

О Т З Ы В

Официального оппонента на диссертационную работу Шестакова Евгения Игоревича

на тему

"Алгоритмическое и программное обеспечение адаптивной системы
управления модульными роботами"

представленную к защите на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.11 - Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Три основных тренда - модульность конструкции, миниатюризация и «очеловечивание» - определяют в настоящее время развитие современной робототехники, не связанной с промышленной робототехникой. Указанное напрямую относится и к групповой робототехнике, когда необходимо коллективное решение задач. При этом управление модульными конструкциями, особенно в ситуациях, когда требуется частично автономное, а порой и полностью автономное функционирование отдельных модулей, является задачей повышенной сложности. В этих условиях недостатки активно развиваемых современных методов анализа окружающей обстановки, например глубокого машинного обучения, проявляются особенно значительно.

Действительно среда зачастую меняется столь сильно, что детерминистски обученный робот, оказываясь в новых условиях, не имеет готовых прецедентов поведения. В настоящее время в прикладных областях (например, для беспилотных летательных аппаратов) в систему управления "зашивается" единственный алгоритм- возврат на базу.

В этом контексте обращение автора к адаптивным алгоритмам, учитывающим адаптацию робота к изменениям среды функционирования, во многом опирающимся на биологические аналоги, представляется правильным и оправданным.

Поэтому работа весьма актуальна.

Работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и списка сокращений. Большое количество рисунков (47) и 16 таблиц достаточно полно иллюстрируют представленный материал. Список

литературы содержит 122 наименований, причем использованы достаточно свежие публикации, в том числе и зарубежные - это свидетельствует о научной добросовестности Е.И. Шестакова. Современным также следует признать и наличие ссылок на видео-презентации.

Автор в начале работы проанализировал уровень разработанности проблемы, правильно выделив неисследованные аспекты - разработку алгоритмов и программ применительно не просто к модульным, а к многозвенным робототехническим устройствам.

В качестве технических средств исследования обоснованно выбрано виртуальное моделирование.

В первой главе диссертационной работы автор довольно убедительно доказывает, что управление модульными роботами имеет существенные отличия и соответствующие требования. Но описанные в литературе современные алгоритмы управления модульными роботами (управляющие таблицы, центральный генератор упорядоченной активности и др.) не обладают способностью работать в изменяющейся среде и, тем более, в ситуациях, когда условия выполнения миссии требуют дообучения или даже переобучения непосредственно в процессе функционирования объекта управления.

В результате исследований автор «заточил» внимание на разработку архитектуры системы управления (действительно, такая архитектура необходима в ситуации, когда результаты исследований тесно связываются с конкретными конструкциями модульных роботов) и построение своего рода взаимобратной связки моделирующего комплекса с физическим образцом модульного робота. Именно такие решения и позволили применять метод адаптивного автономного управления, и как представляется, предопределили его эффективность.

Вторая глава диссертационной работы посвящена принципам, способам построения, моделям и алгоритмам адаптивной системы управления модульными роботами.

Здесь потребовалось ввести несколько основных положений, своего рода гипотез, основанных на рассмотрении модульного робота как

функционального адаптивного объекта. Несмотря на внешнюю очевидность, такие положения как иерархичность построения системы управления, единство программного обеспечения для всех модулей и др. позволили подойти к главному - созданию средств программного моделирования для проведения обучения или переобучения без участия реального физического робота.

Интересным представляется и решение размещать уровень планирования поведения и уровень построения траекторий движения на борту одного из мехатронных модулей.

Отдельно хотелось бы выделить аппарат "эмоций", входящий в состав структуры адаптивной системы управления. Это едва ли не основной элемент метода адаптивного управления и его использование в упрощенной математической модели в виде функции качественных оценок состояний с последующим включением коэффициента самообучения - является внешне слабо подчеркнутым автором, но очень значимым и новым элементом в работе. Часто эмоциональность в робототехнике связывается с совершенно публичным элементом - внешней схожестью реакций роботов с так называемым "человеческим лицом". А между тем эмоциональность как реакция на внешнее воздействие, включение ее в общий процесс управления - едва ли не самое перспективное направление будущей робототехники.

Технически грамотно и подробно описаны в работе алгоритмы построения траекторий движения адаптивной системы управления с формализацией, адаптивным формированием закона изменения обобщенных координат для достижения целевой точки для модульных роботов в конфигурациях «манипулятор» и «шагающая платформа», а также двумя подходами к решению этих задач.

Разрабатывая средства моделирования модульных роботов и способы их программного взаимодействия с макетным образцом модульного робота, автором предложен новый способ структурной организации программного комплекса для моделирования модульных роботов как системы взаимодействующих классов, описываемых в виде UML-диаграмм. Разработанный программный комплекс различными классами описывает

отдельные мехатронные модули, вращательные звенья, разнообразные датчики, действия системы автономного управления, реализацию процессов взаимодействия и другие необходимые для виртуального моделирования классы. Ценно то, что программное обеспечение разработано как открытое, как своего рода программный конструктор; представляется, что оно может легко дорабатываться и под другие типы задач, смежные с решаемыми.

Указанное легко подтверждается анализом разработанного автором в третьей главе способа описания кинематической структуры модульных роботов на основе формата XML. Это позволяет, добавляя в соответствующий словарь дополнительные элементы, описывать конфигурации различных типов модульных роботов вне зависимости от особенностей их кинематической структуры и конструкции мехатронных модулей.

Программное обеспечение для моделирования модульных роботов разработано с помощью известной кроссплатформенной среды разработки Unity3D с компиляцией исходного кода, написанного на языке C#, на различные целевые платформы. В программном обеспечении используются протоколы HTTP, стандартные протоколы и драйверы. Макетный образец робота просто подключается к программному обеспечению через USB/Bluetooth- это и удобно, и современно.

Предлагаемый трехэтапный контур обучения и четырехэтапный контур управления позволяет формировать новые образы, рассчитывать их эмоциональную оценку, выявлять новые знания, а в процессе управления распознавать образы и на основе формируемой общей эмоциональной оценки принимать необходимые решения.

Далеко не всегда диссертационные исследования завершаются такими интересными экспериментальными доказательствами, которые содержатся в четвертой главе диссертационной работы. В ответственных фундаментальных НИРах, финансируемых из госбюджета, такие исследования являются обязательными и важно, что здесь соискатель подтверждает свою квалификацию, как сложившийся молодой ученый.

В описанных и физически наглядно представленных экспериментах модульный манипуляционный робот непосредственно в процессе управления постепенно и успешно самообучается перемещать схват в заданную точку. Ценно то, что здесь рассмотрены примеры своего рода погружения робота в неизвестную среду (база данных "пустая"!), в которой робот и обучается, и переобучается при возникновении в процессе функционирования проблем с самим многозвенным роботом (выход из строя одного из модулей).

Также представлены результаты успешных экспериментов по исследованию адаптивного управления движением модульных роботов в конфигурации «шагающей платформы». При этом конечности робота рассматривались как совокупность манипуляторов.

Преимущества предложенных способов адаптивного управления по сравнению с существующими методами и алгоритмами управления манипуляционными и шагающими модульными роботами становятся очевидными - даже при изменениях свойств робота или в условиях динамически изменяющейся внешней среды миссия выполняется за счет совместной работы контура обучения и самообучения и, как следствие, адаптации к указанным изменениям.

Довольно редко, особенно в последнее время, для описания ориентации объектов используются кватернионы. Заслужой автора является правильный выбор этого метода для описания вращательного движения как отдельных модулей, так и модулей относительно друг друга.

Хотелось бы подчеркнуть, что представленный автором способ построения адаптивной системы управления модульными роботами имеет теоретическую значимость для развития теории управления многозвенными объектами, функционирующими в различных, в том числе и недоопределенных средах.

Полученные автором оригинальные результаты, в том числе способ построения программных средств моделирования модульных роботов, способ описания модульных конфигураций и алгоритмов построения программных моделей по файлу описания обладают научной новизной.

Экспериментальная проверка алгоритмического и программного обеспечения адаптивной системы управления модульными роботами в конфигурациях «манипулятор» и «шагающая платформа» подтверждает правильность предложенных алгоритмов и решений.

С точки зрения внешнего оппонента, видится очень интересное (возможно даже несколько неожиданное) развитие предложенных алгоритмов адаптивного управления для многозвенных конструкций, включающих неоднотипные модули, что сделает саму конструкцию гетерогенной. Это бы позволило получить еще большие преимущества при разделении общей конструкции на модули, последовательном выполнении модулями разнообразных задач, и последующем сборе снова в исходную конструкцию. Такие практические задачи уже ставятся.

В принципе, автор представил если не первую, то в числе первых разработок, когда система управления адаптивна к среде, то есть она обучается и переобучается "на ходу", в процессе выполнения задач. Даже нейросети с подкреплением, как представляется, все равно требуют предварительных настроек. В этом, как представляется, и состоит уникальность проведенного исследования.

К числу замечаний по работе, в основном относящихся к ее текстовому представлению, отношу следующие.

1. При обосновании актуальности работы автор незаслуженно мало уделил внимания анализу и сравнению различных методов. Преимущества и недостатки глубокого машинного обучения, гибридных методов управления, активно развиваемых в настоящее время, рассмотрены в п. 1.2 подробно, но слишком тривиально. Между тем они сейчас образуют явный тренд, а многие их недостатки еще не до конца осознаны. Тем более, что в главе 4 автор доказывает преимущества метода адаптивного управления. Если бы это было сделано с большей глубиной, то выбор метода адаптивного управления для исследований был бы более целенаправленным и обоснованным.
2. Автор, указывая правильные ссылки на ранее работающих в выбранном научном направлении ученых, не описывает полученные до него

результаты, хотя такая работа им проделана и, кстати, представлена в одной из его публикаций. Это не влияет на качество проведенного исследования, но обедняет само восприятие работы.

3. При прочтении диссертации появляется желание понять, в каких именно средах может работать разработанная конструкция, как ее факторы будут воздействовать на модульного робота, в какой именно степени метод адаптивного управления справится с сильным влиянием среды, есть ли какие-либо ограничения его применения. К сожалению, эти вопросы остаются без ответов.
4. Слабо проработаны вопросы развития предлагаемого подхода на перспективу. Автором ведь создана целая библиотека из программ, реализующих метод автономного Адаптивного Управления применительно к управлению модульными роботами. Это важнейший результат. Это тем более важно из-за малого количества и работ, и публикаций по данной тематике.
5. Ни в диссертации, ни в автореферате в прямой постановке не выделена реализация результатов исследований. В беседах же с автором установлено, что результаты работы не только реализованы в нескольких грантах различных фондов, но имеется и Акт о реализации. Жаль, что это замечание приходится фиксировать.
6. Работа не свободна от досадных синтаксических и грамматических ошибок (фразы и пунктуация на стр. 62 и др.). Но, следует признать, что их немного.

Указанные замечания, однако, не влияют на общее хорошее впечатление о представленной работе.

В целом диссертационная работа имеет все признаки актуальности и новизны, а также теоретическую и практическую значимость. Диссертация в должной степени оформлена, основные результаты опубликованы, реализованы и апробированы на нескольких всероссийских и международных конференциях.

Поставленные задачи исследования выполнены в полном объеме.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, цель исследований - разработку способа построения программного обеспечения для интеллектуальных адаптивных систем управления модульными роботами можно считать достигнутой, поставленную научно-техническую задачу - решенной, а научное исследование -завершенным.

С учетом изложенного можно сделать заключение о том, что представленная на оппонирование диссертационная работа полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Шестаков Евгений Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 "Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей"

Ведущий научный сотрудник
Главного научно-исследовательского испытательного
межвидового Центра перспективного вооружения
Министерства обороны Российской Федерации,
доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
действительный член Международной Академии Информатизации

В.К.Абросимов.

12.04.2021г.