

ВЕБ-СЕРВИС АНАЛИЗА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПОСЕТИТЕЛЕЙ В ЗДАНИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОН ПОВЫШЕННОГО ИНТЕРЕСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ СЛУЧАЙНЫХ БЛУЖДЕНИЙ

Линцевич А.Д.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Институт информационных технологий,
г. Минск, Республика Беларусь*

Медведев С.А. – канд. тех наук, доцент

В данной работе рассматривается актуальность алгоритмов случайных блужданий и методы их применения для анализа перемещений и выявления зон повышенного интереса. Проанализированы существующие методы отслеживания перемещений посетителей и математических моделей их движения. Определены ключевые концепции создания подобного программного средства и представлены основные результаты его.

Любое здание или общественное пространство – сложная система, где архитектура напрямую влияет на поведение людей, функциональность и экономическую эффективность. Еще на этапе проектирования критически важно проводить просчет и моделирование потоков. Изначально такое моделирование основывалось на теоретических нормах и экспертных оценках. Однако современный подход позволяет использовать алгоритмы случайных блужданий и агентного моделирования для создания цифровых двойников здания. Запуская тысячи виртуальных посетителей с разными целями, архитекторы и проектировщики могут заранее, еще до начала строительства, оценить эффективность планировки и внести необходимые коррективы.

Идея алгоритма случайных блужданий заключается в том, что объект (обычно точка или частица) начинает движение из определенной начальной позиции. На каждом шаге объект перемещается в случайном направлении, принимая случайные значения для выбора следующего шага. Эти шаги могут быть ограничены определенными правилами или ограничениями, например, ограничениями на размер шага, наличием препятствий или изменением окружающей среды.

Алгоритмы случайных блужданий, являясь фундаментальной концепцией теории вероятностей, предлагают мощный аппарат для такого моделирования [1]. Их применение позволяет абстрагироваться от детерминированных правил и исследовать пространство возможных траекторий, выявляя устойчивые закономерности – зоны повышенного интереса, которые могут быть неочевидны при поверхностном наблюдении. Актуальность данной работы заключается в разработке готового к использованию веб-сервиса, который интегрирует математическую строгость алгоритмов случайных блужданий с современными методами машинного обучения и удобной визуализации, предоставляя практический инструмент для аналитиков, архитекторов и менеджеров объектов.

Ключевым этапом разработки стал анализ и выбор методов для интерпретации данных, сгенерированных в процессе случайных блужданий. Были исследованы пять подходов:

Simple Count Threshold (SCT): простой подсчет посещений узлов графа [2];

K-Means: кластеризация активных узлов на заданное число групп;

DBSCAN: кластеризация на основе плотности точек;

Heatmap Analysis: визуализация плотности посещений через цветовую карту;

Markov Chain Analysis: вычисление стационарного распределения вероятностей нахождения в узлах.

Сравнение, выявило сильные и слабые стороны каждого метода. Алгоритм DBSCAN был признан оптимальным для решения поставленной задачи, так как он не требует заранее заданного числа кластеров, способен находить области произвольной формы (что соответствует реальной геометрии помещений) и устойчив к шумовым данным. Heatmap Analysis был выбран в качестве основного метода визуализации благодаря высокой наглядности и интуитивной понятности цветового представления плотности.

Таким образом, разрабатываемая система представляет собой целостное решение, объединяющее технические средства наблюдения, математические методы анализа и современные инструменты визуализации. Это позволяет создавать не просто эффективный, но и адаптивный аналитический инструмент, способный работать с множеством переменных и предоставлять ценные данные для оптимизации пространственных процессов в самых разных сферах – от розничной торговли и управления объектами до обеспечения безопасности – проектирования пользовательского опыта.

Архитектура сервиса следует принципам модульности и разделения ответственности. Система состоит из двух основных компонентов:

Серверная часть: реализована на языке Python с использованием микрофреймворка Flask [3]. Логика моделирования построена на библиотеке NetworkX, которая обеспечивает создание и

манипуляцию графовой структурой помещений. Каждый узел графа соответствует функциональной зоне (например, 'Entrance', 'Hallway', 'Shop1'), а ребра – физическим переходам между ними. Алгоритм случайного блуждания, стартуя из заданной точки, перемещается по графу. Для анализа результатов применяются алгоритмы машинного обучения из библиотеки scikit-learn (KDE, DBSCAN).

Клиентская часть: представляет собой одностраничное веб-сервис. Пользовательский интерфейс, созданный с помощью HTML и JavaScript, включает интуитивную панель управления и интерактивную область визуализации результатов. Интерактивная визуализация результатов реализована с помощью библиотеки Plotly.js, которая позволяет отображать граф помещений, траекторию блуждания в виде анимированной линии и тепловую карту активности узлов.

Панель управления, представленная на рисунке 1, позволяет пользователю задавать все необходимые параметры симуляции: выбор начальной зоны и конечной зоны из выпадающих списков, а также указание количества шагов для моделирования в числовом поле. После настройки параметров и нажатия кнопки «Смоделировать путь» происходит процесс создания маршрута (графа).

Рисунок 1 – Панель управления параметрами симуляции

Интерактивная визуализация результатов реализована с помощью библиотеки Plotly.js, которая позволяет отображать граф помещений, траекторию блуждания в виде анимированной линии и тепловую карту активности узлов, представлена на рисунке 2.

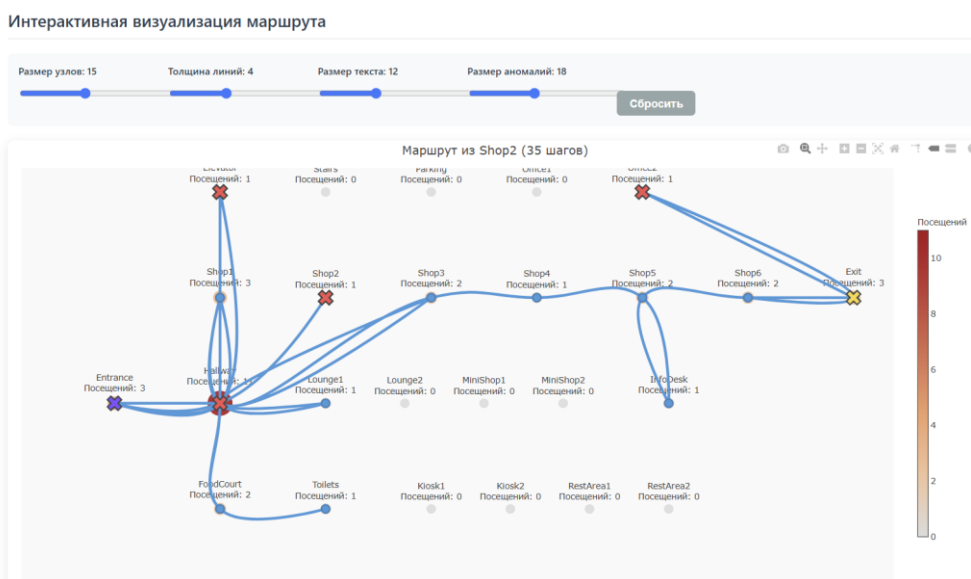


Рисунок 2 – Визуализация результатов

Разработанный веб-сервис представляет собой решение для анализа перемещений на основе алгоритмов случайных блужданий. Применение DBSCAN и тепловых карт позволяет эффективно выявлять зоны повышенного интереса в помещениях сложной конфигурации. Сервис обладает интуитивно понятным интерфейсом, масштабируемой архитектурой.

Список использованных источников:

1. Левин Д. А. Цепи Маркова и время смешивания / Д. А. Левин, Й. Перес, Э. Л. Уилмер. – М.: МЦНМО, 2018. – 496 с.
2. Кластеризация методом K-means: теория и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [ссылка]. – Дата доступа: 20.12.2025.
3. Документация Flask [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://flask.palletsprojects.com/> – Дата доступа: 20.12.2025.