

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Каранэ Марии Магдалины Сергеевны «Мультиагентные методы оптимизации динамических систем управления», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Диссертация Каранэ М.М.С посвящена исследованию задач синтеза оптимального управления динамическими системами в условиях неполноты информации о векторе состояния системы, неопределенности задания начального состояния, неконтролируемых случайных внешних возмущений. Решаемые задачи синтеза оптимальных законов управления являются актуальными, так как в большинстве прикладных проблем характерные параметры объекта управления известны неточно в силу погрешностей изготовления и ограниченных возможностей измерительных устройств. Полученные результаты могут быть использованы при решении широкого спектра прикладных проблем, таких как оптимизация параметров конструкций и траекторий управляемого движения летательных аппаратов, оптимизация и управление технологическими и производственными процессами, управление движением роботов и других подвижных объектов.

В настоящее время исследования в области разработки алгоритмов оптимального управления ведутся, как правило, по двум направлениям. Первое связано с формулировкой, доказательством и последующим применением необходимых и достаточных условий оптимальности. Второе основано на совместном использовании численных методов оптимизации и имитационного моделирования движения объекта управления. В диссертации представлены оба направления: первому посвящены третья и четвертая главы, второму – первая и вторая. Разрабатываемые автором мультиагентные методы оптимизации используются во всех главах, образуя методологическую основу выполненного исследования. При этом описанные направления не противопоставляются друг другу, а, напротив, рассматриваются в единстве, что можно отнести к достоинствам диссертационной работы.

Диссертационная работа состоит из пяти глав, введения, заключения приложения и списка использованных источников.

В главе 1 автором предложены новые метаэвристические мультиагентные методы поиска условного глобального экстремума, основанные на

Отзыв, корректности
и контроля исполнения
документов МАИ

«28» 11 2021 г.

эвристических идеях. При этом рассматривается класс задач, где на все переменные накладываются интервальные ограничения. В случаях, если ограничения имеют более общий вид, предлагается использовать методы штрафов. Под агентами в данной группе методов понимаются решения, которые могут взаимодействовать друг с другом в процессе поиска, обмениваться информацией, изменять свое положение, управляя траекторией своего движения.

В начале первой главы сформулированы принципы формирования мультиагентных методов оптимизации, которые затем реализуются при разработке каждого из предложенных методов.

Изложение предложенных в работе методов оптимизации ведется по единой схеме, что также можно отнести к достоинствам работы. Автор предложил четыре новых мультиагентных метода оптимизации. В первом методе (интерполяционного поиска) агенты в процессе решения объединяются в небольшие группы, которые реализуют предварительный поиск в некоторой объединяющей их окрестности, либо фронтальное движение к точке экстремума, подкрепляемое процессом миграции всех агентов к лидеру среди них. Во втором методе, основанном на применении линейных регуляторов управления движением агентов, агенты-решения делятся на четыре группы, и движение агентов каждой группы к лидеру популяции агентов происходит под действием линейных регуляторов, реализующих управление математическими моделями агентов с обратной связью по их текущему положению. При этом в качестве критериев близости используются квадратичные критерии. Для нахождения матриц коэффициентов усиления регуляторов используются четыре разных подхода, применяемых в теории управления (синтезируются классический нестационарный оптимальный линейный регулятор, оптимальный стационарный регулятор, оптимальные по критерию обобщенной работы и локально-оптимальные регуляторы). В третьем методе управление движением агентов-решений к лидеру среди агентов основано на применении ПИД-регуляторов управления движением агентов (используется обобщенный ПИД-регулятор, учитывающий значения второй производной отклонения от цели и имеющий конечную память, а также классические ПИД, ПИ и ПД регуляторы). Четвертый метод относится к гибридным, где объединены в единую схему известные методы: метод, имитирующий конкуренцию между империями, и методы, имитирующие поведение стай рыб и криля. Первый используется для получения хорошего начального приближения, а остальные для уточнения полученного результата.

Для всех методов описаны стратегии поиска, пошаговые алгоритмы решения, результаты их применения на общепринятом в мировой практике наборе тестовых функций со сложной конфигурацией поверхностей уровня, приведены рекомендации по подбору характерных параметров на основе результатов статистического анализа их многократного использования.

В заключительном разделе первой главы приведены решения четырех типовых задач параметрической оптимизации элементов технических систем: задачи оптимизации параметров конструкции сварной балки, сосуда высокого давления, редуктора и натяжной пружины, на которые наложены разнообразные ограничения типа неравенств. Выполнено сравнение результатов применения разработанных методов и известных алгоритмов, подтвердившее их работоспособность.

В главе 2 описано применение разработанных в первой главе мультиагентных алгоритмов оптимизации к задаче синтеза оптимального управления непрерывными детерминированными и стохастическими системами. В начале главы приведены постановки решаемых задач управления. Их особенностью является формулировка задач поиска управления, зависящего от времени и от заданного набора координат вектора состояния. Раздел 2.2 посвящен способам параметризации законов оптимального управления с целью сведения решаемых задач к проблеме конечномерной оптимизации.

Один из вариантов связан с формированием кусочно-постоянного управления (для частного случая динамических систем), в котором определяется число точек переключения управления и моментов переключения, что соответствует принципу максимума. Остальные связаны с необходимостью автоматического учета интервальных ограничений на управление и числа используемых в управлении координат вектора состояния. При этом для представления вспомогательных функций времени и измеряемой части координат вектора состояния используются разложения по известным системам базисных функций: полиномам Чебышёва, Лагранжа, косинусоидам, сплайнам, радиально-базисным функциям. Таким образом, в результате параметризации требуется найти наилучшее число коэффициентов разложения и их значения. Для каждого используемого базиса разработаны алгоритмы поиска оптимального управления с полной обратной связью, с неполной обратной связью и без обратной связи (программного управления).

Кроме задачи оптимального управления отдельной траекторией, исходящей из фиксированного начального состояния, рассмотрен случай управления пучками траекторий нелинейных непрерывных систем, исходящих

из заданного множества начальных состояний, с целью учета неопределенности начальных условий движения. Также решена задача управления стохастическими системами, поведение которых описывается стохастическими дифференциальными уравнениями, с целью учета внешних воздействий на объект управления.

Следует отметить, что для всех рассмотренных задач приведены решения разнообразных модельных примеров, продемонстрировавшие эффективность применения разработанных алгоритмов и соответствующего программного обеспечения в сравнении с известными алгоритмами оптимизации. Иллюстрацией применения разработанных алгоритмов к прикладным проблемам служит решение прикладной задачи о стабилизации спутника в условиях неполной информации о его координатах и начальных условиях движения.

В главе 3 автором сформулированы достаточные условия ε -оптимальности управления непрерывными детерминированными системами и приведено их доказательство на основе принципа расширения, подробно изучавшегося в работах В.Ф.Кротова, В.И.Гурмана, А.И.Москаленко и их последователей. Доказанная теорема применяется при решении задачи приближенного синтеза оптимального управления с неполной обратной связью. Поскольку выполнение ее условий связано с подбором вспомогательной функции, предложена параметризация задачи с применением разложений по системам базисных функций. Описан пошаговый алгоритм решения задачи с использованием разработанных мультиагентных методов, которые применяются для поиска начального приближения искомого управления и оценки близости приближенного решения к оптимальному по величине функционала. Эффективность предложенного алгоритма наглядно продемонстрирована решенным модельным примером. Найдена финальная оценка близости полученного решения к оптимальному, приведен график убывания величины оценки в процессе поиска решения.

В главе 4 изложены теоремы о достаточных условиях ε -оптимальности для решения задачи приближенного синтеза оптимального управления пучками траекторий детерминированных систем. Рассмотрены два случая решения задачи. В первом случае начальная плотность пучка траекторий задана, а во втором случае не фиксирована. Представленные в главе теоремы строго доказаны. Поскольку выполнение достаточных условий связано с подбором вспомогательной функции, то, как и в главе 3, предложена соответствующая параметризация задачи с применением разложений по

системам базисных функций. На основе доказанных теорем сформирован пошаговый алгоритм поиска эpsilon-оптимального управления с помощью мультиагентных алгоритмов оптимизации. Для демонстрации эффективности подхода решены два модельных примера для случая поиска оптимального в среднем программного управления. Найдена оценка близости полученного решения к оптимальному и приведен график изменения оценки в процессе поиска решения.

В главе 5 описано разработанное программное обеспечение для поиска условного глобального экстремума функций многих переменных при наличии интервальных ограничений на их значения, а также для поиска оптимального управления нелинейными непрерывными детерминированными и стохастическими системами с неполной обратной связью. Описаны функциональные возможности всех модулей программного обеспечения и их взаимосвязи. Следует подчеркнуть, что автором получены два свидетельства о государственной регистрации разработанного программного продукта.

Теоретическая значимость работы обусловлена получением результатов высокого уровня и выражается в развитии методов оптимизации законов управления непрерывными динамическими системами, а именно в разработке новых мультиагентных алгоритмов оптимизации и в формулировке и доказательстве достаточных условий epsilon-оптимальности управления с неполной обратной связью.

Практическая значимость обусловлена представленными в работе решениями разного рода задач, в том числе имеющими прикладной характер: задачи оптимизации параметров сварной балки, задачи оптимизации параметров сосуда высокого давления, задачи оптимизации параметров редуктора, задачи оптимизации параметров натяжной пружины, задачи о стабилизации положения спутника. Разработаны методики решения задач синтеза оптимального управления с неполной обратной связью в условиях неопределенности задания начальных условий движения.

К работе имеются следующие замечания:

1. В главе 1 не приведено сравнение предложенных мультиагентных методов оптимизации с известными методами. Такое сравнение, хотя бы для тестовых примеров, позволило бы судить о возможной области применимости предложенных методов и без сомнения улучшило бы диссертационную работу.

2. В главе 2 не сказано, почему для численного решения задач оптимального управления выбраны именно те методы оптимизации, которые предложены в главе 1. Почему известные методы оптимизации не подошли бы

для численного решения тех задач, которые рассматриваются в главе 2?

3. В главах 3 и 4 при решении иллюстрирующих примеров не исследовано влияние параметров разложений неизвестных функций по базисным системам на точность априорных оценок.

Указанные замечания не влияют на положительное мнение о диссертационной работе.

Диссертационная работа Каранэ М.М.С. является законченной научно-квалификационной работой, выполненная автором самостоятельно на высоком научном уровне. Теоретические результаты, полученные в ходе работы, подтверждены строгими доказательствами, что обеспечивает их достоверность и обоснованность. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации. Основные результаты работы опубликованы в различных научных изданиях, в том числе в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, в международные системы цитирования Scopus и Web of Science. Результаты работы апробированы на международных и всероссийских конференциях и научных семинарах.

Диссертация Каранэ М.М.С. отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», а ее автор, Каранэ Мария Магдалина Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Профессор ФГБОУ ВО
«Московский государственный
технический университет имени
Н.Э. Баумана (национальный
исследовательский университет)»,
д.ф.-м.н., e-mail: dfetisov@yandex.ru

«ВЕРНО»

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА

КИНЯПИНА А.
ОТДЕЛ ПО ОРГАНИЗАЦИИ Р.Б.С.
ЕДИНОЙ ПРИЁМНОЙ УКСНА
МГТУ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

Фетисов

Д.А. Фетисов

25.11.2024 Дата

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
Адрес: 105005, Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1.
Тел. +7 499 263-63-91
E-mail: bauman@bmstu.ru

С отзывом ознакомлена
Каранэ М.М.С.

28.11.2024

