

Анализ цветового контраста в HUD, системах дополненной реальности

А. М. Березовик¹, А. А. Степанов²,

¹ ООО «Дисплей Гласс», Минск, Беларусь

² Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

Данная статья посвящена методике расчёта цветового контраста для различных яркостей изображения на HUD, системах дополненной реальности, обеспечивающих требуемое качество изображения, учитывающее порог цветового отличия. Методика основана на определении зависимостей цветовых отличий, обусловленных фоном (естественного дневного света, голубого неба, песков пустыни) и цветом изображения от яркости фона и изображения красного, зеленого и синего свечения. Рассчитанные значения яркости изображения для HUD, систем дополненной реальности могут быть использованы при проектировании систем отображения информации дополненной реальности.

Ключевые слова: HUD, Системы дополненной реальности, Восприятие цвета, Цветовой контраст.

Цитирование: **Березовик, А. М.** Анализ цветового контраста в HUD, системах дополненной реальности / А. М. Березовик, А. А. Степанов // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 161–165.

Введение

Во время пилотирования пилоту необходимо одновременно анализировать и учитывать информацию, поступающую из окружающего пространства и многочисленных приборов. По этой причине HUD, системы дополненной реальности широко используются во многих моделях самолётов. HUD, системы дополненной реальности – это системы отображения, которые отображает навигационно-пилотажную и специальную информацию через лобовое стекло, не требуя от пилота отвода взгляда от их обычных положений обзора. Пилоты могут просматривать информацию, глядя вперед, а не под углом вниз, глядя на нижнюю панель приборов. HUD, системы дополненной реальности также имеют преимущество, заключающееся в том, что глазу пилота не нужно перефокусироваться, чтобы видеть окружающее впереди пространство после того, как он посмотрел на оптически более близкие приборы [1].

Однако изображения, проецируемые на HUD, системы дополненной реальности, всегда накладываются на реальный окружающий фон. Если символы, отображаемые на HUD, системы дополненной реальности, имеют тот же цвет, что и фон, пилоты не смогут считать информацию с HUD, систем дополненной реальности. Очевидно, что видимость (считываемость) должна быть улучшена, учитывая фон и его яркость. Видимость изображения на HUD, системах дополненной реальности должна быть гарантирована в различных условиях, чтобы пилоты могли сразу распознавать информацию. Цвет изображения на HUD, системах дополненной реальности будет изменяться в зависимости от

фона и его яркости. В частности, видимость может ухудшиться при изменении яркости: при её увеличении доминировать будут цвета окружающего пространства, выступающее в качестве фона для HUD, систем дополненной реальности, тем самым уменьшая цветовой контраст изображения (небо, прямая солнечная засветка, засветка от освещения ВПП, пески пустыни и т.д.).

Таким образом, анализ влияния фона и его яркости на видимость изображения (цветовой контраст), формируемого на HUD, системах дополненной реальности, а также методы её улучшения представляют актуальную задачу, решению которой посвящена настоящая статья. Мы предлагаем метод анализа видимости изображения, учитывающий порог чувствительности цветового отличия, а также её улучшение за счёт определения необходимой яркости изображения. Усовершенствованные источники света, такие как светодиоды и лазерные диоды, позволяют проецировать изображение большего размера на лобовое стекло самолета, обеспечивая его видимость в истинном цвете даже в условиях внешней засветки.

1. Постановка задачи

Так как формирование изображения происходит на прозрачном экране HUD, систем дополненной реальности (комбинере), то возникает ситуация для оптического смешения цветов, т.е. происходит наложение световых потоков различных цветов, одновременно идущих от фона и жидкокристаллического формирователя изображения (ЖКФИ) (см. рис. 1).

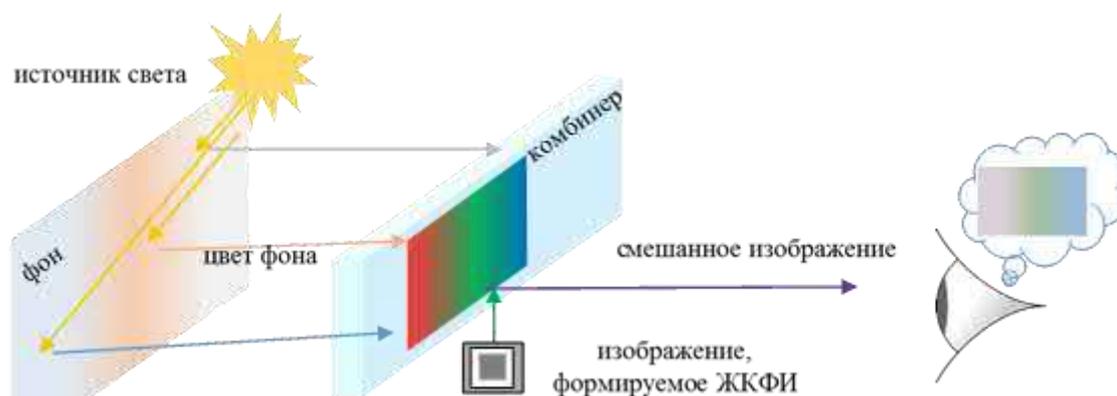


Рис. 1. Иллюстрация причины оптического смешения цветов

Данное обстоятельство требует дополнительно определять возможность считывания информации с HUD, систем дополненной реальности. Помимо расчёта коэффициента контрастности, который количественно определяет видимость изображения, необходимо также учитывать и цветовой контраст, а именно количественно определить цветовые отличия между цветом фона и суммарным цветом изображения и фона (ΔE). Для определения цветовых отличий воспользуемся формулой CIEDE2000 [2], в которую входят координаты цветности фона (L^*_1, a^*_1, b^*_1) и результирующего цвета (L^*_2, a^*_2, b^*_2) в цветовом пространстве $L^*a^*b^*$. Опираясь на законы колориметрии, в частности, на три закона Грассмана [3]:

– цвета ведут себя в смесях независимо от их спектрального состава. Следовательно, можно оперировать не излучениями, а цветами;

– цвета можно складывать. Если смешать два цвета, то результирующий цвет будет характеризоваться суммами пар оптических мощностей смешиваемых цветов;

– цвет представляет собой аффинный трехмерный вектор, и все цвета преобразуются по законам векторной алгебры, а также учитывая, что координаты цветности многокомпонентного света являются линейными комбинациями координат цветности каждого источника со своими весовыми коэффициентами [4], можно рассчитать координаты цветности фона (L^*_1, a^*_1, b^*_1) и результирующего цвета (L^*_2, a^*_2, b^*_2).

Далее, установим зависимости ΔE от яркости изображения красного, зелёного и синего цветов для трёх различных фонов (естественный белый, голубого неба, песков пустыни).

2. Анализ цветового контраста

Для анализа цветового контраста между фоном и результирующим цветом применим формулу расчета для малых цветовых отличий [2]. При этом считается, что малые цветовые различия находятся в диапазоне от 1 до 10 единиц цветового контраста. Различия более 10 единиц говорят о значительном цветовом контрасте. Если число ΔE меньше 2,3 для двух непересекающихся цветов, то обычный человек с трудом воспринимает это различие. В коммерческом производстве обычно считается допустимым число ΔE от 3 до 6.

В качестве естественного белого фона (фон «D65») использовали спектр излучения стандартного осветителя D₆₅. Спектры излучения фона «голубое небо» и «пески пустыни» были смоделированы на основе спектра D₆₅ и цветных фильтров, учитывающих рассеяние в атмосфере [5] и коэффициенты отражения от песчаной поверхности [6]. Спектры излучения светодиодов получены из коммерчески доступных [7]. Все расчёты производились с использованием стандартных методик и формул [3].

Координаты цветности фонов в цветовых пространствах $xY, L^*a^*b^*$ для максимальных значений яркостей представлены в таблице 1. Требуемые яркости изображения для трёх цветов определены исходя из порогового условия коэффициента контрастности.

Таблица 1. Координаты цвета фона, изображения и значения цветового контраста

Цвет фона и излучения	x	y	L*	a*	b*	Яркость макс., кд/м ²	ΔE макс., ед.		
							Red	Green	Blue
Фон «D ₆₅ »	0,313	0,329	90,78	0	0,02	23800	26	22	37
Фон «голубое небо»	0,225	0,240	73,55	-1,54	-41,6	14000	42	23	28
Фон «пески пустыни»	0,336	0,353	82,91	0,49	11,58	19040	28	22	49
Red	0,699	0,301	54,03	104,7	93,15	6800	—	—	—
Green	0,185	0,725	54,03	-107,12	62,19	6800	—	—	—
Blue	0,154	0,029	22,3	127,86	-129,28	6800	—	—	—

Согласно требованиям, предъявляемым к параметрам HUD, системам дополненной реальности, изложенным в «Квалификационные требования КТ-8055» [8], исследуемые системы должны обеспечивать видимость изображения при всех возможных внешних условиях полета, как при солнечной засветке 34000 кд/м^2 , так и при заходе ночью на слабоосвещенную взлётно-посадочную полосу. При этом, коэффициент контрастности изображения должен быть $\geq 1,20$ при яркости внешнего освещения 34000 кд/м^2 . Яркость изображения зелёного цвета примем равной $34000 \cdot 0,2 = 6800 \text{ кд/м}^2$. Считая, что комбинер имеет коэффициент пропускания $0,7$, максимальную яркость фона «D65» примем равной $34000 \cdot 0,7 = 23800 \text{ кд/м}^2$ со значением светлости $L^* = 90,78$. Максимальная яркость фона «голубое небо» с учетом коэффициента пропускания комбинера составит $20000 \cdot 0,7 = 14000 \text{ кд/м}^2$, а для фона «пески пустыни» – $34000 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 19040$.

Построим зависимости цветового отличия ΔE от яркости изображений красного (Red), зелёного (Green) и синего (Blue) цветов на фоне «D65», «голубое небо» и «пески пустыни».

Как можно видеть из Рис. 2, с увеличением яркости изображения, величина, характеризующая цветовое отличие ΔE (цветовой контраст), увеличивается. На фоне, моделирующем дневной белый (фон «D65»), излучение синего цвета наиболее отлично от него. На фоне, который моделирует фон голубого неба (фон «голубое небо»), цветовой контраст для изображения зеленого цвета минимален для яркостей менее 2000 кд/м^2 , с увеличением яркости, цветовой контраст для красного цвета становится больше, чем для синего. Цветовое отличие для яркости изображения 6800 кд/м^2 на фоне «D65», соответствующей условию порогового коэффициента контрастности, составило 22, 26, 37 единиц для зелёного, красного и синего, соответственно, и на фоне «голубое небо» – 23, 42, 28 единицы. Характер зависимости ΔE от яркости изображения для фона, моделирующего пески пустыни, практически совпадает с фоном «D65», поэтому на рисунке не приводится.

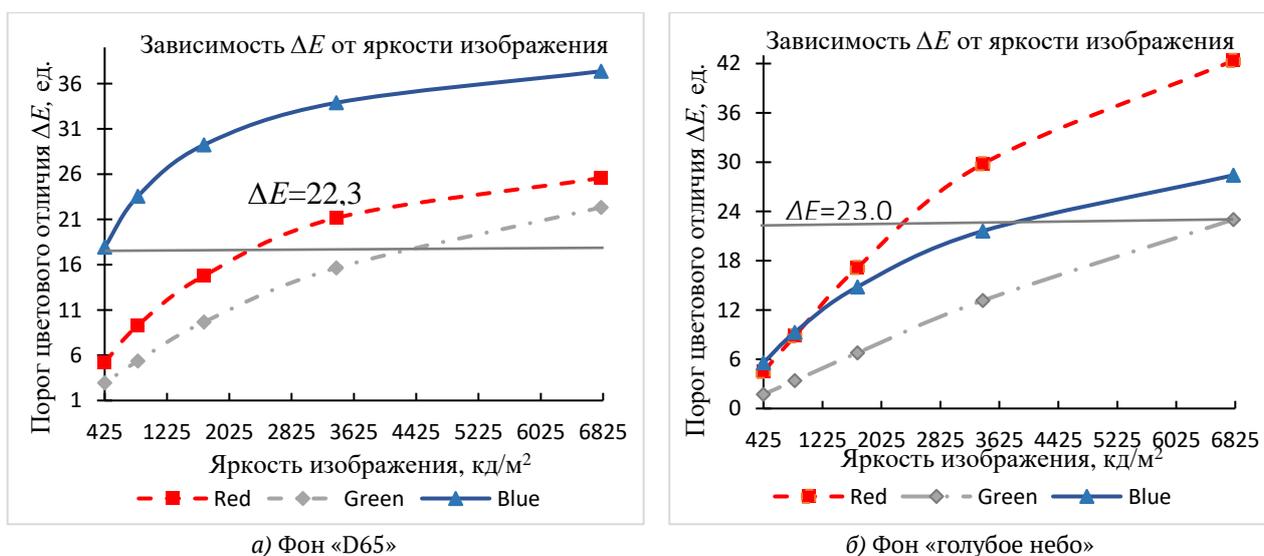


Рис. 2. Зависимости ΔE от яркости изображения

В целом, цветовой контраст для излучения красного и синего цветов выше, чем для зелёного, следовательно, для достижения требуемой величины цветового контраста необходима наибольшая яркость изображения зелёного цвета.

Заключение

В статье сформулирована задача, возникающая в HUD, системах дополненной реальности, связанная с изменением воспринимаемого цвета пилотом из-за смешения цвета изображения и фона. Предложенная методика, основанная на законах сложения цветов и пороге восприятия цветового контраста, позволила установить закономерности изменения величины цветового контраста от яркости и цвета изображения и фона.

Список источников

- [1] **Spitzer, C.** Digital Avionics Handbook / C. Spitzer, U. Ferrell, T. Ferrell. – CRC Press, 2017. – P. 302-328.
- [2] **Sharma, G.** The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations / G. Sharma, W. Wu, E.N. Dalal // Color Research & Application. – 2005. – Vol. 30, – № 1. – P. 21-30.
- [3] Горбунова Е. В., Чертов А. Колориметрия источников излучения: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015. – 126 с.
- [4] **Шуберт, Ф.** Светодиоды/ Пер.с англ. под ред. А.Э. Юновича. 2е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
- [5] Diffuse sky radiation / URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Diffuse_sky_radiation
- [6] **Алтынов, А. Е.** Спектрометрирование ландшафта. Учеб. пособ. для студентов / А. Е. Алтынов, В. А. Малинников, С. М. Попов, А. Ф. Стеценко – М.: Изд. МИИГАиК. УПП «Репрография», 2010. – 120 с.
- [7] Spectral Power Distribution of LED / URL: <http://color.support/ledspd.html>
- [8] Требования к индикаторам на лобовом стекле. Квалификационные требования КТ-8055. Межгосударственный Авиационный Комитет. 34 с. / URL: https://www.studmed.ru/kt-8055-kvalifikacionnye-trebovaniya-trebovaniya-k-indikatoram-na-lobovom-stekle_d9beba35b53.html

Color contrast analysis in HUD, augmented reality systems

A. M. Berezovik¹, A. A. Stepanov²

¹ Display Glass LLC, Minsk, Belarus

² Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

This article is devoted to the method of calculating the brightness of the LED backlight module for liquid crystal imagers on the HUD, augmented reality systems, which provides the required image quality, taking into account the color difference threshold. The technique is based on determining the dependence of color differences due to the background (natural daylight, blue sky, desert sands) and the color of the image formed by LED backlighting, on the brightness of the background and red, green and blue LEDs. The calculated brightness values of the LED backlight for HUDs, augmented reality systems can be used in the design of augmented reality information display systems.

Keywords: HUD, Augmented reality systems, Color perception, Color contrast.