

УДК 528.44, 004.9

UDC 528.44, 004.9

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы экономики (физико-математические науки, экономические науки)

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods of economics (physical and mathematical sciences, economic sciences)

МУЛЬТИКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ СТАНЦИЙ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА

MULTI-CRITERIA APPROACH TO SELECTING SAMPLING PARAMETERS FOR OPTIMAL PLACEMENT OF TERRESTRIAL LASER SCANNER STATIONS

Гура Дмитрий Андреевич
Кандидат технических наук, доцент
SPIN-код: 3597-2147
ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия
ФГБОУ ВО “Кубанский государственный технологический университет”, Краснодар, Россия

Gura Dmitry Andreevich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
SPIN-code: 3597-2147
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Дьяченко Роман Александрович
Доктор технических наук, профессор
SPIN-код: 4138-8408
ФГБОУ ВО “Кубанский государственный технологический университет”, Краснодар, Россия
Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) Москва, Россия

Dyachenko Roman Alexandrovich
Doctor of Technical Sciences, Professor
SPIN-code: 4138-8408
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University) Moscow, Russia

Ярутин Сергей Алексеевич
Магистрант
SPIN-код: 3089-7433
yarutinsa@yandex.ru
ФГБОУ ВО “Кубанский государственный технологический университет”, Краснодар, Россия

Yarutin Sergey Alekseevich
Master's student
SPIN-code: 3089-7433
yarutinsa@yandex.ru
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Тихонов Тимофей Андреевич
Магистрант
SPIN-код: 3983-5601
timka2015@yandex.ru
ФГБОУ ВО “Кубанский государственный технологический университет”, Краснодар, Россия

Tikhonov Timofey Andreevich
Master's student
SPIN-code: 3983-5601
timka2015@yandex.ru
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

В работе рассматривается задача обоснования оптимального шага дискретизации сцены при размещении точек стояния наземного лазерного сканера (TLS) в задачах трёхмерного моделирования и кадастровой съёмки. Объектом исследования выступают сцены с различной плотностью препятствий, моделируемые на регулярной сетке. Методология основывается на численном эксперименте и формализации задачи покрытия как задачи целочисленного линейного программирования (ILP). В качестве основных метрик использованы полнота покрытия, количество необходимых установок сканера и время решения задачи. Проведён мультикритериальный анализ влияния параметров

The article considers the problem of substantiating the optimal sampling step of a scene when placing the standing points of a ground-based laser scanner (TLS) in the tasks of three-dimensional modeling and cadastral surveying. The object of the study is scenes with different densities of obstacles, modeled on a regular grid. The methodology is based on numerical experiment and formalization of the coverage problem as an integer linear programming (ILP) problem. The main metrics used are the completeness of coverage, the number of necessary scanner installations, and the time required to solve the problem. A multicriteria analysis of the effect of the sampling parameters on these metrics has been carried out. The results show that with a sampling step of 1.0–1.5 m, an optimal

дискретизации на указанные метрики. Результаты показывают, что при шаге дискретизации 1,0–1,5 м достигается оптимальный баланс между полнотой охвата, числом точек стояния сканера и вычислительными затратами. Установлено, что плотность препятствий оказывает существенное влияние на полноту покрытия и сложность задачи. Предложен подход к выбору шага дискретизации с учётом геометрических особенностей сцены. Полученные результаты могут быть использованы при планировании TLS-съёмки в кадастровых и инженерно-геодезических задачах, а также при разработке систем автоматизации размещения точек стояния лазерного сканера. Кроме того, предложенные методы могут быть адаптированы для оптимизации пространственной съёмки в агропромышленном комплексе (АПК) — например, при инвентаризации посевных площадей, мониторинге мелиоративных объектов и учёте сельскохозяйственной инфраструктуры

Ключевые слова: ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ, ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ, TLS, ДИСКРЕТИЗАЦИЯ СЦЕНЫ, ПОЛНОТА ПОКРЫТИЯ, ЦЕЛОЧИСЛЕННОЕ ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ, МОДЕЛЬ ВИДИМОСТИ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СЛОЖНОСТЬ, КАДАСТРОВАЯ СЪЁМКА, МУЛЬТИКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, КАДАСТР

balance is achieved between the completeness of coverage, the number of scanner standpoints, and computational costs. It is established that the density of obstacles has a significant impact on the completeness of the coverage and the complexity of the task. An approach to choosing the sampling step is proposed, taking into account the geometric features of the scene. The results obtained can be used in planning TLS surveys in cadastral and geodetic engineering tasks, as well as in the development of automation systems for the placement of laser scanner points. In addition, the proposed methods can be adapted to optimize spatial surveying in the agro—industrial complex (AIC), for example, when taking inventory of acreage, monitoring land reclamation facilities and accounting for agricultural infrastructure

Keywords: OPTIMAL PLACEMENT, LASER SCANNING, TLS, SCENE SAMPLING, COMPLETENESS OF COVERAGE, INTEGER LINEAR PROGRAMMING, VISIBILITY MODEL, COMPUTATIONAL COMPLEXITY, CADASTRAL SURVEY, MULTICRITERIA ANALYSIS, CADASTRE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-211-038>

1. Введение.

Современные методы лазерного сканирования находят широкое применение в задачах трёхмерного моделирования объектов недвижимости, архитектурного наследия, инфраструктурных объектов и территориального планирования. Особенно важную роль TLS-сканирование играет в сфере кадастровых работ, где требуется высокая точность и полнота пространственного описания объектов для целей учёта, мониторинга и правового обеспечения. Одной из ключевых задач в этом контексте является оптимальное размещение точек стояния лазерного сканера (TLS) для обеспечения полной реконструкции сцены при минимальных временных и вычислительных издержках [1].

В условиях сложной геометрии реальных объектов, характерной, например, для плотной городской застройки, промышленных зон и

<http://ej.kubagro.ru/2025/07/pdf/38.pdf>

частных участков, наличие препятствий существенно влияет на зоны видимости сканера и, соответственно, на полноту охвата съёмки. Это особенно критично при выполнении кадастровых работ, где неполнота данных может привести к неточным определению границ, площади или формы объекта недвижимости [2]. В то же время повышение пространственной детализации требует использования более мелкой дискретизации сцены, что увеличивает объём расчётов и продолжительность съёмки, что не всегда допустимо при массовых кадастровых обследованиях.

В связи с этим возникает необходимость в систематическом анализе взаимосвязи между шагом дискретизации, полнотой покрытия и вычислительными затратами при планировании TLS-съёмки. Особенно актуальной такая задача становится в свете цифровизации кадастровой деятельности, развития концепции «умного» кадастра и внедрения пространственно-ориентированных сервисов.

Объектом исследования выступают сцены с различной плотностью препятствий, моделируемые в виде регулярной дискретизированной сетки, используемой при построении задачи размещения точек стояния TLS-сканера. Геометрические параметры таких сцен имитируют условия, характерные для кадастровых участков различного назначения и планировки — от открытых территорий до застроенных зон с высокой плотностью объектов.

Предметом исследования является математическая модель и вычислительный алгоритм размещения точек стояния TLS-сканера в условиях ограниченной видимости, обусловленной пространственными препятствиями и топологическими характеристиками сцены. Особое внимание уделяется параметрам дискретизации, структуре матрицы видимости и метрикам качества полученного покрытия. Также в рамках предмета исследования анализируется влияние геометрической сложности

сцены на эффективность работы оптимизационного алгоритма и полноту фиксации границ объектов недвижимости.

Методология исследования будет основываться на численном моделировании, при котором предполагается использование задачи целочисленного линейного программирования (ILP) для определения оптимального размещения точек стояния TLS-сканера в сцене. Будет проведена серия вычислительных экспериментов с варьированием шага дискретизации, а также планируется количественная оценка трёх ключевых метрик: полноты покрытия, количества установок сканера и времени решения задачи. Формализованная постановка задачи и её поэтапное численное решение позволяют провести воспроизводимый анализ применимости подхода к кадастровым условиям различной сложности.

Цель настоящего исследования заключается в определении оптимального диапазона параметров дискретизации, обеспечивающих разумный баланс между полнотой покрытия сцены и вычислительными затратами при решении задачи размещения TLS. Дополнительно исследование направлено на выявление влияния геометрической сложности сцены на эффективность размещения и обоснование целесообразности внедрения адаптивной дискретизации. Такой подход позволяет учитывать неоднородность кадастровых участков и повышать экономическую эффективность съёмки без ущерба для точности.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке интеллектуальных систем автоматического планирования сканирования для задач трёхмерного моделирования, архитектурного мониторинга, инвентаризации объектов и кадастровой съёмки. Предложенные подходы, в перспективе, могут быть интегрированы в геоинформационные и кадастровые платформы, обеспечивая повышение точности, надёжности и автоматизации пространственного анализа в условиях реального

проектирования и землеустройства [3].

2. Материалы и методы

Постановка задачи

Задача оптимального размещения точек стояния TLS-сканера формализуется как задача целочисленного линейного программирования (ILP), аналогично подходам в задачах покрытия и размещения сенсоров [4].

Для однозначного определения математической модели вводится следующая терминология:

1. Позиция сканирования (или точка стояния) — это потенциальное местоположение, в котором может быть установлен TLS-сканер. С каждой такой позиции осуществляется круговое или секторное сканирование сцены в пределах фиксированного радиуса. Набор всех возможных точек стояния формируется на основе дискретизации рабочей области.

2. Ячейка покрытия (или дискретная точка интереса) — минимальный элемент поверхности, подлежащий сканированию. Объект или участок местности разбивается на множество таких ячеек, формирующих целевую зону покрытия. Каждая ячейка в последующем проверяется на наличие прямой видимости с потенциальных точек стояния.

3. Радиус охвата — предельное расстояние, на котором TLS способен зафиксировать поверхность с заданной точностью. Этот параметр определяется техническими характеристиками сканирующего оборудования и может варьироваться в зависимости от условий съёмки.

4. Препятствия — это элементы среды (например, здания, деревья, ограждения), которые либо физически блокируют размещение TLS-сканера, либо затеняют часть пространства, нарушая прямую

видимость между точкой сканирования и покрываемой ячейкой. Все препятствия моделируются как замкнутые геометрические области и учитываются при построении карты доступности и матрицы видимости.

5. Допустимая позиция установки — это такая потенциальная точка стояния TLS, которая не пересекается с препятствием и обеспечивает прямую видимость хотя бы к одной ячейке покрытия.

6. Матрица видимости — это бинарная структура, отображающая отношения видимости между всеми ячейками покрытия и всеми потенциальными точками сканирования. Если определённая ячейка доступна для обзора с конкретной позиции (то есть расстояние меньше радиуса охвата и нет препятствий на линии прямой видимости), соответствующий элемент матрицы получает значение «1», иначе — «0».

7. Бинарная переменная выбора — для каждой точки стояния определяется логическая переменная, отражающая факт включения данной позиции в итоговую схему размещения. Значение «1» означает выбор данной точки для установки TLS, значение «0» — её исключение из конфигурации.

Каждая потенциальная позиция сканера моделируется булевой переменной x_i , где значение 1 означает выбор этой позиции, в противном случае 0. Область сцены разбивается на дискретные элементы, и устанавливается матрица видимости:

$$f(x) = \min \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$$g_j(x) = \sum_{i \in V_j} x_i - 1 \geq 0, \quad \forall j \quad (2)$$

Метрики оценки:

- Полнота покрытия (C_{cov}) — отношение числа покрытых ячеек к общему числу.

- Число точек стояния сканера (N_{scan}) — значение целевой функции.
- Время решения (T_{solv}) — время, затраченное решателем (CBC).

Модель сцены и дискретизация

Используются три типа сцен: без препятствий; с низкой плотностью препятствий; с высокой плотностью. Сцены моделируются регулярной квадратной сеткой с шагом $d(\text{м})$, где $d \in \{0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5\}$, что позволяет варьировать число переменных и размер ILP-модели. Генерация препятствий выполняется автоматически путём случайного размещения прямоугольных блоков внутри области.

Такой подход соответствует практике дискретизации и адаптации ILP-моделей в задачах размещения сенсоров в беспроводных сетях и робототехнике.

Матрица видимости строится методом трассировки прямой видимости между каждой возможной позицией сканера и ячейкой сетки, аналогично подходу при планировании обзора с TLS-сцен. Применяются следующие допущения:

- двумерная горизонтальная проекция;
- бинарная видимость (0/1);
- полноугловой обзор (360°), с неограниченной дальностью в сцене;
- не учитываются отражения, частичное проникновение лучей, отражающая способность объектов.

Такой упрощённый подход упоминается в алгоритмах для построения visibility polygons и 0–1 ILP для планирования точек обзора, хотя и обладает известными ограничениями [5,6].

2. Результаты

Задача оптимального размещения точек стояния TLS-сканера формализуется как задача дискретной оптимизации, направленной на минимизацию числа сканирований при сохранении полной или максимально возможной площади покрытия. Для этого сцена представляется в виде набора дискретных элементов и потенциальных позиций сканера, каждая из которых может быть либо включена в итоговую конфигурацию, либо исключена. Общая схема сцены и взаимного расположения элементов показана на рисунке 1.

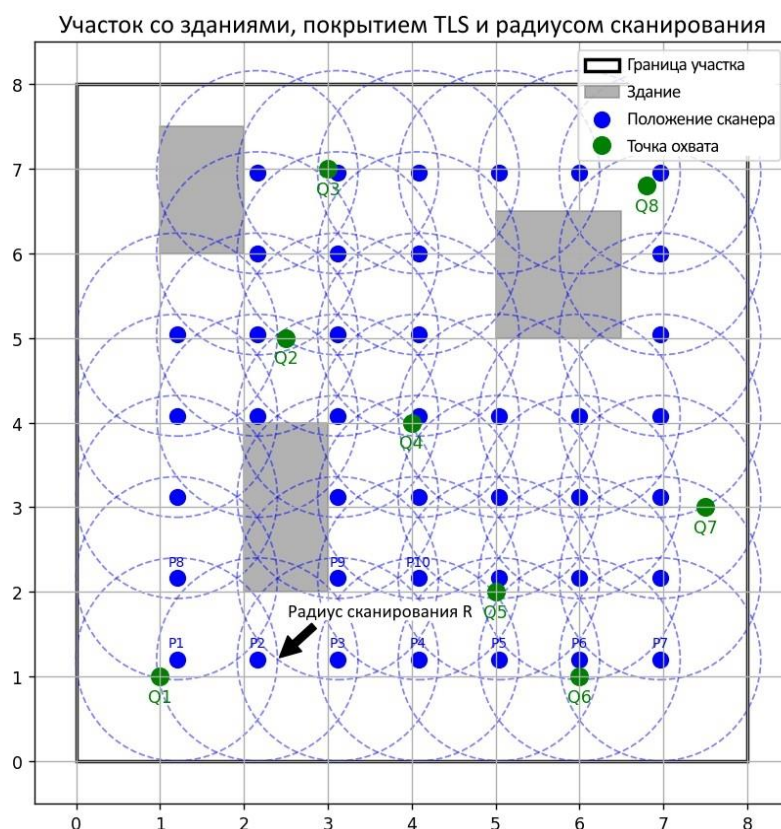


Рисунок 1. Схема сцены и взаимного расположения элементов

В рамках численного эксперимента была проведена оценка полноты покрытия рабочей области для различных шагов дискретизации сетки. В качестве основной метрики использовался показатель полноты покрытия C_{cov} , определяемый как отношение площади покрытия к общей площади

доступной для сканирования рабочей области. Результаты замеров представлены в таблице 1 и на графике (рисунок 2).

Таблица 1 - Полнота покрытия C_{cov} (%) при различных шагах дискретизации

Сцена	Шаг 0,5 м	Шаг 1,0 м	Шаг 1,5 м	Шаг 2,0 м	Шаг 2,5 м
Без препятствий	99,2 %	97,5 %	92,3 %	85,1 %	78,4 %
Малая плотность препятствий	98,7 %	96,2 %	90,1 %	82,6 %	75,3 %
Высокая плотность препятствий	98,1 %	94,5 %	87,8 %	79,0 %	70,5 %

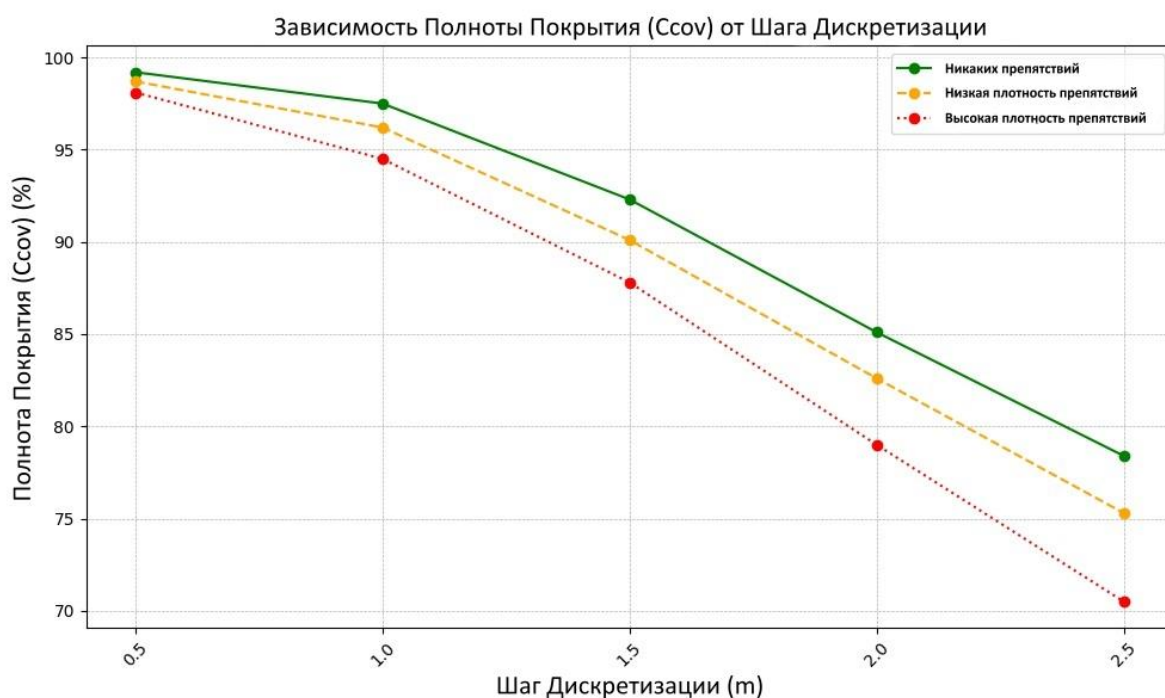


Рисунок 2. Зависимость метрики C_{cov} от шага дискретизации

На графике наблюдается монотонное убывание метрики C_{cov} по мере увеличения шага дискретизации. Особенно заметное падение полноты покрытия фиксируется при переходе от шага $d=1,5$ м к $d=2,5$ м, что подтверждает критичность выбора слишком грубой сетки при наличии большого количества препятствий.

Анализ экспериментальных данных показывает, что при увеличении шага дискретизации наблюдается систематическое снижение метрики C_{cov} . При мелкой сетке (шаг $d=0,5$ м) достигается максимальная полнота покрытия, превышающая 98 % для всех тестовых сцен. При увеличении шага до 2,5 м полнота покрытия снижается до 70–80 % в зависимости от плотности препятствий.

Влияние плотности препятствий проявляется в ускоренном падении метрики C_{cov} при увеличении шага. В сценах с высокой плотностью препятствий наблюдается более выраженная деградация покрытия при тех же параметрах дискретизации по сравнению со сценами без препятствий. Это связано с ростом количества "слепых" зон, недоступных для сканирования при грубой сетке.

Таким образом, результаты подтверждают существование отрицательной корреляции между шагом дискретизации и полнотой покрытия. Кроме того, выявлена высокая чувствительность качества покрытия к геометрическим особенностям сцены, в частности к количеству и распределению препятствий.

В рамках данного исследования была проведена оценка зависимости числа необходимых точек стояния сканера N_{scan} от выбранного шага дискретизации сетки. Результаты экспериментов представлены в табличной (таблица 2) и графической формах (рисунок 3) для всех тестовых сцен.

Анализ результатов показал следующие закономерности:

1. При уменьшении шага дискретизации наблюдается значительное увеличение количества точек стояния сканера N_{scan} , требуемых для полного покрытия рабочей области. Это связано с увеличением количества потенциальных позиций установки, многие из которых перекрывают одни и те же зоны покрытия, что приводит к росту избыточности решений.

2. При увеличении шага дискретизации количество точек стояния сканера уменьшается, однако это сопровождается ухудшением полноты покрытия.

3. На графиках зависимости N_{scan} от шага дискретизации прослеживается характерная нелинейность: в диапазоне малых шагов увеличение размера ячейки приводит к умеренному снижению N_{scan} , тогда как после достижения определённого порогового значения наблюдается резкий спад числа установок за счёт недопокрытия отдельных областей сцены.

Для обеспечения баланса между полнотой покрытия и числом установок рекомендуется выбирать шаг сетки, при котором достигается снижение избыточности без значимого ухудшения покрытия. В тестируемых сценах оптимальные значения лежали в диапазоне от 1.0 до 1.5 метров в зависимости от сложности геометрии и плотности препятствий.

Таблица 2 - Количество необходимых точек стояния сканера при различных шагах дискретизации.

Шаг дискретизации (м)	Простая сцена N_{scan}	Сложная сцена N_{scan}	Плотная сцена N_{scan}
0.5	120	175	230
1.0	65	95	130
1.5	42	60	85
2.0	30	43	60
2.5	22	32	45

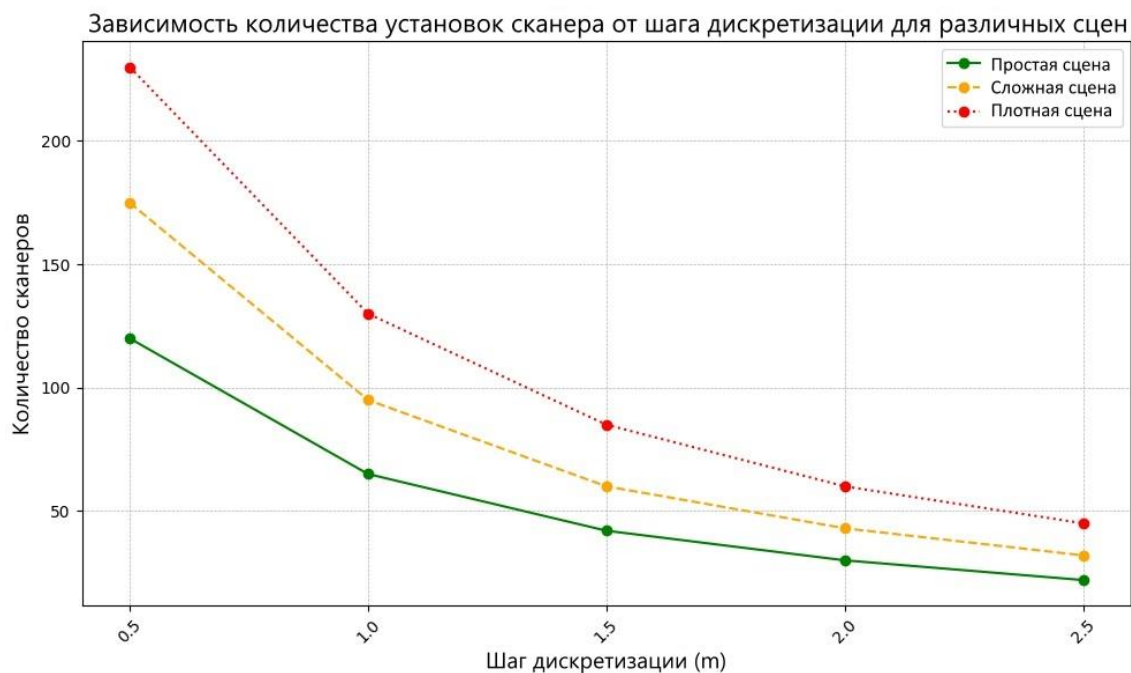


Рисунок 3. Зависимость количества установок сканера от шага дискретизации для различных сцен.

Для оценки вычислительных затрат при решении задачи размещения точек стояния сканера была проанализирована метрика времени решения T_{solv} . Исследование проведено для трёх типов сцен: без препятствий, с малой плотностью препятствий и с высокой плотностью препятствий.

Результаты показали экспоненциальный рост времени решения при уменьшении шага дискретизации сетки (рисунок 4). При уменьшении шага с 2.0 м до 0.5 м наблюдается увеличение времени решения на порядки, что обусловлено ростом числа переменных и ограничений в ILP-модели.

Наиболее низкие значения T_{solv} зафиксированы для сцены без препятствий, где структура сетки регулярная, а матрица видимости обладает высокой разреженностью. При добавлении препятствий, особенно при высокой их плотности, происходит существенное усложнение матрицы видимости, что приводит к росту времени решения. В частности, для сцены с высокой плотностью препятствий при шаге 0.5 м среднее время решения превысило 1800 секунд, в то время как для сцены

без препятствий при том же шаге оно не превышало 400 секунд. На рисунке 4 продемонстрирован график.

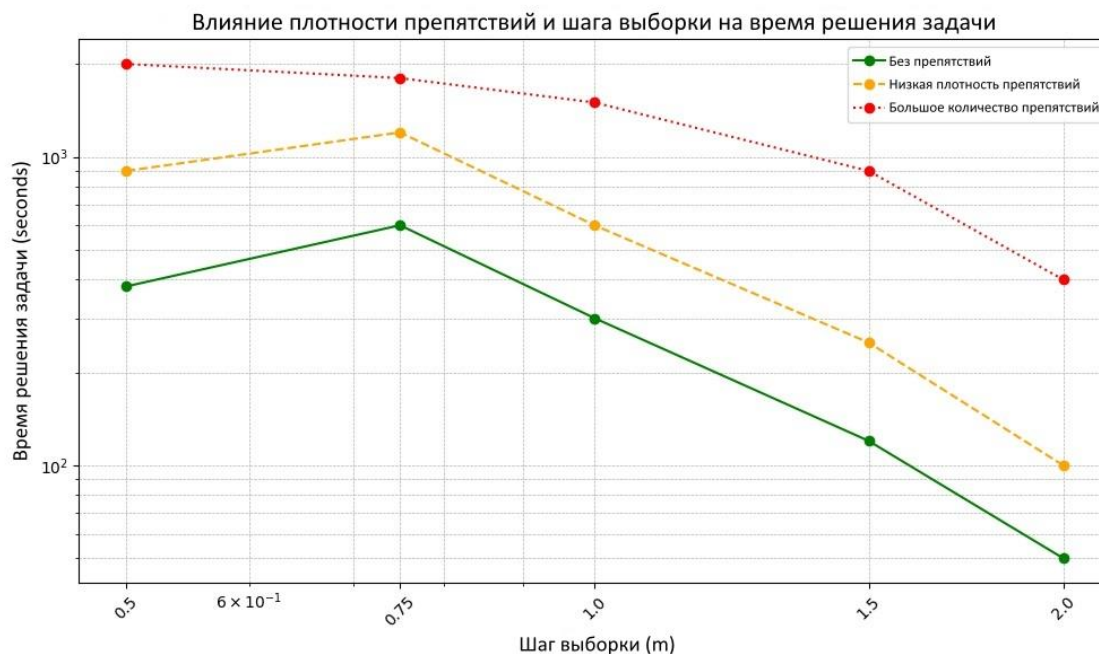


Рисунок 4. Зависимость плотности препятствий и шага дискретизации от времени решения задачи

Сравнительный анализ показал, что влияние препятствий становится более значительным при мелкой дискретизации, когда увеличивается как число потенциальных позиций точек стояния сканера, так и количество блокирующих связей между ячейками. Это требует дополнительных ресурсов для построения и решения ILP-задачи.

Таким образом, подтверждена экспоненциальная зависимость времени решения от уменьшения шага сетки, а также выявлено влияние плотности препятствий на увеличение вычислительных затрат. Эти результаты необходимо учитывать при выборе параметров дискретизации в практических приложениях.

4. Заключение

Настоящее исследование было направлено на количественную оценку влияния параметров дискретизации на эффективность размещения точек стояния TLS-сканера при решении задачи пространственного покрытия методом целочисленного линейного программирования. Проведённый мультикритериальный анализ, учитывающий полноту покрытия, количество установок и время вычислений, позволил выявить закономерности, определяющие компромисс между качеством решения и вычислительными затратами.

Установлено, что уменьшение шага дискретизации обеспечивает более высокую полноту покрытия рабочей области, но требует увеличения числа точек стояния сканера и существенно усложняет задачу в вычислительном плане. В то же время укрупнение сетки снижает вычислительную нагрузку, однако сопровождается потерей точности и полноты охвата, особенно в условиях высокой плотности препятствий. Оптимальным с точки зрения баланса между качеством и затратами является шаг в диапазоне от 1,0 до 1,5 метра. Эти значения обеспечивают достаточный уровень покрытия при умеренном количестве установок и приемлемом времени решения задачи.

Особое значение данные выводы приобретают в контексте геодезических и кадастровых задач, где точность пространственного моделирования объектов недвижимости напрямую влияет на юридическую достоверность данных и эффективность процедур государственного учёта. В кадастровой практике TLS всё чаще используется для построения трёхмерных моделей участков, выявления нарушений границ, оценки площади объектов, а также инвентаризации капитальных строений [7]. При этом выбор параметров дискретизации напрямую влияет на точность результатов съёмки, объём исходных данных и время обработки, что особенно критично при массовом сканировании территорий или при

работе в условиях плотной застройки.

В геодезии, где высокое качество пространственных данных является основой построения координатных сетей, цифровых моделей местности и контроля деформаций, эффективность размещения точек стояния сканера определяет как точность, так и воспроизводимость результатов. Полученные в исследовании зависимости между геометрической сложностью сцены и параметрами дискретизации могут быть использованы для предварительной оценки ресурсов и качества результата при планировании лазерного сканирования в рамках инженерно-геодезических изысканий.

Вместе с тем, работа имеет определённые ограничения. Используемые в эксперименте сцены обладают упрощённой структурой и не отражают всего разнообразия и сложности реальных объектов кадастрового или геодезического характера. Модель видимости также предполагает идеальные условия, не учитывающие отражающие свойства материалов, теневые зоны и углы падения лазерного луча. Для практического применения подхода требуется дальнейшая адаптация модели к условиям реальной съёмки.

Перспективным направлением развития метода является внедрение адаптивной дискретизации, позволяющей варьировать шаг сетки в зависимости от локальной плотности объектов. Это особенно актуально для территорий с неоднородной застройкой, характерной для кадастровых единиц. Кроме того, планируется развитие более реалистичной модели видимости, а также применение методов машинного обучения для предсказания оптимальных параметров размещения точек стояния лазерного сканера в зависимости от особенностей участка.

Таким образом, результаты работы подтверждают важность обоснованного выбора параметров дискретизации при планировании TLS-съёмки и подчёркивают необходимость комплексного подхода,

учитывающего не только вычислительную эффективность, но и требования точности и полноты, предъявляемые к пространственным данным в геодезии и кадастре.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках проекта № ЛАБ-24.1/2

ЛИТЕРАТУРА

1. Руденко, Ю. М. Актуальность лидарной съемки на данном этапе развития лазерного сканирования / Ю. М. Руденко, Е. С. Богданец // Технические науки - от теории к практике. – 2016. – № 58-1. – С. 20-29. – EDN WAIPHH.
2. Богданов, А. Н. Наземное лазерное сканирование в строительстве и BIM-технологиях / А. Н. Богданов, И. А. Алешутин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – № 4(46). – С. 326-332. – EDN VQTQVG.
3. Разработка структуры информационной системы геопространственных данных для решения задач территориального планирования / Р. А. Дьяченко, Д. А. Гура, А. В. Осенняя [и др.] // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2024. – Т. 68, № 4. – С. 87-99. – DOI 10.30533/GiA-2024-013. – EDN YQASPD.
4. Королев, М. С. Модели и алгоритмы поддержки принятия решения по оптимизации выбора размещения сенсоров системы наблюдения на технических объектах : специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Королев Михаил Сергеевич, 2019. – 141 с. – EDN PLUTRF.
5. Hurtado, F. On the number of visibility graphs of simple polygons / F. Hurtado, M. Noy // Discrete Mathematics. – 2001. – Vol. 232, No. 1-3. – P. 139-143. – EDN AMITXR.
6. Prasad, L. A note on the combinatorial structure of the visibility graph in simple polygons / L. Prasad, S. S. Iyengar // Theoretical Computer Science. – 1995. – Vol. 140, No. 2. – P. 249-263. – EDN APINGH.
7. Гура, Д. А. Анализ эффективности современных измерительных технологий для трехмерной идентификации объектов недвижимости / Д. А. Гура // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 132-142. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-132-142. – EDN EFMLFM.

REFERENCES

1. Rudenko, Ju. M. Aktual'nost' lidarnoj s#emki na dannom jetape razvitija lazernogo skanirovanija / Ju. M. Rudenko, E. S. Bogdanec // Tehnicheskie nauki - ot teorii k praktike. – 2016. – № 58-1. – S. 20-29. – EDN WAIPHH.
2. Bogdanov, A. N. Nazemnoe lazernoe skanirovanie v stroitel'stve i VIM-tehnologijah / A. N. Bogdanov, I. A. Aleshutin // Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2018. – № 4(46). – S. 326-332. – EDN VQTQVG.

3. Razrabotka struktury informacionnoj sistemy geoprostranstvennyh dannyh dlja reshenija zadach territorial'nogo planirovanija / R. A. D'jachenko, D. A. Gura, A. V. Osennjaja [i dr.] // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Geodezija i ajerofotos#emka. – 2024. – T. 68, № 4. – S. 87-99. – DOI 10.30533/GiA-2024-013. – EDN YQASPD.

4. Korolev, M. S. Modeli i algoritmy podderzhki prinjatija reshenija po optimizacii vybora razmeshhenija sensorov sistemy nabljudenija na tehni#cheskih ob#ektah : special'nost' 05.13.01 "Sistemnyj analiz, upravlenie i obrabotka informacii (po otrasljam)" : dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehni#cheskih nauk / Korolev Mihail Sergeevich, 2019. – 141 s. – EDN PLUTRF.

5. Hurtado, F. On the number of visibility graphs of simple polygons / F. Hurtado, M. Noy // Discrete Mathematics. – 2001. – Vol. 232, No. 1-3. – P. 139-143. – EDN AMITXR.

6. Prasad, L. A note on the combinatorial structure of the visibility graph in simple polygons / L. Prasad, S. S. Iyengar // Theoretical Computer Science. – 1995. – Vol. 140, No. 2. – P. 249-263. – EDN APINGH.

7. Gura, D. A. Analiz jeffektivnosti sovremennyh izmeritel'nyh tehnologij dlja trehmernoj identifikacii ob#ektov nedvizhimosti / D. A. Gura // Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tehnologij). – 2025. – T. 30, № 3. – S. 132-142. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-132-142. – EDN EFMLFM.