

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

М. А. Маколкина^{*}, А. Е. Кучерявый

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

^{*}Адрес для переписки: makolkina@list.ru

Аннотация—В настоящее время активно ведутся исследования в области создания сетей связи пятого поколения и сетей связи 2030, в которых ведущая роль отводится приложениям дополненной реальности. **Предмет исследования.** В статье рассматриваются вопросы классификации приложений дополненной реальности в зависимости от целевого назначения и реализации услуги. **Методика и основные результаты.** В статье проведена классификация и структурный сравнительный анализ способов предоставления информации, распознавания объектов, взаимодействия с пользователем. **Практическая значимость.** Она заключается в возможности использования предложенной классификации в задачах комплексного внедрения приложений дополненной реальности на сетях связи и разработки методики оценки качества восприятия услуг дополненной реальности.

Ключевые слова—Дополненная реальность, облачные вычисления, классификация, услуги.

Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 25.02.20, принята к печати 10.04.20.

Ссылка для цитирования: Маколкина М. А., Кучерявый А. Е. Классификация приложений дополненной реальности // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 1. С. 11–21. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-11-21.

AUGMENTED REALITY APPLICATIONS CLASSIFICATION

M. Makolkina^{*}, A. Koucheryavy

The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

^{*}Corresponding author: makolkina@list.ru

Abstract—Currently, research is actively being conducted in the field of creating fifth-generation communication networks and 2030 communication networks, in which augmented reality applications play a leading role. **Research subject.** The article discusses the classification of augmented reality applications depending on the purpose and implementation of the service. **Methodology and core results.** The article provides a classification and structural comparative analysis of the methods of providing information, object recognition, user interaction. **Practical relevance.** It consists in the possibility of using the proposed classification in the tasks of the integrated implementation of augmented reality applications on communication networks and the development of a methodology for assessing the quality of experience of augmented reality services.

Keywords—augmented reality, cloud computing, classification, services.

Article info

Article in Russian.

Received 25.02.20, accepted 10.04.20.

For citation: Makolkina M., Koucheryavy A.: Augmented Reality Applications Classification // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 1. pp. 11-21 (in Russian). DOI DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-11-21.

Введение

Очевидно, что многообразие приложений дополненной реальности [1, 2, 3, 4] и принципиально разные реализации¹ [5, 6, 7], каждая из которых выполняет свой набор функций, приводят к необходимости создания нескольких типов классификации в зависимости от решаемых задач.

Рассмотрим подробнее классификацию дополненной реальности (ДР) по различным критериям таким, как:

1. Тип представления информации.
2. Способ распознавания объекта.
3. Способ взаимодействия с пользователем.
4. Тип мобильности.
5. Целевое назначение услуги.
6. Тип безопасности.
7. Степень воздействия на окружающую среду.

По типу представления информации

Как известно, для восприятия информации об окружающем мире у человека есть 5 органов чувств: глаза (зрение), уши (слух), язык (вкус), нос (обоняние), кожа (осязание). Поскольку дополненная реальность объединяет виртуальный и реальный миры, она должна создавать информацию, которую будет воспринимать один из органов. Существующие системы доставки информации основываются на способности человека видеть и слышать, однако, в последнее время появляется все больше систем, которые опираются на тактильные ощущения. Следовательно, выделим следующие системы ДР по типу представления информации:

¹ Recommendation J.301 Requirements for augmented reality smart television systems. Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, 2014.

1. Визуальные системы.

Большую часть информации человек получает с помощью зрительных органов, поэтому системы, способные визуализировать информацию наиболее распространенные и востребованные. В основе таких систем лежит восприятие органами зрения различных изображений. Приложение дополненной реальности преобразует информацию в формат картинки и воспроизводит пользователю в зависимости от его интересов. Изображение позволяет быстро и точно донести информацию до пользователя, это наглядный и информативный способ взаимодействия.

2. Аудиосистемы.

Однако, не всегда человек может сосредоточиться на просмотре видео. В ситуации, когда его зрительное внимание должно быть сконцентрировано на другом объекте, например, при управлении автомобилем на дороге, используются аудиосистемы. Производители навигационных систем даже тестируют какой голос: мужской или женский, какой темп речи не будет отвлекать водителя. В случае, если необходимо экстренно привлечь внимание пользователя, аудиосистема может воспроизводить специальные сигналы или проигрывать голосовые предупреждения с увеличением громкости. В некоторых системах возможно применение стереоскопического эффекта, который направляет движение человеку в условиях плохой видимости по нужной траектории, и он идет, ориентируясь на источник звука.

3. Аудиовизуальные системы.

Современное поколение в основном черпает информацию из видеоприложений, в Интернете есть обучающие интернет-каналы, видеоуроки т. д. Действительно, если человек одновременно видит что-то на экране и в тоже время слышит пояснения к этому объекту, он лучше понимает описываемые процессы. Поэтому в последнее время аудиовизуальным системам отводится главенствующая роль.

4. Текстовые или графические системы.

В некоторых случаях видео и аудио неудобно добавлять к реальному объекту, эту ухудшит его восприятия. Например, если турист смотрит на Эйфелеву башню, то он предпочтет смотреть на неё вживую, а не на экране смартфона. Аудио же будет сложно расслышать, т. к. вокруг шумно и много людей, а вот представить информацию в виде короткой текстовой справки более уместно. Точно также и в зоопарке, Вы не знаете, что за животное перед Вами, в данный момент Вас интересует только его название и больше ничего.

5. Сенсорные системы.

Хорошо всем знакомый виброзвонок на телефоне есть пример простой сенсорной системы, которая привлекает внимание человека, используя его чувство осязания, и информирует о том, что идет звонок. На сегодняшний день дешевизна и многообразие сенсоров позволяет создавать более сложные системы. Более того выделено отдельное направление, которое получило название Тактильный интернет.

6. Голографические системы.

Трёхмерные голографические изображения уже давно вписались в жизнь общества. Во многих городах, в общественных местах, например, в аэропортах можно видеть голографического помощника, который выступает в роли справочной информационной системы.

По способу распознавания объекта

Принцип работы дополненной реальности заключается в идентификации реальных объектов и добавления к ним информации. Поэтому различные приложения ДР сначала определяют, что за объект находится в поле зрения человека, а уже потом отправляют запрос на сервер, чтобы узнать информацию о нём. Рассмотрим основные способы распознавания объектов дополненной реальности.

1. Геопозиционные.

Поскольку большинство смартфонов имеют встроенные датчики для определения географического положения, такие как гироскоп, акселерометр, компас, GPS-датчики, логично их использовать для идентификации объектов в приложениях ДР. С помощью GPS или ГЛОНАСС можно с высокой точностью определить местонахождение человека, с помощью акселерометра можно определить угол наклона, а с помощью гироскопа угол поворота относительно вертикали и азимута, таким образом можно понять на что смотрит пользователь и передав координаты на сервер получить информацию об этом объекте. Удобство использования таких систем, заключается в том, что датчики уже встроены в смартфоны и не надо что-то придумывать. Недостаток работы таких систем хорошо виден при большой плотности объектов ДР, в угол обзора пользователя может попасть несколько объектов и сложно будет понять данные о какой вещи необходимо отображать.

2. С помощью распознавания образа.

Эти системы являются наиболее сложными, но в тоже время и максимально привлекательными. Идея заключается в том, что можно навести камеру смартфона на любой объект и система распознает, что за объект перед ней и к какому классу объектов он относится, например, это цветок, или автомобиль, или собака. Для этого все существующие вещи должны быть занесены в общую базу. Поскольку вещей очень много, а объем данных, которые надо быстро проанализировать большой, то на сегодняшний день сложно сделать такую систему без значительной задержки на обработку данных. Однако, появляются системы распознавания лиц и других категорий вещей.

3. Маркерные.

Наиболее распространен маркерный способ идентификации объекта системой машинного зрения. Для того, чтобы приложение ДР быстро распознала объект, на нем размещается маркер. В качестве маркеров обычно используются штрих-коды, QR-коды, RFID-метки, которые не требуют анализа большого объема данных. Приложение сразу понимает, что за вещь перед ним и отправляет запрос на сервер. Получив данные, накладывает их на реальный объект в любом формате 2D, 3D.

По способу взаимодействия с пользователем

Основное назначение любых телекоммуникационных услуг является удовлетворить пользователя за счет превосходного качества предоставления услуг. Взаимодействие ДР и пользователя отличается в зависимости от степени вовлеченности пользователя в процесс предоставления услуги. Как правило, пользователь довольствуется пассивной ролью в работе ДР-систем, и только наблюдает за её реакцией на изменение положения в пространстве. Однако, некоторые пользователи предпочитают принимать более активное участие в процессе, например, менять внешний вид виртуальных объектов, настроить формат отображения данных, анимацию и т. д. Таким образом по способу взаимодействия с пользователем можно выделить следующие системы.

1. Автономные.

Автономная система осуществляет минимальное взаимодействие с пользователем. Она реализует свои функции без вовлечения в этот процесс человека. Пользователю только отображается информация об окружающих его объектах. В медицине часто используют такие системы, например, в Gait Aid, разработанной для людей с нарушениями опорно-двигательного аппарата, виртуальные объекты используются, чтобы давать мозгу дополнительную информацию, тем самым улучшая координацию движений человека.

2. Интерактивные.

Система ДР активно взаимодействует с человеком и реагирует на его команды. В качестве устройства ДР может использоваться смартфон, планшет и т. д. Пользователь указывает, что он хочет изменить и система отвечает на его действия. Если речь идет о простых манипуляциях с виртуальным объектом, где достаточно обычных навыков управления смартфоном, то такое приложение реализуется на обычном устройстве пользователя. Если пользователю нужно совершать простые действия с виртуальным объектом, достаточно указывающего устройства. Если необходимо управлять более сложными объектами, тогда разрабатываются специальные манипуляторы, с широким набором функций. Например, известны устройства PHANTOM, позволяющие осуществлять манипуляции с объектами в трехмерном пространстве и управлять сложной техникой.

По типу мобильности

В зависимости от предназначения приложения ДР будет сильно отличаться и его реализация. Среди систем дополненной реальности по типу мобильности можно выделить стационарные и мобильные системы.

1. Стационарные.

Стационарные системы не перемещаются, они работают только на том рабочем месте, на котором установлены. К таким системам можно отнести различные тренажеры для обучения определенным навыкам, пилотирования, например, или системы управления сложной роботизированной техникой. Т. е. их функционирование имеет смысл в ограниченном пространстве, а при их перемещении работа приостанавливается.

2. Мобильные.

Для обычного пользователя большие преимущества дают мобильные системы ДР, которые позволяют свободно передвигаться, имея при себе устройство ДР и с помощью него получать доступ к услугам ДР в любое время, в любом месте.

Принадлежность к тому или иному типу определяется целевым назначением системы. Например, симулятор хирургического стола не должен быть мобильным, маловероятно, что, идя по улице, пользователь захочет потренироваться в хирургии. Задача данного приложения обучить человека определенным навыкам и максимально близко воспроизвести условия по сравнению с реальными. В то время как навигационная система, которая при перемещении пользователя информирует его об окружающих объектах, должна передвигаться вместе с транспортным средством или человеком, при этом не тратя существенных ресурсов на своё перемещение.

По целевому назначению услуги

Области применения дополненной реальности действительно впечатляют. В зависимости от целевого назначения услуги очень сильно зависит способ её реализации, тип передаваемых данных, устройство ДР, объем передаваемых данных, требования к сети передачи, требования к производительности сервера, способ идентификации объектов и многое другое. Таким образом, классификация по целевому назначению является наиболее полной, т. к. влияет на выбор большого числа элементов при разработке и организации услуги.

В современных приложениях дополненной реальности можно выделить по меньшей мере восемь классов: медицина; сборка, техническое обслуживание и ремонт сложной техники; добавление информации частного и общего характера к существующим объектам; управление роботами, летательными аппаратами и т. д.; торговля; образование; игры и развлечения; военная промышленность.

1. Медицина выделена в отдельный класс, поскольку применение дополненной реальности в данной отрасли очень обширно и имеет определенную специфику. Для проведения хирургических операций удаленно помимо минимальной задержки передачи по сети, необходимо обеспечить передачу большого объема данных, т. к. специалист на другом конце должен досконально видеть каждый элемент и в случае невыполнения этих требований, жизнь пациента окажется в опасности. Системы ДР для медицины представляют из себя как правило технически сложно организованные системы, обрабатывающие большие объемы специфической информации. При развертывании медицинских сетей важно учитывать объем передаваемых данных от датчиков ИВ и трафик приложений ДР.

2. К другому классу приложений можно отнести сборку, техническое обслуживание и ремонт сложной техники. В сельском хозяйстве и в промышленном производстве применяются настолько сложные машины, что для увеличения скорости их обслуживания и улучшения качества, необходимо использование вспомогательных систем, таких как дополненная реальность. Даже, если взять в качестве примера, стойку с коммутационным оборудованием, не всегда

инженеру понятно какой коммутатор к какой сети относится, с кем взаимодействует и т. д., а технология ДР позволит быстро разобраться и локализовать проблему. В повседневной жизни люди также часто сталкиваются со сложными механизмами, не каждый способен разобраться как работает кофемашинка или починить газонокосилку, ДР поможет и покажет, как исправить тот или иной прибор.

3. Следующий класс объединяет внушительное количество приложений, относящихся к различным сферам жизнедеятельности человека, и добавляющих информацию к объектам различного характера. Наиболее широко приложения данного класса представлены в рамках концепции «Умного города», в задачи которого входит улучшение качества жизни в разных отраслях. Это и удобная навигация по городу, визуализация данных о туристических объектах, исторических местах, экспонатах в музее, экологической обстановки в городе, обеспечение безопасности движения автомобилей и пешеходов. Например, взаимодействие дополненной реальности с автомобильными сетями VANET, открывает новые возможности по информированию водителей и пассажиров о состоянии дорог, маршрутах автотранспорта, загруженности города, остановках транспорта, назначении зданий и бизнес-центров и все это в удобном для восприятия человека виде. Также различные приложения, позволяющие визуализировать объект в существующем пространстве, относятся к этому классу. В основном это приложения, связанные с дизайном помещений, строительством зданий сооружений.

4. Управление роботами и летательными аппаратами. Устройства ДР, оснащенные гироскопами, акселерометрами, магнитометрами позволяют улавливать малейшее движение человека, что облегчает процесс управления движущейся техникой. Установленная камера, позволяет оператору отслеживать малейшие изменения и реагировать на них. Например, при мониторинге больших сельскохозяйственных угодий, необязательно обходить всю территорию, можно запустить квадрокоптер, с установленной на него камерой и из помещения отследить состояние посаженных овощей. При мониторинге состояния газопровода, отличающихся большой протяженностью, при поступлении информационного сигнала, можно сначала отправить БПЛА на место происшествия, а потом уже бригаду специалистов при необходимости. Возможно, что это было ложное срабатывание датчика на пробежавшее мимо животное.

5. Торговля в целях привлечения покупателей использует самые изощренные ходы. ДР применяется как в рекламной индустрии, так и в процессе продажи. Многие фирмы открыли сервисы виртуальных примерочных, где, не выходя из дома можно примерить обувь и одежду перед покупкой. Компании по производству косметики предлагают покупательницам попробовать цвет помады, теней, стиль макияжа из дома с помощью технологии ДР.

6. Образование можно выделить в отдельный класс, поскольку многообразие решений для обучения в различной форме с применением дополненной реальности действительно внушительно. Есть приложения, которые направлены на развитие какого-то одного навыка или получения знания по конкретному предмету, так есть и масштабные обучающие программы, в состав которых входит и теоретическая и практическая подготовка. Применяется в образовании

и преподавание с помощью голографического присутствия, что улучшает взаимопонимание между преподавателем и студентами. Способности дополненной реальности по визуализации учебников, физических процессов и т. д. позволяют удерживать внимание обучаемых длительное время, что в свою очередь повышает эффективность усвоения материала. Наглядность ДР помогает лучше вникнуть и понять изучаемый предмет. Отдельно стоит отметить применения ДР для создания уникальной среды под названием умный университет, которая объединить в себе большое число разнотипных ресурсов, это и библиотеки, и лаборатории, лекционный материал, информация о достижениях и успеваемости студентов, посещаемость занятий, интерактивные карты, информирование о мероприятиях и начале занятия и т. д. В социологии и экономике уже давно применяют игровую форму в процессе обучения, ДР существенно обогащает имеющийся в этой сфере инструментарий.

7. Игры и развлечения всегда первыми реагируют на появление новых технологий, т. к. это способствует увеличению красочности и зрелищности продукта и получению хорошей прибыли. Применение ДР при трансляции спортивных мероприятий уже стало обыденной вещью. Гораздо интереснее смотреть поединок, когда видно траектории полета мяча или передвижения игрока, ярче выглядит узор игры, больше информации об игроке или правильности движения можно довести до пользователя во время прямой трансляции. В случае крупных спортивных мероприятий, таких как олимпийские игры и чемпионаты, когда наблюдается большое скопление людей, не всегда понимающих куда и зачем идти в незнакомой обстановке, ДР является необходимым способом навигации людей и информировании о нахождении нужного объекта, его расписании работы, количестве свободных мест и т. д. Что касается компьютерных игр, то здесь также наблюдаются большие возможности по расширению потенциала разработчиков и привлечению новых игроков.

8. Отдельным классом стоят приложения дополненной реальности для военной промышленности. Своевременное информирование солдат и штаба об изменениях в случае проведения военной операции позволяет принимать обдуманные и обоснованные решения. Использование симуляторов и устройств ДР на тренировках улучшает их эффективность и позволяет моделировать реальные ситуации. Также интерес представляют технологии, которые могут накладывать карту местности или данные с БПЛА или спутника на поле зрения солдат.

По типу безопасности

Классификация приложений ДР на основе уровня опасности объектов вводится в целях предотвращения нежелательных происшествий, техногенных катастроф, аварийных ситуаций. Повсеместное использование Интернета вещей и ДР требует разработки перечня требования к безопасности объекта. Одно дело, если речь идет о развлечениях, туризме, музеях и рекламе, а другое, если в качестве объекта выступает электростанция или химический завод. Сбой данных датчика, или ошибка в программном коде приложения ДР может привести к необратимым последствиям. Поэтому предлагается классифицировать приложения ДР в зависимости от опасности объекта, для которого они разработаны.

1. Объекты повышенной опасности. К таким объектам относятся атомные станции, больницы, аэропорты, заводы, электростанции и т. д.

2. Безопасные объекты. Под ними понимаются магазины, игровые площадки, торговые центры, кинотеатры, стадионы, музеи и т. д.

По степени воздействия на окружающую среду

Функции, реализуемые устройствами ДР, очень разнообразны и их набор зависит от назначения приложения. Устройства могут осуществлять управляющее воздействие или только отображать данные. Определим 2 типа воздействия приложений ДР на окружающий мир и его объекты.

1. Приложения ДР могут включать в себя различные датчики и устройства, которые собирают информацию из внешнего мира, обрабатывают её и передают для дальнейшего анализа на сервер. К таким устройствам можно отнести камеры ДР, оснащенные, помимо графической визуализации, устройствами для измерения расстояния, позволяющими получать рельефное изображение вместо плоского.

2. Приложения ДР, которые включают в себя актуаторы или другие исполнительные механизмы включают, которые могут не только передавать информацию из цифрового мира в физический мир, но и оказывать воздействие на него. Например, устройства, отображающие информацию для пользователей очков ДР, реагируют на движения пользователя и воспринимают изменение положение как команду перейти в другой режим работы. На сегодняшний день дополненная реальность активно развивается и, предложенная в сводной таблице, классификация несомненно будет расширяться.

Таблица

Классификация приложений дополненной реальности

№ п/п	Критерий классификации	Типы приложений ДР	Пример использования приложения ДР
1	Тип представления информации	Визуальные системы	Создание эскиза Sketchand+
		Аудиосистемы	Навигационные информационные системы
		Аудиовизуальные системы	Экскурсии в очках ДР
		Текстовые или графические системы	Приложение FoodTracer
		Сенсорные системы	Приложения Тактильного интернета
		Голографические системы	Помощник в умном доме GateBox
2	Способ распознавания объекта	Геопозиционные	Игра WallaMe
		С помощью распознавания образа	Системы распознавания лиц
		Маркерные	Приложения для музеев
3	Способ взаимодействия с пользователем	Автономные	Диагностика EyeDecide
		Интерактивные	Игра ConductAR
4	Тип мобильности	Стационарные	Удаленная хирургия VIPAR
		Мобильные	Чертежи SMARTReality

№ п/п	Критерий классификации	Типы приложений ДР	Пример использования приложения ДР
5	Целевое назначение услуги	Медицина	AccuVein
		Сборка, ремонт, обслуживание техники	Инструкции по диагностики поломки
		Аннотация и визуализация	Погода MaxReality
		Управление робототехническими системами	Автомобильная логистика
		Игры и развлечения	PokemonGo
		Торговля	ИКЕА
		Образование	Учебники ДР, игра SMART
		Военная промышленность	Наложение карты местности на поле зрения солдата
6	Тип безопасности	Объекты повышенной опасности	Умная энергетика
		Безопасные объекты	Афиша AMC Theatres
7	Степень воздействия на окружающую среду	Управляющие	Умный дом Zac
		Информативные	Интерактивная карта торгового центра

Заключение

Стремительное развитие, наблюдаемое сегодня в отрасли телекоммуникаций, сравнимо с глобальными открытиями человечества. Формирование новых видов услуг уже оказывают существенное влияние на организацию работы многих предприятий и производств, способы коммуникации в обществе, принципы управления повседневными бытовыми процессами и способствуют созданию нового образа человека. Причиной подобных изменений является появление новых концепций, которые оказали влияние не только на сети связи, но и на жизнь обычных людей, это Интернет Вещей, дополненная реальность, Тактильный Интернет, Интернет навыков, Промышленный Интернет вещей, «умные» города. В статье разработана классификация приложений дополненной реальности по различным критериям, учитывающая целевое назначение услуги, способ распознавания объекта ДР и отображения информации пользователю, тип мобильности и безопасности приложений, способ взаимодействия с пользователем и степень воздействия на окружающую среду с учетом появления таких приложений, как Тактильный Интернет и Интернет навыков.

Литература

1. Tom Dieck, M. C., Jung T. A theoretical model of mobile augmented reality acceptance in urban heritage tourism // *Current Issues in Tourism*. 2015. № 2(21). pp. 154–174.
2. Makolkina, M., Kirichek R., Teltevskaia V., Surodeeva E. Research of interaction between applications of augmented reality and control methods of UAVs // *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*. 2017. Vol. 10 372. pp. 186–193.
3. Chi, H.-L., Kang S.-C., Wang X. Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction // *Automation in construction*. 2013. No 33. pp. 116–122.

4. Kaklauskas, A., Zavadskas E. K., Cerkauskas J., Naimaviciene J., Ubarte I., Banaitis A., Krutinis M. Housing health and safety decision support system with augmented reality // The Journal of Innovation Impact. 2016. No 6(1). pp. 143–150.
5. Kirichek R., Paramonov A., Koucheryavy A. Flying Ubiquitous Sensor Networks as a Queuing System // 17th International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT). 2015. pp. 127–132.
6. Кучерявый А. Е., Парамонов А. И., Аль-Наггар Я. М. Сети связи с малыми задержками // Электросвязь. 2013. № 12. С. 15–19.
7. Agiwal, M., Roy, A. and Saxena, N Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18 (3), pp. 1617–1655, 2016.

References

1. Tom Dieck, M. C., Jung T. A theoretical model of mobile augmented reality acceptance in urban heritage tourism // Current Issues in Tourism. 2015. № 2(21). pp. 154–174.
2. Makolkina, M., Kirichek R., Teltevskaia V., Surodeeva E. Research of interaction between applications of augmented reality and control methods of UAVs // Lecture Notes in Computer Science (LNCS). 2017. Vol. 10 372. pp. 186–193.
3. Chi, H.-L., Kang S.-C., Wang X. Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction // Automation in construction. 2013. No 33. pp. 116–122.
4. Kaklauskas, A., Zavadskas E. K., Cerkauskas J., Naimaviciene J., Ubarte I., Banaitis A., Krutinis M. Housing health and safety decision support system with augmented reality // The Journal of Innovation Impact. 2016. No 6(1). pp. 143–150.
5. Kirichek R., Paramonov A., Koucheryavy A. Flying Ubiquitous Sensor Networks as a Queuing System // 17th International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT). 2015. pp. 127–132.
6. Koucheryavy A. E., Paramonov A. I., Al-Naggar Y. Low delays networks // Electrosvyaz'. 2013. No 12. pp. 15–19.
7. Agiwal, M., Roy, A. and Saxena, N Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18 (3), pp. 1617–1655, 2016.

Маколкина Мария Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, makolkina@list.ru

Makolkina Maria – Candidate of Engineering Sciences, assistant professor, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, makolkina@list.ru

Кучерявый Андрей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, akouch@mail.ru

Koucheryavy Andrey – Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Head of the Department, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, akouch@mail.ru