

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Геннадия Анатольевича Угольницкого на диссертацию Юлии Васильевны Чирковой на тему «Сетевые игры: равновесное и оптимальное поведение», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика

Диссертация Юлии Васильевны Чирковой посвящена актуальной тематике сетевых игр. Теоретическому исследованию этой тематики посвящено огромное множество работ, а её практическая значимость для транспортных, телекоммуникационных и иных приложений совершенно понятна и очевидна.

Исследование чрезвычайно объёмное и охватывает ряд взаимосвязанных аспектов теории сетевых игр, а именно: выбор момента обращения к сети, оптимальная маршрутизация, балансировка загрузки, задача о покрытии, модель Вардропа, цена анархии. Все они объединены стохастическим теоретико-игровым подходом. Кратко, диссертационная работа посвящена исследованию поведения агентов в сетевых играх разделения совместно используемых ресурсов. В диссертации исследуется и сравнивается равновесное и оптимальное поведение игроков, а также возможность централизованного управления эгоистичным поведением с позиции общества в целом, что представляется особенно важным.

Во введении к диссертации представлен квалифицированный анализ состояния вопроса, определены все формальные понятия, связанные с защитой диссертации, описана её структура.

Первые три главы диссертации посвящены теоретико-игровым моделям выбора момента обращения к сети, соответственно со случайным доступом, вытеснением и повторными вызовами. Первая из исследуемых моделей – это выбор моментов обращения к системе обслуживания со случайным доступом. Для двухсерверной системы обслуживания с потерями исследуются модели с рационально случайным доступом и чисто случайным доступом. Каждая из них рассматривается в двух вариантах: когда число игроков фиксировано и когда оно является случайной величиной, имеющей распределение Пуассона. Вторая модель – это выбор моментов обращения к системе обслуживания с вытеснением, которая также рассматривается для вариантов известного и случайного числа игроков. Третья модель строится для системы обслуживания с повторными вызовами для случаев двух и трёх игроков. Для игр такого вида ставится и решается задача построения и исследования свойств симметричного равновесия в виде вероятностного распределения моментов обращения пользователя к системе обслуживания на интервале времени, когда система принимает запросы. Также для первых двух моделей ставится и решается задача оценки значения цены анархии.

Следующая из задач, исследуемых в диссертации (четвёртая глава) – одномерная задача выбора базовой станции. Данная задача формулируется как игра, в которой игроки являются мобильными пользователями, которые выбирают базовые радиостанции для подключения к беспроводной сети. Стратегии в игре – это номера станций или вероятности, которые игроки используют для выбора базовых станций. Каждый

эгоистичный пользователь выбирает станцию, пытаясь максимизировать свое отношение «сигнал к интерференции + шум», которое зависит от расстояния между игроком и станцией, а также от числа подключений к станции. В этой модели сигнал обратно пропорционален квадрату расстояния до выбранной базовой станции, а выражение интерференция+шум есть сумма всех сигналов на станции и некоторый постоянный уровень шума. Найдено равновесие Нэша для случаев данной модели, где пользователи знают либо не знают местоположение друг друга.

В пятой главе исследуется теоретико-игровая модель поведения конкурирующих виртуальных операторов на двухстороннем рынке телекоммуникаций, представленная как повторяющаяся двухшаговая игра следующего вида. На первом шаге игроки: виртуальные операторы, владельцы облачных сервисов - распределяются по крупным компаниям, собственникам ресурсов связи и т.п., и после этого объявляют цены на свои услуги. Пользователи выбирают тот или иной сервис, следуя своим личным предпочтениям, и распределяются по сервисам, сравнивая полезности от использования той или иной фирмы. Для данной модели ставится и решается задача построения и исследования равновесий и стационарных решений для различных постановок вариантов рынка, в которых предпочтения пользователей касаются самих облачных фирм, а также владельцев ресурсов.

В шестой главе проводится исследование задач оптимальной маршрутизации с неделимым трафиком. В рамках КР-модели передачи данных с параллельными каналами и неделимым трафиком строятся и исследуются равновесия по Нэшу: в чистых стратегиях и полностью смешанные. Для них находятся затраты системы и анализируются случаи ухудшения такого равновесия при добавлении в систему нового канала. Также в диссертационной работе ставятся и решаются задачи аналитического нахождения оценок и значений цены анархии для моделей балансировки загрузки и покрытия вычислительных узлов, которые наследуются от КР-модели. Более подробно анализируются случаи трёх игроков и условия изменения цены анархии при добавлении в систему нового вычислительного узла. Ставится и решается задача разработки методики численного нахождения точного значения цены анархии.

Для моделей балансировки загрузки и покрытия вычислительных узлов (главы 7-8) изучается возможность введения экстерналий линейного вида в функции задержки, для случая двух вычислительных узлов решается задача аналитического нахождения цены анархии. Также анализируется вопрос о том, как введение в модель экстерналий влияет на наличие в модели равновесий по Нэшу в чистых стратегиях и на значение цены анархии. Ставится и решается задача обобщения методики вычисления точного значения цены анархии для случая произвольных линейных функций задержки.

В главе 9 в игре покрытия вычислительных узлов для системы обслуживания с N узлами и n игроками получена нижняя граница цены анархии. Для модели с тремя узлами найдено точное значение цены анархии и доказано, что цена анархии не меняется или растёт при добавлении нового узла в систему двух вычислительных узлов. Также разработана методика вычисления точного значения цены анархии на примере трех узлов, которая может быть обобщена на системы с большим количеством узлов. Разработана программная реализация алгоритма вычисления точного значения цены анархии, с

помощью которой проведены численные эксперименты сравнения полученных оценок цены анархии с её точным значением, показывающие корректность полученных оценок. Для случая четырёх узлов в системе вычислительные эксперименты показывают частичное совпадение цены анархии для трех и четырёх узлов в системе.

В игре покрытия вычислительных узлов с линейными экстерналиями (глава 10) для случая двух вычислительных узлов получено аналитическое выражение цены анархии. Показано также, что в отличие от модели без экстерналий, в которой цена анархии не ограничена, когда скорость самого быстрого узла не менее 2, в модели с экстерналиями цена анархии имеет конечное значение.

В главе 11 предложен численный метод нахождения точного значения цены анархии для игр балансировки загрузки и покрытия вычислительных узлов с линейными функциями задержки, который может быть обобщён на систему с большим числом узлов. Предложенный алгоритм реализован программно, проведены вычислительные эксперименты для случая игры балансировки загрузки с экстерналиями с двумя узлами, в которой всегда есть равновесие по Нэшу в чистых стратегиях.

В главах 12-14 исследуется задача маршрутизации на основе модели Вардропа с параллельными каналами. Изучаются свойства равновесий и цены анархии для моделей с функциями задержки вида $\delta/(c-\delta)$ и $1 - e^{-a\delta}$. Строится также байесовская модель Вардропа с параллельными каналами, в которой игроки отправляют по каналам трафик разных типов, зная при этом тип только своего трафика. Для данной модели исследуется вопрос существования равновесий. Для модели Вардропа с параллельными каналами и BPR-функциями задержки с линейными экстерналиями формулируется и решается задача нахождения оптимально-равновесного профиля и соответствующих значений экстерналий в условиях, когда на задержку только одного из каналов влияют потоки на всех остальных каналах. Также исследуется возможность разработки процедуры "социализации" равновесного поведения участников транспортного потока путём задания определённых значений экстерналий и изучается влияние применения процедуры социализации на значение затрат системы.

Замечания по диссертации.


1. Глава 6 посвящена оптимальной маршрутизации с неделимым трафиком, а глава 12 - с разделяемым. Понятно, почему так сделано, однако некоторая нелогичность возникает. Сюда же можно отнести и непривычно большое (14) число глав диссертации и некоторые очень маленькие параграфы.
2. Целесообразно сравнить результаты теорем 1.6, 1.7, 1.9, 1.11. Это же касается теорем 2.1, 2.3. Все они структурно аналогичны, представляет интерес сравнение как внутри глав 1 и 2, так и между главами.
3. В диссертации дан ряд определений равновесия Нэша, которые отличаются от классического. Возможно, лучше было бы назвать их решениями соответствующей игры.
4. Леммы 9.1 и 9.2 приведены со ссылкой на источник, зачем тогда их доказательства?

5. В заключении хотелось бы увидеть не только перечисление полученных результатов, но и некоторые, хотя бы предварительные общие выводы относительно сравнительной эффективности различных способов организации агентов, в частности, возможностей централизованного управления в интересах общества.

Высказанные замечания отнюдь не умаляют достоинств диссертации и не влияют на её общую высокую оценку. Работа вносит серьёзный вклад в теорию сетевых игр. Автором продемонстрирована отличная математическая квалификация, умение проводить численные расчёты с помощью программного обеспечения и давать содержательную интерпретацию полученным результатам. Работа написана очень чётко, аккуратно и логично, все теоретические результаты иллюстрированы численными примерами. Диссертация полностью соответствует специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика. Основные положения диссертационной работы опубликованы в солидных журналах и представлены на авторитетных международных и всероссийских конференциях.

Диссертация Юлии Васильевны Чирковой на тему: «Сетевые игры: равновесное и оптимальное поведение» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения учёных степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Юлия Васильевна Чиркова заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета,
заведующий кафедрой прикладной математики и программирования
Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича
Южного федерального университета,
доктор физико-математических наук, профессор

 Г.А. Угольницкий

Подпись Г.А. Угольницкого заверяю:
Зам. директора Института ММКН ЮФУ



23 мая 2023 г.