

УДК 631.1,62-5

UDC 631.1,62-5

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы экономики (физикоматематические науки, экономические науки)

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods of economics (physical and mathematical sciences, economic sciences)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАПРАВЛЕННЫХ ЛУЧЕЙ В ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ БЕЗ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПРИВЯЗКИ НА РАССТОЯНИИ

THE USE OF DIRECTIONAL BEAMS IN AUGMENTED REALITY WITHOUT MODELS FOR SPATIAL REFERENCE AT A DISTANCE

Мурлин Алексей Георгиевич
Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и программирования
РИНЦ-SCIENCE INDEX SPIN-код: 4991-8507
murlinag@mail.ru
ФГБОУ ВО “Кубанский государственный технологический университет”, Краснодар, Россия

Murlin Alexey Georgievich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Programming
RSCI-SCIENCE INDEX SPIN-code: 4991-8507
murlinag@mail.ru
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Клюев Эльдар Станиславович
студент кафедры информационных систем и программирования
РИНЦ-SCIENCE INDEX SPIN-код: 3948-0531
e.s.klyuev@mail.ru
ФГБОУ ВО “Кубанский государственный технологический университет”, Краснодар, Россия
350072, улица Московская, 2, Краснодар, Россия

Klyuev Eldar Stanislavovich
student of the Department of Information Systems and Programming
RSCI-SCIENCE INDEX SPIN-code: 3948-0531
e.s.klyuev@mail.ru
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
350072, Moskovskaya, 2, Krasnodar, Russia

В дополненной реальности (AR), функционирующей без моделей окружающей среды, ключевой задачей является обеспечение точной пространственной привязки удаленных объектов. Сложности возникают из-за отсутствия геометрической информации, что делает невозможным учет перекрытия объектов и использования физических ограничений. Для решения этой проблемы нами были исследованы три подхода: метод одиночного луча, метод двойного луча и метод параллельных направляющих. В статье подробно обсуждаются каждый из методов, их сильные и слабые стороны, а также описывается возможность их практической реализации

In augmented reality (AR), which operates without models of the environment, the key task is to ensure accurate spatial mapping of remote objects. Difficulties arise due to the lack of geometric information, which makes it impossible to account for the overlap of objects and the use of physical constraints. To solve this problem, we have investigated three approaches: the single beam method, the double beam method, and the parallel guide method. The article discusses in detail each of the methods, their strengths and weaknesses, and describes the possibility of their practical implementation

Ключевые слова: ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ (AR), ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ПРИВЯЗКА, НАПРАВЛЕННЫЕ ЛУЧИ, ВИЗУАЛИЗАЦИЯ БЕЗ МОДЕЛЕЙ, ОДИНОЧНЫЙ ЛУЧ, ДВОЙНОЙ ЛУЧ, ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ НАПРАВЛЯЮЩИЕ, ОККЛЮЗИЯ В AR, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НА РАССТОЯНИИ, ИНТЕРФЕЙС УПРАВЛЕНИЯ AR

Keywords: AUGMENTED REALITY (AR), SPATIAL ANCHORING, DIRECTIONAL BEAMS, VISUALIZATION WITHOUT MODELS, SINGLE BEAM, DOUBLE BEAM, PARALLEL GUIDES, AR OCCLUSION, INTERACTION AT A DISTANCE, AR CONTROL INTERFACE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-206-039>

Введение. Дополненная реальность (AR) находит применение в

<http://ej.kubagro.ru/2025/02/pdf/39.pdf>

самых разных областях, таких как инженерия, обучение и взаимодействие с виртуальными объектами [1]. Однако одной из наиболее сложных задач остается работа AR в условиях отсутствия предварительно созданных моделей окружающей среды, особенно при необходимости указания удаленных объектов.

Традиционные AR-системы полагаются на геометрическую информацию, чтобы учитывать перекрытие объектов и создавать эффект окклюзии, который помогает пользователям правильно интерпретировать виртуальные элементы [2]. Однако, если данные о среде недоступны, пользователи сталкиваются с проблемами, связанными с наложением виртуальных объектов на физические.

Для изучения и преодоления этих ограничений в настоящем исследовании представлены три метода визуализации направленных лучей, которые предоставляют пользователю наглядные средства для идентификации удаленных целей.

Методы визуализации.

Для решения проблемы точной пространственной привязки в дополненной реальности (AR) без использования моделей окружающей среды были рассмотрены три ключевых метода визуализации, направленных на улучшение восприятия и точности наведения луча [3]. В каждом из этих методов использованы уникальные подходы, которые обеспечивают более эффективное взаимодействие с окружающим миром, несмотря на отсутствие геометрической информации о физическом окружении. Эти методы включают одиночный направленный луч, метод двойного луча и метод параллельных направляющих, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения, в зависимости от сложности сценария использования.

Одиночный направленный луч – это самый простой и базовый метод визуализации, при котором используется один виртуальный луч,

направленный от пользователя к целевой точке в пространстве. В идеальных условиях этот метод представляет собой эффективный способ для пользователей ориентироваться в дополненной реальности, поскольку он не требует сложных вычислений или обработки дополнительных данных. Однако, в реальных условиях, когда окружение не моделируется, и геометрия окружающих объектов неизвестна системе, одиночный луч сталкивается с проблемой окклюзии, что приводит к затруднениям в восприятии точного направления луча.

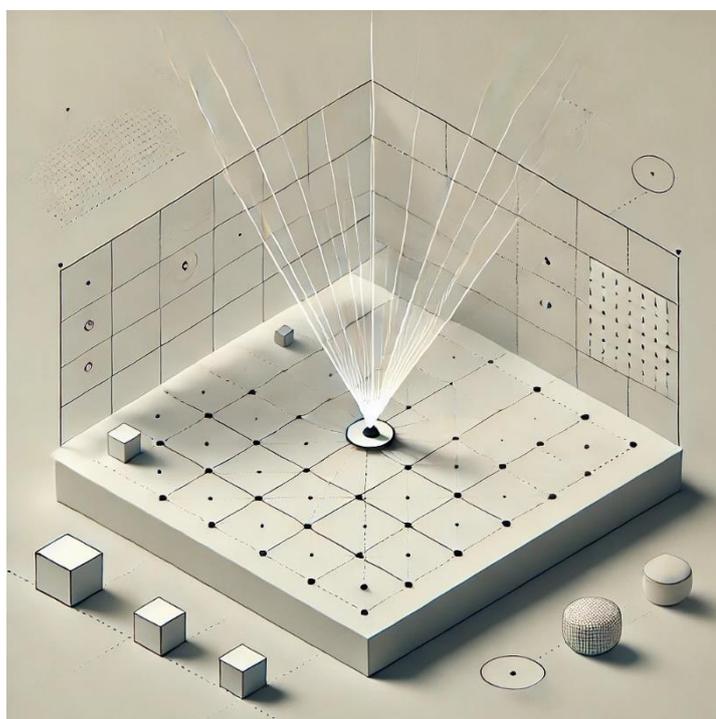


Рисунок 1 – Схема метода визуализации с одиночным направленным лучом.

Без информации о физических объектах в сцене AR, система не может эффективно отслеживать, как объекты перекрывают луч, создавая запутанные визуальные эффекты наложения. Таким образом, хотя одиночный луч представляет собой простой и интуитивно понятный инструмент, его точность сильно зависит от условий визуализации и сложности окружения. В сценариях, где объекты в реальном мире могут

скрывать или блокировать виртуальные лучи, этот метод требует дополнительных усилий со стороны пользователя для выполнения визуального поиска, что может повлиять на общую эффективность навигации [4, 5].

Метод двойного луча.

Чтобы решить проблему окклюзии и улучшить точность восприятия направления луча, был разработан метод двойного луча. В отличие от одиночного луча, который направляется в одну точку, метод двойного луча использует два луча, которые указывают на разные геометрические элементы целевого объекта. Обычно это верхняя и нижняя части объекта, что создает эффект «брекетинга» - двух лучей, образующих визуальное ограничение вокруг цели [5]. Это значительно снижает количество неоднозначных случаев, когда лучи могут пересекаться с другими объектами или быть скрытыми, улучшая восприятие точного расположения цели.

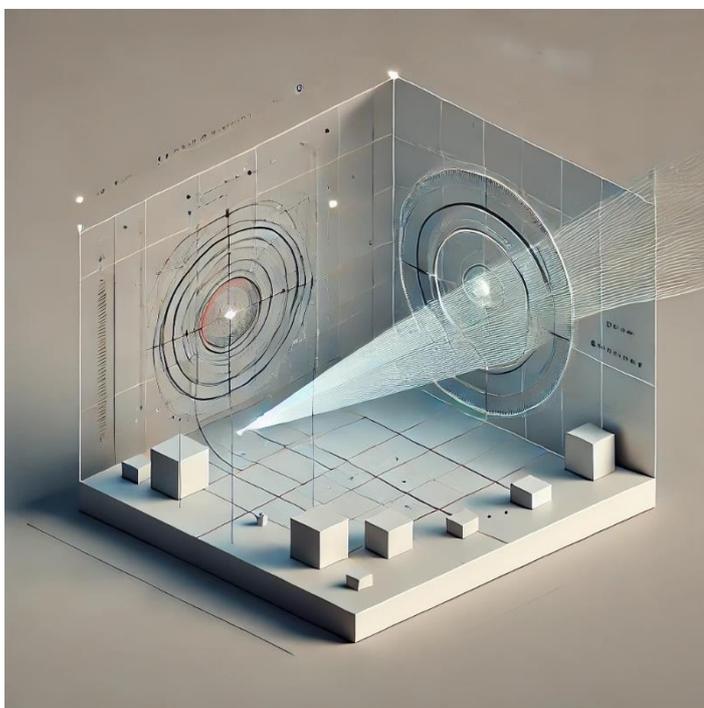


Рисунок 2-Схема метода двойного луча.

Одним из значительных преимуществ метода двойного луча является его способность уменьшать неопределенность в условиях сложных сцен, где один луч может быть недостаточен для точного указания на цель. Например, если цель скрыта за другими объектами, два луча дают пользователю два различных ориентира, которые помогают точно идентифицировать расположение цели. Однако этот метод требует дополнительной нагрузки на пользователя, так как необходимо точно направлять два луча одновременно. Это увеличивает временные затраты и усложняет процесс наведения. Тем не менее, улучшенная точность и снижение ошибок делают метод двойного луча полезным инструментом в более сложных задачах дополненной реальности, где важна высокая степень точности.

Метод параллельных направляющих.

Для еще большего улучшения восприятия и устранения трудностей, связанных с малой толщиной луча, был разработан метод параллельных направляющих [5]. Этот метод направлен на улучшение ориентации пользователя в пространстве и помогает точнее воспринимать направление луча, даже если окружение не моделируется. Метод предполагает использование виртуальных ориентиров, которые отображаются вдоль луча и помогают пользователю лучше ориентироваться в пространстве. Эти ориентиры имеют форму параллельных направляющих, которые отображаются вдоль направления луча на фиксированном расстоянии друг от друга.

Параллельные направляющие помогают разделить луч на несколько виртуальных объектов, которые визуальнo показывают глубину и ориентацию луча. Такой подход значительно улучшает восприятие расстояния и позволяет пользователю более точно идентифицировать целевой объект, даже если другие объекты в сцене могут создавать помехи. Например, если луч пересекает несколько объектов, эти

параллельные направляющие обеспечивают дополнительный контекст и информацию, которая помогает различать объекты, находящиеся ближе или дальше по направлению луча.

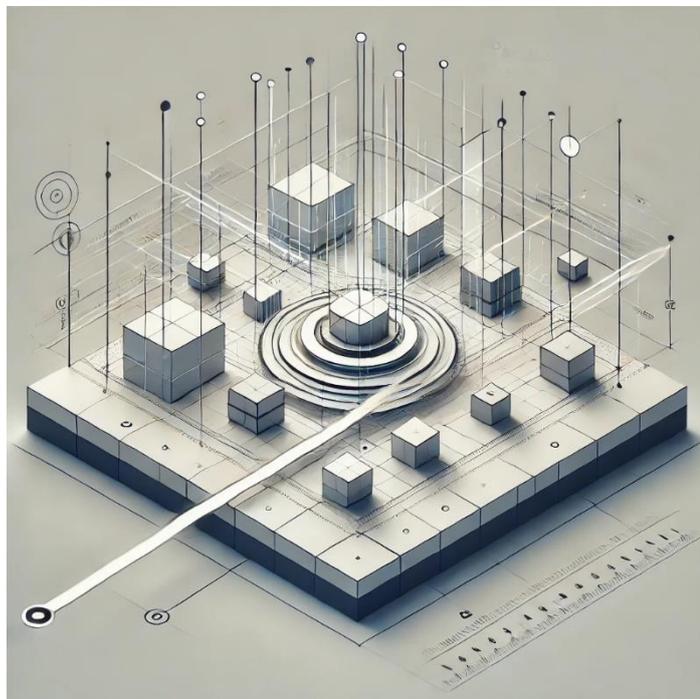


Рисунок 3 – Схема метода параллельных направляющих.

Один из важных аспектов метода параллельных направляющих – возможность настройки его параметров. Пользователи могут изменять высоту, длину и расстояние между направляющими, что позволяет подстроить систему под индивидуальные предпочтения и особенности восприятия. Этот метод имеет явные преимущества в сценах с высокой плотностью объектов, где требуется точная привязка к цели, а использование одного или двух лучей может быть недостаточным. Кроме того, добавление виртуальной белой сферы в месте пересечения луча и направляющих позволяет создать дополнительные ориентиры, помогающие пользователю правильно оценить местоположение цели относительно других объектов в пространстве.

Комбинированный подход. На основе предыдущих методов был разработан комбинированный подход, который сочетает в себе

преимущества метода двойного луча и метода параллельных направляющих. Этот подход предлагает более гибкую и точную систему наведения, которая учитывает и улучшает все слабые места каждого из методов. В этой системе два луча, направленных на верхнюю и нижнюю части объекта, дополнительно сопровождаются параллельными направляющими, что позволяет улучшить восприятие глубины и точности. Это снижает количество ошибок, улучшая общую картину взаимодействия с окружающей средой.

Такой комбинированный подход открывает новые возможности для создания сложных и точных инструментов дополненной реальности, где важен контекст расстояния и точной привязки к целям. В условиях, когда объект может быть частично скрыт, использование параллельных направляющих дополнительно помогает определить его местоположение и ориентацию, улучшая общую эффективность системы.



Рисунок 4 – Схема комбинированного подхода

В заключение, каждый из предложенных методов предоставляет уникальные возможности для улучшения пространственной привязки в

дополненной реальности. Эти методы могут быть адаптированы в зависимости от условий окружающей среды и требований задачи, что делает их универсальными инструментами для дальнейших исследований и применения в реальных сценариях.

Результат исследования

Наше исследование методов визуализации направленных лучей в дополненной реальности (AR) без использования моделей показало важность выбора подхода в зависимости от конкретных условий задачи и окружающей среды. Каждая из предложенных техник – одиночный луч, метод двойного луча и метод параллельных направляющих – имеет свои сильные стороны и ограничения, что требует внимательного подхода к их применению в реальных сценариях. Важно понимать, что добавление виртуальных лучей и ориентиров в AR, когда отсутствует полная модель окружающего мира, не является универсальным решением для всех возможных ситуаций. Это требует дальнейшего анализа и экспериментов для оптимизации методов и их интеграции с другими технологиями.

Метод одиночного луча представляет собой самый простой способ навигации и ориентирования в дополненной реальности, где одним лучом можно указать на цель или объект. Он обладает явным преимуществом в плане низкой сложности и скорости выполнения. Однако его ограниченность проявляется в реальных условиях, особенно при наличии физических объектов, которые могут блокировать луч, создавая искажения и сбивающие с толку эффекты наложения. Отсутствие учета геометрии окружения приводит к тому, что система не способна отобразить реальное перекрытие объектов, что вызывает дополнительные трудности в восприятии пространства. Это значительно снижает точность наведения, а также увеличивает вероятность ошибок при поиске цели.

Проблемы, возникающие при использовании одиночного луча, подчеркивают важность учета пространственных объектов в дополненной

реальности. Без наличия моделей окружения система не может адекватно взаимодействовать с реальным миром, что ограничивает точность навигации, особенно в сложных или динамичных сценах. Это указывает на необходимость дальнейшего совершенствования методов AR, которые могли бы более точно учитывать физические препятствия и отображать их влияние на виртуальные лучи.

Метод двойного луча значительно улучшает ситуацию, устраняя многие ограничения одиночного луча. Использование двух лучей, направленных на разные точки объекта, дает более четкую информацию о его местоположении и помогает уменьшить возможную неопределенность. Эффект «брекетинга» позволяет разделить объект на два ориентира, что делает его более легко воспринимаемым, особенно в случае, когда один луч не может точно указать на цель из-за присутствия других объектов в поле зрения. Этот подход снижает количество ошибок и значительно повышает точность навигации, что делает его полезным в более сложных и перегруженных сценах.

Однако несмотря на значительные улучшения, метод двойного луча все еще сталкивается с проблемой дополнительной нагрузки на пользователя. Необходимость одновременно контролировать два луча может замедлить процесс навигации и потребовать больших усилий от пользователя, что может привести к усталости или неточным указаниям, особенно в условиях длительного использования. Это подчеркивает необходимость в дальнейшей оптимизации интерфейса и разработке адаптивных систем, которые могли бы упростить процесс наведения.

В перспективе будет исследована возможность автоматической корректировки направления лучей с помощью сенсоров или искусственного интеллекта, что значительно упростило бы использование метода двойного луча и снизило бы нагрузку на пользователя. Тем не менее, даже в своем текущем виде этот метод представляет собой

эффективное средство для повышения точности навигации в AR, особенно в приложениях, где высокая точность необходима для выполнения сложных задач.

Метод параллельных направляющих представляет собой инновационное решение для улучшения ориентации и восприятия луча в дополненной реальности. Добавление параллельных ориентиров не только упрощает восприятие направления луча, но и помогает пользователю более точно воспринимать глубину и расстояния в трехмерном пространстве. Это особенно важно в сложных сценах, где объекты могут пересекаться или блокировать виртуальный луч, создавая проблемы для точной навигации. Параллельные направляющие помогают компенсировать эти проблемы, предоставляя дополнительные ориентиры для определения точного положения и направления цели.

Большим преимуществом метода параллельных направляющих является возможность настройки параметров визуализации, таких как высота, длина и расстояние между направляющими. Это дает пользователю возможность адаптировать систему под индивидуальные потребности и предпочтения, что значительно повышает комфорт и точность навигации. Возможность регулировки параметров также открывает новые возможности для настройки системы в зависимости от типа задачи и окружающих условий, что делает метод гибким и универсальным инструментом.

Тем не менее, несмотря на значительные преимущества, метод параллельных направляющих также не лишен недостатков. Визуальные ориентиры, такие как направляющие, могут создавать дополнительные зрительные помехи и отвлекать внимание пользователя от основной цели. Кроме того, при длительном использовании пользователя может возникнуть усталость из-за большого количества виртуальных объектов в поле зрения. Чтобы минимизировать эти проблемы, можно рассмотреть

варианты уменьшения количества ориентиров или применения адаптивных систем, которые отображают направляющие только в тех случаях, когда это необходимо.

Комбинированный подход, который объединяет метод двойного луча с параллельными направляющими, открывает новые возможности для решения проблемы точности навигации в AR. Этот подход использует преимущества обеих техник, улучшая восприятие глубины и точности наведения, а также снижая количество ошибок при сложных сценах. Вместе с тем, такая интеграция требует дополнительных вычислительных ресурсов и усилий по настройке интерфейса, что может привести к увеличению сложности системы.

Перспективы дальнейших исследований включают разработку адаптивных интерфейсов, которые могут автоматически выбирать подходящий метод визуализации в зависимости от условий окружающей среды, уровня опыта пользователя и требований конкретной задачи. Также важным направлением является интеграция машинного обучения для повышения точности и автоматизации процесса наведения. Использование искусственного интеллекта для анализа сцены и корректировки направлений лучей может существенно улучшить опыт пользователя и повысить общую эффективность AR-приложений.

Кроме того, важно продолжить исследования по улучшению взаимодействия с реальным миром, особенно в условиях открытого пространства, где динамичность окружающей среды требует от системы высокой гибкости и точности. Для достижения максимальной эффективности методы визуализации направленных лучей должны быть интегрированы с другими технологиями, такими как сенсоры, камеры и системы анализа данных, что обеспечит более точную и комфортную навигацию в реальном времени.

В заключение, предложенные методы визуализации направленных

лучей в дополненной реальности без моделей открывают новые возможности для повышения точности и удобства навигации в различных приложениях. В будущем важно продолжить работу по оптимизации этих методов, улучшению их адаптивности и интеграции с другими технологиями, что обеспечит более эффективную и точную работу AR-систем в реальных условиях.

Выводы. Результаты нашего исследования подчеркивают важность выбора методов визуализации направленных лучей в дополненной реальности (AR) без использования моделей окружающей среды. Каждая из предложенных техник обладает своими сильными сторонами и ограничениями, что позволяет адаптировать их к различным условиям и задачам.

Метод одиночного луча демонстрирует простоту реализации и минимальные временные затраты на обучение и использование. Однако его недостатки становятся особенно заметными в сложных сценах с высокой плотностью объектов, где отсутствует возможность корректного учета перекрытия и геометрии окружающей среды. Это делает метод менее подходящим для задач, требующих высокой точности привязки.

Метод двойного луча представляет собой значительное улучшение, предлагая механизм снижения неопределенности за счет использования двух точек привязки. Эффект "брекетинга" эффективно уменьшает количество ошибок в идентификации цели, особенно в ситуациях, где несколько объектов могут пересекаться с направленными лучами. Однако дополнительная нагрузка на пользователя и более сложный интерфейс управления требуют доработок, направленных на оптимизацию времени взаимодействия.

Метод параллельных направляющих предлагает инновационный подход к улучшению ориентации и восприятия направления луча. Добавление параллельных ориентиров значительно упрощает

интерпретацию глубины и позволяет более точно определять цели в условиях сложной сцены. Возможность настройки параметров визуализации делает этот метод гибким инструментом, способным адаптироваться к индивидуальным предпочтениям пользователей и требованиям конкретной задачи.

Комбинация методов двойного луча и параллельных направляющих, предложенная в рамках данного исследования, открывает новые перспективы для работы с AR в сложных условиях. Совмещение преимуществ этих методов позволяет добиться высокой точности, устойчивости к визуальным помехам и удобства использования.

Исследования в данной области будут направлены на дальнейшую интеграцию предложенных методов с адаптивными системами управления, способными автоматически переключаться между техниками в зависимости от контекста использования. Например, такие системы могли бы учитывать характеристики окружающей среды, уровень опыта пользователя и тип решаемой задачи. Также перспективным направлением является применение машинного обучения для улучшения точности наведения лучей, а также расширение возможностей дополненной реальности за счет внедрения обратной связи и дополнительных сенсорных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шендрыгин Е.В., Анализ программного обеспечения для разработки и использования дополненной реальности. Вестник современных исследований. 2018. № 10.1 (25). С. 390-393.

2. Кирьянов А.Е., Йылмаз Р.М., Масюк Н.Н., Маслов Д.В., Шакуев Д.А., Бушуев К.А., Дополненная реальность в сфере образования: Шаг в направлении объединенной реальности. Применение технологий виртуальной реальности и смежных информационных систем в междисциплинарных задачах FIT-M 2020. Сборник тезисов международной научной конференции. 2020. С. 19-23.

3. Смолин А.А., Жданов Д.Д., Потемин И.С., Меженин А.В., Богатырев В.А. Системы виртуальной, дополненной и смешанной реальности Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО. 2018. – 59 с.

4. Александрова, М.В. Адаптация пользовательских интерфейсов дополненной

реальности на основе контроля глубины погружения. Информационные системы и технологии (ИСТ 2023). Труды научно-технической конференции с международным участием. Самара, 2023. С. 137-140.

5. Благовещенский И.А., Демьянков Н.А. Технологии и алгоритмы для создания дополненной реальности // Моделирование и анализ информационных систем. 2013. Т. 20. № 2. С. 129-138..

6. Schmalstieg D., Hollerer T. Augmented reality: Principles and Practice // Addison-Wesley, 2015. 473 с.

REFERENCES

1. Shendrygin E.V., Analiz programmnoy obespecheniya dlya razrabotki i ispolzovaniya dopolnennoy realnosti. Vestnik sovremennykh issledovaniy. 2018. № 10.1 (25). S. 390-393.

2. Kiryanov A.E., Yylmaz R.M., Masyuk N.N., Maslov D.V., Shakuev D.A., Bushuev K.A., Dopolnennaya realnost v sfere obrazovaniya: Shag v napravlenii obedinyonnoy realnosti. Primeneniye tekhnologiy virtualnoy realnosti i smezhnykh informatsionnykh sistem v mezhdistsiplinarykh zadachakh FIT-M 2020. Sbornik tezisov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. 2020. S. 19-23.

3. Smolin A.A., Zhdanov D.D., Potemin I.S., Mezhenin A.V., Bogatyrev V.A. Sistemy virtualnoy, dopolnennoy i smeshannoy realnosti Uchebnoye posobiye. – Sankt-Peterburg: Universitet ITMO. 2018. – 59 s.

4. Aleksandrova M.V. Adaptatsiya polzovatel'skikh interfeysov dopolnennoy realnosti na osnove kontrolya glubiny pogruzheniya. Informatsionnyye sistemy i tekhnologii (IST 2023). Trudy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Samara, 2023. S. 137-140.

5. Blagoveshchenskiy I.A., Demyankov N.A. Tekhnologii i algoritmy dlya sozdaniya dopolnennoy realnosti // Modelirovaniye i analiz informatsionnykh sistem. 2013. Т. 20. № 2. S. 129-138.

6. Aukstakalnis S. Practical augmented reality // Addison-Wesley Professional, 2016. 489 s.