехоты в срочном порядке выдвигается к месту боевых действий по проложенному маршруту. Параллельно с ними к месту боевых действий вылетают два самолёта-разведчика. Внезапно выясняется, что оба моста через реку оказались сильно повреждены и невозможно осуществить переброску сухопутных войск. Пилот самолёта передаёт эту информацию планировщику сухопутных войск, и командиры военной бригады с помощью мобильного приложения получают оперативную информацию о недоступности моста и невозможности выполнить задачу по текущему маршруту. В свою очередь, данная информация с места событий передаётся планировщику командного центра, который перепланирует задачу с учётом изменившейся ситуации, и принимает решение выделить допол-

нительно несколько вертолётов для переброски воздушно-десантного отряда (или части военной бригады, которая уже находится на пути к месту боевых действий – в этом случае система построит маршрут полёта с учётом текущего положения мобильных подразделений, наличия безопасного места посадки/высадки солдат) на противоположный берег. В свою очередь, это событие может потребовать огневой поддержки со стороны артиллерии, которая уже выдвигается к зоне боевых действий в составе первой мобильной бригады. Получив данное сообщение, планировщик артиллерии перестраивает маршрут таким образом, чтобы, с одной стороны, обеспечить надёжное прикрытие десантникам, а, с другой – уменьшить риск быть обстрелянными со стороны противника. Как только, опасность на данном участке миновала и угрозы обстрела нет – данное событие автоматически инициирует планирование динамическим планировщиком воинских частей строительства выезда солдат для восстановления мостов и других стратегически важных объектов в соответствии с приоритетами.

Подобного рода взаимодействия между мобильными ресурсами, происходящие в реальном времени и в условиях априорно высокой неопределённости и динамичности, возможно реализовать лишь с использованием мультиагентных технологий.

Заключение. Использование мультиагентных технологий следует рассматривать в качестве одного из наиболее перспективных подходов к разработке сетевых систем управления ВС РФ. С целью обоснования такого утверждения в статье приводится сопоставление проблем разработки сетевых систем и возможностей мультиагентных технологий, а также дается краткое описание предлагаемого подхода и принципов функционирования целевой системы управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года (утверждена Указом Президента РФ от 12 мая 2009 г. №537) // <http://www.scrf.gov.ru/documents/99.html>.
2. Военная доктрина в третьем варианте // Российская газета. – 2009. – № 220.
3. Буренок В.М. Перспективные концепции ведения войн и их влияние на развитие вооружения и военной техники России // Научно-технический сборник «Вопросы оборонной техники». – 2010. – Вып. 1(242)-2(243). – С. 9.
4. Шеремет И.А. Компьютеризация как путь к победе в вооруженной борьбе // Независимое военное обозрение. – 2005. – № 42 (451).
5. Городецкий В.И., Карсаев О.В., Коношиный В.Г., Купин В.В., Самойлов В.В. Моделирование процессов управления воздушным движением на основе многоагентных технологий. Научный вестник МГТУ ГА. Сер. «Навигация и УВД», 2008.
6. Rzevski G., Skobelev P., Andreev V. A Set of Multi-Agent Tools for Developing Adaptive Real-Time Applications - HoloMAS 2007, Germany.
7. Glashenko A., Ivashenko A., Rzevski G., Skobelev P. Multi-Agent Real Time Scheduling System for Taxi Companies – Proceedings of 8-th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2009). Hungary, Budapest, May 2009.
8. Andreev V., Glashchenko A., Ivashchenko A., Inozemtsev S., Rzevski G., Skobelev P., Shveykin P. Magenta Multi-Agent Systems for Dynamic Scheduling – First International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2009). – Portugal, January 2009.
9. Yankovenko A., Rzevski G., Skobelev P. A Multi-Agent Scheduler for Rent-A-Car Companies. - Proceedings of 4-th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS 2009). – Austria, August 2009.
10. Andreev M., Rzevski G., Ivashchenko A., Skobelev P., Shveykin P., Tsarev A. Adaptive Planning for Supply Chain Networks – HoloMAS 2007, Germany.
11. Himoff, J., Skobelev, P., Wooldridge, M. Multi-Agent Systems for Ocean Logistics – Proceedings of 4-th International Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems (AAMAS 2005). – Holland, July 2005.

11. *Himoff J., Rzevski G., Skobelev P.* Magenta Technology: Multi-Agent Logistics i-Scheduler for Road Transportation – Proceedings of 5-th International Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems (AAMAS 2006). – Japan, May 2006.
12. *Rzevski G., Himoff J., Skobelev P.* Magenta Technology: A Family of Multi-Agent Intelligent Schedulers. Proceedings of Workshop on Software Agents in Information Systems and Industrial Applications (SAISIA). – Fraunhofer IPTB, Germany, February 2006.
13. *Андреев В.В., Иващенко А.В., Иноземцев С.В., Скобелев П.О., Швейкин П.К.* Мультиагентные системы адаптивного планирования мобильных ресурсов // В трудах IV Международной конференции по проблемам управления (МКПУ-IV). – ИПУ РАН, 2008.
14. *Дязитдинова А.Р., Иващенко А.В., Мартышкин Д.М., Скобелев П.О., Сурнин О.Л., Царёв А.В.* Разработка мультиагентной платформы для планирования в сфере транспортной логистики // В трудах XI Международной конференции по проблемам управления и моделирования в сложных системах – ИПУСС РАН. – Самара, 2009. – С. 608-623.
15. *Виттих В.А., Скобелев П.О.* Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 1. – С. 177-185.
16. *Lenox T., Payne T., Hahn S., Lewis M., Sycara K.* Agent-Based Aiding for Individual and Team Planning Tasks.

Статью рекомендовал к опубликованию профессор Л.А. Станкевич.

Иващенко Антон Владимирович

Научно-производственная компания «Разумные решения».

E-mail: www.smartsolutions-123.ru.

443080, г. Самара, ул. Санфировой, 95, лит. 4, офис 416.

Тел./факс: 88462229172; 88462229173.

Директор аналитического центра.

Царев Александр Владимирович

Заместитель генерального директора.

Карсаев Олег Владиславович

Учреждение Российской академии наук Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН.

E-mail: ok@iias.spb.su.

199178, г. Санкт-Петербург, 14 линия, 39.

Тел.: 88123233570.

Заведующий лабораторией; к.т.н.

Юсупов Рафаель Мидхатович

Член-корреспондент РАН; директор СПИИРАН.

Скобелев Петр Олегович

Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления сложными системами РАН.

E-mail: petr.skobelev@gmail.com.

443020, г. Самара, ул. Садовая, 61.

Тел.: +78463323927

Профессор кафедры «Инженерия знаний» Поволжского государственного университета информатики и телекоммуникаций; ведущий научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем.

Ivaschenko Anton Vladimirovich

Software Engineering Company «Smart Solutions».

E-mail: www.smartsolutions-123.ru/en.

95/4, Sanfirovoi Street., Office 416, Samara, 443080, Russia.

Phone/Fax: +78462229172 / 2229173.

Director of Center of Analytics.

Tzarev Alexandr Vladimirovich

Deputy of Director General.

Karsaev Oleg Vladislavovich

Institution of the Russian Academy of Science St. Petersburg Institute for Informatics and Automation RAS.

E-mail: ok@iias.spb.su.

39, 14 line, Saint Petersburg, 199178, Russia.

Phone: +78123233570.

Head of Laboratory; Cand. of Eng. Sc.

Usupov Rafael Midhatovich

E-mail: ok@iias.spb.su

Corresponding Member of RAS, Director of SPIIRAS.

Skobelev Petr Olegovich

Institute of Control of Complex systems of Russian Academy of Science.

E-mail: petr.skobelev@gmail.com.

61, Sadovaya Street, Samara, 443020, Russia.

Phone: +78463323927.

Professor of Academy of Volga State University of Telecommunication and Informatics, Senior Scientists of Intelligent Systems Laboratory.

УДК 681.3

В.И. Городецкий, С.В. Серебряков, Д.В. Троцкий

**СРЕДСТВА СПЕЦИФИКАЦИИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ
КОМАНДНОГО ПОВЕДЕНИЯ АВТОНОМНЫХ АГЕНТОВ***

Приводится краткий анализ состояния исследований в области теории, моделей, программных инфраструктур и языков, предназначенных для проектирования и программной реализации командного поведения автономных агентов, и предлагается высокоуровневый язык спецификации командной работы агентов и кратко описываются предметно-независимые программные инструментальные средства, поддерживающие функционирование автономных команд агентов. Предложенный язык и разработанная инфраструктура демонстрируются на примере программного прототипа командной работы автономных подводных роботов, выполняющих миссию по патрулированию трехмерного подводного пространства морского порта с целью обеспечения его безопасности.

Автономные агенты; командная работа; сценарные знания; целенаправленное планирование; автономные подводные роботы.

V.I. Gorodetsky, S.V. Serebryakov, D.V. Trotsky

**KNOWLEDGE-BASED SPECIFICATION LANGUAGE AND REUSABLE
SOFTWARE SUPPORTING AUTONOMOUS AGENTS' TEAMWORK**

The paper analyses the existing theories, models, software infrastructures and teamwork-oriented programming languages in order to match their expressive capabilities to the advanced frameworks and infrastructures and proposes high-level knowledge-based teamwork specification language and reusable domain-independent software components intended to support the development and implementation of autonomous agent teamwork systems. The developed language and reusable software are validated through the software prototyping the teamwork of autonomous underwater robots patrolling the 3D underwater space of a sea port.

Autonomous agents; teamwork; scenario knowledge; goal-oriented planning; autonomous underwater robots.

* Работа поддерживается грантом РФФИ № 10-07-00026а.