



Цифровое представление в виртуальной реальности места происшествия как инструмент уголовного судопроизводства

Влада Владимировна Кугуракова^{1✉}, Игорь Олегович Антонов²,
Богдан Викторович Гончаренко³, Артыш Алимович Чайбар⁴

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

^{1✉}vlada.kugurakova@gmail.com

(подробнее об авторах на с. 219)

Аннотация. Представлены новые возможности таких технологий, как фотограмметрия и виртуальная реальность, для применения в уголовном судопроизводстве. Описана концепция построения «на лету» трёхмерной цифровой копии происшествия непосредственно на его месте. Концепция апробирована с применением конкретных технологических подходов создания цифровой копии происшествия с серверной обработкой первоначальной информации из набора фотоснимков места происшествия с нескольких ракурсов. Разработана архитектура программно-аппаратного комплекса, описан функционал мобильного решения и приложения виртуальной реальности. Показано, как цифровая копия происшествия может быть использована, в частности, при доказательствах по уголовному делу как субъектами обвинения, так и субъектами защиты. Сегодня использование в судопроизводстве технологии виртуальной реальности в обозначенном аспекте является одним из новых и весьма перспективных направлений. Известно об использовании отечественными криминалистами технологий изготовления компьютерных сферических панорам и виртуальных туров мест происшествий. Авторы предлагают свои варианты решения ряда проблем в этой области и аргументируют поэтапное внедрение предложенных технологий в судебно-следственную практику. (*see abstract in English on p. 221*)

Ключевые слова и фразы: фотограмметрия, рендер, клиент-сервер, виртуальная реальность, VR, уголовное судопроизводство, digital twin, цифровая копия, место происшествия, криминалистика

Благодарности: Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («ПРИОРИТЕТ-2030»)

Для цитирования: Кугуракова В.В., Антонов И.О., Гончаренко Б.В., Чайбар А.А. Цифровое представление в виртуальной реальности места происшествия как инструмент уголовного судопроизводства // Программные системы: теория и приложения. 2022. Т. 13. № 3(54). С. 193–223. http://psta.psiras.ru/read/psta2022_3_193-223.pdf

Введение

Осмотр и исследование места происшествия (МП) – неотъемлемая часть уголовного расследования. Чтобы зафиксировать МП, требуется собрать значительное количество вещественных доказательств, которые в дальнейшем будут использованы в расследовании. Но, как и в любом деле, не стоит исключать человеческий фактор, который может повлиять на данный процесс: нельзя исключать того, что в силу действия самых различных субъективных и объективных факторов следователь в процессе осмотра может упустить из виду криминалистически значимую информацию, причем, в последствии у него не всегда будет возможность провести повторный осмотр места происшествия. Ведь МП в первоначальном виде следственная группа может посетить лишь один раз, после чего оно может претерпевать изменения. Поэтому, если при первоначальном осмотре вследствие человеческого фактора была допущена ошибка, то важные детали могут быть безвозвратно утеряны.

Соответственно, криминалисты всегда были заинтересованы в создании технологий минимизирующей риски такого рода «потерь» криминалистически значимой информации при производстве первоначального осмотра МП, а также в повышении эффективности «повторного» осмотра места происшествия, если возникнет необходимость в его производстве.

На наш взгляд, одним из решений обозначенной выше проблемы может быть создание аппаратно-программного комплекса, который позволит сформировать максимально точную визуальную цифровую копию места происшествия в виртуальной реальности (VR).

Согласно исследованию Университета Южной Австралии [1], в рамках которого были опрошены две группы присяжных по 15 человек, способность выстраивать причинно-следственную связь при осмотре места преступления в виртуальной реальности возрастает на 40% в сравнении с использованием обычных фотографий. В этом исследовании из 15 присяжных, которые просматривали место происшествия в VR, смогли установить точную причину смерти пострадавшего 13 человек, в то время как из 15 человек, просмотревших фотографии, точную причину установили 8 человек.

Технология фотограмметрии позволяет построить по набору фотографий с разных ракурсов довольно точную трёхмерную модель внутреннего помещения или локации вне каких-то помещений (часть

улицы, двор, берег реки, опушка перелеска) – и чем больше будет такой набор, тем точнее будет полученная модель. Имея такую трёхмерную модель, становится возможным вернуться к детальному анализу места происшествия, рассмотреть ближе его отдельные участки (фрагменты). Неслучайно в криминалистической литературе названному весьма перспективному направлению уже давно уделяется заметное внимание специалистов (см., например, [2], [3]).

1. Связанные работы

В настоящее время использование технологии VR ещё не получила широкого распространения в судопроизводстве, но активно ведутся исследования и разрабатываются рекомендации как по применению этой технологии в криминалистике, так и использованию полученных данных в процедурах доказывания по уголовному делу.

В 2022 году в суде штата Флорида (США) адвокат Кен Падовиц, представляя в суде своего клиента Бенджамина Сигела, обвиняемого в попытке наезда на соседа, во время которой подсудимый был за рулем спорткара Dodge Viper, заявил ходатайство об использовании технологии VR в рамках рассмотрения уголовного дела с участием присяжных [4]. Падовиц активно использует новые технологии уже с 1992 года, когда он представлял двухмерную компьютерную анимацию для иллюстрации показаний эксперта во время заседаний, с тех пор компьютерная анимация стала активно применяться стороной защиты в уголовных процессах.

Выше мы упоминали случай использования технологии VR присяжными в смоделированном судебном процессе [1], где автор сравнил влияние на познание и удобство использования VR присяжными по сравнению с использованием только изображений. Полученный результат показал, что использование технологии VR привело к эффективному и последовательному принятию решения.

В работе [5] рассмотрена замена процесса обычного допроса грабителей для получения показаний на использование VR для описания поведения преступников в момент совершения преступления. Авторы обосновали преимущество нововведения тем, что, когда преступники повторно «совершают» свои преступления в виртуальной среде, на них уже в меньшей степени действуют субъективные и объективные факторы, влияющие на точность их показаний.

Стоит отметить опыт использования отечественными криминалистами технологий изготовления компьютерных сферических панорам и виртуальных туров мест происшествий [6].

Итак, как мы видим, виртуальная реальность постепенно становится все более востребованной в уголовном судопроизводстве. Мы считаем, что технология VR имеет большой потенциал в помощи раскрытию преступлений и доказательной практике.

Визуальные цифровые копии или цифровые двойники (в англоязычных источниках принят термин digital twin¹) уже стали одним из трендов использования в промышленности, наш собственный опыт их применения [7] позволяет вести мониторинг промышленных систем в режиме реального времени, оперативно реагировать на выявленные проблемы или даже их предсказывать.

2. Фиксация места происшествия

В настоящее время при фиксации МП главным средством фиксации является протокол осмотра этого места – основной процессуальный документ, отражающий результаты осмотра (согл. ст. 166 и 180 УПК). Протокол должен быть снабжен планами места происшествия – как масштабными, так и схематическими, на которых должны быть указаны расстояния от каждого объекта до двух неподвижных ориентиров, а также между самими этими объектами.

Обычно составляют два плана: (1) общий – план МП и прилегающей местности; (2) частный – само МП со всеми объектами, обнаруженными на нём. Планы и схемы составляют на месте происшествия, непосредственно после составления протокола осмотра или одновременно с ним. Другим привычным приложением к протоколу осмотра являются фототаблицы, где приведены фотографии всех важных объектов или деталей с подписями, что именно изображено на каждом снимке и в каких условиях произведена съемка. Отметим, что для фиксации хода и результатов осмотра также может применяться видеозапись.

С появлением новых технических средств процедура фиксации МП, конечно, должна претерпевать изменения, становясь быстрее, проще, с повышением информативности результата.

¹Цифровой двойник (или digital twin) – это виртуальное представление объекта или системы, которое охватывает весь ее жизненный цикл, обновляется на основе данных в режиме реального времени и использует моделирование, машинное обучение и рассуждения для принятия решений.

Идея достижения новых качеств процедуры фиксации МП лежит на поверхности: могут быть использованы такие личные подручные средства, какими сейчас стали высокотехнологичные смартфоны, позволяющие в режиме реального времени делать практически неограниченное количество фотоснимков с любых ракурсов. Мобильное приложение, размещенное на таком смартфоне, может реализовать как отсылку и архивирование значимых фотоизображений на удаленном сервере, так и моментальное построение на их основе трёхмерной сцены места происшествия. Использование аналитических фильтров и автоматической постобработки фотоизображений позволяет улучшить результирующее качество. Такая сцена является по сути визуальным цифровым двойником МП или **цифровой копией происшествия (ЦКП)**. Все расстояния между объектами будут вычислены на основании построенной трёхмерной модели, но могут быть также отдельно измерены и зафиксированы для подтверждения правильности построенной топологии. Наличие сенсора LiDAR² на смартфонах iOS серии Pro или аналогичных продвинутых устройств Android значительно улучшает технологию съёмки ЦКП, позволяя выдавать максимально достоверную точность измерения расстояний, которые могут уже не нуждаться в перепроверке.

Построенная ЦКП позволит детально представить все нюансы события и по сути визуально проработать обстановку происшествия, опираясь на точную геометрию помещения и топологию пространства и физическое содержание сопутствующих событий, построить причинно-следственные связи, детализировать отдельные объекты, на которых возможно не было сфокусировано внимание на начальных этапах следственного осмотра, а также в процессе предварительного расследования и судебного разбирательства уголовного дела в последующем визуально продемонстрировать доказательства, обнаруженные в ходе осмотра.

3. Перспективы использования VR в уголовном судопроизводстве

Особый интерес представляют процедуры, в рамках которых возможно повышение эффективности уголовного судопроизводства

²LiDAR (или лидар) – аббревиатура, означающая «обнаружение света и дальность». Иногда его называют «лазерным сканированием» или «3D-сканированием». Эта технология использует безопасные для глаз лазерные лучи для создания трёхмерного изображения исследуемой среды.

посредством использования ЦКП как на стадии предварительного расследования, так на стадии судебного разбирательства уголовного дела. В рамках названных процедур применение ЦКП нельзя исключать с целью уточнения или изменения квалификации криминального деяния. На этапе предварительного расследования к таким процедурам можно отнести различные виды следственного осмотра, в рамках которых посредством создания ЦКП можно решить следующие задачи:

- фиксация обстановки МП;
- оформление ЦКП как приложения к протоколу осмотра;
- детальная реконструкция МП; item компьютерное моделирование различных процессов, происходивших во время происшествия;
- манипуляции с 3D-сценой ЦКП: повороты, увеличение/уменьшение, «осмысленная» автоматическая сегментация объектов;
- фильтры, быстрая дефектоскопия.

Одновременно формируется обширное поле для обработки в автоматическом режиме пакета фотофиксации с применением нейронных сетей.

Благодаря VR и ЦКП, на этапе передачи дела прокурору для утверждения обвинительного заключения возможно осуществление визуального осмотра места происшествия для повышения эффективности надзора за качеством следственного осмотра, в частности, и предварительного следствия в целом.

На этапе подготовки и производства судебного разбирательства ЦКП является одним из исследуемых доказательств (приложение к протоколу осмотра), может быть основой для проверки качества проведенного следственного действия, а в ряде случаев – и всего предварительного расследования, исходя из того, насколько решающим для следствия являются результаты осмотра. Благодаря использованию ЦКП, также нельзя исключать получения в суде доказательственной информации, ещё не зафиксированной в материалах дела.

На всех этапах движения уголовного дела (после фиксации МП) появляется возможность многократного «возвращения» к визуальной процедуре осмотра.

Вместе с тем, нельзя переоценивать возникающие перспективы использования комплекса технологий VR и искусственного интеллекта, обработки изображений в уголовном судопроизводстве при осмотре места происшествия – участники уголовного производства могут

использовать только качественную визуальную фиксацию для решения своих задач. Иные составляющие (материальные) обстановки места происшествия предполагают использование других криминалистических методов познания.

Следующим этапом использования ЦКП в уголовном судопроизводстве могут стать дополнение и развитие существующих информационных систем правоохранительных органов, например, для автоматического поиска прецедентов и формирования датасета судебных делопроизводств – с целью обучения нейронных сетей. Практическая реализация такого подхода позволит российскому судопроизводству повысить эффективность выявления, раскрытия и расследования преступлений.

4. Технологические подходы к реконструкции трёхмерной сцены

4.1. Фотограмметрия

Для построения 3D-модели используются подходы фотограмметрии³. Суть заключается в определении геометрии сцены по набору неупорядоченных фотографий или видео. Фотография – это проекция трёхмерной сцены на двухмерную плоскость, но с потерей информации о глубине. Цель фотограмметрии – обратить этот процесс вспять (см. рис. 1).

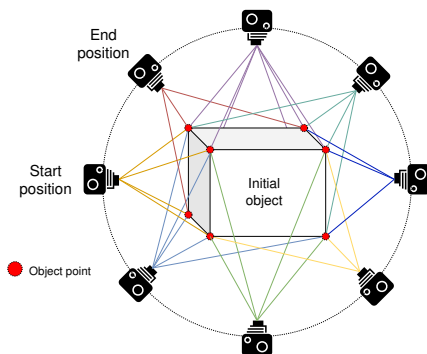


РИСУНОК 1. Схема создания 3D-модели с помощью фотограмметрии.

³Фотограмметрия – наука о проведении измерений по фотографиям.

Фотограмметрическая обработка – это процесс преобразования координат объекта из одной системы в другую. Преимущества фотограмметрической обработки – это возможность получения числовой информации большей густоты, чем при непосредственных промерах, а также возможность получения информации об объекте без прямого контакта с ним.

Даже малейшее перемещение предметов на месте преступления может повлиять на ход расследования. Кроме того, объект может находиться вне зоны досягаемости или в зоне, опасной для жизни человека.

Существует множество программных реализаций названного подхода. Примеры использования фотограмметрии для VR представлены компанией ExperiusVR (<https://experius.com>), в них успешно сочетаются технологии видео 360, фотограмметрии, объемного видео и 3D-аудио. Яркий пример реализации этого подхода – видеодемонстрация исследования египетской гробницы в VR [8].

В настоящей работе для использования в создаваемом программно-аппаратном комплексе были рассмотрены как потенциальные две технологии:

- (1) ADOP [9];
- (2) AliceVision в составе Meshroom [10].

ADOP

Фреймворк ADOP (сокр. *Approximate Differentiable One-Pixel Point Rendering*) использует принцип построения 3D-модели на базе рендеринга облака точек (см. рис. 2), но конечный результат сильно

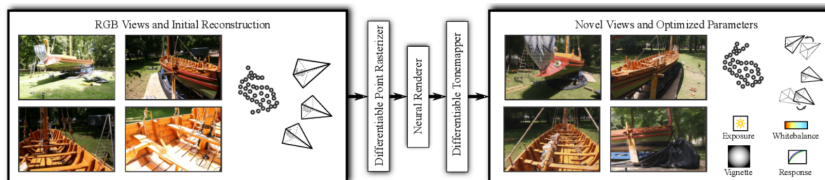


Рисунок 2. Фотограмметрия ADOP.

зависит от входных данных: если, например, сканируемый объект содержит отверстия или выходные фотографии выровнены не идеально, то в результате могут наблюдаться различные артефакты (см. рис. 3).



Рисунок 3. Пример артефакта на 3D-модели (изображение взято из <http://www.srcxor.org/blog/3d-glitching/>).

На основе работы [11], которая показала, что можно объединить растеризатор⁴ точек с глубокой нейронной сетью, в [9] были внесены существенные улучшения, которые повысили производительность рендеринга, а количество артефактов было уменьшено. Однако неизвестно, будет ли дальше развиваться предложенная технология с точки зрения экспорта построенной модели в другие приложения для работы с 3D-объектами и/или доработки программного обеспечения (ПО), которое позволило бы производить манипуляции с построенной моделью (так как в названной работе нет упоминаний того, что созданные модели можно экспортировать в необходимые форматы). Эта сложность пока ставит под вопрос использование данной технологии в системе, описанной в настоящей работе, так как пока вопрос импорта ещё не решён. Но, исходя из нашей переписки (<https://github.com/darglein/ADOP/issues/53>) с автором, эту проблему решить можно, хотя явного решения пока что нет.

4.2. AliceVision

Фотограмметрическая система компьютерного зрения AliceVision (<https://alicevision.org>) предоставляет пайплайн⁵ для реконструк-

⁴Растеризация, растривание – процессы, конечным результатом которых являются растровые изображения.

⁵Пайплайн (англ. pipeline) – конвейер, в разработке программного обеспечения – это полный цикл процесса производства приложения.

ции 3D-сцены из набора неотсортированных фотографий (рис. 4) и лежит в основе бесплатного программного обеспечения с открытым исходным кодом Meshroom (<https://github.com/alicevision/meshroom>).

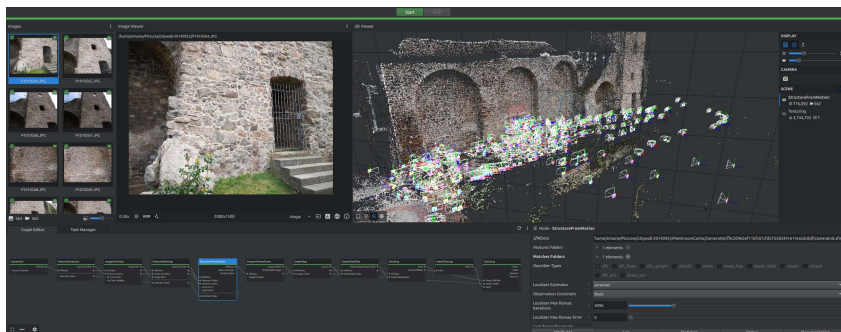


РИСУНОК 4. Фотограмметрия AliceVision [10]

Значительное преимущество этого проекта заключается в том, что он разрабатывается дольше, чем ADOP. Первый релиз⁶ был в 2018 году, вместе с этим был первый релиз Meshroom. Безусловно, за 4 года существования системы она лучше отлажена и работает стабильнее. Этому также способствовал тот факт, что большое количество участников принимало участие в разработке и улучшении продукта, так как проект является open-source⁷.

Помимо возможностей самой системы AliceVision, ПО Meshroom обладает широким функционалом и удобным пользовательским интерфейсом для манипуляции с моделью, а также обладает кроссплатформенностью, поставляется под операционные системы Windows и Linux. Напротив, система ADOP (на момент написания текущей работы) реализована только под ОС Linux.

⁶Релиз (от англ. release – «выпуск»): выпуск, демонстрация, публикация, показ; также сам выпускаемый объект; (комп. сленг) окончательная версия программы.

⁷Открытое программное обеспечение (англ. open-source software) – альтернативное название свободного программного обеспечения, введенное из-за неоднозначности выражения «free software» в английском языке. Выражение означает доступность произведения и материалов, использованных для его создания, по свободной/открытой лицензии.

Важным преимуществом обеих систем является наличие CLI⁸ для взаимодействия с ними, так как действия на сервере будут автоматизированы, а вмешательство пользователя не подразумевается.

Однако недостаток обеих технологий заключается в том, что это open-source проекты, что влечет ряд проблем.

Во-первых, это неоперативное исправление обнаруженных дефектов или внесение доработок. Механизм публикации в Github issue⁹ позволяет доводить информацию до авторов, но нет гарантий, что соответствующий дефект будет исправлен в следующем релизе или доработка будет вскоре выполнена. Если взглянуть с другой стороны, то у AliceVision база разработчиков, которые работают над улучшением и исправлением дефектов, больше, чем у ADOP, что в некоторой степени снимает данную проблему.

Во-вторых, имеется проблема с периодичностью релизов. Преимущества коммерческих решений над open-source, как известно, состоят в том, что для коммерческих решений гарантированы стабильные выпуски новых версий ПО, нежели в проектах open-source.

В итоге, подходя к выбору фреймворка и учитывая преимущества и недостатки технологий, названных выше, на данный момент времени предпочтение отдано нами фреймворку AliceVision, при этом функциональные возможности этой технологии дают больше вариантов интеграции с системой, разрабатываемой нами.

5. Разработанные архитектура программно-аппаратного комплекса и стек технологий

На базе подходов к трёхмерной реконструкции на основе фотogramметрии, описанных выше, нами разработаны архитектура программно-аппаратного комплекса и стек технологий, необходимых для реализации пилотного решения создания ЦКП in situ (то есть непосредственно на месте) и последующей обработки на сервере. Полученная ЦКП может быть неоднократно использована в режиме применения спектра инструментов для принятия решений, главное, в режиме VR – для доказательной практики.

⁸CLI – сокращение от англ., Command Line Interface (интерфейс командной строки). Разновидность текстового интерфейса между человеком и компьютером, в котором инструкции компьютеру даются в основном путём ввода с клавиатуры текстовых строк (команд).

⁹Github issue – это система отслеживания дефектов (багов).

5.1. Архитектура и её функциональные возможности

Реализованная система состоит из следующих элементов: сервер приложения, мобильный клиент, десктопное приложение, VR-приложение. Схема на рис. 5 иллюстрирует пилотное решение, является упрощенной и выделяет максимально облегченный каркас взаимодействий, необходимый и достаточный для реализации так называемого proof of concept (а именно, доказательства выдвинутой гипотезы о применимости использования ЦКП для уголовного судопроизводства).

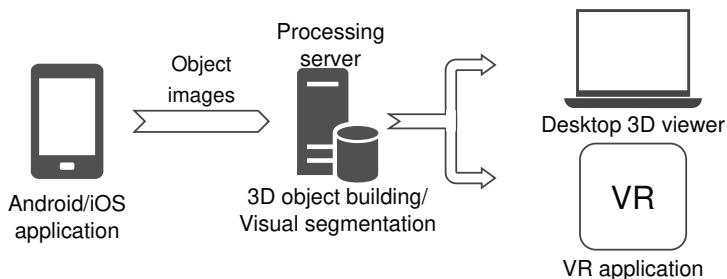


Рисунок 5. Общая схема архитектуры программно-аппаратного комплекса

При внедрении же непосредственно в уголовное судопроизводство полноценного программно-аппаратного комплекса его архитектура должна быть значительно пересмотрена и развита: она должна включать все уровни авторизации и доступа к информации; обеспечивать решение проблем снятия данных с удаленных точек, недоступных для быстрой передачи тяжелых фотоизображений, необходимых для достижения определенного уровня качества; включать модули дополнительных возможностей и функционал, который непосредственно должен составлять сущность исследовательской работы следователей с ЦКП, а также функционал архивирования дел, поиска прецедентов, использования нейронной сети в качестве датасета для уточнения её обучения и ряд других. Чтобы достичь поставленных целей, разработка должна быть разделена на следующие три этапа.

- (1) Реализация демонстрационного решения, которая покажет слабые места в системе; возможно также, что не все предлагаемые к использованию фреймворки попадут в релиз, и будет необходим поиск аналоговых решений. Этот этап подразумевает, что в ходе реализации программной части проекта будет вестись тесная

работа с сотрудниками правоохранительных органов, так как они являются конечными пользователями системы.

- (2) Реализация MVP¹⁰-решения, его демонстрация и тестовая эксплуатация с сотрудниками правоохранительных органов. Данный этап позволит получить отзывы и замечания по работе системы.
- (3) Испытания в реальной следственной работе, после доработок по предложениям и замечаниям конечных пользователей; возможно внедрение системы в опытное использование в одном или нескольких следственных структурах.

Дальнейшие шаги по внедрению программно-аппаратного комплекса в реальную работу правоохранительных органов требует принятия соответствующих административных решений с учетом заинтересованности конечных пользователей.

5.2. VR-приложение

Сегодня известно достаточно большое количество платформ, которые используются для реализации VR-приложений. Самыми весомыми являются Unity (<http://unity.com>) и Unreal Engine (<https://www.unrealengine.com>), очень качественный результат демонстрирует отечественная система разработки игровых приложений Unigine (<https://unigine.com>). В качестве внутреннего языка программирования Unity C#, Unreal Engine использует язык программирования C++ и, кроме того, имеет встроенную систему визуального программирования BluePrint. Unigine предоставляет возможность программирования на трех языках C++ / C# / UnigineScript. У каждого из названных движков есть ряд достоинств и недостатков, которые влияют на выбор платформы. В частности, реализация на Unity проще из-за низкого порога вхождения, а Unreal Engine использует удобный инструментарий визуального программирования BluePrint. Выбор, на чем реализовывать пилотное решение, не ограничивает общности подхода. Этот выбор не является окончательным – по мнению авторов, для внедрения в отечественное право лучше использовать отечественное ПО или ПО, защищенное от сиюминутных политических событий (так называемое free software или open-source software).

¹⁰MVP, сокр. от англ., Minimal Viable Product (минимально жизнеспособный продукт) – тестовая версия товара, услуги или сервиса с минимальным набором функций (иногда даже одной), которая несет ценность для конечного потребителя.

5.3. Общий сценарий использования

Изначально предполагался следующий сценарий использования: экспертная группа, прибыв на место происшествия, выполняет первоначальный осмотр и делают также массовую фотосъёмку всего пространства для дальнейшего построения трёхмерной модели. Этот набор фотографий отправляется на сервер для постобработки. Сотрудники, прибыв в офис, получают уже готовую 3D-модель сцены места происшествия. Это – *сценарий фиксации ЦКТ*.

Так как построенная ЦКП применяется как сложный высокотехнологичный инструмент в процедуре доказывания по уголовному делу субъектами доказывания (как вариант, не только следователь, но и адвокат-защитник) – соответственно не только доказательства обвинения, но и доказательства защиты в принципе могут быть сформированы при использовании ЦКП. Это – *сценарий использования ЦКП в доказывании по уголовному делу*.

Существуют и другие возможные варианты использования ЦКТ по делу, они порождают новые сценарии, о них сказано ниже.

Описанные выше сценарии использования предлагают реализацию клиент-серверной архитектуры, в которой клиентами выступают мобильное приложение и VR-приложение, а сервером – сервер обработки.

Архитектура системы состоит из нескольких частей, в первом приближении она такова (см. рис. 6):

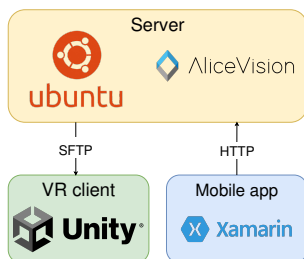


Рисунок 6. Архитектура системы

- (1) VR-клиент создается на Unity (не ограничивая общности, можно утверждать, что могут быть использованы также и другие системы разработки интерактивных приложений, обычно называемые игровыми движками), например, Unreal Engine и Unigine.

- (2) При программировании на Unity будут использованы объектно-ориентированный язык программирования C# и высокоуровневая система взаимодействия для создания VR- и AR-приложений XR Interaction Toolkit.
- (3) Будет использован сервер с операционной системой Ubuntu.
- (4) На сервере будет задействовано API от AliceVision Meshroom – для создания трёхмерных моделей помещений на основе набора фотографий.
- (5) Мобильное приложение разрабатывается на Xamarin.

5.4. Серверная часть

Сервер приложения отвечает за обработку и подготовку данных для дальнейшей загрузки в подготовленных форматах (см. рис. 7): в виде 3D-модели для манипуляции в реализуемом VR-приложении, либо файл в одном из форматах, используемых в программах 3D-моделирования (например, Blender (<https://www.blender.org>)).

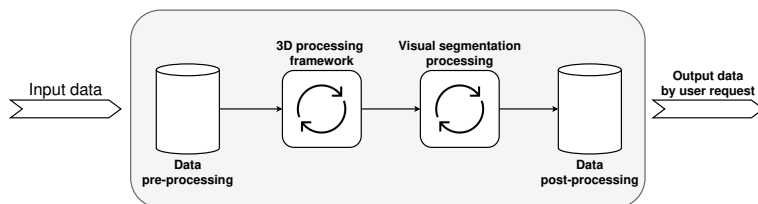


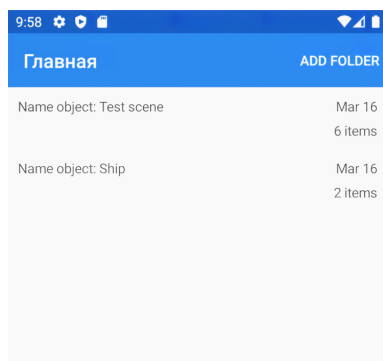
Рисунок 7. Схема обработки данных на сервере

Входные данные проходят первоначальную обработку: распаковку данных из архива в нужную директорию.

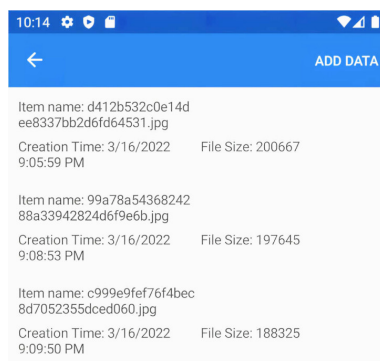
После этого запускается скрипт, который реализует обработку AliceVision и визуальную сегментацию средствами программной системой нового поколения Detectron2 (<https://paperswithcode.com/lib/detectron2>), выполняющей современные алгоритмы обнаружения объектов. Detectron2 обладает большим набором интеллектуальных инструментов, позволяющих по-разному сегментировать изображения. Например, на рис. 8 представлены результаты работы одного из методов Detectron2, а именно метода сегментации плотных объектов TensorMask, который рассматривает сегментацию плотных объектов как задачу предсказания по 4D-тензорам, явно отражая эту геометрию и позволяя использовать новые операторы на 4D-тензорах.

5.5. Мобильное приложение

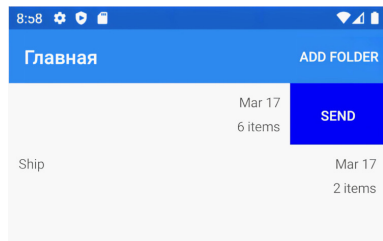
Мобильный клиент представляет собой android/iOS-приложение, решенное в аскетичном дизайне (см. рис. 9) с базовым функционалом: подготовка фотографий объекта для отправки, 3D-модель которого будет построена.



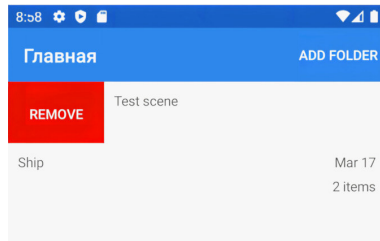
(а) добавление новой сцены



(б) добавление новых данных



(в) удаление данных



(г) отправка данных

Рисунок 9. Основные страницы интерфейса и ряд функциональных возможностей мобильного приложения

Для реализации мобильного приложения был рассмотрен ряд технологий, например, Flutter (<https://flutter.dev>), React Native (<https://reactnative.dev>) или использование нативных решений, но наш выбор остановился на использовании фреймворка Xamarin (<https://dotnet.microsoft.com/en-us/apps/xamarin/>) по следующим причинам.

Во-первых, это кроссплатформенный фреймворк, что позволяет

сразу создавать решение под обе мобильные платформы (iOS и Android), популярные сегодня. Такое решение сразу отбрасывает необходимость реализации нативных приложений отдельно под каждую платформу, что затрудняло бы поддержку приложений.

Во-вторых, наличие аппаратного обеспечения macOS для разработки в период обострения политической обстановки и санкций малодоступно. Конечно, существуют отечественные облачные сервисы, на которых развернута эта операционная система, но такие сервисы требуют существенных финансовых вложений.

В-третьих, язык программирования, так как для реализации приложения отдельно под каждую платформу требуется использование двух языков программирования, например, swift (<https://developer.apple.com/swift/>) и kotlin (<https://kotlinlang.org>) компании JetBrains (<https://www.jetbrains.com>).

Отметим, что кроссплатформенность Xamarin решает все названные проблемы и не ограничивает разработчика.

5.6. Перенос в виртуальную реальность

VR-приложение, которое является основным звеном системы, – инструмент для манипуляции с 3D-моделью. Предложена реализация следующего функционала:

- открытие 3D-модели;
- просмотр 3D-модели (с манипуляциями, привычными для работы с трёхмерным объектом: смена ракурса и масштаба);
- сегментация объектов (визуальная сегментация, без автоматического выделения объектов на модели);
- выделение значимых объектов на модели;
- интеграция с базами данных правоохранительных служб и добавление информации из них.

Этот список возможностей неокончательный и может быть значительно расширен, но представляется минимально необходимым для значимого улучшения уголовного судопроизводства, в частности, следственного процесса.

На данный момент времени реализовано открытие трёхмерной модели помещения для просмотра и взаимодействия с ней.

С этой целью было создано несколько файлов, содержащих программный код приложения, а также настроено (см. рис. 10) взаимодействие объектов при помощи инструментов движка Unity.



Рисунок 10. Компоненты VR-приложения.

Для загрузки модели на сцене необходимо предоставить пользователю способ взаимодействия с предназначенным для этого скриптом. С этой целью было создано меню, которое активируется по нажатию кнопки на контроллере и открывается на левом запястье пользователя. С его помощью пользователь может как загрузить нужную сцену, так и завершить работу приложения.

Пользовательский ввод осуществляется при помощи контроллеров, которые для большей наглядности были также добавлены в проект. Их расположение совпадает с реальным расположением контроллеров в руках пользователя, а нажатие кнопок контроллера визуально повторяется в приложении, всё это в совокупности позволяет лучше ориентироваться в виртуальном пространстве.

Также для взаимодействия с меню и объектами для полного погружения пользователя в процесс недостаточно иметь только модель

контроллера. Чтобы дать пользователю ощущение полноценного присутствия на сцене, были созданы и добавлены модель человеческой руки (см. рис. 11) и анимация сгибания пальцев в соответствии с нажатыми клавишами. Таким образом, если пользователь хочет нажать пальцем на кнопку меню, он может наблюдать визуальное отображение положения своих рук в пространстве.

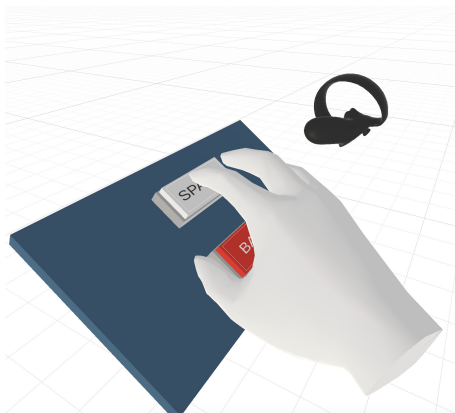


Рисунок 11. Отображение положения рук в пространстве.

Чтобы создать скрипты для управления сценой, считывается пользовательский ввод с контроллера. Подчеркнём, что инструмент XR Interaction Toolkit предоставляет маппинги по умолчанию, но в данном случае нужна более тонкая и узконаправленная настройка, поэтому на базе стандартных карт действий используемого инструмента необходимо было разработать особые настройки ввода (рис. 12).

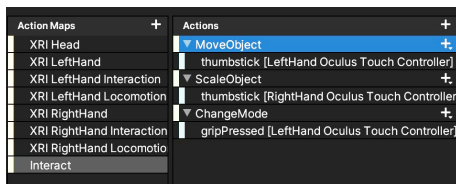


Рисунок 12. Создание настроек для считывания ввода пользователя.

Благодаря тому, что приложение распознаёт нажатие клавиш на контроллере и соотносит их с программной реализацией управления,

появилась возможность считывать вводимые значения и использовать их в программном коде для реализации управления сценой посредством взаимодействия с клавишами обоих контроллеров.

Таким образом, реализован функционал приложения по просмотру и взаимодействию с загружаемыми трёхмерными моделями помещений (см. рис. 13).



Рисунок 13. Пример загруженного помещения в виртуальную реальность.

Чтобы облегчить пользователю взаимодействие со сценой, необходимо было добавить подсказки, чтобы у него сформировалось понимание, какие действия нужно совершать для достижения желаемого результата. Небольшие элементы пользовательского интерфейса (см. рис. 14)



Рисунок 14. Элементы пользовательского интерфейса.

отображаются возле элементов управления с обозначением доступных функций. Например, при перемещении объекта в плоскости стрелки около левого джойстика явно указывают направление движения.

Кроме того, интерфейс был настроен таким образом, чтобы адаптироваться под заданный контекст: при нажатии клавиши, переводящей

управление в альтернативный режим, в котором пользователь может вращать объект вокруг своей оси и изменять его высоту, пиктограммы изменяют свой вид и явным образом указывают на то, какие действия доступны в настоящем контексте.

Пользователю (наблюдателю изнутри ЦКТ) предоставляется возможность перемещаться самостоятельно, используя джойстик на правом контроллере (см. рис. 15). В этом режиме просмотра нет

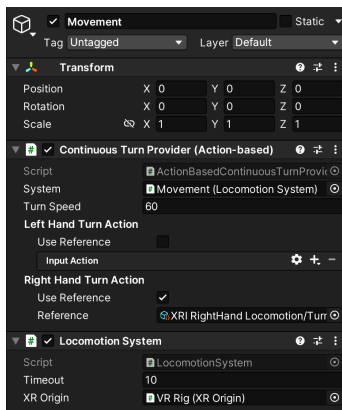


Рисунок 15. Применение скриптов для управления персонажем.

смысла давать возможность перемещаться в плоскостях, так как такое перемещение уже реализовано для объекта, а лишние движения будут сбивать с толку человека в виртуальной реальности. Однако будет полезно позволить пользователю вращаться вокруг своей оси, так как это снимет ощущение скованности и дезориентации в пространстве.

При загрузке трёхмерных моделей с сервера необходимо сделать этот процесс максимально бесшовным и незаметным для конечного пользователя. Всё, что он должен видеть, – это то, как делаются фотографии и через некоторое время приобретают объём на его компьютере.

Чтобы загрузить объект и разместить его в пространстве, не потеряв при этом информацию, при разработке загружаемых объектов повсеместно используются созданные вручную так называемые ассет-бандлы¹². Это сжатые пакеты, которые могут нести в себе информацию

¹²Ассет-бандл (от англ. AssetBundle) – сжатый пакет, который может нести в себе информацию о большом количестве объектов и зависимостях между ними.

о большом количестве объектов и зависимостях между ними. Но Unity не поддерживает возможность создавать такие пакеты во время выполнения приложения, поэтому все подобные ассеты должны быть обработаны заранее. Обычно для таких целей используется отдельный проект, где разработчики вручную занимаются настройкой зависимостей. В нашей ситуации процесс обработки должен быть скрыт от пользователя и выполняться ещё до того, как модель попадёт в файлы приложения. Для этого был создан отдельный проект, расположенный в файловой системе сервера. Программный код, вызываемый через команды терминала, принимает название директории, в которой находятся объекты после обработки, и объединяет их, создавая бандл.

После загрузки на компьютер пользователя ассеты распаковываются прямо во время выполнения приложения и могут быть использованы так же, как и обыкновенные префабы¹³.

6. Функциональные возможности цифровой копии происшествия

Мобильное приложение предлагает добавить/убавить фотографии в наборе уже существующих для детализации отдельных фрагментов сцены, кроме того, можно грубо рассмотреть отснятые кадры и установить, какое место в трёхмерной сцене места происшествия они занимают, увидеть «дыры», непокрытые фотографиями.

На десктопном приложении можно детально рассмотреть готовую трёхмерную сцену, изменяя масштаб и приближая отдельные фрагменты. Для это может быть использовано любое десктоп-приложение, которое работает с 3D-моделями (например, ранее упомянутый Blender, популярное open-source решение). Такой подход предоставляет все возможности для гибкого использования комплекса: нет привязки к конкретному ПО для работы с 3D-моделью и нет обязательства использовать только VR-приложение.

Использование VR-комплекта требует наличия соответствующего аппаратного обеспечения для корректной работы. Его отсутствие может затруднить использование нашего комплекса с VR-приложением.

7. Функционал MVP

Первый этап создания программно-аппаратного комплекса – это реализации MVP-решения с функционалом отработки базового сценария использования:

¹³Префаб – это особый тип ресурсов, позволяющий хранить весь GameObject со всеми компонентами и значениями свойств, предназначений для многократного использования.

- фотосъемка МП;
- отправка пакета фотоизображений на сервер для обработки;
- создание 3D-модели на сервере обработки;
- создание визуальной сегментации 3D-модели на сервере обработки;
- запуск VR-приложения с построенной ЦКП;
- реализация пилотного функционала (в VR- и десктопном приложениях);
- выделение важных сущностей на объекте;
- реализация механизма авторизации и защищенного доступа к серверу, так как все данные, связанные с каким-либо происшествием, находятся в статусе ДСП¹⁴;
- разработка API для интеграции с базами данных правоохранительных органов для оперативного поиска необходимых сведений;
- создание избранного набора первоначальных инструментов (например, для баллистических экспертиз).

8. Перспективы использования в уголовном судопроизводстве

Сам термин «уголовное судопроизводство» включает в себя и материально-правовые, и процессуальные аспекты. Прежде всего, интересны процедуры, в рамках которых возможно использование ЦКП и на стадии предварительного расследования, и на стадии судебного разбирательства уголовного дела. Эти процедуры не исключают возможного уточнения или изменения квалификации деяния (материальное право) в результате использования ЦКП.

К таким процедурам можно отнести, **во-первых**, на этапе предварительного расследования следующие:

- фиксация обстановки МП;
- оформление как приложение к протоколу осмотра;
- детальная реконструкция МП;
- манипуляции с 3D-сценой ЦКП:
 - повороты,
 - смены ракурсов,
 - увеличение/уменьшение,
 - «осмысленная» автоматическая сегментация объектов;
 - фильтры,
 - быстрая дефектоскопия;
 - автоматическая баллистическая экспертиза.

¹⁴ДСП – для служебного пользования.

Нужно отметить, что тут возникает обширное поле для обработки пакета фотофиксации в автоматическом режиме, в том числе с применением нейронных сетей. Результатами такой обработки могут стать различные интеллектуальные инструменты системы ЦКТ, позволяющие, например:

- возможность компьютерной симуляции различных (физических, химических, технологических и т. п.) процессов, происходивших во время происшествия;
- выявление малозаметных деталей;
- восстановления 3D-объекта из обломков;
- предположение о траектории падения обломков 3D-объекта, а также силы/направления удара и т. п.

Во-вторых, на этапе передачи дела прокурору для утверждения обвинительного заключения.

В-третьих, на этапе подготовки и производства судебного разбирательства – одно из исследуемых доказательств в суде (аналог плана-схемы осмотра места происшествия как приложения к протоколу осмотра).

На всех этапах после фиксации МП появляется возможность бесконечного «возвращения» к визуальной процедуре осмотра. Нельзя переоценить возникающие перспективы использования комплекса технологий виртуальной реальности, искусственного интеллекта, обработки изображений в уголовном судопроизводстве при осмотре места происшествия. Сюда в качестве следующего этапа развития системы ЦКП можно добавить возможность архивирования дел как для автоматического поиска прецедентов, так и для формирования датасета судебных делопроизводств с размеченными фотографиями – для обучения нейронных сетей.

Практическая реализация такого подхода, по нашему мнению, позволит российскому судопроизводству повысить эффективность выявления, раскрытия и расследования преступлений.

Помимо этого рассматривалась идея внедрения технологии виртуализации запахов [12], так как эффект присутствия на месте происшествия не может полностью воспроизвести полную картину случившегося.

Помимо использования нашего комплекса по назначению мы допускаем его использование в образовательных целях (см., например, [13]), чтобы «запускать» 3D-сцены в формате ЦКП для дальнейшего совершенствования профессионального обучения будущих следователей. Для формирования благоприятной среды для практико-ориентированного образовательного процесса необходимы определенные затраты

(создание криминалистических полигонов). Используя готовые и/или сгенерированные данные [14], обучающиеся могут практиковаться на визуальных цифровых копиях [13]. При таком подходе значительные ресурсозатраты наблюдаются лишь на этапе подготовке данных, так как процессы подготовки и/или генерации данных требуют некоторого времени и затрат на электроэнергию, чтобы питать аппаратное обеспечение. В результате полученные данные можно повторно использовать, а процесс обучения будет интереснее.

Заключение

Представлена концепция новых высокотехнологичных подходов для уголовного судопроизводства и реализовано пилотное решение программно-аппаратного комплекса, позволяющего формировать на лету цифровой двойник или визуальную цифровую копию места происшествия, позволяя в дальнейшем вести следствие не «в поле», а за компьютером или в виртуальной реальности, получая новые возможности в доказывании по делу, а также многократно обращаться к архивным делам как для пересмотра их, так и для рассмотрения прецедентов или для использования в обучении специалистов или студентов.

Список литературы

- [1] Reichherzer C., Cunningham A., Coleman T., Cao R., McManus K., Sheppard D., Kohler M., Billingham M., Thomas B. H. *Bringing the jury to the scene of the crime: memory and decision-making in a simulated crime scene // CHI '21: Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (May 8–13, 2021, Yokohama, Japan), New York: ACM.– 2021.– ISBN 978-1-4503-8096-6.– 12 pp. doi ↑194, 195
- [2] Арсентьева С. С., Морозов С. А. *Использование метода сферической фиксации места происшествия // Вестник Челябинского государственного университета. Серия: Право.*– 2019.– Т. 4.– № 2.– с. 33–36. * doi ↑195
- [3] Григорович В. Л. *Криминалистическая фотография и криминалистическая голография: сравнительный анализ // Вестник Казанского юридического института МВД России.*– 2014.– Т. 1 (15).– с. 100–105. * URL ↑195
- [4] Weiss D. C. *May jurors see 3D defense reenactment of alleged crime? Judge appears reluctant to allow it*, Abajournal.– MARCH 14, 2022. URL ↑195
- [5] van Gelder J.-L., Nee C., Otte M., Demetriou A., van Sintemaartensdijk I., van Prooijen J.-W. *Virtual burglary: Exploring the potential of virtual reality to study burglary in action // Journal of Research in Crime and Delinquency.*– 2017.– Vol. 54.– No. 1.– pp. 29–62. doi ↑195
- [6] Козлова Н. *Интервью и.о. ректора Академии Следственного комитета*

- Анатолия Багмета // Российская газета – Федеральный выпуск.– 2016.– Т. 6992 (124).  ↑196
- [7] Хайруллин Л. О., Кугуракова В. В., Стародубцева Р. А. *Цифровой двойник предприятия реального времени* // Ученые записки института социальных и гуманитарных знаний.– 2019.– № 1(17).– с. 623–629.  ↑196
- [8] *Explore an Egyptian tomb in virtual reality! Nefertari: Journey to Eternity VR.*– 2018.  ↑200
- [9] Rückert D., Franke L., Stamminger M. *ADOP: Approximate differentiable one-pixel point rendering.*– 2021.– 14 pp. arXiv:  2110.06635 [cs.CV]  ↑200, 201
- [10] Griwodz C., Gasparini S., Calvet L., Gurdjos P., Castan F., Maujean B., De Lillo G., Lanthony Y. *AliceVision Meshroom: An open-source 3D reconstruction pipeline* // *MMSys '21: Proceedings of the 12th ACM Multimedia Systems Conference* (28 September 2021–1 October 2021, Istanbul, Turkey), New York: ACM.– 2021.– ISBN 978-1-4503-8434-6.– pp. 241–247.  ↑200, 202
- [11] Aliev K.-A., Sevastopolsky A., Kolos M., Ulyanov D., Lempitsky V. *Neural point-based graphics*, ECCV 2020: Computer Vision – ECCV 2020, Lecture Notes in Computer Science.– vol. 12367, Cham: Springer.– 2020.– ISBN 978-3-030-58542-6.– pp. 696–712.  ↑201
- [12] Антонов И. О., Зезегова К. В., Кугуракова В. В., Лазарев Е. Н., Хафизов М. Р. *Программирование запахов для виртуального осмотра места происшествия* // Электронные библиотеки.– 2018.– Т. 21.– № 3–4.– с. 301–313.  ↑217
- [13] Кугуракова В. В., Хафизов М. Р., Абрамов В. Д., Лазарев Е. Н., Шараева Р. А., Газизов Р. Р., Сахибгараева Г. Ф., Антонов И. О. *Программа для обучения следственным действиям по осмотру места происшествия в виртуальной реальности*, Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613666.– 2020.  ↑217, 218
- [14] Кугуракова В. В., Абрамов В. Д., Костюк Д. И., Шараева Р. А., Газизов Р. Р., Хафизов М. Р. *Генерация трёхмерных синтетических датасетов* // Электронные библиотеки.– 2021.– Т. 24.– № 4.– с. 301–313.  ↑218

Поступила в редакцию 23.08.2022;
 одобрена после рецензирования 09.09.2022;
 принята к публикации 21.09.2022.

Рекомендовал к публикации

д.ф.-м.н. А. М. Елизаров

Информация об авторах:



Влада Владимировна Кугуракова

к. т. н., руководитель Лаборатории разработки интеллектуальных инструментов для компьютерных игр Института информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского (Приволжского) федерального университета. Научные интересы: проблемы иммерсивности при разработке приложений с использованием виртуальной реальности.



0000-0002-1552-4910

e-mail: vlada.kugurakova@gmail.com



Игорь Олегович Антонов

к. ю. н., доцент кафедры уголовного процесса и криминалистики Казанского (Приволжского) федерального университета. Научные интересы: использование информационных технологий в организации правоохранительной деятельности и в уголовном процессе



0000-0002-6797-7508

e-mail: igolant@yandex.ru



Богдан Викторович Гончаренко

бакалавр, магистрант Института информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского (Приволжского) федерального университета. Научные интересы: эффективные подходы в разработке VR приложений



0000-0002-9887-5897

e-mail: beg.beg42@gmail.com



Артыш Алимович Чайбар

магистр Института информационных технологий и интеллектуальных систем. Научные интересы: проблемы оцифровки трехмерного окружения в реальном времени и поиски новых решений



0000-0001-5320-3010

e-mail: arty1901@gmail.com

*Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

Visual digital copy of the crime scene and its presentation in virtual reality as tools in criminal proceedings

Vlada Vladimirovna **Kugurakova**¹, Igor Olegovich **Antonov**²,
Bogdan Victorovich **Goncharenko**³, Artysh Alimovich **Chaibar**⁴

Kazan Federal University, Kazan, Russia

¹ vlada.kugurakova@gmail.com (learn more about the authors in Russian on p. 219)

Abstract. The paper presents new possibilities of such technologies as photogrammetry and virtual reality for application in criminal proceedings. The concept of building “on the fly” three-dimensional digital copy of the incident, directly at the scene of the incident is presented. The concept is tested by applying specific technological approaches to create a digital copy of the incident with the server processing the initial information from a set of photos of the scene from several angles, the architecture of the hardware-software system is developed and the functionality of the mobile solution and virtual reality application is described. It is shown how a digital copy of the incident can be used, in particular, in a criminal case by the subjects of proof – both the subjects of the prosecution and the defense. To date, no precedents have yet been found for the use of virtual reality technology in court proceedings in this aspect, and the authors propose a gradual introduction of the proposed approaches into practice. (*In Russian*).

Key words and phrases: photogrammetry, rendering, client-server, virtual reality, VR, criminal proceeding, digital twin, digital copy, crime scene, forensics

2020 Mathematics Subject Classification: 68U10; 92C55, 94A11

Acknowledgments: This paper has been supported by the Kazan Federal University Strategic Academic Leadership Program («PRIORITY-2030»)

For citation: Vlada V. Kugurakova, Igor O. Antonov, Bogdan V. Goncharenko, Artysh A. Chaibar. *Visual digital copy of the crime scene and its presentation in virtual reality as tools in criminal proceedings* // Program Systems: Theory and Applications, 2022, **13**:3(54), pp. 193–223. (*In Russian*). http://psta.psisiras.ru/read/psta2022_3_193-223.pdf

References

- [1] C. Reichherzer, A. Cunningham, T. Coleman, R. Cao, K. McManus, D. Sheppard, M. Kohler, M. Billinghamurst, B. H. Thomas. “Bringing the jury to the scene of the crime: memory and decision-making in a simulated crime scene”, *CHI '21: Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (May 8–13, 2021, Yokohama, Japan), ACM, New York, 2021, ISBN 978-1-4503-8096-6, 12 pp. [doi](#)[↑]_{194, 195}
- [2] S. S. Arsent'yeva, S. A. Morozov. “Using the spherical fixation method of the place of incident”, *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pravo*, 4:2 (2019), pp. 33–36 (in Russian). [doi](#)[↑]₁₉₅
- [3] V. L. Grigorovich. “Criminalistic photo and criminalistic holography: comparative analysis”, *Vestnik Kazanskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii*, 1 (15) (2014), pp. 100–105 (in Russian). [URL](#)[↑]₁₉₅
- [4] D. C. Weiss. *May jurors see 3D defense reenactment of alleged crime? Judge appears reluctant to allow it*, Abajournal, MARCH 14, 2022. [URL](#)[↑]₁₉₅
- [5] van Gelder J. -L., C. Nee, M. Otte, A. Demetriou, van Sintemaartensdijk I., van Prooijen J. -W.. “Virtual burglary: Exploring the potential of virtual reality to study burglary in action”, *Journal of Research in Crime and Delinquency*, 54:1 (2017), pp. 29–62. [doi](#)[↑]₁₉₅
- [6] N. Kozlova. “Interview with Anatoly Bagmet, rector of the Academy of the Investigative Committee”, *Rossiyskaya gazeta – Federal'nyy vypusk*, 6992 (124) (2016) (in Russian). [URL](#)[↑]₁₉₆
- [7] L. O. Khayrullin, V. V. Kugurakova, R. A. Starodubtseva. “Digital real time twin of an enterprise entity”, *Uchenyye zapiski instituta sotsial'nykh i gumanitarnykh znaniy*, 2019, no. 1(17), pp. 623–629 (in Russian). [URL](#)[↑]₁₉₆
- [8] *Explore an Egyptian tomb in virtual reality! Nefertari: Journey to Eternity VR*, 2018. [URL](#)[↑]₂₀₀
- [9] D. Rückert, L. Franke, M. Stamminger. *ADOP: Approximate differentiable one-pixel point rendering*, 2021, 14 pp. arXiv:2110.06635 [cs.CV] [doi](#)[↑]_{200, 201}
- [10] C. Griwodz, S. Gasparini, L. Calvet, P. Gurdjos, F. Castan, B. Maujean, De Lillo G., Y. Lanthony. “AliceVision Meshroom: An open-source 3D reconstruction pipeline”, *MMSys '21: Proceedings of the 12th ACM Multimedia Systems Conference* (28 September 2021–1 October 2021, Istanbul, Turkey), ACM, New York, 2021, ISBN 978-1-4503-8434-6, pp. 241–247. [doi](#)[↑]_{200, 202}
- [11] K. -A. Aliev, A. Sevastopolsky, M. Kolos, D. Ulyanov, V. Lempitsky. “Neural point-based graphics”, ECCV 2020: Computer Vision –

ECCV 2020, Lecture Notes in Computer Science, vol. **12367**, Springer, Cham, 2020, ISBN 978-3-030-58542-6, pp. 696–712. ↑²⁰¹

- [12] I. O. Antonov, K. V. Zezegova, V. V. Kugurakova, Ye. N. Lazarev, M. R. Khafizov. “Smells’ programming for a virtual survey of a crime scene”, *Elektronnyye biblioteki*, **21**:3–4 (2018), pp. 301–313 (in Russian).

↑²¹⁷

- [13] V. V. Kugurakova, M. R. Khafizov, V. D. Abramov, Ye. N. Lazarev, R. A. Sharayeva, R. R. Gazizov, G. F. Sakhibgarayeva, I. O. Antonov. *A program for training in investigative actions to inspect the scene in virtual reality*, Svidetel’sstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM No 2020613666, 2020 (in Russian). ↑²¹⁷ ²¹⁸

- [14] V. V. Kugurakova, V. D. Abramov, D. I. Kostyuk, R. A. Sharayeva, R. R. Gazizov, M. R. Khafizov. “Generation of three-dimensional synthetic datasets”, *Elektronnyye biblioteki*, **24**:4 (2021), pp. 301–313 (in Russian).

↑²¹⁸