

ИНТЕГРАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ МЕХАТРОННЫХ РОБОТОВ

Р.М. Юсупов , А.В. Тимофеев

Аннотация: Обсуждаются проблемы интеграции систем мульти-агентной (групповой) навигации, интеллектуального управления движением и функциональной диагностики мехатронных роботов в динамической среде с препятствиями. Определяются понятия глобальной управляемости и стабилизируемости программных движений мехатронных роботов-агентов. Дается сравнительный анализ путей поколений локальных систем навигации и управления движением и стратегий централизованного, децентрализованного и мульти-агентного управления информационными потоками в сложных робототехнических системах. Описываются методы функциональной диагностики и алгоритмы дефектоустойчивого управления движением роботов в реальном времени при наличии разного рода дефектов и возмущений. Даются оценки времени правильного функционирования роботов, степени их неисправности и допустимых границ (допусков) различных классов дефектов и возмущений. Приводятся примеры использования предлагаемых методов для мехатронных роботов и мульти-агентных систем различного типа и назначения (манипуляционные и мобильные роботы, космические роботы, беспилотные летающие роботы и т.п.).

Keywords: интеграция, интеллектуализация, навигация, управление, робототехника

ACM Classification Keywords: I.2.11 Distributed Artificial Intelligence - Multiagent systems

Введение

В последние годы в России и за рубежом значительное внимание уделялось исследованию проблем интеграции и интеллектуализации локальных систем автономной навигации и управления роботом и разработке глобальных стратегий групповой навигации и управления движением сложных робототехнических систем. В связи с бурным развитием систем навигации и управления движением мехатронных роботов как подвижных агентов с элементами искусственного интеллекта и необходимостью организации их коллективной работы возникла потребность в создании общих принципов построения и внедрения мульти-агентных робототехнических систем (МАРС). Такие МАРС объединяют группу агентов-роботов (например, мобильных роботов или беспилотных летательных аппаратов) для достижения общей (глобальной) цели в динамической среде с препятствиями или запретными зонами и возможным противодействием [1–5].

Фундаментальные и поисковые исследования в области адаптивного и интеллектуального управления роботами и робототехническими системами (РТС) активно проводились в России в ряде научных школ (МГТУ, СПИИРАН, СПбГУ, МГУ, МИРЭА, НИИ МВС, ЦНИИ РТК, ИПМ РАН и др.), начиная с 60-х годов XX века. Важная роль в становлении и развитии этих исследований принадлежит академикам И.М.Макарову, Д.Е.Охочимскому, Е.П.Попову, Г.С.Поспелову и Ф.Л.Черноусько, членам-корреспондентам РАН В.А.Якубовичу, В.А.Лопоте, Г.Г.Сербрякову, Е. Д.Теряеву, Р.М.Юсупову и И.А.Каляеву и профессорам Е.И.Юревичу, В.М.Лохину, А.В.Тимофееву и др.

Проблемы и методы адаптивной навигации и интеллектуального управления движением роботов, а также задачи группового управления РТС обсуждались на ряде Международных и Российских конференций,

проведённых в последние десятилетия в России, в том числе на 2-х Международных конференциях "Мехатроника и робототехника", 22-х конференциях "Экстремальная робототехника", 7-и конференциях "Мехатроника, автоматизация, управление", 6-и конференциях "Управление и информационные технологии" и 3-х Мультиконференциях по проблемам управления.

Параллельно в России и за рубежом проводились поисковые исследования и опытно-конструкторские разработки по созданию интегрированных систем навигации и управления движением объектов и роботов различного типа и назначения для экстремальных сред и частично неопределённых условий эксплуатации. Достижения специалистов из России и зарубежный опыт в этой области обсуждались на 19-ти Международных конференциях по интегрированным навигационным системам, организованных ЦНИИ «Электроприбор», и на 33-х научных сессиях Международной академии навигации и управления движением, президентом которой является академик В.Г.Пешехонов.

Первый международный проект по исследованию MAPC на тему "Multi-Agent Robot Systems for Industrial Applications in the Transport Domain" был выполнен в 1997–1999 годах по Европейской программе COPERNICUS. Координатором этого проекта был Prof., Dr.-Ing. U.Rembold (University of Karlsruhe, Institute for Process Control and Robotics, Germany), а его участниками – Saint-Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (Russia), Unite de Recherche INRIA Rhone-Alpes (France), Technical University of Budapest (Hungary), Technical University of Poznan (Poland), Belorussian State University, (Belarus), Ufa State Aviation Technical University (Russia) и корпорации Daimler-Benz AG (Germany) и Beta Computer Automation (Germany).

Развиваемые в настоящем докладе новые информационные и телекоммуникационные технологии и интегрированные интеллектуальные системы навигации и управления движением для MAPC в значительной степени базируются на оригинальных научных результатах поисковых и ориентированных фундаментальных исследований, полученных авторами доклада в последние годы при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), программ Президиума РАН и государственных заказов Министерства образования и науки РФ (см., например, [5–14]).

Важным средством интеллектуализации интегрированных систем навигации и управления движением роботов и РТС является встроенные средства функциональной диагностики в реальном масштабе времени. [5,21,22]. Поэтому в докладе обсуждаются методы функциональной диагностики и алгоритмы дефектоустойчивого управления вместе с оценками допустимых границ для разных классов дефектов и возмущений..

1. Глобальная управляемость и оптимизация программных движений РТС

Рассмотрим некоторую робототехническую систему (РТС) R , состоящую из n роботов $r_i, i = 1, 2, \dots, n$. Обычно роботы и РТС функционируют в динамической среде E с препятствиями или запретными зонами $O_j \in E, j = 1, 2, \dots, q$. В роли динамических препятствий для одних роботов r_i из РТС могут выступать другие роботы $r_j, j \neq i$.

РТС будем называть гомогенной, если она состоит из однотипных роботов. Сложную РТС будем называть гетерогенной, если её структура включает в себя несколько разнотипных роботов или гомогенных РТС.

Архитектура гомогенных и гетерогенных РТС по существу является сетевой и территориально распределённой, т.е. включает в себя множество роботов, взаимодействующих между собой с помощью физических, сенсорных (информационных), управляющих и коммуникационных каналов прямой и обратной связи. Поэтому возникает потребность в разработке новых принципов сетевой организации, управления движением, навигации, обработки и передачи информации в сложных РТС в динамической

окружающей среде с препятствиями или запретными зонами. Необходимость в сетевом управлении и групповой навигации возникла прежде всего в глобальных инфотелекоммуникационных сетях (например, в Internet), в робототехнике и гибких автоматизированных производственных системах, а также в сложных автоматизированных системах вооружений (например, в сетцентрических и мульти-агентных системах оборонного назначения).

В сложных гомогенных и гетерогенных РТС под действием вектора управляющих воздействий

$$u(t) = \{u_i(t)\}_{i=1}^n, t \in [t_0, t_T] \quad (1)$$

каждый робот $r_i(u_i)$ выполняет некоторый набор локальных технологических операций $l_j(r_i)$, $j = 1, 2, \dots, p$, $p \geq n$ на заданном интервале времени $T = t_T - t_0$. В результате выполнения этих локально управляемых операций изменяются состояния как самой РТС $R(t)$, так и окружающей её среды $E(t)$.

Предположим, что эволюцию РТС $R(t)$ и окружающей среды $E(t)$ под действием вектора управления $u(t)$ формально можно описать дифференциальными уравнениями вида

$$\dot{R} = F(R, u, E), R(t_0) = R_0 \quad (2)$$

$$\dot{E} = \Phi(R, E), E(t_0) = E_0 \quad (3)$$

где F и Φ – некоторые операторы, а R_0 и E_0 – начальные состояния РТС и среды.

Общим (обобщённым) динамическим состоянием РТС R и окружающую её среды E в текущий момент времени t будем называть вектор-функцию вида

$$x(t) = \begin{Bmatrix} R(t) \\ E(t) \end{Bmatrix}, t \in [t_0, t_T]. \quad (4)$$

Глобальная (общая) цель управления РТС заключается в том, чтобы синтезировать такой закон группового управления локальными технологическими операциями роботов $L = \{l_i(r)\}_{i=1}^p$, который обеспечивает перевод РТС R и окружающую её среду E из заданного начального состояния в желаемое конечное (целевое) состояние, т.е. в процессе групповой навигации и управления должны быть выполнены граничные условия вида

$$x(t_0) = x_0, x(t_T) = x_T \quad (5)$$

с учётом заданных ограничений на вектор сетевого управления (1) и вектор состояний (4).

РТС (2) будем называть глобально управляемой в динамической среде (3), если существует закон группового управления (вообще говоря, зависящий от текущего состояния РТС и среды) вида

$$u_p(t) = U(t, x(t)) \in Q_u, t \in [t_0, t_T] \quad (6)$$

обеспечивающий выполнение граничных условий (5) с учетом имеющихся ограничений. Соответствующее этому групповому управлению (6) движение $x_p(t)$, $t \in [t_0, t_T]$, будем называть программным движением (ПД) РТС $R(t)$ в динамической среде $E(t)$ с препятствиями или запретными зонами.

Среди множества групповых управлений (6) и ПД РТС можно выделить наилучшее (оптимальное) управление и соответствующее ему оптимальное ПД. Для этого зададим некоторый интегральный функционал качества групповых ПД вида

$$K(x_p) = \int_{t_0}^{t_T} \mathcal{L}(x_p(t), \dot{x}_p(t)) dt. \quad (7)$$

Тогда оптимальным ПД $x_p^{opt}(t), t \in [t_0, t_T]$, и соответствующим ему оптимальным групповым управлением $u_p^{opt}(t)$ будем называть то групповое ПД и глобальный закон управления РТС, при которых достигается экстремум функционала качества (7).

Следует отметить, что критерии глобальной управляемости роботов с нелинейной динамикой, а также методы аналитического синтеза и оптимизации ПД мехатронных роботов с учётом заданных ограничений при наличии препятствий были предложены и подробно описаны в работах [1,5,12,19,20].

2. Стабилизация, декомпозиция и синхронизация программных движений роботов

Предположим, что ПД РТС $x_p(t)$ и соответствующий ему закон программного группового управления $u_p(t)$ существуют. Тогда ПД называется практически (или асимптотически) устойчивым по отношению к начальным возмущениям $e(t_0) = x_0 - x_p(t_0)$ (или, возможно, к другим возмущениям), если существует закон группового управления роботами такой, что в замкнутой этим управлением РТС и окружающей её динамической среде выполняются условия вида

$$\|e(t)\| = \|x_p(t) - x(t, u)\| \leq \varepsilon t \geq t_p \geq t_0 \quad (8)$$

где $\varepsilon \geq 0$ – параметр, определяющий желаемую точность осуществления ПД, а $T_p = t_p - t_0$ – время переходного процесса.

Закон группового управления РТС (6), обеспечивающий выполнение целевого условия (8), будем называть стабилизирующим. Этот закон управления является декомпозирующим, если целевые условия выполняются независимо для каждого робота из РТС, т.е. $e_i(t)$ не зависит от $e_j(t), j \neq i$. Это означает, что локальное управление каждым роботом r_i осуществляется независимо от локального управления другими роботами $r_j, j \neq i$, с компенсацией возможных перекрёстных динамических связей между роботами РТС [1,5].

В некоторых случаях (например, на конвейерах) от закона группового управления требуется обеспечить полную или частичную синхронизацию движений различных роботов из РТС. В этих случаях целевые условия (8) приобретают вид

$$\|e_{ij}(t)\| = \|x_{pi}(t) - x_j(t, u_j)\| \leq \varepsilon_{ij}, i \neq j, t \geq t_{pi,j} \quad (9)$$

На практике возникают также задачи группового управления роботами, связанные с достижением консенсуса (consensus), когда каждый робот из РТС стремится, чтобы его ПД было близко к ПД своих соседей, или рандеву (rendezvous), когда все роботы и РТС должны попасть в желаемое состояние в заданный момент времени $T = t_T - t_0$.

Следует отметить, что для локальных систем навигации и управления движением мехатронных роботов с нелинейной динамикой законы стабилизирующего, модального (спектрального) и декомпозирующего управления, а также алгоритмы планирования поведения и маршрутизации безопасных маршрутов движения роботов в среде с препятствиями были предложены и детально описаны в работах [1–7, 19–24].

3. Пять поколений локальных систем навигации и управления движением роботов

В работах [1–5] была предложена классификация локальных систем навигации и управления движением (СНУД) роботов на пять поколений:

- 1) программные СНУД;

- 2) адаптивные СНУД;
- 3) интеллектуальные СНУД;
- 4) нейросетевые СНУД;
- 5) креативные СНУД.

Программные СНУД роботов основаны на классических принципах программного или оптимального управления движением, если модель динамики роботов или РТС (2) полностью известна, а среда (или связанные с ней возмущения) известны и неизменны.

Адаптивные СНУД базируются на современных принципах робастного или адаптивного управления, когда модель динамики РТС и среды E (или связанных с ней возмущений) полностью или частично неизвестны. В этом случае программные СНУД дополняются специальными средствами адаптации или идентификации факторов неопределённости или нестационарности, к числу которых можно отнести неизвестные возмущения или препятствия [1–4].

Интеллектуальные СНУД дополняются не только средствами адаптации, но и некоторыми элементами (алгоритмами) искусственного интеллекта (например, способностью распознавать речевые команды или идентифицировать неизвестные препятствия). Как правило, эти элементы искусственного интеллекта описываются логическими, алгебраическими и нечёткими алгоритмами. Поэтому они могут быть программно реализованы на традиционных микропроцессорах и компьютерах [1–3].

Нейросетевые СНУД основываются на обучении, самоорганизации и распараллеливании процессов обработки информации, навигации и управления на нейронных сетях или нейрокомпьютерах [6,27]. В этом заключается их основное отличие и преимущество по сравнению с СНУД роботов первых трёх поколений.

Наконец, креативные СНУД ещё слабо изучены. Они могут базироваться на когнитивных и мультиагентных технологиях, системах виртуальной или дополненной реальности, процессах моделирования сознания и т.п. [24,25].

4. Глобальные стратегии навигации и управления движением сложных робототехнических систем

Важно отметить, что роботы редко используются изолированно, т.е. в полуавтономном или автономном режимах эксплуатации. Обычно они входят в состав РТС и предназначены для группового (коллективного) выполнения некоторой сложной общей (глобальной) задачи, которую каждый робот самостоятельно (автономно) решить не может [1].

Сложная гетерогенная РТС может включать в себя десятки или сотни роботов или гомогенных РТС, функционирующих в динамической среде с препятствиями. В связи с этим важное значение приобретают проблемы системного анализа и сетевого синтеза интегрированных систем групповой навигации, управления движением и обработки сенсорной информации. Однако проектирование и создание интегрированных систем невозможно без организации и координации взаимодействия роботов в РТС с помощью коммуникационной сети [1–6].

Математической моделью такой, вообще говоря, динамической коммуникационной сети РТС может служить коммуникационный граф вида [10,24,25]:

$$G(t) = \{A(t), C(t), w(t)\}, t \in [t_0, t_T] \quad (10)$$

где A – множество узлов, соответствующих локальным системам навигации, управления движением и обработки информации роботов $r_i, i = 1, 2, \dots, n$, C – множество каналов связи между ними, а W –

множество весов (например, длина или пропускная способность) каналов связи.

В процессе решения общей (глобальной) задачи структура и параметры РТС могут изменяться (например, некоторые роботы или каналы связи между ними могут выйти из строя). Тогда будут изменяться структура (топология узлов и каналов связи) или параметры (веса) коммуникационного графа (10). Этот граф характеризует информационное и коммуникационное взаимодействие между роботами r_i из РТС $R(t)$. Поэтому его структура тесно связана со стратегией групповой навигации и управления ПД роботов и РТС, обеспечивающей достижение общей (глобальной) цели управления в динамической среде с препятствиями.

Первоначально (начиная с 70-х годов XX века) стратегии группового управления роботами в РТС разделялись на два класса [1,16,17]:

- стратегии централизованного (глобального) управления РТС из общего командного центра;
- стратегии децентрализованного (распределённого) управления, основанные на локальном управлении каждым роботом из РТС и их взаимодействии.

Преимущества стратегии централизованного (глобального) управления РТС заключаются в простоте иерархической организации и программно-аппаратной реализации систем группового (в том числе оптимального) управления на центральном компьютере. Однако её недостатки проявляются в низкой живучести (надёжности) и возможности искажений и временных задержек при передаче команд программного управления от верхнего уровня иерархии к нижнему.

Преимущества стратегии децентрализованного (локального распределённого) управления роботами из РТС заключаются в высокой локальной производительности (малом времени принятия локальных решений) и параллелизме локального управления роботами, а также в повышенной живучести (надёжности) РТС. В тоже время ей свойственны такие недостатки, как повышенные требования к надёжности узлов и каналов информационной связи между роботами и невысокое качество группового управления РТС, т.к. даже из локальной оптимальности управления отдельными роботами, вообще говоря, не следует глобальная оптимальность управления РТС в целом.

Сравнительный анализ преимуществ и недостатков традиционных стратегий централизованного и децентрализованного управления территориально распределённых РТС привёл к необходимости разработки (начиная с 90-х годов XX века) новой гибридной (смешанной) стратегии мульти-агентной навигации и группового (коллективного) управления РТС на современном уровне развития робототехники, мехатроники и инфотелекоммуникационных технологий [3,5,9–11]. Этот уровень развития характеризуется всё более широким внедрением роботов с интеллектуальным и нейросетевым управлением, глобальных систем навигации типа ГЛОНАСС и (или) GPS и инфотелекоммуникационных систем типа Internet и Grid [24,25].

5. Функциональная диагностика мехатронных роботов и дефектоустойчивое управление

Проблемы технической диагностики играют важную роль в процессе проектирования, испытания и эксплуатации автономных роботов и сложных РТС. Среди этих проблем большое значение имеют задачи функциональной диагностики, когда контроль дефектов и диагностика неисправностей осуществляются в реальном времени непосредственно в процессе эксплуатации роботов и РТС.

Функционирование роботов и РТС в значительной степени зависит не только от возможных неисправностей и дефектов, но и от используемых алгоритмов управления [5,21,22].

Цель навигации и управления движением роботов и РТС в таких системах заключается в построении желаемого (программного) движения и синтезе алгоритмов управления, обеспечивающих фактическое

осуществление этого программного движения (ПД) при наличии известных или неизвестных препятствий, возмущений и дефектов из определённого класса, заданных своими границами (допусками) [5–21]. Для контроля гарантированного достижения этой цели необходимы функциональное диагностирование в процессе навигации и управления движением, а также, по возможности, обнаружение, локализация и компенсация неисправностей (дефектов).

Функциональная диагностика роботов и РТС основывается на адекватных моделях динамики объекта управления и моделях возможных неисправностей (дефектов) в замкнутой системе. Такие модели можно построить в аналитической форме для линейных и нелинейных обратимых моделей динамики роботов, описываемых дифференциальными уравнениями динамики, разрешимыми относительно управления на некотором подпространстве [1,5,20].

В докладе рассматриваются методы функционального диагностирования роботов и алгоритмы дефектоустойчивого управления их движением. В работах [5,21,22] показано, что эти алгоритмы являются робастными или адаптивными по отношению к различным типам возможных дефектов и неконтролируемым возмущениям. Даются оценки допустимых границ (допусков) различных дефектов и возмущений [21,22].

Предлагаемые методы основываются на прямых и обратных (на подпространстве) моделях динамики мехатронных роботов [5,21,22]. В докладе даётся классификация моделей дефектов и приводятся оценки основных показателей правильного функционирования и степени неисправности [21,22]. Большое внимание уделяется синтезу и анализу программного, стабилизирующего, робастного и адаптивного управления движением мехатронных роботов, обеспечивающих инвариантность переходных процессов (динамической ошибки) в различных (узких и широких) классах возможных дефектов. Показано, что использование алгоритмов идентификации неизвестных параметров роботов и внешних возмущений с конечным временем адаптации [1–5] позволяет не только обнаружить и локализовать дефекты из широкого класса неопределённости, но и автоматически их компенсировать.

6. Принципы интеграции систем навигации, управления движением и диагностики в МАРС

В современной робототехнике, а также в информационных технологиях навигации и теории управления движением сложных мехатронных и аэрокосмических систем, существует ряд проблем, связанных с проектированием, созданием и интеграцией систем адаптивной (локальной) и мульти-агентной (групповой) навигации, функциональной диагностики и интеллектуального управления движением мехатронных роботов в динамической среде с известными или неизвестными препятствиями. Некоторые из этих проблем, а также перспективные подходы и новые методы их решения рассмотрены в работах [1–25]. В настоящем докладе обсуждаются принципы проектирования интегрированных систем мульти-агентной навигации, интеллектуального управления и функциональной диагностики применительно к мобильным роботам и РТС.

Мобильный робот рассматривается как интеллектуальный подвижный мехатронный агент, имеющий на борту [1, 24]:

- сенсорную систему датчиков внутренней и внешней информации;
- интеллектуальную систему навигации, управления движением и функциональной диагностики;
- двигательную систему с традиционным (например, гусеничным или четырёхколёсным) или нетрадиционным (например, с одноосным двухколёсным или ползающим, т.е. перемещающимся по поверхностям произвольной ориентации) шасси;

– коммуникационную систему для информационного взаимодействия с человеком-оператором и другими роботами-агентами.

Важными задачами при создании мобильных мехатронных роботов как подвижных агентов является интеллектуализация и интеграция бортовых интегрированных систем навигации, управления движением и функциональной диагностики, обеспечивающая возможность автоматического планирования и оптимизации движений для обхода известных или неизвестных препятствий, адаптации к динамическим факторам неопределённости (например, к возмущениям и неизвестным подвижным препятствиям) и к возможным дефектам или отказам, а также распознавания образов (например, стерео-изображений препятствий), моделирования и анализа сложных 3D-сцен и диагностики состояний мобильного робота-агента в реальном масштабе времени.

Новые актуальные проблемы возникают при групповом (коллективном) использовании мобильных мехатронных роботов-агентов в составе MAPC для решения общей (глобальной) задачи в динамической среде с препятствиями. Группа (коллектив) мобильных мехатронных роботов-агентов, объединённых общей (глобальной) целью и функционирующая в едином информационном и коммуникационном пространстве на базе соответствующих стандартов, команд и форматов передачи потоков данных, называется мобильной MAPC.

Ключевыми проблемами при создании интегрированных систем навигации и управления движением мобильных MAPC являются [1–6, 21–25]:

– декомпозиция общей (глобальной) задачи, возлагаемой на группу (коллектив) мобильных роботов, на ряд локальных задач для каждого робота-агента,

– мульти-агентное (групповое) планирование маршрутов движения и навигация мобильных роботов-агентов в динамической среде с известными или неизвестными препятствиями,

– функциональная диагностика и отказоустойчивое управление движением мобильных роботов-агентов,

– интеллектуализация и интеграция систем навигации, управления движением и диагностики на базе бортовых средств распознавания сложных образов (мульти-изображений, речевых команд и т.п.), мобильных навигаторов (спутниковые системы ГЛОНАСС и GPS и т.п.) и функциональной диагностики в составе мобильных MAPC.

Важными задачами являются также организация интеллектуального человеко-машинного интерфейса и комплексирование перспективных решений этих проблем для создания интегрированных систем мульти-агентной навигации, интеллектуального управления движением и функциональной диагностики мобильных роботов как агентов мехатронных MAPC, способных функционировать в реальном времени в динамической среде с препятствиями.

Заключение

Актуальность проведённых исследований связана с повышенным интересом во всём мире к интеллектуальным мехатронным роботам как подвижным агентам в MAPC ввиду их способности автоматически функционировать под контролем человека как в традиционных отраслях производства (машиностроение, приборостроение, микроэлектроника и т.п.), так и в нетрадиционных областях и экстремальных средах (космическая и подводная робототехника, атомная энергетика, ликвидация техногенных аварий и террористических угроз и т.п.). Важно отметить, что круг задач, решаемых мехатронными роботами-агентами и мобильными MAPC, непрерывно расширяется и усложняется

(необходимость эффективно работать в экстремальных средах в условиях неопределённости или противодействия при наличии препятствий или запретных зон и т.п.).

Большую научную значимость и актуальность имеют поисковые исследования в области создания интегрированных систем мульти-агентной (групповой) навигации, интеллектуального управления движением и функциональной диагностики мехатронных роботов-агентов и мобильных МАРС в динамических (изменяющихся) средах с препятствиями. Сегодня этим инновационным исследованиям и опытно-конструкторским разработкам во всём мире уделяется приоритетное внимание.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 09–08–00767–а, № 12–08–01167–а и РФФИ–ГФЕН Китая № 10–08–91159–ГФЕН–а и Программы № 14 "Проблемы создания национальной научной распределенной информационно-вычислительной среды на основе GRID-технологий, облачных вычислений и современных телекоммуникационных сетей" Президиума РАН.

Библиография

- [1]. Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы. Л.: Машиностроение, 1988.
- [2]. Тимофеев А.В., Юсупов Р.М. Интеллектуализация систем автоматического управления. – Известия АН. Техническая кибернетика, 1994, № 5.
- [3]. Тимофеев А.В., Юсупов Р.М. Принципы построения интегрированных систем мульти-агентной навигации и интеллектуального управления мехатронными роботами. – International Journal "Information Technologies and Knowledge", Vol. 5, Number 3, 2011, pp. 237–244.
- [4]. Тимофеев А.В. Мульти-агентные системы и нейросетевые технологии в робототехнике и информатике. – Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, № 1 (39), 2011, с. 249–252.
- [5]. Тимофеев А.В. Методы высококачественного управления, интеллектуализации и функциональной диагностики автоматических систем. Часть I, Часть II. – Мехатроника, автоматизация, управление, 2003, № 5, 2004, № 2.
- [6]. Timofeev A. V. Intelligent Control Applied to Non-Linear Systems and Neural Networks with Adaptive Architecture //International Journal on Intelligent Control, Neurocomputing : Fuzzy Logic. 1996. P. 1–18.
- [7]. Тимофеев А.В., Дерин О.А., Гуленко И.Е., Андреев В.А. Распознавание объектов в сложных мультиизображениях и методы и средства видеозахвата движений. - Мехатроника, автоматизация, управление, № 6 (111), 2010.
- [8]. Тимофеев А. В., Сырцев А. В. Мультиагентная и нейросетевая маршрутизация потоков данных в телекоммуникационных сетях // Труды 10-й международной конференции "Knowledge–Dialogue–Solution" (16–26 июня. 2003, Варна) 2003. С. 187–190.
- [9]. Тимофеев А. В. Модели мульти-агентного диалога и информационного управления в глобальных телекоммуникационных сетях // Труды 10-й международной конференции "Knowledge–Dialogue–Solution" (16-26 июня, 2003, Варна). 2003. С. 180–186.
- [10]. Тимофеев А.В., Сырцев А.В. Модели и методы маршрутизации потоков данных в телекоммуникационных системах с изменяющейся динамикой. – М.: Новые технологии, 2005.
- [11]. Timofeev A. V. Adaptive Control and Multi-Agent Interface for Infotelecommunication Systems of New Generation // International Journal "Information Theories & Applications". 2004. Vol. 11.
- [12]. Зотов Ю.К., Тимофеев А.В., Шишкин Д.С. Информационные технологии навигации и управления полетом мало-размерных летательных роботов корабельного базирования. – Информационно-измерительные и управляющие системы, № 8, т. 6, 2008.
- [13]. Тимофеев А.В., Юсупов Р.М., Нагоев З.В. Проблемы и методы интеллектуального управления движением мультиагентных робототехнических систем. – Материалы Второй Международной конференции, посвящённой 15-летию ИИПРУ КБНЦ РАН «Автоматизация управления и интеллектуальные системы и среды» (15–23 декабря 2011 г.), 2011, с. 100–108.

- [14]. Cai Z., He H., Timofeev A. Navigation and Control of Mobile Robots in Unknown Environment: A Survey// Proceedings of 10-th International Conference on Integrated Navigation Systems (June 27–29, St-Petersburg). 2003. Vol. 1. P. 158–166.
- [15]. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006.
- [16]. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2006.
- [17]. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. М.: Наука, 2009.
- [18]. Зотов Ю.К., Тимофеев А.В., Шишкин Д.С. Информационные технологии навигации и управления полетом мало-размерных летательных роботов корабельного базирования. – Информационно-измерительные и управляющие системы, № 8, т. 6, 2008.
- [19]. Тимофеев А.В. Синтез адаптивных регуляторов с помощью функций Ляпунова // ДАН СССР, 1984, т.237, № 2, с. 276-279.
- [20]. Zotov Yu.K., Timofeev A.V. Controllability and Stabilization of Programmed Motions of Reversible Mechanical and Electromechanical Systems - Journal of Applied Mathematics and Mechanics, 1992, vol. 56, № 6, pp. 873-880 (Pergamon Press Ltd.).
- [21]. Тимофеев А.В. Функциональный анализ неисправностей динамических систем и дефектоустойчивость стабилизирующего управления.- Доклады АМАН, т.6, № 1, 2002, с. 62-71.
- [22]. Timofeev A.V. Physical Diagnostics and Fault Relevant Feedback Control. – CD-ROM Proceedings of International Conference "Physics and Control" (August 20-22,2003, Saint-Petersburg).
- [23]. Timofeev A.V., Madani K. Algorithms of Adaptive and Robust Control on the Basis of Neural Networks and Technology of Their Realization on DSP. – Transactions of French-Russian A.M.Liapunov Institute for Applied Mathematics and Computer Science, 2003, pp. 100-107.
- [24]. Тимофеев А.В. Методы нейросетевого и мульти-агентного управления в робототехнике и мехатронике. // Нелинейная теория управления и её приложения. Динамика, управление, оптимизация. – М.: Физматлит. 2003, с. 101-126.
- [25]. Тимофеев А.В. Адаптивное управление и интеллектуальный анализ информационных потоков в компьютерных сетях. – СПб.: Анатолия, 2012, 280 с.

Сведения об авторах



Юсупов Рафаэль Мидхатович – член-корреспондент РАН, директор Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия, д. 39, СПИИРАН, yusupov@ias.spb.su



Тимофеев Адиль Васильевич – Заведующий лабораторией информационных технологий в управлении и робототехнике Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН, заведующий кафедрой нейроинформатики и робототехники Санкт-Петербургского университета аэрокосмического приборостроения, профессор кафедры информатики математико-механического факультета Санкт-Петербургского университета, профессор кафедры мехатроники и робототехники Балтийского государственного университета "Военмех" им. Маршала Д.Ф.Устинова, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия, д. 39, СПИИРАН, tav@ias.spb.su