

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра социальной информатики

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ЗАДАЧ ЛОГИСТИКИ

(автореферат бакалаврской работы)

студента 4 курса 451 группы
направления 09.03.03 - Прикладная информатика
профиль Прикладная информатика в социологии
Социологического факультета
Левенца Дениса Алексеевича

Научный руководитель
кандидат физико-математических наук
доцент

_____ М.Г. Плешаков
подпись, дата

Зав. кафедрой
кандидат социологических наук, доцент

_____ И.Г. Малинский
подпись, дата

Саратов 2026

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

В современных условиях развития цифрового общества особую значимость приобретают вопросы эффективного управления ресурсами в социальной сфере. Рост численности населения городов, увеличение объёма социальных услуг и ограниченность доступных ресурсов требуют внедрения интеллектуальных методов поддержки принятия решений. Одной из наиболее важных задач является организация рационального распределения заявок между центрами обслуживания населения, обеспечивающая своевременное оказание помощи гражданам и эффективное использование имеющихся ресурсов.

Задачи распределения ресурсов традиционно рассматриваются в рамках логистики, теории оптимизации и исследования операций. Однако в социальной сфере подобные задачи имеют ряд особенностей, связанных с необходимостью обеспечения справедливости обслуживания, равной доступности услуг для различных территорий и минимизации социальных рисков. В отличие от коммерческих систем, где главным критерием выступает экономическая эффективность, в социальной логистике необходимо учитывать интересы населения и стремиться к максимально равномерному распределению нагрузки между центрами обслуживания.

Современные методы вычислительной оптимизации позволяют существенно повысить эффективность процессов распределения ресурсов. Особый интерес представляют алгоритмы, сочетающие высокую скорость работы и способность находить качественные решения в условиях большой размерности задачи. К таким методам относятся жадные алгоритмы, методы кластеризации и генетические алгоритмы.

В связи с этим разработка программного комплекса для моделирования процессов распределения социальных ресурсов и проведение сравнительного анализа различных алгоритмических подходов является актуальной научно-

практической задачей, имеющей значение для развития информационных технологий в социальной сфере.

Цель и задачи исследования

Целью выпускной квалификационной работы является разработка программного комплекса для сравнительного анализа алгоритмов распределения социальных ресурсов в городской среде и исследование эффективности различных методов назначения заявок центрам обслуживания.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- изучить теоретические основы организации процессов распределения ресурсов в социальной сфере;
- выполнить формализацию задачи назначения заявок центрам обслуживания;
- провести анализ существующих алгоритмов решения задач распределения;
- разработать программный комплекс моделирования процессов распределения на языке Python;
- реализовать жадный алгоритм распределения заявок;
- реализовать кластерный алгоритм назначения заявок;
- разработать базовый генетический алгоритм распределения ресурсов;
- реализовать улучшенный генетический алгоритм с локальной оптимизацией;
- провести вычислительные эксперименты на моделях городского пространства различного масштаба;
- выполнить сравнительный анализ эффективности реализованных алгоритмов.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования являются процессы распределения социальных ресурсов в городской среде.

Предметом исследования являются алгоритмы назначения заявок центрам обслуживания населения и методы оптимизации распределения ресурсов.

Методы исследования

В работе использованы методы математического моделирования, теория алгоритмов, методы кластеризации данных, эволюционные алгоритмы оптимизации, статистический анализ и вычислительный эксперимент.

Практическая значимость работы

Практическая значимость исследования заключается в разработке программного комплекса, позволяющего моделировать процессы распределения социальных услуг, анализировать эффективность различных алгоритмов и поддерживать принятие управленческих решений в деятельности муниципальных служб и организаций социальной поддержки населения.

Структура работы

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованных источников и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава «**Теоретико-методологические основы алгоритмизации в социальной логистике**» посвящена исследованию теоретических аспектов распределения ресурсов в социальной сфере и анализу существующих методов решения задач назначения.

В работе рассмотрено понятие социальной логистики как совокупности методов и средств управления процессами предоставления социальных услуг населению. Показано, что эффективность функционирования системы социального обслуживания напрямую зависит от качества распределения имеющихся ресурсов между получателями услуг.

Выполнена формализация задачи распределения социальных ресурсов. Рассматривается множество центров обслуживания и множество заявок населения. Необходимо определить такое распределение заявок между центрами, которое обеспечивает минимальные транспортные затраты и равномерную загрузку исполнителей.

Проведён анализ существующих подходов к решению задач назначения и распределения ресурсов. Рассмотрены классические методы исследования операций, жадные алгоритмы, кластерные методы группировки объектов и современные метаэвристические алгоритмы оптимизации.

Особое внимание уделено анализу вычислительной сложности рассматриваемых задач. Показано, что при увеличении числа объектов задача распределения быстро усложняется и требует применения специализированных алгоритмов поиска решений.

На основании проведённого анализа сделан вывод о целесообразности исследования нескольких алгоритмических подходов, отличающихся по скорости работы, качеству решений и требованиям к вычислительным ресурсам.

Таким образом, первая глава сформировала теоретическую основу исследования и позволила определить алгоритмы, наиболее перспективные для практической реализации и экспериментального анализа.

Во второй главе **«Разработка программного комплекса и алгоритмов распределения»** представлен разработанный программный комплекс, предназначенный для моделирования процессов распределения социальных ресурсов и проведения вычислительных экспериментов.

В качестве языка программирования выбран Python, обладающий развитым инструментарием для обработки данных, математического моделирования и визуализации результатов.

Разработанная архитектура программного комплекса включает модули генерации тестовых данных, реализации алгоритмов распределения, вычисления статистических показателей и анализа результатов экспериментов.

Первым реализованным методом является жадный алгоритм распределения заявок. Принцип его работы основан на последовательном выборе ближайших доступных заявок для каждого центра обслуживания. Для оценки расстояний используется метрика Манхэттенского расстояния. Основным преимуществом алгоритма является высокая скорость работы и

простота реализации. Недостатком метода является отсутствие механизма глобальной оптимизации, что может приводить к снижению качества итогового распределения.

Вторым реализованным методом является кластерный алгоритм. Его работа основана на последовательном формировании групп заявок вокруг центров обслуживания. Алгоритм обеспечивает пространственную компактность обслуживаемых территорий и позволяет уменьшить средние расстояния обслуживания. В отличие от жадного подхода кластеризация способствует более равномерному распределению нагрузки между центрами.

Следующим этапом разработки стала реализация базового генетического алгоритма. В его основе лежит эволюционный подход к поиску решений. Каждое распределение заявок рассматривается как отдельная особь популяции. В процессе работы алгоритма используются операции отбора, скрещивания и мутации, обеспечивающие постепенное улучшение качества решений.

Для оценки качества решений разработана функция приспособленности, учитывающая суммарное расстояние обслуживания. По мере смены поколений алгоритм стремится находить распределения с меньшими затратами на обслуживание.

Для повышения эффективности генетического поиска разработан улучшенный генетический алгоритм. Его особенностью является использование многофакторной функции приспособленности, включающей несколько критериев качества распределения.

В состав функции приспособленности входят показатели суммарного расстояния обслуживания, максимальной удалённости заявок и равномерности распределения нагрузки между центрами обслуживания.

Дополнительно реализован механизм локального поиска, позволяющий улучшать найденные решения путём обмена отдельными заявками между центрами обслуживания. Использование локальной оптимизации позволило значительно повысить качество распределения по сравнению с базовой генетической моделью.

В результате выполненной разработки создан единый программный комплекс, обеспечивающий корректное сравнение различных алгоритмов в одинаковых условиях проведения экспериментов.

Важной особенностью программного комплекса является использование унифицированного интерфейса взаимодействия с алгоритмами. Независимо от внутренней логики работы каждый алгоритм получает одинаковые входные данные и возвращает единый набор показателей эффективности. Такой подход обеспечивает объективность сравнительного анализа и исключает влияние программной реализации на результаты исследования.

Значительное внимание уделено разработке улучшенного генетического алгоритма. В отличие от классической реализации, использующей только показатель суммарного расстояния, предложенная модель учитывает одновременно несколько критериев качества распределения. В функцию приспособленности включены показатели суммарного расстояния обслуживания, максимального расстояния до отдельной заявки и равномерности распределения нагрузки. Использование многофакторной оценки позволяет формировать решения, более соответствующие требованиям социальной логистики.

Для повышения качества решений в алгоритм был дополнительно включён механизм локальной оптимизации. После выполнения генетических операторов производится анализ возможных перестановок заявок между центрами обслуживания. Если обмен приводит к уменьшению общей стоимости решения, изменения сохраняются. Подобный подход позволяет сочетать преимущества глобального генетического поиска и локальной оптимизации, характерной для методов маршрутизации.

Третья глава **«Экспериментальное исследование эффективности алгоритмов»** посвящена проведению вычислительных экспериментов и сравнительному анализу эффективности разработанных алгоритмов.

Для проведения исследований была разработана система генерации искусственных данных, моделирующих структуру городского пространства.

Центры обслуживания и заявки размещались на координатной сетке, имитирующей территориальное расположение объектов городской инфраструктуры.

В ходе экспериментов рассматривались модели различного масштаба, отличающиеся количеством центров обслуживания и числом заявок. Это позволило оценить устойчивость алгоритмов при увеличении размерности задачи.

Для сравнения алгоритмов использовались следующие показатели:

- суммарное расстояние обслуживания;
- среднее расстояние обслуживания;
- максимальное расстояние до обслуживаемой заявки;
- стандартное отклонение расстояний;
- время выполнения алгоритма.

Полученные результаты показали, что жадный алгоритм обеспечивает наименьшее время вычислений и способен эффективно работать даже на крупных наборах данных. Однако качество распределения при этом оказывается ниже по сравнению с другими исследуемыми методами.

Кластерный алгоритм продемонстрировал наиболее сбалансированные результаты. По большинству показателей качества он превосходил жадный алгоритм, сохраняя при этом высокую вычислительную эффективность. Формируемые алгоритмом зоны обслуживания характеризовались высокой компактностью и равномерностью распределения заявок.

Базовый генетический алгоритм показал относительно низкую эффективность. Несмотря на использование механизмов эволюционного поиска, качество получаемых решений оказалось недостаточно высоким, а время выполнения существенно превышало показатели детерминированных методов.

Наиболее качественные решения были получены при использовании улучшенного генетического алгоритма. Благодаря многофакторной функции приспособленности и механизму локальной оптимизации удалось существенно

уменьшить суммарное расстояние обслуживания и повысить равномерность распределения нагрузки между центрами.

Результаты вычислительных экспериментов позволили выявить существенные различия между исследуемыми алгоритмами. На малых наборах данных улучшенный генетический алгоритм продемонстрировал наилучшие показатели качества распределения. Для задачи размером 10 центров обслуживания и 60 заявок суммарное расстояние составило 3500 единиц, что оказалось ниже результатов жадного и кластерного алгоритмов.

Однако при увеличении размерности задачи эффективность генетического подхода начала снижаться. Для набора данных размером 500 центров обслуживания и 3000 заявок суммарное расстояние улучшенного генетического алгоритма достигло 259376 единиц, тогда как кластерный алгоритм обеспечил результат 30946 единиц. Это свидетельствует о том, что использование механизмов пространственной группировки объектов оказывает существенно большее влияние на качество распределения, чем применение случайного эволюционного поиска.

Особый интерес представляет анализ временных характеристик алгоритмов. Установлено, что жадный алгоритм сохраняет высокую производительность даже при значительном увеличении объёма данных. Для самой крупной тестовой выборки время его выполнения составило менее одной секунды. Кластерный алгоритм также продемонстрировал высокую скорость работы, затратив около 2,7 секунды на обработку набора данных максимального размера.

Наиболее ресурсоёмкими оказались генетические алгоритмы. Время работы улучшенного генетического алгоритма при размере задачи $n=500$ превысило 245 секунд. Несмотря на улучшение качества решений по сравнению с базовой версией, столь значительные вычислительные затраты ограничивают возможности практического применения данного подхода в системах оперативного управления социальными ресурсами.

Дополнительный анализ показателей стандартного отклонения показал, что кластерный алгоритм обеспечивает наиболее равномерное распределение нагрузки между центрами обслуживания. Это имеет важное практическое значение для социальной сферы, поскольку способствует снижению территориального неравенства и обеспечивает более справедливое предоставление услуг населению независимо от района проживания.

Вместе с тем достигнутое улучшение качества сопровождалось значительным увеличением времени вычислений. Это ограничивает возможности практического применения алгоритма в задачах, требующих оперативного принятия решений.

Отдельное внимание уделялось оценке справедливости распределения ресурсов. Анализ показал, что кластерный алгоритм обеспечивает наиболее равномерное обслуживание различных территорий и минимизирует различия в доступности социальных услуг.

Проведённые эксперименты подтвердили работоспособность разработанного программного комплекса и позволили определить области наиболее эффективного применения каждого алгоритма.

Проведённое экспериментальное исследование позволяет сделать вывод о том, что эффективность алгоритмов распределения ресурсов определяется не только используемым методом оптимизации, но и особенностями структуры исходных данных. В задачах социальной логистики пространственное расположение объектов играет ключевую роль, поскольку именно расстояния между центрами обслуживания и получателями услуг формируют основную часть организационных и транспортных затрат.

Полученные результаты подтверждают, что применение алгоритмов, учитывающих пространственную структуру распределяемых объектов, позволяет значительно повысить качество принимаемых решений. Наиболее устойчивые результаты были получены при использовании кластерного подхода, который обеспечивает формирование компактных зон обслуживания и

способствует более равномерному распределению нагрузки между центрами социальной поддержки.

В ходе исследования также была подтверждена важность использования комплексных критериев оценки качества распределения. Анализ показал, что минимизация только суммарного расстояния не всегда приводит к социально справедливому результату. В ряде случаев снижение общих затрат сопровождалось увеличением удалённости отдельных заявок от назначённых центров обслуживания. По этой причине в работе дополнительно использовались показатели максимального расстояния и стандартного отклонения, позволяющие оценивать равномерность обслуживания населения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была исследована задача распределения социальных ресурсов в городской среде и разработан программный комплекс для сравнительного анализа различных алгоритмов назначения заявок центрам обслуживания.

В первой главе рассмотрены теоретические основы социальной логистики, выполнена формализация задачи распределения ресурсов и проведён анализ существующих методов оптимизации.

Во второй главе разработан программный комплекс на языке Python, реализующий жадный алгоритм, кластерный алгоритм, базовый генетический алгоритм и улучшенный генетический алгоритм с локальной оптимизацией. Для всех методов создан единый интерфейс проведения вычислительных экспериментов.

В третьей главе выполнено экспериментальное исследование эффективности реализованных алгоритмов на моделях городского пространства различного масштаба.

Результаты исследования показали, что жадный алгоритм обеспечивает максимальную скорость выполнения вычислений, однако уступает другим методам по качеству распределения.

Кластерный алгоритм продемонстрировал наилучшее соотношение качества решения и вычислительной эффективности, обеспечивая компактное распределение заявок и равномерную загрузку центров обслуживания.

Базовый генетический алгоритм показал низкую эффективность как по качеству решений, так и по времени выполнения.

Улучшенный генетический алгоритм существенно повысил качество распределения ресурсов по сравнению с базовой версией, однако потребовал значительно больших вычислительных затрат.

Таким образом, поставленная цель исследования достигнута, а все задачи работы выполнены в полном объеме.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанного программного комплекса для моделирования задач распределения социальных услуг, планирования деятельности муниципальных служб и поддержки принятия управленческих решений.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка гибридных алгоритмов оптимизации, использование методов роя частиц, муравьиных алгоритмов и технологий машинного обучения для прогнозирования пространственного распределения заявок и повышения эффективности обслуживания населения.