

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Копосова Антона Сергеевича «Синтез управления с итеративным обучением для сетевых мультиагентных систем», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»  
(физико-математические науки)

Управление с итеративным обучением (УИО) появилось как инструмент достижения высокой точности выполнения повторяющихся операций роботами и быстро приобрело широкую популярность, как среди теоретиков, так и при решении задач практики. Это связано с относительной простотой алгоритмов УИО и его естественным характером, похожим на выработку мышечной памяти в живых организмах при обучении конкретному действию, например, бросанию мяча в баскетбольную корзину. В настоящее время тема УИО неизменно присутствует на ведущих научных конференциях под эгидой посвящен ряд монографий.

Диссертация Копосова Антона Сергеевича посвящена решению задач УИО роботизированными сетевыми системами с учетом особенностей их функционирования в современных интеллектуальных производствах. Эти особенности обусловлены гибкой структурой таких производств, которые должны работать безостановочно при изменениях производственной программы. Основной акцент сделан на сети исполнительных роботов-манипуляторов, которые выполняют задачу, одинаково определенную для всех. Для этих сетей указанные новые особенности приводят к изменениям целевой задачи и топологии в процессе функционирования, что порождает переходные процессы, влияние которых на точность существующие методы УИО не могут компенсировать. Кроме того при длительной работе могут накапливаться ошибки, связанные со случайными возмущениями, шумами измерений и неопределенностями. Все эти факторы приводят к снижению точности, а

именно достижение высокой точности является критическим показателем эффективности УИО. В диссертационной работе предлагаются новые методы и алгоритмы УИО, учитывающие указанные новые особенности, поэтому направление исследования является актуальным.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, и заключения. Во введении раскрыта актуальность темы, сформулированы цели и задачи работы, отражена научная новизна и практическая ценность, кратко описана структура диссертации.

В первой главе дается общая характеристика сетевых систем управления, описан метод УИО, сформулированы основные понятия, связанные с ним, и описаны основные тенденции его развития.

Во второй главе рассматривается задача синтеза УИО сетевой стохастической системой. Представлены два подхода к ее решению, проведен их сравнительный анализ, который включает результаты моделирования группы манипуляторов.

Третья глава посвящена разработке алгоритма УИО стохастической сетевой системой с неопределенными параметрами и изменяемой топологией сети. Синтез управления основан на дивергентном методе векторных функций Ляпунова в сочетании с фильтром Калмана. Предложен алгоритм УИО, предполагающий передачу управления функционирующего агента подключаемому для минимизации его переходной ошибки.

В четвертой главе представлено решение задачи синтеза УИО сетевой стохастической системой с изменяемым режимом работы агентов, который устанавливает параметры агентов и желаемую траекторию выходного сигнала. Такие изменения приводят к снижению точности, и для предотвращения этого эффекта предложен специальный алгоритм переключения закона УИО и определено правило изменения режима.

В пятой главе результаты, полученные в предыдущей главе, были развиты на сетевые системы с изменяемым режимом работы и топологией сети. В рамках решения задачи дивергентный метод векторных функций

Ляпунова получил развитие на данный класс систем. Введен закон управления, компенсирующий переходную ошибку подключаемого агента, уточнено правило переключения закона управления и сформулировано общее правило изменения режима работы и топологии.

В заключении сформулированы основные результаты исследования. Список литературы включает 61 наименование.

В работе получены следующие новые научные результаты:

1. Разработан алгоритм УИО стохастическими сетевыми системами с изменяемой топологией сети с учетом неопределенностей модели агентов;

2. Метод синтеза УИО с переключаемым законом управления распространен для сетевых стохастических систем с изменяемой желаемой траекторией и изменяемыми параметрами агентов;

3. Разработан алгоритм УИО сетевыми стохастическими системами с изменяемой желаемой траекторией и изменяемыми параметрами агентов;

4. Дивергентный метод векторных функций Ляпунова распространен для сетевых стохастических систем с изменяемыми параметрами агентов, изменяемой желаемой траекторией и изменяемой топологией сети;

5. Разработан алгоритм УИО сетевыми стохастическими системами с изменяемой желаемой траекторией, изменяемыми параметрами агентов и изменяемой топологией сети.

В работе отмечено, что дивергентный метод векторных функций Ляпунова в сочетании с фильтром Калмана показывает свое преимущество в задачах УИО сетевыми стохастическими системами по сравнению с другими известными результатами, что послужило мотивацией к его развитию на другие классы систем. Полученные на этой основе алгоритмы обеспечивают высокую скорость сходимости ошибки обучения и компенсируют величину переходных ошибок, вызванных соответствующими изменениями динамики.

Новизна подтверждается публикациями в ведущих научных журналах и трудах конференций высокого уровня. Исследования соискателя отражены в 10 научных статьях, 6 из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных

ВАК, и/или входят в международные базы Web of Science и Scopus. Основные положения докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях и семинарах.

Достоверность полученных результатов обусловлена строгостью математических постановок и доказательств утверждений, корректным использованием математического аппарата, и демонстрацией эффективности полученных теоретических результатов математическим моделированием.

Теоретическая значимость диссертационной работы определяется тем, что полученные автором результаты не только содержат интересные решения новых задач, но и дают направления дальнейших научных исследований в области УИО. Практическая значимость заключается в том, что полученные алгоритмы могут служить основой программного обеспечения решения задач управления сетевыми мультиагентными системами.

При изучении материалов диссертационной работы возникло следующее замечание. В нескольких главах диссертационной работы для иллюстрации теоретических положений используется система, состоящая из трех роботов-манипуляторов. Из данного в диссертации описания не вполне понятна технологическая задача, которую эти манипуляторы коллективно выполняют как система взаимодействующих агентов. Автору диссертации следовало бы подробно описать конкретную технологическую операцию, которую могли бы коллективно выполнять подобные роботы-манипуляторы. В противном случае прикладной аспект диссертационной работы оказывается не в полной мере обоснованным.

Указанный недостаток не снижает общую положительную оценку исследования. Представленная диссертация, отражающая большой объем работы, выполнена автором на высоком научном уровне и вносит заметный вклад в развитие теории управления с итеративным обучением с направленностью на решение актуальных практических задач. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, отвечает требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор Копосов Антон Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (физико-математические науки).

Официальный оппонент

профессор кафедры дифференциальных уравнений,

математического и численного анализа

Национального исследовательского

Нижегородского государственного

университета им. Н. И. Лобачевского,

доктор физико-математических наук, профессор

Баландин Дмитрий Владимирович

« 7 » мая 2024 г.

603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

Телефон: +7 (831) 462-33-63

Электронная почта: unnp@unnp.ru

Подпись Д.В. Баландина удостоверяю

Проректор ННГУ

по стратегическому развитию



Н.В. Авралёв