

АЛГОРИТМ ВИЗУАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА ДОРОЖНОМ ГРАФЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ

А.С. Жестков¹, В.М. Мальцев¹, М.А. Уханов¹, Г.А. Альгашев¹

¹Самарский университет, г. Самара
e-mail: alezhestkov@gmail.com

Аннотация

Предложен метод визуального позиционирования ТС в условиях нестабильности GPS, основанный на детекции дорожных знаков (YOLO) и графовом моделировании дорожной сети. Узлы графа представляют семантические ориентиры, а ребра – возможные маршруты. Локализация реализована путем сопоставления видеопотока с картой через алгоритмы поиска кратчайшего пути (A*, Dijkstra) с учетом весовых коэффициентов знаков. Описана архитектура системы, включая трекинг и динамическое обновление графа. Экспериментально подтверждена эффективность детекции малоразмерных знаков в реальных условиях и определены оптимальные конфигурации детектора для систем ADAS.

Ключевые слова: визуальное позиционирование; граф-базированная локализация; дорожные знаки; YOLO; ADAS; поиск кратчайшего пути; компьютерное зрение.

Введение

Современные навигационные системы, основанные на глобальных спутниковых технологиях, сталкиваются с ограничениями по точности и доступности сигнала в современных условиях. Рельеф, высотные застройки и искусственные помехи занижают точность сигнала от спутников GNSS [3]. Это делает невозможным использование спутниковых навигационных карт и затрудняет навигацию. В качестве альтернативы предлагается использовать визуальное ориентирование с использованием компьютерного зрения. Использование дорожных знаков, светофоров, рекламных вывесок и прочих распространённых дорожных объектов позволяет сформировать уникальные комбинации семантических ориентиров и построить карту местности.

Современные системы локализации в городской среде используют различные подходы позиционирования каждый из которых имеет ограничения. Методы SLAM требуют предварительной загрузки картографических данных значительного объёма, являются не устойчивыми к погодным условиям, уровню света и углу наклона. GNSS [3] подвержен искусственным помехам и потере сигнала, что снижает его надежность и точность при автономной навигации. На фоне других методов навигации граф-базированная локализация на основе комбинации семантических ориентиров выступает альтернативным решением, объединяющим преимущества семантической привязки и невысокой вычислительной нагрузки, позволяя использовать дорожные ориентиры как узлы графа инфраструктуры и обеспечивая точность без необходимости построения 3D-карт и при минимальной зависимости от GNSS [3].

1. Методы и архитектура системы

Предлагаемый подход основан на использовании графа дорожной инфраструктуры, в котором вершины представлены семантическими ориентирами, а рёбра моделируют участки между ориентирами. Каждый узел графа имеет уникальный идентификатор, генерируемый на основе координат и класса визуального объекта, что предотвращает дублирование. Уникальность определяется как обратная частота встречаемости соответствующего класса знака на данном участке дороги, что позволяет выделять редкие и комбинированные знаки в качестве надёжных ориентиров. Для распознавания и определения класса объекта используется алгоритм на базе YOLO [2] предназначенный для определения семантического класса каждого объекта, что позволяет формировать поток семантических ориентиров, сопоставляемый с графом дорожной инфраструктуры. Видеопоток анализируется кадрowo с использованием OpenCV [1], детектированные объекты сопоставляются с вершинами графа, а последовательность распознанных ориентиров сопоставляется с графовой структурой, что позволяет определить текущее положение наблюдателя и направление его движения даже при частичной утрате видимости ориентиров. Использование рёбер с высокой уникальностью снижает вероятность двусмысленной маршрутизации в зонах с повторяющимися знаками. При этом динамическая корректировка маршрута при пропуске ожидаемого ориентира позволяет перенаправлять поиск на альтернативные траектории. Для обеспечения устойчивой работы системы осуществляется мониторинг соседних вершин графа, что позволяет восстановить и уточнить положение транспортного средства при временной потере ориентации. Использование данного подхода позволяет достичь точности, значительно снижая зависимость от GNSS [3], особенно в условиях городской застройки и тоннелей.

Реализация выполнена на языке Java с применением графовых алгоритмов и библиотеки JXMapView [7] для работы с картами.

2. Эксперимент и результаты

В ходе эксперимента была разработана и проверена система визуального позиционирования транспортного средства, основанная на графовом представлении дорожной инфраструктуры и распознавании дорожных знаков в городской среде. В качестве тестовой зоны был выбран район Москвы, для которого данные были получены из OpenStreetMap [5] с учетом подходов к полосной локализации [6] и дополнены вручную размеченными координатами и классами дорожных знаков (таких как стоп-линия, ограничения скорости, указатели направлений и др.). Графовая модель включала дорожные знаки и светофоры как вершины с уникальными идентификаторами, а отрезки дорог между ними учитывали как физическое расстояние, так и различие типов знаков.

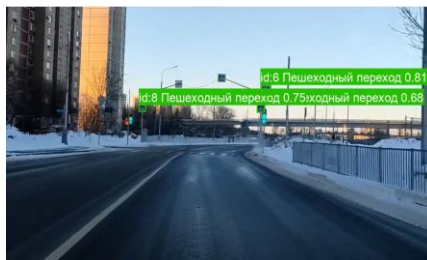


Рисунок 1 – Детекция знаков с помощью YOLO

Результаты тестирования подтвердили корректную работу алгоритмов перемещения маркера по графу при подаче знаков, соответствующих узлам. Система также правильно реагирует как на уникальные знаки, обеспечивающие однозначный переход, так и на полные наборы признаков узла при наличии соответствующего направления в графе.

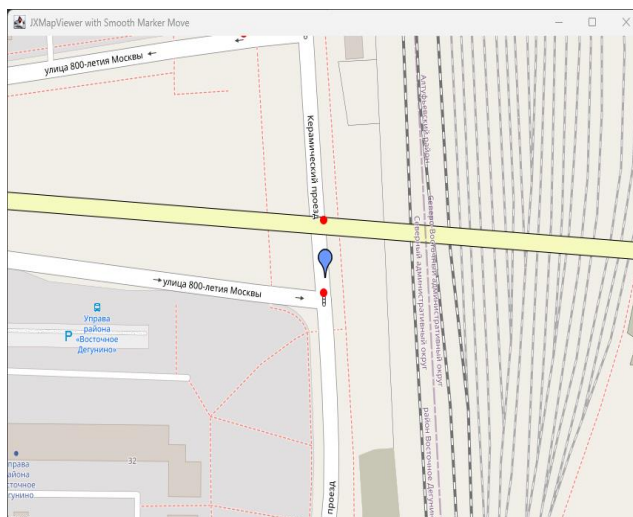


Рисунок 2 – Пример тестирования продукта.

Заключение

Система не заменяет GNSS, а дополняет его, компенсируя ограничения спутниковых систем в городских условиях и тоннелях. Она объединяет GPS/ГЛОНАСС с семантическими ориентирами, обеспечивая высокую точность даже при временной потере сигнала, что важно для автономного транспорта и AR-навигации.

В качестве дальнейшего развития работы планируется повышение устойчивости системы к временной потере визуальных ориентиров за счет внедрения данных инерциальных датчиков, таких как гироскоп и электронный компас. Предполагается использование комплементарного фильтра для объединения данных с высокой частотой обновления и низким уровнем шума (гироскоп) с абсолютными ориентационными измерениями (компас), что позволит компенсировать накопленный дрейф и повысить точность определения направления движения. Оценка эффективности данного подхода и его влияние на точность локализации будут предметом последующих исследований.

В рамках данной работы не проводилось прямое количественное сравнение с классическими методами визуальной локализации, такими как ORB-SLAM3 [4], поскольку рассматриваемые подходы решают смежные, но методически различающиеся задачи. В отличие от SLAM-подходов, ориентированных на восстановление метрической траектории и построение карты окружающей среды, предложенный метод реализует дискретную локализацию на графе семантических ориентиров. Это приводит к различию в форматах выходных данных и метриках оценки качества, что затрудняет прямое сопоставление результатов.

В дальнейшем планируется разработка унифицированной методики сравнения, включающей приведение результатов SLAM к графовому представлению или использование общих метрик (например, точности позиционирования относительно

дорожной инфраструктуры), а также проведение экспериментального сопоставления с современными SLAM-системами.

Список использованных источников

1. OpenCV. – URL: <https://opencv.org> (дата обращения: 31.07.2025).
2. Hussain, M. YOLOv5, YOLOv8 and YOLOv10: The Go-To Detectors for Real-Time Vision / M. Hussain // arXiv preprint. – 2024. – URL: <https://arxiv.org/abs/2407.02988> (дата обращения: 31.07.2025).
3. Segun, A.A. Обзор глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS) и их приложений / A. A. Segun, A. I. Abiodun // International Journal of Scientific and Engineering Research. – 2021. – V. 12, № 4. – P. 1042–1048. – URL: <http://www.ijser.org> (дата обращения: 31.07.2025).
4. ORB-SLAM3: An Accurate Open-Source Library for Visual, Visual-Inertial, and Multi-Map SLAM / C. Campos [et al.] // IEEE Transactions on Robotics. – 2021. – V. 37, № 6. – P. 1874–1890.
5. OpenStreetMap. – URL: <https://www.openstreetmap.org> (дата обращения: 31.07.2025).
6. Lane-Level Localization. – URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Lane-Level_Localization (дата обращения: 31.07.2025).
7. JXMapView. – URL: <https://github.com/msteiger/jxmapviewer2> (дата обращения: 31.07.2025).

ALGORITHM FOR VISUAL POSITIONING ON A ROAD GRAPH USING SEQUENTIAL ROAD SIGN RECOGNITION

A.S. Zhestkov¹, V.M. Maltsev¹, M.A. Ukhanov¹, G.A. Algashev¹

*¹Samara University, Samara
e-mail: alezhestkov@gmail.com*

Abstract

The paper proposes a visual positioning method for vehicles in GPS-denied environments based on YOLO-driven road sign detection and road infrastructure graphing. Graph nodes represent semantic landmarks (signs), while edges define possible routes. Localization is achieved by fusing computer vision data with digital maps using shortest-path algorithms (Dijkstra, A*) weighted by detection probabilities. The architecture covers object tracking, graph updates, and real-time mapping. Experimental results demonstrate the effectiveness of YOLO in detecting small-scale signs under real-world conditions, providing a robust framework for ADAS and autonomous navigation.

Keywords: visual positioning; graph-based localization; road signs; YOLO; ADAS; shortest path search; computer vision.