

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и
исследовательской деятельности
федерального государственного

автоматического
образовательного
университета

научный сотрудник

А.В. Метелица

2024

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» на диссертационную работу Шипагина Виктора Игоревича по теме: «Нейросетевая реализация полиномиального метода синтеза регуляторов с детерминированным способом выбора архитектуры и инициализации весовых коэффициентов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

1. Актуальность темы диссертации

Методы искусственного интеллекта находят широкое применение в различных областях науки, техники и производства. В частности, в представленной работе исследуется применение искусственных нейронных сетей для решения задачи синтеза систем автоматического управления. Данный подход зарекомендовал себя как перспективное направление в случаях, например, необходимости учета нелинейностей при описании объектов управления. Однако при использовании искусственных нейронных сетей существует ряд не до конца формализованных вопросов, к которым могут быть отнесены: выбор архитектуры и инициализация весовых коэффициентов нейронной сети, выбор представительной обучающей выборки и метода обучения. С другой стороны, используемые в теории автоматического управления аналитические методы синтеза регуляторов (и в частности рассматриваемый в данной работе – полиномиальный метод) хорошо формализованы лишь для линейных систем.

В настоящей работе автором предложен подход, сочетающий преимущества обоих направлений (аналитического синтеза систем управления и направления, связанного с использованием искусственных нейронных сетей). В связи с этим, диссертационная работа Шипагина В.И., посвященная

нейросетевой реализации полиномиального метода синтеза регуляторов с детерминированным способом выбора архитектуры и инициализации весовых коэффициентов, несомненно актуальна и представляет научный интерес.

2. Оценка структуры диссертационной работы

Диссертация Шипагина Виктора Игоревича состоит из: введения; четырех глав, каждая из которых содержит итоговые выводы; заключения; перечня сокращений и условных обозначений; библиографического списка из 207 наименований и четырех приложений. Содержит 169 страниц машинописного текста, включая 74 рисунка и 2 таблицы.

Во введении обосновывается актуальность исследования, степень разработанности темы исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость научных результатов и научные положения, выносимые на защиту, а также сформулированы цель и задачи исследования.

Первая глава посвящена обзору существующих методов синтеза регуляторов. Особое внимание уделено модальным методам синтеза с использованием полиномиального матричного разложения матричной передаточной функции системы. Проведен анализ преимуществ и проблем, возникающих при использовании данного подхода. Разработана и приведена модификация алгоритма синтеза, позволяющая применять это алгоритм для многоканальных систем, содержащих в своем составе звенья запаздывания.

Во второй главе рассматривается нейросетевой подход к задаче синтеза систем автоматического управления. Особое внимание уделено вопросам выбора архитектуры и весовых коэффициентов нейронной сети и существующим методам их решения. Рассмотрены различные варианты построения архитектур нейронных сетей. Перечисляются преимущества и слабые стороны различных структур. Рассмотрена проблема обучения рекуррентных нейронных сетей и способы ее решения. На основе проведенного анализа определены задачи, решения которых обеспечивают разработку алгоритма синтеза нейросетевых регуляторов.

В третьей главе приведены методы выбора исходной архитектуры и инициализации весовых коэффициентов нейросети, используемой для реализации регулятора. Разработан метод структурных преобразований нейросетевого регулятора, позволяющий избежать проблемы «взрывных» и «угасающих» градиентов при обучении искусственной нейронной сети. Также предложен метод последовательной модификации нейросетевого регулятора, позволяющий расширить возможности по управлению объектами, содержащими нелинейности. Приведен метод подбора обучающей выборки, позволяющий постепенно увеличивать сложность примеров, которые используются для обучения нейросетевого регулятора. Все указанные методы объединены в единый алгоритм синтеза нейросетевых регуляторов. Приведены примеры использования алгоритма.

В четвертой главе рассматривается прикладная задача – задача синтеза нейросетевых регуляторов для системы гироскопической стабилизации

оптического устройства кругового обзора. Для получения цифровой математической модели этой системы рассмотрена многоканальная система с двумя независимыми элементами на подвижном основании (с возможностью перемещения в одной плоскости) и с одним независимым элементом на подвижном основании (с возможностью перемещений в двух плоскостях как для основания, так и для независимого элемента). В качестве алгоритма, реализующего данную задачу выбран алгоритм, полученный в третьей главе. Рассмотрена задача синтеза нейросетевого регулятора с помощью метода обратного распространения ошибки через нейроэмулятор.

В заключении диссертации содержатся основные положения и результаты исследования, соответствующие поставленным задачам. Выделен обобщающий итог выполненного исследования. Перечислены результаты внедрения научных положений, полученных в диссертационной работе, на предприятия и в учебный процесс.

В приложениях приведены: копии актов об использовании и внедрении результатов на предприятия и в учебный процесс; свидетельства о регистрации программ; определение понятий и терминов, используемых в диссертационном исследовании и модифицированный алгоритм синтеза многоканальных регуляторов с учетом звеньев запаздывания в составе объекта управления.

3. Методология и методы исследования

Результаты диссертационной работы были получены автором с использованием методов теории автоматического управления и теории матриц, некоторых разделов линейной алгебры, аппарата полиномиального матричного разложения, а также нейросетевых и оптимизационных методов. Для выполнения вычислительных экспериментов использовались математические пакеты MathCAD и MatLAB. Экспериментальные исследования эффективности алгоритма синтеза нейросетевых регуляторов проведены в условиях реальной эксплуатации на предприятиях.

4. Новые научные результаты, полученные автором:

1. Предложена модификация алгоритма синтеза регуляторов, позволяющая применять его в случае наличия в системе звеньев запаздывания.
2. Разработан метод выбора архитектуры нейросетевого регулятора и инициализации его весовых коэффициентов, позволяющий получить изначальную архитектуру и весовые коэффициенты по МПФ регулятора, полученного полиномиальным методом.
3. Предложен метод решения проблемы взрывного и угасающего градиента, возникающей при обучении нейросетевого регулятора рекуррентного типа методами, основанными на вычислении градиента и обратном распространении ошибки.
4. Предложен метод модификации архитектуры нейрорегулятора с учетом нелинейностей и неопределенностей модели объекта, позволяющий модифицировать структуру нейрорегулятора с тем, чтобы он был способен

управлять объектом на основе нелинейной и неопределённой модели в требуемом диапазоне возможных значений задающего воздействия.

5. Разработан метод формирования обучающей выборки для обучения нейросети, позволяющий сформировать эту выборку с тем, чтобы нейрорегулятор был способен успешно обучиться управлению объектом в пределах заданного диапазона значений задающего воздействия.

6. Предложен алгоритм синтеза нейрорегуляторов, которые способны управлять в заданных пределах изменения задающего воздействия объектами, содержащими в своем составе нелинейные характеристики. При работе алгоритма обеспечивается устойчивость переходных процессов системы на этапах выбора архитектуры, инициализации весовых коэффициентов и формировании обучающей выборки нейрорегуляторов.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертации:

1. Разработан алгоритм синтеза нейросетевых регуляторов, предназначенных для управления многоканальными объектами, описываемыми нелинейными моделями. Учет нелинейностей позволяет получить систему автоматического управления с более высокими показателями качества переходных процессов по сравнению с системами, использующими регуляторы, рассчитанные по линеаризованным моделям объектов.

2. Результаты, полученные в ходе проведения теоретических, прикладных и экспериментальных исследований, нашли применение при разработке следующих программ:

- программа для синтеза нейросетевого регулятора управления нелинейным перевернутым маятником на тележке // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021610428, 14.01.2021. Заявка № 2020667800 от 28.12.2020;

- программа для расчета регулятора для объекта с запаздыванием // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021681431, 10.12.2021. Заявка № 2021680525 от 21.12.2021;

- программа для расчета регулятора полиномиальным матричным методом для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением при существенном запаздывании управляющего сигнала // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023618298, 21.04.2023. Заявка № 2023616685 от 08.04.2023.

3. Результаты диссертационной работы получили внедрение на предприятиях: АО «Новосибирский приборостроительный завод», г. Новосибирск; АО «Культбытстрой», г. Красноярск.

4. Результаты исследований использованы в рамках учебного процесса Новосибирского государственного технического университета, а также Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета.

6. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- использованием теоретических положений, опирающихся на классические труды в области теории автоматического управления, теории нейронных сетей, теории математического моделирования;

- согласованностью результатов моделирования с расчетными данными и результатами численных инженерных экспериментов, практической эффективностью полученных решений, что подтверждается актами об использовании результатов диссертационного исследования на предприятиях;

- апробацией через представление на конференциях различного уровня и публикациями в рецензируемых журналах и изданиях.

Цель диссертационной работы и вытекающие из нее задачи изложены достаточно корректно, полученные решения являются реализуемыми и практически значимыми. Теоретической основой диссертационной работы стали труды как отечественных, так и зарубежных исследователей в области теории автоматического управления и теории нейронных сетей. По приведенным в работе ссылкам можно сделать вывод о достаточной полноте исследования диссертантом рассматриваемых вопросов.

7. Соответствие паспорту специальности

Область исследования соответствует паспорту специальности 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика по следующим пунктам:

- п. 2: «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;

- п. 4: «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;

- п. 5: «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»;

- п. 14: «Разработка принципиально новых методов анализа и синтеза элементов систем управления с целью улучшения их технических характеристик».

8. Реализация результатов диссертационного исследования

Основные научные результаты диссертационной работы, направленные на повышение эффективности систем автоматического управления путём использования нейрорегуляторов, были внедрены на предприятиях: АО «Новосибирский приборостроительный завод», г. Новосибирск (акт внедрения от 11.05.2023); АО «Кульбитстрой», г. Красноярск (акт внедрения от 25.05.2023).

Результаты исследований использованы также в рамках учебного процесса на кафедре автоматики Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск, по дисциплине «Многоканальные системы управления» (акт внедрения от 16.05.2023); на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин), г. Новосибирск, по дисциплине «Теплогазоснабжение» (акт внедрения от 27.04.2023).

9. Публикации по теме диссертации

Всего по теме диссертационного исследования опубликовано 30 печатных работ, из них: публикаций, входящих в перечень ВАК по специальности диссертации 2.3.1 – 5; по смежным специальностям – 2; 8 статей в изданиях, проиндексированных в Scopus или Web of Science; 12 статей в материалах сборников международных и всероссийских конференций; монография – 1. Получено 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Публикации автора в полной мере отражают результаты исследований, которые были апробированы на научных международных и всероссийских конференциях.

10. Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы. В автореферате представлены основные положения диссертации и список работ автора, в которых опубликованы основные результаты диссертационного исследования.

11. Замечания по диссертационной работе

По тексту диссертации:

1. В работе предложено три варианта модификации нейронной сети. Не ясно, проводились ли исследования влияния каждого вида модификации на итоговый результат? Чем определяется последовательность модификаций, указанная в алгоритме?

2. В диссертации недостаточно полно излагается сравнение различных подходов, использующих нейронные сети в составе регуляторов. Возможно, следовало бы привести результаты какого-либо эксперимента, показывающие преимущества использования детерминированного способа выбора архитектуры искусственной нейронной сети по сравнению со случайным выбором структуры.

3. Не ясно проводились ли эксперименты с другими функциями активации? Если да, то какие там получались результаты? Каковы критерии выбора этих функций?

4. Не все используемые обозначения пояснены в работе. Так, например, на странице 13 диссертации описывается звено запаздывания, с использованием изображения по Лапласу, однако в тексте этот факт не отмечен. Запись разложения в ряд Паде требует пояснения.

5. В работе имеются орфографические ошибки и погрешности (см. стр. 85, 130 и др.), не меняющие существа работы. Так, например, на странице 72 при перечислении весовых коэффициентов нейронной сети используется то запятая, то точка с запятой.

По тексту автореферата:

1. Возможно следовало бы привести обоснование значений, используемых для остановки алгоритма обучения нейронной сети.

2. Не все используемые обозначения пояснены. Так, например, на странице 11 автореферата в выражении для функции среднеквадратичного отклонения обозначение « I » не пояснено, не показаны и пределы суммирования.

3. На стр. 18, отмечается, что процесс «обучения занял около 22500 эпох». Более существенной представляется информация о реальной продолжительности во времени этого процесса.

4. Текст автореферата также содержит орфографические ошибки и погрешности, не меняющие сути работы. Так, например, на странице 6 в разделе «Личный вклад автора» отмечается, что в публикациях [6 – 8, 27] «выполнялись моделирование, численные эксперименты и проверка результатов вычислений». Однако в автореферате приведено лишь 19 публикаций.

В целом отмеченные замечания не снижают теоретическую и практическую значимость диссертационной работы.

12. Общее заключение по диссертации

Диссертационная работа Шипагина Виктора Игоревича «Нейросетевая реализация полиномиального метода синтеза регуляторов с детерминированным способом выбора архитектуры и инициализации весовых коэффициентов» является логически изложенной, завершенной и самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой представлены научно-обоснованные технические решения, направленные на повышение качества управления на основе внедрения в систему регуляторов, использующих в своем составе искусственные нейронные сети, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней».

Отмеченные недостатки не изменяют общей положительной оценки диссертации, которая обобщает достигнутые результаты научной и практической деятельности автора и представляет собой комплексное завершённое исследование, выполненное и написанное автором самостоятельно; диссертация обладает внутренним единством, в соответствии с п. 10 «Положения о присуждении ученых степеней».

Согласно п. 11 «Положения о присуждении ученых степеней» основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

В соответствии с п.14 «Положения о присуждении ученых степеней» в диссертации отсутствуют результаты научных работ других авторов и научных

работ, выполненных соискателем научной степени в соавторстве, без ссылок на авторов и соавторов.

Диссертационная работа Шипагина В.И. по своей актуальности, новизне, научной и практической значимости результатов соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата наук, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013года № 842, а её автор, Шипагин Виктор Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Отзыв принят по результатам обсуждения диссертационной работы на заседании научного семинара НИИ «Робототехники и процессов управления» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет», состоявшегося «13» февраля 2024 г, протокол заседания НИИ №1, от 13.02.2024 г.

Директор НИИ Р и ПУ,
профессор кафедры электротехники
и мехатроники
доктор технических наук,
профессор



Вячеслав Хасанович. Пшихопов

Профессор кафедры систем
автоматического управления
доктор технических наук,
профессор

Анатолий Романович Гайдук

Зав. кафедрой электротехник
и мехатроники
доктор технических наук,

Михаил Юрьевич Медведев



ьное учреждения высшего образования

Почтовый адрес: 344006, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42

Электронная почта: info@sfedu.ru

Контактный телефон: +7(863) 218 40 00, доб. 10037

*Отзыв поступил в совет
26.02.2024 В.В.*

*С отзывом ознакомлен
26.02.2024 (И.В.)*