

РАЗДЕЛ 6 Голографическое телеприсутствие для реализации концепции умных устойчивых городов и требования к сетям связи 2030

Абстракт. В современных городах число жителей идет на миллионы и для обеспечения их комфортной жизни необходимо прикладывать все больше усилий. В статье рассмотрена концепция создания «умных городов», которая подразумевает создание инновационных мегаполисов с использованием ИКТ-технологий и других средств, способствующих развитию в экономическом, социальном, природоохранном и культурном направлениях. Проведен анализ возможностей применения дополненной реальности для улучшения двух аспектов жизни в городе: медицина и искусство. Также предложена система для мониторинга сохранности музейных экспонатов и отображения информации о них посетителям с помощью технологии дополненной реальности.

Введение.

В настоящее время развитые мегаполисы во всех частях планеты пытаются воплотить в жизнь концепцию создания «умных» городов. Основной целью создания «умного» города является предоставление одинакового уровня удобств всем гражданам. Приложения дополненной реальности очень органично вписались в концепцию создания «умных» городов.

Дополненная реальность (ДР) в силу ряда своих преимуществ, одним из которых является наглядность предоставляемой информации, а другим удобство использования, проникла во многие сферы деятельности, но именно применение технологии ДР при создании «умных городов» позволит ей выйти в широкие массы и стать частью повседневной жизни каждого горожанина. Сегодня уже известно несколько удачных проектов создания «умных» городов, среди них Сингапур, которому часто отдают лидерство в этом вопросе. В Сингапуре успешно внедрили систему датчиков, контролирующую энерго- и водоснабжение, солнечные панели, вакуумные мусоросборники, а также систему мониторинга за пожилыми и больными людьми, которые живут

одни и в случае изменения жизненно важных показателей информация немедленно поступает на пульт скорой помощи. До недавнего времени проекты создания умных городов в основном ориентировались на улучшение экологии большого города, однако, с появлением дополненной реальности стали расширять понятие «умного города» и включили в него удобство при пользовании общественными местами и транспортом и в целом повышение качества жизни. Так в городе Колумбус, штат Огайо, США компания *Google* внедрила проект *Flow*. Задача данного приложения анализировать информацию о дорожной обстановке в городе, получаемую со смартфонов и навигаторов жителей и предлагать оптимальные маршруты следования. Также в этом городе планируют в ближайшее время внедрить беспилотные автобусы, которые будут курсировать по заданному маршруту. В Китае, в городе Иньчуань работает система, которая позволяет оплачивать покупки и услуги «лицом». На кассах установлена система распознавания лиц и деньги просто списываются со счета покупателя. В администрации же города на входе жителей встречают голограммы, которые помогут решить большую часть возникающих вопросов. В городе Фудзисава, Япония внедрена система умного освещения улиц. Фонари включаются только если в радиусе их действия находится какой-либо объект. В Российской Федерации также планируется создать умные города в рамках государственной программы «Цифровая экономика России».

Под умным городом принято понимать улучшение качества управления основными системами городов и уровня жизни его жителей за счет внедрения инновационных технологий и передовых инженерных и технологических решений. Для того, чтобы повысить конкурентоспособность крупных российских городов по сравнению с другими странами, предполагается создать безопасные и комфортные условия для жизни горожан и сформировать эффективную систему управления городскими службами. Выделяют следующие ключевые направления умного города:

- Городское управление подразумевает вовлечение граждан в решение различных вопросов, связанных как с перспективами развития, так и с жалобами и обращениями граждан. Планируется создание цифровых платформ управления городами с применением искусственного интеллекта.
- Энергетика включает в себя умные счетчики, оптимизацию энергозатрат и экономию энергоресурсов.
- Водоснабжение – оснащение датчиками утечек, мониторинг сетей водоснабжения, дистанционное снятие показателей со счетчиков и т.д.
- Теплоснабжение также включает в себя систему мониторинга тепловых сетей, автоматизированный учет тепловой энергии, комплексное удаленное управление процессами теплоснабжения и т.д.
- Строительство. Большинство домов в настоящее время в крупных городах старой постройки, поэтому требуется комплексный подход к ремонту, обслуживанию зданий и сооружений с помощью инновационных систем планирования работ и анализа заявок.
- Безопасность. Под данной категорией подразумевают улучшение общественной безопасности города за счет внедрения интеллектуальных систем, таких как видеонаблюдение, информирование граждан о чрезвычайных происшествиях и аварийных ситуациях, контроль противопожарных систем на крупных общественных объектах и т.д.
- Транспорт. Одна из наиболее проработанных категорий подразумевает создание умной транспортной инфраструктуры города, а именно повсеместное внедрение устройств фото- и видеофиксации нарушения правил дорожного движения, не только в загруженных и опасных местах. Также представляет интерес разработка системы мониторинга дорожного полотна в целях оптимального планирования ремонтных работ. Интеллектуальное управление общественным транспортом позволит отслеживать маршруты и загруженность транспорта, и

информировать жителей о времени его прибытия на остановку, количестве свободных мест, направлении движения и т.д., сообщать о произошедших инцидентах и способствовать их оперативному устранению. Увеличение количества и улучшение администрирования парковок также входит в эту категорию.

- Экология. Уже сегодня можно встретить много проектов с применением ДР и ИВ, которые позволяют контролировать состояние окружающей среды в разных районах города, это и загазованность, и пробы воды в реках, озерах, прудах, фонтанах, качество воздуха, наличие вредных примесей и т.д.
- Отходы. Для больших городов очень актуальной является задача вывоза мусора и его переработка. Сегодня просто необходимо внедрять новые системы вывоза мусора и его дальнейшей утилизации, контролировать и предотвращать появление нелегальных свалок мусора, обеспечивать своевременный вывоз с общественных территорий.

Эти задачи зачастую объединяют в группы, так активно создаются приложения мониторинга в сфере ЖКХ, которые включают в себя сбор показаний с различных приборов учета света, воды, газа и т.п., контроль состояния зданий, исправность лифтового оборудования, противопожарных систем, протечек, температуры в помещениях, уровня шума. Сюда же входит электронное собрание собственников в многоквартирных домах и голосование по решениям хозяйственных вопросов. Удобен также автоматизированный контроль исполнения заявок жителей и устранение неисправностей.

С появлением дополненной реальности увеличилось и число приложений в области туризма и сервиса, что привело ко многим инновациям городской среды. Так планируется создать художественную подсветку и энергоэффективное освещение городских улиц, а также архитектурных и исторических объектов. Разработка информационных приложений для туристов, наложенных на интерактивную карту города с дополнительной

информацией о часах работы, стоимости входного билета, удобного маршрута проезда или исторической справкой о домах, улицах, памятниках.

Таким образом, в ближайшее время будут созданы множество приложений для умных городов и осуществлен переход на новый принцип организации жизни крупного города. Тогда, сразу встает вопрос по каким показателям оценивать степень развития города и может ли он называться «умным».

Применение AR совместно с другими технологиями такими, как Интернет Вещей, искусственный интеллект, робототехника, виртуальная реальность, голографическое телеприсутствие, позволяет решать множество задач, связанных с управлением, контролем, принятием решений, визуализацией и восприятием информации, в различных отраслях промышленности и в повседневной жизни людей [1, 2]. Однако, повсеместное внедрение данных технологий ставит и новые задачи. В частности, для воспроизведения пользователю голографического изображения максимально приближенного к реальному необходимо точно отслеживать положение пользователя в пространстве, в том числе и направление его взгляда, также учитывая плотность пользователей и их мобильность. К исследованиям по данным вопросам в настоящее время приступили как отечественные ученые, так и зарубежные [3-6]. Концепция внедрения голографических помощников в крупных городах приводит к необходимости пересмотра и разработки новой архитектуры сети с учетом особенностей трафика ДР и его выгрузки пользователю, воспроизведения голограмм в общественных местах и на открытом пространстве [7]. Для выполнения требований по качеству обслуживания и восприятия AR необходима разработка методик тестирования для дополненной реальности, в том числе для взаимодействия человек-голографическая копия. Исследований, оценивающих влияние широкомасштабного применения голографических изображений совместно с дополненной реальностью в различных отраслях с учетом требуемых сетевых характеристик практически нет. Хотя очевидно, что широкое внедрение

голографических копий приведет к изменению структуры трафика, распределению ресурсов и информации на сетях связи, а также отразится на требованиях к сетям доступа и качества восприятия.

Применение дополненной реальности в области медицины в умных городах

В настоящее время можно встретить много исследований, посвященных использованию технологии ДР в области медицины, в частности для облегчения жизни инвалидов в умных городах. Так в статье [1] предлагается навигационная система, которая рассчитывает и облегчает выбор маршрута передвижения для инвалидов. В исследовании [2] утверждается, что дизайн торговых и библиотечных полок не позволяет инвалидам свободно взаимодействовать с предметами, и на основе данного анализа предложена система с технологией *RFID*, которая позволяет инвалидам определять наличие и местонахождение предметов на полках и не тратить усилия для того, чтобы доставать или перебирать ненужные предметы. Как известно с возрастом у людей усложняется моторика и координация, особенно это заметно в сложных климатических условиях, при гололедице, например, так в статье [3] предложено приложение, помогающее пожилым людям улучшить умственные навыки и ориентации в трехмерном пространстве. Также создано приложение-помощник для когнитивных нарушений и помощи людям, перенесшим инсульт [4, 5], инновационное приложение, которое переводит картинки с изображениями в звук, помогающее людям с ограниченными возможностями [6]. Кроме того, в [7] представлено приложение, которое помогает глухим инвалидам путем преобразования голоса говорящего в читаемый текст на дисплее устройства ДР, общаться с обычными людьми, не владеющими сурдопереводом. Наряду с помощью людям с физической инвалидностью, ДР также может быть полезной улучшения для психического здоровья и лечения физиологических стрессовых заболеваний [8]. В [9] разработано приложение, которое дополняет базовый учебник по

специальным маркерам графическим представлением и звуком для людей с ограниченными возможностями, а в [10] объединили геймификацию с процессом обучения для инвалидов.

Дополненная реальность в сфере туризма

Большое распространение приложения дополненной реальности получили в области туризма. Помимо несомненного удобства и информативности такие приложения являются продолжением концепции «умного» города и разрабатываются часто на уровне правительства города с целью привлечь максимально большое число туристов в город. Если людям удобно ориентироваться в городе, вся информация о работе музеев, отелей, ресторанов доступна и понятна, исторические памятники и архитектурные шедевры представлены в выгодном ракурсе, то и город будет процветать и получать дополнительную прибыль. Приложения дополненной реальности прекрасно отвечают поставленным задачам. Уже сегодня разработано внушительное количество интерактивных маршрутов, вспомогательных информационных туристических приложений, а проекты, связанные с поисанием экспонатов в музее близки к совершенству.

По ряду прогнозов к 2050 году 75% населения планеты будет сосредоточено в городах, поэтому улучшение инфраструктуры города имеет важное экономическое, политическое, культурное и социальное значение [11]. Очень много примеров применения дополненной реальности в академической среде и промышленности указывают на высокий потенциал применения ДР в туристической сфере [12]. Создание очков дополненной реальности, таких как *Google Glass*, подтолкнуло дальнейшему внедрению технологии ДР для информирования людей об окружающих объектах [13]. Интересным является применения ДР при осмотре античных объектов. Как правило, под влиянием времени и погоды древние исторические сооружения имеют тенденцию к разрушению. В Риме и Греции практически каждый камень представляет культурную ценность, но туристу не охватить такой объем знаний в

путешествии, длящемся несколько дней. Поэтому приложения, которые при взгляде на обломок колонны реконструируют недостающие части и отображают храм в том виде, в котором он существовал несколько тысяч лет назад, позволят существенно повысить информативность и восхитить любого туриста. Для успешной работы подобных приложений исторические и архитектурные объекты сначала реконструируются посредством трехмерных моделей, чтобы впоследствии взаимодействовать с другими объектами [14, 15]. Разработаны приложения, которые добавляют недостающую информацию к историческим рисункам [16], что в свою очередь привлекает внимание посетителей и заставляет больше времени проводить перед картиной [17] или даже взаимодействовать с ней [118]. В [19] дополненная реальность применяется для создания роботизированного гида, способного добавлять мультимедийные элементы к реальным экспонатам в музее, это и видеоролики, и резмерные модели, звуковая дорожка и т.д. Детям будет более интересно в музее, если экскурсия будет проходить в форме игры, так в [20] на основе ДР предложена историческая игра для усиления степени взаимодействия с туристами. В некоторых галереях созданы приложения, которые оживляют батальные сцены на картинах [21]. Интеграция дополненной реальности в музейное пространство интересует многих исследователей и ученых по всему миру [22 - 25].

Применение технологии ДР для мониторинга сохранности музейных экспонатов

Превентивное сохранение музейных и исторических объектов является важной национальной обязанностью для стран с большим культурным наследием. Внедрение новейших технологий в работу музеев и культурно-развлекательных сайтов - это один из способов привлечь внимание современных пользователей и повысить посещаемость и эмоциональный уровень восприятия посетителей. Дополненная реальность и Интернет вещей отлично подходят для таких целей. В данном разделе рассматривается сквозная структура системы для превентивного сохранения экспонатов в

музее на основе IoT. Система позволяет отслеживать и детектировать любые климатические изменения и локализовывать точки их воздействия. Кроме того, система использует ДР, чтобы повысить качество восприятия посетителей музея.

Структура системы представляет собой модульную конструкцию, которая увеличивает функциональность и позволяет легко добавлять или удалять элементы в зависимости от целей и задач. Рисунок 1 иллюстрирует структуру предлагаемой системы. Система состоит из двух основных частей; первая часть - это блок превентивной охраны культурных объектов, а вторая - блок помощи посетителям музея. Первый блок отвечает за сохранение и управление объектами искусства. С этим блоком в основном взаимодействует работник музея, и все собранные данные могут быть переданы только менеджерам или сотрудникам музея. Блок помощи посетителям отвечает за повышение интерактивности и доступности информации.

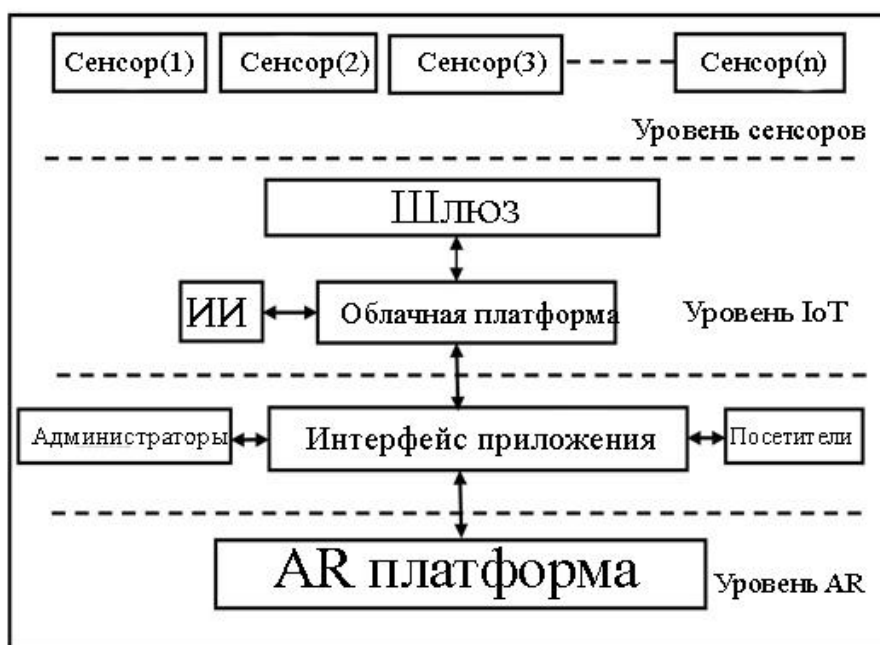


Рисунок 1 – Система ДР для охраны культурных объектов

Часть системы превентивного сохранения состоит из радиомодуля и датчиков специального назначения, которые используются для определения

параметров, важных для хранения культурных объектов. Допустима установка следующих датчиков: освещенности, температуры, влажности, ультрафиолетового излучения, качества воздуха, давления и ударной нагрузки. Эти датчики распределяются среди объектов, таким образом, чтобы максимально охватить все экспонаты в музее, для которых развернута данная система. Все датчики контролируются и управляются через базовую станцию, расположенную в центральной зоне музея. Для передачи данных между датчиками и соответствующим шлюзом используется технология LPWAN-LoRa [26]. Эта технология выбрана из-за следующих особенностей:

1. Невозможность создать проводную инфраструктуру требуемого масштаба в большинстве существующих музеев;
2. Необходимость обеспечить долгосрочную автономную работу каждого модуля;
3. Масштабируемость и расширяемость системы в будущем;
4. Низкая стоимость внедрения.

Базовая станция связана с облачным сервером, который отвечает за корректную работу системы. В облачной платформе должна быть развернута интеллектуальная система для обработки полученных данных с датчиков и определения того, нуждаются ли в чем-то экспонаты.

Блок помощи посетителям предоставляет услуги на базе технологии ДР. В настоящее время многие музеи снабжают свои экспонаты *QR*-кодами, которые позволяют посетителям получить больше информации об объекте [27]. Дополненная реальность позволяет предоставлять данную информацию в разных формах (речь, текст, графика, видео), удобных для пользователя.

Добавление информации может быть реализовано двумя способами. Первый способ подразумевает дополнительное оснащение экспонатов специальными знаками, которые при активации открывают интерактивные возможности для взаимодействия с экспонатом. Второй способ - это использование искусственного интеллекта (ИИ) (то есть нейронной сети) для анализа и распознавания распределенных объектов в музее [28]. Нейронная

сеть может распознавать вещи, сравнивая их с записью из базы данных и активируя те же интерактивные возможности, что и в первом варианте [29]. В данной системе используется второй способ распознавания объектов.

Простейшим примером дополнительных интерактивных функций является добавление справочной информации об объекте. Более сложным вариантом, например, для картин с батальными сценами, может быть воспроизведение видео или визуализация движения персонажей, изображенных на картине. Для воспроизведения такой информации пользователю нужно использовать очки дополненной реальности, которые музеи могут предложить посетителям по аналогии с существующими аудиогuidaми. Более того, для удобства пользователей, можно предлагать мобильное приложение музея с аналогичными функциями. Причем функциональность решения может быть расширена, например, путем добавления интерактивной карты музея, которая поможет посетителям лучше ориентироваться в нем, а гиды будут отмечать себя специальными тегами, которые помогут туристам их найти, в случае если они заблудились.

Анализ работы системы

Далее рассмотрен пример реализации, описанной выше системы, с использованием реального оборудования и существующих платформ. Реализованы обе части системы, для каждой из которых развернуто аппаратное и программное обеспечение. Для обеих частей системы разработано одно приложение, однако, оно способно различать два типа пользователей: посетители и сотрудники музея. Отображающиеся данные соответствуют типу пользователя.

Блок мониторинга сохранности музейных экспонатов

Основные компоненты, которые входят в блок мониторинга:

1. IoT-шлюз. В качестве шлюза используется плата NodeMCU V3 с модулем ESP 8266, которая изначально применяется для создания различных Интернет вещей. Шлюз может отправлять и получать информацию из локальной или глобальной сети через встроенный Wi-Fi модуль. Это устройство часто

выступает в роли IoT шлюза из-за экономической эффективности, доступности на рынке и удобства работы. IoT-шлюз NodeMCU программируется с использованием Sketch в Arduino IDE, что позволяет осуществлять инициализацию беспроводного соединения и генерацию HTTP-запросов POST через API к облачной платформе ThingSpeak.

2. Облачная платформа. В системе используется облачная платформа ThingSpeak, которая представляет из себя приложение с открытым исходным кодом для Интернета вещей и API для хранения и извлечения данных с использованием протокола HTTP. ThingSpeak поддерживается продуктами mathworks и имеет встроенные библиотеки Matlab для поддержки устройств IoT [24]. ThingSpeak позволяет пользователям анализировать и визуализировать загруженные данные с помощью Matlab, не покупая лицензию Matlab у Mathworks.

3- Датчики: В реализации системы используется датчик DHT11, который состоит из двух измерительных датчиков: термометра и гигрометра, которые, соответственно, измеряют температуру и влажность.

Полученные данные датчики передают на облачную платформу ThingSpeak через шлюз IoT. Облачная платформа анализирует и обрабатывает полученные данные и отправляет отчет и сигналы тревоги руководителям и сотрудникам музея через приложение, разработанное с использованием тех же платформ. Структура прототипа системы показана на рисунке 2.

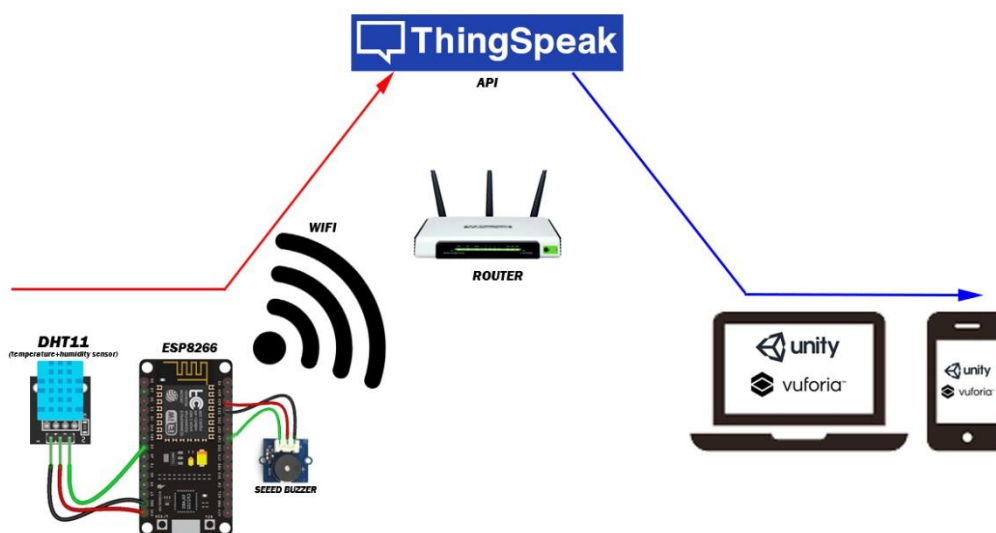


Рисунок 2 – Структура системы мониторинга музейных экспонатов

Блок ДР для помощи посетителям

Для предоставления визуальной информации посетителям и сотрудникам разрабатываются приложения дополненной реальности. Для наглядности и удобства пользования приложениями ДР часто требуется наличие очков дополненной реальности или смартфонов [30]. Для создания приложений ДР помощи посетителям рассматриваются следующие платформы:

1. Unity - это кроссплатформенная среда, используемая для разработки как двухмерных, так и трехмерных видеоигр [31]. Она позволяет создавать гетерогенные приложения для более чем двадцати различных операционных систем. Основными преимуществами Unity являются наличие среды визуальной разработки, кроссплатформенная поддержка и модульная система компонентов. С другой стороны, основными недостатками Unity является возникновение сложностей при работе с многокомпонентными схемами и при подключении внешних библиотек.

- 2- Vuforia также является платформой дополненной реальности для мобильных устройств, разработанной компанией Qualcomm [32]. Vuforia использует технологию компьютерного зрения, а также отслеживает плоские

изображения и простые объемные реальные объекты (например, кубические) в режиме реального времени. Возможность регистрации изображений позволила находить и ориентировать виртуальные объекты, такие как 3D-модели и мультимедийный контент, в сочетании с реальными изображениями при просмотре через камеры мобильных устройств. Виртуальный объект ориентирован на реальное изображение, так что точка зрения наблюдателя обрабатывает их одинаково для достижения основного эффекта (то есть ощущения, что виртуальный объект является частью реального мира).

Кроме того, Vuforia предоставляет интерфейсы прикладного программирования на языках C ++, Java, Objective-C и .Net посредством интеграции с игровой платформой Unity. Таким образом, SDK поддерживает разработку типовых ДР-приложений для iOS и Android, одновременно предполагая разработку в Unity. Результаты могут быть легко перенесены на обе платформы. Приложения дополненной реальности, созданные на платформе Vuforia, совместимы с широким спектром устройств, включая iPhone, iPad, смартфоны и планшеты.

Рассмотрим пример приложения для представленной системы на основе обеих платформ. Приложение развернуто для обеих частей системы и может быть запущено в любой подходящей операционной системе. Таким образом, посетители и сотрудники музея могут его использовать. Приложение определяет две категории пользователей: посетители и сотрудники, и предлагает соответствующие данные и услуги для каждой категории.

Для тестирования в приложении выбран случайный объект искусства и разработано два различных интерфейса, отдельно для сотрудников, и отдельно для посетителей. На рисунке 3 показан интерфейс для сотрудника музея. Если навести курсор на виртуальные блоки внизу картины, то отображаются соответствующие данные мониторинга. На рисунке 4 показан интерфейс для посетителей, в котором для публики отображается вся общедоступная информация об объекте.

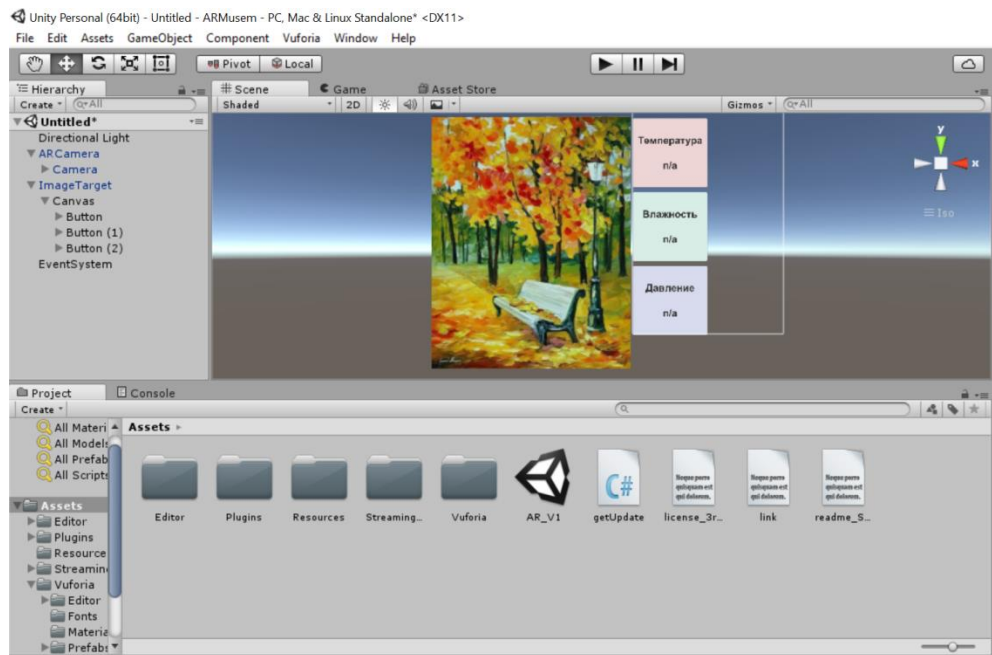


Рисунок 3 – Интерфейс сотрудника музея

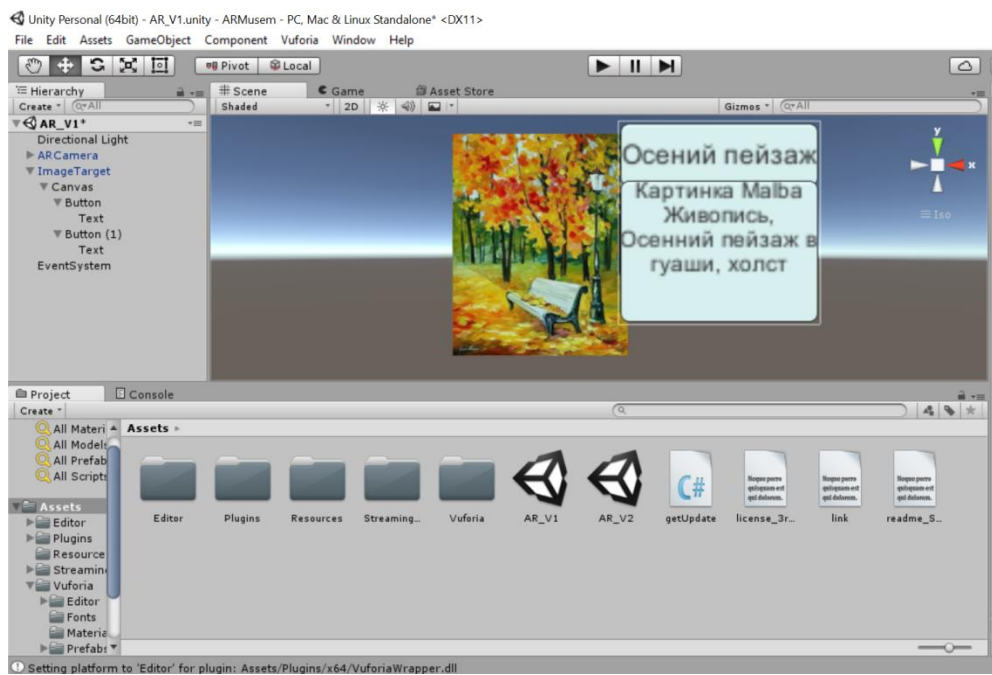


Рисунок 4 – Интерфейс посетителя

На рисунках 5 и 6 представлены результаты дневного мониторинга температуры и влажности.

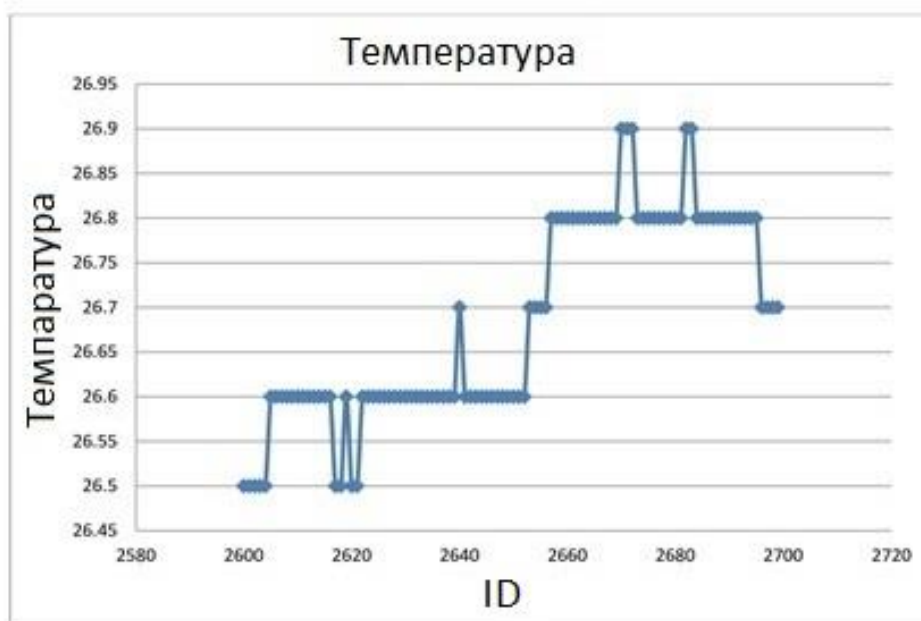


Рисунок 5 – Данные мониторинга температуры



Рисунок 6 – Данные мониторинга влажности

Данная система масштабируема и в дальнейшем можно добавить датчики освещенности, давления, движения и т.д.

Выводы.

1. Технология дополненной реальности расширяет возможности взаимодействия с виртуальным миром и его данными. В настоящее время технология ДР в большинстве случаев используются в сфере развлечений: видеоигры, музейные экспонаты и т.д. Однако сети связи ИМТ-2020 нацелены на реализацию концепции Интернета вещей и его

новых услуг, а использование технологии ДР в целях мониторинга и управления устройствами ИВ выведет предоставление таких услуг на совершенно другой уровень.

2. В данном исследовании представлена система, которая может стать основой для сохранения культурного наследия, а также привлечения посетителей в музей и усиления их восприятия от картины. Система основана на использовании передовых технологий, таких как Интернет Вещей и дополненная реальность и соответствует концепции развития умных городов. Музеи снабжаются распределенными IoT датчиками, шлюз IoT развернут для каждого музея и культурного объекта. Шлюз связан с облачной платформой, которая предоставляет возможности хранения и обработки различных данных.

Список литературы.

1. De Oliveira, L.C. Indoor navigation with mobile augmented reality and beacon technology for wheelchair users / L.C. De Oliveira, A. de Oliveira Andrade, E. Chagas de Oliveira, A. Soares, A. Cardoso, E. Lamounier // Biomedical & Health Informatics (BHI). – 2017. – Proceedings IEEE EMBS International Conference.
2. Rashid, Z. Using Augmented Reality and Internet of Things to improve accessibility of people with motor disabilities in the context of Smart Cities / Z. Rashid, J. Melià-Seguí, R. Pous, E. Peig // Future Generation Computer Systems. – 2017. – V. 76. – P. 248-261.
3. Lee, I.-J. Augmented reality technology combined with threedimensional holography to train the mental rotation ability of older adults / I.-J. Lee, C.-H. Chen, K.-P. Chang // Computers in Human Behavior. - 2016. – V. 65. - P. 488-500.
4. Covaci, A. Assessing real world imagery in virtual environments for people with cognitive disabilities. in Intelligent Environments (IE) / A. Covaci, D. Kramer, J. Carlos Augusto, S. Rus, A. Braun // 2015. – Proceedings of International Conference IEEE.

5. Burke, J.W. Augmented reality games for upper-limb stroke rehabilitation / J. W. Burke, M. McNeill, D. Charles, P. J. Morrow, J. Crosbie, S. McDonough // Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES). – 2010. - Proceedings Second International Conference IEEE.
6. Hrytsyk, V. Augmented reality for people with disabilities / V. Hrytsyk, A. Grondzal, A. Bilenkyj // IEEE Scientific and Technical Conference " Computer Sciences and Information Technologies"(CSIT). – 2015.
7. Mirzaei, M.R. Combining augmented reality and speech technologies to help deaf and hard of hearing people / M.R Mirzaei, S. Ghorshi, M. Mortazavi // in Virtual and Augmented Reality (SVR). - 2012 14th Symposium IEEE.
8. Pioggia, G. Interreality: The use of advanced technologies in the assessment and treatment of psychological stress / G. Pioggia, N. Carbonaro, G. Anania, A. Tognetti, G. Tartarisco, M. Ferro, D. De Rossi, A. Gaggioli, G. Riva // in Intelligent Systems Design and Applications (ISDA). – 2010. - 10th International Conference IEEE.
9. Vinumol, K. Augmented reality based interactive text book: An assistive technology for students with learning disability. in Virtual and Augmented Reality (SVR). / K.P. Vinumol, A. Chowdhury, R. Kambam, V. Muralidharan // 2013 XV Symposium IEEE. – 2013. – V. 1. - P. 232-235.
10. Colpani, R. An innovative augmented reality educational framework with gamification to assist the learning process of children with intellectual disabilities / R. Colpani, M.R.P. Homem // Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA). – 2015. – Proceedings of 6th International Conference IEEE.
11. Vert, S. Augmented Reality Lenses for Smart City Data: The Case of Building Permits / S. Vert, R. Vasiu // Proceedings of World Conference on Information Systems and Technologies. - 2017. – P. 521-527.
12. Argo, T.A., Youth Participation in Urban Environmental Planning through Augmented Reality Learning: The Case of Bandung City, Indonesia / T.A. Argo, S. Prabonno, P. Singgi // Procedia-Social and Behavioral Sciences. - 2016. – V. 227. - P. 808-814.

13. Ferrer, L. Using augmented reality in urban context: Georeferenced system for business localization using Google Glass / L. Ferrer, J. Garcia-Mancilla, V. M. Gonzalez, S. Bermudez, P. Bleier, C. Prieto // Proceedings of Smart Cities Conference (ISC2). – 2015. – P. 1-6.
14. Rattanarungrot, S. A service-oriented mobile augmented reality architecture for personalized museum environments / S. Rattanarungrot, M. White // in Virtual Systems & Multimedia (VSMM), IEEE. – 2014.
15. Haladová, Z.B. Utilizing Multispectral Scanning and Augmented Reality for Enhancement and Visualization of the Wooden Sculpture Restoration Process / Z. B. Haladova, R. Szemző, T. Kovačovský, J. Žižka // Procedia Computer Science. - 2015. – V. 67. – P. 340-347.
16. Gutierrez, J.M., et al., Augmented Reality Technology Spreads Information about Historical Graffiti in Temple of Debod / J. M. Gutierrez, M. A. Molinero, O. Soto-Martín, C. Ruíz Medina // Procedia Computer Science. - 2015. –V. 75. - P. 390-397.
17. Chang, K.-E., et al., Development and behavioral pattern analysis of a mobile guide system with augmented reality for painting appreciation instruction in an art museum / K. Chang, C. Chang, H. Hou, Y. Sung, H. Chao, C. Lee // Computers & Education. - 2014. – V. 71. - P. 185-197.
18. Kolstee, Y. The augmented Van Gogh's: Augmented reality experiences for museum visitors / Y. Kolstee, W. van Eck // Proceedings of Mixed and Augmented Reality-Arts, Media, and Humanities (ISMAR-AMH), IEEE. - 2011. – P. 49-52.
19. Han, B.-O. Museum tour guide robot with augmented reality / B. Han, Y. Kim, K. Cho, H.S. Yang // 16th International Conference, Virtual Systems and Multimedia (VSMM), IEEE. - 2010.
20. Thon, S. Flying a drone in a museum: An augmented-reality cultural serious game in Provence / S. Thon, D. Serena-Allier, C. Salvetat, F. Lacotte // in Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage), IEEE. - 2013.
21. Blanco-Fernández, Y. REENACT: A step forward in immersive learning about Human History by augmented reality, role playing and social networking // Y.

- Blanco-Fernández, M. López Nores, J. J. Pazos-Arias, A. Gil-Solla, M. R. Cabrer, J. García // *Duque Expert Systems with Applications*. - 2014. – V. 41(10). - P. 4811 - 4828.
22. Barry, A. *Augmented reality in a public space: The natural history museum, London* / A. Barry, G. Thomas, P. Debenham, J. Trout // *Computer*. - 2012. – V. 45(7). - P. 42 - 47.
23. A. Perles, E. Pérez-Marín, R. Mercado, J. D. Segrelles, I. Blanquer, M. Zarzo, and F. J. Garcia-Diego, “An energy-efficient internet of things (IoT) architecture for preventive conservation of cultural heritage,” *Future Generation Computer Systems*, Vol. 81, pp. 566-581, Apr. 2018.
24. M. G. Asinelli, M. S. Serra, J. M. Marimòn, and J. S. Espauella, “The smARTS_Museum_V1: an open hardware device for remote monitoring of Cultural Heritage indoor environments,” *HardwareX*, e00028, May 2018.
25. J. E. Shin, H. Park, and W. Woo, “Connecting the Dots: Enhancing the Usability of Indexed Multimedia Data for AR Cultural Heritage Applications through Storytelling,” *In Proceedings of the 15th International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing*, p. 11. ACM, 2017.
26. R.S. Sinha, Y. Wei, and S.H. Hwang, “A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT,” *ICT Express*, Vol. 3(1), pp.14-21, Mar. 2017.
27. H. Y. Wang, G. Z. Liu, and G. J. Hwang, “Integrating socio-cultural contexts and location-based systems for ubiquitous language learning in museums: A state of the art review of 2009–2014,” *British Journal of Educational Technology*, Vol. 48, no. 2, pp.653-671, Mar. 2017.
28. F. Liarokapis, P. Petridis, D. Andrews, and S. de Freitas, “Multimodal Serious Games Technologies for Cultural Heritage,” *In Mixed Reality and Gamification for Cultural Heritage*, pp. 371-392. Springer, Cham, 2017.
29. C. Chen, “Research on the Protection of Cultural Heritage in the Background of Global Climate Change Based on the Artificial Neural Network,” *Revista de la Facultad de Ingeniería*, Vol. 32, no. 11, Nov. 2017.

30. E. Olshannikova, A Ometov, Y Koucheryavy, "Towards big data visualization for augmented reality," Proc. of 16th Conference on Business Informatics (CBI) 2, 33-37.
31. Unity. [Available online: <https://unity3d.com/>] [Accessed May 2018].
32. Vuforia. [Available online: <https://www.vuforia.com/>] [Accessed May 2018].