

УДК 623.764

А.А. МОРОЗОВ*, П.С. САПАТЫЙ*

ВОЕННАЯ РОБОТИКА: ОБЗОР, ПРОБЛЕМЫ, ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ

*Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, Киев, Украина

Анотація. Представлений огляд ряду останніх досягнень в області військової робототики, де на основі його аналізу сформульовані основні вимоги до менеджменту передових безпілотних систем. Описано розроблену в ІПММС Технологію просторового захоплення, яка значною мірою задовольняє цим вимогам. Оперуючи безпосередньо з фізичними, віртуальними і виконавськими просторами, вона використовує високорівневі сценарії військових місій, які саморозповсюджуються і покривають контрольовані системи в супервірусному режимі, динамічно задаючи їх локальну і глобальну поведінку. Технологія може ефективно підтримувати плавний перехід до автоматизованих та повністю роботичних систем під уніфікованим командним управлінням.

Ключові слова: військові роботи, безпілотні системи, Технологія просторового захоплення, високорівневі сценарії, самонавігація, колективна поведінка, самовідновлення.

Аннотация. Представлен обзор ряда последних достижений в области военной робототики, где на основе его анализа сформулированы основные требования к менеджменту передовых беспилотных систем. Описана разработанная в ИПММС Технология пространственного захвата, в значительной степени удовлетворяющая этим требованиям. Оперируя напрямую с физическими, виртуальными и исполнительскими пространствами, она использует высокоуровневые сценарии военных миссий, которые самораспространяются и покрывают контролируемые системы в супервирусном режиме, динамически задавая их локальное и глобальное поведение. Технология может эффективно поддерживать плавный переход к автоматизированным и полностью роботическим системам под унифицированным командным управлением.

Ключевые слова: военные роботы, беспилотные системы, Технология пространственного захвата, высокоуровневые сценарии, самонавигация, коллективное поведение, самовосстановление.

Abstract. A review of a number of latest achievements in the area of military robotics is given, with main demands to management of unmanned systems formulated on the basis of their analysis. The IPMMS-developed Spatial Grasp Technology, to a great extent satisfying these demands, is briefed. Directly operating with physical, virtual and executive spaces, it uses high-level military mission scenarios self-spreading and covering the controlled systems in a super-virus mode, dynamically setting up their local and global behaviour. The technology can effectively support gradual transition to automated and fully robotic systems under unified command and control.

Keywords: military robots, unmanned systems, Spatial Grasp Technology, high-level scenarios, self-navigation, collective behavior; self-recovery.

1. Введение

Сегодня многие военные организации применяют роботы для выполнения рискованных работ. Роботы в военной области используются в рамках комплексных систем включающих видеозэкраны, датчики, захваты и видеокамеры. Военные роботы наделены различными функциями и формами в зависимости от целей; они могут быть автономными системами или дистанционно управляемыми устройствами.

Ожидается, что будущие войны будут вестись в значительной степени с помощью автоматизированных или даже полностью автоматических систем. США инвестируют в исследования, разработки и развертывание военных систем со все большей степенью автоматизации. Планируется уменьшить персонал армии США с 540 тыс. до 420 тыс. к 2019

г. и внедрить большое количество роботов [1, 2]. Для поддержки эффективности при сокращении персонала армия будет все больше переходить на беспилотные, роботические основы. Жизнь персонала становится наиболее ценным фактором.

Военные роботы обычно ассоциируются со следующими основными категориями: наземные, воздушные и морские. Некоторые из самых последних разработок рассмотрены в этой статье, включая те, которые ориентированы на коллективное использование роботов. Большинство военных роботов все еще имеют весьма низкий уровень встроенного интеллекта, и почти все современные беспилотные системы используют человеческих операторов практически в каждом аспекте их деятельности.

Технология пространственного захвата (ТПЗ), рассмотренная в данной работе, может существенно повысить как индивидуальный, так и коллективный интеллект роботических систем, особенно распределенных. Она также намечает реальный путь к массовому использованию передовых роботических систем в человеческом обществе, включая военные системы.

2. Наземная роботика

Способность роботов сохранять жизни уже обеспечила будущее для наземной роботики наряду с солдатами. Наземная роботика может быть задействована в самых разнообразных операциях, включая разминирование, разведку, обеспечение, ведение боевых действий и др. Армия США планирует модернизировать 1,477 своих наземных роботов, которые составляют около 60% их полного количества [3]. Рассмотрим несколько самых последних разработок.

Фирма Boston Dynamics разработала «роботические мулы» для помощи солдатам при переносе тяжелой поклажи [4] (рис. 1).



Рис. 1. Роботы-мулы фирмы Boston Dynamics: а) несущие тяжелую поклажу; б) сопровождающие солдат; в) движущиеся по пересеченной местности

Робот Гепард этой же фирмы (рис. 2 а-б) – самый быстрый в мире (более 29 миль в час), держит мировой рекорд по скорости [5]. Пока его испытывают на высокоскоростной беговой дорожке.

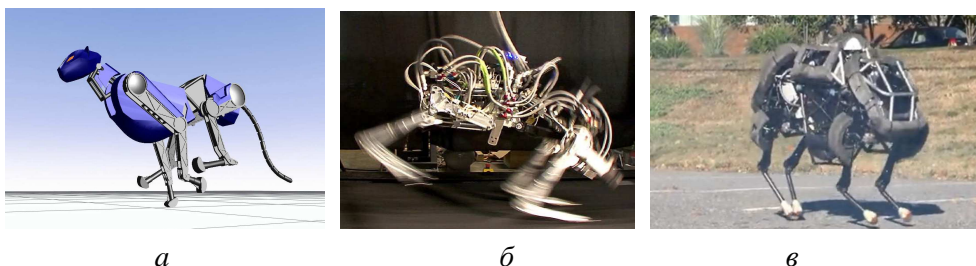


Рис. 2. Другие роботы Boston Dynamics: а) концепция робота Гепард; б) испытания Гепарда на скоростной беговой дорожке; в) Гепард стал Диким котом для свободного бега на улице

Другой робот Дикий кот (рис. 2 в), финансируемый DARPA, разрабатывается для военного применения. Он не так быстр, как его кузен Гепард, ограничен приблизительно

16 мильми в час по ровной поверхности и уже свободно бегает снаружи по дорогам, имея автономный двигатель.

На базе новой военной технологии разработан робот-суперсолдат [6] (рис. 3).



Рис. 3. Робот-суперсолдат: а) амуниция; б) универсальное шасси; в) полевые испытания



Рис. 4. Примеры наземных роботов

Работы по SR22 Blackbird были закрыты в течение 20 лет. Новые научные достижения 2014 г. позволяют уже сегодня создавать реальные боевые роботы для работы в самых сложных условиях.

Некоторые примеры наземных роботов показаны на рис. 4.

3. Воздушная роботика

Армия, военно-воздушные силы и флот США разработали разнообразные беспилотные летающие устройства, которые могут

вести разведку, не подвергая опасности пилотов, а также использовать ракеты и другое оружие [7].

Среди последних достижений можно, прежде всего, назвать летающий робот X-47В фирмы Northrop Grumman, который разработан для использования на авианосцах [8] (рис. 5).

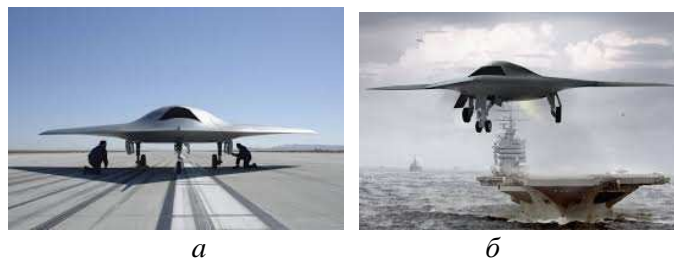


Рис. 5. Робот X-47В фирмы Northrop Grumman: а) фронтальный вид; б) использование на авианосцах

X-47В может находиться в полете до 50 часов, нести 2 тонны боеприпасов и переправляться в воздухе.

Удвоенные мощь и угроза могут быть реализованы при установке лазеров на беспилотниках [9] (рис. 6).

Фирма General Atomics работает над жидкостными лазерами высокой энергии HELLADS, достаточно компактными для размещения их в истребителях и беспилотниках. Это обеспечит дроны практически неограниченными магазинами для стрельбы по целям.

Некоторые другие последние разработки приведены на рис. 7.



Рис. 6. Беспилотники с лазерами: а) лазер HELLADS, установленный на дроне; б) лазер в действии



Рис. 7. Другие разработки: гиперзвуковые глайдеры а) SR-72 и б) DARPA HTV-2; в) дроны CyPhy с управлением по проводам

SR-72 [10] (рис. 7 а) может летать в шесть раз быстрее скорости звука (Mach 6), собирать данные, осуществлять обзор и разведку, а также наносить удары на беспрецедентной скорости.

DARPA HTV-2-гиперзвуковой глайдер [11] (рис. 7 б) имеет скорость 13 000 миль в час (более 20 000 км/ч). Основные проблемы его создания заключаются в необходимости наличия сверхжаропрочного корпуса.

Дроны CyPhy Works (рис. 7 в) вместо традиционного использования встроенных ба-



Рис. 8. Другие примеры воздушных роботов

тарей и радиокommunikаций воскрешают старый добрый принцип управления по проводам. Кабель толщины человеческого волоса включает фиброоптику, обеспечивает связь с внешней батареей и управление от внешнего компьютера, расположенных на пользователе. Кабель для раскрутки использует бобину на дроне. Беспилотник может вести очень длительную разведку и обзор, а оптоволоконная связь с оператором при этом не подвергается помехам и глушению.

Некоторые примеры беспилотных летающих средств показаны на рис. 8.

4. Морская роботика

Роботы морского базирования могут быть самых разных типов – от свободно плавающих до связанных кабелем с поверхностным кораблем, субмариной или же с другим, более крупным, роботом [12]. Примеры некоторых морских роботов приведены на рис. 9.

Создается большая роботическая субмарина (Large Displacement Unmanned Undersea Vehicle, LDUUV) для осуществления длительных миссий (более 70 дней) как в открытых океанах, так и прибрежных морях [13] (рис. 9 б). Она полностью автономная, запускаемая с берега, с развитыми сенсорными системами для прибрежных сред. Фаза производства и развития стартует в 2015 г., а тестирование намечено на 2018 г. Полномасштабное производство – к 2025 г.

Подводные глайдеры [14] (рис. 9 в) не требуют топлива, а вместо этого используют эффект, называемый «гидравлической плавучестью» (hydraulic buoyancy), который позволяет беспилотникам перемещаться вверх и вниз, а также внутрь и наружу подводных течений, развивая скорость порядка одной мили в час. Имея различные датчики, они могут быть запрограммированы на длительное патрулирование, периодически поднимаясь на поверхность для передачи собранных данных на берег, а также для загрузки новых инструкций.

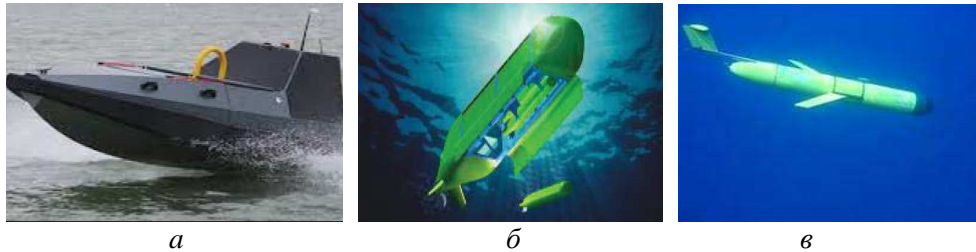


Рис. 9. Морские роботы: а) беспилотный надводный катер; б) большая беспилотная субмарина; в) подводный глайдер



Рис. 10. Другие примеры морских роботов

Другие примеры морских роботов приведены на рис. 10.

5. Коллективная роботика

Как один солдат не армия, так и единичные роботы не смогут принести существенную пользу в нелокальном масштабе, при этом их массовое, коллективное использование становится крайне важным. Некоторые самые последние работы в области коллективной роботики приведены на рис. 11.

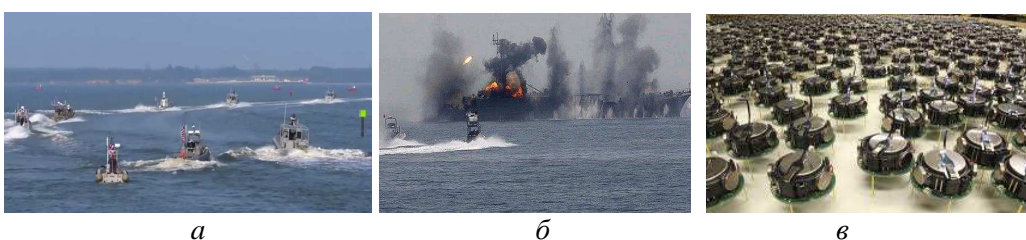


Рис. 11. Роботические коллективы: а) сворм автономных лодок; б) атака свормом; в) множественные автономные роботы Гарвардского университета

Так, тесты на реке Джеймс в Вирджинии представляют собой первую крупномасштабную военную демонстрацию коллективного поведения сворма автономных лодок, разработанных для подавления противника [15] (рис. 11 а-б). Роботические суда оперировали вместе без какого-либо прямого контроля со стороны человека. Эта возможность нацелена в будущее, где военно-морские силы США и другие военные организации смогут задействовать множественные подводные, поверхностные и летающие роботические устройства как для защиты, так и для атак против враждебных сил.

Исследователи Гарвардского университета создали сворм из 1024 маленьких роботов, которые могут работать вместе без какого-либо центрального интеллекта [16] (рис.

116). Эти роботы могут автономно группироваться в различные фигуры, например, пятиконечные звезды, буквы алфавита и другие сложные формы. Полагается, что эти эксперименты со временем могут быть с пользой применены и в военной области.



Рис. 12. Другие примеры коллективного поведения

Другие примеры коллективного поведения как роботического, так и биологического характера, показаны на рис. 12.

6. Общие требования к военным роботическим системам

Тщательный анализ целей и результатов развития и реализации военных роботов, включая описанные выше,

позволил нам сформулировать общие требования относительно их общего менеджмента и управления. Наиболее важные из них перечислены ниже.

- Несмотря на разнообразие типов, форм и ориентацию, они, как правило, все предназначены для работы в распределенных (часто обширных) физических пространствах, явно попадая в общеизвестную категорию распределенных систем.

- Их активность должна включать навигацию, движение, обзор территории, сбор данных, перенос и доставку грузов (которые могут содержать амуницию или оружие), а также оказание воздействия на другие пилотируемые или беспилотные устройства и окружающую среду.

- Они должны иметь определенную, часто очень высокую, степень автономии и обладать способностью к автоматическому принятию решений в сложных и непредвиденных ситуациях и средах для того, чтобы быть действительно полезными в случаях, где доступ человека ограничен и/или опасен.

- Они должны эффективно взаимодействовать с пилотируемыми и беспилотными компонентами и оперировать в рамках существующих принципов, языков и методов командного управления, чтобы представлять интегральную часть системы, выполняющей целевую функцию.

- Они должны иметь возможность формировать эффективные коллективы (часто называемые «свормами») для массового использования, и эти коллективы должны быть легко контролируемы извне, как из пилотируемых частей системы, так и других беспилотных частей, возможно, высшего уровня.

- Ввод задач, а также модификация целей и заданий должны быть гибкими и удобными для человека, чтобы гарантировать быструю, в реальном времени, реакцию на изменение целей и окружающей среды, особенно во время боевых действий.

- Использование беспилотных средств должно быть максимально безопасным для своего персонала.

- Их поведение должно соответствовать этическим и международным нормам, особенно в летательном применении.

7. Технология пространственного захвата для управления роботическими системами

Разработанная в ИПММС высокоуровневая идеология и Технология пространственного захвата (ТПЗ) для координации и менеджмента больших распределенных систем [17, 18] позволяет нам эффективно исследовать, развивать, моделировать и реализовывать передо-

вые роботизированные системы, удовлетворяя также перечисленным выше требованиям к военной роботике.

7.1. Философия ТПЗ: параллельный контролируемый захват распределенного пространства

ТПЗ базируется на координированном и интегрированном видении, навигации, обзоре, покрытии, захвате распределенного пространства (физического, виртуального, исполнительного, а также комбинированного) (рис. 13).



Рис. 13. Параллельный охват/захват физического или виртуального пространства

Она скорее наследует холистские и гештальтские [19] тенденции и методы, а также идеи сверхоперабельности [20], чем традиционные громоздкие многоагентные решения [21], которые могут воплощаться в ТПЗ чисто автоматически, динамически, и только тогда, когда и где они действительно нужны. ТПЗ также имеет существенную психологическую и философскую поддержку

и предысторию, отражающую то, как люди, особенно командиры высшего уровня, прогнозируют, планируют, понимают и руководят операциями в сложных распределенных средах.

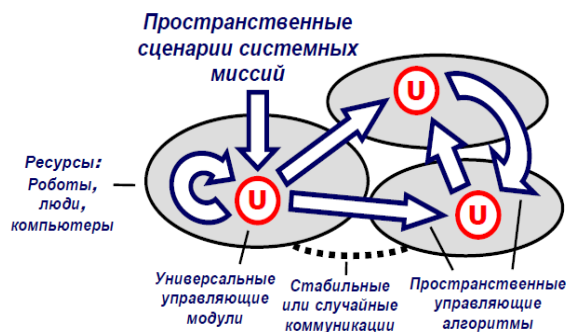


Рис. 14. Самораспространяющиеся пространственные сценарии

ТПЗ практически реализуется путем установки универсальных управляющих модулей в ключевые элементы системы, которыми могут быть люди, роботы, сенсоры, компьютеры, сети интернет и т.д., где эти модули могут взаимодействовать друг с другом через стабильные или случайные коммуникации (рис. 14).

Компактные сценарии военных миссий, напрямую выражающие семантику планируемых пространственных операций, могут быть составлены и изменены в реальном времени, на лету, и загружены с любой доступной (например, роботической или человеческой) компоненты, содержащей упомянутый управляющий модуль. Самораспространяясь и покрывая всю систему или ее определенную часть в координированном параллельном

вирусоподобном режиме, они устанавливают пространственные информационные и рабочие инфраструктуры, обеспечивающие коллективную осведомленность и целенаправленное поведение, а также самовосстановление после сбоев и разрушений.

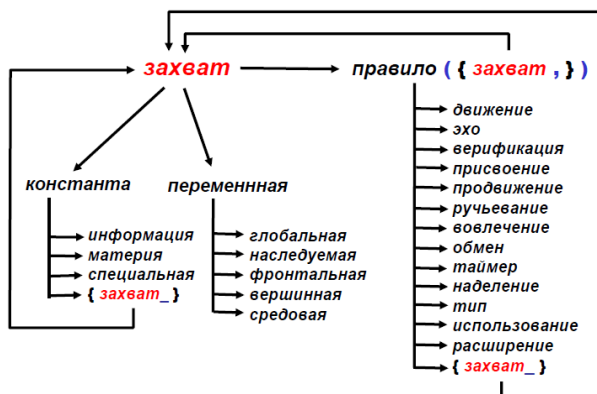


Рис. 15. Универсальная рекурсивная структура ЯПЗ

7.2. Рекурсивный язык пространственного захвата (ЯПЗ)

ЯПЗ позволяет напрямую перемещаться, обозревать и принимать решения в полностью распределенных средах. Сценарий на ЯПЗ развивается в виде параллельного перехода между пространственно-времен-

ными состояниями, ассоциирующимися с различными физическими, виртуальными или исполнительными аспектами.

ЯПЗ имеет универсальную рекурсивную структуру, позволяющую представлять любые параллельные, распределенные и пространственные алгоритмы, работающие с данными произвольной сложности. Эта структура также позволяет произвольно расширять любой язык, ей подчиняющийся, новыми структурами данных, операциями и управлением (рис. 15).

7.3. Элементарные примеры в ЯПЗ

Рассмотрим некоторые элементарные примеры, графически изображенные на рис. 16, и их выражение в ЯПЗ.

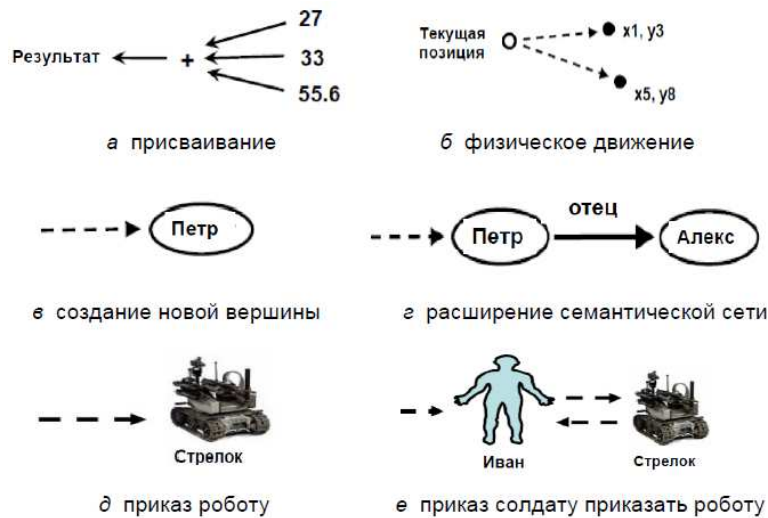


Рис. 16. Элементарные примеры для программирования в ЯПЗ

- Присваивание суммы величин некоторой переменной (рис. 16 а):
`присвоить (Результат, сложить (27, 33, 55.6))`
- Независимое, параллельное физическое движение по нескольким заданным координатам (рис. 16б):
`идти(место(x1, y3), место(x5, y8))`
- Создание изолированной виртуальной вершины «Петр» (рис. 16 в):
`создать (Петр)`
- Расширение семантической сети в виде «Петр отец Алекса» (рис. 16 г):
`войти(Петр); создать (+отец, Алекс)`
- Прямой приказ роботу выстрелить по заданной координате (рис. 16 д):
`войти(робот:Стрелок); огонь(место(x, y))`
- Приказ солдату задействовать робот для стрельбы по заданной координате и проверить исполнение (рис. 16 е):
`войти(солдат:Иван);
 если((войти(робот:Стрелок); огонь(место(x, y))),
 доложить:сделано)`

7.4. Сетевой интерпретатор с ЯПЗ

Основные компоненты интерпретатора ЯПЗ, который взаимодействует с другими такими же копиями, распределенными в контролируемой среде, формируя универсальную пространственную машину, показаны на рис. 17.



Рис. 17. Основные компоненты сетевого интерпретатора ЯПЗ

Интерпретатор состоит из ряда модулей-процессоров, оперирующих совместно над специализированными структурами данных. Вся сеть взаимодействующих интерпретаторов ЯПЗ может быть открытой и мобильной, изменяя в реальном времени количество вершин и коммуникационную структуру. Копии интерпретаторов ЯПЗ могут быть установлены в базовых точках системы также скрыто, тайно в случае необходимости работы во враждебных средах.

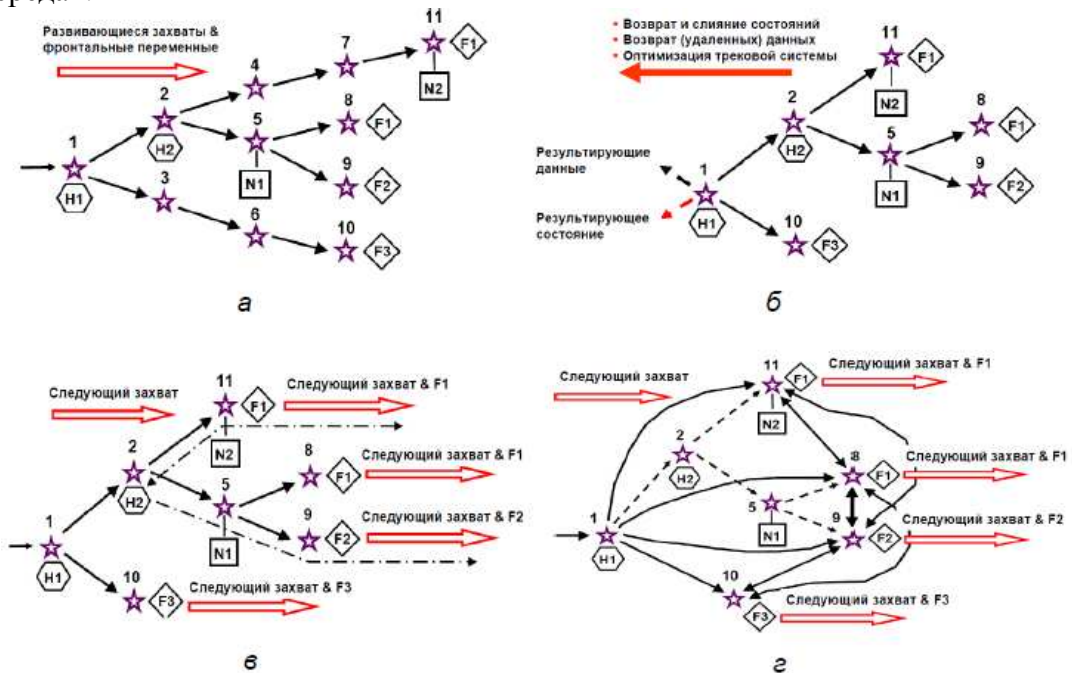


Рис. 18. Примеры трек-операций: а) эволюция захвата, прямой процесс; б) обратные, эхо-процессы, оптимизация трек-структуры; в) распространение следующего захвата; г) возможное усовершенствование трек-структуры

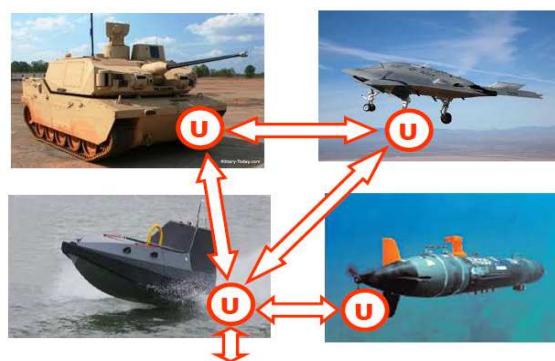
“Нервной системой” распределенной интерпретационной сети, обеспечивающей ее целостность, глобальную целенаправленность и управляемость, является ее пространственная трековая система. Она поддерживает существование пространственных (стационарных и мобильных) переменных, распространяет последующие захваты к уже достигнутым позициям, а также осуществляет автоматическое командное управление множественными распределенными процессами.

Различные этапы трековых операций показаны на рис. 18, где графические символы имеют следующее значение: \square – вершинные переменные, \diamond – фронтальные переменные, \square – наследуемые переменные, \star – вершины треков и \rightarrow – связи треков.

Распределенный интерпретатор ЯПЗ фактически представляет собой универсальную супермашину, способную кооперированно выполнять любые операции в объединенном физическом и виртуальном пространстве (рис. 19). («Супермашину» а не «суперкомпьютер», поскольку «процессоры» могут также оперировать с физическими объектами, физически контактировать друг с другом, а также физически перемещаться).



Рис. 19. Сетевой интерпретатор ЯПЗ как универсальная пространственная машина



Сценарий миссии, внешнее управление
Рис. 20. Интеграция разнородных роботических устройств с помощью ТПЗ

Устанавливая интерпретаторы ЯПЗ в роботические (однородные или разнородные) компоненты и интегрируя их с традиционной роботической функциональностью (двигателями, сенсорами, средствами связи, локальным управлением и интеллектом), можно получить их любое коллективное поведение (рис. 20).

8. Роботические сценарии: семантический уровень

Рассмотрим сначала чисто семантический уровень, где любая группа мобильных роботов «озадачивается» на самом высоком уровне: просто указывается, что именно она должна сделать в целом в физическом пространстве без конкретизации роли каждого робота, которая может не быть известной заранее и проявляться только в процессе выполнения сценария. Формулировка типичного семантического сценария (скажем, из области борьбы с кризисами) на естественном языке может иметь следующий вид.

Посетить места зоны бедствия со следующими физическими координатами:

(50,433; 30,633),

(50,417; 30,490),

(50,467; 30,517).

Оценить ущерб в каждом месте и вернуть значение максимального по всем местам уровня ущерба.

Выражение сценария в ЯПЗ будет иметь следующий вид:

максимум (

```

идти((50.433, 30.633),
      (50.417, 30.490),
      (50.467, 30.517));
оценить(ущерб)

```

Этапы автоматического коллективного исполнения этого сценария группой из трех роботов показаны на рис. 21.

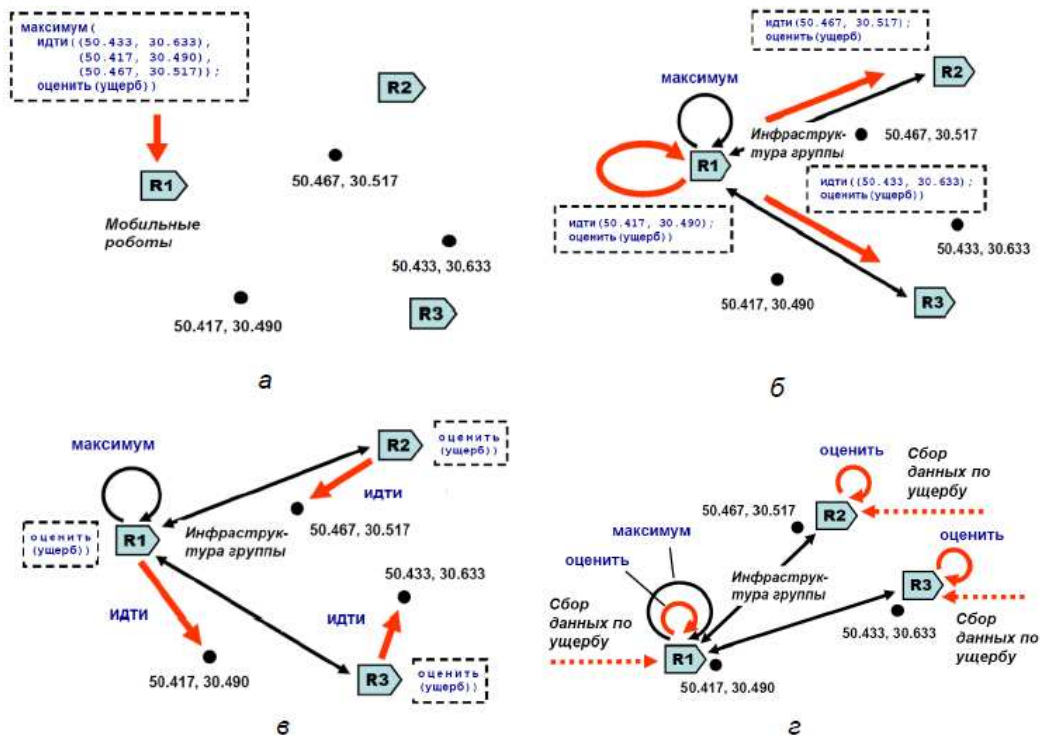


Рис. 21. Коллективное автоматическое исполнение семантического сценария: а) ввод сценария с любого робота; б) разделение и распределение, формирование операционной инфраструктуры группы; в) одновременное движение роботов к выбранным конечным пунктам; г) одновременная оценка ущерба в разных точках по прибытии в них

Финальная операция по нахождению максимума значения ущерба среди трех локально определенных величин показана на рис. 22.

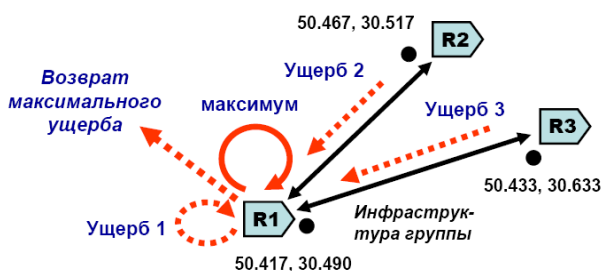


Рис. 22. Финальный этап коллективной интерпретации сценария

Продемонстрированный семантический уровень задания пространственных сценариев может иметь как преимущества, так и недостатки.

Среди несомненных достоинств следует подчеркнуть, что семантический уровень задает лишь то, что нужно сделать в распределенном пространстве и какие базовые решения предпринять, не упоминая возможных исполнителей и их взаимодействие,

которые могут не быть известными вначале, а проявляться и изменяться лишь во время исполнения сценария. Он также позволяет быстро, на лету, перестроить компактный сценарий или его части при изменении целей и окружающей среды.

К недостаткам можно отнести то, что поскольку вся системная организация и управление формируются автоматически, по стандартным встроенным механизмам, общая производительность может оказаться отличной от оптимальной, при этом внесение ключе-

вых системных деталей в сценарий миссии может оказаться весьма полезным. Такая детализация рассмотрена в следующем разделе.

9. Роботические сценарии: детализация организации и управления

В отличие от предыдущего определения задачи на уровне «только что нужно сделать», различные явные поведенческие и системные аспекты могут быть эффективно выражены на ЯПЗ, которые после объединения друг с другом могут обеспечить очень гибкое оптимизированное и интеллектуальное глобальное поведение.

Представим себе, что распределенное пространство должно быть тщательно исследовано множественными воздушными дронами, прочесывающими территорию в рандомизированном стиле (обеспечивающем в то же время некоторый глобальный вектор направленности движения).

Но нам также нужно, чтобы этот беспилотный сворм дополнительно имел сильную внутреннюю организацию типа военного подразделения (которое также было бы легко контролируемо извне), скажем, иерархическую командную систему, базирующуюся на топологическом центре группы, который может постоянно меняться из-за случайности движения отдельных дронов.

Нужно, например, чтобы этот сворм также собирал данные о возможных целях по всей контролируемой территории, распределял накопленные цели между отдельными роботами, которые выбирали бы наиболее подходящие для них с последующим преследованием и уничтожением. Подобные сценарии иллюстрированы на рис. 23.

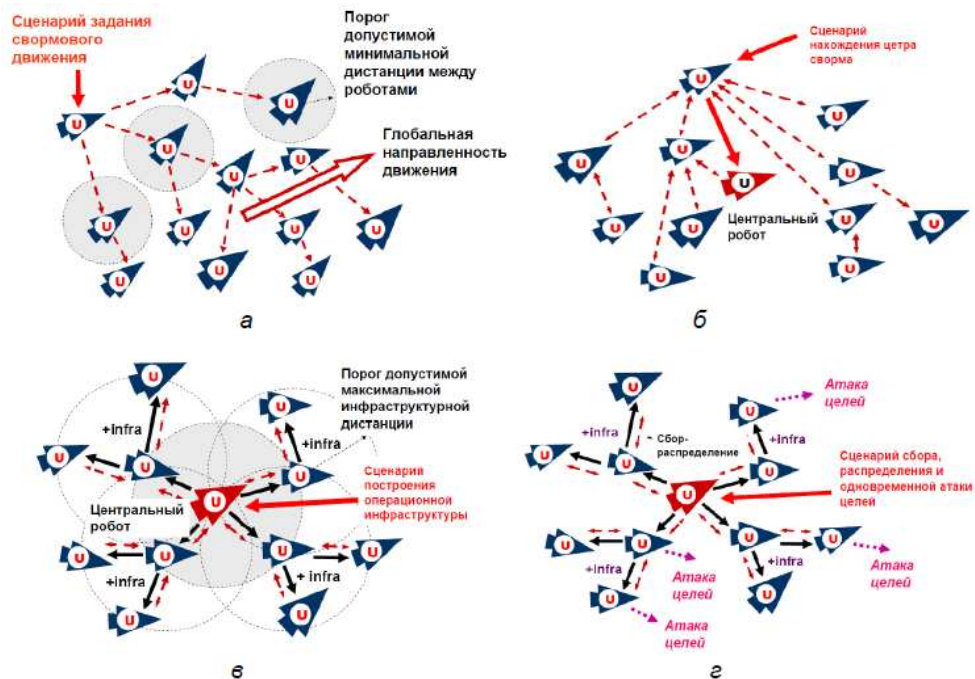


Рис. 23. Различные аспекты группового поведения: а) распределенная организация кооперативного свормового движения; б) нахождение и коррекция топологического центра группы; в) создание и корректировка операционной инфраструктуры, исходящей от найденного центра; г) распределенный сбор и обратная рассылка целей вместе с их атакой на местах

Рассмотрим выражение этих фаз группового поведения на ЯПЗ, давая (подчеркнув) названия полученным частным сценариям, а также их объединение в общий, интегральный сценарий.

Распределенная самоорганизация свормового движения (сворм):

```

войти(все);
фронтальные(Пределы = (dx(0,8),dy(-2,5)),
             Расстояние = 50);
повтор(Сдвиг = случайный(Пределы);
       если(пусто(ГДЕ + Сдвиг, Расстояние),
           переместиться(Сдвиг)))

```

Регулярная самокорректировка меняющегося центра группы (центр):

```

фронтальная(Средний) = усреднить(войти(все); ГДЕ);
цель_минимум(войти(все); расстояние(Средний, ГДЕ))

```

Самокорректировка пространственной операционной инфраструктуры (инфраструктура):

```

остаться(
  фронтальная(Дистанция) = 100;
  остаться(войти(все); удалить(связи, все));
  повтор(войти_связать(+infra, Дистанция, впервые, все))
)

```

Обнаружение, сбор, распределение, выбор и атака множественных целей (цели):

```

непусто(
  фронтальная(Видимые) =
    повтор(свободный(обнаружить(цели), войти(+infra)));
  повтор(свободный(выбрать_идти_атаковать(Видимые),
                 войти(+infra)))
)

```

Результирующее объединенное решение (где подчеркнутые названия могут быть напрямую заменены их вышестоящими сценариями):

```

одновременно(
  сворм,
  повтор(центр; инфраструктура;
        параллельно_или(цикл(цели),
                        задержать(время)))
)

```

Полученный результирующий сценарий, который может быть запущен с любого робота, объединяет свободное рандомизированное свормовое движение в распределенном пространстве с регулярной корректировкой топологического центра группы и обновлением операционной инфраструктуры, исходящей от него. Последняя контролирует обзор всей территории, собирает данные о целях, а также распределяет их обратно между роботами группы для индивидуального воздействия на цели.

10. Формализация командного управления

Формализация командного управления (КУ) и командного намерения (КН) является одной из самых важных и в то же время сложных задач на пути создания эффективных многона-

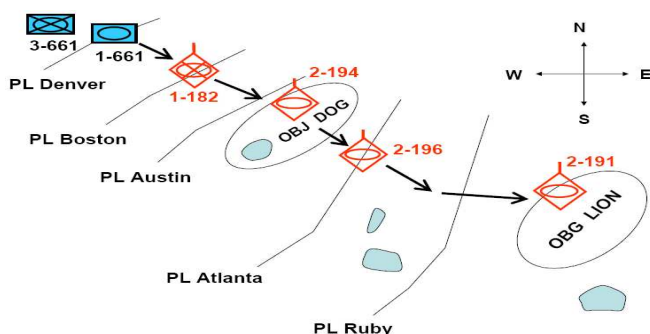


Рис. 24. Типичный сценарий военной операции

циональных сил, интеграции моделирования и живого управления, а также перехода к роботизированным армиям. Существующие специализированные языки для формального, недвусмысленного выражения КУ и КН (BML, C-BML, JBML, geoBML и т.п.) не являются языками программирования в полном смысле и требуют интеграции с другими языковыми средствами на разных организационных уровнях [22].

Рассмотрим типичный сценарий военной операции, заимствованный нами из [22] и представленный на рис. 24.

Задача должна быть выполнена двумя бронеескадронами BN-661 Coy1 и BN-661 Coy3, которые должны оперировать согласованно. Операция разделена на четыре временных фазы: от TP0 до TP1, от TP1 до TP2, от TP2 до TP3 и от TP3 до TP4, чтобы в конце захватить цель *Lion*, а по пути к ней цель *Dog*. Их координированное продвижение должно пройти рубежи *Denver*, *Boston*, *Austin*, *Atlanta* и *Ruby*, фиксируя и уничтожая неприятельские подразделения Red-1-182, Red-2-194, Red-2-196 и Red-2-191.

Команды для Coy1 в Battle Management Language (BML):

```
deploy BN-661 Coy1 at Denver end before TP0
in-order-to enable label-o11 label-o10;
advance BN-661 Coy1 from Denver to Boston start at TP0
in-order-to enable label-o12 label-o11;
fix BN-661 Coy1 Red-1-182 at Boston end nlt TP1
in-order-to enable label-o33 label-o12;
advance BN-661 Coy1 to Austin start at TP1
in-order-to enable label-o14 label-o13;
fix BN-661 Coy1 Red-2-194 at Dog end nlt TP2
in-order-to enable label-o35 label-o14;
advance BN-661 Coy1 to Atlanta start at TP2
in-order-to enable label-o16 label-o15;
fix BN-661 Coy1 Red-2-196 at Atlanta end nlt TP3
in-order-to enable label-o37 label-o16;
advance BN-661 Coy1 to Ruby start at TP3
in-order-to enable label-o18 label-o17;
fix BN-661 Coy1 Red-2-191 at Lion end nlt TP4
in-order-to enable label-o39 label-o18;
seize BN-661 Coy1 Lion at Lion end nlt TP4
in-order-to cause label-cil label-o19;
```

Команды для Coy3 в BML:

```
deploy BN-661 Coy3 at Denver end before TP0
in-order-to enable label-o32 label-o30;
support BN-661 Coy3 Coy1 at Troy start at TP0 end at TP4 label-031;
attspt BN-661 Coy3 Red-1-182 from Denver to Boston start at TP0 end nlt TP1
in-order-to enable label-o12 label-o32;
destroy BN-661 Coy3 Red-1-182 at Boston end nlt TP1
in-order-to enable label-o13 label-o33;
attspt BN-661 Coy3 Red-2-194 from Boston to Dog start at TP1 end nlt TP2
in-order-to enable label-o14 label-o34;
destroy BN-661 Coy3 Red-2-194 at Dog end nlt TP2
in-order-to enable label-o15 label-o35;
attspt BN-661 Coy3 Red-2-196 from Dog to Atlanta start at TP2 end nlt TP3
in-order-to enable label-o16 label-o36;
destroy BN-661 Coy3 Red-2-196 at Atlanta end nlt TP3
in-order-to enable label-o17 label-o37;
attspt BN-661 Coy3 Red-2-191 from Atlanta to Lion start at TP3 end nlt TP4
in-order-to enable label-o18 label-o38;
destroy BN-661 Coy3 Red-2-191 at Lion end nlt TP3
in-order-to enable label-o19 label-o39;
```

Полный сценарий миссии в ЯПЗ, задающий ее семантику (на порядок короче, чем в [22], написанном на традиционном уровне взаимодействия компонент), будет иметь следующий вид:

```
ФИКСАТОР:BN_661_Coy1;  
ИСТРЕБИТЕЛЬ:BN_661_Coy3;  
развернуть(Denver, ВР:TP0);  
пройти_уничтожить(  
  (Boston, Red_1_182, ВР:TP1),  
  (Austin, ЦЕЛЬ:DOG, Red_2_194, ВР:TP2),  
  (Atlanta, Red_2_196, ВР:TP3),  
  (Ruby, ЦЕЛЬ:LION, Red_2_191, ВР:TP4));  
захватить(LION, ВР:TP4)
```

Задание пространственных операций в ЯПЗ позволяет существенно упрощать и сокращать их описание и модификацию в реальном времени, а также формально вводить в действие различные роботические компоненты в рамках унифицированного командного управления. Например, не указывая конкретные ресурсы, этот сценарий может быть исполнен как человеческими, так и роботическими подразделениями, а также их любыми комбинациями, которые могут проясниться лишь во время его исполнения.

```
развернуть(Denver, ВР:TP0);  
пройти_уничтожить(  
  (Boston, Red_1_182, ВР:TP1),  
  (Austin, ЦЕЛЬ:DOG, Red_2_194, ВР:TP2),  
  (Atlanta, Red_2_196, ВР:TP3),  
  (Ruby, ЦЕЛЬ:LION, Red_2_191, ВР:TP4));  
захватить(LION, ВР:TP4)
```

Причем сценарий может быть первоначально загружен в любую человеческую или роботическую компоненту, а затем распределен полностью или же по взаимосвязанным частям среди других компонент в реальном времени, автоматически восстанавливаясь в случае атак противника и разрушений отдельных компонент, гарантируя таким образом целостность и целевую ориентацию миссии.

11. Заключение

- Роботы оказывают существенную помощь в самых разных областях, особенно при работе в сложных и опасных ситуациях и средах.
- Но судьба роботики, особенно военной, будет в значительной мере зависеть от того, насколько она концептуально и организационно интегрируется с человеческими системами при общем управлении и менеджменте.
- Разработанная высокоуровневая управляющая идеология и технология, базирующаяся на принципах целостности, сверхсуммативности и самовосстанавливаемости, может обеспечить унифицированный переход к автоматизированным и автоматическим системам с широким использованием роботики как в гражданской, так и военной области.
- Гибкое распределенное автоматизированное командное управление, порождаемое и поддерживаемое ТПЗ, может самовосстанавливаться после сбоя и атак, гарантируя глобальную целостность и целенаправленность системы.
- Позволяет, например, управлять любыми коллективами автономных роботов вне зависимости от их количества и с помощью только одного оператора благодаря автоматически поддерживаемой самоорганизации, самоосведомленности и целостности групп.

Больше о философии и истории создания и развития ТПЗ, деталях ее имплементации, а также исследованных многочисленных применениях в самых разных областях можно найти в существующих публикациях, включая [23–29].

БЛАГОДАРНОСТИ

Мы признательны международным ученым и специалистам за полезные контакты, дискуссии и поддержку, а также снабжение последними материалами по роботике: особенно Др. Роберту Финкельштейну, президенту Robotic Technology Inc. Бобу Нугенту из Guardian Six и проф. Рону Аркину из Georgia Tech, College of Computing. Также благодарны компании SMI в Великобритании, регулярно поддерживающей наши презентации на международных военных конференциях в Лондоне, по военной роботике включительно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. U.S. Army Considers Replacing Thousands of Soldiers with Robots [Электронный ресурс] // U.S.S. Enterprise, IEEE Starship U.S.S Enterprise Section. – 2015. – Режим доступа: <http://sites.ieee.org/uss-enterprise/u-s-army-considers-replacing-thousands-of-soldiers-with-robots/>.
2. Ackerman E. U.S. Army Considers Replacing Thousands of Soldiers with Robots [Электронный ресурс] / E. Ackerman // IEEE Spectrum. – 2014. – Jan. 22. – Режим доступа: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/military-robots/army-considers-replacing-thousands-of-soldiers-with-robots>.
3. US Army Works Toward Single Ground Robot [Электронный ресурс]. – Defense News. – 2014. – Nov. 15. – Режим доступа: <http://archive.defensenews.com/article/20141115/DEFREG02/311150033/US-Army-Works-Toward-Single-Ground-Robot>.
4. LS3 – Legged Squad Support Systems [Электронный ресурс]. – Boston Dynamics. – Режим доступа: http://www.bostondynamics.com/robot_ls3.html.
5. СНЕЕТАН – Fastest Legged Robot [Электронный ресурс]. – Boston Dynamics, 2013. – Режим доступа: http://www.bostondynamics.com/robot_cheetah.html.
6. Rodriguez W. New Military Technology 2014 Supersoldier Robot Developed [Электронный ресурс] / W. Rodriguez // Latest New Technology Gadgets. – 2014. – Sept. 28. – Режим доступа: <http://latestnewtechnologygadgets.com/wp/new-military-technology-2014-supersoldier-robot-developed/>.
7. Lin P. Autonomous Military Robotics: Risk, Ethics, and Design [Электронный ресурс] / P. Lin, G. Bekey, K. Abney // US Department of Navy, Office of Naval Research. – 2008. – Dec. 20. – Режим доступа: [http://www.unog.ch/80256EDD006B8954/\(httpAssets\)/A70E329DE7B5C6BCC1257CC20041E226/\\$file/Autonomous+Military+Robotics+Risk,+Ethics,+and+Design_lin+bekey+abney.pdf](http://www.unog.ch/80256EDD006B8954/(httpAssets)/A70E329DE7B5C6BCC1257CC20041E226/$file/Autonomous+Military+Robotics+Risk,+Ethics,+and+Design_lin+bekey+abney.pdf).
8. X-47BUCAS, Capabilities [Электронный ресурс]. – Northrop Grumman. – 2015. – Режим доступа: <http://www.northropgrumman.com/Capabilities/X47BUCAS/Pages/default.aspx>.
9. McDuffee A. DARPA Plans to Arm Drones With Missile-Blasting Lasers [Электронный ресурс] / A. McDuffee // WIRED. – 2013. – Nov. 1. – Режим доступа: <http://www.wired.com/2013/11/drone-lasers/>.
10. Meet the SR-72 [Электронный ресурс]. – Lockheed Martin. – 2013. – Режим доступа: <http://www.lockheedmartin.com/us/news/features/2013/sr-72.html>.
11. Engineering Review Board Concludes Review of HTV-2 Second Test Flight [Электронный ресурс]. – DARPA. – 2012. – April 20. – Режим доступа: <http://www.darpa.mil/newsevents/releases/2012/04/20.aspx>.
12. Berkowitz B. Sea Power in the Robotic Age [Электронный ресурс] / B. Berkowitz // ISSUES in Science and Technology. – 2015. – Режим доступа: <http://issues.org/30-2/bruce-2/>.
13. Large Displacement Unmanned Underwater Vehicle Innovative Naval Prototype (LDUUV INP), in Naval Drones [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.navaldrones.com/LDUUV-INP.html>.
14. Wood S. Autonomous Underwater Gliders [Электронный ресурс] / S. Wood // Florida Institute of Technology. – Режим доступа: http://my.fit.edu/~swood/26_Wood_first.pdf.
15. Hsu J. U.S. Navy Tests Robot Boat Swarm to Overwhelm Enemies [Электронный ресурс] / J. Hsu // IEEE Spectrum. – 2014. – Oct. 5. – Режим доступа: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/military-robots/us-navy-robot-boat-swarm>.

16. Hotz R. L. Harvard Scientists Devise Robot Swarm That Can Work Together [Електронний ресурс] / R.L. Hotz // The Wall Street Journal. – 2014. – Aug. 15. – Режим доступу: <http://www.wsj.com/articles/harvard-scientists-devise-robot-swarm-that-can-work-together-1408039261>.
17. Сапатый П.С. Распределенная технология глобального управления / П.С. Сапатый, А.А. Морозов, В.П. Клименко // Математичні машини і системи. – 2010. – № 4. – С. 3 – 17.
18. Sapaty P. The World as an Integral Distributed Brain under Spatial Grasp Paradigm [Електронний ресурс] / P. Sapaty // book chapter in Intelligent Systems for Science and Information, Springer. – 2014. – Feb. 4. – Режим доступу: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-04702-7_4.
19. Wertheimer M. Gestalt theory / Wertheimer M. – Erlangen, Berlin, 1924. – 380 p.
20. Sapaty P.S. Over-Operability in Distributed Simulation and Control / P.S. Sapaty // The MSIAC's M&S Journal Online. – 2002. – Vol. 4, N 2. – 8 p.
21. Minsky M. The Society of Mind, Simon & Schuster / Minsky M. – New York, 1988. – 336 p.
22. Command and Control Lexical Grammar (C2LG) Specification / U. Schade, M. R. Hieb, M. Frey [et al.] // FKIE Technical Report ITF/2010/02. – 2010. – July. – 40 p.
23. Sapaty P.S. Unified Transition to Cooperative Unmanned Systems under Spatial Grasp Paradigm [Електронний ресурс] / P.S. Sapaty // International journal Transactions on Networks and Communications (TNC). – 2014. – Vol. 2, Issue 2. – Режим доступу: <http://scholarpublishing.org/index.php/TNC>.
24. Sapaty P.S. Distributed Human Terrain Operations for Solving National and International Problems [Електронний ресурс] / P.S. Sapaty // International Relations and Diplomacy. – 2014. – Vol. 2, N 9. – Режим доступу: http://www.davidpublishing.com/journals_info.asp?jId=2094.
25. Sapaty P.S. From Manned to Smart Unmanned Systems: A Unified Transition / P.S. Sapaty [Електронний ресурс] // SMi's Military Robotics, Holiday Inn Regents Park London. – 2014. – May 21-22. – Режим доступу: <http://www.smi-online.co.uk/defence/archive/5-2014/conference/military-robotics>.
26. Sapaty P.S. Integration of ISR with Advanced Command and Control for Critical Mission Applications [Електронний ресурс] / P.S. Sapaty // SMi's ISR conference, Holiday Inn Regents Park, London. – 2014. – April 7-8. – Режим доступу: <http://www.smi-online.co.uk/defence/archive/4-2014/conference/isr>.
27. Sapaty P.S. Ruling distributed dynamic worlds / Sapaty P.S. – New York: John Wiley & Sons, 2005. – 255 p.
28. Sapaty P.S. Mobile processing in distributed and open environments / Sapaty P.S. – New York: John Wiley & Sons, 1999. – 436 p.
29. European Patent N 0389655 A distributed processing system / Sapaty P.S.; Publ. 10.11.93, European Patent Office. – 13 p.

Стаття надійшла до редакції 14.04.2015