

## 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).

Работа Копосова Антона Сергеевича посвящена разработке методов синтеза и алгоритмов управления с итеративным обучением (УИО) сетевыми стохастическими системами. Такие системы являются адекватными моделями групп исполнительных роботов-манипуляторов (агентов) в интеллектуальных производствах, связанных информационной сетью. По сети агенты получают информацию о целевой задаче и коммуницируют между собой. УИО ориентировано на системы, многократно повторяющие одну и ту же операцию, и на каждом повторении корректирует входной сигнал на основе информации на текущем и на одном или нескольких предыдущих повторениях. В сетевых задачах агенты системы выполняют операцию, одинаково определенную для всех, и помимо собственной информации используют информацию других агентов сети. Метод УИО зарекомендовал себя как эффективный инструмент управления подобными системами, но гибкая структура интеллектуальных производств предусматривает изменение целевой задачи и топологии сети без прерывания процесса. В этих условиях эффективное применение метода УИО приводит к ряду новых задач, решению которых и посвящена представленная работа, что обуславливает актуальность темы исследования.

Из указанных новых задач были рассмотрены следующие:

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

2. УИО стохастическими сетевыми системами с изменяемой желаемой траекторией и изменяемыми параметрами агентов;

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

Синтез управления основан на дивергентном методе векторных функций Ляпунова в сочетании с фильтром Калмана. Данный метод показал свое преимущество в сравнении с другими известными алгоритмами УИО сетевыми системами, и был развит автором на новый класс систем. Для компенсации воздействия, которое оказывает изменение целевой задачи на точность выполнения операций, предложены специальные правила таких изменений и переключения законов управления.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается строгостью математических постановок, и доказательств утверждений, корректным использованием математического аппарата и численным моделированием.

Научная новизна состоит в разработке методов синтеза и алгоритмов УИО стохастическими сетевыми системами, учитывающие особенности функционирования современных роботизированных сетевых систем, в частности для систем интеллектуальных производств, а именно:

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 на класс стохастических сетевых систем с изменяемой желаемой траекторией и изменяемыми параметрами агентов. На этой основе разработан алгоритм УИО такими сетевыми системами;

3. Дивергентный метод векторных функций Ляпунова распространен на класс стохастических сетевых систем с изменяемыми параметрами агентов, изменяемой желаемой траекторией и изменяемой топологией сети. На этой основе разработан алгоритм УИО такими сетевыми системами.

Предложенные алгоритмы обеспечивают сходимость ошибки обучения и компенсируют переходные ошибки, вызванные соответствующими изменениями динамики. Полученные результаты могут служить отправной точкой для дальнейших исследований в данной области и использованы для программно-алгоритмического обеспечения решения задач управления сетевыми мультиагентными системами.

Научные положения и выводы, сформулированные в заключении диссертации, согласуются с целью и задачами, представляют собой логическое обобщение проведенных исследований. Результаты прошли апробацию в виде докладов на международных конференциях и опубликованы в ведущих изданиях, рекомендованных ВАК РФ и входящих в международные наукометрические базы (Web of Science, Scopus).

Сказанное выше характеризует диссертационную работу как законченное научное исследование, вместе с тем по работе имеются следующие замечания:

1. Предполагается, что шумы объекта и шумы измерений представляют собой независимые гауссовские белые шумы с нулевыми математическими ожиданиями. На практике выполнение таких свойств бывает трудно доказать. Существуют подходы на базе стохастической аппроксимации работоспособные при более слабых предположениях о статистических свойствах помех измерений, не требующие, например, задания вида распределения шума. Впрочем, введенные в работе предположения являются стандартными при изучении свойств рассматриваемых систем.

2. Работа предложенных алгоритмов УИО в различных условиях проиллюстрирована результатами моделирования и проведено сравнение с существующими подходами. В целом, приведенные графики и рисунки описывают соответствующие алгоритмы достаточно подробно, однако, когда речь идет о стохастических системах, имеет смысл представить результаты моделирования для серии экспериментов для учета различных реализаций значений случайных параметров.

3. Топология мультиагентной сети для различных сценариев задается соответствующей матрицей смежности в начале соответствующей главы. С точки зрения полноты, указанный вид представления топологии является вполне исчерпывающим, однако, наличие описания рассматриваемой топологии на языке теории графов сделало бы представление структуры связей сети более наглядным.

Указанные замечания, прочем, не носят критический характер и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы. Диссертация выполнена на высоком научном уровне. Оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам. Автореферат точно и достаточно полно отражает содержание диссертации. Работа носит теоретический характер, но разработанные в ней алгоритмы имеют очевидную практическую значимость.

Считаю, что диссертация отвечает требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее 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

доцент кафедры экономической кибернетики

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский

государственный университет»

к. ф.-м. н.



Иванский Ю. В.

«02» 05 2024 г.

199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9

Телефон: +7 (812) 328-20-00

Электронная почта: [spbu@spbu.ru](mailto:spbu@spbu.ru)

*Личную подпись Иванского Ю.В. удостоверяю*

ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА  
УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ ГБОУРП

Л. П. ХОМУТСКАЯ

