

ОПТИМИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ НА ПЛАТФОРМЕ MAPLIBRE NATIVE



М. И. Чаус, студент магистратуры 2-го курса
E-mail: student.chaus@gmail.com
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Т. В. Снытникова, к. т. н., научный руководитель
E-mail: tatiana.snitnikova@klgtu
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

В статье рассматриваются подходы к оптимизации хранения и визуализации пространственных данных в мобильных и веб-клиентах на базе платформы MapLibre Native. Особое внимание уделяется сравнительному анализу форматов GeoJSON, MVT (Mapbox Vector Tiles) и MLT (MapLibre Tiles), ключевых для построения современных навигационных и картографических систем. Описываются методы интеграции каждого из форматов в мобильное приложение, приводятся примеры кода, демонстрируется влияние структуры данных на производительность загрузки, рендеринга, а также использование памяти клиентского устройства. Проведен эксперимент по отображению идентичного слоя городской транспортной сети с использованием всех трех форматов, результаты работы оценивались по ключевым метрикам производительности. На основании полученных данных сформулированы рекомендации по выбору формата в зависимости от задач проекта, особенностей данных и перспектив развития платформы MapLibre Native.

Ключевые слова: MapLibre Native, GeoJSON, MVT, MLT, векторные тайлы, оптимизация данных, визуализация, навигационные системы.

ВВЕДЕНИЕ

Современные образовательные учреждения сталкиваются с необходимостью цифровизации среды для повышения комфорта студентов и сотрудников, а также оптимизации внутренних процессов. Одним из ключевых направлений развития инфраструктуры вузов является внедрение навигационных систем, позволяющих находить аудитории и строить маршруты на территории кампуса. С развитием технологий 3D-визуализации стали доступны новые подходы к созданию интерактивных карт, информативных и удобных для пользователя.

В последние годы для построения клиентских решений в сфере геонавигации активно используются открытые инструменты [1], такие как MapLibre Native [2] и различные форматы пространственных данных, например GeoJSON [3]. Их использование обеспечивает гибкость интеграции, возможность перехода к трехмерному отображению объектов и простоту масштабирования системы под будущие задачи.

Важным технологическим шагом стал выход собственного формата векторных тайлов (MVT [4] – Mapbox Vector Tiles), разработанного непосредственно под MapLibre [2] – решение совсем новое, появившееся в последние годы как альтернатива устоявшимся формам. Благодаря архитектуре тайлов, MVT позволяет значительно сократить объем передаваемых данных и повысить производительность навигационных систем, особенно при работе с большими пространственными наборами.

В 2024–2025 гг. был представлен принципиально новый формат – MapLibre Tiles (MLT) [5], ориентированный на оптимизацию хранения, максимально эффективную передачу и высокоскоростную обработку пространственных данных. MLT объединяет преимущества MVT и расширяет их, добавляя поддержку новых типов и структур, включая возможности для 3D-визуализации, но пока находится на этапе тестирования и не получил широкого распространения в продуктивных системах.

Поскольку в реализации навигационной платформы был выбран движок MapLibre Native, логичным шагом становится практический анализ и сравнение трех подходов – GeoJSON [3], MVT и MLT – с акцентом на возможности масштабирования, производительности и перспективы использования в современных клиентских ГИС-приложениях.

Целью настоящей статьи является представление результатов исследования, направленного на определение наиболее эффективных подходов к хранению и визуализации пространственных данных на платформе MapLibre Native на основе сравнительного анализа форматов GeoJSON, MVT и MLT.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являются подходы к хранению и визуализации пространственных данных в клиентских навигационных системах на платформе MapLibre Native.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определить наиболее эффективные подходы к хранению и визуализации пространственных данных в клиентских навигационных системах на платформе MapLibre Native на основе сравнительного анализа форматов GeoJSON, MVT и MLT.

Задачи исследования:

1. Проанализировать современные технологии хранения и визуализации пространственных данных для цифровых карт.
2. Сравнить форматы GeoJSON, MVT и MLT по критериям совместимости, производительности, удобства интеграции и гибкости расширения.
3. Описать архитектуру и практические аспекты внедрения каждого формата в клиентскую навигационную систему на платформе MapLibre Native.
4. Провести экспериментальную апробацию решений, используя единый слой пространственных данных и одинаковые условия тестирования, для объективной оценки эффективности.
5. Сформулировать рекомендации по выбору формата с учетом актуальных требований и перспектив развития систем хранения и визуализации геоданных.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для сравнения производительности хранения и визуализации пространственных данных на платформе MapLibre Native были выбраны три формата: GeoJSON, MVT (Mapbox Vector Tiles) и MLT (MapLibre Tiles). Каждый из них протестирован на одном и том же слое транспортной сети города; визуализация осуществлялась в мобильном

приложении на Android. На рисунке 1 приведен пример визуализации слоя дорожной сети в приложении.

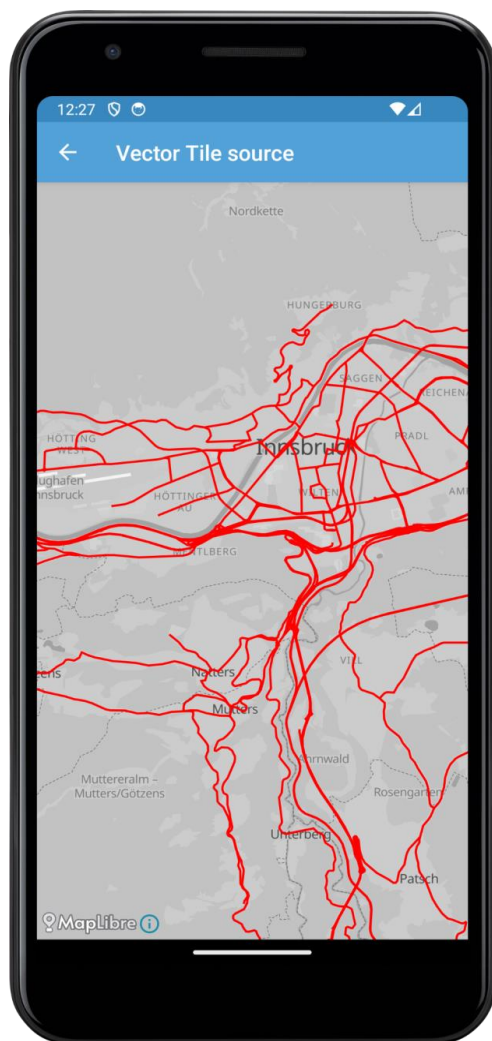


Рисунок 1 – Пример визуализации слоя дорожной сети в мобильном приложении на платформе MapLibre Native (г. Инсбрук, Австрия)

GeoJSON – текстовый формат для представления геометрии, широко поддерживается большинством ГИС-платформ и приложений. Хорошо подходит для небольших объемов данных и быстрой отладки. На рисунке 2 показана структура геоданных слоя дороги в формате GeoJSON, а на рисунке 3 – пример кода на языке Kotlin для загрузки и визуализации слоя дорог с использованием этого формата.

В рамках эксперимента загружался и отображался слой транспортной сети города. Фиксировались показатели: время декодирования, задержка отклика, объем используемой памяти.

MVT (Mapbox Vector Tiles) – бинарный плиточный формат на основе Protocol Buffers [6], который является отраслевым стандартом хранения и передачи пространственных данных для web- и мобильных приложений. Схематичное представление слоя дороги в формате MVT приведено на рисунке 4, а пример реализации загрузки и визуализации данного формата – на рисунке 5.

```

{
  "type": "FeatureCollection",
  "features": [
    {
      "type": "Feature",
      "geometry": {
        "type": "LineString",
        "coordinates": [
          [11.4001, 47.2637],
          [11.4010, 47.2642]
        ]
      },
      "properties": {
        "name": "Main Street",
        "type": "road"
      }
    }
  ]
}

```

Рисунок 2 – Структура геоданных слоя дороги в формате GeoJSON

```

val geoJsonSource = GeoJsonSource("roads", "https://myserver.org/data/roads.geojson")
style.addSource(geoJsonSource)
val roadLayer = LineLayer("road", "roads").apply {
  setProperties(
    lineColor("blue"),
    lineWidth(2.0f)
  )
}

```

Рисунок 3 – Пример кода на языке Kotlin для загрузки и визуализации слоя дорог с использованием GeoJSON

```

message Tile {
  repeated Layer layers = 3;
}

message Layer {
  required string name = 1;
  repeated Feature features = 2;
  repeated string keys = 3;
  repeated Value values = 4;
  optional uint32 extent = 5;
}

message Feature {
  optional uint64 id = 1;
  repeated uint32 tags = 2;
  optional GeomType type = 3;
  repeated uint32 geometry = 4;
}

```

Рисунок 4 – Схематичное представление слоя дороги в формате MVT (Mapbox Vector Tiles, бинарное хранение)

```

val tileset = TileSet(
    "openmaptiles",
    "https://demotiles.maplibre.org/tiles-omt/{z}/{x}/{y}.pbf"
)
val openmaptiles = VectorSource("openmaptiles", tileset)
style.addSource(openmaptiles)
val roadLayer = LineLayer("road", "openmaptiles").apply {
    setSourceLayer("transportation")
    setProperties(
        lineColor("red"),
        lineWidth(2.0f)
    )
}

```

Рисунок 5 – Пример кода на языке Kotlin для загрузки и визуализации слоя дорог с использованием MVT

Для сравнения использовался тот же участок дороги, данные разбивались на MVT-тайлы и загружались динамически в зависимости от масштаба. Измерялись скорость отклика и время декодирования.

MLT (MapLibre Tiles) – экспериментальный формат векторных тайлов (небольших фрагментов карты, подгружаемых динамически), разработанный для MapLibre. Отличается более высокой степенью сжатия и увеличенной скоростью декодирования по сравнению с MVT. На рисунке 6 представлена структура слоя дороги в формате MLT, а на рисунке 7 показан пример кода для его загрузки и визуализации в приложении.

```

{
  "tile": {
    "layers": [
      {
        "name": "transportation",
        "ids": [1, 2, 3],
        "geometry": [
          // Points/Lines encoded колонками
          { "type": "LineString", "coordinates": [[11.401, 47.263], [11.402, 47.264]] }
        ],
        "properties": {
          "name": ["Main Street", "Second Street", "Third Street"],
          "type": ["road", "road", "road"]
        }
      }
    ]
  }
}

```

Рисунок 6 – Пример структуры слоя дороги в формате MLT (MapLibre Tiles, column-oriented layout)



```

val tileset = TileSet(
    "maplibretiles",
    "https://myserver.org/tiles-mlt/{z}/{x}/{y}.mlt"
)
val mltSource = VectorSource("maplibretiles", tileset)
style.addSource(mltSource)
val roadLayer = LineLayer("road", "maplibretiles").apply {
    setSourceLayer("transportation")
    setProperties(
        lineColor("green"),
        lineWidth(2.0f)
    )
}

```

Рисунок 7 – Пример кода на языке Kotlin для загрузки и визуализации слоя дорог с использованием MLT

В лабораторных тестах для MLT применялись аналогичные по структуре данные, фиксировались метрики времени загрузки и рендеринга при максимальной детализации.

Для чистоты сравнения каждый формат использовал одну и ту же исходную транспортную сеть, приложение запускалось на одинаковом эмуляторе. Измерялись следующие параметры: время загрузки, рендеринга, объем используемых ресурсов и размер файлов/тайлов на диске.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые испытания трех форматов проводились на одном и том же участке транспортной сети. Результаты измерений ключевых показателей для трех форматов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты оптимизаций размера GeoJSON файла

Формат	Время загрузки слоя (мс)	Время рендеринга (мс)	Размер данных слоя (кБ/МБ)	Использование памяти (МБ)
GeoJSON	1250	2200	500	70
MVT	340	410	120	35
MLT	170	260	62	30

Дополнительно были сравнены ключевые возможности и ограничения форматов GeoJSON, MVT и MLT с точки зрения поддержки пространственных сценариев, открытости, доступности и применимости вне платформы MapLibre Native. Сравнительная характеристика возможностей и ограничений форматов представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика форматов по поддержке 2D/3D, доступности и применимости

Формат	2D-поддержка	3D-поддержка	Доступность	Использование вне MapLibre	Открытость спецификации	Примечания
GeoJSON	Да	Базовая (координаты с Z, простая визуализация)	Открыто, массово	Глобально (GIS, web, API)	RFC стандарт	Удобно для ручного редактирования, слабая производительность
MVT	Да	Не рассчитан на 3D, возможно имитировать через Z*	Открыто, массово	Умеренно (MapLibre, Mapbox, ArcGIS)	Mapbox Open Specification	Стандарт для 2D. 3D, возможно, симитировано в некоторой степени, но не рассчитан
MLT	Да	Продвинутая, полноценная поддержка	Бета, ограничено	Только MapLibre	Открытая спецификация	Самое эффективное хранение и фильтрация, ориентировано на 3D

Результаты сравнительного анализа показали, что GeoJSON обеспечивает максимальную прозрачность данных и гибкость при интеграции, но значительно уступает современным плиточным форматам по производительности и масштабируемости. Формат удобен для небольших проектов, аналитики, быстрой отладки, ручной модификации атрибутов, но при росте объема данных существенно возрастает время отклика и нагрузка на память.

MVT выступает как промышленный стандарт, оптимизированный под хранение и визуализацию больших трехмерных карт. Архитектура плиток позволяет подгружать

только необходимые участки, существенно экономит ресурсы и ускоряет взаимодействие с картой в условиях масштабирования. Несмотря на возможность имитации поддержки 3D (добавлением координаты Z), формат спроектирован преимущественно для 2D, и полноценной трехмерной функциональности не реализует.

MLT – новейший экспериментальный формат, разработанный специально для MapLibre Native, демонстрирует лучшие метрики по скорости декодирования, степени сжатия и поддержке сложных структур. В рамках тестирования MLT показал значительный выигрыш для задач с высокой детализацией и возможностями 3D-визуализации, хотя на момент публикации находится на этапе закрытого бета-тестирования и ограниченной доступности.

В целом выбор формата пространственных данных должен определяться балансом между прозрачностью и гибкостью структуры (GeoJSON), производительностью и объемом данных (MVT), а также требованиями к масштабированию, поддержке 3D и готовностью использовать экспериментальные решения (MLT).

Можно выделить следующие рекомендации по выбору формату:

- GeoJSON целесообразно использовать в большинстве случаев, особенно когда важна открытость, совместимость и независимость от конкретных платформ. Это устоявшийся формат с широким инструментарием и поддержкой во множестве ГИС-систем, что делает его надежным и универсальным решением для долгосрочных проектов.
- MVT (Mapbox Vector Tiles) рекомендуется применять для высокопроизводительных 2D-навигационных систем, где требуется эффективная передача и визуализация больших объемов данных. Однако использование данного формата оправдано только в тех случаях, когда развитие проекта в сторону 3D-визуализации не планируется.
- MLT (MapLibre Tiles) представляется наиболее перспективным форматом, обеспечивающим лучшую компрессию, скорость и поддержку трехмерных данных. Его рекомендуется рассматривать как основное решение для систем с 3D-визуализацией, однако целесообразно дождаться выхода стабильной и общедоступной версии спецификации перед внедрением в продуктивные проекты.

Таким образом, выбор формата пространственных данных должен определяться балансом между прозрачностью структуры, производительностью и перспективами развития системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что выбор формата пространственных данных для навигационных систем на базе MapLibre Native существенно влияет на производительность, масштабируемость и возможности приложения. GeoJSON сохраняет актуальность для небольших слоев и случаев, когда приоритетом является гибкость структуры и прозрачность данных, однако уступает по эффективности на больших объемах. Формат MVT сегодня представляет оптимальный баланс между скоростью, сжатием и совместимостью с промышленными решениями для 2D-карт.

Экспериментальный формат MLT демонстрирует значительный прогресс в вопросах поддержки 3D, быстрой работы со сложными данными и минимизации объема передаваемой информации, что делает его перспективным кандидатом для будущих приложений с богатыми пространственными слоями. Однако массовое внедрение MLT ограничено его текущей доступностью.

Результаты эксперимента позволяют разработчикам принимать обоснованные решения при выборе формата с учетом задач: для большинства 2D-проектов и быстрой визуализации – MVT, для аналитики и прототипирования – это GeoJSON, а для комплексных и ресурсоемких 3D-приложений следить за развитием MLT и быть готовым интегрировать его по мере выхода в стабильную версию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schiewe, J. An Approach for Adaptive Cartographic Visualization [Электронный ресурс] // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2025. – Т. 14, № 9. – Статья 336. – DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi14090336>. – URL: <https://www.mdpi.com/2220-9964/14/9/336> (дата обращения: 10.09.2025).
2. MapLibre (официальная спецификация и документация) [Электронный ресурс]. – URL: <https://maplibre.org/> (дата обращения: 10.09.2025).
3. GeoJSON – официальный стандарт [Электронный ресурс]. – URL: <https://geojson.org/geojson-spec.html> (дата обращения: 10.09.2025).
4. Mapbox Vector Tile спецификация [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/mapbox/vector-tile-spec> (дата обращения: 10.09.2025).
5. MapLibre Tile спецификация [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/maplibre/maplibre-tile-spec> (дата обращения: 10.09.2025).
6. Protocol Buffers [Электронный ресурс]. – URL: <https://protobuf.dev/> (дата обращения: 10.09.2025).

OPTIMIZATION OF SPATIAL DATA STORAGE AND VISUALIZATION ON THE MAPLIBRE NATIVE PLATFORM

M. I. Chaus, student

E-mail: student.chaus@gmail.com

Kaliningrad State Technical University

T. V. Snytnikova, Scientific supervisor: Candidate of Technical Sciences

The article discusses approaches to optimizing spatial data storage and visualization in mobile and web clients based on the MapLibre Native platform. Special attention is paid to the comparative analysis of GeoJSON, MVT (Mapbox Vector Tiles) and MLT (MapLibre Tiles) formats, which are key for building modern navigation and cartographic systems. The methods of integrating each of the formats into a mobile application are described, code examples are provided, and the impact of the data structure on loading, rendering, and memory usage of the client device is demonstrated. An experiment has been conducted to display an identical layer of the urban transport network using all three formats, the results of the work have been evaluated by key performance metrics. Based on the data obtained, recommendations are formulated for choosing the format depending on the objectives of the project, the specifics of the data and the prospects for the development of the MapLibre Native platform.

Keywords: *MapLibre Native, GeoJSON, MVT, MLT, vector tiles, data optimization, visualization, navigation systems.*