В.Е. Пряничников, С.В. Кувшинов, Р.В.
Хелемендик, К.В. Харин

**Интеллектуальная роботроника:
научно-образовательная технология и
построение сети роботариумов**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Пряничников В.Е., Кувшинов С.В., Хелемендик Р.В., Харин К.В. Интеллектуальная роботроника: научно-образовательная технология и построение сети роботариумов // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 1-й Международной конференции (8-9 февраля 2018 г., Москва). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2018. — С. 57-64. — URL: <http://keldysh.ru/future/2018/9.pdf> doi:[10.20948/future-2018-9](https://doi.org/10.20948/future-2018-9)

Интеллектуальная роботроника: научно-образовательная технология и построение сети роботариумов

В.Е. Пряничников¹⁻³, С.В. Кувшинов², Р.В. Хелемендик¹, К.В. Харин²

1 Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

2 Международный институт новых образовательных технологий РГГУ

3 МГТУ "СТАНКИН"

Аннотация. В работе рассмотрены результаты разработки программно-аппаратной сети лабораторий-роботариумов в рамках проекта «Интеллектуальная роботроника», инициированного Центральным Европейским отделением Международной инженерной академии совместно с ИПМ им. М.В. Келдыша Российской академии наук, МИНОТ РГГУ, университетами России, Хорватии и Австрии. Проект дает участникам доступ ко всему спектру мехатронных устройств и мобильных роботов, учебным классам и средствам 3D-прототипирования, размещенных в организациях-партнерах, к их методическим разработкам и лекционным курсам на базе проводимых совместных НИР с широким участием аспирантов, студентов и даже школьников. Это направление представляется наиболее перспективным для обучения различным востребованным специальностям – информатике, робототехнике и другим технологиям. Актуальность такого проектно-целевого подхода можно увидеть и в долгосрочных программах международного сотрудничества с целью создания нового поколения интеллектуальных мехатронных устройств, объединенных интеграционным программным обеспечением («middleware») и средствами представления знаний.

Ключевые слова: мобильные автономные технологические роботы АМУР, новые образовательные технологии, управление группой роботов с задержками в интернет-каналах, сенсорики.

При разработке перспективных интеллектуальных робототехнических систем можно выделить ряд основных направлений.

1) Первое направление связано с постоянным расширением и увеличением количества типов новых роботов, сфер их применения, видов управления и взаимодействия, что можно охарактеризовать как «рост в ширину». Возникающая при этом проблема – необходимость унификации программно-аппаратных средств и мехатронных устройств, развитие интеграционного программного обеспечения. Унификация позволяет существенно сократить неизбежные большие затраты на выстраивание

низкоуровневых решений для реализации сенсорных и управляющих систем, быстрее перейти к задачам интеллектуализации и выстраивания поведенческих алгоритмов сервисных и других роботов.

2) Второе направление, называемое «ростом в глубину» – повышение точности, автоматизации, специализации, создание узкоспециализированных роботов, а также автоматизированное формирование целей применения роботов, стратегий управления и достижения этих целей. Основная проблема на этом пути – представление знаний и реализация дедуктивных механизмов для выстраивания интеллектуального поведения.

3) Третье направление – подготовка специалистов, способных к креативным решениям, а не только к использованию готовых программных пакетов. Фактически это новая специализация, которая может быть названа «инженер по знаниям», она требует создания альтернативной (по отношению к сегодняшним подходам вузов и средних школ) технологии обучения и разработки учебных программ в сенсорики, мехатронике и информатике.

Цель работы – показать основные пути решения этих проблем.

Первая и третья проблемы нами решаются путем создания специализированных программных и аппаратных средств: научно-учебных пространственно распределенных робототехнических лабораторий, предоставляющих полный доступ к мехатронным устройствам различных моделей и производителей, удаленно через VPN–туннели. Это позволило разработать эффективную образовательную технологию, подключить сторонние инженерные и научные кадры для продвижения новых разработок, с использованием межвузовской сети, созданной Международным институтом новых образовательных технологий РГГУ (МИНОТ) совместно с Институтом прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН (ИПМ) и Международной лабораторией «Сенсорика» (МЛС). В этой сети научно-исследовательские и образовательные задачи соединяются в учебном процессе для аспирантов и студентов из нескольких университетов. В рамках этих усилий были разработаны и изготовлены 9 мобильных роботов АМУР для интеграции в лабораторно-исследовательский центр (см. рис.). Мы также добавили в эту сеть три мобильных робота Robotino (в том числе с манипулятором-хоботом от фирмы Festo), промышленные манипуляторы. Было найдено решение проблемы синхронизации, учета времени задержки и разграничения прав доступа, которые недостаточно проработаны в системах типа ROS. Таким образом был создан учебно-методический комплекс «Интеллектуальная роботроника» в Международном институте новых образовательных технологий при участии МГТУ «Станкин» (базовая кафедра сенсорных и управляющих систем при ИПМ им. М.В. Келдыша РАН).

2. Новые возможности и перспективы

Российская инженерная академия

Научно-образовательный центр
«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТРОНИКА»

Участники: Московский государственный технологический университет «Станкин»
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша
Международный институт новых образовательных технологий РГГУ
Дальневосточный федеральный университет Международная лаборатория «Сенсорика» и др.

Новый креативный подход к профессиональному образованию на основе использования мехатронных и сенсорных устройств, построения логических методов адаптивного управления мобильных роботов

Russian Engineering Academy
Scientific-Research Center "Intelligent robotronics"

Keldysh Inst. of Applied Math.
Russian Academy of Sciences,
Int. Laboratory "Sensorika"

Center of Technological Support
of Education / Russian State
University For Humanities

Разработанная сеть ассоциированных лабораторий-роботариумов на основе VPN-каналов и интеграционного программного обеспечения, позволяющего избежать последствия задержек в сети при управлении в режиме реального времени и обеспечивающего поддержку технологии перепрограммирования мобильных роботов без их остановки

Вторая проблема – сравнение технологий для построения доказательств. Предложена новая технология доказательной аргументации, которая названа IGEC (ИГЕК, индо-греко-египетско-китайской) и сочетает в себе четыре древних метода обучения и доказательств, описания и представления результатов. Технология рассмотрена на примере выбора пути на шахматной доске и имитирует типичную проблему интеллектуального выбора направления перемещения мобильных роботов. Поиск решений по неявно заданному дереву состояний иллюстрируется решением шахматной композиции с использованием четырех различных подходов IGEC к обоснованию решения и представлению результатов, поиску оптимальной стратегии формализации и визуализации правил принятия решений (подробнее это рассмотрено в работе [1-4]). Отсюда делается вывод о необходимости для решения задач робототехники использования не только классической математической логики, но и междисциплинарной IGEC-технологии, базирующейся на «пента-логике». Такая логика принимает во внимание не только истинность знаний, но и «субъективные ожидания и доверие к фактам» в качестве основы для конструирования модели естественного интеллекта.

Создание программно-аппаратных средств и обучающих технологий

Изначально решаемые нами проблемы возникли из необходимости удаленного перепрограммирования сенсорной и управляющей системы (СиУС), разработанной и установленной на мобильных роботах Brokk-110D и Brokk-330 для МЧС РФ. Эти роботы были перестроены нами для выполнения операций в опасных зонах с ограниченным доступом

человека. Заказчикам была необходима возможность изменять СиУС в ходе исполнения миссий без остановки роботов, встраивать новые мехатронные устройства и датчики сторонних производителей. Поэтому были разработаны соответствующие средства дистанционного доступа и многокамерные зрительные системы. Результаты нашли также применение в биомедицинских и учебно-научных роботизированных системах. Мы проанализировали наиболее популярное программное обеспечение для образовательных целей в области робототехники и десятки подобных работ, что побудило нас предложить свою технологию разделения процессов в СиУС и разработать собственный интеграционный софт (тип такого ПО – «middleware»), позволяющий объединять сотни мехатронных устройств с возможностью удаленного доступа к ним, при этом обеспечивая динамическое изменение конфигурации компонентов системы без их остановки, автоматическое переключение при отказах, включая автоконфигурацию. Программное обеспечение (ПО) поддерживает платформы x86 \ Windows \ Linux \ Android OS с минимальным размером для бортовых и промышленных решений, простыми возможностями для встраивания новых драйверов и устройств, что позволяет пополнять список датчиков и приводов даже в полевых условиях. Результаты сравнительных испытаний языков программирования позволили использовать интерпретатор Python в системах реального времени и реализовать Тьюринг-полные протоколы для управления роботом вместо специализированных протоколов или графических интерфейсов по типу GUI MS Robotic Studio и др. Все потоки данных организованы в специальные структуры – «шлейфы». Разложение задач управления на отдельные процессы (разделение алгоритмов) явилось ключом к успеху для коллективного (параллельного) программирования и быстрого прототипирования, что оказалось в 10 раз быстрее, чем создавать программное обеспечение по традиционным технологиям.

Интересно, что обучение нашему подходу студентов помогает им избежать одной из проблем современного образования, связанной с использованием легкодоступных данных из Интернета без какого-либо понимания и попыток составить свое представление о предмете. Такой «магнитофонный» способ обучения студентов и школьников фактически стал доминирующим и полностью подавляет их рост как креативных лиц, способных самостоятельно исследовать мир и создавать что-то новое. Это приводит к своего рода гуманитарной катастрофе, значительно затрудняющей модернизацию образования, что также усугубляется тотальным применением анкет-опросников, с расстановкой галочек в нужных клеточках (например, ЕГЭ). Чтобы избежать/нейтрализовать эти деструктивные процессы, мы провели анализ, использовали различные модели взаимодействия студент–профессор. Предложенное нами решение состоит в том, чтобы создать студентам условия для мотивированного

2. Новые возможности и перспективы

участия в НИР в качестве «инженеров по знаниям», научить их способности формализовать задачи и строить простые алгоритмы. Студенческая разработка алгоритмов работы СиУС для мобильных роботов (МР) наиболее подходит для этого типа обучения в области ИТ и робототехники. Таким образом, мы пришли к проектированию и изготовлению надлежащей группы университетских роботов Амур, создали интеграционное ПО, работающее в условиях больших потоков данных и в промышленных приложениях.

Проводившиеся в РГГУ с 1992 г. эксперименты позволили определить наиболее подходящую «предметную область» и механизм вовлечения студентов в научно-исследовательские проекты, помогающий им преодолеть страх перед неизвестной проблемой (эффект чистого листа) за счет предложения прототипов решения таких задач (рекуррентный способ обучения). При этом прототипы могут существенно измениться во время выполнения задач, а студенты чувствуют себя наиболее уверенно в качестве экспертов по программированию алгоритмов поведения робота при поиске пути к некоторой цели. Это связано с тем, что проекция «робот–человек» вполне естественна и, следовательно, анализ собственного поведения может быть перенесен на мобильные роботы, способные к обследованию геометрии внешней среды с помощью простых датчиков. Таким образом, для мобильных роботов решаются актуальные задачи локальной навигации и картографирования местности – проблемы типа SLAM и конструирования алгоритмов возврата в случае потери соединения Wi-Fi во время супервизорного управления МР. В связи с этим мы разработали, изготовили и поставили в несколько университетов серию учебных роботов Амур. Сейчас завершается разработка нового поколения научно-учебных и сервисных роботов с манипуляторами и оптимизированной сенсорно-управляющей системой Амур-307,305 с дизайнерской проработкой внешнего вида. Интересно, что первая методика построения учебных программ с использованием подобных мобильных роботов была успешно реализована уже в 1984–87 гг., включая построение *модульных* учебных роботов, что отражено в соответствующих публикациях этих лет [2].

Кажется тривиальным обучать студентов на творческих заданиях, однако, если решения предлагаемых (каждый раз новых) задач заранее неизвестны, то нужно было найти правильные аргументы, чтобы использовать эти дидактические инструменты в университетах. Одним из показателей правильности таких аргументов является доля студентов, которые изъявляют желание превратить свои лабораторные работы по робототехнике (выполняемые в течение 1–2 семестров) в предмет их последующего диплома, а затем и кандидатской диссертации. В группах по 10–20 студентов эта доля составляет 5–15% для разных специализаций (информатика, электроника, мехатроника), что превышает

соответствующий процент в других университетах. Это апробировано в нескольких технических университетах в России.

Интеллектуализация алгоритмов и относительность строгих доказательств

Конструирование экспертных схем, встраиваемых в систему управления, является существенным инструментом для описания поведения мобильных технологических роботов, однако не достаточным. Необходима алгоритмическая надстройка, связывающая противоречивые экспертные схемы в единый алгоритм, устойчиво реализующая неоднозначные решения и знания от экспертов-составителей программ поведения роботов, осуществляющая переключения управляющих синергий. Отмечается относительность строгих доказательств и анализируются существующие традиции. На примере решения одной из типичных задач интеллектуальной роботоники – поиска пути, была рассмотрена иллюстрация четырех подходов к доказательствам, которые классифицированы как IGEC [4, 3]. Как уже отмечалось, эта новая технология представляет собой сплав так называемых «древних индо-греко-египетско-китайских» подходов к обучению, исследованию, изложению и презентации результатов.

Следует отметить, что в настоящее время в задачах робототехники особенно важно выработать системный подход. Необходимо наведение порядка в разработке экспертных схем на основе использования понятия жизненного цикла робототехнического устройства – по аналогии с жизненным циклом программ. Структурирование софта, стандартизация могут проводиться на основе оригинального метода, предложенного для решения математических задач, при котором задача записывается логической формулой, являющейся конъюнкцией трех компонент: начальные условия (Init), правила (Rules), цель (Aim). Применительно к робототехнике эти компоненты выглядят следующим образом.

Под компонентой Init в широком смысле понимаются исходные данные при проектировании робота, начальное состояние обучающегося студента, начальное состояние некоторой области робототехники. В нашем случае это может, в частности, означать описание роботариумов – стартовых площадок для занятий робототехникой в вузах, школах, базовые характеристики как созданных уникальных, так и массовых роботов.

Под формулой Rules мы понимаем правила изменения текущей ситуации после действий (ходов) проектируемого робота или обучаемого студента или изменений в развивающейся области (роботариуме) при взаимодействии с окружающей средой. В случае роботариумов это может означать предоставление правил и протоколов для массового и безопасного как очного, так и дистанционного бесконтактного управления роботами в режиме реального времени, в том числе с применением

2. Новые возможности и перспективы

симуляторов и тренажеров. Обучение работе с роботами по «правилам» уменьшает риски «катастроф» – поломок роботов, уничтожения софта, выхода режимов управления за границы допустимого. Согласно В.В. Иванову [5], «применение технологий, не соответствующих уровню культурного развития, приводит к катастрофам».

Формирование целей – ключ к решению проблем и творческая компонента формулы Aim. Грамотная постановка цели позволяет находить решения задачи, стратегию действий (продукции) либо получать доказательства невозможности решения задачи при данных начальных условиях и правилах, что поможет переключиться на решаемые задачи и не решать (не вкладывать ресурсы в) нерешаемые задачи. Компонента Aim близка по классификации к системе образования EDU, ориентированной на воспитание творческого человека, человека инновационного – генератора, производителя и потребителя, инвестора инноваций (в нашем случае положим инновация = продукция, решающее правило). В некотором смысле выписывание формальных условия Init, Rules, Aim для классификации областей работы студентов и роботариумов очень похоже на классификацию стран: страны, формирующие цели – технологические лидеры; страны, обеспечивающие «соблюдение правил» (Rules), а также функционирование, – промышленные доноры; дающие начальные условия, – ресурсные доноры (Init).

Построенные базовые элементы логической платформы для реализации сети роботариумов, алгоритмов информационно-измерительных, управляющих систем и технологических циклов нового поколения нашли применение не только в научно-образовательных приложениях, но и в промышленных управляющих системах.

Литература

1. Pryanichnikov V.E., Ayskin A.A., Eprikov S.R., Kirsanov K.B., Khelemendik R.V., Ksenzenko A.Ya., Prysev E.A., Travushkin A.S. Technology of Multi-Agent Control for Industrial Automation with Logical Processing of Contradictions, Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium, 2017, pp.1202-1207, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, Vienna, Austria.
2. Okhotsimsky D.E., Veselov V.A., Platonov A.K., Pryanichnikov V.E. Educational Modular transport robot with PC control // Proceedings of the IV Int.conf. on Flexible production systems. Moscow: Int.R&D Institute on the Control Problems.1987. P.62–64.
3. Davydov D.V., Eprikov S.R., Kirsanov K.B., Pryanichnikov V.E. Service Robots Integrating Software and Remote Reprogramming, Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium, 2017, pp.1234-1240, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, Vienna, Austria.

4. Кирильченко А.А., Пряничников В.Е., Рогозин К.В. Пределы достоверности и надежности доказательств. Скептицизм в математике, функции, традиции // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. Т.11, №4, С. 57-65.
5. Иванов В.В., Малинецкий Г.Г. Россия XXI век. Стратегия прорыва: технологии, образование, наука. Изд. 2-е. – М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2017. –304 с.