При проведении данного исследования использован предыдущий опыт авторов [5-8], а так же другие публикации [9,10].

1. Маттей Д.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Том 1. – М.: Связь, 1971. – 440 с.
2. Лярский В.Ф., Мурадян О.Б. Электрические соединители. Справочник. –М.: Радио и связь, 1988. – 327 с.
3. Бахвалова С.А., Романюк В.А. Основы моделирования и проектирования радиотехнических устройств в Microwave Office. Учебное пособие –М.: Солон-Пресс, 2016. – 152с.
4. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office. – М.: Солон-Пресс, 2003. – 496 с.
5. Доновская Т.В., Ковалева А.В., Матузко С.Д. Фильтр нижних частот для квадратного демодулятора. 18 МНПК «Современные тенденции в науке и образовании». –М.: Изд-во «Олимп», 2017, с.73-76.
6. Гончарова Т.О., Зикий А.Н., Андрианов А.В. Моделирование и экспериментальное исследование микрополоскового ФНЧ. Сборник материалов 9 международной научно-практической конференции «Научные исследования и разработки 2016». Москва, научный центр «ОЛИМП, 29 февраля 2016, с.73-76.
7. Андрианов А.В., Быков С.А., Зикий А.Н., Пустовалов А.И. Моделирование и экспериментальное исследование трактового фильтра сантиметрового диапазона. Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4042.
8. Андрианов А.В., Зикий А.Н., Пустовалов А.И. Моделирование и экспериментальное исследование трактового фильтра на встречных стержнях. Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3778.
9. Zverev A.I. Handbook of Filter Synthesis. N.Y., London, Sydney. John Wiley and Sons, Inc.1967.-576p.
10. Levy R., Rozzi T.E. Precise design of coaxial low-pass filters. IEEE Trans., 1968, V: MTT-16, №3, pp.142-147.

Герасимова Т. В.

Обзор современных технологий: VR, AR, MBAR, MR.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет СПбГЭТУ
«ЛЭТИ»*

(Россия, Санкт-Петербург)

doi: 10.18411/lj-08-2019-67

idsp: ljjournal-08-2019-67

Аннотация

Использование компьютерной графики привело к развитию виртуальных сред. В этой статье рассматриваются все эти реалии, технологические устройства, используемые в виртуальных средах: виртуальной реальности (VR), дополненной реальности (AR) и смешанной реальности (MR). Представлены применения AR, VR и MR в различных областях, таких как медицина, авиация, промышленность, автомобилестроение, военное дело, сварка, карты, образование, личное использование и их работа в целом, поскольку их использование наряду с другими технологиями увеличивается.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность, мобильная дополненная реальность.

Abstract

The use of computer graphics has led to the development of virtual environments. This article discusses all these realities, technological devices used in virtual environments: virtual reality (VR), augmented reality (AR) and mixed reality (MR). The applications of AR, VR and MR in various fields are presented, such as medicine, aviation, industry, automobile

manufacturing, military affairs, welding, maps, education, personal use and their work in general, since their use along with other technology is increasing.

Keywords: VR, AR, MR, MBAR.

Термин «компьютерная графика» относится ко всему, что связано с созданием или манипулированием изображениями на компьютере, включая анимированные изображения [1]. Компьютерную графику можно использовать для анимации, дизайна, визуализации, спецэффектов, компьютерных игр, взаимодействия и ее применение увеличивается день ото дня. Были разработаны новые методы для преобразования компьютерной графики в интерактивную компьютерную графику. Это привело к разработке новых технологий, таких как виртуальная, дополненная и смешанная реальность. Использование этих технологий позволяют провести пользователя в новую реальность, чтобы стать частью мира и испытать вещи, которые кажутся практически невозможными в реальной жизни и в совершенно другой среде или измерении. Более того, они создают мир, свободный от ограничений, которыми можно манипулировать в соответствии с потребностями пользователя. Возникли концепции другого мира, виртуального мира.

1. Концепции и особенности виртуальной реальности

Термин виртуальная реальность обычно используется популярными СМИ для описания воображаемых миров, которые существуют только в компьютерах и нашем сознании. Реальность определяется как нечто такое, что образует реальную или действительную вещь в отличие от чего-то, что просто очевидно, независимо от идей, их представляющих. Концепцию VR можно проследить в середине 1960-х годов, когда Иван Сазерленд попытался описать VR как окно, через которое пользователь воспринимает виртуальный мир так, как будто он выглядит, ощущается, звучит реальным и в котором пользователь может действовать реалистично [2]. С того времени и в соответствии с областью применения было сформулировано несколько определений: например, Fuchs и Bishop в 1992 определили VR как «интерактивную графику в реальном времени с 3D-моделями в сочетании с технологией отображения, которая дает пользователю возможность погружения в модельном мире и прямых манипуляциях» [3]. Gigante (1993) описал VR как «иллюзию участия в синтетической среде, а не внешнего наблюдения такой среды. VR опирается на 3D, стереоскопические дисплеи Head-Tracker, отслеживание рук/тела и стереозвук. VR – это захватывающий мультисенсорный опыт» [4], а Cruz-Neira (1993) определял VR как «Виртуальная реальность относится к иммерсивным, интерактивным, мультисенсорным, ориентированным на зрителя, трехмерным компьютерным средам и сочетанию технологий, необходимых для создания сред» [5]. Недавно определили полный термин виртуальной реальности как искусственную среду, которая воспринимается через сенсорные стимулы (как зрительные образы и звуки), предоставляемые компьютером, и в которой действия человека частично определяют то, что происходит в окружающей среде [6]. Все определения, хотя и различаются, выделяют три общие особенности систем VR: погружение, восприятие, присутствующее в окружающей среде, и взаимодействие с этой средой. В частности, погружение касается количества стимулируемых чувств, взаимодействий и сходства реальности стимулов, используемых для имитации среды. Эта функция может зависеть от свойств технологической системы, используемой для изоляции пользователя от реальности [7]. Уровень реализма соответствует степени ожидания от пользователя стимулов и опыта. Если представленные стимулы похожи на реальность, ожидания пользователя VR будут соответствовать ожиданиям реальности, улучшая восприятие VR. Таким же образом, чем выше степень реальности во взаимодействии с виртуальными стимулами, тем выше будет уровень реалистичности поведения пользователя.

Технологии виртуальной реальности

Технологически устройства, используемые в виртуальных средах, играют важную роль в создании успешного виртуального опыта. Для анализа можно выделить устройства ввода и вывода [8]. Устройства ввода позволяют пользователю взаимодействовать с виртуальной средой, которая может варьироваться от простого джойстика или клавиатуры до перчатки, позволяющей фиксировать движения пальцев, или трекера, способного захватывать позы. Клавиатура, мышь, трекбол и джойстик представляют собой простые в использовании устройства ввода на рабочем столе, которые позволяют пользователю запускать непрерывные и дискретные команды или перемещения в окружающую среду.

Другие устройства ввода могут быть представлены устройствами слежения в виде перчаток, воспринимающих изгиб, которые фиксируют движения рук, позы и жесты, или перчаток, которые обнаруживают движения пальцев, и трекеров, способных отслеживать движения пользователя в физическом мире и переводить их в виртуальную среду. Напротив, устройства вывода позволяют пользователю видеть, слышать, обонять или касаться всего, что происходит в виртуальной среде.

Технологии отображения для виртуальной реальности

Что касается выбора VR-устройств отображения, главное значение состоит в том, чтобы выбрать устройство, которое является удобным для пользователя, то есть удобным в носке, гибким в операциях. Глубина просмотра и визуальные впечатления должны обеспечивать хорошее динамическое восприятие виртуального окружения для пользователя. Рассмотрим основные принципы хорошего пользовательского опыта. Эти принципы могут использоваться для оценки любого VR-дисплея и помогают задавать правильные вопросы при выборе оптимальной технологии. Принципы успешной технологии VR-отображения:

- *Стереоскопические изображения:* бинокулярный HMD (наголовный дисплей – Head-mounted display) может отображать немного разные углы обзора для каждого глаза, создавая бинокулярное перекрытие, которое дает зрителю иллюзию стереоскопической глубины для более или менее реалистичного трехмерного просмотра, создавая иллюзию, что некоторые объекты находятся рядом, а другие – далеко. Важно, чтобы бинокулярное перекрытие было правильным, поскольку если это не так, то пользователь получит нефокусированное изображение.

- *Межзрачковое расстояние (IPD):* расстояние между двумя глазами, измеренное у зрачков. Важно, чтобы дисплей на головке имел регулируемый IPD, потому что от него зависит эффективность стереоскопических изображений, и каждый конечный пользователь имеет немного другую настройку IPD, при которой они будут испытывать четкое сфокусированное изображение.

- *Поле зрения (FOV):* естественное поле зрения человека составляет около 180°, но пока HMD не способны это создать. Текущие HMD предлагают поле зрения от 60° до 150°. Увеличенное поле зрения приводит к более реалистичному восприятию пользователя, с большим ощущением погружения, позволяя пользователю установить большую ситуационную осведомленность и более эффективное взаимодействие.

- *Разрешение HMD:* для эффективного зрительного восприятия требуется разрешение 1920x1080 (960x1080 на глаз). HMD, такие как, например, Gear VR, предлагают разрешение 2560x1440 (1280x1440 на глаз). Спецификации HMD обычно описываются общим количеством пикселей или числом пикселей на градус, также называемым «плотностью пикселей», которая указывается в пикселях на градус или в угловых минутах на пиксель. Человеческий глаз при фовеа (часть сетчатки, где острота зрения является самой высокой) при нормальном зрении не может воспринимать более 60 пикселей (также называемый 1 arcmin/pixel). Это ограничение называется «разрешением глаз». HMD обычно предлагают от 10 до 20 пикселей, хотя прогресс в микро-дисплеях помогает увеличить это число. По мере совершенствования

технологии экранов, она будет приближаться к ограничению глаз в HMD и достигать фотореалистичных ощущений.

■ **Встроенная обработка и операционная система.** Беспроводные HMD, также известные как «умные очки», имеют встроенные операционные системы, такие как Android, что позволяет приложениям запускаться локально на HMD и устраняет необходимость привязки к внешнему устройству. Задача состоит в том, чтобы сделать конструкцию HMD как можно более легкой, и уже доступны ранние решения HMD plus «backpacks», которые содержат систему обработки и аккумулятор.

Приложения Виртуальной Реальности

С момента своего появления VR использовалась в различных областях: для игр, военной подготовки, архитектурном проектировании, образовании и обучении социальным навыкам, моделировании хирургических процедур [9-16]. Недавний и обширный обзор Slater и Sanchez-Vives сообщил об основных доказательствах применения VR, включая недостатки и преимущества, показали, как достижения VR могут быть использованы в других областях, таких как путешествия, сотрудничество, промышленность, новости и развлечения [17].

2. Дополненная реальность (AR)

Термин дополненная реальность (AR) используется для описания комбинации технологий, которые позволяют в режиме реального времени смешивать компьютерный контент с живым видеодисплеем. AR основан на методах, разработанных в VR и взаимодействует не только с виртуальным миром, но и с реальным миром [18]. Последнее десятилетие было особенно богатым на достижения в этой растущей области исследований, которые открыли перспективы для нескольких возможностей использования AR в различных областях применения.

Тим Кук, генеральный директор компании Apple, неоднократно заявлял, что AR на данный момент является самой перспективной технологией. По его словам, AR – настолько грандиозная идея, как и создание смартфона. Компания Apple работает над очками дополненной реальности [19]. Многие из основных концепций AR использовались в кино и научной фантастике, по крайней мере, еще в таких фильмах, как «Терминатор» (1984) и «Робокоп» (1987). Эти фильмы показывают персонажей-киборгов, чьи представления о физическом мире дополняются постоянным потоком аннотаций и графических наложений в их системах зрения. Дополненная реальность улучшает восприятие и взаимодействие пользователя с реальным миром. Виртуальные объекты отображают информацию, которую пользователь не может непосредственно обнаружить своими собственными органами чувств. Информация, передаваемая виртуальными объектами, помогает пользователю выполнять реальные задачи. AR является конкретным примером того, что Фред Брукс назвал усилением интеллекта (IA): использование компьютера в качестве инструмента для облегчения выполнения задачи человеком [20]. Систем дополненной реальности имеют следующие характеристики: сочетание реального мира и виртуальных объектов в реальной среде, синхронизация реальных и виртуальных объектов друг с другом, высокая интерактивность и работа в 3D в режиме реального времени [21].

Технологии отображения для дополненной реальности

AR обеспечивается новыми техническими функциями, такими как компьютерное зрение, распознавание объектов, миниатюрные акселерометры, система глобального позиционирования (GPS) и твердотельный компас. Технологии отображения AR, которые необходимы для создания AR кратко описаны ниже:

- **AR на основе маркеров:** AR на основе маркеров опирается на технику распознавания изображений, которая использует камеру и определенные типы визуальных маркеров, таких как QR/2D-код, который дает результат только тогда, когда распознается читателем. Приложения на основе маркеров с использованием камеры могут различать маркер и другие объекты реального мира. Маркеры, как

правило, основаны на простых шаблонах, легко распознаваемых и требующих сравнительно низкой вычислительной мощности для чтения. Ориентация и положение также вычисляются, когда определенное содержимое и/или информация накладывается на местоположение маркера.

- *Безмаркерная AR*: (также известный как AR на основе определения местоположения, или на основе GPS) использует миниатюрные версии GPS-приемников, цифровых компасов и измерителей скорости или акселерометра, который встроен в устройство, чтобы предоставить данные на основе точного местоположения и ориентации устройства. Существенным фактором популяризации технологии решения безмаркерной AR является наличие смартфонов с функциями определения местоположения. Они в основном используются для отображения направлений, поиска близлежащих предприятий или других мобильных приложений, ориентированных на местоположение.

- *Проекционная AR (Projection-based Augmented Reality (PBAR))*: PBAR работает, проецируя искусственный свет на поверхности реального мира. Приложения AR, основанные на проекции, позволяют взаимодействовать с человеком, посылая свет на поверхность реального мира, а затем ощущая человеческое взаимодействие (то есть касание) этого проецируемого света. Обнаружение взаимодействия с пользователем осуществляется путем дифференциации между ожидаемой (или известной) проекцией и измененной проекцией (вызванной взаимодействием с пользователем). Проекция AR может использовать лазерно-плазменную технологию для проецирования 3D интерактивной голограммы в воздухе, и, хотя ранние демонстраторы вышли в 2014 году, потребительские версии приложений все еще находятся на ранних стадиях разработки.

- *AR на основе наложения*: AR на основе наложения частично или полностью заменяет исходный вид объекта дополненным видом этого объекта. Компьютерное зрение и распознавание объектов играют жизненно важную роль, потому что их вид, например, в музее или культурном наследии, должен быть распознан исходный вид, прежде чем его можно будет заменить правильной дополненной версией.

Создание дополненной реальности.

Создание дополненной реальности – это многоэтапный процесс, от разработки 3D-моделей до технологии, которая обеспечивает отслеживание изображений и определение глубины. Каждый шаг – это интуитивно понятный процесс. 3D-художники используют несколько программ, таких как Sketch Up, Cinema 4D, Blender и многие другие, для создания 3D-моделей. Процесс начинается с чернового наброска, после которого проходит серию утверждений, которые помогают уточнить идею и, таким образом, приводят к полному изображению. После того, как изображение принято, начинается моделирование. Следующим шагом является применение обложки модели, которая называется текстурной картой. Карта текстур придает модели реалистичность и может быть стилизована под нужды проекта. После завершения 3D-модели, она проходит процесс рендеринга для получения полного представления AR [22]. Для AR может использоваться определенный диапазон данных (изображения, анимация, видео, 3D-модели), и люди увидят результат как в естественном, так и в синтетическом свете. Кроме того, пользователи осознают, что находятся в реальном мире, который продвигается компьютерным зрением, в отличие от виртуальной реальности. AR может отображаться на различных устройствах: экранах, очках, портативных устройствах, мобильных телефонах, дисплеях для наушников. Она включает в себя такие технологии, как SLAM (simultaneous localization and mapping), depth tracking - отслеживания (данные датчика, рассчитывающие расстояние до объектов), а также набор различных компонентов. Первым шагом в работе дополненной реальности является согласование созданных образов с реальным миром, что достигается двумя

основными методами: регистрация и отслеживание. Приложения дополненной реальности должны иметь возможность последовательно идентифицировать метки местоположения и глубины в поле зрения пользователя для точного размещения виртуального контента. Регистрация требует, чтобы компьютер имел точные знания о структуре физического мира и пространственных отношениях между миром, дисплеем и зрителем. Два разных подхода к регистрации: реперная и на основе изображений.

Реперная регистрация

Реперы – это маркеры, размещенные на сцене реального мира для облегчения выравнивания между сгенерированным компьютером контентом и миром. Эти маркеры используют легко узнаваемый символ или форму, предпочтительно такую, которая может быть вычислена в максимальном количестве в различных условиях и с любого угла или ориентации. Программное обеспечение дополненной реальности выводит не только боковое выравнивание, но также информацию о глубине и расстоянии от проверочных точек.

Регистрация на основе изображений

Регистрация на основе изображений основана на ряде экологических сигналов для выравнивания компьютерного контента с реальным миром. Можно использовать метод на основе ребер, который использует алгоритм компьютерного зрения для обнаружения границ объекта, также используется метод на основе текстуры, который изолирует и однозначно идентифицирует точки на поверхности, а затем коррелирует точки в реальном времени для включения движений при сохранении регистрации.

Датчики слежения

Датчики слежения необходимы для того чтобы позволить потребителю бродить в реальной окружающей среде, сдвигать точку зрения в AR/VR, иметь возможность постоянно обновлять местоположение пользователя в виртуальном мире. По этой причине он рассматривается как один из основных компонентов систем VR/AR. Эти датчики в основном взаимодействуют с системным процессором, передавая ориентацию точки зрения пользователя в систему. Использование датчиков в сочетании с системами VR/AR не только позволяет определить местоположение пользователя, но также помогает определить направление движения пользователя и скорость этого движения в любом направлении. Следующие три концепции относятся к отслеживанию настроек VR:

- 6-DOF: шесть степеней свободы (DOF) для обнаружения движения; свобода движения (вперед/назад, влево/вправо, вверх/вниз, рыскание, наклон и крен) твердого тела в трехмерном пространстве.
- Ориентация: основана на комбинации рыскания, поворота и крена объекта в трехмерном пространстве.
- Координаты: расположение объектов по оси X, Y и Z, известное как ориентация объектов.

Эти три понятия имеют отношение к разработке отслеживания для HMD. Все системы слежения состоят из устройства, которое генерирует сигнал, который может быть обнаружен датчиком. Весь блок VR/AR участвует в обработке этого сгенерированного сигнала, а также в передаче и отправке информации в центральный процессор (CPU) и графический процессор (GPU). Сигналы, генерируемые различными датчиками, могут принимать различные формы, включая электромагнитные сигналы, оптические сигналы, механические сигналы и акустические сигналы. Различные системы слежения используют эти соответствующие типы сигналов. Отслеживание может быть достигнуто с помощью различных технологий, основанных на различных физических принципах. Обычно используются механические, магнитные, акустические и оптические методы слежения.

Дисплей.

Имеется широкий выбор методов отображения, таких как:

- **Оптический дисплей.** В методе отображения используется генератор сцен, трекер головы, монитор, оптические сумматоры для получения окончательного отображения. Генератор сцены генерирует виртуальное изображение и отправляет его на монитор, где оптический объединитель объединяет сгенерированное изображение с изображением из реального мира для получения окончательного изображения.
- **Видео дисплей.** В этой системе отображения используется видеокамера для записи окружения в реальном времени, а затем объединяет его с помощью приложения для слияния видео с изображениями, сгенерированными компьютером, и отправляемыми на монитор и отображаются для пользователя.
- **Ручной дисплей.** Используются такие устройства, как мобильные устройства, PDA (Personal Digital Assistant) и планшетные ПК, чтобы получить окончательный дисплей. Используются различные оборудование, такое как процессор, память, камера и интерактивные компоненты. Изображения с камеры устройства объединяются с созданными изображениями для получения окончательного изображения.
- **Проецируемый дисплей.** Это тип отображения, в котором дополнительный вид проецируется на реальную среду, и его можно просматривать с помощью наголовного дисплея. Этот метод использует различные этапы, такие как регистрация, отслеживание и, наконец, отображение его для пользователя.
- **Дисплей сетчатки.** Это будет будущее дополненной реальности, где окончательная среда визуализируется с использованием линзы, которая состоит из микросхемы, светодиода и антенны для сигналов. Свет получается путем объединения света, проходящего через сетчатку, к нервным клеткам глаз для обеспечения видимости, поэтому компонент дисплея исключается и является менее сложным по своей конструкции.
- **Экран на основе дисплея.**

Приложения дополненной реальности

В последнее время сфера применения AR расширилась, включив инновации в области исследований, науки, медицины, телекоммуникаций и т. д. Чтобы обеспечить быстрое развитие приложения AR, появились наборы для разработки программного обеспечения (SDK). Некоторые системы AR могут использоваться на смартфоне и планшете, поэтому приложения AR не обязательно ограничиваются использованием таких технологий отображения, как HMDs. Тем не менее, многие компании работают над разработкой специализированных AR HMDs. Некоторые из известных AR SDK предлагаются ARToolKit, Blippar, Catchoom CraftAR, Layar, Vuforia и др. AR используется в нескольких областях, таких как архитектура, техническое обслуживание, развлечения, образование, медицина и психологические методы лечения [23-28].

3. Приложения мобильной дополненной реальности (MBAR)

Технология MBAR предназначена для применения и большая часть недавних работ с этой технологией была в создании новых приложений. Эта технология является невероятно универсальна с приложениями от сложной помощи сборки до продвинутого потребительского контента. С ростом мощности компьютеров и уменьшением их размеров новые мобильные, переносимые и распространяющиеся компьютерные приложения быстро становятся выполнимыми, предоставляя людям доступ к онлайн-ресурсам всегда и везде [29]. Эта новая гибкость делает возможным новый класс приложений, которые используют окружающий контекст человека [30]. Системы MBAR интегрируют виртуальную информацию в физическую среду человека, чтобы он или она воспринимали эту информацию как существующую в их окружении. В идеале они работают практически где угодно, добавляя, когда это необходимо, осязаемый слой информации в любую среду. Хотя большинство проблем, с которыми сталкивается мобильная дополненная реальность, не свойственны ее мобильной

природе, есть две основные проблемы, которые должна решать такая мобильная дополненная реальность. Этими проблемами являются отслеживание местоположения пользовательского устройства и принятие решения о том, где должны быть выполнены расчеты для объединения виртуального и реального миров. Обе эти проблемы видели много разных решений в ходе технологического развития AR.

4. Смешанная реальность (MR)

Смешанная (гибридная, Mixed reality, MR) реальность – объединение виртуальной и дополненной реальности, т.е. наложение несуществующих виртуальных объектов на наше окружение. Системы MR предназначены для того, чтобы дать своим пользователям иллюзию того, что цифровые объекты находятся в том же пространстве, что и физические. Для этой иллюзии сосуществования цифровые объекты должны быть точно расположены в реальной среде и выровнены с реальными объектами в реальном времени [31]. Фактически, точное выравнивание или регистрация виртуальных и реальных элементов в режиме реального времени является отличительной характеристикой систем дополненной реальности и представляет собой сложную техническую задачу для ее реализации. Дополненная реальность часто считается ветвью MR. Согласно определению MR – это «подкласс технологий, связанных с виртуальной реальностью, которые включают в себя слияние реального и виртуального миров» [32]. MR включает в себя системы, в которых доминируют виртуальные аспекты, а также системы, в которых доминирует физическая реальность. В этом диапазоне дополненная реальность имеет больше физических элементов, чем виртуальных. Системы MR были предложены для обеспечения навигации. В таком сценарии пользователи могут видеть виртуальные знаки, привязанные к физическому миру. Как и компас, знаки указывают правильное направление независимо от ориентации устройства. Такое применение будет направлять солдат в незнакомой обстановке [33] и предоставлять информацию об известных источниках опасности. Также поможет туристам в городе или посетителям внутри здания [34]. Был предложен ряд развлекательных приложений, в которых пользователям приходится взаимодействовать с виртуальными персонажами или устройствами, появляющимися в их физической среде. В целом, MR-игры могут усилить сотрудничество или конкуренцию между игроками, которые могут находиться рядом или дистанционно. Примеры включают MR-версию видеоигры Quake, в которой пользователи видят монстров из игры, а также виртуальные стены, появляющиеся в физической среде [35]. В игре «Moon Lander» игроки должны высаживать виртуальный космический корабль в реальном месте на открытом воздухе [36]. Примеры MR-игр в помещениях включают MR MonkeyBridge, в которой чтобы направлять путь виртуальных персонажей, игроки должны размещать виртуальные объекты на физическом столе [37].

Заключение

Несмотря на проблемы и трудности, связанные с внедрением этой сложной технологии в общество в форме, удобной для пользователя, недорогой и жизненно полезной, достижения в дополненной реальности происходят каждый день. От инноваций для мобильных телефонов до прорывов в компьютеризированных контактных линзах, темпы инноваций заметно ускорились в последние годы. То, что когда-то было провинцией университетских лабораторий и научной фантастики, быстро становится доступным для повседневного использования. Те, у кого есть воображение и решимость создавать прорывные приложения с дополненной реальностью, получают выгоду и возглавят эту волну инноваций, и в процессе этого, неизмеримо расширят сферу человеческих коммуникаций и возможностей.

1. <http://math.hws.edu/graphicsbook/c1/index.html>
2. E. Sutherland. Sketchpad-A Man-Machine Graphical Communication System. Proceedings of the Spring Joint . 506-508, 1965.

3. Fuchs, H., Bishop, G. (1992). *Research Directions in Virtual Environments*. Chapel Hill, NC: University of North Carolina at Chapel Hill.
4. Gigante, M. A. (1993). Virtual reality: definitions, history and applications. *Virtual Real. Syst.* 3–14. doi: 10.1016/B978-0-12-227748-1.50009-3.
5. Cruz-Neira, C. (1993). Virtual reality overview. In *SIG- GRAPH 93 Course Notes 21st International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, Orange County Convention Center, Orlando, FL.
6. D. Van Krevelen, R. Poelman, A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International Journal of Virtual Reality*, vol. 9, no. 2, p. 1, 2010.
7. Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 364, 3549–3557. doi: 10.1098/rstb.2009.0138
8. Burdea, G. C., Coiffet, P. (2003). *Virtual Reality Technology*, Vol. 1, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
9. Meldrum, D., Glennon, A., Herdman, S., Murray, D., McConn-Walsh, R. (2012). Virtual reality rehabilitation of balance: assessment of the usability of the nintendo Wii fit plus. *Disabil. Rehabil.* 7, 205–210. doi: 10.3109/17483107.2011.616922
10. Alexander, T., Westhoven, M., Conradi, J. (2017). Virtual environments for competency-oriented education and training, (Berlin: Springer International Publishing), 23–29. doi: 10.1007/978-3-319-42070-7_3
11. Song, H., Chen, F., Peng, Q., Zhang, J., Gu, P. (2017). Improvement of user experience using virtual reality in open-architecture product design. *Proc. Inst. Mech. Eng. B J. Eng. Manufact.* 232.
12. Englund, C., Olofsson, A. D., Price, L. (2017). Teaching with technology in higher education: understanding conceptual change and development in practice. *High. Educ. Res. Dev.* 36, 73–87. doi: 10.1080/07294360.2016.1171300
13. Schmidt, M., Beck, D., Glaser, N., Schmidt, C. (2017). A prototype immersive, multiuser 3D virtual learning environment for individuals with autism to learn social and life skills: a virtuosio DBR update. In *International Conference on Immersive Learning*, Cham: Springer, 185–188. doi: 10.1007/978-3-319-60633-0_15
14. Gallagher, A. G., Ritter, E. M., Champion, H., Higgins, G., Fried, M. P., Moses, G., et al. (2005). Virtual reality simulation for the operating room: proficiency-based training as a paradigm shift in surgical skills training. *Ann. Surg.* 241:364. doi: 10.1097/01.sla.0000151982.85062.80
15. Freeman, D., Reeve, S., Robinson, A., Ehlers, A., Clark, D., Spanlang, B., et al. (2017). Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychol. Med.* 47, 2393–2400. doi: 10.1017/S003329171700040X
16. Slater, M., and Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Front. Robot. AI* 3:74. doi: 10.3389/frobt.2016.00074
17. Botella, C., Fernández-Álvarez, J., Guillén, V., García Palacios, A., Baños, R. (2017). Recent progress in virtual reality exposure therapy for phobias: a systematic review. *Curr. Psychiatry Rep.* 19:42. doi: 10.1007/s11920-017-0788-4
18. <https://lenta.ru/articles/2017/07/07/ar/>
19. E. Sutherland, C. A. Mead. *Microelectronics and computer science*. *Scientific American*, vol. 237, pp. 210–228, 1977.
20. F. P. Brooks Jr. The computer scientist as tool smith. *Communications of the ACM*, vol. 39, no. 3, pp. 61–68, 1996.
21. Gibson A, “Hotel Yearbook: Augmented reality and virtual reality: New realities in digital marketing”, (2017).
22. E-book on Augment’s Essential Guide to Augmented Reality. <https://www.amazon.com/Augments-Essential-Guide-Augmented-Reality-ebook/dp/B01LBQZFU>.
23. Lin, C. H., Hsu, P. H. (2017). Integrating procedural modelling process and immersive VR environment for architectural design education, in *MATEC Web of Conferences*, Vol. 104, Les Ulis: EDP Sciences. doi: 10.1051/mateconf/201710403007).
24. Schwald, B., De Laval, B. (2003). An augmented reality system for training and assistance to maintenance in the industrial context. *J. WSCG* 11.
25. Ozbek, C. S., Giesler, B., Dillmann, R. (2004). Jedi training: playful evaluation of head-mounted augmented reality display systems, in *Proceedings of SPIE. The International Society for Optical Engineering*, Vol. 5291.
26. Akçayır, M., Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: a systematic review of the literature. *Educ. Res. Rev.* 20, 1–11.
27. De Buck, S., Maes, F., Ector, J., Bogaert, J., Dymarkowski, S., Heidbuchel, H., et al. (2005). An augmented reality system for patient-specific guidance of cardiac catheter ablation procedures. *IEEE Trans. Med. Imaging* 24, 1512–1524.
28. Chicchi Giglioli, I. A., Pallavicini, F., Pedrolì, E., Serino, S., Riva, G. (2015). Augmented reality: a brand new challenge for the assessment and treatment of psychological disorders. *Comput. Math. Methods Med.* 2015:862942. doi: 10.1155/2015/862942.

29. Shatte, J. Holdsworth, I. Lee, "Mobile augmented reality based context-aware library management system," Expert Systems with Applications, vol. 41, no. 5, pp. 2174–2185, 2014.
30. S. M. Land, H. T. Zimmerman, "Synthesizing perspectives on augmented reality and mobile learning," TechTrends, vol. 58, no. 1, p. 3, 2014.
31. M. de Sa', E. Churchill, "Mobile augmented reality: exploring design and proto-typing techniques," in Proceedings of the 14th international conference on Human-computer interaction. ACM, New York, 2012. ISBN-10: 1450318851.
32. R.T. Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., MacIntyre, B.: Recent advances in augmented reality. IEEE Comput. Graph. Appl. 21(6), 34–47 (2001)].
33. Milgram, P., Kishino, F.: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. IEICE Transactions on Information Systems 77, 1321–1329 (1994),
34. Thomas, B., Close, B., Donoghue, J., Squires, J., Bondi, P., Piekarski, W.: First Person Indoor/Outdoor Augmented Reality Application: ARQuake. In: Personal and Ubiquitous Computing, vol. 6, pp. 75–86. Springer, Heidelberg (2002).
35. Julier, S., Bailiot, Y., Brown, D., Lanzagorta, M.: Information filtering for mobile augmented reality. IEEE Computer Graphics and Applications 22(5), 12–15 (2002).
36. Avery, B., Thomas, B., Velikovsky, J., Piekarski, W.: Outdoor augmented reality gaming on five dollars a day. In: Proceedings of the Sixth Australasian conference on User interface, vol. 40, pp. 79–88. Australian Computer Society, Inc, Darlinghurst (2005).
37. Barakonyi, I., Weilguny, M., Psik, T., Schmalstieg, D.: Monkeybridge: autonomous agents in augmented reality games. In: Lee, N. (ed.) Advances in Computer Entertainment Technology, pp. 172–175. ACM, New York, 2005.

Раднаев Д.Н. Зими́на О.Г. Бадмацыренов Д.-Ц.Б.

Значение априорной информации при планировании эксперимента

*Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова,
(Россия, Улан-Удэ)*

doi: 10.18411/lj-08-2019-68

idsp: ljjournal-08-2019-68

Аннотация

Сбор априорной информации предусматривает изучение известных литературных данных, сбор мнений или опрос специалистов, анализ результатов ранее проведенных работ. Это дает возможность более правильно сформулировать цели предполагаемой работы и оценить ее значение. Планирование эксперимента как новый подход к решению экстремальных задач является эмпирическим; он связан с экспериментом, но в отличие от обычных методов исследований, основанных на «пассивном» эксперименте, в данном случае эксперимент «активен». При этом математические методы применяются не только на стадии обработки результатов эксперимента после его окончания, что уже стало привычным, но и в самом начале работы. Математические методы планирования эксперимента основаны на кибернетическом представлении об объекте исследования, где наиболее подходящей моделью последнего является так называемый «черный ящик». Определенный уровень изученности проблемы позволяет использовать в процессе сбора ранее систематизированную информацию, способствуя применению дедуктивных способов получения результатов. В этом случае особое значение приобретает научная теория, сопровождающая процесс последовательного погружения в логику исследуемого процесса. Разработан принцип обратной связи и вытекающие из нее утверждения иерархического типа после анализа сложного объекта исследования. В результате многоуровневой декомпозиции объекта исследования задача выбора выходных параметров сводится к определению их рациональных системных характеристик на начальном, промежуточном и заключительном уровнях расчленения. Предварительное изучение объекта исследования заключается в сборе априорной информации и проектировании этого объекта. На основании результатов предварительного изучения