

*Горячкин Б. С., кандидат технических наук, доцент; Московский
государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Хотин П. Ю., магистрант, Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана*

*Гаврилюк А. Г., магистрант, Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана*

АНАЛИЗ RETINA ДИСПЛЕЕВ МОДЕЛЕЙ IPHONE И СПОСОБЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ЭКРАНАХ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Аннотация: Данная статья посвящена анализу Retina дисплеев моделей iPhone и способам представления объектов на экранах мобильных устройств. В части сравнительного анализа рассматриваются матрицы новейших моделей iPhone и раскрываются основные параметры экранов смартфонов. Предпосылки развития Retina дисплеев аналитически связываются с ключевыми характеристиками матриц мобильных устройств. В результате появляется логическое обоснование появления новых способов построения матриц. Также детально разобраны несколько технологий дисплейного покрытия и преобразования битовой информации в визуализированные объекты на экранах мобильных устройств.

Ключевые слова: Retina, Apple, Pentile, мобильные устройства, субпиксели, OLED, субпиксельный рендеринг, RGBW.

Annotation: This article focuses on the analysis of Retina displays of iPhone models and how objects are presented on the screens of mobile devices. In the part of the comparative analysis, the matrices of the latest iPhone models are considered and the main parameters of smartphone screens are revealed. The preconditions for the

development of Retina displays are analytically linked to the key characteristics of mobile device matrices. As a result, a logical rationale for the emergence of new ways of constructing matrices appears. Also, several technologies of display coverage and conversion of bit information into rendered objects on the screens of mobile devices are analyzed in detail.

Key words: Retina, Apple, Pentile, mobile devices, subpixels, OLED, subpixel rendering, RGBW.

Введение

Компания Apple смогла занять лидерские позиции на рынке смартфонов и персональных компьютеров (ПК). Одним из составляющих компонентов такого успеха безусловно стала технология Retina. Retina - это маркетинговое название дисплеев, произведенных компанией Apple, но на самом деле не только. Вся история началась с презентации Apple Стивом Джобсом, на которой он впервые заявил, что дисплей новой модели iPhone настолько четкий, что никто не сможет разглядеть отдельные пиксели на его экране на расстоянии 25 дюймов от дисплея [2]. Тогда компания только начала свой путь по поискам золотой середины в значении PPI (с англ. pixels per inch - количество пикселей на дюйм) и развитии матриц. Данные исследования являются очень важными, даже основными, в развитии технологии Retina. Основными характеристиками дисплея являются: энергоемкость, угол обзора, контрастность, глубина черного, яркость и другие. Очень важно сохранять верное соотношение между этими параметрами, так как рост показателей одной характеристики влечет за собой спад показателей другой. Процесс улучшения дисплея не состоит только из увеличения разрешения экрана; более того использование механизма увеличения количества пикселей для достижения данной цели - это не самое простое решение, так как данный способ действует обратно пропорционально на энергоемкость дисплея. Чтобы сохранять баланс в соотношении параметров разрешения и энергоемкости дисплея для данного способа потребуется довольно нестандартная работа с программным и аппаратным обеспечением мобильного устройства, а

сравнительный анализ дисплеев новейших моделей Apple может позволить получить необходимые данные о процессе развития технологии Retina.

Сравнение дисплеев смартфонов на примере iPhone 11 и iPhone 11 Pro

iPhone 11 Pro - это серия моделей с улучшенной OLED матрицей, а iPhone 11 - с улучшенной IPS матрицей [5]. Между этими экранами есть много различий, но, известно, что OLED матрица - это следующая ступень в развитии дисплеев. OLED матрица обладает рядом преимуществ:

1. OLED дисплеи состоят именно из светодиодов, которые генерируют свет и могут выключаться полностью, то есть генерировать полностью черный цвет.

2. Яркость OLED выше, чем IPS. А по контрастности разрыв IPS и OLED еще выше: 1400:1 против 2 000 000:1 соответственно.

3. Чтобы показать максимально черный цвет, конкретные точки на OLED-экране выключаются. IPS же все равно подсвечивает весь дисплей, поэтому черный кажется темно-серым. Разницу видно фактически и без специальных приборов человеческим взглядом. Для проверки достаточно открыть приложение «Калькулятор». На iPhone 11 будет видна разница между экраном и рамкой, а на iPhone 11 Pro они сольются, что и означает чистый черный цвет (см. рис. 1).

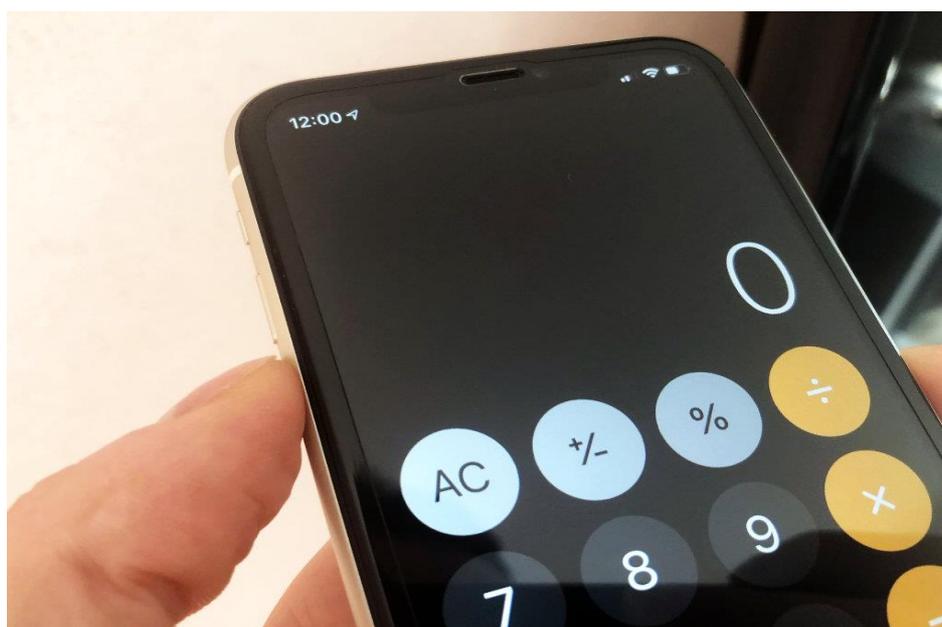


Рис. 1. Темно-серый цвет у бортов iPhone 11Уч

4. Добавление технологии HDR. Apple утверждает, что экран Super Retina XDR можно сравнивать с монитором Pro Display XDR для Mac Pro, который также использует данную технологию.

5. Добавление технологии PenTile. Эта технология будет более подробно рассмотрена ниже.

Подходы к разработке дисплеев с высокой плотностью пикселей

Учитывая множество характеристик дисплеев, а также порой конфликтующие требования к этим характеристикам, создается серьезная нагрузка на производителей дисплеев. Производственные проблемы добавляет и традиционный формат полосы RGB, что приводит к увеличению затрат, мощности и электрического шума.

Опыт показывает, что узкие субпиксели (субпиксели модели Полоса RGB, см. рис.2) имеют уменьшенную светосилу, повышенную паразитную емкость и пониженную контрастность. Принимая во внимание уровень качества, установленный дисплеями с более низкой плотностью пикселей, традиционный способ построения дисплеев должен измениться, чтобы добиться широкого признания потребителей. И стоимость производства должна быть низкой, чтобы соответствовать ожиданиям производителя мобильных телефонов. Чтобы удовлетворить эти потребности, существует несколько альтернатив традиционной полосе RGB, которые разрабатываются для дисплеев с высокой плотностью пикселей, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. В этой статье будут выделены альтернативы полосе RGB и описаны рабочие характеристики. В частности, будет показано, что концепция рендеринга субпикселей в сочетании с добавлением белого субпикселя, является одним из лучших способов удовлетворить потребности клиентов в более высокой производительности и более низкой стоимости.

Существует три основных подхода к созданию дисплеев с высокой плотностью пикселей:

- традиционные дисплеи с полосами RGB (см. рис. 2) или дельта-RGB (см. рис. 3),
- дисплеи с чередованием кадров,
- дисплеи с субпиксельным рендерингом (рис. 4).

Кроме того, можно добавить белые субпиксели для повышения яркости или снижения энергопотребления (рис. 5).

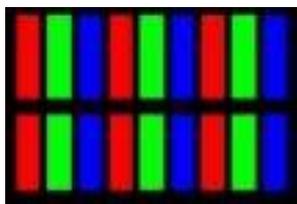


Рис. 2. Полоса RGB

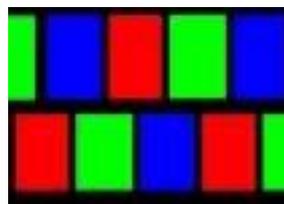


Рис. 3. Дельта RGB

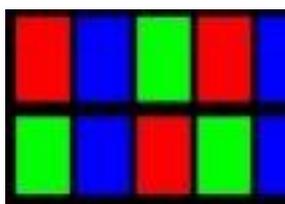


Рис. 4. PenTile RGB

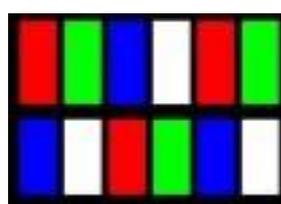


Рис. 5. PenTile RGBW

Самый сложный дизайн - это традиционная полоса RGB. Поддержание высоких показателей светосилы и высокой производительности проблематично при взаимодействии с ЖК-экранами, и тем более - с экранами OLED [1]. Дельта-конструкции имеют большую апертуру, но качество текста хуже. Цветная окантовка также является проблемой для большинства дельта-дизайнов. Конструкции субпиксельного рендеринга имеют более крупные субпиксели и обеспечивают превосходное качество текста и повышают яркость, но требуется дополнительная логика обработки.

Существуют значительные проблемы для достижения цели высокой плотности пикселей без увеличения производственных трудностей или увеличения мощности. Методы субпиксельного рендеринга могут предложить наиболее экономичные и энергоэффективные средства для создания этих дисплеев, особенно в сочетании с макетами пикселей RGBW (см. рис.5).

Субпиксельный рендеринг

Самая ранняя форма субпиксельного рендеринга на цветных субпиксельных жидкокристаллических дисплеях - это простое прореживание, при котором происходит мгновенная выборка плоскостей красного, зеленого и синего цветов. Этот метод

позволил использовать цветные субпиксели для восстановления поля яркости на более высокой частоте восстановления, что уменьшило муар, но ввело хроматическое наложение, цветовую окантовку и полосатость пространственных частот, превышающих предел функции передачи модуляции (ПФПМ) - это самая высокая монохроматическая пространственная частота, которая может быть восстановлена без хроматического наложения спектров. Основным ограничением метода прореживания является то, что для предотвращения хроматического наложения спектров данные должны быть отфильтрованы и содержать изображения с ограниченной полосой пропускания (например, фото и видео), где предел Найквиста (иначе частота, равная половине частоты дискретизации) совпадает с пределом ПФПМ [6]. Это объясняет популярность алгоритмов прореживания в архитектуре Дельта RGB, которые отображают в основном изображения с ограниченным диапазоном.

Чтобы преодолеть проблему хроматического наложения в дисплеях Полоса RGB, IBM ввела простую фильтрацию. Этот алгоритм состоит из простого фильтра смещенного блока (среднего значения соседних пикселей) для каждой плоскости цветовых компонентов сверхдискретизированного изображения, чтобы отфильтровать некоторые пространственные частоты выше ПФПМ. Позднее этот метод был коммерциализирован для улучшения качества текста на архитектуре Полоса RGB. Исследователи же из Sharp подошли к проблеме иначе: сначала они преобразовали избыточно дискретизированное изображение из цветового пространства RGB в другое цветовое пространство, а затем компоненты хроматического наложения были отфильтрованы так, чтобы оставить только те компоненты наложения спектров, которые находятся за пределами видимого человеческим глазом диапазона. Эти улучшенные алгоритмы субпиксельного рендеринга позволяют реконструировать изображения без ограничения полосы пропускания с уменьшенной яркостью, хроматическим наложением и муаром на архитектуре полосы RGB, улучшая внешний вид текста.

В процессе дальнейшего увеличения ПФПМ для субпиксельных архитектур, которые позволяют реконструировать изображения без ограничений по полосе, а также изображений с ограничением по полосе с меньшим количеством субпикселей,

компания Clairvoyante представил новые субпиксельные архитектуры с соответствующими алгоритмами субпиксельного рендеринга [1]. Семейство архитектур, известное как PenTile, эффективно используется и определяется как количество субпикселей, присутствующих на пиксель для достижения, заданного ПФПМ. Диапазон составляет от двух субпикселей до одного с четвертью субпикселей на пиксель по сравнению с тремя субпикселями на пиксель для полосы RGB. Повышенная субпиксельная эффективность макетов PenTile с механизмом рендеринга означает, что при заданном разрешении светосила будет выше, что позволит отображать изображения с более высоким разрешением при более низкой стоимости и меньшей мощности.

Субпиксельный рендеринг с помощью RGBW

Одним из эффективных способов увеличения яркости дисплеев является добавление белого субпикселя. Этот метод уже много лет используется в авиационных дисплеях. Обычный способ добавить белый цвет - увеличить количество субпикселей до четырех субпикселей на пиксель в полосовом формате. При этом остаются вопросы, связанные с насыщенностью цвета и будут ли естественные изображения выглядеть правильными.

Чтобы понять влияние систем RGBW, полезно проанализировать изображения «реального мира». Естественные изображения реального мира обычно состоят из богатых, насыщенных цветов, которые редко бывают очень яркими, а также чрезвычайно ярких ненасыщенных объектов, таких как отражения от гладких предметов [7]. К сожалению, реальный мир - это субтрактивная цветовая система, а электронные дисплеи - аддитивные цветовые системы, и традиционные стандарты дизайна требуют, чтобы дизайнеры дисплеев находили компромисс между яркостью, насыщенностью цвета и энергопотреблением.

Оптимально, электронные дисплеи будут отображать естественные сцены, создавая очень яркие ненасыщенные цвета и более темные, насыщенные цвета; однако яркость ненасыщенных цветов стандартной системы RGB с тремя ключевыми цветами ограничивается добавлением частично насыщенных ключевых цветов. Если насыщенные цвета в естественных изображениях сопоставляются с частично

насыщенными ключевыми цветами RGB, тогда система не может сопоставлять яркие ненасыщенные цвета у изображений. И наоборот, если самые яркие ненасыщенные цвета в естественных изображениях сопоставляются с самыми яркими ненасыщенными цветами RGB, тогда ключевые цвета RGB будут излишне яркими и недостаточно насыщенными. Это означает, что существует компромисс между яркостью ненасыщенных цветов и гаммой цветовой насыщенности дисплея RGB. Чем насыщеннее ключевые цвета, тем ниже ненасыщенная яркость, поскольку белый = красный + зеленый + синий. Это создает сжатие яркости / насыщенности, при котором ненасыщенные цвета уменьшаются по яркости, а насыщенные цвета сжимаются или обесцвечиваются, чтобы соответствовать ограничениям компромиссной системы. Достижение высокой яркости и широкой цветовой гаммы требует более яркой подсветки, чтобы компенсировать низкую прозрачность высоконасыщенных ключевых цветов. Система формирования цвета, которая добавляет ненасыщенный «ключевой», такой как белый, может лучше отображать естественные изображения без тех же компромиссов.

PenTile RGBW добавляет этот дополнительный белый ключевой цвет. Белые субпиксели намного ярче, чем красный, зеленый и синий субпиксели, и пока белый цвет формируется с использованием прозрачного фильтра, который пропускает большую часть света, в то время другие три цвета формируются путем фильтрации всего спектра, кроме узкой полосы. Поскольку такие цветные фильтры не являются идеальными полосовыми фильтрами, коэффициент пропускания составляет менее 100% даже при желаемых длинах волн полосы пропускания, что еще больше затемняет субпиксель. Поскольку белый субпиксель имеет более высокое светопропускание, система RGBW значительно увеличивает яркость панели при отображении ненасыщенных цветов на естественных изображениях, и, в свою очередь, позволяет использовать более насыщенные ключевые цвета на дисплее без значительного уменьшения общего количества цветов.

Таким образом, PenTile RGBW предлагает увеличенную светосилу, яркость насыщенного цвета по сравнению с полосой RGB, особенно при высокой плотности пикселей.

Заключение

Развитие технологии Retina состоит не только в улучшении матриц, но и в поиске золотой середины в подборе PPI; в том числе для дисплеев с высокой плотностью пикселей. Процесс модернизации матриц прекращает быть тривиальным увеличением разрешения экрана. Так, достигая определённого PPI, Apple улучшает дисплей посредством дополнительных технологий: HDR, PenTile вместе с методом субпиксельного рендеринга. Тенденции свидетельствуют о появлении новых альтернатив типов матриц (например, OLED заменил IPS). Также постоянно добавляются новые технологии, улучшающие параметры дисплеев, и затем к ним еще присоединяются новые методы (например, субпиксельный рендеринг). На текущий момент объективно одной из лучших является матрица OLED с технологией PenTile и методом субпиксельного рендеринга. И вполне стоит ожидать патентов на новые аналоги матриц и современные методы представления объектов на этих матрицах.

Библиографический список:

1. High-Pixel-Density PenTile Matrix™ RGBW Displays for Mobile Applications. Thomas L. Credelle, VP Engineering, Clairvoyante, Inc., Cupertino, CA; Candice H. Brown Elliott, CTO, Clairvoyante, Inc., Sebastopol, CA. (2005).
2. [Электронный ресурс]. - <https://observer.com.ua/chto-takoe-retina-displei/> (дата обращения: 10.02.2021)
3. Что такое IPS-монитор? Гид по типам матрица мониторов - [Электронный ресурс]. – <https://www.viewsonic.com> (дата обращения: 11.02.2021).
4. Чем OLED-экран отличается от IPS. iPhone 11 против iPhone 11 Pro - [Электронный ресурс]. – <https://www iPhones.ru/> (дата обращения: 05.02.2021).
5. PenTile RGBW Color Processing, Candice H. Brown Elliott, Michael F. Higgins, Sarah Hwang, SeokJin Han, Anthony Botzas, Bai-Shuh Hsu, Moon Im, Shunichi Nishimura (2012).
6. Development of the PenTile Matrix™ color AMLCD subpixel architecture and rendering algorithms, C. H. Brown Elliott T. L. Credelle S. Han M. H. Im M. F. Higgins P. Higgins (2012).

7. Klompenhouwer, M.A., et al, “Subpixel Image Scaling for Color Matrix Displays,” SID Symposium Digest (2002).
8. Сферы применения и характеристики LED HD экранов [Электронный ресурс]. URL: <https://video-ekran.ru/konstrukcii/sovremennyje/hd-ekrany.html> (дата обращения: 02.04.2020).
9. Yoon, H.J. et al, “Development of the RGBW TFT-LCD with Data Rendering Innovation Matrix, SID Symposium Digest (2005).
10. Горячкин Б.С., Белоногов И.Б., Горячкин Д.Б. Анализ и отличительные особенности цветовых моделей, используемых в современных графических редакторах// Международный научный журнал «Динамика сложных систем – XXI век»: Издательство «Радиотехника» - Москва, 2019 - № 2, С. 34-43.
11. Черемных Г.В. Зависимость восприятия от цветного решения в компьютерной графике. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.bytic.ru/cue99M/24hde2hp.html>. (дата обращения: 20.04.2021).
12. Васильева Ю. Восприятие сайта через его цветовую палитру [Электронный ресурс] М., 2008. - Режим доступа: http://www.i2r.ru/static/469/out_22152.shtml.
13. Интернет-ресурс Основные сведения о цвете. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.colorinfo.ru>. (дата обращения: 21.04.2021).