

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ/AEROSPACE RESEARCH OF THE EARTH, PHOTOGRAMMETRYDOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.61> EDN: FTFVHO**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ МЕСТА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ: ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ СТЕРЕОПАРА VS ТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Научная статья

Смирнов А.В.^{1,*}, Скрыпицына Т.Н.²¹ ORCID : 0000-0001-9610-8849;² ORCID : 0000-0003-4964-9196;^{1,2} Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (geo-aleksey[at]yandex.ru)

Предложена: 17.03.2026; Принята: 26.06.2026; Опубликовано: 17.07.2026

Аннотация

В статье выполнен сравнительный анализ трёх инструментальных технологий дистанционного документирования мест дорожно-транспортных происшествий (ДТП) — Visual SLAM, визуальной одометрии и панорамного картографирования — в сопоставлении с предлагаемым авторами методом цилиндрической стереопары, формируемой из записей автомобильных видеорегистраторов. Для каждой технологии рассмотрены принципы работы, преимущества и недостатки применительно к видеорегистраторам, результаты и типичные области применения, а также принципиальные отличия от метода цилиндрической стереопары. По девяти критериям составлена сравнительная таблица. Показано, что ни одна из рассматриваемых в исследовании технологий не обеспечивает одновременно метрической строгости и применимости к данным с видеорегистраторов. Метод цилиндрической стереопары может обеспечивать нужную точность измерений объектов ДТП и устранять проблему продольного базиса за счёт цилиндрической проекции без специализированного оборудования.

Ключевые слова: цилиндрическая стереопара, видеорегистратор, ДТП, фотограмметрия, Visual SLAM, визуальная одометрия, панорамное картографирование, судебная экспертиза, инспекция места происшествия.

COMPARATIVE ANALYSIS OF INSTRUMENTAL REMOTE DOCUMENTATION METHODS FOR TRAFFIC ACCIDENT SCENES: CYLINDRICAL STEREO PAIR VERSUS TRADITIONAL TECHNOLOGIES

Research article

Smirnov A.V.^{1,*}, Skrypitsyna T.N.²¹ ORCID : 0000-0001-9610-8849;² ORCID : 0000-0003-4964-9196;^{1,2} Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (geo-aleksey[at]yandex.ru)

Suggested: 17.03.2026; Accepted: 26.06.2026; Published: 17.07.2026

Abstract

This paper presents a comparative analysis of three instrumental technologies for remote documentation of road traffic accident (RTA) scenes — Visual SLAM, Visual Odometry, and panoramic mapping — compared with the author's proposed method of a cylindrical stereo pair derived from dashcam video recordings. For each technology the paper covers: operating principles, advantages and disadvantages with respect to monocular cameras and dashcams, typical results and application domains, and key differences from the cylindrical stereo pair method. A nine-criterion comparison table is provided. Results demonstrate that none of the technologies considered in the study simultaneously delivers metric rigour, compatibility with off-the-shelf DVR hardware, and direct applicability to retrospective accident footage. The cylindrical stereo pair occupies a unique position, achieving ~0.8-pixel accuracy in PHOTOMOD and resolving the longitudinal baseline problem through cylindrical projection without any specialised equipment.

Keywords: cylindrical stereo pair, dashcam, road traffic accident, photogrammetry, Visual SLAM, visual odometry, panoramic mapping, forensic examination, accident scene inspection.

Введение

Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) остаются одной из наиболее острых проблем современного общества. По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно в мире в результате ДТП погибает более 1,19 миллиона человек, ещё десятки миллионов получают ранения различной степени тяжести. Объективная и метрически точная документация места аварии является обязательным элементом уголовного или административного расследования, страхового урегулирования и технической реконструкции ДТП. Традиционные методы фиксации — ручные схемы, рулетка, тахеометрическая съёмка — трудоёмки, требуют блокирования движения и содержат субъективную составляющую [1], [2].

Параллельно с этим резко возросло число автомобилей, оснащённых видеорегистраторами. В Российской Федерации данный вид устройств установлен, по различным оценкам, более чем в 60% частных транспортных средств. Видеозапись регистратора зачастую является единственным объективным источником информации о предаварийной и аварийной ситуации — особенно вне населённых пунктов, где отсутствуют камеры наружного наблюдения. Тем не менее эти данные традиционно использовались лишь качественно: запись просматривалась, но не подвергалась метрическому анализу. Колоссальный массив пространственной информации оставался нераскрытым для геодезии и фотограмметрии [3].

Для судебно-технической экспертизы дорожно-транспортных происшествий действует ГОСТ Р 57144-2016 «Специальные технические средства фиксации нарушений ПДД», а методологию экспертизы определяет «Методические рекомендации по производству автотехнической экспертизы» (Минюст РФ). Погрешности измерений, проводимые инспекторами на месте ДТП, не должны превышать 5 см [4].

Предлагаемый метод цилиндрической стереопары, формируемой из последовательных кадров видеозаписи движущегося автомобиля, открывает принципиально новую возможность — превратить запись рядового регистратора в источник точных пространственных измерений [5]. Настоящая статья сопоставляет данный метод с тремя основными конкурирующими инструментальными технологиями применительно к задаче документирования мест ДТП. Для каждой из рассматриваемых технологий выполнен структурированный анализ по единой схеме: краткое описание принципа работы; преимущества и недостатки применительно к монокулярным камерам и видеорегистраторам; типичные результаты и сферы применения; ключевые различия с методом цилиндрической стереопары.

Потенциальный практический интерес к технологии есть в нескольких сферах деятельности: органы дорожной полиции и ГАИ, страховые компании и независимые оценщики, дорожно-эксплуатационные организации.

Обзор традиционных современных инструментальных технологий

2.1. Visual SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

2.1.1. Концепция метода

Visual SLAM — технология одновременной локализации и построения карты окружающего пространства исключительно на основе визуальных данных (рис. 1) — решает две взаимосвязанные задачи: строит трёхмерную карту неизвестной среды и одновременно определяет положение камеры в этой карте. Ключевая концепция состоит в итеративном уточнении как структуры карты, так и траектории движения источника съёмки по мере поступления новых кадров. В отличие от классической стереофотограмметрии, требующей предварительных данных о положении камеры или сцены, Visual SLAM работает в условиях полной неопределённости [2], [6], [7].

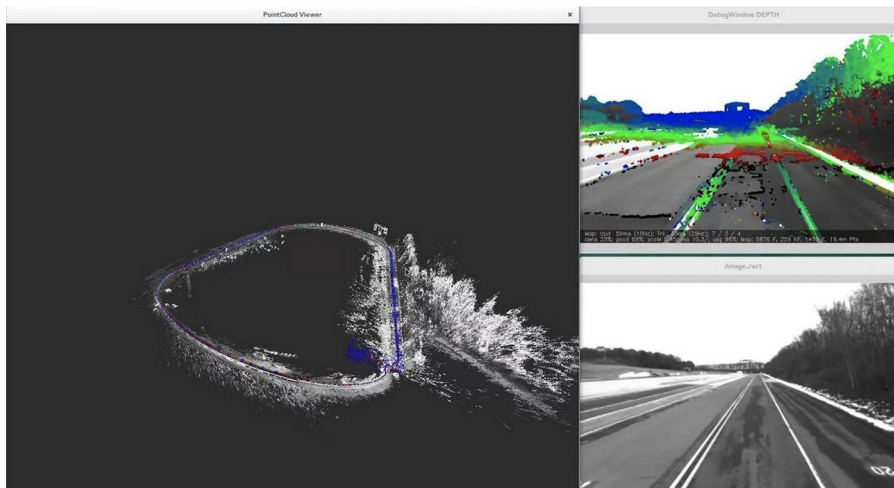


Рисунок 1 - Пример технологии Visual SLAM

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.61.1>

Примечание: [16]

Технологическая цепочка системы включает шесть последовательных этапов: инициализацию (первоначальная оценка положения камеры и масштаба сцены); поиск характерных общих точек (отождествление алгоритмами ORB, SIFT или аналогичными); уточнение триангуляции (фильтрация ненадёжных измерений); обнаружение замыканий циклов (loop closure — распознавание ранее снятых мест для компенсации накопленных ошибок); глобальную оптимизацию методом связок; и семантическую интерпретацию сцены. Наиболее распространёнными открытыми реализациями являются ORB-SLAM2/3, LSD-SLAM и VINS-Mono [2], [6], [7].

2.1.2. Преимущества и недостатки применительно к видеорегистраторам

Преимущества при работе с видеорегистратором: монокулярный режим обеспечивает совместимость с серийными регистраторами; алгоритм не требует специальных меток на дороге; современные реализации могут работать с видеозаписями в режиме пост-обработки, что позволяет применять алгоритм к ретроспективным материалам ДТП;

богатая семантическая информация (распознавание знаков, разметки) потенциально полезна для криминалистического анализа [2], [6].

Недостатки при работе с видеорегистратором: фундаментальным ограничением монокулярного SLAM является неопределённость масштаба — восстановленная сцена является лишь «похожей» на реальную в проективном, а не метрическом смысле. По данным обзорных исследований, средняя абсолютная ошибка позиционирования варьируется от 5 до более чем 60 см в зависимости от условий съёмки [5], [6], [7], что для криминалистической практики недопустимо без дополнительной геодезической привязки. Алгоритм крайне чувствителен к динамическим объектам (другим автомобилям, прохожим), нарушающим допущение о статичности сцены, — что типично для любых дорожных видеозаписей. Требуются значительные вычислительные ресурсы и специализированное программное обеспечение, недоступное рядовому сотруднику полиции или страховому эксперту. Агрессивное сжатие видеопотока (характерное для бытовых регистраторов) ухудшает качество детектирования признаков и снижает надёжность трекинга [6], [7].

2.1.3. Результаты и сферы применения

Типичными результатами работы Visual SLAM являются: разреженное или плотное облако точек (трёхмерная карта окружения), траектория движения камеры в виде последовательности матриц положения 4×4 , граф ключевых кадров, а в некоторых системах (Semantic Fusion, SuMa++) — семантическая разметка сцены с классификацией объектов по категориям. Технология нашла широкое применение в мобильной робототехнике (автономная навигация), беспилотном транспорте и системах помощи водителю в автомобилях ADAS (Advanced Driver Assistance Systems), дополненной реальности, трёхмерном сканировании интерьеров и архитектурных объектов, а также в системах видеонаблюдения для мониторинга транспортных потоков. В контексте дорожных аварий Visual SLAM используется в отдельных исследованиях для предварительной реконструкции обстановки, однако без геодезической привязки полученная модель не обладает метрической строгостью, необходимой для судебного заключения [2], [6], [8].

2.1.4. Ключевые различия с методом цилиндрической стереопары

Visual SLAM и цилиндрическая стереопара решают принципиально разные задачи. SLAM ориентирован на навигацию — одновременное определение положения источника и построение карты в режиме реального времени. Цилиндрическая стереопара ориентирована на измерение — получение метрически строгой трёхмерной модели участка дороги для судебного использования в режиме пост-обработки. Visual SLAM не устраняет проблему масштабной неопределённости для монокамеры без внешней опоры; цилиндрическая стереопара решает её за счёт геометрии цилиндрической проекции и известного базиса съёмки. Наконец, SLAM оптимизирован под произвольное движение в пространстве, тогда как цилиндрическая стереопара специально адаптирована к линейному движению автомобиля вдоль дороги, что является именно тем сценарием, который реализуется при любом ДТП [5], [6].

2.2. Визуальная одометрия (Visual Odometry)

2.2.1. Концепция метода

Визуальная одометрия (VO) — метод оценки положения и ориентации камеры путём анализа последовательных изображений, получаемых при её движении. Название восходит к классической колёсной одометрии, однако вместо механических датчиков используются исключительно оптические данные. Концептуальная основа метода — отслеживание смещения визуальных элементов (характерных точек) между кадрами и преобразование этой информации в оценку шести степеней свободы движения камеры: трёх компонент трансляции (оптического потока, детектора, фильтра ошибок) и трёх углов ротации [9], [10].

Технологическая цепочка VO включает: предварительную обработку (коррекция дисторсии, нормализация яркости, трансформирование для стерео-систем); извлечение и описание характерных общих точек (алгоритмы FAST, ORB, SIFT, SURF); сопоставление и отслеживание признаков между кадрами (алгоритмы Lucas-Kanade, RANSAC для фильтрации выбросов); оценку относительного движения (вычисление существенной матрицы для моноскопического варианта); уравнивание методом связей; и интеграцию последовательных оценок в глобальную траекторию. В отличие от SLAM, VO не строит глобальной карты и не выполняет замыкания циклов, что делает метод быстрее, но приводит к постепенному накоплению ошибок дрейфа [9], [10], [11].

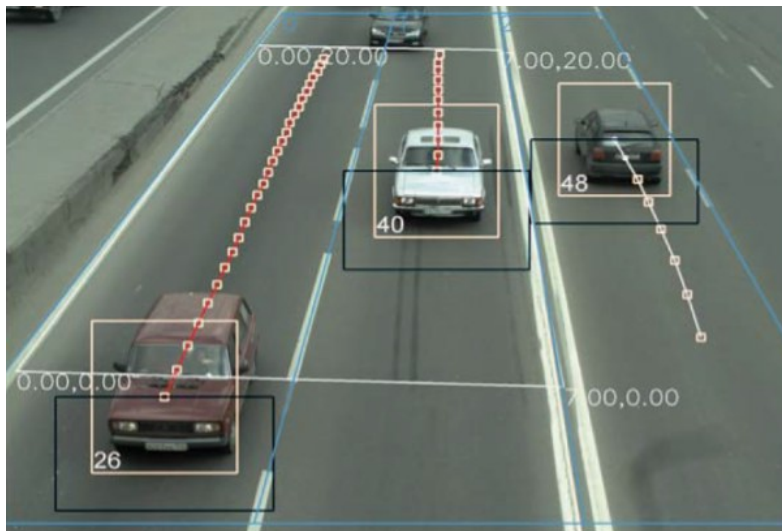


Рисунок 2 - Пример технологии визуальной одометрии при контроле скорости автотранспорта

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.61.2>*Примечание: источник [17]*

2.2.2. Преимущества и недостатки применительно к видеорегистраторам

Преимущества при работе с видеорегистратором: метод работает с серийными монокулярными камерами и не требует дополнительных сенсоров; вычислительные требования ниже, чем у полноценного SLAM; VO хорошо зарекомендовала себя для оценки скорости и траектории движения транспортного средства — эта информация может быть ценна для реконструкции механизма ДТП (рис. 2); независимость от GPS и внешней инфраструктуры позволяет применять метод в любых условиях [10], [11], [17].

Недостатки при работе с видеорегистратором: для монокулярной VO абсолютный масштаб сцены принципиально неопределён: восстановленная траектория подобна истинной, но не является метрической. Это означает, что расстояния и координаты объектов на месте ДТП без дополнительной геодезической привязки не могут быть получены с достаточной достоверностью для судебного использования [10], [11]. Накопление ошибок дрейфа при длительных последовательностях без внешней коррекции приводит к деградации точности. Агрессивная компрессия видео, типичная для бытовых видеорегистраторов, вносит артефакты, существенно ухудшающие качество детектирования и сопоставления признаков. Метод ориентирован на непрерывную обработку потока в реальном времени, тогда как для документирования ДТП нужны точные измерения в конкретный момент на основе архивной записи [9].

2.2.3. Результаты и сферы применения

Основными результатами визуальной одометрии являются: накопленная траектория движения камеры (последовательность матриц поворота R и трансляций t), оценка мгновенной скорости и ускорения, разреженное облако отслеживаемых признаков (побочный результат). Технология широко применяется в навигации мобильных роботов и беспилотных воздушных судах, системах ADAS и автономных автомобилях, дополненной реальности, медицинских эндоскопических навигационных системах, потребительской электронике (роботы-пылесосы, стабилизация видео), а также в планетоходах и космических аппаратах. В автомобильном контексте VO используется для оценки скорости транспортных средств по данным дорожных камер, что является косвенно полезным для реконструкции ДТП [10], [11].

2.2.4. Ключевые различия с методом цилиндрической стереопары

Визуальная одометрия и цилиндрическая стереопара используют одни и те же исходные данные — последовательность кадров монокулярной камеры, движущейся вдоль дороги, — но преследуют принципиально разные цели. VO нацелена на определение траектории движения источника съёмки; цилиндрическая стереопара нацелена на метрическое измерение объектов дорожной сцены. VO даёт проективную модель без метрического масштаба; цилиндрическая стереопара обеспечивает метрически строгую трёхмерную модель с контролируемой точностью. VO не решает задачу продольного базиса (движение вдоль полосы); цилиндрическая проекция специально разработана для этого сценария. VO оптимизирована для работы в реальном времени; цилиндрическая стереопара — для точной пост-обработки архивных материалов [5], [10].

2.3. Всенаправленные камеры и панорамное картографирование

2.3.1. Краткое описание технологии

Панорамное картографирование — технология создания цифровых визуальных моделей окружающей среды путём получения и объединения сферических или цилиндрических панорамных изображений, привязанных к географическим координатам. Наиболее известным примером является Google Street View, однако профессиональные геодезические системы (Leica Pegasus, Trimble MX, Riegl VMX) обеспечивают принципиально иной уровень метрической точности. Исторически именно в данной области впервые была применена цилиндрическая проекция для сшивки панорам — стандарт, ставший общепринятым [12].

Всенаправленные камеры подразделяются на три класса: объективы «рыбий глаз» (угол зрения до 220°), катадиоптрические системы (зеркало + объектив, единая оптическая ось), многокамерные системы (несколько стандартных камер с перекрывающимися полями зрения, от 3 до 8 объективов). Технологическая цепочка панорамного картографирования включает: синхронизированную съёмку серией камер или специализированным датчиком; геопозиционирование на основе GNSS/IMU; сшивку панорамного изображения (stitching) с устранением параллакса; трёхмерную реконструкцию (Multi-View Stereo — технология использования многократной засечки с разных ракурсов, dense stereo matching — глобальный метод отождествления, структурированный свет); и создание ортофотоплана или 3D-модели [12].

2.3.2. Преимущества и недостатки применительно к видеорегистраторам

Преимущества при работе с видеорегистратором: использование цилиндрической проекции при сшивке панорам концептуально близко к методу цилиндрической стереопары, что открывает возможности для перекрёстного применения алгоритмов. Профессиональные мобильные системы обеспечивают миллиметровую точность при интеграции с лазерным сканированием [12].

Недостатки при работе с видеорегистратором: системы данного класса по определению не являются монокулярными и несовместимы с серийными видеорегистраторами (рис. 3).

Профессиональные комплексы (Leica Pegasus, Trimble MX) стоят сотни тысяч долларов, что делает их недоступными для рядовых участников страхового или следственного процесса. Попытки применить потребительские панорамные камеры (Insta360, GoPro MAX) наталкиваются на проблему недостаточного перекрытия при продольном движении и отсутствие стандартной методики метрической калибровки. Системы типа Google Street View предназначены для картографического отображения, а не для точных измерений, и принципиально не обеспечивают сантиметровой точности, необходимой для судебной экспертизы [12], [13].

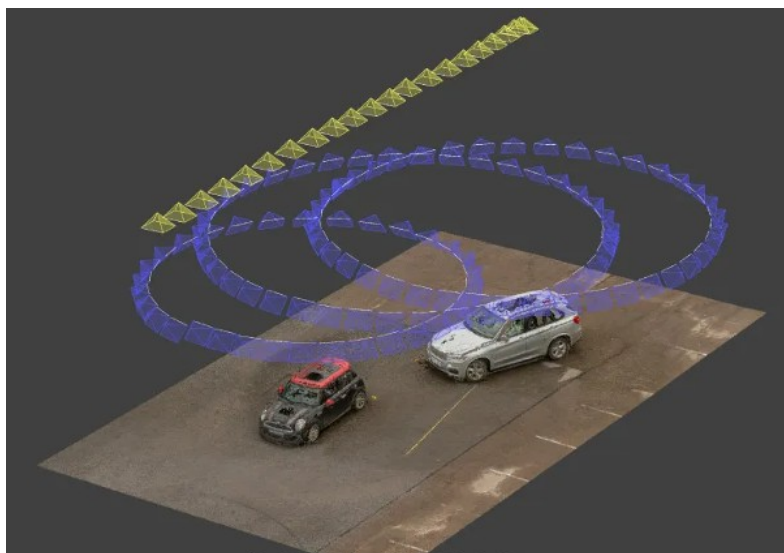


Рисунок 3 - Пример технологии системы всенаправленных камер

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.61.3>

Примечание: источник [18]

2.3.3. Результаты и сферы применения

Основными результатами панорамного картографирования являются: сферические и цилиндрические панорамы с геопривязкой; ортофотопланы участков дорожной сети; плотные трёхмерные модели дорожной инфраструктуры (при профессиональных системах); трёхмерные городские модели для ГИС. Технология применяется в картографировании улично-дорожной сети (Google Street View, Яндекс.Панорамы), инвентаризации дорожных знаков и разметки, дистанционном обследовании состояния дорожного покрытия, виртуальных турах и архитектурной документации, а также в инфраструктурных ГИС-проектах. В части документирования ДТП технология применима исключительно при наличии профессиональных мобильных систем; потребительские решения для этих задач не пригодны [8], [12].

2.3.4. Ключевые различия с методом цилиндрической стереопары

Поверхностное сходство обоих методов (цилиндрическая проекция, движение вдоль дороги) скрывает принципиальные различия. Панорамное картографирование требует специализированного многообъективного оборудования стоимостью от нескольких тысяч до сотен тысяч долларов; цилиндрическая стереопара работает с серийными монокулярными видеорегистраторами за 1–10 тыс. руб. Панорамные системы ориентированы на обширное покрытие территорий; цилиндрическая стереопара — на точное документирование конкретного места ДТП. Потребительские 360°-камеры лишены метрической строгости; цилиндрическая стереопара обеспечивает строгий фотограмметрический алгоритм с верифицируемой точностью. Наконец, панорамное картографирование предполагает плановую съёмку; цилиндрическая стереопара непосредственно использует ретроспективные записи DVR, сделанные до и в момент аварии [5], [12].

Сравнительный анализ инструментальных методов

В таблице представлено сопоставление трёх рассмотренных технологий и метода цилиндрической стереопары по девяти ключевым критериям, определяющим их применимость для задач документирования и метрического анализа мест ДТП.

Таблица 1 - Сравнительный анализ инструментальных методов документирования мест ДТП

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.61.4>

Критерий	Visual SLAM	Визуальная одометрия	Панорамное картографирование	Цилиндрическая стереопара (видеорегистратор)
Метрическая точность 3D-модели	5–60 см (дрейф без внешней опоры)	Масштаб не определён — проективная, не метрическая модель	Профессиональные системы: сантиметры; потребительские камеры: метрическая точность не гарантирована	~0,8 пикс. в ЦФС PHOTOMOD; контролируется стандартными геодезическими методами
Работа с монокамерой / видеорегистратором	Да (монокулярный SLAM), но масштаб неопределён	Да (монокопическая VO), масштаб не определён	Нет — требуется 360°-оптика	Да — основной режим работы; масштаб определён при продольном базисе
Стоимость оборудования	Средняя — нужен вычислительный блок реального времени	Низкая–средняя	Профессиональные системы: сотни тысяч долларов; потребительские камеры: средняя, без метрической строгости	Минимальная — серийный видеорегистратор (от 1 тыс. руб.)
Режим обработки	Реальное время (требует ресурсов)	Реальное время или пост-обработка	Пост-обработка (сшивка, калибровка)	Пост-обработка видеозаписи — не нужна спецподготовка съёмки
Решение задачи продольного базиса	Частично — дрейф при движении вдоль дороги	Не решает — траектория проективна	Н/Д — специфика оптики 360°	Да — цилиндрическая проекция устраняет проблему «бесконечно удаляющегося горизонта»
Чувствительность к динамическим объектам	Высокая — движущиеся объекты деградируют алгоритм	Средняя	Низкая	Низкая — пост-обработка позволяет фильтровать
Применимость к ретроспективным данным ДТП	Ограничена	Ограничена	Нет	Да — из архивной записи видеорегистратора
Специализированное ПО	Да (ORB-SLAM, VINS, ROS и др.)	Да (ORB, LSD, DVO и др.)	Да (проприетарное)	ЦФС PHOTOMOD; возможна интеграция в открытые платформы
Пригодность для судебной экспертизы	Ограничена — нет верифицируемой метрики	Не применима без привязки	Только проф. системы	Да — строгий фотограмметрический алгоритм

Анализ таблицы позволяет сформулировать следующие выводы. Ни одна из рассмотренных конкурирующих технологий не обеспечивает одновременно метрической точности, применимости с серийным монокулярными видеорегистраторами и возможности непосредственного использования ретроспективных видеозаписей ДТП.

Visual SLAM и визуальная одометрия теоретически совместимы с серийными регистраторами, однако принципиально не дают метрической модели без внешней геодезической опоры. Панорамное картографирование обеспечивает высокую точность лишь в профессиональном исполнении при недостижимой для следственных органов стоимости оборудования. Метод цилиндрической стереопары занимает в данном пространстве уникальное положение, совмещая строгость фотограмметрических алгоритмов с минимальными требованиями к оборудованию и возможностью работы с ретроспективными материалами [5], [6], [10].

Геодезические преимущества цилиндрической стереопары

Цилиндрическая стереопара, формируемая из кадров видеорегистратора, обладает рядом принципиальных геодезических преимуществ перед перечисленными методами.

Во-первых, математическая модель цилиндрической проекции однозначно решает проблему «бесконечно удаляющегося горизонта», принципиально ограничивающую применение стандартной стереофотограмметрии для съёмки с продольным базисом: при движении параллельно объектам дорожной сцены они не стремятся к точке схода, а занимают устойчивое положение на цилиндрической развёртке. Это обеспечивает надёжное стереотождество и устойчивую триангуляцию даже для объектов на значительном расстоянии вдоль дороги — именно тот сценарий, который реализуется при документировании места ДТП [5].

Во-вторых, метод работает с накопленными кадрами из единственного монокулярного регистратора, уже установленного на миллионах автомобилей, не требуя специализированного оборудования. Это принципиально отличает его от систем Visual SLAM, требующих дополнительных вычислительных блоков реального времени, от профессиональных мобильных картографических систем стоимостью сотни тысяч долларов.

В-третьих, метод позволяет реализовать строгие фотограмметрические алгоритмы — поиск связующих точек и построение модели, уравнивание методом связей, стереотождество, построение цифровой модели рельефа поверхности дорожного покрытия и ортофотоплана, — обеспечивающие метрическую точность, контролируемую и верифицируемую стандартными геодезическими методами. Экспериментальная апробация в программном обеспечении PHOTOMOD продемонстрировала точность стереомодели порядка 0,8 пикс (рис. 4) [5], [12].

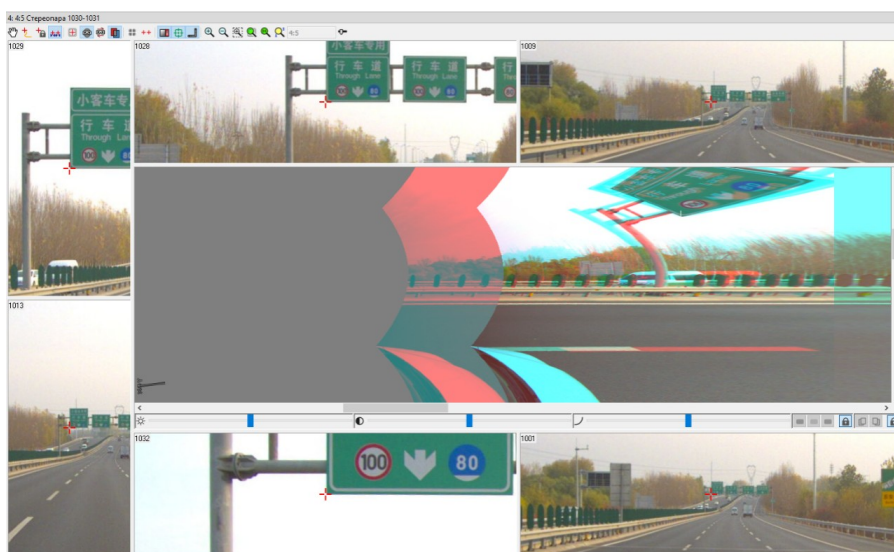


Рисунок 4 - Контроль внутренней геометрии стереомодели (ЦФС PHOTOMOD)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.61.5>

В-четвёртых, в отличие от методов, требующих специальной подготовки к съёмке, цилиндрическая стереопара использует ретроспективные видеоматериалы — записи, уже сделанные участниками ДТП в момент события. Это критически важно для криминалистической практики, где восстановить место происшествия в первоначальном виде зачастую невозможно. Аналогичные подходы к реконструкции ДТП по монокулярным видеоматериалам подтверждают принципиальную востребованность метрически строгих решений на основе широкодоступного оборудования [3], [8], [13], [14].

Важным является и нормативный аспект. Требования объективности и точности фиксации, закреплённые в Административном регламенте МВД РФ (Приказ №664) и ГОСТ Р 57144-2016, создают правовую основу для внедрения метода цилиндрической стереопары как стандартного инструмента инспекции. Погрешность измерений на месте ДТП не должна превышать 5 см. На международном уровне стандарты АСТАР (США) прямо допускают применение цифровых фотограмметрических методов в качестве надлежащего инструмента сбора метрических данных с места происшествия [4], [12], [14], [15].

Заключение

Проведённый сравнительный анализ трёх инструментальных технологий дистанционного документирования мест ДТП — Visual SLAM, визуальной одометрии и панорамного картографирования — показал, что ни одна из них не обеспечивает требуемого сочетания метрической строгости, совместимости с серийными видеорегистраторами и применимости к ретроспективным материалам.

Visual SLAM и визуальная одометрия совместимы с монокулярной камерой DVR, однако принципиально не дают метрической трёхмерной модели без внешней геодезической привязки; накопление дрейфа и чувствительность к динамическим объектам дополнительно ограничивают их пригодность для судебной экспертизы. Панорамное картографирование обеспечивает метрическую точность только в профессиональном исполнении при стоимости оборудования, недостижимой для следственных и страховых органов; потребительские 360°-камеры метрической строгостью не обладают [2], [6], [9], [10], [11].

Метод цилиндрической стереопары занимает уникальное положение, реализуя строгость профессиональной фотограмметрии (~0,8 пикс. в PHOTOMOD) при минимальных требованиях к оборудованию и с непосредственным использованием архивных видеозаписей видеорегистраторов. Цилиндрическая проекция устраняет системную проблему продольного базиса съёмки — нерешённую ни в одном из конкурирующих методов, — что делает данный подход особенно перспективным для документирования дорожных сцен [5].

Востребованность технологии подтверждается потребностями трёх ключевых профессиональных сообществ: геодезистов и фотограмметристов; органов дорожной полиции; страховых оценщиков и криминалистических экспертов. Дальнейшие исследования направлены на разработку методики калибровки потребительских видеорегистраторов, создание системы автоматизированной обработки с интеграцией методов машинного обучения и экспериментальную верификацию точности на геодезических тестовых полигонах.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Медведев П.С., Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.61.6>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Medvedev P.S., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.61.6>

Список литературы / References

1. Manuel E.J. Videogrammetry in Vehicle Crash Reconstruction with a Moving Video Camera / E.J. Manuel, R. Mink, D. Kruger // SAE Technical Paper 2018-01-0532. — 2018. — DOI: 10.4271/2018-01-0532.
2. Kazerouni I.A. A Survey of State-of-the-Art on Visual SLAM / I.A. Kazerouni, L. Fitzgerald, G. Dooly [et al.] // Expert Systems with Applications. — 2022. — Vol. 205. — № 6. — DOI: 10.1016/j.eswa.2022.117734.
3. Abramowski M.M. Analysis of Video Recordings in Accident Reconstruction / M.M. Abramowski, A. Reński // Archives of Transport. — 2024. — Vol. 69. — № 1. — DOI: 10.61089/xvvsd77.
4. Городокин В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий, осмотр места ДТП, схема места ДТП / В.А. Городокин, А.Е. Вязовский. — Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2010. — 48 с.
5. Smirnov A.V. Stereo Processing of Images Set from a Car Video Recorder / A.V. Smirnov // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. — 2025. — Vol. XLVIII-2/W9-2025. — P. 263–269. — DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W9-2025-263-2025.
6. Herrera-Granda E.P. Monocular Visual SLAM, Visual Odometry, and Structure from Motion Methods Applied to 3D Reconstruction: A Comprehensive Survey / E.P. Herrera-Granda, J.C. Torres-Cantero, D.H. Peluffo-Ordoñez // Heliyon. — 2024. — Vol. 10. — № 18. — 61 p. — DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e37356.
7. Macario Barros A. A Comprehensive Survey of Visual SLAM Algorithms / A. Macario Barros, M. Michel, Y. Moline [et al.] // Robotics. — 2022. — Vol. 11. — № 1. — 24 p. — DOI: 10.3390/robotics11010024.
8. Picard Q. A survey on real-time 3D scene reconstruction with SLAM methods in embedded systems / Q. Picard, S. Chevobbe, M. Darouich [et al.] // arXiv. — 2023. — 18 p. — URL: <https://arxiv.org/abs/2309.05349> (accessed: 15.05.2026).
9. Scaramuzza D. Visual Odometry [Tutorial]. Part I: The First 30 Years and Fundamentals / D. Scaramuzza, F. Fraundorfer // IEEE Robotics & Automation Magazine. — 2011. — Vol. 18. — № 4. — P. 80–92. — DOI: 10.1109/MRA.2011.943233.
10. Fraundorfer F. Visual Odometry. Part II: Matching, Robustness, Optimization, and Applications / F. Fraundorfer, D. Scaramuzza // IEEE Robotics & Automation Magazine. — 2012. — Vol. 19. — № 2. — P. 78–90. — DOI: 10.1109/MRA.2012.2182810.
11. Saputra M.R. Visual SLAM and Structure from Motion in Dynamic Environments: A Survey / M.R. Saputra, A. Markham, N. Trigoni // ACM Computing Surveys. — 2018. — Vol. 51. — № 2. — P. 1–36. — DOI: 10.1145/3177853.
12. Neale W. Photogrammetry and Analysis of Digital Media / W. Neale, T. Terpstra // SAE Course C1712. — 2024. — ACTAR-accredited. — URL: <https://www.sae.org/learn/content/c1712/> (accessed: 15.05.2026).



13. Chen Ya. Transforming Traffic Accident Investigations: A Virtual-Real-Fusion Framework for Intelligent 3D Traffic Accident Reconstruction / Ya. Chen, Q. Zhang, F. Yu // *Complex & Intelligent Systems*. — 2024. — Vol. 11. — № 1. — DOI: 10.1007/s40747-024-01693-9.
14. Ospina-Bohórquez A. Comprehensive Forensic Tool for Crime Scene and Traffic Accident 3D Reconstruction / A. Ospina-Bohórquez, E. Ruiz De Oña, R. Yali [et al.] // *Algorithms*. — 2025. — Vol. 18. — № 11. — DOI: 10.3390/a18110707.
15. Kolla E. Simulation-Based Reconstruction of Traffic Incidents from Moving Vehicle Mono-Camera / E. Kolla, V. Adamová, P. Verta // *Science & Justice* — 2021. — Vol. 62. — № 6. — DOI: 10.1016/j.scijus.2021.11.001.
16. lsd-slam with openFabMap at the Penn State Test Track — Multiple Traversals // YouTube. — 00:03:20. — URL: <https://www.youtube.com/watch?v=yifWhSbs0Yg> (accessed: 15.05.2026).
17. Установку дорожных камер «частниками» могут запретить // Careta.info. — 2026. — URL: <http://careta.info/ustanovku-dorozhnyh-kamer-chastnikami-mogut-zapretit/> (дата обращения: 15.05.2026).
18. Zmejvskis L. Quick Vehicle Accident Documentation with Photogrammetry / L. Zmejvskis. — 2024. — URL: <https://www.pix-pro.com/blog/accident> (accessed: 15.05.2026).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Manuel E.J. Videogrammetry in Vehicle Crash Reconstruction with a Moving Video Camera / E.J. Manuel, R. Mink, D. Kruger // *SAE Technical Paper 2018-01-0532*. — 2018. — DOI: 10.4271/2018-01-0532.
2. Kazerouni I.A. A Survey of State-of-the-Art on Visual SLAM / I.A. Kazerouni, L. Fitzgerald, G. Dooly [et al.] // *Expert Systems with Applications*. — 2022. — Vol. 205. — № 6. — DOI: 10.1016/j.eswa.2022.117734.
3. Abramowski M.M. Analysis of Video Recordings in Accident Reconstruction / M.M. Abramowski, A. Reński // *Archives of Transport*. — 2024. — Vol. 69. — № 1. — DOI: 10.61089/xvvsd77.
4. Gorodokin V.A. Ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy, osmotr mesta DTP, skhema mesta DTP [Expertise of road traffic accidents, inspection of the accident scene, diagram of the accident scene] / V.A. Gorodokin, A.E. Vyazovsky. — Chelyabinsk : South Ural State University Publishing Centre, 2010. — 48 p. [in Russian]
5. Smirnov A.V. Stereo Processing of Images Set from a Car Video Recorder / A.V. Smirnov // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. — 2025. — Vol. XLVIII-2/W9-2025. — P. 263–269. — DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W9-2025-263-2025.
6. Herrera-Granda E.P. Monocular Visual SLAM, Visual Odometry, and Structure from Motion Methods Applied to 3D Reconstruction: A Comprehensive Survey / E.P. Herrera-Granda, J.C. Torres-Cantero, D.H. Peluffo-Ordoñez // *Heliyon*. — 2024. — Vol. 10. — № 18. — 61 p. — DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e37356.
7. Macario Barros A. A Comprehensive Survey of Visual SLAM Algorithms / A. Macario Barros, M. Michel, Y. Moline [et al.] // *Robotics*. — 2022. — Vol. 11. — № 1. — 24 p. — DOI: 10.3390/robotics11010024.
8. Picard Q. A survey on real-time 3D scene reconstruction with SLAM methods in embedded systems / Q. Picard, S. Chevobbe, M. Darouich [et al.] // *arXiv*. — 2023. — 18 p. — URL: <https://arxiv.org/abs/2309.05349> (accessed: 15.05.2026).
9. Scaramuzza D. Visual Odometry [Tutorial]. Part I: The First 30 Years and Fundamentals / D. Scaramuzza, F. Fraundorfer // *IEEE Robotics & Automation Magazine*. — 2011. — Vol. 18. — № 4. — P. 80–92. — DOI: 10.1109/MRA.2011.943233.
10. Fraundorfer F. Visual Odometry. Part II: Matching, Robustness, Optimization, and Applications / F. Fraundorfer, D. Scaramuzza // *IEEE Robotics & Automation Magazine*. — 2012. — Vol. 19. — № 2. — P. 78–90. — DOI: 10.1109/MRA.2012.2182810.
11. Saputra M.R. Visual SLAM and Structure from Motion in Dynamic Environments: A Survey / M.R. Saputra, A. Markham, N. Trigoni // *ACM Computing Surveys*. — 2018. — Vol. 51. — № 2. — P. 1–36. — DOI: 10.1145/3177853.
12. Neale W. Photogrammetry and Analysis of Digital Media / W. Neale, T. Terpstra // *SAE Course C1712*. — 2024. — ACTAR-accredited. — URL: <https://www.sae.org/learn/content/c1712/> (accessed: 15.05.2026).
13. Chen Ya. Transforming Traffic Accident Investigations: A Virtual-Real-Fusion Framework for Intelligent 3D Traffic Accident Reconstruction / Ya. Chen, Q. Zhang, F. Yu // *Complex & Intelligent Systems*. — 2024. — Vol. 11. — № 1. — DOI: 10.1007/s40747-024-01693-9.
14. Ospina-Bohórquez A. Comprehensive Forensic Tool for Crime Scene and Traffic Accident 3D Reconstruction / A. Ospina-Bohórquez, E. Ruiz De Oña, R. Yali [et al.] // *Algorithms*. — 2025. — Vol. 18. — № 11. — DOI: 10.3390/a18110707.
15. Kolla E. Simulation-Based Reconstruction of Traffic Incidents from Moving Vehicle Mono-Camera / E. Kolla, V. Adamová, P. Verta // *Science & Justice* — 2021. — Vol. 62. — № 6. — DOI: 10.1016/j.scijus.2021.11.001.
16. lsd-slam with openFabMap at the Penn State Test Track — Multiple Traversals // YouTube. — 00:03:20. — URL: <https://www.youtube.com/watch?v=yifWhSbs0Yg> (accessed: 15.05.2026).
17. Установку дорожных камер "частниками" могут запретить [The installation of road cameras by "private individuals" may be prohibited] // Careta.info. — 2026. — URL: <http://careta.info/ustanovku-dorozhnyh-kamer-chastnikami-mogut-zapretit/> (accessed: 15.05.2026). [in Russian]
18. Zmejvskis L. Quick Vehicle Accident Documentation with Photogrammetry / L. Zmejvskis. — 2024. — URL: <https://www.pix-pro.com/blog/accident> (accessed: 15.05.2026).