

УТВЕРЖДАЮ



Директор ИПС им. А.К.Айламазяна РАН,

чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.

С.М. Абрамов

«22» ноября 2018 г.

Отзыв

ведущей организации на диссертационную работу Тимонина Михаила Владимировича «Методы поиска экстремальных значений интеграла Шоке и их применение в задачах принятия решений», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности: 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (информационно-вычислительное обеспечение)»

Актуальность

Задачи многокритериальной оптимизации имеют широкое распространение в системном анализе, экономике, искусственном интеллекте и других областях науки. Одной из таких задач является задача определения оптимального распределения ресурсов при проектировании информационных систем, которая рассматривается с позиций системного анализа в работе Тимонина М.В. «Методы поиска экстремальных значений интеграла Шоке и их применение в задачах принятия решений». Автором предлагается рассматривать данную задачу как задачу оптимального выбора из множества многокритериальных альтернатив.

В последние годы одним из наиболее активно развивающихся направлений в теории принятия решений и, в частности, теории принятия решений при многих критериях, являются методы, основанные на так называемых неаддитивных интегралах, в частности, интегралах Сугено и Шоке. Данные методы обладают значительно более широкими функциональными возможностями по отображению разнообразных видов предпочтений. К примеру, в многокритериальных задачах, изучение которых является предметом диссертации Тимонина М.В., данные методы позволяют учитывать взаимодействие между критериями, а также прочие феномены, корректное отображение которых в традиционных моделях невозможно.

Использование неаддитивных интегралов в теории принятия решений при многих критериях является достаточно новой и активно развивающейся исследовательской областью. Несмотря на значительное число прикладных публикаций и публикаций теоретического характера, в которых интеграл Шоке используется для анализа многокритериальных данных, задачи многокритериальной оптимизации, использующие данную модель, в настоящий момент изучены

сравнительно слабо. Результаты, полученные Тимониным М.В. в его диссертации, в значительной мере восполняют этот пробел.

Таким образом, тема диссертационного исследования Тимонина М.В. является актуальной, научно востребованной, и имеющей практическое значение.

Оценка содержания, достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертации Тимонина М.В. предлагаются методы поиска экстремальных значений интеграла Шоке. Существенной сложностью при принятии решений является неточность и недостаточность входных данных. Зачастую, возможно лишь качественное описание анализируемой задачи, без каких-либо количественных оценок. Такая ситуация часто встречается на практике, особенно при использовании в качестве входных данных лингвистической информации, предоставленной экспертом. Последствием указанного факта является существенное снижение ценности решения задачи, так как оно либо не соответствует действительности, либо становится неверным даже при незначительном изменении состояния моделируемой системы. Учитывая, что в большинстве задач происходит постоянное взаимодействие с окружающей средой, решение не может считаться практически эффективным, если не производится учет всех возможных сценариев развития событий. Таким образом, методы, определяющие оптимальное решение, должны быть дополнены механизмами, обеспечивающими робастность получаемого результата.

В первой главе диссертации с позиций системного анализа рассматривается задача проектирования информационной системы. Автором предлагается рассматривать данную задачу как задачу многокритериальной оптимизации. Вводятся основные понятия, используемые в работе, приводится формальная постановка задачи многокритериальной оптимизации, рассматриваются подходы к решению таких задач. Рассмотрены различные операторы свертки, приведен их анализ с использованием аксиоматических методов теории принятия решений. Предлагается использование интеграла Шоке в качестве оператора свертки, рассматриваются существующие методы поиска максимальных значений интеграла Шоке, указаны их ограничения и недостатки. Приведена формальная постановка задачи максимизации интеграла Шоке и ее робастного варианта.

Во второй главе получены основные теоретические результаты, обеспечивающие решение задачи, сформулированной в главе 1. Получены решения следующих задач:

- **Задача поиска глобального максимума интеграла Шоке на выпуклом множестве. Отдельно охарактеризован и выделен случай, в котором целевая функция является вогнутой.**

Исследование начинается с рассмотрения более простого случая, в котором интеграл Шоке представляет собой вогнутую функцию. Показывается, что задача в этом случае сводится к минимаксной постановке. Демонстрируется применение метода проекции субградиента для ее решения. Глава продолжается рассмотрением общего, гораздо более сложного случая, в котором целевая функция является невыпуклой. Хорошо известно, что решение задач глобальной оптимизации в общем случае является сложной задачей, требующей значительных вычислительных затрат. Таким образом, имеет смысл использовать особенности конкретного вида целевой функции для построения более эффективных методов оптимизации. В главе

исследуется задача представления интеграла Шоке по произвольной емкости (т.е., в общем случае, невыпуклой функции) в качестве максимума интегралов по полностью монотонным емкостям, что гарантирует вогнутость каждого из компонентов полученного разложения. Таким образом, задача невыпуклой оптимизации сводится к конечному множеству задач выпуклой оптимизации, которые могут быть успешно решены за очень малое время с помощью методов выпуклой оптимизации. Приводится алгоритм построения разложения и определяется число элементов в получаемом результате. Также показывается, что для важного класса 2-аддитивных емкостей, получаемое разложение является оптимальным, то есть содержит минимально возможное число элементов.

- **Задача нахождения оптимального решения в иерархических структурах, построенных путем композиции интегралов.**

Во второй части второй главы автором рассматриваются имеющие важное практическое значение задачи поиска оптимальных значений в иерархических структурах, образованных композицией нескольких интегралов Шоке. Такие структуры могут использоваться при моделировании сложных онтологий в задачах, где критерии задачи представляют собой совокупность некоторых более мелких понятий, которые, в свою очередь, также могут быть составными. Автором предлагаются алгоритмы решения таких задач в выпуклом и невыпуклом случаях, рассматриваются вопросы сохранения свойства вогнутости при композиции интегралов, адаптируется метод разложения целевой функции на множество вогнутых функций, а также характеризуется число вогнутых задач, получаемых в результате такого разложения.

- **Задача поиска робастного оптимума для случая неточно определенных параметров модели, то есть случая, при котором предпочтения описываются не единственной емкостью, а множеством емкостей.**

В заключительной части второй главы рассматриваются методы определения параметров модели (т.е. значений емкости) и задача поиска оптимальных точек в случае, когда модель определена неточно. Данная постановка обладает практической значимостью, поскольку прикладные задачи, как правило, характеризуются неточностью, недостаточностью и изменчивостью входных данных. Задача робастной оптимизации формулируется как задача минимизации потерь/сожаления (minimax regret). В этом случае ищется точка, минимизирующая отклонение от максимума для всех возможных емкостей, удовлетворяющих имеющейся информации, такой как относительная важность критериев или относительная предпочтительность элементов обучающего множества. Данная задача также является задачей невыпуклой оптимизации, более сложной, чем задача рассмотренная в первой части второй главы. Для ее решения применяются полученные ранее во второй главе методы нахождения дизъюнктивного разложения интеграла и предлагается алгоритм поиска оптимального значения, а также ряд численных экспериментов, подтверждающих корректность функционирования алгоритма. Также производится качественный анализ полученного результата с позиций ценности информации. Показано, что среди множества емкостей существует емкость, для которой полученное решение является оптимальным. Такая емкость названа "робастной". При этом надо отметить, что вопросы робастного принятия решений обладают определенной новизной.

Третья глава содержит примеры использования разработанных методов в прикладных задачах системного анализа. В первом рассмотренном примере решается задача проектирования информационной системы, характеризующаяся сложностью процесса определения параметров модели ввиду недостаточности входных данных, а также многоуровневой иерархией критериев,

включающей 24 переменных. Целью задачи является определение оптимального распределения ресурсов между компонентами проектируемой системы, позволяющее получить наилучший результат в рамках установленных бюджетных ограничений. На основе данных аналитических отчетов, которые зачастую являются единственной доступной информацией, показывается, как экспертом может формироваться лингвистическая характеристика связей между компонентами системы. Рассматриваются методы формализации полученной характеристики для определения множества возможных параметров модели. Получено робастное решение задачи, а также приведен анализ изменения оптимального распределения в зависимости от размера бюджетного ограничения. Показаны методы моделирования выбора между взаимозаменяемыми компонентами.

Во втором примере решается задача определения оптимальной стратегии развития организации. Предметной областью исследования является гостиничный бизнес. Целью задачи является определение оптимального распределения финансовых средств между возможными направлениями развития гостиницы для достижения наиболее привлекательного с точки зрения посетителей предложения. При этом предпочтения посетителей определяются на основании большого набора статистических данных, включающего более 10000 многокритериальных оценок. Показывается, как использование интеграла Шоке позволяет выявить некоторые особенности поведения, моделирование которых невозможно при использовании других моделей предпочтений. В частности рассматриваются вопросы взаимодействия между критериями оценки, такие как взаимодополняемость и взаимозаменяемость критериев. Выделяются 12 групп посетителей, каждая из которых характеризуется собственными предпочтениями, при этом предпочтения в различных группах достаточно сильно разнятся между собой. Решается две задачи оптимизации. В первом случае считается, что гостиница ориентирована на работу с определенной категорией посетителей. В этом случае целью оптимизации является построение предложения, наиболее привлекательного для конкретной группы. Поэтому решается задача максимизации интеграла Шоке по емкости, соответствующей предпочтениям выбранной группы. Во втором случае целью развития является получение предложения привлекательного для всех групп путешественников. В этом случае используется робастная постановка, которая гарантирует, что полученное решение будет достаточно качественным с точки зрения всех групп посетителей одновременно. Очевидно, что возможной является и робастная постановка с участием лишь некоторой части групп, объединенных в более широкий класс. Завершается пример качественным анализом полученного решения и изучением его динамики при изменениях в чувствительности отдельных критериев к инвестициям.

В последней части третьей главы приведено краткое описание разработанных программных средств, реализующих все полученные в диссертации методы и алгоритмы.

Предложенные примеры проанализированы на хорошем уровне детализации, основаны на реальных данных и, в целом, очень близки к практическим задачам. Приведенные методы качественного анализа полученного решения также, несомненно, будут полезны на практике. Таким образом, полученные в диссертации результаты обладают практической ценностью и потенциалом применения для решения прикладных задач.

Основные результаты диссертации:

1. Задача проектирования информационной системы сведена к задаче многокритериальной оптимизации, выполнен анализ основных характеристик рассматриваемой задачи, цель

оптимизации сформулирована в терминах поиска экстремальных значений интеграла Шоке, в т.ч. в робастном варианте.

2. Впервые предложены методы максимизации интеграла Шоке для нелинейных функций полезности и различных типов емкости. Рассмотрены выпуклый и невыпуклый случай. Для решения невыпуклого случая предложен алгоритм представления произвольной емкости в виде максимума totally monotone емкостей, что позволило свести задачу максимизации интеграла Шоке по произвольной емкости к множеству выпуклых задач. Для класса 2-аддитивных емкостей доказана минимальность получаемого разложения и получена характеристика числа элементов в разбиении заданной емкости.
3. Предложены методы построения сложных моделей, в которых критерии образуют сетевую структуру. Рассмотрены пути предварительного анализа вычислительной сложности для заданной модели, что позволяет более эффективно использовать разработанные методы в практических задачах.
4. Получены методы поиска робастного решения для задач, в которых параметры модели не могут быть определены однозначно. Проанализирована сложность проблемы, предложен алгоритм нахождения робастного решения. Доказано, что такое решение является оптимальным по отношению по крайней мере к одной из емкостей, согласующихся с изначальными предпочтениями. Проведены численные тесты, подтверждающие корректность работы алгоритма. Робастные методы применяются в задачах определения емкости впервые.
5. Детально рассмотрены примеры практического применения разработанных методов в многокритериальных задачах принятия решений. Рассматриваются варианты использования в качестве входных данных как массива информации, так и неточных экспертных оценок.
6. Разработано программное обеспечение, реализующее разработанные теоретические методы.

Замечания, дискуссионные моменты

- **Относительно узкая направленность анализа**

Диссертационная работа посвящена решению задачи проектирования информационных систем, при этом математические результаты, полученные ней, относятся к достаточно узкому разделу теории принятия решений. Представляется целесообразным расширить фокус анализа, включив в рассмотрение прочие методы, используемые для решения задач многокритериальной оптимизации, и задачи проектирования информационных систем, или, более широко, многокритериальной задачи распределения ресурсов. Приведенный в первой главе обзор методов многокритериальной оптимизации, возможно, излишне краток, хотя и позволил сформулировать достаточно убедительное обоснование необходимости разработки методов, являющихся основным результатом работы.

- **Излишний акцент в изложении на математическом аспекте результатов**

Второй особенностью работы, которую можно отнести к ее недостаткам, является излишняя направленность на детальное изложение математических результатов, отчасти в ущерб прикладному аспекту рассматриваемой задачи. Как указывалось выше, специалисты в области системного анализа как правило более заинтересованы в рассмотрении прикладных задач, имеющих очевидный практический смысл, нежели в деталях математических доказательств. Впрочем, учитывая теоретический характер работы, данное замечание является незначительным.

Отмеченные замечания и высказанные пожелания не снижают в целом общую положительную оценку работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842.

Диссертация Тимонина М.В. «Методы поиска экстремальных значений интеграла Шоке и их применение в задачах принятия решений» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком уровне, а полученные соискателем результаты характеризуются высоким уровнем научной новизны и практической значимостью.

Соискатель проявил себя как квалифицированный исследователь и специалист в области программного обеспечения информационных систем. Публикации соответствуют содержанию диссертации, а диссертация отвечает требованиям ВАК РФ (п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842.).

Таким образом, соискатель Тимонин Михаил Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (информационно-вычислительное обеспечение)».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании общепрограммного семинара Института программных систем им. А.К.Айламазяна РАН, протокол № 4 от 20 ноября 2018 года.

Д.ф.-м.н., доцент,

Руководитель Исследовательского центра процессов управления
ИПС им. А.К.Айламазяна РАН



Сачков Ю.Л.