

Методика определения зависимости цветовой пороговой чувствительности от цветового тона

Власюк И. В., Мазуркевич Д. О., Поташников А. М.

Данная работа посвящена исследованию характеристик зрительной системы человека. Была разработана методика измерений чувствительности глаза к изменению оттенка цвета в зависимости от цвета оцениваемого объекта. Результаты исследований могут быть применены в системах сжатия и обработки изображений.

Человеческий глаз лучше или хуже воспринимает различия между близкими оттенками цвета в зависимости от длины волны светового потока. Методика, рассматриваемая в настоящем докладе, была разработана для исследования цветовой пороговой чувствительности человеческого глаза по длине волны.

Такое исследование может быть полезно для создания модели системы зрения человека. Можно выделить следующие возможные применения результатов исследования:

1. При различных измерениях свойств глаза, знание особенности различимости близких оттенков могут быть использованы для уточнения этих измерений, то есть при исследовании других характеристик зрения, можно убрать или снизить зависимость от исследуемого здесь свойства зрения.
2. Знание чувствительности глаза к близким тонам может быть использовано при сжатии изображений и видеоинформации. Поскольку для разных цветов человеческий глаз лучше или хуже воспринимает близкие оттенки, то появляется возможность более грубого квантования цветов, менее чувствительных для глаза, что может позволить получить более сжатое изображение без видимой потери качества.

Для выбора цветов используется система HSB (Цвет, Насыщенность, Яркость), при этом насыщенность и яркость цвета выбираются наибольшими, поскольку в этом случае различимость цветов получается максимальной. На рисунке 1 используемые цвета – окружность основания конуса. Цвет в системе HSB задается в градусах, при этом 0° – красный цвет, 120° – зеленый цвет, 240° – синий цвет.

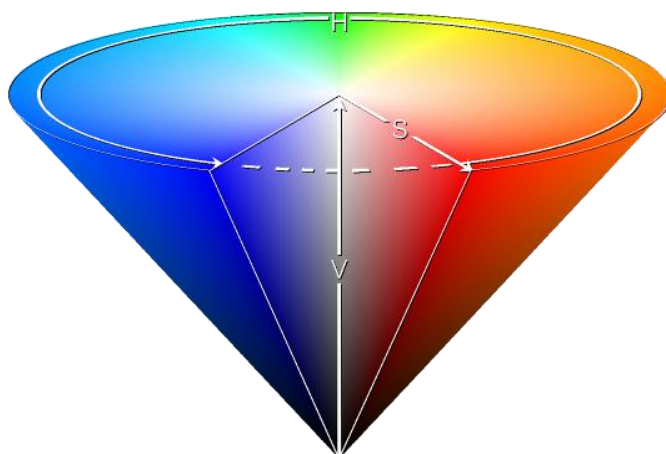


Рисунок 1. Цветовая модель HSB

Методика измерений базируется на методе парных сравнений в сочетании с оценкой порогового значения. Респондентам предлагается сравнивать объекты одной формы (квадрат), отличающиеся только по цвету. Для оценки порога различимости необходимо сравнивать эталонный объект с объектами, в разной степени отличающихся от эталона. Для уменьшения числа опытов пары объединяются в тестовое изображение. После проведения опытов, количество замеченных отличающихся квадратов от каждого эталона суммируется, и на основании суммы определяется порог чувствительности глаза испытуемого человека.

Размер квадратов выбирается таким образом, чтобы при просмотре максимально уменьшить зависимость от пространственной частоты, но при этом не перегружать зрительную систему высокой яркостью тестового изображения. Исследование показало, что если испытуемый находится на большом расстоянии от изображения, то различимость цветов резко уменьшается. Однако при очень большом размере квадратов зрительной системе будет необходимо многократно сканировать изображение, что так же приведет к быстрому утомлению. С учетом перечисленных выше требований к размеру сравниваемых объектов оптимальным является расположение на одном тестовом изображении 10 пар объектов с объединением эталонных изображений по одному эталону на две пары. В целом тестовое изображение состоит из 15 квадратов (5 эталонных и 10 – отличающихся от эталона).

Расположение квадратов выбирается из условия, чтобы они были наилучшим образом распределены по пространству изображения. Учитывая, что стандартные мониторы имеют отношение длины к ширине экрана четыре к трем, то наиболее удобным является выбор трех квадратов по вертикали и пяти по горизонтали. В этом случае на экране остается еще место для управления сменой изображения и справки.

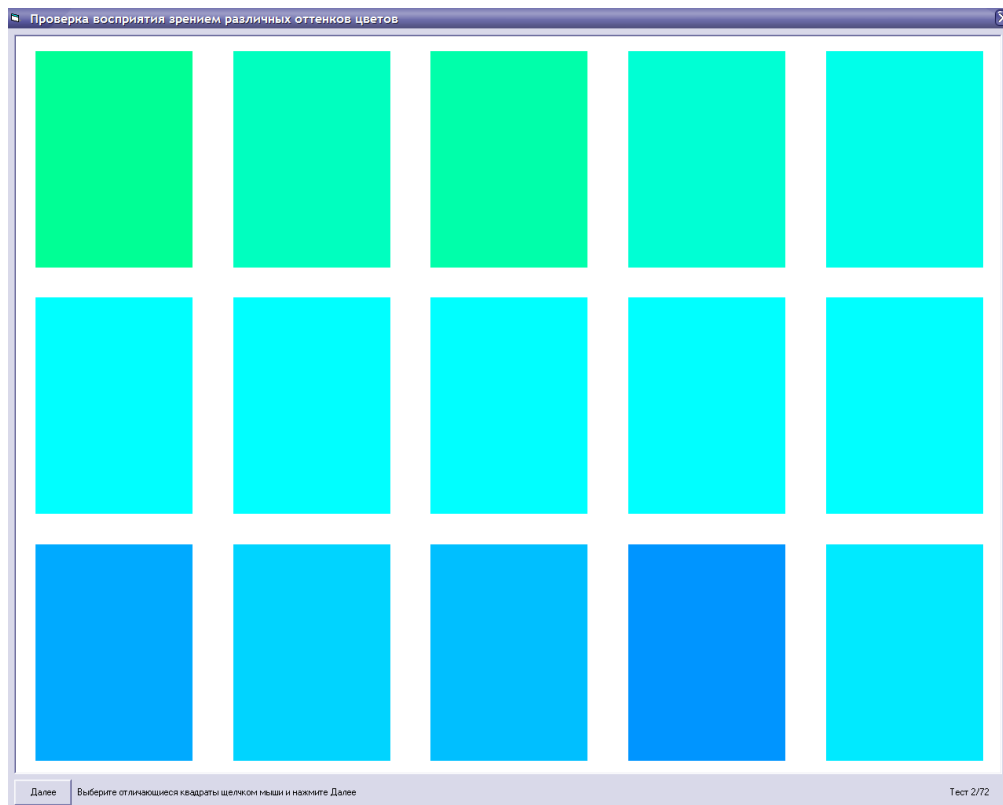


Рисунок 2. Внешний вид проверочного изображения

Измерения проводятся с различными эталонами с шагом в 10° . Измерения, проведенные на группе людей, показали, что подавляющее большинство людей различают цвета, если разница между ними составляет более 20° , и не замечают различия при отличии по цвету менее 5° . Поэтому измерения производятся в диапазоне $2-25^\circ$. Для покрытия данного диапазона для каждого цвета проводится два эксперимента. В сумме это дает 72 измерения, за которые испытуемый не успевает сильно устать, и усталость не влияет на точность измерений.

Фон между квадратами выбирается нейтрального серого цвета так, чтобы по субъективной яркости быть наиболее приближенным к яркости цветных квадратов. Расстояние между квадратами выбирается небольшим, иначе оно будет влиять на точность измерений. Его наличие обуславливается тем, что при сравнении двух оттенков цвета, непосредственно касающихся, резко возрастает чувствительность из-за значительного возрастания амплитуд составляющих цвета.

Для уменьшения зависимости временных адаптационных процессов на эксперимент, производится задержка возможности испытуемого человека подтвердить свой выбор на шесть секунд. Эта задержка является достаточной для завершения основных адаптационных процессов глаза, но при этом позволяет достаточно быстро провести исследование.

Также для уменьшения влияния предыдущего исследования на последующее, цвета передаются не по порядку, а как можно ближе к дополнительным цветам. В этом случае в каждой следующей картинке используются колбочки глаза, отличающиеся от предыдущих, в результате чего, время на адаптацию увеличивается в два раза.

Использование дополнительных цветов удобно и тем, что во время просмотра одного изображения, глаза отдыхают от дополнительного цвета, в результате чего нагрузка на глаза меньше и усталость накапливается медленнее.

Основным недостатком измерения является то, что оно производится на стандартном мониторе, который не воссоздает чистого излучения требуемой длины волны, а представляет его в виде суммы красного, зеленого и синего излучений. Монитор обычно представляет цвет 256 градациями основных цветов, что может быть недостаточно для отображения различий в $1-2^\circ$. Необходимо также заметить, что различные мониторы обладают различными настройками цветовой гаммы, что может давать различные результаты измерений. Многие LCD мониторы обладают ограниченным углом обзора, что может привести к различным цветам в центре и на краях изображения. Большим недостатком методики является то, что так как она проводится на компьютерном стенде, испытуемый должен длительное время смотреть с близкого расстояния на монитор. Как следствие, необходимо очень аккуратно подходить к выбору монитора испытательных стендов и к унификации их настроек.

В результате опыта формируется количество обнаруженных различий для каждого эталонного изображения. Число различий связано с пороговой видимостью и характеризует чувствительность к изменению цвета в зависимости от длины волны.

Полученная дискретная функция зависимости чувствительности зрительной системы к изменению цвета усредняется для различных опытов и фильтруется (сглаживается). При измерениях с большей точностью (шаг изменения цветности для эталона 5 градусов) без предварительной фильтрации тяжело провести оценку измерений.

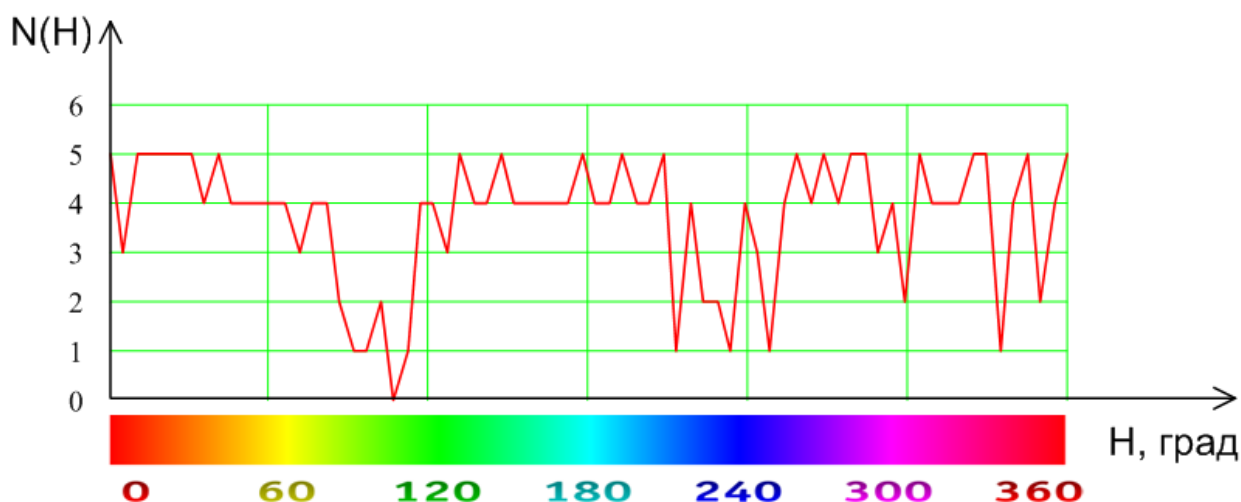


Рисунок 3. Кривая зависимости чувствительности глаза от цвета

Субъективно человек может отметить больше или меньше квадратов, чем может различить на самом деле. Также сказывается неточность определения порога из-за оценки дискретных значений – отсюда шум квантования. На кривой чувствительности это выражается резкими изменениями

ми. Чтобы уменьшить эти ошибки, функция обрабатывается низкочастотным цифровым фильтром. Характеристики фильтра приведены на рисунке 4. Частота выбирается равной $\frac{1}{30} \text{град}^{-1}$, поскольку в этом случае фильтруется высокочастотная составляющая ошибок, но сохраняется информационная составляющая содержащаяся на более низких частотах.

$$p(n) = \frac{J_0 \left(b \sqrt{1 - \left(\frac{n}{N} \right)^2} \right)}{J_0(b)}, \quad (1)$$

где $b=1.51$;

$N=6$.

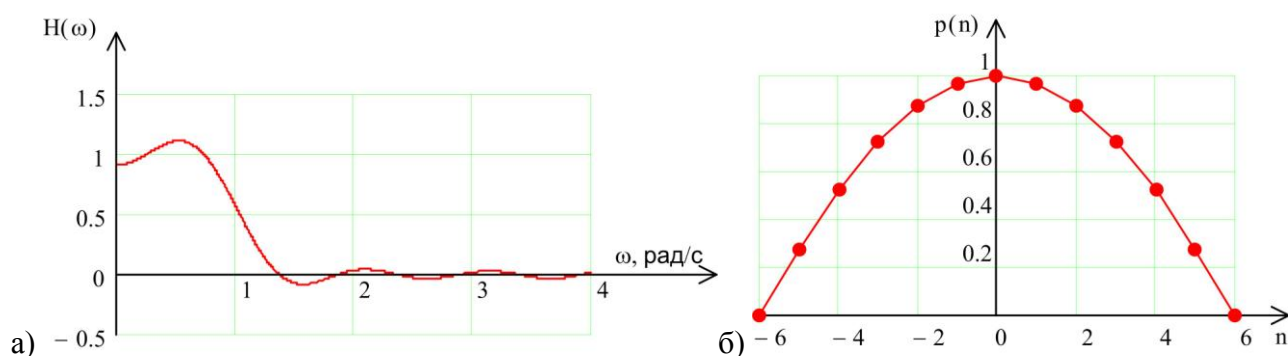


Рисунок 4. Характеристики используемого цифрового фильтра. а) АЧХ б) Весовое окно

После обработки, становится заметно, что человеческий глаз лучше всего воспринимает оттенки красного, голубого и фиолетового цвета, плохо воспринимает оттенки салатного и синего цветов.

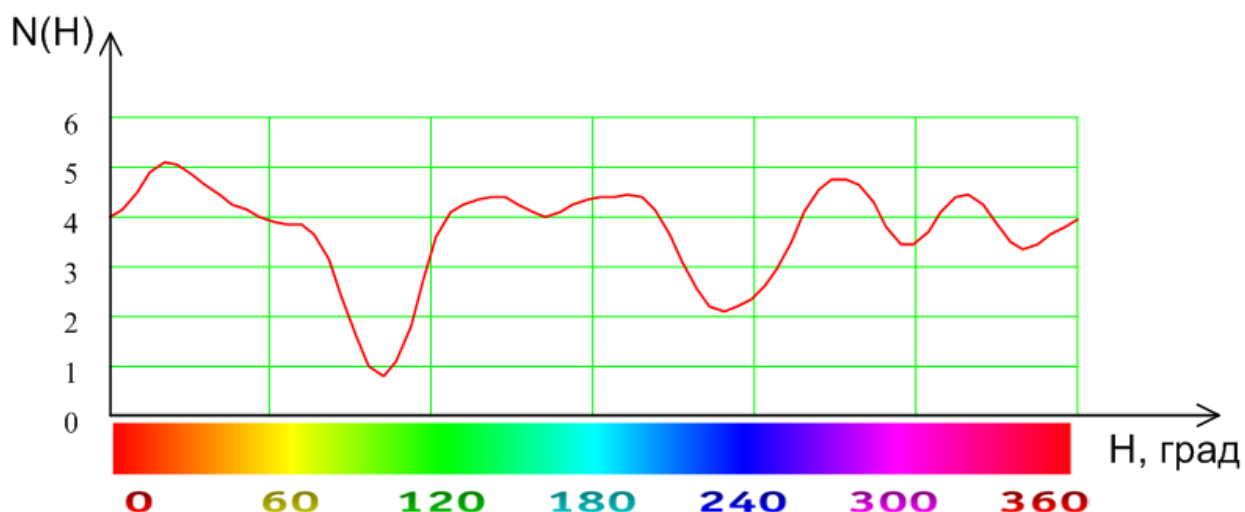


Рисунок 5. Кривая чувствительности после фильтрации.

Данная методика является универсальной и может быть использована также и для получения кривой зависимости чувствительности глаза к изменению насыщенности и яркости от этих параметров.

После обработки достаточного материала (для чего необходимо провести большое количество измерений для получения более общих характеристик) возможно последующее использование описанных выше кривых для оптимального сжатия как статических изображений так и видеоизображений.

Исследования в этой области могут оказаться полезными для построения модели глаза человека.

Используя данную методику можно выявить недостатки систем передачи и представления изображений.

Полученные данные могут быть использованы для оценки цветопередачи некоторых мониторов, проекторов и т.п. В частности была выявлена худшая различимость на ЖК-дисплеях по сравнению с дисплеями на ЭЛТ в фиолетовом диапазоне.

Список литературы

1. Безруков В.Н., Кардонская И.Л. Относительная субъективная оценка качества телевизионных изображений. – Прогресс Технологий Телерадиовещания. Материалы Международного конгресса НАТ М.: 24-27 октября 2001г., TRBE'2001, Москва, 2002, под ред. А.Б. Бирюкова.
2. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. – Издание 2-е, исправленное. – М.: Техносфера, 2007. – 856с.
3. [http://ru.wikipedia.org/wiki/HSV_\(цветовая_модель\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/HSV_(цветовая_модель))
4. <http://www.alvyray.com/Papers/hsv2rgb.htm>