

УДК 656.072

DOI: 10.58168/MSTT2025_157-162

**АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ
ПРИЁМА ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ
СИСТЕМ**

А.А. Башмаков ¹, С.С. Евтюков ²

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Алексеевич Башмаков, sevtyukov@lan.spbgasu.ru

Аннотация. В статье проводится анализ существующих методов определения текущего местоположения транспортных средств без использования данных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). По итогу анализа определяются оптимальные условия для применения различных методов в зависимости от типа транспортных средств и качества приёма данных ГНСС с целью обеспечения стабильной работы систем управления транспортом.

Ключевые слова: транспорт, бортовое навигационно-связное оборудование, телематика, пассажирские перевозки, определение местоположения, интеллектуальные транспортные системы.

**ALTERNATIVE METHODS FOR DETERMINING THE LOCATION OF VEHICLES
IN CONDITIONS OF LOW STABILITY OF DATA RECEPTION OF GLOBAL
NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS**

A.A. Bashmakov ¹, S.S. Yevtyukov ²

^{1,2} St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia,

The author responsible for the correspondence: Anatoly Alekseevich Bashmakov,
sevtyukov@lan.spbgasu.ru

Abstract. the article analyzes the existing methods for determining the current location of vehicles without using data from global navigation satellite systems (GNSS). As a result of the analysis, optimal conditions are determined for the use of various methods, depending on the type of vehicles and the quality of GNSS data reception, in order to ensure stable operation of transport management systems.

Keywords: transport, on-board navigation and communication equipment, telematics, passenger transportation, location determination, intelligent transport systems.

Введение. Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) на сегодняшний день являются приоритетным направлением научно-технического развития согласно Указу Президента РФ от 18.06.2024 № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоёмких технологий». При этом, сервисная группа «Общественный транспорт», являются одной из ключевых

элементов ИТС городской агломерации и обеспечивает управление общественным транспортом [1].

Сервисная группа ИТС «Общественный транспорт» включает в себя широкий круг задач, как по управлению самим пассажирским транспортом, организации и управлению перевозок пассажиров, информирования пассажиров и др. [2]. Однако, снижение стабильности приёма данных глобальных навигационных спутниковых систем является критическим фактором, препятствующим эффективной работе указанных сервисов, например:

- При управлении пассажирским транспортом необходимо обладать достоверными данными о текущем местоположении, скорости и направлении движения подвижного состава, работающего на маршруте, для определения интервалов движения транспортных средств, выявления заторов и т.д.;

- Для информирования пассажиров о времени прибытия транспортного средства к остановке, необходимо обладать данными о текущем местоположении транспортных средств, работающих на определённом маршруте;

- Для повышения эффективности систем мониторинга пассажиропотока, необходимо фиксировать количество вошедших/вышедших пассажиров к текущему местоположению транспортного средства с целью определения наиболее нагруженных перегонов на маршруте.

В соответствии со сказанным выше, наличие достоверной информации о текущем местоположении транспортных средств является критическим фактором, обеспечивающим стабильность работы пассажирского транспорта общего пользования.

Анализ и методы. Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) – это система, предназначенная для определения местоположения различных объектов, составляющих вектора скорости и направления движения, а также синхронизации показаний часов приёмника сигналов ГНСС в любой точке на поверхности Земли, акватории Мирового океана, воздушного и околоземного космического пространства. Принцип работы ГНСС основан на измерении расстояния до спутников на орбите Земли, расположение которых заранее известно с большой точностью, на основе данных о задержке поступления сигналов [3].

В условиях низкой стабильности приёма данных ГНСС необходимо обеспечивать альтернативные методы определения местоположения транспортного средства, основанные на различных технологиях.

Использование меток с записанными данными о собственном местоположении. В случае периодического отсутствия данных ГНСС, вдоль трассы следования транспортных средств могут быть установлены специализированные метки. Наиболее распространены метки на основе технологии радиочастотной идентификации (RFID) и Bluetooth с низким энергопотреблением (BLE).

Современные метки включают в себя:

- Встроенная энергонезависимая память;
- Интегральную схему для управления памятью;
- Антенну для приёма и передачи данных;
- Встроенный источник питания (в случае использования меток с активной передачей данных);
- Корпус для защиты от внешних факторов.

В таблице 1 приведено сравнение меток двух технологий по основным эксплуатационным характеристиками.

Таблица 1 – Сравнение RFID и BLE меток
Table 1 – Comparison of RFID and BLE tags

Наименование показателя	Значение для RFID	Значение для BLE
Диапазон рабочих частот	860-960 МГц	2,4 ГГц
Дистанция считывания	до 10 м	до 50 м
Скорость передачи данных	до 128 кбит/с	до 1 Мбит/с
Тип памяти	R/W – чтение и запись	R/W – чтение и запись
Объем памяти	от 256 бит	256 Кб
Класс защиты от влаги и пыли	до IP69K	до IP69K
Срок службы	5-10 лет	5-10 лет

Не смотря на схожесть характеристик RFID и BLE меток, основным различием между двумя технологиями является дистанция считывания информации, которая может интерпретироваться как достоинство или недостаток.

Низкая дистанция считывания RFID меток требует более точного позиционирования антенны и строго определённой траектории движения транспортного средства, однако обеспечивает относительно низкую погрешность для данного метода определения местоположения (до 20 метров).

Большая дистанция считывания BLE меток обеспечивает стабильность работы в условиях изменчивой траектории движения транспортного средства, снижает требования к расположению считывателя, однако имеет относительно большую погрешность определения местоположения (до 100 метров).

Использование существующих сетей связи. В качестве альтернативного источника данных о местоположении транспортного средства в случае полного отсутствия данных с ГНСС возможно использование различных геолокационных сервисов с использованием базовых станций сетей сотовой мобильной связи или точек доступа Wi-Fi, расположение которых известно заранее.

С целью решения задач по определению местоположения мобильных объектов в системах сотовой связи четвёртого поколения (LTE) используются методы пространственной обработки сигналов базовых станций, разностно-дальномерные методы, методы определения угла направления сигнала и т.д.

Наиболее подходящим методом для определения местоположения транспортного средства является разностно-дальномерный метод, в основе которого лежит определение координат подвижного объекта за счёт измерения расстояния до нескольких базовых станций по разности времени прихода сигнала (Time difference of arrival, TDoA). Данный метод реализуется посредством параметра Timing advance (TA) [4], который предназначен для компенсации задержки распространения сигнала от мобильных устройств

и недопущения пересечения временных слотов при отправке и приёме данных. Так как данный метод уже применяется в сетях сотовой связи для обеспечения стабильности обмена данных определение местоположения транспортных средств с его помощью не потребует модернизации сетевого оборудования [4]. Точность определения местоположения транспортного средства на основе данного метода составляет порядка 35 метров.

Для определения местоположения мобильного объекта на основе точек доступа Wi-Fi проводится анализ доступных сетей по уровню RSSI (Received Signal Strength Indicator), который измеряется в дБм (децибел-милливаттах) и является отрицательным числом [5]. Данный показатель характеризует уровень мощности сигнала Wi-Fi сети, чем ближе данный показатель к 0, тем сигнал считается лучше. Наиболее стабильным

считается сигнал в диапазоне от -35 до -65 дБм, стабильным сигналом – от -50 до -70 дБм.

Для определения местоположения используется база данных о местоположении Wi-Fi сетей на местности, после чего определяется местоположение мобильного объекта с помощью математических расчётов методом латерации. Метод латерации не требует значительных ресурсов для определения местоположения, однако его точность в значительной части зависит от корректности определения расстояния до точки доступа, определённой относительно, по уровню RSSI, который не учитывает затухание сигнала при прохождении через препятствия отражённые сигналы и т.д. В качестве альтернативы измерения уровня мощности сигнала Wi-Fi точек доступа может быть использована технология Wi-Fi Location, которая использует метод измерения разности времени прихода сигнала аналогично методу TDoA в мобильных сетях LTE, однако она требует точной временной синхронизации оборудования для реализации.

Точность геопозиционирования на основе данного метода может составлять порядка 10 метров, однако она очень сильно зависит от метода определения расстояния до точек доступа Wi-Fi и их количества.

Указанные методы применимы для крупных городов с высокой плотностью базовых станций сетей сотовой мобильной связи и большого количества активных точек доступа Wi-Fi, так как точность определения местоположения напрямую зависит от их количества.

Создание независимой сети обмена данными между транспортными средствами и элементами дорожной инфраструктуры. В качестве полноценной альтернативы ГНСС в определении местоположения транспортных средств может быть применён набор технологий Vehicle-to-Everything (V2X), который предназначен для повышения уровня безопасности дорожного движения. Сети транспортных средств V2X были разработаны для обеспечения следующих каналов связи:

- Между транспортными средствами (V2V);
- Между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой (V2I);
- Между транспортными средствами и пешеходами (V2P);
- Между транспортными средствами и сетью (V2N) и т.д.

В рамках различных сценариев, реализуемых с применением данного набора технологий каждое транспортное средство должно знать своё местоположение с высокой точностью (например, системы обеспечения приоритетного проезда перекрёстков). Однако существующие системы высокоточного позиционирования основываются на данных ГНСС, которые корректируются с помощью базовых станций с известными координатами.

Для решения вопроса возможности позиционирования в условиях низкой стабильности приёма данных ГНСС необходимо обеспечить достаточную плотность опорных устройств радиодоступа RSU (Roadside Unit) для интеллектуальных транспортных систем, обеспечивающих высокоточное сетевое позиционирование транспортных средств в условиях городской агломерации. Применение сетевой геолокации обеспечить функционал высокоточного позиционирования в условиях полного отсутствия данных ГНСС. В условиях прямой видимости не менее двух опорных устройств RSU точность позиционирования составляет до 1 м [6].

В результате проведённого анализа методов определения местоположения транспортных средств в условиях низкой стабильности приёма данных ГНСС, можно выделить достоинства и недостатки.

Использование меток с записанными данными о собственном местоположении
Достоинства:

- Низкая стоимость внедрения за счёт распространённости применения технологии RFID и BLE меток в различных производственных сферах;

- Возможность масштабирования путём добавления меток в необходимых участках маршрутной сети;

- Независимость от внешних факторов, так как метки и считыватели находятся под управлением транспортного предприятия.

Недостатки:

- Относительно низкая точность позиционирования из-за необходимости расположения меток на расстоянии, исключающих одновременное считывание;

- Ограниченный срок службы активных меток со встроенным источником питания.

Использование существующих сетей связи.

Достоинства:

- Низкая стоимость внедрения за счёт готовности базовых станций сетей сотовой связи к реализации алгоритмов определения местоположения;

- Высокая надёжность работы системы за счёт мер по обеспечению стабильности работы сетевой инфраструктуры операторов сетей сотовой связи.

Недостатки:

- Невозможность использования вне населённых пунктов с достаточной плотностью базовых станций;

- Невозможность масштабирования из-за отсутствия влияния транспортных предприятий на операторов сетей сотовой связи.

Создание независимой сети обмена данными между транспортными средствами и элементами дорожной инфраструктуры.

Достоинства:

- Высокая точность позиционирования за счёт использования оборудования сетевой геолокации для высокоточного позиционирования транспортных средств;

- Возможность реализации различных сценариев управления транспортом в рамках городских ИТС (в том числе, приоритетные условия проезда перекрёстков для общественного транспорта);

- Возможность внедрения перспективных высокоавтоматизированных транспортных средств на базе оборудования сетевой геолокации;

Недостатки:

- Высокая стоимость внедрения из-за специфичности применяемого оборудования.

Метод определения местоположения транспортных средств следует выбирать исходя из внешних условий.

В случае наличия отдельных областей на маршруте следования транспортного средства с нестабильным приёмом данных ГНСС приёмников, наиболее целесообразно использовать метки с записанными данными о собственном местоположении. При этом, для рельсового транспорта предпочтительно использование RFID меток с дальностью считывания до 10 метров из-за возможности точного позиционирования считывателя по отношению к меткам. Данный способ позволяет добиться приемлемых показателей точности определения местоположения. BLE метки предпочтительно использовать для колёсных транспортных средств, так как отсутствие жёстких требований к позиционированию считывателя относительно метки обеспечивает надёжность считывания независимо от полосы движения транспортного средства.

В случае невозможности использования данных ГНСС на территории большей части городской агломерации, наиболее целесообразно обеспечить независимый альтернативный метод определения местоположения транспортных средств, на основе базовых станций. При этом, в рамках развития ИТС, предпочтительно развивать собственную инфраструктуру, обеспечивая достаточную плотность опорных устройств

радиодоступа RSU, с целью внедрения высокоточного сетевого позиционирования транспортных средств. Использование существующих сетей операторов сотовой связи может рассматриваться как временный метод определения местоположения транспортных средств при отсутствии ресурсов для реализации собственной сетевой геолокации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011. Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Часть 1. Сервисные домены в области интеллектуальных транспортных систем, сервисные группы и сервисы : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2012.03.01. – Текст : элек-тронный // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии : [сайт]. – Москва, 2018. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293800/4293800056.pdf> (дата обра-щения: 05.10.2025).
2. Рыбнов, Е. И. Интеллектуальные транспортные системы. Учебник. Том 1 / Е. И. Рыбнов, С. С. Евтюков, А. И. Солодкий. – Санкт Петербург : Петрополис, 2023. – 356 с.
3. ГОСТ 33472-2023. Глобальная навигационная спутниковая система. Аппаратура спутниковой навигации для оснащения колёсных транспортных средств. Общие техниче-ский требования : Межгосударственный стандарт : дата введения 2024.06.01. – Текст : электронный // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии : [сайт]. – Москва, 2023. URL: <https://meganorm.ru/Data/815/81597.pdf> (дата обращения: 07.07.2025).
4. Киреев А.В., Фокин Г.А. Позиционирование объектов в сетях lte посредством измерения времени прохождения сигналов. Труды учебных заведений связи. 2016;2(1):68-72.
5. Боловнев Д. О., Семидетко Д. Д. Определение местоположения пользователя в Wi-Fi сети. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. В 4-х частях. Новосибирск, 2024:20-25.
6. Фокин Г.А., Владыко А.Г. Позиционирование транспортных средств в сверхплотных сетях радиодоступа V2X/5G с использованием расширенного фильтра Калмана. Труды учебных заведений связи. 2020;6(4):45-59.

REFERENCES

1. GOST R ISO 14813-1-2011. Intelligent transportation systems. The scheme of building the architecture of intelligent transport systems. Part 1. Service domains in the field of intelligent transport systems, service groups and services : national standard of the Russian Federation : date of introduction 2012.03.01. – Text : electronic // Federal Agency for Technical Regulation and Metrology : [website]. – Moscow, 2018. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293800/4293800056.pdf> (date of conversion: 05.10.2025).
2. 2. Rybnov, E. I. Intelligent transport systems. Textbook. Volume 1 / E. I. Rybnov, S. S. Yev-tyukov, A. I. Solodky. – St. Petersburg : Petropolis, 2023. – 356 p.
3. 3. GOST 33472-2023. Global navigation satellite system. Satellite navigation equipment for equipping wheeled vehicles. General technical requirements : Interstate standard : date of introduction 2024.06.01. – Text : electronic // Federal Agency for Technical Regulation and Metrology : [website]. – Moscow, 2023. URL: <https://meganorm.ru/Data/815/81597.pdf> (date of request: 07.07.2025).
4. 4. Kireev A.V., Fokin G.A. Positioning of objects in LTE networks by measuring the signal transit time. Proceedings of educational institutions of communication. 2016;2(1):68-72.
5. 5. Bolovnev D. O., Semidetko D. D. Determining the user's location on a Wi-Fi network. Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference. In 4 parts. Novosibirsk, 2024:20-25.
6. 6. Fokin G.A., Vladiko A.G. Vehicle positioning in ultra-dense V2X/5G radio access net-works using an extended Kalman filter. Proceedings of educational institutions of communication. 2020;6(4):45-59.