Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.023

Новыш
Ирина Михайловна

АЛГОРИТМ РАЗМЕЩЕНИЯ КАМЕР ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИЯХ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

АВТОРЕФЕРАТ
по специальности 7-06 0612 03 – Системы управления информацией

Научный руководитель
Герман Ю.О.
к.т.н., доцент

Минск 2026

ВВЕДЕНИЕ

В условиях стремительного развития технологий безопасности и автоматизации наблюдения задача эффективного размещения камер видеонаблюдения приобретает всё большую актуальность. Современные системы видеонаблюдения являются неотъемлемой частью интеллектуальных зданий, объектов инфраструктуры, торговых центров, образовательных учреждений и жилых комплексов. Их основная цель – обеспечение непрерывного визуального контроля за происходящим в заданной зоне, своевременное обнаружение нарушений и повышение уровня безопасности. Однако эффективность таких систем напрямую зависит от корректного выбора мест установки камер, особенно в сложных архитектурных условиях, где присутствуют перегородки, ограничивающие обзор.

Размещение камер видеонаблюдения в помещениях с перегородками представляет собой нетривиальную задачу, требующую учёта множества факторов: геометрии пространства, характеристик камер, наличия препятствий, требований к покрытию и минимизации числа устройств. В отличие от открытых пространств, где задача сводится к равномерному распределению точек наблюдения, помещения с перегородками требуют более сложного подхода, включающего моделирование видимости, оптимизацию конфигурации системы. Это делает задачу актуальной как с теоретической, так и с прикладной точки зрения.

С математической точки зрения задача размещения камер может быть сведена к задаче покрытия множества, где каждый элемент множества представляет собой точку пространства, требующую наблюдения, а каждая камера – подмножество этих точек, находящихся в её зоне видимости. В условиях наличия перегородок зона видимости камеры становится не просто функцией её положения и угла обзора, но и зависит от топологии помещения, что требует использования методов вычислительной геометрии, графов видимости. Таким образом, задача приобретает комбинаторный характер и может быть формализована как задача оптимизации с ограничениями.

Существуют различные подходы к решению данной задачи. Они включают жадные алгоритмы, эвристики, методы полного перебора и динамического программирования, подходы, которые используют алгоритмы на основе графов, методы линейного и целочисленного программирования, а также эволюционные алгоритмы, такие как

генетические, муравьиные и алгоритмы роя частиц. Каждый из этих методов обладает своими преимуществами и ограничениями [1-А].

Практическая значимость задачи размещения камер видеонаблюдения в помещениях с перегородками обусловлена необходимостью обеспечения безопасности при минимальных затратах. В условиях ограниченного бюджета важно не только достичь полного покрытия пространства, но и минимизировать количество используемых камер, затраты на их установку и обслуживание. Кроме того, в ряде случаев требуется соблюдение нормативных требований, например, в образовательных учреждениях или на объектах с повышенными требованиями к конфиденциальности. Это накладывает дополнительные ограничения на допустимые зоны наблюдения и требует адаптации алгоритмов к конкретным условиям.

В рамках работы предполагается формализовать задачу, проанализировать существующие подходы и провести их экспериментальное сравнение. Особое внимание будет уделено вопросам моделирования зон видимости. Результаты работы могут быть использованы при проектировании систем видеонаблюдения, автоматизации охранных процессов и создании интеллектуальных систем мониторинга.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Задачи о покрытии представляют собой одно из ключевых направлений комбинаторной оптимизации и дискретной математики. Суть этих задач заключается в нахождении минимального набора объектов или ресурсов, которые обеспечивают покрытие всего множества элементов. В прикладных задачах подобные модели часто встречаются в самых различных областях науки и техники: компьютерных сетях (оптимизация расположения маршрутизаторов), биоинформатике (анализ геномов и белковых взаимодействий), логистике (минимизация числа складов для обеспечения поставок), разработке программного обеспечения (оптимизация тестирования систем) и т.д. Это делает их предметом активного изучения в академической и прикладной среде.

Задача размещения камер видеонаблюдения также относится к задаче о покрытии. Ее суть состоит в том, чтобы разместить минимальное количество камер, обеспечив при этом максимальное покрытие площади, подлежащей контролю. Эта задача чрезвычайно актуальна в условиях растущих требований к безопасности и необходимости оптимизации. Актуальность задачи размещения камер видеонаблюдения в помещениях с перегородками также обусловлена стремительным развитием технологий «умного дома» и повышенными требованиями к безопасности и комфорту современного жилья. В условиях сложной планировки помещений, где перегородки создают зоны ограниченной видимости, традиционные методы установки камер часто оказываются неэффективными. Оптимизация их расположения позволяет минимизировать «слепые зоны», обеспечить непрерывный контроль за пространством и повысить уровень автоматизации систем охраны. Камеры видеонаблюдения устанавливаются в аэропортах, на железнодорожных вокзалах, в торговых центрах, на промышленных объектах и в жилых районах. Их грамотное расположение позволяет не только снизить затраты на оборудование, но и повысить уровень безопасности за счет полного и непрерывного контроля.

Важность задачи объясняется тем, что количество доступных камер зачастую ограничено бюджетом или техническими возможностями. Поэтому необходимо выбрать такие позиции установки, которые дадут наибольший эффект с точки зрения охвата наблюдаемой территории. Это позволяет решать проблемы оптимального использования ресурсов в сфере безопасности, а также делает задачу интересной для исследователей в области алгоритмов и комбинаторной оптимизации.

Задачи покрытия в общем случае относятся к *NP*-полным, что означает невозможность построения полиномиального алгоритма, способного всегда находить оптимальное решение. Именно эта особенность стимулировала развитие различных подходов к решению: от строгих математических методов, гарантирующих точность, до эвристических алгоритмов, которые ищут «достаточно хорошие» решения за приемлемое время. Исследование методов решения подобных задач представляет собой важный этап на пути к пониманию природы вычислительной сложности и разработке эффективных алгоритмических стратегий.

Объектом исследования является проблема размещения камер видеонаблюдения в помещениях сложной конфигурации.

Предметом исследования являются задачи и методы комбинаторной и дискретной оптимизации.

В рамках данной работы будет рассмотрен широкий спектр существующих методов решения задач о покрытии. Прежде всего, внимание будет уделено алгоритмам, которые позволяют находить оптимальные решения для практических задач.

Целью данной работы является изучение, сравнительный анализ, разработка и тестирование алгоритма решения задачи о размещении камер видеонаблюдения в помещениях сложной конфигурации.

Для достижения поставленной цели в работе предполагается решение следующих **задач**:

– анализ существующих методов и подходов к задаче размещения камер видеонаблюдения, включая точные и эвристические алгоритмы оптимизации;

– формализация математической модели задачи размещения камер с учетом геометрии помещений, перегородок и дальности действия камер;

– адаптация жадного алгоритма, алгоритма муравьиной колонии, метода имитации отжига, генетического алгоритма и метода групповых резолюций для решения поставленной задачи;

– программная реализация разработанных алгоритмов и обеспечение корректности их функционирования;

– проведение вычислительных экспериментов и сравнительного анализа эффективности алгоритмов по критериям площади покрытия, количества камер и вычислительных затрат.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая формулировка задачи размещения камер видеонаблюдения в помещениях сложной конфигурации.

2. Сравнительный анализ, результаты и выводы на основании экспериментов с различными алгоритмами и параметрами модели задачи о покрытии.

3. Программная реализация оптимального метода размещения камер наблюдения.

Тема диссертационной работы соответствует перечню приоритетных направлений, определенных Указом Президента Республики Беларусь 01.04.2025 (№135) «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026-2030 годы» (направление «Цифровые технологии и искусственный интеллект»).

Основные положения и результаты исследований обсуждались на различных конференциях: 60-й научной конференции аспирантов, студентов и учащихся БГУИР (Минск, 2024); «Информационные технологии и системы 2025 (ITS 2025)» (20 ноября 2025 года, Минск, БГУИР).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертационная работа посвящена задаче оптимального размещения камер видеонаблюдения в помещениях сложной конфигурации с целью обеспечения максимального покрытия наблюдаемой площади при минимальном количестве устройств. Задача рассматривается как задача комбинаторной оптимизации и формализуется в виде задачи покрытия множества с учётом геометрии помещения, ограничений видимости и наличия перегородок.

В первой главе проводится теоретический анализ задачи размещения камер видеонаблюдения. Рассматриваются основные понятия комбинаторных задач, задачи покрытия и вопросы вычислительной сложности. Показано, что задача минимального покрытия относится к классу *NP*-полных, что обуславливает необходимость использования приближённых и эвристических методов. Выполняется формализация задачи в матричном виде, анализируются существующие программные средства и методы, формулируется постановка задачи исследования.

Во второй главе рассматриваются основные методы решения задач покрытия, применимые к задаче размещения камер видеонаблюдения. Анализируются жадный алгоритм, генетический алгоритм, алгоритм муравьиной колонии, метод имитации отжига и метод групповых резолюций. Описываются принципы работы алгоритмов, их преимущества и ограничения с точки зрения качества решений, вычислительных затрат и устойчивости к усложнению структуры помещения.

В третьей главе приводятся результаты вычислительных экспериментов и сравнительный анализ эффективности рассмотренных алгоритмов. Оценка проводится по критериям процента покрытия, количества камер и времени выполнения. Показано, что жадный алгоритм наиболее эффективен при решении задач малой размерности, обеспечивая минимальное время вычислений, тогда как метод имитации отжига демонстрирует лучшую масштабируемость и устойчивость при решении задач среднего и большого размера. Генетический алгоритм и метод групповых резолюций обеспечивают стабильное качество покрытия при больших вычислительных затратах, а алгоритм муравьиной колонии ориентирован на минимизацию числа камер, что в ряде случаев снижает полноту покрытия.

В четвёртой главе описана программная реализация разработанного приложения для размещения камер видеонаблюдения. Обоснован выбор инструментов разработки, приведена архитектура приложения и модель представления помещения в виде дискретной сетки. Рассмотрены особенности реализации алгоритмов, учёт перегородок как препятствий видимости и средства визуализации результатов. Разработанное программное средство обеспечивает автоматическое формирование и сравнение различных вариантов размещения камер.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования была решена задача анализа и реализации алгоритмов размещения минимального количества камер видеонаблюдения в помещениях с перегородками для обеспечения максимального покрытия наблюдаемой площади. Поставленная цель была достигнута за счёт последовательного решения теоретических, алгоритмических и прикладных задач.

В рамках исследования задача размещения камер была формализована как задача покрытия множества с использованием матричного представления, что позволило унифицировать описание помещения, зон видимости камер. Анализ вычислительной сложности показал принадлежность рассматриваемой задачи к классу *NP*-полных, что исключает применение универсальных точных методов при решении задач практического масштаба и обосновывает необходимость использования эвристических алгоритмов.

На основе анализа существующих алгоритмов и программных решений в области проектирования систем видеонаблюдения была подтверждена ограниченность их возможностей. Это послужило основанием для реализации таких алгоритмов, как метод имитации отжига, генетический алгоритм, алгоритм муравьиной колонии и метод групповых резолюций.

В ходе вычислительных экспериментов, проведённых на матрицах различных конфигураций, размеров и степени сложности геометрии помещений, установлено, что жадный алгоритм и метод имитации отжига являются наиболее эффективными по временным затратам. Жадный алгоритм показал высокую эффективность при решении задач малого размера, обеспечивая полное покрытие при минимальном времени выполнения. Метод имитации отжига продемонстрировал наилучшую масштабируемость и устойчивость к усложнению структуры помещений, что позволяет рекомендовать его для использования при проектировании систем видеонаблюдения средних и крупных объектов.

Генетический алгоритм и метод групповых резолюций обеспечивают стабильное качество покрытия, однако характеризуются повышенными вычислительными затратами, что ограничивает их применение в задачах с жёсткими требованиями ко времени расчёта. Алгоритм муравьиной колонии в ряде случаев демонстрирует снижение процента покрытия, что связано с его ориентацией на минимизацию количества камер, а не на максимизацию площади наблюдения.

В рамках работы было разработано программное средство, обеспечивающее автоматическое размещение камер видеонаблюдения, визуализацию зон покрытия и проведение сравнительного анализа алгоритмов. Проведённые эксперименты подтверждают корректность реализованных алгоритмов и обоснованность полученных выводов.

Полученные результаты позволяют рекомендовать жадный алгоритм и метод имитации отжига как наиболее эффективные по временным затратам и качеству решений для задач размещения камер видеонаблюдения в помещениях сложной конфигурации. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой гибридных алгоритмов, учётом дополнительных технических ограничений камер и расширением модели на трёхмерные пространства.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Новыш, И. М. Методы решения задачи размещения камер наблюдения в помещениях с перегородками / И. М. Новыш // Информационные технологии и управление : материалы 60-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–26 апреля 2024 года / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2024. – С. 26.

2-А. Новыш, И. М. Анализ методов решения задачи размещения камер наблюдения в помещениях с перегородками / И. М. Новыш, Ю. О. Герман // Информационные технологии и системы 2025 (ИТС 2025) : материалы междунар. науч. конф., Минск, 19 ноября 2025 / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2025. – С. 221–222.