

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института проблем
управления им. В.А. Трапезникова,
академик Васильев С.Н.



15 ноября 2016 г.

**Отзыв ведущей организации
на диссертационную работу Ушакова Антона Владимировича
«Нелинейный вариант задачи о p -медиане и пороговая робастность допустимых
решений в дискретных задачах размещения», представленной на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 –
Системный анализ, управление и обработка информации
(в технике, экологии и экономике)**

Дискретные задачи размещения представляют собой большой класс оптимизационных задач, нашедших широкое практическое приложение в технике, экономике, экологии и других областях, что во многом обуславливает актуальность исследования подобного рода моделей. В своей первоначальной постановке задачи размещения имеют вполне определенную экономическую интерпретацию. Необходимо оптимальным образом разместить обслуживающие центры так, чтобы с минимальными затратами обслужить некоторый набор «потребителей». Существуют и другие интерпретации данной проблемы. Так, в Институте математики им. С.Л. Соболева СО РАН (ИМ СО РАН) исследовались приложения задач размещения к задачам стандартизации и унификации.

В диссертации А.В. Ушакова основное внимание уделяется двум классическим дискретным задачам размещения: задаче о p -медиане и простейшей задаче размещения. Отметим, что данные задачи являются NP-трудными в сильном смысле и, следовательно, не принадлежит классу APX. Важнейшие приложения данных задач возникают в области оптимального размещения в автомобильной промышленности, кластеризации, предсказательной аналитике и интеллектуальном анализе данных. Задача кластеризации состоит в разбиении заданного конечного множества объектов на непересекающиеся группы так, чтобы каждая группа или кластер состояли из максимально схожих объектов, в то время как объекты из различных кластеров значительно различались. Известно, что

любое допустимое решение задачи о p -медиане даёт решение задачи кластеризации известное как «минимум суммы звезд».

К настоящему времени опубликовано большое количество работ, посвящённых исследованию представленных классических дискретных задач размещения, а также разработке точных и приближённых методов поиска решений. Важны варианты и модификации классических задач размещения, отражающие разнообразные практические ситуации. Отметим, что такие модифицированные модели, за счёт учета большого числа реалистичных параметров, зачастую являются намного более сложными и требуют разработки новых методов решения.

В диссертации А.В. Ушакова исследуются два нелинейных варианта задачи о p -медиане и простейшей задачи размещения, мотивированные вполне определенными практическими приложениями, а также разрабатываются методы их решения. Тема исследования является актуальной и представляет интерес с точки зрения теории и вычислительных методов дискретной оптимизации.

Остановимся кратко на содержании работы. Во введении автор приводит достаточно подробную историческую справку, обосновывает актуальность темы исследования, формулирует цели и задачи диссертационной работы, подчёркивает новизну и практическую значимость исследования. Введение содержит также основные результаты диссертации и описание её структуры.

Первая глава является обзорной. В ней даётся постановка задачи о p -медиане, а также подробный обзор теоретических результатов, связанных с построением релаксаций Лагранжа для задач целочисленного линейного программирования, и методов решения в двойственной по Лагранжу задаче. Подробно излагается один из методов поиска приближённых решений в задаче о p -медиане. Основным результатом главы является новый параллельный алгоритм поиска нижних оценок оптимального значения задачи о p -медиане, который основан на решении двойственной по Лагранжу задачи с помощью специальной версии субградиентного алгоритма и метода генерации столбцов. Фактически метод реализует параллелизм по данным и основан на разбиении матрицы расстояний. В конце главы представлены результаты вычислительного эксперимента.

Вторая глава посвящена исследованию одного нелинейного варианта задачи о p -медиане. Предполагается, что число новых предприятий не фиксировано и является целочисленной переменной задачи. В тоже время в целевой функции имеется нелинейное слагаемое, ограничивающее максимальное число открытых предприятий. Такая постановка мотивирована таким экономическим принципом как эффект масштаба, т.е. уменьшением стоимости размещения предприятий с ростом их числа. Другим

приложением является задача кластеризации, в которой количество кластеров заранее неизвестно. Например, в автомобильном производстве, где количество конфигураций электропроводки для установки дополнительных опций также не всегда фиксировано. Данная формулировка не является новой и уже встречалась в литературе, однако эффективных методов поиска решений для такой задачи предложено на сегодняшний день не было. В диссертации исследованы два варианта релаксаций Лагранжа, полученные за счёт ослабления различных групп ограничений задачи. Доказано, что значения целевых функций двойственных задач могут быть подсчитаны в явном виде для заданного набора двойственных переменных. Показано, что в ряде случаев, зависящих от вида нелинейного слагаемого, ограничивающего максимальное число открытых предприятий, есть возможность более эффективно находить нижнюю оценку оптимального значения целевой функции задачи. Для модифицированной задачи о p -медиане разработан алгоритм поиска решений, который фактически является обобщением алгоритма, представленного в первой главе. Метод основан на поиске последовательности нижних и верхних оценок оптимального значения. Полученные теоретические результаты используются при разработке процедуры поиска нижних оценок, получаемых за счёт решения двойственной по Лагранжу задачи субградиентным алгоритмом и методом генерации столбцов. Для поиска верхних оценок применяется ядровая эвристика, идея которой состоит в фиксировании части прямых переменных на основе информации, полученной при поиске решения двойственной задачи. Алгоритм реализован и протестирован в ходе вычислительного эксперимента на задачах большой размерности. Проведено сравнение с современным коммерческим решателем, демонстрирующее эффективность и преимущество разработанного метода.

Другие модифицированные варианты задачи о p -медиане и простейшей задачи размещения, рассматриваемые в диссертации, связаны с исследованием одного подхода к определению робастности решения в задачах размещения. В литературе он также носит название пороговой робастности. Предполагается, что спрос потребителей в рассматриваемой задаче о p -медиане и простейшей задаче размещения, точно не известен, но выражен в виде некоторых экспертных оценок, которые могут быть достаточно грубыми. Для ограничения значения целевой функции вводится дополнительный параметр, который можно интерпретировать как бюджет. Под робастностью допустимого решения понимается минимальная величина изменения спроса относительно заданных оценок, при котором суммарные затраты на обслуживание спроса клиентов превысит заданный бюджет. В диссертации такой подход к определению робастности впервые исследуется для дискретных задач. Рассматриваются бикритериальные постановки задачи

о p -медиане и простейшей задачи размещения с дополнительным критерием, – максимизация робастности. Приложения таких постановок могут возникать при размещении предприятий для обслуживания потребителей в течение длительного промежутка времени, а также при реализации качественно новых товаров или услуг. В диссертационной работе разработан и реализован метод поиска аппроксимации множества Парето оптимальных решений (так называемых δ -эффективных решений), основанный на методе главного критерия. В конце главы представлены результаты вычислительных экспериментов для известных тестовых задач, демонстрирующие эффективность разработанного подхода.

Заключение содержит обзор основных результатов диссертационной работы.

В качестве замечания можно отметить следующее.

- 1 В первой главе диссертации не приводятся никаких теоретических или вычислительных исследований разработанного параллельного алгоритма поиска нижних оценок оптимального значения. Например, интересными представляются оценка и отношение времени, затрачиваемого на пересылку данных и непосредственно вычисления на процессорных узлах, а также зависимость этих величины от размерности задачи.
- 2 Не приведено результатов касательно теоретического исследования мощности множества Парето-оптимальных решений в исследуемых бикритериальных дискретных задачах размещения. Например, будет ли число Парето-оптимальных решений зависеть экспоненциально или полиномиально от входных данных задачи.

Указанные замечания не существенно снижают общей положительной оценки данной работы и можно надеяться, что будут учтены автором в дальнейших исследованиях.

Диссертация содержит необходимый вспомогательный материал, позволяющий разобраться в полученных результатах. По теме диссертации опубликованы 22 работы, из них – 5 статей в журналах из списка, рекомендованного ВАК. Результаты исследований докладывались и обсуждались на российских и международных научных конференциях и семинарах в Иркутске, Новосибирске, Омске, Кадисе, Севилье, Риме. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа «Нелинейный вариант задачи о p -медиане и пороговая робастность допустимых решений в дискретных задачах размещения» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей ряд новых результатов в области теории размещения, дискретной оптимизации и системного анализа.

Результаты исследований по теме диссертации на наш взгляд могут использоваться в Институте математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирском государственном университете, Институте динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, Омском государственном университете им. Ф.М. Достоевского, Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.

Представленная диссертационная работа удовлетворяет на наш взгляд требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в технике, экологии и экономике), а её автор, **Ушаков Антон Владимирович, заслуживает присуждения кандидата физико-математических наук.**

Отзыв утверждён на заседании лаборатории «Теории расписаний и дискретной оптимизации» Института проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН, протокол № 10 от 26.10.2016 г.

Зав. лабораторией «Теории расписаний и дискретной оптимизации»

Института проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН,

д-р физ.-мат. наук, профессор

А.А. Лазарев

117997, г. Москва, ИПУ РАН, ул. Профсоюзная, 65

тел.: +7(495) 334-87-51

e-mail: jobmath@mail.ru

