

**В. М. Лохин**, д-р техн. наук, проф., cpd@mirea.ru, **С. В. Манько**, д-р техн. наук, проф., cpd@mirea.ru,  
**Р. И. Александрова**, науч. сотр., cpd@mirea.ru, **М. П. Романов**, д-р техн. наук, проф., cpd@mirea.ru,  
**С. А. К. Диане**, канд. техн. наук., ассистент, cpd@mirea.ru,  
 Московский технологический университет (МИРЭА), Москва

## Принципы построения и программно-алгоритмическое обеспечение человеко-машинного интерфейса для автономных роботов и мультиагентных робототехнических систем<sup>1</sup>

*Представлен обзор средств и методов человеко-машинного интерфейса для робототехнических систем специального назначения. Предложены принципы построения человеко-машинного интерфейса для мультиагентных робототехнических систем. Обоснованы структура и состав программно-алгоритмических средств для оперативного описания и постановки прикладных задач группе автономных роботов, приводятся результаты моделирования.*

**Ключевые слова:** автономный робот, мультиагентная робототехническая система, человеко-машинный интерфейс

### Введение

Результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, активно ведущихся во всем мире в области мультиагентных робототехнических систем (МАРС), убедительно свидетельствуют о возможности их создания и перспективности применения для широкого круга приложений в военном деле, сельском хозяйстве, строительстве и множестве других сфер. При этом основные усилия разработчиков концентрируются вокруг проблем распределения заданий и планирования взаимодействий в группе роботов, организации информационного обмена, обобщения сенсорной информации и т.д. В то же время, совершенно очевидно, что эффективность применения МАРС будет во многом определяться возможностями средств человеко-машинного интерфейса по оперативной постановке решаемых прикладных задач и контролю их выполнения оператором.

Настоящая статья продолжает цикл авторских публикаций, посвященных проблематике группового управления роботами, которые должны обеспечивать совместное решение поставленных прикладных задач, взаимодействуя друг с другом [1—5, 33, 34]. В ней предлагаются принципы построения человеко-машинного интерфейса для мультиагентных робототехнических систем, дается обоснование структуры и состава программно-алгоритмических средств для оперативного описания и постановки прикладных задач группе автономных роботов, приводятся результаты моделирования.

### Развитие средств и методов человеко-машинного интерфейса для робототехнических систем специального назначения

Организация человеко-машинного интерфейса всегда относилась к числу основополагающих вопросов создания робототехнических систем и комп-

лексов. Эта проблематика, названная в зарубежной литературе "Human-Robot Interaction" [6—9], рассматривается в качестве самостоятельного раздела современной робототехники как сложного междисциплинарного научного направления.

Следует отметить, что по мере развития робототехники от жестко программируемых промышленных манипуляторов до автономных устройств, способных решать широкий спектр требуемых прикладных задач в условиях неопределенности, способы реализации функций человеко-машинного интерфейса также претерпевали существенные изменения. Результаты подобной эволюции привели к появлению устоявшейся классификации средств и методов обеспечения человеко-машинного взаимодействия в робототехнике [6—17] с выделением таких основных составляющих, как обучение показом (прямое обучение), удаленное (дистанционное), телеоператорное, супервизорное и интерактивное управление, программирование на специализированных языках высокого уровня (роботили задачно-ориентированных), визуальное программирование и виртуальное моделирование, естественно-языковой интерфейс (рис. 1). Так, средства и методы обучения показом (прямого обучения) предполагают, что совокупность необходимых дейст-



Рис. 1. Классификация средств и методов человеко-машинного интерфейса в составе робототехнических систем

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 16-29-04379.

вий и движений робота задается непосредственно в процессе их демонстрации или путем принудительного проведения системы вдоль множества требуемых состояний с запоминанием соответствующих параметров и их последующей обработкой.

Средства и методы удаленного и телеоператорного управления с использованием задающих устройств предполагают формирование значений параметров исполняемых действий и движений робота для обеспечения активного контроля процессов его функционирования в реальном масштабе времени (при наличии и отсутствии условий прямой видимости, соответственно).

В свою очередь, средства и методы супервизорного управления предполагают диспетчеризацию действий робота в согласии с командами оператора, указывающими тип выполняемой операции и/или значения ее параметров.

Интерактивное управление предполагает поддержание двусторонней диалоговой связи между роботом и оператором, когда после получения очередной команды система запрашивает недостающие параметры или выдает сообщения о результатах ее выполнения или другую служебную информацию.

Средства и методы программирования на специализированных языках высокого уровня предполагают необходимость описания процесса выполнения решаемой прикладной задачи в терминах действий робота либо технологических операций с указанием значений требуемых параметров, которое передается в систему управления для последующего исполнения. Сформированная таким образом робото- или задачно-ориентированная программа передается в систему управления для последующего исполнения.

Визуальное программирование и виртуальное моделирование ориентировано на активное использование средств машинной графики при описании и постановке прикладных задач для системы управления роботом. В этом случае собственно виртуальное моделирование выступает в качестве мощного и эффективного инструмента, который может использоваться не только для отладки создаваемой программы или проверки правильности постановки решаемой задачи, но и для контроля действий робота, воспроизводимых по телеметрическим данным в ходе их выполнения.

Естественно-языковой интерфейс обеспечивает поддержание вербального диалога между оператором и роботом для постановки решаемых задач, для ввода заданий и командных целеуказаний, для обучения системы управления, контроля ее состояния и результатов функционирования. В общем случае эффективность практического применения интеллектуальных систем такого рода определяется не только моделями естественного (или близкого к нему) языка с реализацией тех или иных подходов к фразеологическому анализу и синтезу, но и методами учета контекста, способами голосового или

текстового ввода/вывода информации, объемами словарного запаса и т.д. [15, 16].

В последнее время активное внимание научного сообщества привлечено к нейрокомпьютерным интерфейсам, исследование и разработка которых происходят на стыке нейробиологии и технологий управления и обработки информации в технических системах. Перспективы применения подобных интерфейсов охватывают не только задачи протезирования и реабилитации пациентов, но и задачи повышения удобства и эффективности взаимодействия оператора с робототехническими системами различных типов и назначения [17, 18].

Приведенная классификация является достаточно условной, поскольку средства человеко-машинного интерфейса в составе робототехнических систем на практике часто строятся с использованием комбинированных подходов, позволяющих оператору задавать требуемый тип действий или движений, указывать последовательность выполнения необходимых операций или описывать решаемую прикладную задачу. Особую актуальность вопросы человеко-машинного интерфейса стали приобретать в связи с появлением полуавтоматических и автономных роботов специального назначения (рис. 2) [19, 20], а также мультиагентных робототехнических систем, создаваемых на их основе и ориентированных на выполнение сложных миссий в автоматическом режиме в априорно неопределенных и экстремальных средах [19–24].

Использование таких устройств и систем в реальных приложениях предполагает необходимость постановки решаемых задач в условиях, которые являются крайне некомфортными для оператора ввиду острого дефицита времени, наличия стресса, негативности внешних воздействий различного характера, общей неблагоприятности обстановки.

Следует отметить, что совершенствование средств человеко-машинного интерфейса, ставящее своей целью снижение нагрузки на оператора, улучшение условий и повышение безопасности его работы, неразрывно связано с расширением функциональных возможностей бортовых систем управления роботами (рис. 3).



Рис. 2. Развитие роботов специального назначения, их систем управления и средств человеко-машинного интерфейса



Рис. 3. Функциональные возможности систем управления роботами с различными типами человеко-машинного интерфейса

Поиск перспективных путей обеспечения эффективного взаимодействия оператора с полуавтоматическими и автономными роботами обусловили создание целого ряда систем человеко-машинного интерфейса, нашедших свое практическое применение. Как показано на рис. 4 (см. вторую сторону обложки), в своем подавляющем большинстве аппаратно-программные средства человеко-машинного интерфейса для робототехнических систем специального назначения, принятых на вооружение армейских и силовых структур различных стран мира, позволяют совмещать возможности режимов удаленного, телеоператорного и супервизорного (а в некоторых случаях и автономного) управления с двусторонней передачей данных по беспроводным каналам связи.

При этом на экране пульта оператора отображается видеoinформация с бортовых телекамер робота, карта местности с указанием текущего местоположения, а также параметры его движения и текущего состояния отдельных подсистем (рис. 4, е, см. вторую сторону обложки) [25].

Управление движением робота осуществляется с помощью задающих органов (рис. 4, б, в, г, см. вторую сторону обложки) или при активизации экранных опций (рис. 4, д, е), позволяющих указать требуемую команду и параметры ее выполнения.

Соблюдение требований принятого в США, Израиле и ряде других стран стандарта JAUS [26, 27] позволяет обеспечить применение унифицированных пультов оператора для работы с различными типами робототехнических систем. Примером подобного рода служат аппаратно-программные средства человеко-машинного интерфейса *ROCU-7* (*Roboteam Ltd, Israel*) (рис. 4, б, см. вторую сторону обложки), предназначенные для управления разведывательным роботом *MTGR* (*Roboteam Ltd, Israel*) и БПЛА [28].

Перспективные образцы систем человеко-машинного интерфейса для роботов специального назначения обладают развитым набором дополнительных функций, связанных с использованием

ортофотоснимков [20] и виртуальных моделей для планирования автономных миссий и контроля их проведения [29–31].

Так, в частности, система человеко-машинного интерфейса *Mobius™ Command & Control Software* (*Autonomous Solutions, USA*) предусматривает широкие возможности для управления мобильными роботами с применением средств и методов трехмерного моделирования и виртуальной реальности. При этом использование унифицированного протокола SAE AS-4 обеспечивает поддержку телеоператорного, полуавтоматического и автономного режимов работы с роботами различных типов, соответствующих стандарту JAUS [29].

Принятая на вооружение армии США система моделирования виртуальной реальности *MetaVR* (*MetaVR, Inc., USA*) ориентирована на решение ряда задач, непосредственно связанных с проблемой организации человеко-машинного взаимодействия, включая подготовку кадрового состава для управления роботами военного назначения, а также отработку тактики и приемов их боевого применения (рис. 5, а, см. третью сторону обложки). Состав системы включает специализированные библиотеки динамических моделей роботов, боевой и гражданской техники, военного и гражданского персонала, зданий и сооружений, картографические и сценарные базы данных, средства виртуального моделирования, средства оперативной обработки ортофотоснимков с последующим построением моделей трехмерных сцен и т.д. Имеющийся набор программно-инструментальных средств позволяет обеспечить моделирование различных типов роботов и робототехнических группировок военного назначения в среде виртуальной реальности с имитацией конкретных боевых ситуаций, особенностей внешней обстановки, погодных и климатических условий, а также предполагаемых способов противодействия противника [32].

Близкой по своему назначению является система *Дин-Софт РобСим 5* (*МИРЭА, Дин-Софт, Россия*), функциональные возможности которой в том числе охватывают задачи отработки тактики и способов применения различных типов роботов и робототехнических группировок по результатам их моделирования в среде виртуальной реальности (рис. 5, б, см. третью сторону обложки) [34].

Обобщение результатов проведенного обзора наглядно свидетельствует о существовании разнообразных вариантов организации интерфейса оператора с роботами различных типов. Специфика каждого из подходов определяется особенностями и назначением робота, сложностью решаемых им задач, способами его применения, методами управления и множеством других факторов. Появление мультиагентных робототехнических систем обуславливает необходимость разработки концептуально новых средств и методов человеко-машинного взаимодействия, создаваемых на основе имеющихся заделов с учетом особенностей задач

группового управления и возможностей современных интеллектуальных технологий для их решения.

### Принципы построения человеко-машинного интерфейса для мультиагентных робототехнических систем

Экстремальность условий и среды функционирования МАРС является одной из характерных особенностей подавляющего большинства областей их прикладного применения [1], включая оборонную сферу, сельское хозяйство, строительство, горное дело и т.д. При этом работа оператора сопряжена с дефицитом времени на постановку задачи, с наличием стресса и быстрой уставаемостью, с негативным влиянием климатических и погодных факторов.

Другие факторы, определяющие специфику практического применения МАРС, связаны с выбором их состава и структуры под решение конкретной прикладной задачи. Так, например, в зависимости от особенностей рассматриваемых приложений оперативное формирование мультиагентной системы может осуществляться в соответствии с централизованной, децентрализованной или смешанной структурой с объединением в составе группировки автономных роботов различных типов и назначения наземного, воздушного, а в некоторых случаях и надводного или подводного базирования.

В связи с этим организация человеко-машинного интерфейса должна предусматривать не только обеспечение возможностей полномасштабной информационной подготовки МАРС к выполнению требуемых задач и последующего контроля ее функционирования, но и интеллектуальную поддержку действий оператора.

Таким образом, в основу общей концепции построения универсального человеко-машинного интерфейса для управления МАРС могут быть положены четыре основных принципа:

- комплексная автоматизация процессов информационной подготовки МАРС к решению требуемых прикладных задач и контроля их выполнения;
- унификация программно-аппаратных средств;
- интеллектуализация процессов принятия решений на всех этапах информационной подготовки МАРС к решению требуемых прикладных задач и контроля их выполнения;
- модульность программно-алгоритмического обеспечения.

Реализация *первого принципа*, предполагающего комплексную автоматизацию процессов информационной подготовки МАРС к решению требуемых прикладных задач и контроля их выполнения, предусматривает разработку следующего набора программно-алгоритмических средств:

- оперативной постановки и описания условий выполнения прикладной задачи, решаемой с помощью МАРС;

- выбора структуры и состава, а также оценки численности МАРС, необходимых для выполнения поставленной задачи;
- анализа выполнимости поставленной задачи по результатам оперативного моделирования МАРС с учетом выбранных параметров комплектования;
- оперативного приема и передачи данных по каналам беспроводной сетевой связи между пультом оператора и МАРС;
- оперативного контроля выполнения поставленной задачи и текущего состояния отдельных роботов, действующих в составе мультиагентной системы.

В свою очередь, *принцип унификации* программно-аппаратных средств человеко-машинного интерфейса предполагает, что его функциональные возможности должны обеспечивать поддержку различных стратегий группового управления в МАРС с централизованной, децентрализованной и смешанной архитектурой.

*Третий принцип* обуславливает применение современных методов и технологий искусственного интеллекта для представления и обработки экспертных знаний по обоснованному выбору состава и структуры МАРС, а также стратегий и алгоритмов группового управления роботами в зависимости от особенностей задач их прикладного применения, описываемых оператором с использованием средств человеко-машинного интерфейса.

И, наконец, *последний принцип* предполагает, что унификация средств интеллектуального человеко-машинного интерфейса, используемого на всех этапах информационной подготовки МАРС к выполнению требуемых задач (с учетом многообразия допустимых постановок), может и должна обеспечиваться за счет модульного построения программно-алгоритмического обеспечения.

Сформированные принципы, по существу, регламентируют обобщенную структуру интеллектуального человеко-машинного интерфейса для МАРС различных типов и назначения. Как показано на рис. 6 (см. третью сторону обложки), ее состав включает следующие основные модули:

- описания и постановки прикладной задачи (выполнение которой должно осуществляться с помощью МАРС);
- описания условий выполнения поставленной задачи;
- выбора структуры, состава и оценки численности МАРС;
- виртуального моделирования МАРС и оценки реализуемости поставленной задачи с передачей исходных данных на выполнение;
- контроля выполнения поставленной задачи в режиме моделирования МАРС на основе использования телеметрических данных о ее функционировании;
- контроля выполнения поставленной задачи с отображением на цифровой карте текущего положения роботов;

- контроля поэтапного выполнения поставленной задачи с отображением завершения отдельных операций в рамках установленного сценария;
- контроля состояния отдельных роботов, функционирующих в составе МАРС.

Наличие фундаментальных и прикладных заделов по ключевым аспектам рассмотренной концепции обуславливает реализуемость интеллектуального человеко-машинного интерфейса для автономных роботов и мультиагентных робототехнических систем.

### Программно-алгоритмические средства человеко-машинного интерфейса для оперативного описания и постановки прикладных задач группе автономных роботов

Важнейшая особенность разработки человеко-машинного интерфейса для управления МАРС связана с обеспечением адекватности инструментальных средств оперативного описания и постановки прикладных задач моделям и алгоритмам планирования действий и распределения заданий.

Планирование целесообразных действий МАРС для целого ряда приложений осуществляется на основе анализа сценария поэтапной реализации решаемой прикладной задачи. Соответствующая сценарная модель строится в виде сети типовых конечных автоматов, структура взаимосвязей и состояние которых отражают логику следования и стадию выполнения необходимых технологических операций. При этом выявление доступных для исполнения операций осуществляется по мере очередности завершения предыдущих (рис. 7), обеспечивая возможность формирования заданий для интеллектуальных автономных роботов, действующих в составе мультиагентной системы [3, 4, 34].

Удобной формой представления такого рода сценарных моделей являются графы, узлы которых ставятся в соответствие отдельным операциям или

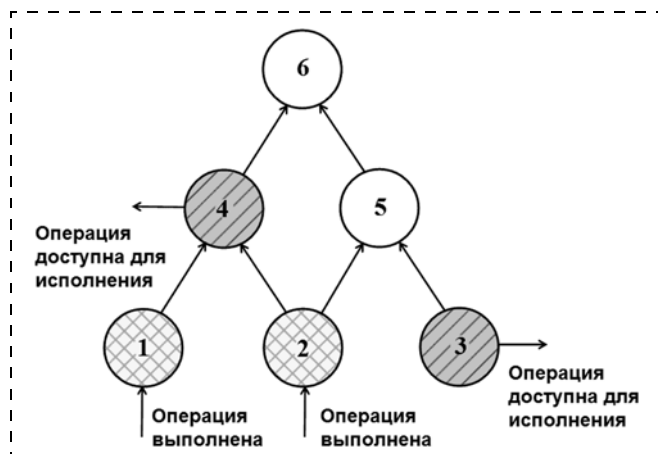


Рис. 7. Выявление доступных для исполнения операций по мере очередности завершения предыдущих на основе контроля за выполнением поставленной прикладной задачи по установленному сценарию

этапам, а дуги определяют требуемый порядок их следования.

В связи с этим функциональные возможности человеко-машинного интерфейса по обеспечению ввода всей совокупности исходных данных для постановки прикладной задачи группе автономных роботов (а также последующего контроля за ходом и результатами ее решения) должны предусматривать создание сценарных графов с указанием параметров выполнения необходимых "технологических" операций:

$$G = \langle (V, D), U \rangle, \quad (1)$$

где  $V = \{v_i / i = 1, 2, \dots, n\}$  — множество вершин, соответствующих тем "технологическим" операциям или этапам, выполнение которых обеспечивает решение требуемой прикладной задачи;

$D = \{t_i, p_i, s_i / i = 1, 2, \dots, n\}$  — множество комплектов данных, ассоциируемых с вершинами графа и характеризующих имена, наборы параметров и статус выполнения соответствующих "технологических" операций или подзадач;

$U = \{u_j / j = 1, 2, \dots, m\}$  — множество дуг связей между вершинами, регламентирующих порядок выполнения соответствующих "технологических" операций.

В состав комплекта данных, ассоциируемых с каждой из вершин сценарного графа (1), включается показатель статуса, выступающего в роли индикатора текущего состояния технологической операции:

$$s_i = \begin{cases} 0, & \text{если операция не выполнена;} \\ 0,5, & \text{если операция передана на выполнение;} \\ 1, & \text{если операция выполнена.} \end{cases} \quad (2)$$

В общем случае изменение статуса технологических операций (2) осуществляется на основе интерпретации данных, сообщаемых автономными агентами по мере их проведения. Полученные значения показателя статуса позволяют обеспечить обновление текущего состояния сценарной модели, используемой для планирования заданий по выполнению поставленной прикладной задачи. В то же время маркировка соответствующих узлов сценарного графа с учетом показателей статуса обуславливает возможность графического отображения хода и результатов реализации формируемых планов на мониторе оператора.

В свою очередь, такой элемент комплекта данных, как имя (или идентификатор типа) операции, не только определяет команду на ее выполнение, но и может быть использован как условие по выбору соответствующего робота на этапе формирования состава МАРС:

$$t_i \in T^R = \{t_k^R / k = 1, 2, \dots, l\},$$

где  $T^R = \bigcup_p T^{R_p}$ ,  $p = 1, 2, \dots, q$ ,  $T^{R_p} = \{t_y^{R_p} / y = 1, 2, \dots, v\}$  — множество имен технологических операций, потенциально выполняемых роботом  $p$ -го типа и определяющих его функциональные возможности.

Автоматизация процесса построения сценарного графа с возможностью указания параметров выполнения отдельных операций осуществляется с помощью средств графического и текстового редактирования, включаемых в состав человеко-машинного интерфейса для реализации режима оперативной постановки прикладной задачи группе роботов. При этом интерактивный ввод исходной информации сопровождается заполнением априорно зарезервированного массива памяти в соответствии с определенной структурой представления данных.

Такая структура, вариант которой приведен на рис. 8, должна однозначно отражать особенности поставленной прикладной задачи, выступая в качестве конструктивной основы для формирования ее сценарной модели.

Таким образом, сценарная модель прикладной задачи, создаваемая автоматически по исходным описаниям оператора, представляет собой сеть типовых конечных автоматов, логика построения и функционирования которой позволяет обеспечить не только оперативный контроль и планирование хода и порядка проведения необходимых технологических операций, но и решение вспомогательных вопросов по обоснованию численности требуемых исполнителей [3–5, 34].

Апробация предложенного подхода к построению интеллектуального человеко-машинного интерфейса в составе МАРС потребовала разработки соответствующего комплекса программно-инструментальных средств, функциональная структура которого включает следующие основные модули (рис. 9):

- ввода/вывода графической, текстовой и других видов информации с/на консоли оператора;
- формирования сценарной модели прикладной задачи;
- формирования базы данных по моделям автономных роботов;
- выбора и оценки численности автономных агентов (включаемых в состав МАРС для совместного выполнения поставленной прикладной задачи);
- планирования действий и распределения заданий (в составе МАРС);
- моделирования МАРС;
- формирования картографической базы данных;
- интерпретации данных о состоянии автономных агентов;
- подготовки и обработки сообщений, передаваемых или поступающих по каналам беспроводной сетевой связи с автономными роботами при выполнении поставленной прикладной задачи в составе МАРС;

- супервизора, обеспечивающего логический контроль и диспетчеризацию работы модулей в составе системы человеко-машинного интерфейса.
- Следует отметить, что выбор и оценка численности автономных роботов в составе мультиагентной группировки, планирование целесообразных действий и распределение заданий по их выполнению осуществляются на основе соответствующих алгоритмов анализа сценарной модели поставленной прикладной задачи [3–5, 34].

Подсистема моделирования МАРС может формироваться на основе использования различных



Рис. 8. Структура представления данных, регламентирующей постановку прикладной задачи в виде сценарного графа



Рис. 9. Функциональная структура программно-алгоритмического обеспечения человеко-машинного интерфейса в составе МАРС

средств разработки приложений в области трехмерной графики и виртуальной реальности, включая такие системы, как *RobSim 5* [35, 36] или открытые программные библиотеки (и их расширения) типа *OpenGL* [38], *OGRE* [39] и т.д. При этом возможности подсистемы моделирования МАРС используются в двух целях:

- для оперативной оценки реализуемости поставленной прикладной задачи с учетом выбранных в качестве исполнителей автономных агентов, а также особенностей среды и рельефа местности, отображаемых в среде виртуальной реальности в соответствии с указанным фрагментом цифровой карты;
- для контроля действий автономных агентов в ходе их совместного функционирования при выполнении поставленной задачи.

В последнем случае моделирование МАРС осуществляется на основе телеметрических данных, поступающих по каналам беспроводной сетевой связи и характеризующих текущее состояние агентов.

Подсистема подготовки и обработки сообщений обеспечивает преобразование форматов данных, передаваемых и принимаемых по каналам беспроводной сетевой связи с МАРС.

Подсистема интерпретации данных о состоянии агентов обеспечивает обобщение и анализ посту-

пающей информации в целях формирования объективной картины о функционировании МАРС, текущих результатах выполнения поставленной прикладной задачи с учетом изменения статуса технологических операций в ходе их проведения.

Опытная версия человеко-машинного интерфейса для постановки прикладных задач и контроля их выполнения группой автономных роботов прошла тестовые испытания (рис. 10), подтвердив свою работоспособность и эффективность на примерах виртуального и натурального моделирования МАРС различных типов и назначения [36, 37].

## Заключение

Активизация поисковых исследований, проводимых в России на протяжении ряда последних лет по тематике мультиагентных робототехнических систем по инициативе отдельных научных коллективов и организаций, позволила накопить определенный фундаментальный и прикладной задел, необходимый для дальнейшего развития данной предметной области. Соответствующие результаты, накопленные в МИРЭА и других научных центрах страны, связаны с разработкой методов и алгоритмов группового управления роботами, планирования их целесообразного поведения, оперативного формирования и распределения заданий, кооперативного картографирования, а также организации человеко-машинного интерфейса. Полученные решения и приобретенный опыт представляют собой объективные предпосылки для создания макетных и опытных образцов мультиагентных робототехнических систем различных типов и назначения.

## Список литературы

1. Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Крючков Е. Н., Кучерский Р. В., Диане С. А. Мультиагентные робототехнические системы: примеры и перспективы применения // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 2. С. 22–32.
2. Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П. Принципы построения и проблемы разработки мультиагентных робототехнических систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 3. С. 11–16.
3. Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Крючков Е. Н., Кучерский Р. В., Худак Ю. И. Модели и алгоритмы планирования действий и распределения заданий в мультиагентных робототехнических системах // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 5. С. 44–50.
4. Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Диане С. А. Способы представления знаний и особенности функционирования мультиагентных робототехнических систем // Мехатроника, автоматизация, управление. № 1. 2014. С. 36–39.
5. Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Диане С. А., Трипольский П. Э., Карпов С. А. Модели и алгоритмы оценки численности состава мультиагентных робототехнических систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 3.
6. Human Robot Interaction. Edited by N. Sarkar, I-Tech Education and Publishing, 2007. 522 p.
7. Advances in Human-Robot Interaction. Edited by V. A. Kulyukin. Croatia. In-Tech, 2009. 342 p.
8. Human-Robot Interaction. Edited by D. Chugo. Croatia. In-Tech, 2010. 288 p.

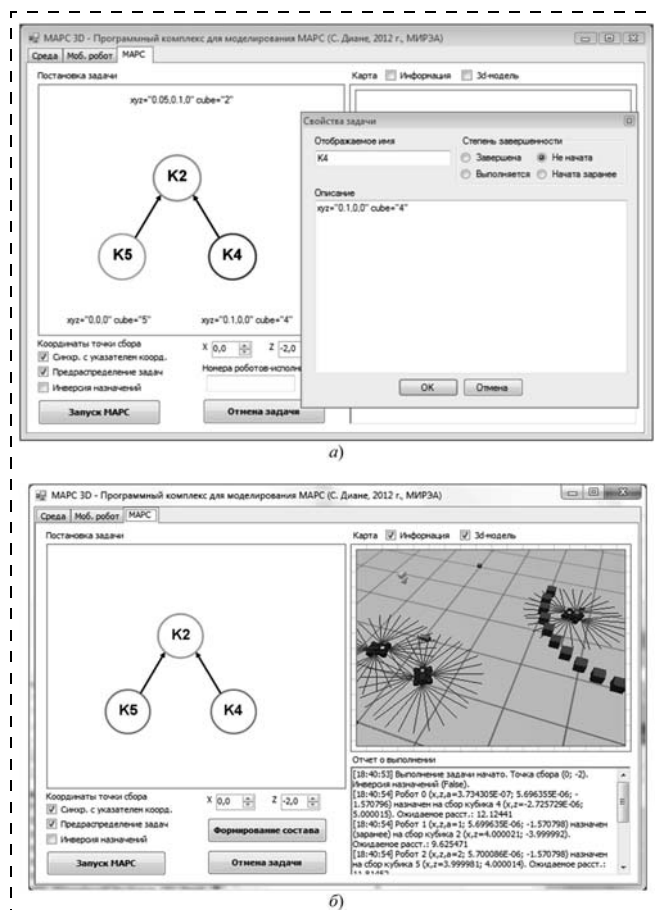


Рис. 10. Использование средств человеко-машинного интерфейса для постановки прикладной задачи группе роботов (а) и контроля их функционирования в ходе ее выполнения (б)

9. **Mobile Robots — Control Architectures, Bio-Interfacing, Navigation, Multi Robot Motion Planning and Operator Training.** Edited by J. Będkowski. Croatia. In-Tech, 2011. 390 p.
10. **Кулаков Ф. М.** Супервизорное управление манипуляционными роботами. М.: Наука, 1980.
11. **Lozano-Perez T.** Robot programming // Proc. of IEEE. 1983. Vol. 71, no. 7. P. 821–841.
12. **Назарова А. В.** Языки программирования роботов: Обзор. М.: МЦНТИ, 1988.
13. **Справочник** по промышленной робототехнике. Кн. 2 / Под ред. Ш. М. Нофа. М.: Машиностроение, 1990.
14. **Манько С. В., Штыков А. В.** Автоматизация программирования роботов. М.: МИРЭА, 1997.
15. **Невзорова О. А.** Машинное обучение и задачи обработки естественного языка // Новости искусственного интеллекта. 1998. № 1.
16. **Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П.** Технологии обработки командной информации и управления поведением в интеллектуальных робототехнических системах // Информационные технологии. 2005. № 7.
17. **Владимирский Б. М., Кирой В. Н., Скоморохов А. А.** Пути создания интерфейса "мозг-компьютер" для людей // Известия ЮФУ. Технические науки. 2008. № 6 (83). С. 210–212.
18. **Hochberg L. R.** et al. Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm // Nature. 2012. 485 (7398). P. 372–375.
19. **Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations** // Committee on Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations, National Research Council / USA, National Academies Press, 2005.
20. **Technology Development for Army Unmanned Ground Vehicles** / Committee on Army Unmanned Ground Vehicle Technology, National Research Council / USA, National Academies Press, 2002.
21. **Multi Robot Systems, Recent Advances.** Edited by A. Lazinic. Croatia, I-Tech Education and Publishing, 2008. 318 p.
22. **Multiagent Systems.** Edited by S. Ahmed and M. N. Karsiti. Croatia, I-Tech, 2009. 425 p.
23. **Swarm Robotics, From Biology to Robotics.** Edited by E. M. Martin. InTech, 2010. 101 p.
24. **Multi-robot systems, trends and development.** Edited by T. Yasuda, InTech, 2011. 586 p.
25. **Drury J. L., Scholtz J., Kieras D.** The Potential for Modeling Human-Robot Interaction with GOMS / Human Robot Interaction. Edited by N. Sarkar, I-Tech Education and Publishing, 2007. P. 21–38.
26. **Бобровский С.** JAUS: стандарт на разработку военных и мирных роботов // PC Week / RE. 2004. № 38.
27. **Enterprise Structure: JAUS.** URL: <http://www.jointrobotics.com/enterprise02.php>
28. **ROCU-7 Ruggedized Operator's Control Unit.** URL: <http://www.robo-team.com/uploads/docs/ROCU-7.pdf>
29. **Mobius — Universal Control for Unmanned Systems.** URL: <http://autonomoussolutions.com/brochure/mobius.pdf>
30. **Mobi — portable handheld Operator Control Unit.** URL: <http://autonomoussolutions.com/brochure/mobi.pdf>
31. **Autonomous Solutions, Inc. Overview.** URL: <http://oilandgas-innovation.com/wp-content/uploads/2013/05/Autonomous-Solutions-Inc.pdf>
32. **Geospecific simulation with game quality graphics.** URL: <http://www.metavr.com/>
33. **Манько С. В., Лохин В. М., Романов М. П.** Концепция построения мультиагентных робототехнических систем // ВЕСТНИК МГТУ МИРЭА. 2015. № 3. Т. 1.
34. **Манько С. В., Диане С. А. К., Лохин В. М., Романов М. П.** Модели и программно-алгоритмическое обеспечение мультиагентных робототехнических систем // ВЕСТНИК МГТУ МИРЭА. 2015. № 3. Т. 1.
35. **Евстигнеев Д. В., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П.** Комплекс программно-инструментальных средств для проектирования, моделирования и отработки тактики применения автономных роботов и мультиагентных робототехнических систем // ВЕСТНИК МГТУ МИРЭА. 2015. № 3. Т. 1.
36. **Программный комплекс для моделирования роботов и робототехнических систем Дин-Софт РобСим 5.** URL: <http://rob-sim.dynsoft.ru/working.php>
37. **Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П.** Универсальный полигон для отработки технологий интеллектуального и сетевидного управления автономными роботами и мультиагентными робототехническими системами // ВЕСТНИК МГТУ МИРЭА. № 3. 2015. Т. 1.
38. **Графическая библиотека OpenGL.** URL: <http://www.rsdn.ru/article/opengl/oglut2.xml>
39. **OGRE.** URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/OGRE>

## Man-Machine Interface for Autonomous Robots and Multi-Agent Robotic Systems

**V. M. Lokhin**, cpd@mirea.ru, **S. V. Manko**, cpd@mirea.ru, **R. I. Alexandrova**, cpd@mirea.ru, **M. P. Romanov**, cpd@mirea.ru, **S. A. K. Diane**, sekoudiane1990@gmail.com✉, Moscow Technical University (MIREA), Moscow, 119454, Russian Federation

Corresponding author: **Diane Sekou A. K.**, PhD, Assistance, MIREA, Moscow, 119 454, Russian Federation, e-mail: sekoudiane1990@gmail.com

Received on May 25, 2016

Accepted on June 01, 2016

*The article provides an overview of tools and methods of man-machine interface for special types of robotic systems. It continues the series of previous publications on multi-robot systems that can provide a cooperative solution to the specified task. Although most multi-robot systems research is centered around the problems of group control, it is obvious that the effectiveness of such systems will be determined by the capabilities of man-machine interface designed to interact with them. In this article we show the evolution of man-machine interfaces starting from manually controlled robots and finishing with autonomous robots. We also discuss a variety of approaches to implementation of such interfaces. From the analysis of modern interfaces functional capabilities we offer the construction principles of man-machine interface for multi-agent robotic systems. These principles are based on complex automatization of information preprocessing for a multi-robot systems at every stage of their operation; intellectualization of decision-making process; software modularity and unification. The structure and composition of software and algorithmic tools for multi-robot group's task description are justified including the systems responsible for information input/output; task scenario model formation; agents number estimation; task planning; multi-robot system modelling; information gathering and interpretation. Supervising software is presented that controls the coordinated functioning of man-machine interface subsystems. The results of the simulation are given including the task scenario formation and its execution monitoring.*

**Keywords:** autonomous robot, multi-agent robotic system, man-machine interface

**Acknowledgements:** Work is executed under the project number 16-29-04379 RFBR.

For citation:

**Lokhin V. M., Manko S. V., Alexandrova R. I., Romanov M. P., Diane S. A. K.** Man-Machine Interface for Autonomous Robots and Multi-Agent Robotic Systems, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 9, pp. 606–614.

DOI: 10.17587/mau.17.606-614

## References

1. **Makarov I. M., Lokhin V. M., Manko S. V., Romanov M. P., Kriuchenkov E. N., Kucherskiy R. V., Diane S. A.** Multiagentnye robototekhnicheskie sistemy: primery i perspektivy primeneniya, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2012, no. 2, pp. 22–32 (in Russian).
2. **Makarov I. M., Lokhin V. M., Manko S. V., Romanov M. P.** Printipy postroeniya i problemy razrabotki multiagentnykh robototekhnicheskikh system, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2012, no. 3, pp. 11–16 (in Russian).
3. **Makarov I. M., Lokhin V. M., Manko S. V., Romanov M. P., Kriuchenkov E. N., Kucherskiy R. V., Hudak Iu. I.** Modeli i algoritmy planirovaniya deistvii i raspredeleniya zadaniy v multiagentnykh robototekhnicheskikh sistemakh, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2012, no. 5, pp. 44–50 (in Russian).
4. **Lokhin V. M., Manko S. V., Romanov M. P., Diane S. A.** Sposoby predstavleniya znaniy i osobennosti funkcionirovaniya multiagentnykh robototekhnicheskikh system, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2014, no. 1, pp. 36–39 (in Russian).
5. **Lokhin V. M., Manko S. V., Romanov M. P., Diane S. A., Tripolskiy P. E., Karpov S. A.** Modeli i algoritmy ocenki chislennosti sostava multiagentnykh robototekhnicheskikh system, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2014, no. 3 (in Russian).
6. **Sarkar N.** ed. Human Robot Interaction, I-Tech Education and Publishing, 2007, 522 p.
7. **Kulyukin V. A.** ed. Advances in Human-Robot Interaction, Croatia, In-Tech, 2009, 342 p.
8. **Chugo D.** ed. Human-Robot Interaction, Croatia. In-Tech, 2010, 288 p.
9. **Bedkowski J.** ed. Mobile Robots — Control Architectures, Bio-Interfacing, Navigation, Multi Robot Motion Planning and Operator Training, Croatia, In-Tech, 2011, 390 p.
10. **Kulakov F. M.** *Supervizornoe upravlenie manipulatsionnymi robotami*, Moscow, Nauka, 1980 (in Russian).
11. **Lozano-Perez T.** Robot programming, *Proc. of IEEE*, vol. 71 (no. 7), 1983, pp. 821–841.
12. **Nazarova A. V.** *Iazyki programmirovaniya robotov*, Obzor, Moscow, MCNTI, 1988 (in Russian).
13. **Nofa Sh. M.** ed. Spravochnik po promyshlennoi robototekhnike. Vol. 2, Moscow, Mashinostroenie, 1990.
14. **Manko S. V., Shtykov A. V.** *Avtomatizatsiya programmirovaniya robotov*, Moscow, MIREA, 1997 (in Russian).
15. **Nezvorova O. A.** Mashinnoe obuchenie i zadachi obrabotki estestvennogo iazyka, *Novosti Iskusstvennogo Intellekta*, 1998, no. 1 (in Russian).
16. **Makarov I. M., Lokhin V. M., Manko S. V., Romanov M. P.** Tekhnologii obrabotki komandnoi informatsii i upravleniya povedeniem v intellektualnykh robototekhnicheskikh sistemakh, *Informatiionnye Tekhnologii*, 2005, no. 7 (in Russian).
17. **Vladimirovskiy B. M., Kiroi V. N., Skomorohov A. A.** Puti sozdaniya interfeisa "mozg-kompiuter" dlia liudei, *Izvestiya IUFU. Tekhnicheskie Nauki*, 2008, no. 6 (83), pp. 210–212.
18. **Hochberg L. R.** et al. Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm, *Nature*, 2012, 485 (7398), pp. 372–375.
19. **Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations**, Committee on Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations, National Research Council / USA, National Academies Press, 2005.
20. **Technology Development for Army Unmanned Ground Vehicles**, Committee on Army Unmanned Ground Vehicle Technology, National Research Council / USA, National Academies Press, 2002.
21. **Lazinica A.** ed. Multi Robot Systems, Recent Advances, Croatia, I-Tech Education and Publishing, 2008, 318 p.
22. **Ahmed S., Karsiti M. N.** ed. Multiagent Systems. Croatia, I-Tech, 2009, 425 p.
23. **Martin E. M.** ed. Swarm Robotics, From Biology to Robotics. InTech, 2010, 101 p.
24. **Yasuda T.** ed. Multi-robot systems, trends and development. InTech, 2011, 586 p.
25. **Drury J. L., Scholtz J., Kieras D.** The Potential for Modeling Human-Robot Interaction with GOMS, *Human Robot Interaction*. Edited by N. Sarkar, I-Tech Education and Publishing, 2007, p. 21–38.
26. **Bobrovskiy C.** JAUS: standart na razrabotku voennykh i mirnykh robotov, *PC Week / RE*, 2004, no. 38.
27. **Enterprise Structure: JAUS**, available at: <http://www.jointrobotics.com/enterprise02.php>
28. **ROCU-7 Ruggedized Operator's Control Unit**, available at: <http://www.robo-team.com/uploads/docs/ROCU-7.pdf>
29. **Mobius — Universal Control for Unmanned Systems**, available at: <http://autonomoussolutions.com/brochure/mobius.pdf>
30. **Mobi — portable handheld Operator Control Unit**, available at: <http://autonomoussolutions.com/brochure/mobi.pdf>
31. **Autonomous Solutions, Inc. Overview**, available at: <http://oilandgasinnovation.com/wp-content/uploads/2013/05/Autonomous-Solutions-Inc.pdf>
32. **Geospecific simulation with game quality graphics**, available at: <http://www.metavr.com/>
33. **Manko S. V., Lokhin V. M., Romanov M. P.** Kontseptsiya postroeniya multiagentnykh robototekhnicheskikh system, *Vestnik MGTU MIREA*, 2015, vol. 1, no. 3.
34. **Manko S. V., Diane S. A. K., Lokhin V. M., Romanov M. P.** Modeli i programmno-algoritmicheskoe obespechenie multiagentnykh robototekhnicheskikh system, *Vestnik MGTU MIREA*, 2015, vol. 1, no. 3.
35. **Evstigneev D. V., Lokhin V. M., Manko S. V., Romanov M. P.** Kompleks programmno-instrumentalnykh sredstv dlia proektirovaniya, modelirovaniya i otrabotki taktiki primeneniya avtonomnykh robotov i multiagentnykh robototekhnicheskikh system, *Vestnik MGTU MIREA*, 2015, vol. 1, no. 3.
36. **Programmnyi kompleks dlia modelirovaniya robotov i robototekhnicheskikh sistem Din-Soft RobSim 5**, available at: <http://rob-sim.dynsoft.ru/working.php>
37. **Lokhin V. M., Manko S. V., Romanov M. P.** Universalnyi poligon dlia otrabotki tekhnologii intellektualnogo i setecentricheskogo upravleniya avtonomnymi robotami i multiagentnymi robototekhnicheskimi sistemami, *Vestnik MGTU MIREA*, 2015, vol. 1, no. 3.
38. **Graficheskaya biblioteka OpenGL**, available at: <http://www.rsdn.ru/article/opengl/oglut2.xml>
39. **OGRE**, available at: <http://ru.wikipedia.org/wiki/OGRE>