

УДК 004.67+519.688

**В.Ю. Кармадонов**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Российская федерация

## **ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ**

**Аннотация.** Рассмотрены текущие проблемы качества изображения виртуальной реальности, основанные на оценке качества изображения и производительности. Рассмотрен основополагающая часть гарнитуры виртуальной реальности - дисплей. Рассмотрены существующие виды, характеристики, достоинства и недостатки.

Были проведены ряд тестирований методов улучшения производительности и, сделаны выводы на основе этих данных.

Полученные данные используются для разработки приложения для виртуальной реальности.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, рендеринг, качество изображения, производительность приложений

**V. Y. Karmadonov**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

## **PROBLEMS OF VIRTUAL REALITY IMAGE QUALITY AND METHODS OF THEIR SOLUTION**

**Abstract.** The current problems of virtual reality quality based on image quality and performance assessment are considered. The fundamental part of the virtual reality headset display is considered. The existing types, characteristics, advantages and disadvantages are considered.

A number of tests of methods for improving performance were conducted and conclusions were drawn based on this data.

The data obtained is used to develop an application for virtual reality. The data obtained is used to development application for virtual reality.

**Keywords:** virtual reality, rendering, image quality, app performance

### **Введение**

Технологии виртуальной реальности последние годы испытывает интерес из различных сфер науки и бизнеса, находя применения во многих теоретических и прикладных задачах. Программно-аппаратная часть совершенствуется с каждым годом, но, есть ряд проблем и задач, которые решить в краткосрочной перспективе сложно, а может даже и в текущий момент времени невозможно.

В рамках данной статьи будут рассмотрены текущие программно-аппаратные проблемы технологии виртуальной реальности, и, методы их решения в рамках использования существующих решений.

### **Разрешение изображения и кадровая частота дисплеев в шлемах виртуальной реальности**

В головных шлемах устройств виртуальной реальности для отображения картинки используются дисплеи, основанные на различных технологиях изготовления.

У каждой технологии есть плюсы и минусы, а также особенности вывода изображения и внутренней реализации. Дороговизна и сложности в производстве учитываться не будут.

Основными характеристиками дисплея являются:

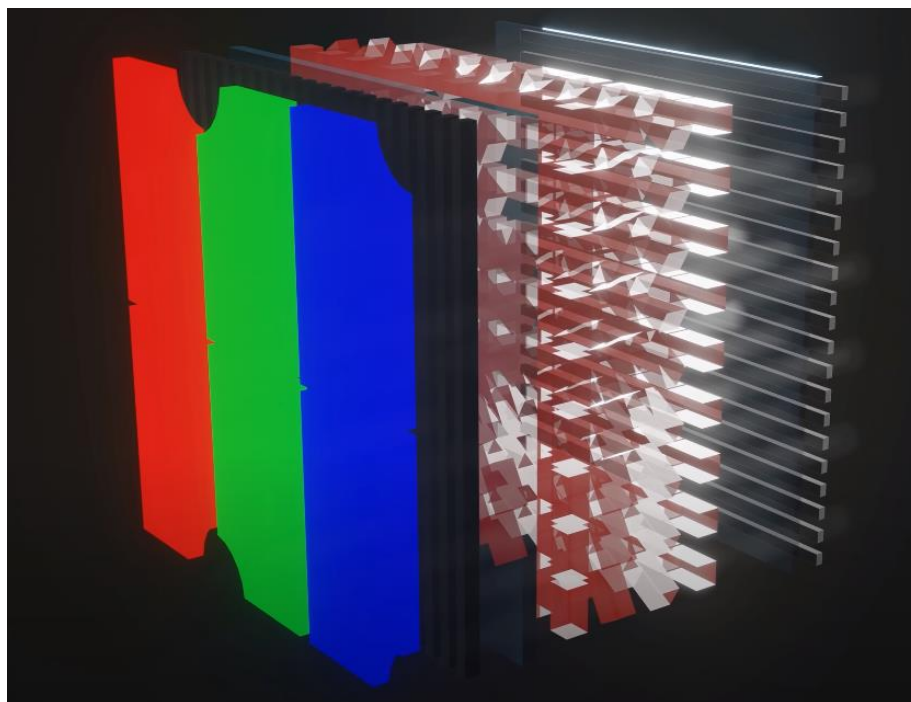
1. Тип матрицы;
2. Разрешение дисплея;
3. Яркость;
4. Контрастность;

5. Динамическая контрастность;
6. Глубина черного цвета;
7. Тип поверхности экрана;
8. Время отклика;
9. Углы обзора;
10. Широтно-Импульсная Модуляция;
11. Цветовой охват;
12. Глубина цвета;
13. Частота обновления экрана.

Основными требованиями к дисплеям являются разрешающая способность на площадь дисплея, для повышения четкости изображения, а также время отклика и частота обновления экрана. Эти параметры напрямую влияют на качество отображения, вследствие чего меняется степень и качество погружения пользователя. В данный момент, существует некое среднее значений для каждой характеристики, однако, примерно каждый год производятся качественные улучшения гарнитур виртуальной реальности с выпуском новых моделей. Но у каждого производителя, есть свои взгляды на соотношение цены/качества конечного устройства. Вследствие этого, как основная и самая дорогая часть, дисплей, будет выбираться производителем на основе этого соотношения.

На данный момент существует 4 основных вида типов матриц:

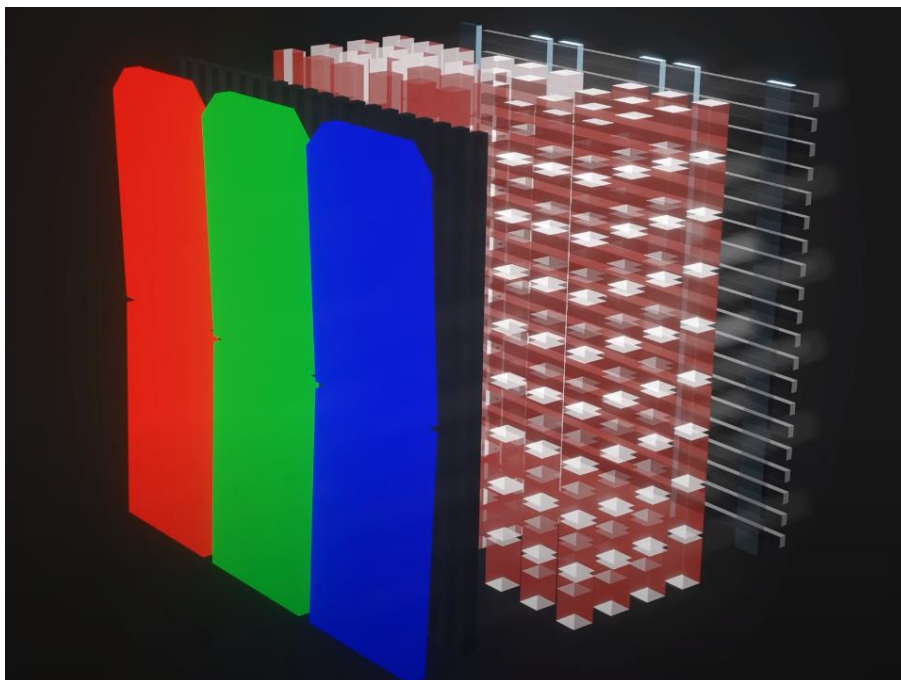
1. TN-подобные матрицы - самый распространенный тип матриц, используется во многих типов устройств. Каждый пиксель состоит из 3 субпикселей своего цвета, который благодаря цветному фильтру может синим, красным и зелёным. За фильтром следуют поляризационные фильтры для блокировок светового потока. Слоем между ними являются жидкие кристаллы. Схема устройства показана на рис.1. TN-матрицы разные по качеству, отличаются горизонтальными углами обзора, но все они имеют один минус – горизонтальные углы обзора. При большой поверхности, качество изображения для пользователя получается неоднородным. Такие матрицы используют в гарнитурах низшего ценового диапазона, и, подходят для создания прототипов гарнитур или устройств начального уровня.



**Рис. 1. Устройство пикселя TN-матриц**

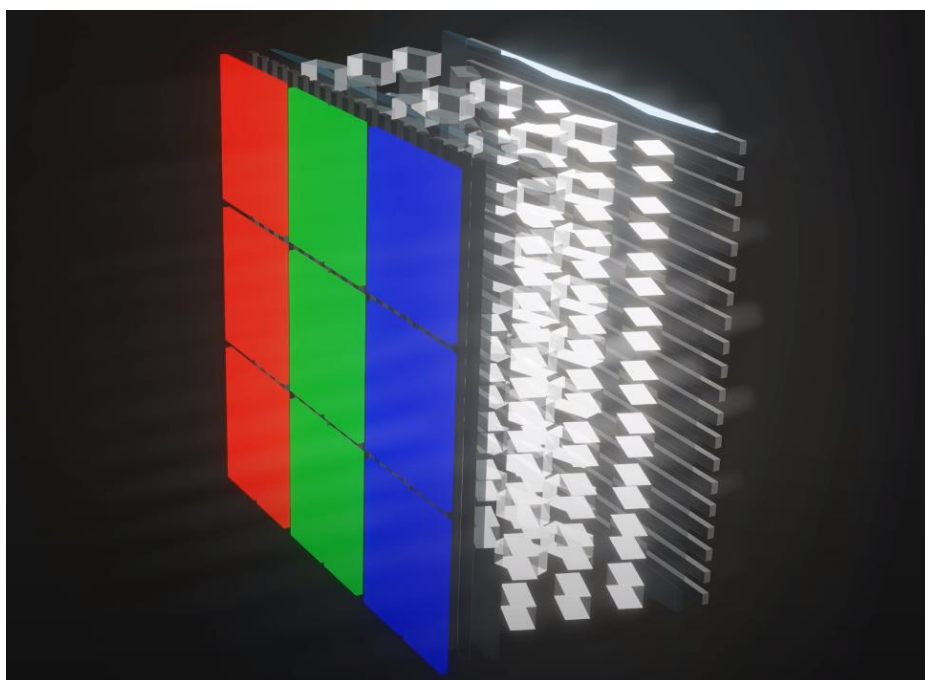
2. IPS-подобные матрицы – очень высокоточные по уровню цветового отображения матрицы, берущие в основу соответствие стандартам цветового пространства,

например sRGB и Adobe RGB. Работа пикселя построена на управлении жидкого кристалла электродами только в одной плоскости, электроды располагаются сзади и позволяют точнее управлять кристаллами (рис.2). Такие матрицы достаточно распространены и имеют большое количество модификаций от каждого из производителей такого типа матриц.



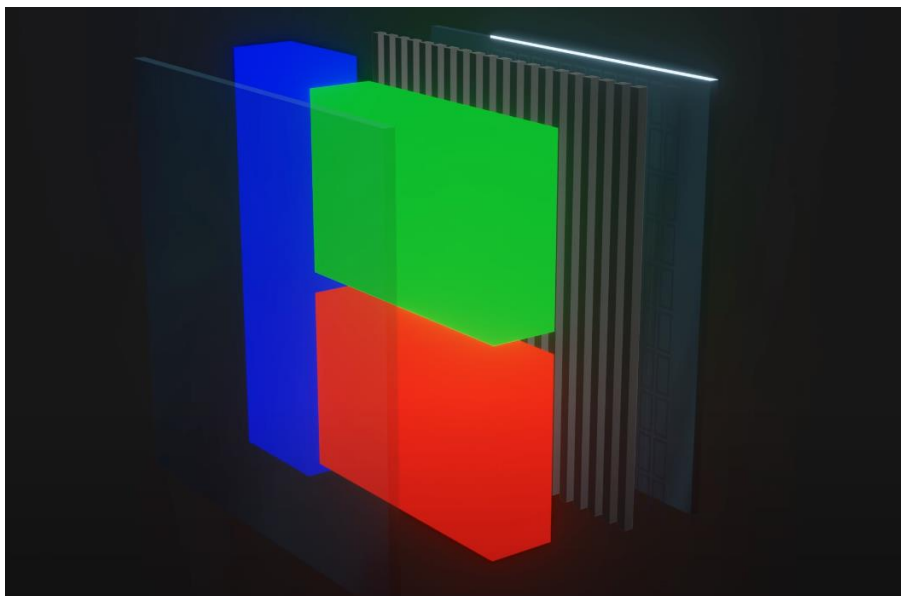
**Рис. 2. Устройство пикселя IPS-матриц**

3. VA-подобные матрицы – тип мультидоменных матриц, где в каждом пикселе 3 субпикселя, которые в свою очередь разделены на несколько ячеек, каждый управляется по своему. Управление построено на манипулировании электродами питания. Такое устройство позволяет точнее управлять цветом. Большим преимуществом является большая однородность по цветовым параметрам готовых дисплеев, вследствие чего появляется гораздо меньше искажений изображения, например более высокий параметр глубины черного цвета.



**Рис. 3. Устройство пикселя VA-матриц**

4. OLED-подобные матрицы - в основе работы такого типа матриц лежит органический светодиод с слоями специальных полимеров многослойной структуры. Когда ток проходит через такой пиксель, субпиксели формируют свечение различной интенсивности (рис.4). Благодаря этому, получается изображение высокой яркости и контрастности и высокой скоростью работы. Большим преимуществом для дисплеев гарнитур виртуальной реальности является компактность и меньшая масса, так как в этом типе матриц не используется модуль подсветки.



**Рис. 4. Устройство пикселя OLED-матриц**

Для головных шлемов большинство производителей используют IPS и OLED типы матриц со следующими характеристиками – разрешение 2880x1440 dpi, частота обновления экрана от 72 до 150 гц, цветовой охват не менее 8 бит. Такой выбор обусловлен компромиссами между качеством выводимого изображения без искажений (кристаллический эффект и др.) и конечной производительностью.

#### **Качество отображения и производительность устройств виртуальной реальности**

После рассмотрения параметров дисплеев шлемов виртуальной реальности, рассмотрим качество графического составляющего и его влияния на производительность, формирующего эффект погружения через визуальную составляющую.

Идеальным вариантом визуальной составляющей является фотореалистичная графика, неотличимая от реального мира. Но, текущей вычислительной мощности персональных компьютеров и мобильных устройств недостаточно, для рендеринга изображения в реальном времени. Поэтому, производители и разработчики прибегают к различным методам увеличения производительности. Следует учитывать, что такая тенденция сформирована целиком для рынка графики, и, зависит как от аппаратных решений (центральных процессоров, видеокарт), так и от программных (драйвера, среды разработки, графические движки, программные движки). Кроме этого, в рамках виртуальной реальности применяются и специально разработанные решения. Рассмотрим текущие используемые решения с различных аспектов.

Для обеспечения большей производительности приложений, используются следующие решения:

1. Динамический фиксированный рендеринг (FFR) - тип рендеринга изображения, отображающий периферию объектов с более низким разрешением, чем в центральной части изображения, что позволяет обеспечить большую производительность за счет уменьшения детализации в менее заметных участках изображения, пример представлен на рис.5. Минусом данного метода являются периодическая неточ-

ность алгоритма, вследствие чего ухудшается изображение в совсем ненужных местах;

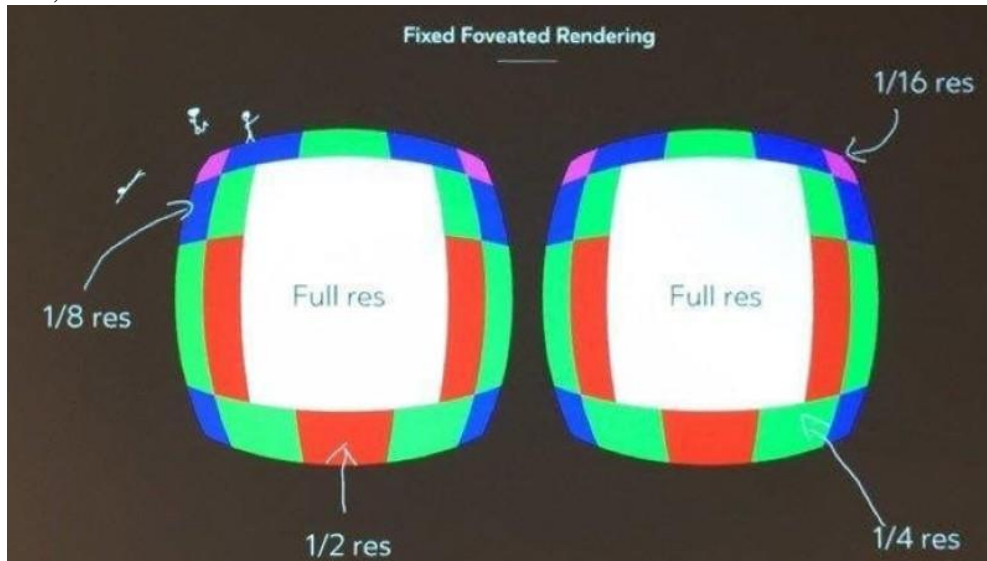


Рис. 5. Распределение видимых зон рендеринга по разрешению

2. Фовеальный рендеринг (DeepFovea) - метод оптимизации рендеринга, основанный на искусственного интеллекта. При его работе только небольшая область в зоне зрения пользователя рендерится в полном разрешении. Вся остальная часть изображения отображается с уменьшенной детализацией, благодаря чему повышается производительность (пример рис.6). Генеративно-состязательная нейронная сеть вначале анализирует примерно 10% всех пикселей конечного единичного кадра. После анализа, генерируется версия проанализированной области с меньшим разрешением периферийной области. Минусом данного метода на данный момент является скорость и точность работы, из-за недостаточной стабильности и обученности нейросети;



Рис. 6. Результат работы по уменьшению детализации нецелевого объекта сцены

3. Ямочный рендеринг с использованием систем отслеживания глаз - рендеринг изображения, основанный на анализе направления взгляда пользователя на дисплей, с уменьшением разрешения изображения вне поле фокуса пользователя (пример рис.7). Использование системы отслеживания глаз является как плюсом, так и недостатком. Плюсом является высокая точность и скорость работы. Недостатком яв-

ляются дороговизна исполнения и увеличение веса шлема виртуальной реальности. В текущий момент ведутся активные улучшения этой технологии многими компаниями.

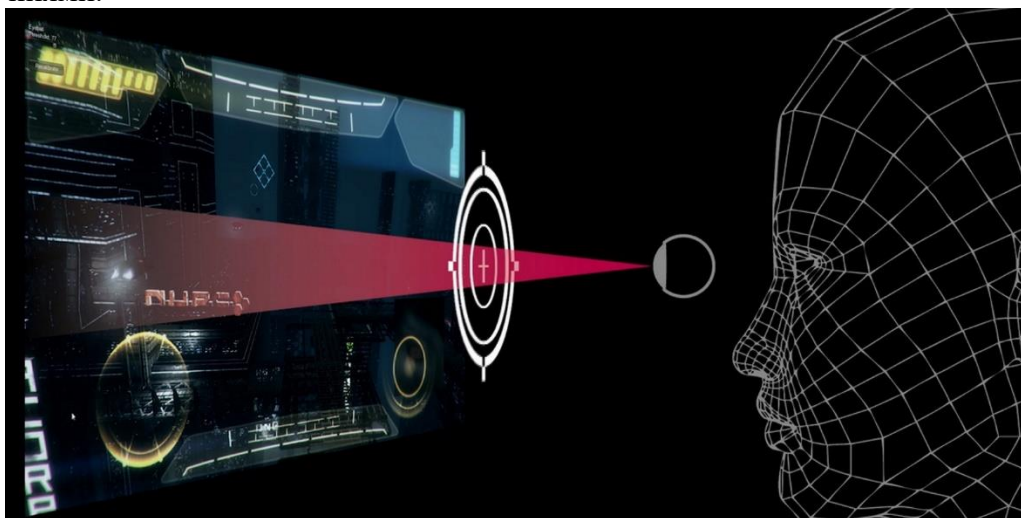


Рис. 7. Отслеживание взгляда для выделения сцены полного рендеринга

Конечная суть работы этих решений очень похожа, но методы их реализации достаточно различны. Одним из большого количества вариантов для улучшения качества отображения и увеличения производительности будет совмещение этих решений.

#### **Средства разработки**

Для осуществления тестов, был разработан функциональный прототип для тестирования различных методов рендеринга. В рамках прототипа, были созданы сцены статичные и динамичные сцены

Использовались как ари-средства инструментов разработки, так и модификация параметров программного обеспечения шлема виртуальной реальности в режиме разработчика.

Разработка прототипа производилась в наборе инструментов для разработки 3D приложений Unreal Engine. Язык программирования C++. Для реализации виртуальной среды использовались 3D модели, разработанные в среде Blender, Cinema 4D, Maya.

В качестве оборудования для тестирования использовались 2 шлема виртуальной реальности Oculus Quest. В одном шлеме виртуальной реальности использовалось дополнительное оборудование для отслеживания взгляда – линзы aGlass.

Так как шлем виртуальной реальности Oculus Quest позволяет запускать приложения без использования персонального компьютера, было сделано две версии приложения. Одно запускалось напрямую из шлема виртуальной реальности, второе приложение запускалось на персональном компьютере с трансляцией в шлем. Выбор такого разделения сделан для дополнительной оценки удобства использования конечным пользователем.

#### **Тестирование**

Используя разработанный функциональный прототип, были проведены измерения в ряде повторяющихся тестов. В рамках этих тестов были рассмотрены как объективные, так и субъективные оценки качества конечного изображения:

1. среднее количества кадров за весь промежуток теста;
2. минимальное количество кадров за весь промежуток теста;
3. средняя задержка между рендерингом и выводом изображения;
4. нагрузка на видеосистему ядра и памяти;
5. нагрузка на центральный процессор;
6. проверка качества записанного видеопотока;
7. проверка качества стоп-кадров в статичных и динамичных сценах;
8. сбор и анализ обратной связи от тестируемых пользователей по критериям личной оценки качества изображения.

Было проведено тестирование в 5 приложениях с 10 повторами, для получения более точного результата.

По результатам тестирования, было выявлено 13% улучшение при использовании 1 метода с выявлением явных ухудшений качества изображения в динамичных сценах. В более статичных,

улучшение производительности доходило до 19% с умеренным качеством. Было отмечено частое ложное срабатывание алгоритма в любых сценариях использования.

При использовании 2 метода, основным заметным недостатком был эффект расслоения изображения, когда в режиме реального времени в динамической сцене был очень заметен переход области изображения с меньшего разрешения в больше и наоборот. По результатам теста улучшение производительности в динамических сценах достигло 11%, в статичных 21%. Качество изображения в обоих сценариях было удовлетворительно.

Тестирование работы 3 метода дало самый лучший результат из всех. Качество изображения было на высоком уровне в любых условиях, а прирост производительности был 15% в динамичных сценах, и 20% в статичных сценах. Не было выявлено визуальных отличий изображения с включенным и выключенным алгоритмом при использовании. При сравнении скриншотов, сделанных во время тестирования, разница была видна.

После вышеперечисленных тестов, были сделаны комбинированные тесты работы вышеперечисленных методов. Суть комбинации методов – использование методов рендеринга в паре или всех сразу, с учетом вывода статической или динамической сцены. Лучшей связкой по показателям производительности оказалась комбинация 1 и 3 методов. Производительность в динамических сценах достигла 20%, в статичных 44%.

Лучшей комбинацией по качеству изображения оказались методы 2 и 3. При этом, уровень производительности в динамических сценах достиг улучшения на 18%, а в статичных до 35%.

Из группы проведенных тестов, с учетом всех значений и субъективных выводов, лучшим вариантов в текущий момент времени для увеличения производительности будет использование вышеперечисленных комбинаций, что обеспечит наилучший компромисс в сценариях использования. Возможно в будущем, когда вычислительная мощность устройств будет выше, можно будет отказаться от данных методов, но в текущий момент времени нужно идти на компромиссы.

Так же следует учитывать, что все эти методы основаны программной реализации. При вынесении алгоритмической части в аппаратную, можно будет освободить часть ресурсов вычислительного устройства, что даст нам прирост производительности. При этом, в данный момент эти методы находятся в стадии разработки и улучшения.

### **Заключение**

Технологии виртуальной реальности в ближайшие годы должны прийти к некому единому минимальному технологичному стандарту, как с точки зрения аппаратной, так и программной части. Уже сейчас появляются единые программные среды, которые стандартизируют приложения для виртуальной реальности, без оглядки на их аппаратную составляющую, которые либо автоматически, либо с небольшими доработками работают в оптимальном режиме на большей части гарнитур виртуальной реальности.

Доработка и использование более качественных и продуктивных технологий производства дисплеев, а также улучшение производительности устройств, должны привести к большому качественному уровню визуализации виртуальной реальности. Как только массовый сегмент будет соответствовать такому уровню, можно будет сказать, что наступил пик популярности виртуальной реальности, и, возможно даже появятся новые сферы применения.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Беляев В.В. Перспективные применения и технологии жидкокристаллических устройств отображения информации и фотоники // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2015. № 3 (15). С. 7–27.

2. DeepFovea: Facebook stellt KI-gestütztes Foveated Rendering vor [Электронный документ]. Режим доступа: <https://mixed.de/deepfovea-ki-foveated-rendering/> (дата обращения 5.04.2020).

3. The Oculus Quest now has a Dynamic Fixed Foveated Rendering (FFR) feature, which developers can use instead of manually setting the FFR level [Электронный документ]. Режим доступа: <https://uploadvr.com/oculus-quest-dynamic-ffr/> (дата обращения 22.04.2020).

4. Микрополигональный рендеринг и стохастическая растеризация Андрей Татаринов (Nvidia, MSU) [Электронный документ]. Режим доступа: <https://docplayer.ru/46537744-Mikropolygonalnyy-rendering-i-stohasticheskaya-rasterizaciya-andrey-tatarinov-nvidia-msu.html> (дата обращения 29.11.2019).

5. Основы метода растеризации [Электронный документ]. Режим доступа: <https://docplayer.ru/68094533-Osnovy-metoda-rasterizacii.html> (дата обращения 1.02.2020).
6. Gaze-sensing leds for head mounted displays [Электронный документ]. Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/2003.08499.pdf> (дата обращения 3.05.2020).
7. Luminance-Contrast-Aware Foveated Rendering [Электронный документ]. Режим доступа: <https://www.pdf.inf.usi.ch/projects/AdaptiveFoveation/AdaptiveFoveation.pdf> (дата обращения 17.03.2020).

## REFERENCES

1. Belyaev V.V. Perspective applications and technologies of liquid crystal devices for displaying information and photonics // Liquid crystals and their practical use, 2015. № 3 (15). p. 7–27.
2. DeepFovea: Facebook stellt KI-gestütztes Foveated Rendering vor [Electronic document]. Access mode: <https://mixed.de/deepfovea-ki-foveated-rendering/> (date of request 5.04.2020).
3. The Oculus Quest now has a Dynamic Fixed Foveated Rendering (FFR) feature, which developers can use instead of manually setting the FFR level [Electronic document]. Access mode: <https://uploadvr.com/oculus-quest-dynamic-ffr/> (date of request 22.04.2020).
4. Micropolygonal rendering and stochastic rasterization Andrey Tatarinov (Nvidia, MSU) [Electronic document]. Access mode: <https://docplayer.ru/46537744-Mikropoligonalnyy-rendering-i-stohasticheskaya-rasterizaciya-andrey-tatarinov-nvidia-msu.html> (date of request 29.11.2019).
5. Rasterization Basics [Electronic document]. Access mode: <https://docplayer.ru/68094533-Osnovy-metoda-rasterizacii.html> (date of request 1.02.2020).
6. Gaze-sensing leds for head mounted displays [Electronic document]. Access mode: <https://arxiv.org/pdf/2003.08499.pdf> (date of request 3.05.2020).
7. Luminance-Contrast-Aware Foveated Rendering [Electronic document]. Access mode: <https://www.pdf.inf.usi.ch/projects/AdaptiveFoveation/AdaptiveFoveation.pdf> (date of request 17.03.2020).

## Информация об авторах

*Кармадонов Виталий Юрьевич* – аспирант кафедры «Информатика и вычислительная техника», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [daberpsyx@gmail.com](mailto:daberpsyx@gmail.com)

## Authors

*Karmadonov Vitaliy Yurievich* – Post-graduate student of the Department of Informatics and computer engineering, Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, e-mail: [daberpsyx@gmail.com](mailto:daberpsyx@gmail.com)

## Для цитирования

Кармадонов В. Ю. Проблемы качества изображения виртуальной реальности и методы их решения [Электронный ресурс] / В.Ю. Кармадонов // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. 2021. №1(11). – Режим доступа: <http://mnv.ircgups.ru/toma/111-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 14.04.2021).

## For citations

Karmadonov V. Y. Problems of virtual reality image quality and methods of their solution. *The electronic scientific journal "Young science of Siberia"*, 2021, no. 1(11). [Accessed 14/04/21] (in Russian).