

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию РАЗУМЧИКА Ростислава Валерьевича «Методы анализа и алгоритмы управления частично наблюдаемыми стохастическими системами обслуживания», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Актуальность темы исследования

Тематика диссертационной работы Р.В. Разумчика лежит в русле фундаментальных исследований по вопросам эффективного использования ресурсов частично наблюдаемых стохастических систем. Вопросы эти порождаются сейчас потребностями организации вычислительных, информационных и др. комплексов различного масштаба и назначения. Учитывая сложность и дороговизну процесса их разработки и создания, решения, позволяющие, в том числе путем математического моделирования, оценивать различные варианты и принимать обоснованные решения, являются актуальными.

Частичная наблюдаемость – часто встречающееся свойство среди технических систем. Она может проявляться по-разному и всегда является тем фактором, который осложняет целенаправленное взаимодействие с системой. На эффективность влияют и другие факторы, причем их воздействие не является взаимозависимым. Чтобы правильно их учесть требуется привлечение специальных методов анализа или, в отсутствие последних, новые идеи и решения.

В диссертации Р.В. Разумчика решается новая проблема в области частично наблюдаемых стохастических систем обслуживания. Частичная наблюдаемость понимается здесь двояко. С одной стороны, это ненаблюдаемость точных значений величин, необходимых для полноценной реализации дисциплин обслуживания. С другой стороны, это отсутствие обратной связи от системы и, как следствие, необходимость принятия управляющих решений вслепую. Для этих условий, характерных для вполне конкретного круга современных и важных задач практики (например, суперкомпьютерных систем, систем добровольных вычислений), в диссертации Р.В. Разумчика разработан комплекс вероятностных моделей, и основанные на них методы анализа и алгоритмы распределения ресурсов частично наблюдаемых стохастических систем обслуживания.

Общая характеристика работы

Введение посвящено сжато изложению содержания диссертации. Оно дает полноценное представление о решаемой в диссертации проблеме, ее научной новизне, теоретической и практической значимости, а также методах исследования.

Первые две главы посвящены анализу изолированно функционирующих частично наблюдаемых стохастических систем обслуживания. В главе 1 развивается аналитический аппарат анализа стационарных характеристик ранее не изучавшихся классов систем массового обслуживания (СМО) инверсионного типа. Для главного представителя класса (СМО $M/G/1$ с дисциплиной инверсионный порядок обслуживания с обобщенным вероятностным приоритетом) и важнейших частных случаев доказаны теоремы, решающие вопросы расчета основных стационарных характеристик очереди, а также нахождения (в терминах преобразований) стационарных распределений основных временных характеристик поступающих в систему заявок. Для достижения этого успеха автор опирается на развитую в ряде работ других авторов теорию систем со специальными дисциплинами обслуживания, известные матрично-аналитические методы и приемы анализа.

Аналитические результаты, составляющие главу 1, служат фундаментом для обоснования (и для однолинейных систем – доказательства) предложенного в главе 2 метода уточнения стационарных характеристик частично наблюдаемых стохастических систем обслуживания (в которых прогнозные времена обслуживания не совпадают с фактическими). Идея метода заключается в преобразовании остаточных прогнозных времен обслуживания заявок некоторым вероятностным механизмом, не сохраняющим работу, причем моменты преобразований синхронизированы с моментами поступления новых заявок в систему. Выяснение условий, гарантирующих эффективность метода, является одним из центральных результатов главы 2 (примером такого условия является принадлежность прогнозных времен обслуживания классу случайных величин с убывающей функцией интенсивности). Хочу отметить этот результат особо как одно из достижений диссертации. Здесь при минимальных сведениях только о верхней оценке прогнозных значений удалось понизить эту оценку и показать, что новое значение искомой величины лежит между тем, что предсказано прогнозом и истинным.

В главах 3 и 4 речь уже идет о взаимодействующих (через единственный центральный узел) частично наблюдаемых стохастических системах обслуживания. Здесь Р.В. Разумчиком предложен и разработан единый подход к решению задачи диспетчеризации, возникающей всегда при попытке оптимально управлять потоками заданий в частично наблюдаемых стохастических системах с параллельным обслуживанием. Данный во Введении обзор показывает, что известные в научной литературе решения, хотя и являются полезными, не дают глубокого понимания того, как должны управляться именно частично наблюдаемые стохастические системы с параллельным обслуживанием. Результатами глав 3 и 4 диссертации такое понимание сформировано. Первая часть главы 3 посвящена подробному изложению нового подхода к диспетчеризации и идеи, которая, по сути, заключается в использовании при управлении всей доступной предыстории наблюдаемых компонент. Реализация «в лоб» такого подхода возможна не для широкого круга систем; основное ограничение здесь связано с дисциплинами обслуживания очередей (при этом, однако,

входящие потоки и распределения времен обслуживания могут быть произвольными). Поэтому во второй части главы 3 предложен универсальный метод порождения новых диспетчеризаций, идея которого заключается в том, чтобы, взяв за основу любой из алгоритмов, применимых в полностью наблюдаемых системах, заменять отсутствующие данные статистическими оценками, которые получаются на основе доступных наблюдений. Даже в самом простом виде все стратегии главы 3 (и главы 4) остаются слишком сложными для теоретического анализа. Представленные результаты вычислительных экспериментов убедительно демонстрируют, что разработанный подход к диспетчеризации на основе предыстории приводит к алгоритмам, которые позволяют улучшить (во всем диапазоне загрузки) значения классических целевых функционалов по сравнению со всеми другими известными (или, по крайней мере, реализуемыми на практике) стратегиями.

Тот выигрыш, который позволяют получить стратегии, основанные на новом подходе, дается «не бесплатно»: с вычислительной точки зрения реализация новых стратегий сложнее, чем ранее известных. Поэтому в главе 4 предложен новый простой и универсальный метод, реализующий ключевую идею – использование предыстории наблюдаемых компонент. В основе метода – использование виртуальных вспомогательных процессов, которые реализуются посредством имитационной модели. Представленные серии вычислительных экспериментов (которые отхватывают всевозможные распределения входящих потоков, дисциплины обслуживания и размеры систем) показывают, что основанные на новом методе алгоритмы успешно конкурируют (но уже не являются равномерно лучшими во всем диапазоне загрузки) со всеми ранее известными стратегиями, даже при оптимальных значениях параметров последних (и в отличие от последних, легко масштабируются).

Последним разделом диссертации является заключение. Здесь кратко подытожены основные результаты диссертации и сформулирован ряд оставшихся нерешенными вопросов, представляющих интерес при дальнейшей разработке темы.

Язык и стиль диссертации соответствует уровню докторской диссертации. Требования ВАК по оформлению выполнены. Автореферат корректно отражает содержание диссертации.

Новизна, достоверность и ценность результатов, обоснованность научных положений диссертации

В диссертации получены следующие новые результаты:

- впервые предложен метод уточнения стационарных характеристик стохастических систем обслуживания с частичной наблюдаемостью (найжены необходимые условия для получения содержательных результатов). Для однолинейных немарковских систем обслуживания с пуассоновскими потоками доказана его эффективность.

- предложен новый системный подход к диспетчеризации в стохастических комплексах произвольной структуры с параллельной обработкой информации, неотъемлемым свойством которых является отсутствие динамической информации об их состоянии. Показано, что подход допускает не только эффективную алгоритмизацию и тем

самым решение задач большой размерности, но и аналитическое исследование свойств стратегий.

Научные положения диссертации в достаточной мере обоснованы. Достоверность новых результатов обеспечивается как строгим применением математического аппарата, так и (в случаях, когда анализ невозможен) правильно подобранными методиками исследования и проведения моделирования. Имеет место согласованность результатов диссертации с известными из научной литературы.

Решения, полученные в диссертации, предназначены для решения ряда задач системного анализа: определение необходимости разработки новых систем; выработка наилучших способов эксплуатации систем. Некоторые из результатов диссертации (помимо использования в учебном процессе в Российском университете дружбы народов) уже внедрены в практику (имеется акт об использовании предложенных в работе методов в Межведомственном суперкомпьютерном центре РАН). Теоретические результаты диссертации имеют значение для теории массового обслуживания (в частности, предложен новый класс неконсервативных систем инверсионного типа, расширена область применения известной методики стационарного анализа СМО).

Результаты диссертации докладывались на многих профильных международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 27 печатных работ; из них, в журналах из перечня ВАК – 14 работ. Имеются как сольные работы, так и выполненные в соавторстве (вклад Р.В. Разумчика в них является определяющим и отмечен в диссертации корректно).

Замечания по работе

По тексту диссертации имеются следующие замечания.

1. Как и в любом достаточно большом тексте имеется некоторое количество опечаток и стилистических погрешностей, которые не влияют на правильное понимание текста.
2. В диссертации, особенно во введении имеется большое количество довольно длинных сносок, читая которые забываешь то, что было ранее в основном тексте.
3. В тексте диссертации используется термин «тяжелый хвост распределения». То понятие, которое используется в диссертации, не совпадает с тем, что обычно используется в других работах по теории вероятностей и математической статистике.
4. Доказательство (в конце главы 4) того, что метод диспетчеризации на основе вспомогательных виртуальных процессах лучше (при малой загрузке) других известных в научной литературе методов, в целом корректно, но оставляет ощущение незавершенности. Можно сказать, что здесь правильный «угол атаки» автором не найден.

Заключение

Приведенные выше замечания не влияют на общую положительную оценку работы и носят скорее методический характер. Диссертация Р.В. Разумчика выполнена на высоком уровне и является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена крупная научная проблема разработки комплекса вероятностных моделей и создания на их основе методов анализа и алгоритмов управления для стохастических систем обслуживания с частичной наблюдаемостью.

С учетом вышесказанного, диссертация Р.В. Разумчика «Методы анализа и алгоритмы управления частично наблюдаемыми стохастическими системами обслуживания» полностью соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней № 842, предъявляемым к докторским диссертациям. Считаю, что Р.В. Разумчик заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.


8.11.2022

Ю.С. Хохлов

Официальный оппонент: Юрий Степанович Хохлов – доктор физико-математических наук (01.01.05 - Теория вероятностей и математическая статистика), профессор кафедры математической статистики МГУ имени М.В. Ломоносова

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»; адрес: 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1; телефон: +7 (495) 939-10-00; e-mail: info@rector.msu.ru; сайт: <https://www.msu.ru/>

