

Обзор состояния технологии дополненной реальности в туристской картографии

А. А. Ажилай^{1}, Е. В. Комиссарова¹, А. А. Колесников¹*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: azhilay@mail.ru

Аннотация. В статье представлен обзор состояния технологии дополненной реальности в туристской картографии. Использование технологии дополненной реальности – это перспективное направление в туристской картографии, позволяющее открыть новые грани туристического картографирования, от изучения отдельных достопримечательностей до картографических произведений, рассчитанных на продолжительные путешествия с отображением различной справочной информации в наиболее понятном для пользователя виде. В статье проанализирована и обобщена информация о существующих типах и методах дополненной реальности, рассмотрена взаимосвязь туристской картографии с возможностями технологии дополненной реальности. Разработана система критериев оценки программных платформ дополненной реальности и, на ее основе, составлена сводная таблица оценки наиболее актуального программного обеспечения, позволяющего разрабатывать приложения дополненной реальности. Сделаны выводы о применимости программных библиотек для создания приложений дополненной реальности с учетом специфики использования геоинформационных трехмерных моделей.

Ключевые слова: дополненная реальность, туристская картография, тематическая картография, картографирование

The state of augmented reality technology in tourism cartography

A. A. Azhilay^{1}, E. V. Komissarova¹, A. A. Kolesnikov¹*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: azhilay@mail.ru

Abstract. The article presents an overview of the state of augmented reality technology in tourist cartography. The use of augmented reality technology is a promising direction in tourist cartography, which allows you to discover new facets of tourist mapping, from the study of individual attractions to cartographic works designed for long journeys with the display of various reference information in the most understandable form for the user. The article analyzes and summarizes information about existing types and methods of augmented reality, considers the relationship of tourist cartography with the capabilities of augmented reality technology. A system of criteria for evaluating augmented reality software platforms has been developed and, on its basis, a summary table has been compiled for evaluating the most relevant software that allows developing augmented reality applications. Conclusions are made about the applicability of software libraries for creating augmented reality applications, taking into account the specifics of using geoinformation 3D models.

Keywords: augmented reality, tourist cartography, thematic cartography, mapping

Введение

Туристская картография – это раздел картографии и научная дисциплина, рассматривающая методики составления и использования туристских карт и атла-

сов. Туристская картография призвана раскрыть специфику туристских карт как особый вид географических карт, а также методы их изучения и составления [1]. Массовый туризм способствует созданию спроса на туристские карты: постоянно растет количество и разнообразие издаваемых и публикуемых карт для туристов. Активное развитие туризма сопровождается разработкой и созданием значительного числа карт туристско-рекреационной тематики. Их систематизация и разработка с применением геоинформационных технологий остается предметом дискуссий и источником новых теоретических и практических разработок [2].

Развитие информационных технологий и совершенствование технических средств внесло изменения в сущность картографии, что привело к созданию новых способов представления и практического использования картографической информации. Одним из таких перспективных и развивающихся направлений является туристская картография в связке с технологией дополненной реальности. Возможности современных мобильных устройств привели к появлению активно развивающегося рынка мобильных приложений, использующих мультимедийные средства, достаточно высокую долю которого (порядка 13-15 процентов) занимают картографические программные продукты. Это все приводит к тому что, отправляясь даже в одиночное путешествие, обычный пользователь смартфона имеет возможность изучить территорию, достопримечательности и историю местности, не обращаясь к сторонней помощи в лице туристских гидов. Для достижения наилучшего результата необходима база туристских карт, а нынешние технологии позволяют эти карты дополнить различной информацией.

Использование технологии дополненной реальности позволяет предоставить доступ к данным цифрового мира посредством камеры мобильного устройства. Данная функция только приобретает популярность в картографических произведениях и ее применение пока ограничено возможностями большинства устройств и типовых программных решений, однако уже сейчас на рынке все чаще появляются продукты, основанные на сочетании функций геоинформационных систем с технологией дополненной реальности. Таким образом, использование этой связки в сфере туризма позволит открыть новые грани от изучения участков местности до построения плана продолжительных путешествий.

Цель настоящего исследования заключается в сборе и анализе текущих публикаций по теме исследования, оценке состояния технологии дополненной реальности в туристской картографии.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: выполнить обзор состояния туристской картографии; проанализировать и обобщить информацию о существующих типах и методах дополненной реальности; рассмотреть взаимосвязь туристской картографии с технологией дополненной реальности, оценить существующие платформы дополненной реальности.

Дополненная реальность

Дополненная реальность – воспринимаемая органами чувств человека среда, в которой визуальная, аудиальная, тактильная, вкусовая или обонятельная информация от физических объектов и явлений дополнена привязанными к ним цифровыми данными, генерируемыми компьютером в реальном времени. Чаще

всего под дополненной реальностью понимается среда, в которой на физические объекты в поле зрения человека наложена компьютерная графика в виде двухмерных и трёхмерных моделей, выделения объектов любым графическим способом или буквенно-цифровыми подписями [3].

Самые первые упоминания о «виртуальной» или «искусственной реальности» появились в 1960-х годах вместе с изобретением Мортона Хейлига (Morton Heilig) – «the Sensorama». После «Сенсорамы» в 1978 году Стив Манн создал устройство EyeTap, который и положил начало дополненной реальности. Термин AR был предложен в 90-е годы ученым Томом Коделлом (Tom Caudell). Спустя время, в 1994 году, Пол Милграм (Paul Milgram) и Фумио Кишино (Fumio Kishino) определили абсолютно новое для того времени понятие – смешанная реальность (mixed reality, MR) [4].

Дополненная реальность является одной из составляющих частей смешанной реальности, в которой объекты реального мира интегрируются в виртуальную среду. При правильном использовании и качественно написанном контенте у пользователя стирается грань между реальностью и искусственно разработанным миром [5].

Объем мирового рынка гарнитур для виртуальной и дополненной реальности в 2021 году достиг 11,2 млн штук, увеличившись на 92,1% в сравнении с показателем годичной давности. Такие данные аналитики IDC, ведущего поставщика информации и консультационных услуг в сфере информационных технологий, телекоммуникаций и потребительской техники, обнародовали 21 марта 2022 года (рис. 1), [6].

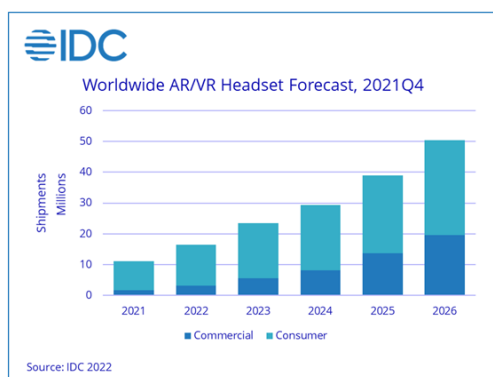


Рис. 1. Прогнозная статистика объема гарнитур дополненной и виртуальной реальности

Несмотря на то, что крупные IT-компании проявили интерес и готовность вкладывать немалые средства в AR/VR технологии, развитие формирующегося отечественного рынка дополненной и виртуальной реальности сдерживают:

- значительные финансовые издержки на генерацию и фильтрацию идей и их доведение до конечного продукта;

- высокие риски коммерциализации инновационных разработок и товаров при высокой стоимости технических решений, связанных с реализацией большинства AR/VR технологий;

- низкий уровень потребительской платежеспособности, сужающий спрос;
- наличие ограничений, связанных с восприятием AR/VR технологий и неготовность значительной части населения воспринимать положительный эффект от внедрения подобных технологий [7].

Отправной точкой развития массового сегмента технологии дополненной реальности можно считать презентацию компанией Google продукта «умные очки» в 2012 г. Потребительская версия данного продукта потерпела неудачу, и компания переключила свои усилия на производственную версию Glass Enterprise Edition. В свою очередь, весьма перспективным и выгодным примером являются очки смешанной реальности HoloLens 2, разработчиком которых является компания Microsoft. HoloLens 2 не требуют подключения к какому-либо устройству, полностью автономны. Изначально устройство предназначалось для игр, но сейчас целевой аудиторией является бизнес [5].

Потребительская дополненная реальность по-прежнему в значительной степени является областью смартфонов и планшетов и, вероятно, останется таковой в ближайшем будущем. В настоящее время технология уже нашла свое применение в различных сферах образования, медицины, маркетинге и других областях, но в сфере картографии и туризме она только начинает приобретать свою популярность, и её применение пока ограничено. Но несмотря на это, применение технологий виртуальной и дополненной реальности позволяет оптимизировать решение целого ряда проблем геоинформационного обеспечения. Это обусловлено новой парадигмой потребления информации, в том числе модифицированной, потребителями и проявлением новых потребностей визуализации контента и перехода от 2D-изображений к полноценной 3D-визуализации. Например, если раньше картографические изображения и аэрокосмические снимки позволяли рассматривать геопространство как бы сверху и/или со стороны, то при помощи AR-технологий появляется возможность находиться в любой точке пространства и представлять геопространственные объекты изнутри [8].

Дополненная реальность в туристской картографии

Изменение современной жизни, массовое использование информационных технологий, новое видение качества жизни, побуждают нас обратить свое внимание на один из важнейших аспектов современной жизни – досуг. Согласно данным из отчёта аналитической платформы дополненной, виртуальной и смешанной реальности (MR) Digi-Capital, на данный момент эти технологии используются в основном в играх, развлечениях и маркетинговых компаниях. Более интерактивным направлением является вовлечение жителей города в анализ реакций на восприятие городских территорий и процессы проектирования городских объектов и территорий. Также развивается ещё одно направление – навигация [4]. В данном направлении используется электронная карта, в которую интегрируется ряд виртуальных объектов (цифровое двумерное изображение дополняется трехмерными виртуальными объектами). Ряд приложений для навигации успешно использует возможности дополненной реальности. Технология Street View из приложения Google Maps позволяет посмотреть панорамные фотогра-

фии или видео; также пользователям становится доступна навигация внутри помещений по сложным объектам, таким как аэропорты, вокзалы и торговые центры [9]. Функция Улицы в AR-режиме в Google Maps предоставляет помимо обычного формата навигации для пешеходов, использование функции дополненной реальности, с помощью которой пользователь видит стрелки направлений, наложенные на объекты окружающего мира [10]. Коммерческие компании, продвигающие туризм в таких местах, как Австрия и Швейцария, оперативно обновили свои веб-сайты, чтобы предложить интерактивные альпийские панорамы и 360-и градусные видеоролики пешеходных троп. Городские парки в таких городах, как Нью-Йорк и Лондон, а также на территориях Йосемити, Йеллоустона и Скалистых гор Колорадо предлагают «виртуальные туры» в стиле Google Street View [11]. В этом случае виртуальная и дополненная реальность особенно полезны, поскольку туристам предлагается возможность получить большее количество информации о пункте назначения. Это становится еще более очевидным, если сравнить его с каталогами и традиционными веб-сайтами. Мультимедийные технологии предоставляет потенциальному посетителю информацию о любом интересующем его туре и тем самым позволяет быстро и безошибочно выбрать подходящее место для отдыха [12].

Технологии виртуальной и дополненной реальности – одно из наиболее современных направлений в области сохранения и популяризации культурного наследия. В июне 2019 г. в докладе Евросоюза было обозначено, что 11 государств начали активное создание трехмерных моделей объектов недвижимого культурного наследия с использованием технологий трехмерного лазерного сканирования. В России в этом направлении также ведутся активные работы. Так, следует отметить проект виртуальной реконструкции «Страстной монастырь», в котором предлагается новый подход к созданию виртуальной реконструкции объектов историко-культурного наследия, основанный на передовых технологиях трехмерного моделирования [13].

Другие задачи, решаемые с использованием технологии виртуальной и дополненной реальности в области туризма: изучение отелей при помощи 360-градусного просмотра через устройства виртуальной реальности; виртуальные путешествия в качестве демонстрации возможностей тура; перелеты и переезды, во время которых предоставляется возможность исследовать трехмерную копию местности; просмотр уникальных объектов и информационная поддержка, что в достаточном объеме заменяет экскурсовода; сохранность объектов, так как технология позволяет альтернативные формы доступа к труднодоступным местам планеты; воссоздание истории, благодаря чему новые технологии позволят посмотреть не просто руины объектов, но и увидеть исходные здания и предметы собственными глазами; реклама турагентств, использующих специальные рекламные стенды для популяризации услуг с данной технологией.

Можно назвать множество применений дополненной реальности в различных областях туризма. Одно из таких приложений, Tuscany AR, работает как туристический путеводитель, разработанный Тосканой, особенно для региона Тоскада. Википедия сотрудничает со многими порталами и предоставляет туристам

информацию о жилье, еде и напитках, ночной жизни и поездках на природу с помощью информации с различных источников. Layar – это проект который был создан для города Базель. Он предоставляет туристам всю информацию о ресторанах и барах, музеях, торговых центрах, событиях и экскурсиях и местам отдыха в Базеле и его окрестностях. Urban Sleuth был разработан компанией Urban interactive как приключенческий город, в котором пользователи участвуют в решении загадок и выполнении миссий во время посещения города. Эти приложения играют важную роль в интеграции виртуального мира в реальный путем дополненной цифровой информации. Дизайн приложений может быть выполнен таким образом, чтобы позволить туристам находить памятники, музеи и наследия. Наконец, приложение "Уличный музей", которое позволяет туристам визуализировать особые и исторические места Лондона, было разработано специально для Лондонского музея. Люди могут получить информацию нажатием кнопки после наведения камеры мобильных устройств на любую интересующую их точку интереса. Приложение также позволяет туристам обнаружить важные моменты до начала экскурсии [13].

Типы дополненной реальности

В 1997 году в работе «Исследования дополненной реальности» Рональд Азума выделил основные правила дополненной реальности: сочетание реального и виртуального миров; интерактивное взаимодействие в режиме реального времени; координирование объектов в трех измерениях.

Существует три основных типа дополненной реальности, соответствующих данным правилам: базовое определение местоположения и ориентация устройства, метод одновременной локализации и построения карты SLAM, дополненная реальность на основе маркеров [14].

Определение местоположения пользователя и пространственной ориентации устройства выполняется на основе считывания данных с аппаратных датчиков, таких как камера, барометр, гироскоп, акселерометр, магнитометр и GNSS. После получения данных на экране аппарата создается сцена дополненной реальности, на которой отображаются составляющие виртуальной реальности поверх изображения с камеры устройства. Преимущества технологии в простоте используемых функций устройства, а недостатки – в больших погрешностях в построении трехмерных объектов в ограниченных пространствах, из-за чего технология чаще применяется на больших расстояниях. Google анонсировала новый API Geospatial в семействе ARCore для Android и iOS. Он даёт разработчикам возможность создавать проекты дополненной реальности с данными от Google Maps и компьютерного зрения. Данных GNSS и других датчиков для определения местоположения недостаточно для точности, необходимой приложениям дополненной реальности, поэтому Geospatial использует данные из 3D-моделей Google Earth и изображений Street View, объединяет их с информацией от датчиков, включая камеру, реализуя сопоставление с данными в виде системы визуального позиционирования (Visual Positioning System, VPS). Результатом становится вычисление положения и ориентации устройства в пространстве с более высокой точностью [15].

Метод одновременной локализации и построения карты (SLAM) определяет соотношение между устройством и несколькими ключевыми точками реального пространства. Другими словами, строится трехмерная модель окружающей местности путем отслеживания объектов через камеру и выполняется сравнение точек в реальном времени с пикселями в виртуальной среде на камере устройства с применением аппаратных датчиков. Преимущество данного метода – в наложении трехмерных объектов без использования маркеров, а недостаток заключается в большой вычислительной сложности.

Сейчас существует множество методов описания изображений по особым точкам. К наиболее известным алгоритмам распознавания объектов относятся: алгоритм SIFT (Scale Invariant Feature Transform) и алгоритм SURF (Speeded Up Robust Features). SIFT представляет собой гистограмму направлений градиентов изображения (рис. 2 а). Окрестность характерной точки делится на четыре квадратных сектора, входящие точки которых взвешиваются модулем градиента. Алгоритм SURF основан на поиске особых точек и создании дескрипторов, инвариантных к масштабированию и вращению с помощью матрицы Гессе (рис. 2 б) [16].

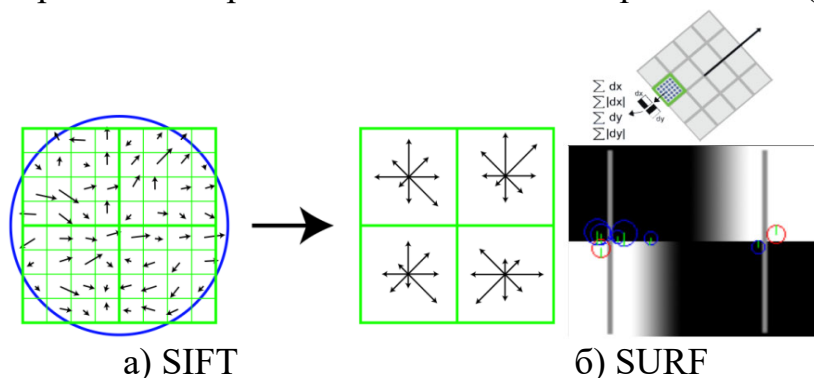


Рис. 2. Алгоритмы распознавания объектов (а - гистограмма направлений градиентов изображения, б - матрица Гессе)

Для улучшения отслеживания используется алгоритм фильтрации частиц. Этот метод ищет лучшие параметры, сравнивая захваченное изображение и базовую фотографию [17].

Маркерная технология позволяет считывать изображение для лучшего восприятия информации. Маркер – это объект, расположенный в окружающем пространстве, анализируемый специальным программным обеспечением для последующего отображения виртуальных объектов. С помощью камеры программа получает информацию о положении маркера в пространстве и может проецировать виртуальный объект, имитируя эффект его присутствия в окружающем пространстве [18]. Технология нашла широкое применение в тематической картографии в целях расширения содержания аналоговых карт, благодаря чему повышается качество, наглядность, современность и нагрузка карт.

Перечисленные типы в сущности отличаются друг от друга по своей технологии и области их применения, затрагивают смежные задачи (табл. 1), однако

современные технологии позволяют комбинировать методы представления цифровой информации. Так, одним из примеров является сочетание маркерной технологии с методом одновременной локализации и построения карты. В своей сущности комбинация методов представляет автономный процесс построения карты с помощью физических маркеров на поверхностях. Метод эффективен для создания цифровой сцены внутри помещений и отличается удобством, так как во многих случаях маркеры более гибки к отслеживанию в сравнении с естественными ориентирами [19].

Результаты

Какой из представленных типов будет использован в дальнейших исследованиях, еще предстоит выяснить. Анализ проблем существующих программных средств и общей методики позволит выявить наиболее подходящий метод в реализации методики создания и использования туристской карты с технологией дополненной реальности.

На текущий момент проводится анализ программного обеспечения для использования технологии дополненной реальности. Augmented reality SDK предоставляет разработчикам инструменты и библиотеки для более простой разработки приложений дополненной реальности. Приведена сравнительная таблица SDK (табл. 2) программного обеспечения и платформы создания дополненной реальности [20].

Таблица 2

Программное обеспечение для создания и использования технологии дополненной реальности

фрагмент таблицы

Название	GPS	SLAM	Поддержка маркерного типа	Отслеживание 3D объектов	Web	Поддержка визуального поиска	PC/Mac/Linux
ARToolKit	н/д	Да	Да	Нет	н/д	н/д	Все
Robocortex	Да	Нет	Да	Нет	н/д	Да	Все
Metaio	Да	Нет	Да	Да	Да	Улучшенный	PC/Mac
Vuforia	Да	Нет	Улучшенный	Да	Да	Да	Все
HERE Mobile	Да	Нет	н/д	н/д	Да	н/д	Все
ARCore	Да	Да	Да	Да	Да	Да	PC (для Android)
ARKit	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Mac (для iOS)
Kudan	Да	Да	Да	SLAM	Нет	Улучшенный	Все
Layar	Да	Нет	Да	Нет	Да	Да	Все (для Android, iOS)

Анализ процессов обработки пространственных трехмерных данных приведен на примере исходных данных, форматов и содержимого работы на платформе Vuforia Engine. Unity Editor – это популярная и полезная платформа для создания передовых возможностей дополненной реальности как для портативных устройств, так и для цифровых очков. Программная библиотека используется для разработки программного обеспечения для создания приложений дополненной реальности. Разработчики могут легко добавить расширенные функции компьютерного зрения в любое приложение, позволяя ему распознавать изображения и объекты и взаимодействовать с пространствами в реальном мире. Vuforia Engine предлагает множество отслеживаемых целей и возможностей, которые можно классифицировать как изображения, объекты и среды.

Image targets представляют собой изображения, которые Vuforia Engine может обнаруживать и отслеживать. Программная библиотека обнаруживает и отслеживает изображение, сравнивая извлеченные природные объекты из изображения камеры с известной базой данных целевых ресурсов. Как только цель изображения будет обнаружена, Vuforia Engine выполняет отслеживание изображения и дополняет контент, используя лучшую на рынке технологию отслеживания изображений.

Model targets позволяют приложениям, созданным с помощью Vuforia Engine, распознавать и отслеживать определенные объекты в реальном мире на основе формы объекта. В качестве модельных целей могут использоваться самые разнообразные объекты, от бытовой техники и игрушек до транспортных средств, крупномасштабного промышленного оборудования и даже архитектурных достопримечательностей.

VuMarks – это штрих-код следующего поколения. Они обеспечивают свободу для индивидуального и ориентированного на бренд дизайна, одновременно кодируя данные и выступая в качестве отслеживаемой цели AR. Дизайн VuMark полностью настраиваемый, поэтому можно иметь уникальный VuMark для каждого уникального объекта. VuMarks являются печатными мишенями и могут быть размещены на любой плоской поверхности или отпечатаны на объекте в малом размере. Кроме того, на них распространяются те же требования, что и на другие печатные Vuforia Targets, и глянецовость, отражения и настройки освещения могут повлиять на его возможности отслеживания [21].

Таким образом, речь идет о 2D и 3D объектах для распознавания и работы над созданием и использованием технологии дополненной реальности. Говоря о процессах, к первым относятся изображения в векторном и/или растровом форматах, исходя из задачи представления сцены работы, ко вторым же относятся модели реальных объектов, которые необходимо сгенерировать или создать вручную с последовательной загрузкой в облачное хранилище проекта. На диаграмме ниже указаны процессы и форматы обработки исходных данных (рис. 3). По оси Y указаны качественные оценки характеристик применяемых методов по 10-балльной шкале [21].

Нужно отметить, что рассмотренные библиотеки рассчитаны на работу с приложениями трехмерной графики и игровыми движками, но не учитывают

специфику геоинформационных трехмерных моделей, которая заключается в базах данных объектов на больших площадях, разнородности данных, сочетании открытых и закрытых помещений и территорий, интеграции с геоинформационными системами и сервисами. Поэтому требуются дальнейшие исследования с точки зрения реализации технологий дополненной реальности в картографических произведениях.

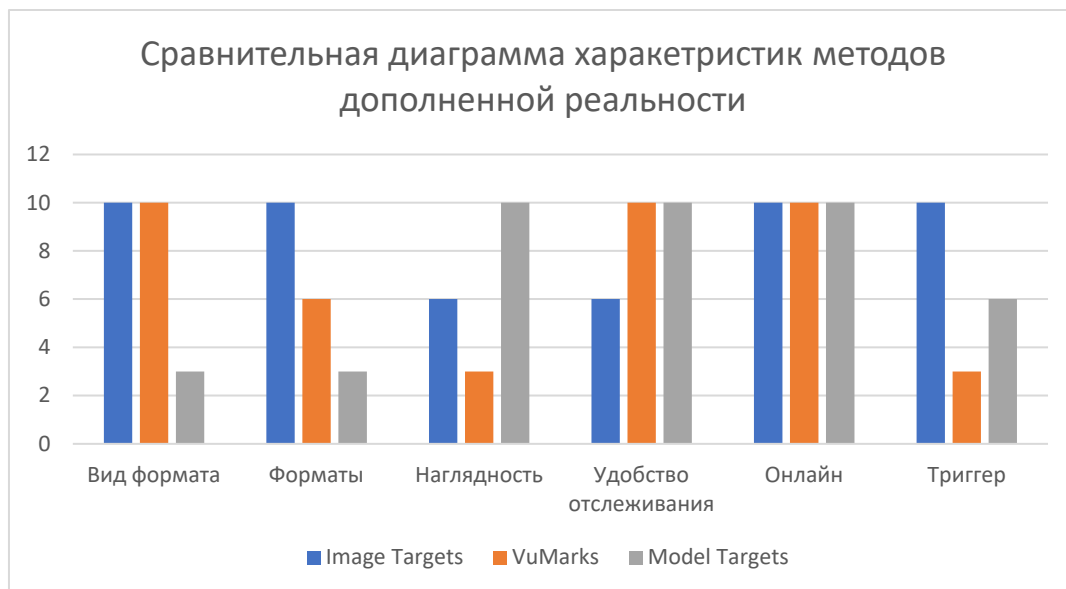


Рис. 3. Оценка методов дополненной реальности в программе Vuforia Engine

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куприна Л. Е. Туристская картография : учеб. пособие. – М. : Флинта, 2010. – 280 с.
2. Яковлева С. И. Туристская картография Россия : монография. – Тверь : Тверской государственный университет, 2022. – 177 с.
3. Дополненная и виртуальная реальность в умных городах: как это может быть // Голографика: Новости дополненной, виртуальной и смешанной реальности / сост. и ред. А. Лисовицкий. – 2017. – URL: <https://holographica.space/articles/ar-vr-smart-cities-11731/>
4. Тумакаева Н. В. Цифровые технологии в городском пространстве // Студент и наука. - № 3. – 2020. – С.34-42.
5. Батырова К. С., Пошивайло Я. Г. История дополненной реальности и перспективы ее применения в картографии // Вестник СГУГиТ. – Т. 26. – № 5. – 2021. – С. 99-107.
6. Рынок устройств виртуальной и дополненной реальности // Tadviser: Государство. Бизнес. Технологии. – 2022. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Рынок_устройств_виртуальной_и_дополненной_реальности.
7. Туменова С. А. Технология виртуальной и дополненной реальности в туризме // Сборник трудов конференции: Модели мышления и интеграция информационно-управляющих систем (ММИУС-2018). – 2018. – С. 298-301.
8. Лисицкий Д. В., Осипов А. Г., Савиных В. Н., Кичеев В. Г., Макаренко Н. Н. Геоинформационное пространство: реальный мир и дополненная реальность // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – №6. – 2018. – С. 31-37.
9. Утробина Е. С., Попов В. П. Использование AR/VR технологий в мобильных картографических приложениях для развития сферы туризма // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – Т.1. – 2021. – С. 211-217.

10. Функция Улицы в AR-режиме в Google Картах // Google: Справка-Карты. – 2022. – URL: <https://support.google.com/maps/answer/9332056?hl=ru&co=GENIE.Platform%3DiOS>
11. Нигматуллин Т. В. Виртуальные туры и дополненная реальность в современных путешествиях // Наука и образование: проблемы и перспективы. – 2020. – С. 46-49.
12. Пиядин А. А., Найда А. М. Виртуальная реальность в туризме // Вестник науки и образования. – № 11-3. – 2020. – С. 33-35.
13. Ozkul E., Kumlu S. T. Augmented reality application in tourism // International journal of contemporary tourism research. – №2. – 2019. – С.107-122.
14. Селиверстов Н., Лончина А. Е. Технология дополненной реальности. Метод одновременной локализации и построения карты // материалы конференции: Наука настоящего и будущего. – Т.1. – 2019. – С. 106-109.
15. Google представила API Geospatial для глобальной дополненной реальности // Голлографика: Новости дополненной, виртуальной и смешанной реальности / сост. и ред. А. Лисовицкий. – 2022. – URL: <https://holographica.space/news/google-api-geospatial/>.
16. Чайкин Н. Д., Штенников Н. Д. Обзор основных методов распознавания маркеров дополненной реальности // Сборник трудов конференции: Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития. – 2017. – С. 54-55.
17. Баткова Я. С., Штенников Д. Г. Метод фильтрации частиц для повышения распознавания маркеров в дополненной реальности // Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития. – 2019. – С. 12-14.
18. Uskenbayeva U. K., Chinibayev U. K. The method of visualization of 3D objects using augmented reality technology based on the marker // Вестник казахской академии транспорта и коммуникаций им М. Тынышпаева. - № 4 – 2018. – С. 253-259.
19. Munoz-Salinas R., Marin-Jimenez M. J., Medina-Carnicer R. SPM-SLAM: Simultaneous localization and mapping with squared planar markers // Elsevier: Pattern Recognition. – №86. – 2019. – С. 156-171.
20. Augmented reality SDK comparison // Social Compare: Механизм совместного сравнения. – 2021. – URL: <https://socialcompare.com/en/comparison/augmented-reality-sdks>.
21. Vuforia Engine Library 10 // Vuforia: библиотека разработчика. – URL: <https://library.vuforia.com/>.

© А. А. Ажилай, Е. В. Комиссарова, А. А. Колесников, 2022