

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Шестакова Евгения Игоревича «Алгоритмическое и программное обеспечение адаптивной системы управления модульными роботами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Свою диссертационную работу Шестаков Евгений Игоревич выполнял с 2019 по 2021 год в Отделе подготовки научных кадров АО «Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева Российской академии наук» в группе адаптивных методов управления AAC-Lab. Основным направлением группы является развитие теории и приложений биологически инспирированного метода «автономного адаптивного управления» (ААУ).

Метод нацелен на создание адаптивных машин и систем, способных обучаться, дообучаться и переобучаться непосредственно в процессе управления. При этом управление строится не на «законе управления», выведенном из обратного решения математической модели объекта управления, а на эмпирически найденных статистически неслучайных отображениях между множествами дискретных входных и выходных сигналов, а также качественных оценок, определяющих целевые функции и критерии принятия решения. Нам представляется, что именно такой принцип управления реализуется во всех природных системах управления, явно демонстрирующих адаптивное управление, и что именно благодаря адаптивности живые организмы добиваются таких чудес управления, которые еще недоступны техническим системам. Желанием понять, смоделировать и применять на практике данный природный принцип управления с его свойствами в технических и иных прикладных системах обусловливается актуальность настоящих исследований. Метод «Автономного адаптивного управления» (ААУ) опубликован в научной печати и апробирован в компетентных организациях, по материалам его развития защищены 1 докторская и 5 кандидатских диссертаций. Метод ААУ обладает универсальностью в том смысле, что его схема может быть применена для построения систем управления объектов различных классов. Однако для каждого класса объектов управления требуется определенная параметризация, нахождение и задание конкретных правил для самообучаемых подсистем и определение некоторых других

параметров, которые в природе находятся в процессе длительной поисковой оптимизации биологических видов и служат априорной информацией для каждого индивида.

Идея работы Шестакова Е.И. состояла в том, чтобы найти способы применения метода ААУ для построения адаптивных систем управления для такого класса объектов управления, как многозвенные робототехнические комплексы. В качестве примера объектов такого класса были выбраны многозвенные модульные роботы – распространенные сегодня и представляющиеся весьма перспективными для будущего машины. Сегодня такие устройства управляются методами, практически не имеющими адаптивных свойств. Это, в основном, детерминированные алгоритмы, системы управления которых построены на использовании заранее составленных таблиц изменения значений углов сочленения (DOF) во времени, или записанных формул для задания таких изменений параметров и т.п. Внесение свойства адаптивности в управление такими объектами было решено делать на основе метода ААУ, так как другой альтернативы с аналогичными свойствами не было обнаружено. Для применения метода ААУ к этому классу объектов надо было решить комплекс определенных задач, которые и были поставлены и успешно решены в данном исследовании.

В диссертации Шестакова Е.И. отражены следующие результаты проделанной им работы.

Во введении сформулированы актуальность исследования, а также все необходимые аспекты, по которым оценивается диссертация.

В главе I «Актуальные проблемы алгоритмического и программного обеспечения модульных роботов» отражены результаты проведенного обзора научной литературы по теме данной работы. Указаны основные технологии, применяемые сегодня для управления рассматриваемым классом объектов, это: управляющие таблицы (Gait control tables), центральный генератор упорядоченной активности (Central Pattern Generator), гармонический осциллятор, фазовый автомат. Показано, что данные алгоритмы не являются адаптивными в интересующем нас смысле, т.е. не могут дообучаться или переобучаться непосредственно в процессе управления. Отмечены также работы по адаптивному управлению Я.З.Цыпкина, но их идея состоит в автоматической коррекции значений параметров в заранее заданном аналитическом уравнении, определяющем закон управления, при этом возможности адаптации ограничены самим этим аналитическим уравнением, и трудностью его составления. Показано, что применение метода ААУ в данном случае целесообразно, поскольку метод имеет свойства, которых нет у перечисленных подходов (не требуется математической модели, обучающей выборки,

имеется возможность дообучения и переобучения в процессе управления). Поскольку, предлагается иной, по отношению к традиционным, подход к управлению, то это требует и специфического построения всего программного обеспечения таких систем, что и является предметом диссертации.

В главе 2 «Адаптивная система управления модульными роботами» предлагаются подходы к построению алгоритмов адаптивной системы управления многозвенными объектами на примере модульных роботов. Рассматриваются несколько (три) уровней системы управления и предлагается применение метода ААУ на 2-м из них, а именно на уровне построения траекторий движения. Подробно описываются предлагаемые решения и полученные результаты.

Глава 3 «Средства моделирования модульных роботов и их программное взаимодействие с макетным образцом модульного робота» посвящена представлению разработанного программного обеспечения, позволяющего моделировать управление движением модульных роботов, описана архитектура и основные программные компоненты программы. Представлены структура ПО, состав библиотек, UML-диаграмма классов программного комплекса, описание кинематической структуры модульных роботов на основе XML, алгоритмы построения программных моделей и т.д. Рассмотрены два основных контура работы ПО – контур самообучения системы управления и контур управления.

В главе 4 «Экспериментальные исследования алгоритмов адаптивного управления модульными роботами» представлены результаты проведенных программных экспериментов с полученными моделями. Экспериментально исследованы два способа адаптивного управления, при которых модульный манипуляционный робот непосредственно в процессе управления постепенно и успешно самообучается точнее перемещать схват в заданную точку. Показано, что требуемое качество управления такими объектами достигается здесь не за счет традиционной разработки точных математических моделей их движения и решения обратных задач, но указанным в методе ААУ способом – с помощью поиска статистически значимых отображений между множествами информационных элементов, описывающих входы и выходы системы управления, и обучение может происходить непосредственно в реальном времени управления с постепенным повышением его качества. Т.е., можно видеть, что система управления самообучается управлять заданным объектом. Показано также свойство переобучения системы – например, если у уже обученного робота заклинить одно из подвижных

сочленений, то система управления постепенно переобучается и находит новые способы управления (достижения заданной цели). Мы находим в этих удачных экспериментах подтверждение правоты всех принятых принципиальных и конструктивных решений при конструировании таких систем.

В целом считаю работу, выполненную Шестаковым Е.И. успешной во всех отношениях. Хочу отметить высокую квалификацию Шестакова Е.И., полученную им в МИРЭА, в том числе при его специализации в аспирантуре. Очень рад тому обстоятельству, что наложенное на это добротное основание знание метода Автономного адаптивного управления, приобретенное в ИТМиВТ, позволило распространить этот метод и на такой новый класс объектов управления, как многозвенные технические системы на примере модульных роботов. Надеюсь, что этот обоснованный и проверенный на разработанных моделях подход, получит в будущем все расширяющееся применение.

Проведенное исследование выполнено Шестаковым Е.И. в своих основных чертах самостоятельно, включая саму постановку задачи, что особенно ценно.

Соискатель продемонстрировал высокий уровень своих теоретических и практических знаний, осведомленность в мировом состоянии дел в рассматриваемой области науки и технологии, умение быстро разбираться с новым материалом, работать как самостоятельно, так и в коллективе.

Существенных замечаний к работе Шестакова Е.И. к ее результатам, к диссертации и к автореферату не имею. Считаю, что все требования, предъявляемые к кандидатским диссертациям по данной специальности выполнены, а Шестаков Е.И. заслуживает присвоения ему искомой ученой степени кандидата технических наук.

Научный руководитель, г.н.с. АО «Институт точной механики и вычислительной техники им. С.А. Лебедева РАН» д.ф.-м.н., профессор

Жданов А.А.

21.03.2021