



Р.В. Хелемендик, В.Е. Пряничников,
Т.В. Сивакова

**О расширении методологии IGEC и ее
применении в задачах
интеллектуальной роботроники**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Хелемендик Р.В., Пряничников В.Е., Сивакова Т.В. О расширении методологии IGEC и ее применении в задачах интеллектуальной роботроники // Научный сервис в сети Интернет: труды XXI Всероссийской научной конференции (23-28 сентября 2019 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2019. — С. 639-652. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2019/theses/95.pdf> doi:[10.20948/abrau-2019-95](https://doi.org/10.20948/abrau-2019-95)

О расширении методологии IGEC и ее применении в задачах интеллектуальной роботроники

Р.В. Хелемендик¹, В.Е. Пряничников¹⁻³, Т.В. Сивакова^{1,4}

1 Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

2 Международный институт новых образовательных технологий РГГУ

3 МГТУ "СТАНКИН"

4 Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова

Аннотация. В работе расширена методология (методологические аспекты технологии) IGEC (ИГЕК), применяемая, в частности, для создания интеллектуальных робототехнических комплексов и сети мехатронных устройств промышленной автоматике, объединенных интеграционным программным обеспечением и средствами представления знаний.

Ключевые слова: интеллектуальная роботроника, технология IGEC, логическое управление по технологии "Индустрия 4.0", пенталогика, логический анализ

On the extension of the methodology IGEC and its applications in the problems of intelligent robotronics

R.V. Khelemendik¹, V.E. Pryanichnikov¹⁻³, T.V. Sivakova^{1,4}

1 Keldysh Institute of Applied Mathematics Russian Academy of Sciences

2 International Institute for new education technologies RSUH

3 MSTU "STANKIN"

4 Plekhanov Russian University of Economics

Abstract. In the paper a methodology (methodological aspects of technology) of IGEC is extended. This methodology is applied in particular for the creation of intelligent robotic complexes and networks of mechatronic devices in industrial automatics, which united by integrating software and tools of knowledge representation.

Keywords: intelligent robotronics, IGEC-technology, logical control based on Industry-4.0 approach, pentalogics, logical analysis

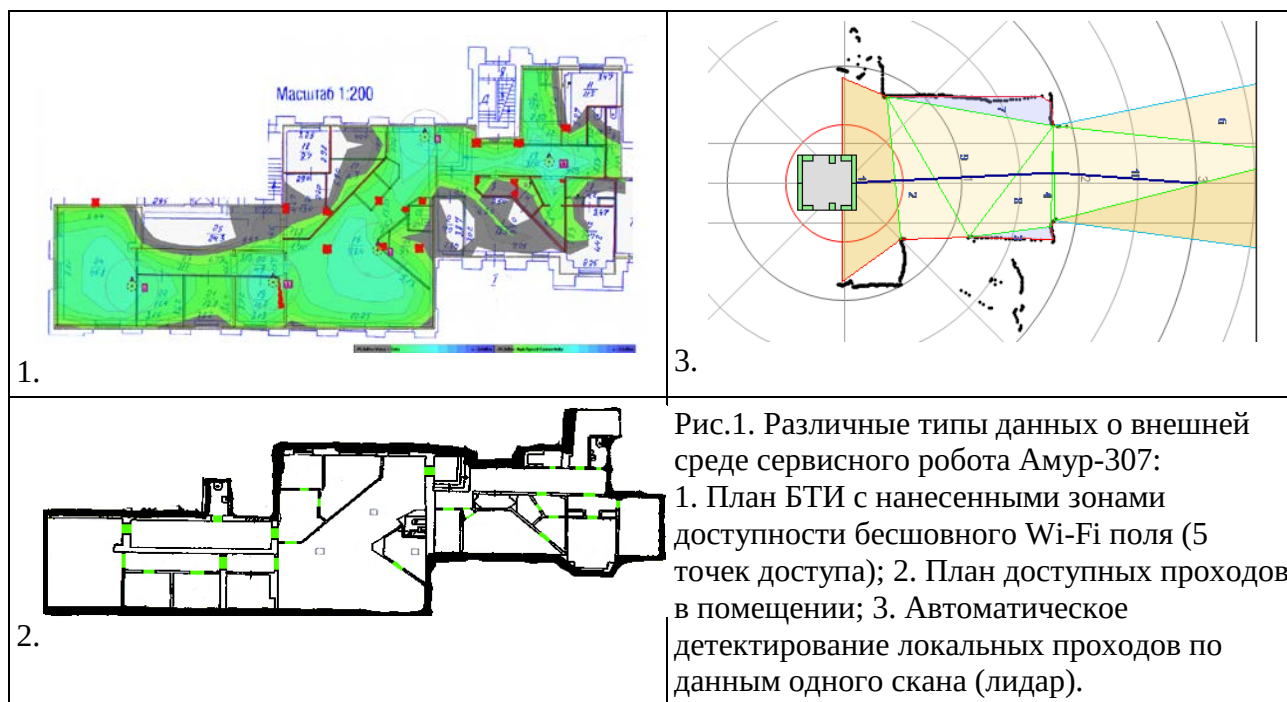
1. Введение

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской Академии наук и Международный институт новых образовательных технологий (МИНОТ РГГУ) в целях развития совместных научных исследований в области интеллектуализации робототехники, создания методов эвристической дедукции и образовательных технологий, включая развитие и практическое применение новых методов обучения реализуют научно-исследовательский, информационно-образовательный проект «Интеллектуальная робототехника», совместно с Ассоциацией по автоматизации в машиностроении DAAAM International Vienna, Международной лабораторией «Сенсорика» и с Университетами – МГТУ «Станкин» и другими. В рамках этого проекта была создана сеть роботариумов, реализуется программно-аппаратный комплекс управления производством с логическим анализом реализуемости рецептов и непротиворечивости действий операторов и технологов, а также разрабатывается мобильный сервисный робот Амур-307 для телемедицинских и охранных приложений. Во всех перечисленных работах важную роль играет так называемая технология IGEC (ИГЕК, см. [1-4]) – специализированное соединение четырех основных направлений математических подходов, условно называемых древнеиндийским, древнегреческим, древнеегипетским и древнекитайским. В настоящей статье рассматриваются методологические аспекты этой технологии, расширена методология IGEC и показаны пути ее применения в задачах интеллектуальной робототехники.

2. Направление интеллектуализации робототехнических комплексов

Одной из ключевых проблем перечисленных направлений исследований является построение новых механизмов эвристической дедукции, обеспечивающих минимизацию переборных процедур, повышение гибкости интерфейсов взаимодействия операторов с роботами, эффективный анализ противоречивых данных из различных источников. Поясним необходимость выработки нового подхода на примере рисунка 1. Для сервисного робота сделан голосовой интерфейс с ограниченным набором команд (порядка 100 ключевых слов). Робот должен уметь самостоятельно исполнять транспортно-поисковые действия. Например, оператор произносит задание: «взять шуруповерт N1», «в комнате N2», «перейти», «в комнату N3», «положить на стол N4», «перейти», «в комнату N5». Далее робот распознает последовательность операций и выполняет планирование миссии. Задание для планировщика разбирается на отдельные подзадачи, проверяется корректность описания домена, перевод задания на специальный язык, в компактные внутренние представления [5]. Исходные данные для исполнения задания имеют разный уровень доступности (рис.1) для принятия решений роботом: 1. Полный план БТИ, а тем более с расчетом зон доступности связи с оператором, для мобильного робота, как правило, не доступен, а выезды в

соответствующие зоны потери связи должны программироваться с соответствующими алгоритмами возврата (используются несколько независимых принципов передачи данных); 2. План доступных проходов, который необходимо задать роботу с указанием номеров комнат (граф связности), также может содержать неточности, особенно в части реальных расстояний; 3. Данные от лидара, ультразвуковых датчиков и ИК-датчиков также противоречивы, относятся к существенно разным дальностям обнаружения препятствий. Например, по данным от лидара формируется набор «проходов», середины которых выстраивают последовательность целевых точек для программной траектории перемещения робота (рис.1, (3)). Из этого примера видно, что в таких задачах необходимо конструировать систему продукционных правил устранения противоречий, причем аппарат традиционной логики оказывается недостаточным — интерпретация данных и цели рассуждений меняются. В связи с этим нами разрабатывался новый подход IGES, более подробно рассмотренный далее.



Технология IGES (ИГЕК, см. [1-4]) представляет соединение выделенных ранее (см. [6]) четырех основных направлений математических подходов, условно называемых древнеиндийским, древнегреческим, древнеегипетским и древнекитайским. Поскольку каждый из этих подходов (методов) может применяться вообще говоря независимо, в ИГЕК возможно целостное, в общем виде четырехмерное, представление экспертных знаний задач и методов исследований. Такое представление существенно повышает надежность решения задач в интеллектуальной роботронике (см. [7-14]), степень детализации и точность моделей, а также предоставляет инструменты для

формализации методологических (“межтрадиционных”) противоречий и путей их устранения.

В то же время совершенствование и применение ИГЕК сталкивается с рядом вызовов и проблем. Так, рост типов мехатронных устройств, интеграционного программного обеспечения, сфер применения интеллектуальных роботов порождает проблемы анализа и конструирования информационно-измерительных и управляющих систем, подготовки специалистов, адаптации операторов и пользователей к управлению сложными системами. Во многих областях знаний приходится весьма оперативно решать подчас неожиданные, ответственные, слабо формализуемые проблемы, например, разбираться в непоследовательных, хаотичных инструкциях; восстанавливать пропуск посылок, утверждений и выводов; иметь дело со сменой предмета обсуждения, отвечать на вопросы “кто действует – робот или человек?”, как будет действовать с роботом студент/инженер по знаниям, и т.п.

Для работы с этими и другими проблемами в настоящей статье предлагается на первый взгляд парадоксальный подход, который использует идеи так называемой *женской логики*¹. Ни в коей мере не претендуя на определение и формализацию столь интересного феномена, мы отметим некоторые парадоксальные (успешные) примеры и стратегии решения задач женской логики, покажем возможности их (схемного) описания в (терминах) методологии ИГЕК. Затем для полученного таким образом расширения методологии ИГЕК рассмотрим вопросы корректности и применения методов в задачах интеллектуальной роботоники.

3. Формализация противоречивых рассуждений - «женская логика»

В литературе, мифологии, социологии, психологии и других областях собраны огромные коллекции примеров женских размышлений, рассуждений, методов принятия решений. Однако, эта литература и ее прообраз – реальная жизнь – столь разнообразны, что рассуждать о женской логике вообще – не представляется возможным (в рамках данной статьи). В то же время в качестве самостоятельной дисциплины предмет женской логики (ЖЛ) изучается в работе профессора МФТИ Д.В. Беклемишева (см. [15]).

В этой статье выбран легкий изобилующий яркими примерами стиль изложения; автор определяет специальные правила, законы ЖЛ и проводит их некоторую классификацию, уделяя основное внимание проявлению и применению ЖЛ во время споров. Отмечая важность проведенной в этом направлении классификации, мы полагаем, что в настоящее время области проявления и применения ЖЛ могут быть существенно расширены. Поскольку спор можно рассматривать как частный случай взаимодействия (игры, противоборства) двух или более сторон, которое для некоторых типов задач может быть формализовано (например, в специальных логических языках – см.

¹ Сам термин “женская логика” в настоящее время не вполне определен.

[16-18]), нам представляется интересным расширенное конструктивное применение ЖЛ. Рассмотрим основные понятия и утверждения указанной статьи более подробно, при этом выделяя области их применения в целях расширения методологии IGEC.

Правила спора, основанного на женской логике. При описании спора, основанного на ЖЛ, согласно [15] выделяются три правила. Правило 1: утверждение, оставшееся без возражения, является доказанным; учитываются также скорость, весомость и личная направленность суждений. Правило 2: та из сторон, за которой осталось последнее слово, выигрывает весь спор полностью; в споре нельзя вернуться к сказанному ранее. Правило 3: В ЖЛ каждое высказывание может быть как опровергнуто, так и отвергнуто; в последнем случае оно признается бессмысленным и просто оставляется без внимания. Оказывается, уже эти три правила имеют достаточно широкую интерпретацию и сферу применения в интеллектуальной роботронике. Так, третье правило имеет аналог как в математической логике и дискретной математике – выделение фиктивных переменных (см. [19]), так и в технологии IGEC (см. [3,17]) – когда утверждение признается не существенным в рамках одного из измерений. Второе правило применимо в исследовании функционирования сенсорных и управляющих систем с коротким шлейфом данных, неполными логами (файлами протоколов), систем ИИ (искусственного интеллекта), обладающего свойством недетерминированного забывания и реагирующим лишь на последний по времени раздражитель. В вариациях на тему первого правила получаем, что если оппонент достаточно надежный (например, робот, снабженный программой проверки числовых выкладок, логического вывода), то отсутствие возражений может сигнализировать о его выходе из рабочего состояния, потери связи, перехода в другую плоскость (см. ниже), выхода за рамки предметной области, диапазона времени ответа; отметим также важность этого правила при изучении и моделировании современных телевизионных ток-шоу поединков, активности и споров в социальных сетях, к которым вольно или невольно подтягивается и искусственный интеллект.

Доказательства общих суждений и их опровержения примерами. По этому вопросу в [15] выделены следующие закономерности, выраженные в упрощенной форме: 1) если один пример не всегда доказывает общее суждение, то два примера доказывают его (во всяком случае); 2) противоречащий пример ничего не опровергает (так как он только один, а один пример ни о чем не говорит). Эти закономерности безусловно заслуживают внимания и изучения области их применимости. Так, одной из причин доказательства парой примеров является согласование этих примеров с конкретным ходом текущих рассуждений и устремлений в женской логике. Далее, ЖЛ может рассматриваться как многомерная и развертывающаяся во времени; поэтому, вообще говоря, при опровержении как минимум необходимы примеры, относящиеся к каждому из четырех измерений, если следовать методологии IGEC. Мы предлагаем считать, что в древнегреческом измерении справедливы

законы мужской (Аристотелевской) логики; области справедливости законов женской логики требуют специального рассмотрения.

Закон повторения аргумента в женской логике. Согласно [15] в ЖЛ “доказательная сила аргумента при повторении его меняется по довольно сложному закону. Чаще всего она растет, но иногда и катастрофически падает. Повторяя аргумент, следует каждый раз придавать ему новое словесное выражение”. Нетрудно убедиться, что данный закон справедлив в отношении обучения, образования, обработки и закрепления необходимого объема информации. При этом краткосрочность и фрагментарность внимания при восприятии информации постоянно возрастают, поэтому одно и то же необходимо регулярно повторять, представляя это в подходящей к конкретной ситуации форме. Решению этой актуальной задачи способствует инструментарий IGEC. Так, при новом выражении аргументов интересен проход по векторам измерений IGEC по циклу или спирали.

Интерпретация высказываний в ЖЛ. В простейшем случае с точки зрения логики высказываний речь идет об означивании элементарных высказываний – пропозициональных (булевых) переменных. Согласно [15] вопрос признания конкретного высказывания истинным всецело определяется поставленной целью. Так, в приведенном примере с признанием цвета воротничка рубашки черным жена в диалоге с мужем признает это высказывание истинным (чтобы он снял и дал постирать свою рубашку), тогда как в последующем диалоге с домработницей она признает это высказывание ложным (называя воротничок белым – чтобы домработница не отказалась стирать рубашку). По нашему мнению, вопрос означивания булевых переменных в ЖЛ не всегда определяется целью: например, он может определяться текущим моментом времени, выбранным лучом (плоскостью) измерения IGEC. Таким образом, сочетание логики ветвящегося времени и IGEC позволяет формализовывать подобные изменения в интерпретации истинности высказываний, заодно выясняя их согласованность с поставленной целью (также записанной в логическом языке).

Переход в другую плоскость. Согласно [15] “суть перехода в другую плоскость заключается в том, чтобы как можно менее явно изменить предмет рассуждения”. На приводимых далее примерах автор иллюстрирует технику этого приема в ЖЛ, особенно выделяя спор, цель которого “выяснить, кто прав, а кто не прав вообще, а не по какому-либо частному вопросу”. Отметим, что шесть двумерных плоскостей пространства IGEC были введены в работе [3] в целях согласованной работы каждой пары из четырех подходов в методологии IGEC, в частности, для устранения так называемых методологических противоречий в рамках одной и той же задачи (предмета рассуждения). Так что переход в другую плоскость вообще говоря не означает изменение предмета рассуждения; такой переход мы рассматриваем как смену языка и комбинаций подходов к изучению данного предмета (в том числе вне какой-либо связи со спором). Кроме того, в методологии IGEC, ориентированной на детализацию,

одна из сторон может победить, например, в древнеегипетском измерении (текущем признании авторитетами, фактом написания на “папирусе”), но потерпеть поражение в древнегреческом (неверные логические рассуждения и математические утверждения); и наоборот. Таким образом, цель и осуществление перехода в другую плоскость для конкретных ситуаций требуют уточнений. В качестве примера неоднозначности трактовки перехода в другую плоскость приведем следующий известный диалог в ЖЛ, суть которого разъясним позднее. D1. Мария: “У меня три сына, произведение их целых возрастов равно 36, а сумма – количеству окон вон на том доме”. Татьяна (посмотрев внимательно на этот дом): “Ну и что?”. Мария: “А старший – рыжий”. И тогда Татьяна назвала возраст каждого сына.

Силлогизмы. Согласно [15] силлогизмы в ЖЛ носят вспомогательный характер и соглашаться с посылками (и заключениями) стороне, применяющей ЖЛ, следует не безусловно, а условно – в зависимости от того, каким предполагается вывод и будет ли он эту сторону устраивать. Такое условное согласие с посылками позволяет в ЖЛ сделать возврат этих посылок и силлогизмов назад (отвергнуть, опровергнуть), если итоговый вывод не является благоприятным, т.е. действовать по аналогии с указанными выше правилами спора и интерпретацией высказываний. Кроме того, согласно [20] (стр.171) “... как правило, логика в живой речи густо окутана эмоциями”, что дает богатую почву для умолчаний, пропуска посылок и в конечном счете предоставляет возможность выбора именно тех силлогизмов, которые ведут к благоприятному результату. Заметим, что имеются и фундаментальные математические результаты, зависящие от посылок – континуум-гипотеза, геометрии Евклида/Лобачевского/Римана, в которых, однако, посылки вынесены в аксиомы, и в дальнейшем применение силлогизмов регламентировано правилами Аристотелевской логики.

Абсолют в женской логике. Рассмотрение предыдущих понятий, правил и законов ЖЛ приводит к постановке вопросов: какой из нескольких возможных вариантов выводов следует сделать? Каковы критерии выбора? Так, согласно [15] ЖЛ “различает суждения истинные, ложные и не представляющие интереса”. Каким же образом в ЖЛ высказывания легко и уверенно относятся к одному из этих трех классов? Для ответа на эти и другие вопросы в [15] вводится так называемый абсолют, который представляет собой “совокупность высказываний, употребляемых для проверки истинности других высказываний следующим образом: высказывание истинно, если согласуется с абсолютом, ложно — если противоречит ему, и не заслуживает внимания, если не имеет ничего общего с абсолютом”. При этом автор отмечает, что абсолют не постоянен, может меняться беспорядочно и скачкообразно, и, как правило, противоречив с точки зрения классической (мужской) логики, хотя в ЖЛ все высказывания “по определению” истинны (так как входят в абсолют). Используя понятие абсолюта, Д.В. Беклемишев предлагает считать, что “можно легко убедить женщину в высказывании, не заслуживающем внимания”, но

“совершенно нельзя убедить в высказывании, противоречащем абсолюту”. Мы полагаем, что абсолюту в ЖЛ не удастся сопоставить набор аксиом так, как это делается в классической логике – наличие противоречий при фиксированных правилах вывода приведет к получению любых заключений, тогда как в ЖЛ из абсолюта вытекает далеко не все. Тем не менее, в некоторых случаях к описанию и моделированию абсолюта можно приблизиться – в таких случаях мы будем говорить об *образе абсолюта*. Так, в пространстве IGEC возможна успешная формализация постоянной части абсолюта (см. примеры устранения противоречий в древнегреко-египетской, древнекитайско-индийской плоскостях в [3-4,11]) – получение образа абсолюта. А применение временных логик (логики линейного времени, логики ветвящегося времени) позволяет моделировать изменение абсолюта во времени. Примером образа абсолюта в робототехнике может служить запрет нанесения роботом ущерба человеку.

4. Расширение и применение методологии IGEC в робототехнике

Перечислим кратко пути расширения методологии IGEC, рассмотренные при формализации рассуждений в предыдущем разделе. Во-первых, это формализация и конструктивное применение правил ЖЛ поведения в конфликтных ситуациях (спорах). Во-вторых, понимание особенностей доказательства в ЖЛ общих утверждений и их опровержения примерами, а также закона повторения аргумента. В-третьих, динамическая и многомерная интерпретация высказываний вместе с правилами перехода в другую плоскость и методами работы с силлогизмами в ЖЛ. В-четвертых, это выделение абсолюта в ЖЛ и получение его формализованного приближения – образа.

Отметим, что указанные нами расширения методологии IGEC не обладают полнотой в смысле формализации и конструктивного применения ЖЛ. Так, продолжая изучение примера диалога (D1) в ЖЛ из подраздела “перехода в другую плоскость”, мы замечаем, что все разобранные выше механизмы формализации ЖЛ в данном случае не помогают в рассуждениях и построении вывода. Действительно, при поверхностном рассмотрении возникает впечатление, что в этом диалоге отсутствуют силлогизмы и происходят лишь малопонятные переходы в разные плоскости. Однако, при внимательном анализе заметим, что среди всех троек натуральных чисел, дающих в произведении 36, имеются ровно две комбинации с одинаковой суммой: $\langle 1,6,6 \rangle$ и $\langle 2,2,9 \rangle$. Этим и объясняются вопрос Татьяны, последующая реплика Марии и итоговый правильный ответ Татьяны – $\langle 2,2,9 \rangle$. Для передачи ИИ навыков проведения подобных рассуждений и решений задач необходимо как умение “отсекать информационный шум” в ЖЛ, так и, пользуясь рефлексией, выходить на более высокий уровень – метауровень. Таким ресурсом могут быть идеи и методы суперкомпиляции (см. [21]) в смысле “вычислений под присмотром”, перенесенные на формализацию рассуждений в ЖЛ.

Расширенная методология IGES и рассмотренные подходы применялись в создании эффективных технологий интеллектуализации сенсорно-управляющих систем. Технологической базой этого стала разработка интеграционного, распределенного программного обеспечения (ПО) для групповых разработок и управления роботариумами, включая 3D симуляторы, работающие в реальном масштабе времени. В настоящее время задействовано 14 роботов и манипуляторов, 4 промышленных стенда, 3 камеры с 3х-координатным управлением, а также создана система перестраиваемого дистанционного управления реализованным цехом. Благодаря унификации процесса интеграции разнотипных мехатронных устройств и построения соответствующего программного обеспечения удалось многократно сократить путь от строительства низкоуровневых сенсорно-управляющих систем к интеллектуальным алгоритмам, реализующим дедуктивные механизмы. Созданные алгоритмы позволяют автоматически формировать траектории уклонения от подвижных и неподвижных препятствий по данным от лидаров, ультразвуковых, ТВ-сенсоров, в том числе, используя параллельные вычисления. Отметим, что разработанные программного-аппаратные системы, методы проектирования и исследования актуальных проблем интеллектуализации робототехники, прошли проверку и внедрены в при реализации актуальных проектов. Некоторые из применений показаны на рис.2.

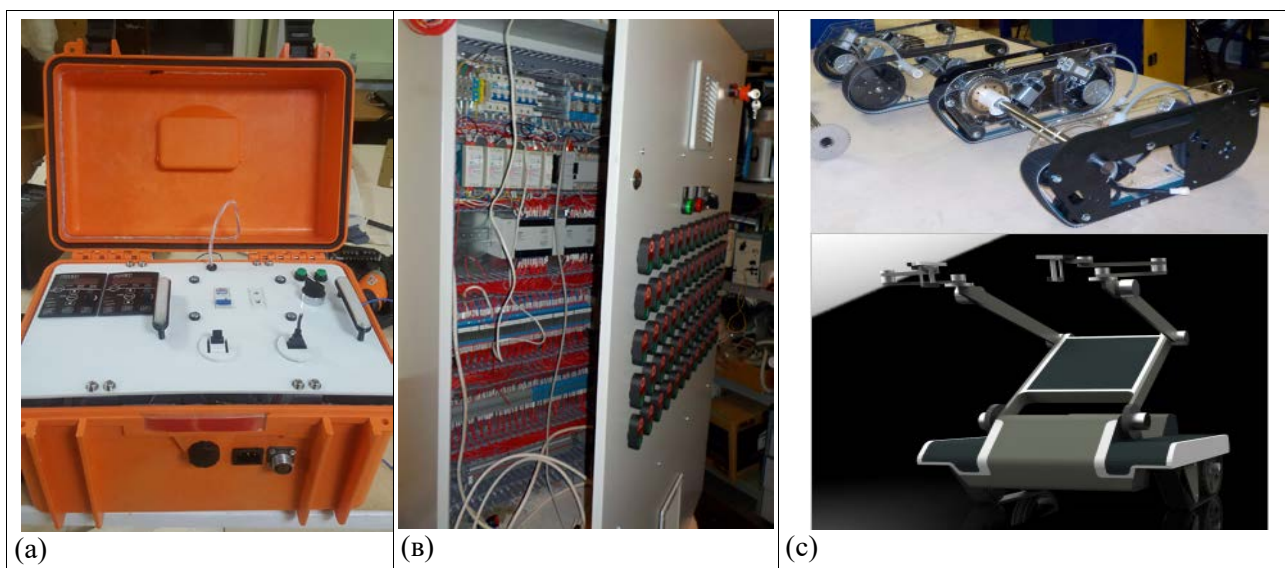


Рис.2. Примеры применения разработанных программно-аппаратных средств - управление подводным роботом. Показаны: пульт супервизорного управления (а), цеховая управляющая система, одна из десятков реализованных стоек программного управления со встроенным логическим анализом сбоев и переключений рецептов (в), макетирование и моделирование сервисного мобильного робота Амур-307, создание алгоритмов управления для применения в разрабатываемой сервисной транспортной системе для телемедицины (с).

5. Заключение

В работе представлено расширение методологических аспектов технологии IGEC, построенное на идеях формализации и конструктивного применения достаточно широкого класса естественных рассуждений. Показаны применения этой технологии в задачах интеллектуальной роботоники.

Литература

1. Pryanichnikov V.E., Katalinic B., Kirilchenko A.A., Khelemendik R.V., Kuvshinov S.V., Vician D., Uglesic A. New Creative Educational Technologies for Inter-university Network // 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. 2014. — Procedia Engineering. 2015. — Vol. 100, — P.259-268. — URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815003938>
2. Пряничников В.Е., Биелич Т., Вицан Д., Каталинич Б., Кирсанов К.Б., Кувшинов С.В., Марзанов Ю.С., Подураев Ю.В., Хелемендик Р.В., Прысев Е.А., Углешик А., Харин К.В. Разработка образовательных технологий и сети ассоциированных лабораторий-роботариумов // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2015. — Т. 13, № 7. — С.7-25.
3. Пряничников В.Е., Хелемендик Р.В. Информационная технология IGEC и пенталогика // Компьютерные науки и информационные технологии: Материалы междунар. науч. конф. — Саратов: Издат. центр «Наука», 2016. — С. 331-333.
4. Хелемендик Р.В., Пряничников В.Е. О технологии IGEC и её применении в изучении шахматных окончаний // Научный сервис в сети Интернет: труды XIX Всероссийской научной конференции (19-24 сентября 2017 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2017. — С. 446-455. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2017/proc.pdf>
5. Шиповалов Е.А., Пряничников В.Е. Автопланирование миссий мобильных роботов бортовыми вычислительными комплексами с гибридной архитектурой // Экстремальная робототехника. / Сборник тезисов Международной научно-технической конференции. — СПб: Издательско-полиграфический комплекс "Гангут", 2017. — С.119-120.
6. Кирильченко А.А., Пряничников В.Е., Рогозин К.В. Пределы достоверности и надежность доказательств. Скептицизм в математике, функции, традиции // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2013. — Т. 11, № 4. — С. 57-65.
7. Пряничников В.Е. Искусственный интеллект и программно-аппаратные робототехнические комплексы // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2018. — Т. 16, № 12. — С. 3-11.
8. Кувшинов С.В., Пряничников В.Е., Хелемендик Р.В., Харин К.В., Эприков С.Р. Роботариумы: научная и технологическая база «Интеллектуальной роботоники» // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2018. — Т. 16, № 12. — С. 12-23.

9. Каталинич Б., Ксензенко А.Я., Кувшинов С.В., Марзанов Ю.С., Прысев Е.А., Пряничников В.Е., Хелемендик Р.В., Эприков С.Р. Разработка распределенных программно-аппаратных роботариумов // Экстремальная робототехника: труды Международной научно-технической конференции. (24-25 ноября 2016 г., Санкт-Петербург) — СПб: ООО «АП4Принт», 2016. — С.459-465.
10. Pryanichnikov V.E., Chernyshev V.V., Arykantsev V.V., Ayskin A.A., Eprikov S.R., Ksenzenko A.Ya., Petrakov M.S. Enhancing the Functionality of the Groups of Autonomous Underwater Robots // Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium, 2018. — DAAAM International, Vienna, Austria, 2018. — P.1319-1325. DOI:10.2507/29th.daaam.proceedings.190
11. 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. — DAAAM International, Vienna, Austria, 2017. — P.1202-1207. DOI:10.2507/28th.daaam.proceedings.167
12. Ксензенко А.Я., Марзанов Ю.С., Прысев Е.А., Пряничников В.Е., Чернышев В.В. Прототипирование бесконтактного обмена данными и энергообеспечения группировки подводных роботов-спутников с шагающей по дну базовой станцией // Экстремальная робототехника: Сборн. тез. междунар. науч.-техн. конф. — СПб: Издательско-полиграфический комплекс "Гангут", 2017. — С. 268-269.
13. Pryanichnikov V.E., Ksenzenko A.Ya., Kuvshinov S. V., Poduraev Yu. V., Prysev E.A., Khelemendik R.V., Eprikov S.R. Intelligent robotronics: hardware-software complexes of robotariums // Proceedings of the 27th DAAAM International Symposium, 2016. — DAAAM International, Vienna, Austria, 2018. — P.0225-0229. DOI:10.2507/27th.daaam.proceedings.033
14. Богданович А.В., Кирсанов К.Б., Пряничников В.Е., Хелемендик Р.В. Программно-аппаратные компоненты интеллектуальных сервисных мобильных роботов // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2018. — Т. 16, № 12. — С. 33-39.
15. Беклемишев Д.В. Заметки по женской логике // Физики все еще шутят. Сборник. / Под ред. В.Ф.Турчина. — М.: Макет, 1992. — С. 142-151.
16. Хелемендик Р.В. Алгоритм распознавания выполнимости формул логики ветвящегося времени и эффективный алгоритм построения выводов общезначимых формул из аксиом // Математические вопросы кибернетики. Вып. 15: Сборник статей / Под ред. О.Б. Лупанова. — М.: Физматлит, 2006. — С. 217-266.
17. Хелемендик Р.В., Пряничников В.Е. О построении специального логического языка для задач интеллектуальной роботоники и исследования больших формул // Компьютерные науки и информационные технологии:

Материалы междунар. науч. конф. — Саратов: Издат. центр «Наука», 2018. — С. 425-428.

18. Прыничников В.Е., Арыскин А.А., Ксензенко А.Я., Петраков М.С., Игнатъев В.А., Хелемендик Р.В. Построение сервисного автономного мобильного робота на основе управления, использующего логический анализ реализуемости операций // Научный сервис в сети Интернет: труды XX Всероссийской научной конференции (17-22 сентября 2018 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2018. — С. 428-437. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2018/proc.pdf>
19. Яблонский С.В. Введение в дискретную математику / М.: Наука, 1986. — 384с.
20. Пухначев Ю.В., Попов Ю.П. Математика без формул: Книга вторая / М.: КомКнига, 2007. — 240с.
21. Климов А.В., Романенко С.А. Суперкомпиляция: основные принципы и базовые понятия // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2018. № 111. 36 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-111>

References

1. Pryanichnikov V.E., Katalinic B., Kirilchenko A.A., Khelemendik R.V., Kuvshinov S.V., Vician D., Uglesic A. New Creative Educational Technologies for Inter-university Network // 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. 2014. — Procedia Engineering. 2015. — Vol. 100, — P.259-268. — URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815003938>
2. Pryanichnikov V.E., Bielich T., Vitsan D., Katalinich B., Kirsanov K.B., Kuvshinov S.V., Marzanov Iu.S., Poduraev Iu.V., Khelemendik R.V., Prysev E.A., Ugleshik A., Kharin K.V. Razrabotka obrazovatelnykh tekhnologii i seti assotsiirovannykh laboratorii-robotariumov // Informatsionno-izmeritelnye i upravliaiushchie sistemy. — 2015. — Т. 13, № 7. — S.7-25.
3. Pryanichnikov V.E., Khelemendik R.V. Informatsionnaia tekhnologiya IGEC i pentalogika // Kompiuternye nauki i informatsionnye tekhnologii: Materialy mezhdunar. nauch. konf. — Saratov: Izdat. tsentr «Nauka», 2016. — S. 331-333.
4. Khelemendik R.V., Pryanichnikov V.E. O tekhnologii IGEC i ee primeneni v izuchenii shakhmatnykh okonchani // Nauchnyi servis v seti Internet: trudy XIX Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii (19-24 sentiabria 2017 g., g. Novorossiisk). — М.: IPM im. M.V. Keldysha, 2017. — S. 446-455. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2017/proc.pdf>
5. Shipovalov E.A., Pryanichnikov V.E. Avtoplanirovanie missii mobilnykh robotov bortovymi vychislitelnymi kompleksami s gibridnoi arkhitekturoi // Ekstremalnaia robototekhnika. / Sbornik tezisov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. — SPb: Izdatelsko-poligraficheskii kompleks "Gangut", 2017. — S.119-120.

6. Kirilchenko A.A., Pryanichnikov V.E., Rogozin K.V. Predely dostovernosti i nadezhnost dokazatelstv. Skeptitsizm v matematike, funktsii, traditsii // Informatsionno-izmeritelnye i upravliaiushchie sistemy. — 2013. — T. 11, № 4. — S. 57-65.
7. Pryanichnikov V.E. Iskusstvennyi intellekt i programmno-apparatnye robototekhnicheskie komplekсы // Informatsionno-izmeritelnye i upravliaiushchie sistemy. — 2018. — T. 16, № 12. — S. 3-11.
8. Kuvshinov S.V., Pryanichnikov V.E., Khelemendik R.V., Kharin K.V., Eprikov S.R. Robotariumy: nauchnaia i tekhnologicheskaia baza «Intellektualnoi robotroniki» // Informatsionno-izmeritelnye i upravliaiushchie sistemy. — 2018. — T. 16, № 12. — S. 12-23.
9. Katalinich B., Ksenzenko A.Ya., Kuvshinov S.V., Marzanov Iu.S., Prysev E.A., Pryanichnikov V.E., Khelemendik R.V., Eprikov S.R. Razrabotka raspredelennykh programmno-apparatnykh robotariumov // Ekstremalnaia robototekhnika: trudy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. (24-25 noiabria 2016 g., Sankt-Peterburg) — SPb: OOO «AP4Print», 2016. — S.459-465.
10. Pryanichnikov V.E., Chernyshev V.V., Arykantsev V.V., Ayskin A.A., Eprikov S.R., Ksenzenko A.Ya., Petrakov M.S. Enhancing the Functionality of the Groups of Autonomous Underwater Robots // Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium, 2018. — DAAAM International, Vienna, Austria, 2018. — P.1319-1325. DOI:10.2507/29th.daaam.proceedings.190
11. 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. — DAAAM International, Vienna, Austria, 2017. — P.1202-1207. DOI:10.2507/28th.daaam.proceedings.167
12. Ksenzenko A.Ya., Marzanov Iu.S., Prysev E.A., Pryanichnikov V.E., Chernyshev V.V. Prototipirovanie beskontaktnogo obmena dannymi i energoobespecheniia gruppirovki podvodnykh robotov-satellitov s shagaiushchei po dnu bazovoi stantsiei // Ekstremalnaia robototekhnika: Sborn. tez. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. — SPb: Izdatelsko-poligraficheskii kompleks "Gangut", 2017. — S. 268-269.
13. Pryanichnikov V.E., Ksenzenko A.Ya., Kuvshinov S. V., Poduraev Yu. V., Prysev E.A., Khelemendik R.V., Eprikov S.R. Intelligent robotronics: hardware-software complexes of robotariums // Proceedings of the 27th DAAAM International Symposium, 2016. — DAAAM International, Vienna, Austria, 2016. — P.0225-0229. DOI:10.2507/27th.daaam.proceedings.033
14. Bogdanovich A.V., Kirsanov K.B., Pryanichnikov V.E., Khelemendik R.V. Programmno-apparatnye komponenty intellektualnykh servisnykh mobilnykh robotov // Informatsionno-izmeritelnye i upravliaiushchie sistemy. — 2018. — T. 16, № 12. — S. 33-39.

15. Beklemishev D.V. Zametki po zhenskoi logike // Fiziki vse eshche shutiat. Sbornik. / Pod red. V.F.Turchina. — M.: Maket, 1992. — S. 142-151.
16. Khelemendik R.V. Algoritm raspoznavaniia vypolnimosti formul logiki vetviashchegosia vremeni i effektivnyi algoritm postroeniia vyvodov obshchepochinomykh formul iz aksiom // Matematicheskie voprosy kibernetiki. Vyp. 15: Sbornik statei / Pod red. O.B. Lupanova. — M.: Fizmatlit, 2006. — S. 217-266.
17. Khelemendik R.V., Pryanichnikov V.E. O postroenii spetsialnogo logicheskogo iazyka dlia zadach intellektualnoi robotroniki i issledovaniia bolshikh formul // Kompiuternye nauki i informatsionnye tekhnologii: Materialy mezhdunar. nauch. konf. — Saratov: Izdat. tsentr «Nauka», 2018. — S. 425-428.
18. Pryanichnikov V.E., Aryskin A.A., Ksenzenko A.Ia., Petrakov M.S., Ignatev V.A., Khelemendik R.V. Postroenie servisnogo avtonomnogo mobilnogo robota na osnove upravleniia, ispolzuiuushchego logicheskii analiz realizuemosti operatsii // Nauchnyi servis v seti Internet: trudy XX Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii (17-22 sentiabria 2018 g., g. Novorossiisk). — M.: IPM im. M.V. Keldysha, 2018. — S. 428-437. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2018/proc.pdf>
19. Yablonskii S.V. Vvedenie v diskretnuiu matematiku / M.: Nauka, 1986. — 384s.
20. Pukhnachev Iu.V., Popov Iu.P. Matematika bez formul: Kniga vtoraia / M.: KomKniga, 2007. — 240s.
21. Klimov A.V., Romanenko S.A. Superkompiliatsiia: osnovnye printsipy i bazovye poniatia // Preprinty IPM im. M.V. Keldysha. 2018. № 111. 36 s. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-111>