

Основы обработки изображений

Лекция 1.

- Восприятие света человеком
- Устройства формирования изображений
- Цветовые пространства

Восприятие света человеком

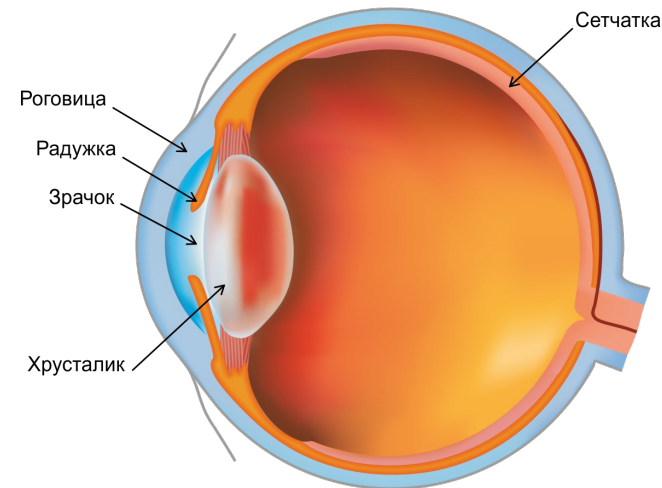
Любой исследователь, работающий с изображениями обязан иметь хотя бы базовые представления о том, как человек воспринимает видимый мир, а также об ограничениях и особенностях, свойственных зрению человека.

Элементы оптической структуры глаза

Роговица – наружная оптическая линза глазного яблока. Роговица, имеющая оптическую силу от 37 до 46 диоптрий, обеспечивает максимальное преломление световых лучей, попадающих в глаз.

Радужная оболочка – часть сосудистого тракта глаза, куда кроме неё входит цилиарное тело и сосудистая оболочка. Радужка за счёт пигментации непроницаема для света, но через отверстие в её центре свет попадает на хрусталик. Диаметр зрачка за счёт воздействия сфинктера и мышцы-дилататора может меняться в широких пределах (от 1.1 до 8 мм). Т.е. с помощью радужной оболочки можно примерно в 60 раз изменять количество света, попадающего через хрусталик на сетчатку.

Хрусталик – прозрачное гибкое тело, находящееся внутри глазного яблока сразу за зрачком. В хрусталике, как и в роговице, происходит преломление света, попадающего в глаз, но, в отличие от роговицы, преломляющая сила хрусталика может изменяться под воздействием цилиарной мышцы. Т.е. именно с помощью хрусталика происходит процесс аккомодации (фокусировки на различных расстояниях).

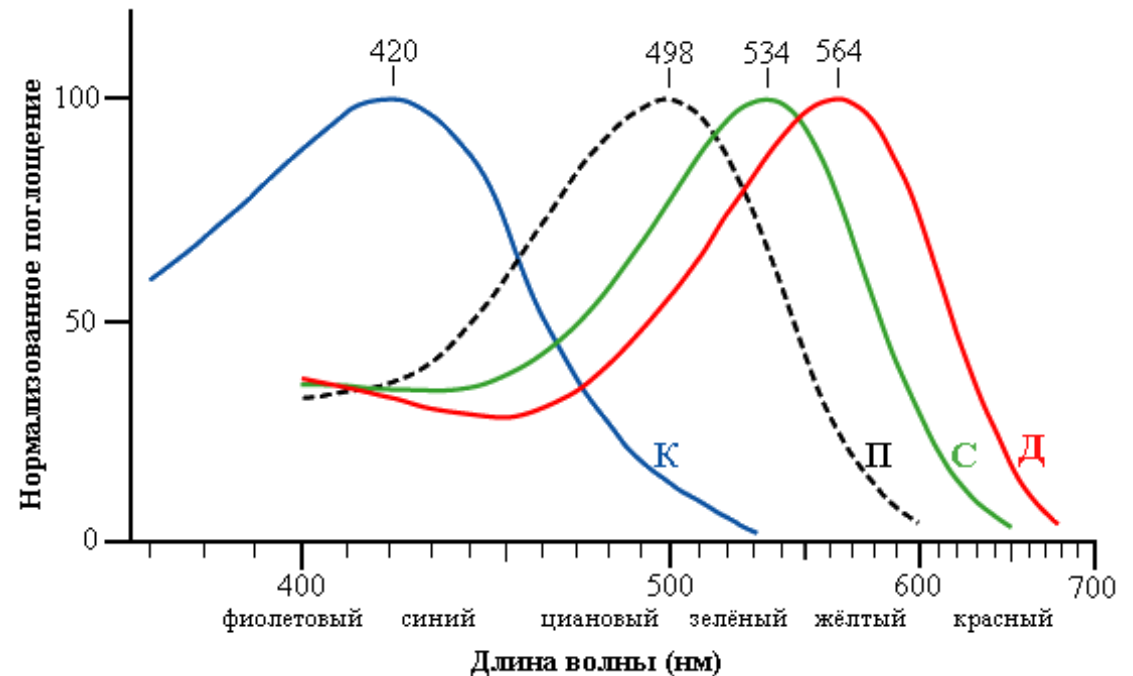


Строение сетчатки

Сетчатка – это очень тонкий слой нервных клеток, фактически являющийся частью коры головного мозга, отвечающий за первичную обработку светового потока, поступившего в глаз. Именно в сетчатке находятся чувствительные к свету клетки-рецепторы. Всего на сетчатке человека присутствует четыре типа рецепторов:

- Палочки, которые реагируют на яркость света и обеспечивают ночное и периферическое зрение. Чувствительность палочек очень высока: в идеальных условиях они могут фиксировать единичные фотоны, но при высоком уровне освещения, палочки насыщаются и перестают реагировать на свет.
- Колбочки (трёх видов), которые отвечают за восприятие цвета и обеспечивают центральное цветное зрение. В отличие от палочек, колбочки способны работать только при достаточно высоком уровне освещения (поэтому в сумерках все предметы кажутся серыми).

Рецепторы распределены по сетчатке неравномерно: палочки находятся в основном на периферии, а колбочки сконцентрированы в центральной части. На сетчатке есть область, где вообще нет палочек, а концентрация колбочек максимальна – т.н. центральная ямка. В этой области чёткость зрения максимальна. А в месте прикрепления зрительного нерва нет ни палочек, ни колбочек, именно этим фактом объясняется наличие слепого пятна.



Устройства формирования изображений

Традиционно устройства, чувствительные к видимому диапазону э-излучения, принято называть фотоматрицами. Фотоматрицы – это специальные аналоговые или цифровые датчики, состоящие из светочувствительных элементов, и предназначенные для регистрации видимого света. Большинство существующих на данный момент фотоматриц производится по одной из двух технологий: ПЗС или КМОП.

ПЗС-матрицы

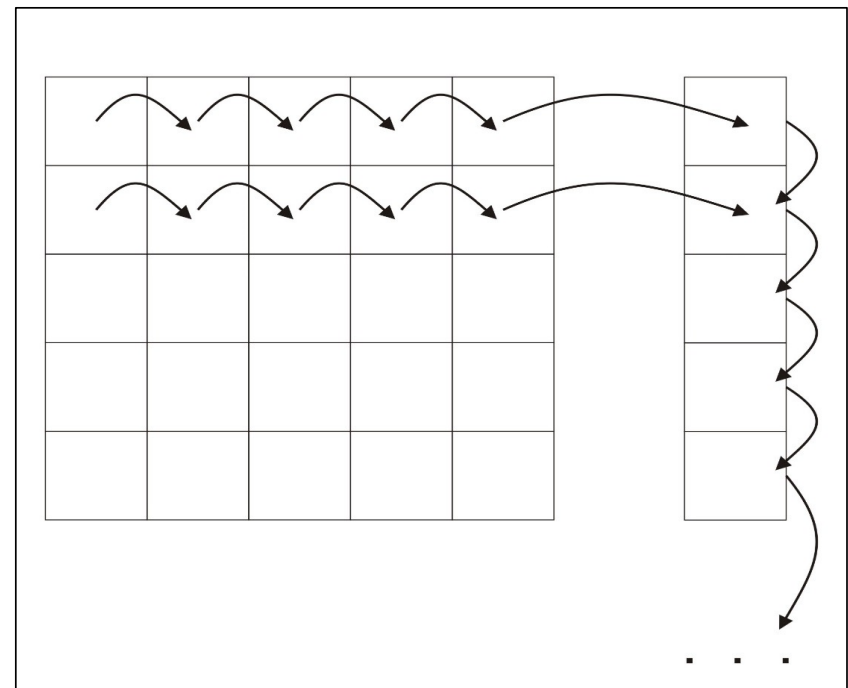
ПЗС-матрицы – это распространённый тип датчиков для фиксации видимого излучения. По принципу работы ПЗС-матрицы очень похожи на обычную фотоплёнку. В фотоплёнке под воздействием света происходит химическая реакция, и чем дольше на плёнку воздействует свет, тем большее количество вещества плёнки вступит в реакцию. В ПЗС-матрицах каждый элемент матрицы под воздействием света накапливает заряд пропорциональный интенсивности и длительности воздействия свет.

Преимущества ПЗС-технологии:

- Низкий уровень шума;
- Высокий коэффициент заполнения пикселей: практически вся матрица состоит из чувствительных элементов.

Недостатки ПЗС-технологии:

- Высокая стоимость производства (по сравнению с КМОП-матрицами, т.к. требуется совмещение цифровых и аналоговых схем);
- Высокое энергопотребление;
- Эффект блуминга: если на какой-либо элемент попадает слишком сильное излучение, возможно самопроизвольное перетекание заряда в соседние ячейки и их засвечивание;
- Т.к. элементы матрицы по принципу работы аналоговые, процесс считывания сигнала сопряжён с определёнными трудностями.



КМОП-матрицы

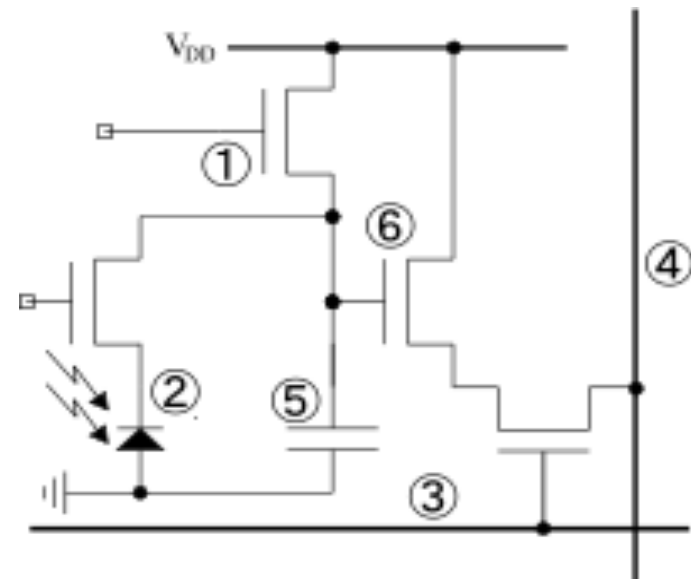
Для получения снимка на каждую ячейку подаётся сигнал сброса (1), во время экспозиции светочувствительный элемент (2) накапливает заряд, при выборе сигналов строки (3) и столбца (4), заряд с конденсатора (5) через усилитель (6) передаётся для дальнейшей обработки.

Преимущества КМОП-технологии:

- Матрица производится по КМОП-технологии, что позволяет объединить на одном кристалле как саму матрицу, так и схемы преобразования и предварительной обработки;
- К элементам матрицы возможен произвольный доступ;
- Низкое энергопотребление матрицы в «ждущем» режиме;
- Высокое быстродействие (до 300-500 кадров в секунду);
- Низкая стоимость производства по сравнению с ПЗС-матрицами.

Недостатки КМОП технологии:

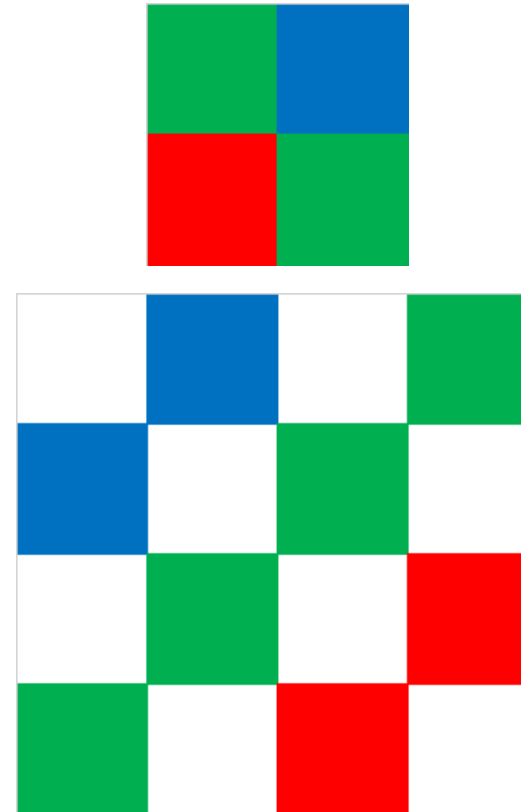
- Т.к. помимо собственно фоточувствительного элемента матрица содержит ещё и электронные схемы, коэффициент заполнения пикселей ниже, чем у ПЗС-матриц аналогичного размера;
- Высокий уровень шума (существуют схемы, позволяющие бороться с шумом, но их использование удорожает матрицу и уменьшает коэффициент заполнения).



Формирование цветных изображений

Элементы фотоматриц чувствительны только к яркости падающего света, поэтому получение цветных изображений непосредственно с фотоматрицы невозможно. Для получения цветных изображений используют специальные методики:

- Трёхкратное снятие информации с матрицы, при этом каждый раз свет на матрицу поступает через светофильтр, соответствующий одному из трёх базовых цветов.
- Технология 3CCD. В этой технологии световой поток предварительно разделяется на три части, соответствующие базовым цветам. При этом каждая часть светового потока направляется на отдельную фотоматрицу.
- Применение микросветофильтров к каждому элементу матрицы и последующая интерполяция.



Цветовые пространства

Основная задача цветковых моделей – сделать возможным задание цветов унифицированным образом. По сути цветковые модели задают определённые цветковые пространства и системы цветковых координат, которые позволяют однозначно определить цвет точки в соответствующем цветковом пространстве.

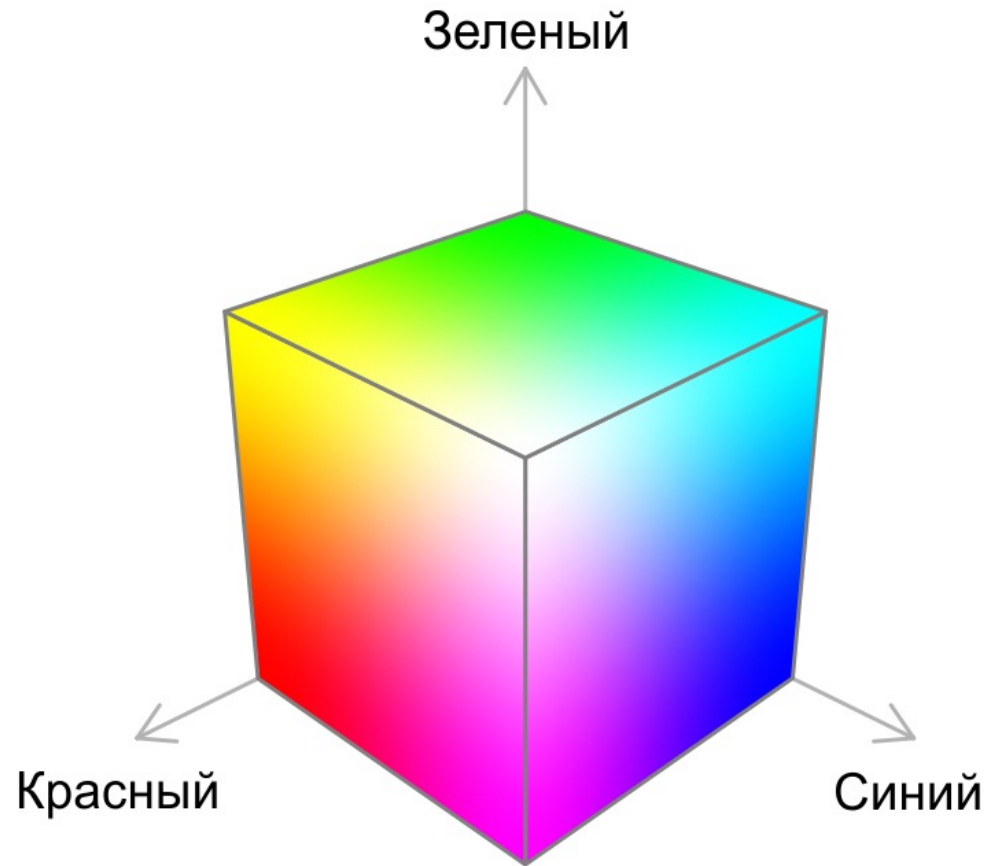
Классификация цветковых моделей

- Аддитивные модели основаны на сложении (излучении) цветов, используются в основном при получении изображений на мониторах, проекторах и других подобных устройствах;
- Субтрактивные модели основаны на вычитании (поглощении) цветов, широко используются в полиграфии;
- Перцепционные модели основаны на особенностях человеческого восприятия, часто используются как стандартные модели для аппаратно-независимого хранения и передачи изображений;
- Вспомогательные модели предназначены для удобства обработки изображений.

Цветовой куб RGB

В модели RGB (от англ. red – красный, green – зелёный, blue – голубой) все цвета получаются путём смешения трёх базовых (красного, зелёного и синего) цветов в различных пропорциях. Доля каждого базового цвета в итоговом может восприниматься как координата в соответствующем трёхмерном пространстве, поэтому данную модель часто называют цветовым кубом.

Цвет	Координата по оси красного	Координата по оси зелёного	Координата по оси синего
Красный	1	0	0
Зелёный	0	1	0
Синий	0	0	1

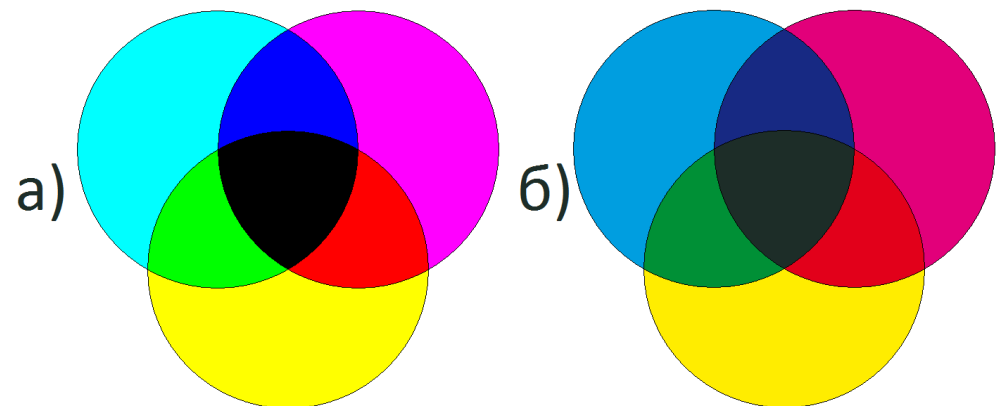


CMY и CMYK

Субтрактивная модель CMY (от англ. cyan – голубой, magenta – пурпурный, yellow – жёлтый) используется в типографии при печати изображений. Можно сказать, что модель CMY в некотором роде является антиподом цветового RGB-куба. Если в модели RGB базовые цвета – это цвета источников света, то в модели CMY – это цвета красок-поглотителей.

Легко заметить, что для получения чёрного цвета в модели CMY необходимо смешать голубой, пурпурный и жёлтый в равных пропорциях. Такой метод имеет серьёзные недостатки: во-первых, краски обладают неидеальными характеристиками, поэтому полученный в результате смешения чёрный цвет тоже будет далёк от идеального (Рис. а) – идеальные краски, б) – реальные краски), во-вторых, это приводит к существенным затратам красителя, в третьих, при использовании струйных принтеров бумага слишком сильно намокает, и в результате может произойти её разрыв.

На практике модель CMY расширяют до модели CMYK, добавляя к трём цветам т.н. ключевой цвет (key-color). В большинстве домашних устройств в качестве ключевого цвета выступает чёрный, поэтому модель CMYK иногда расшифровывают как Cyan-Magenta-Yellow-black.

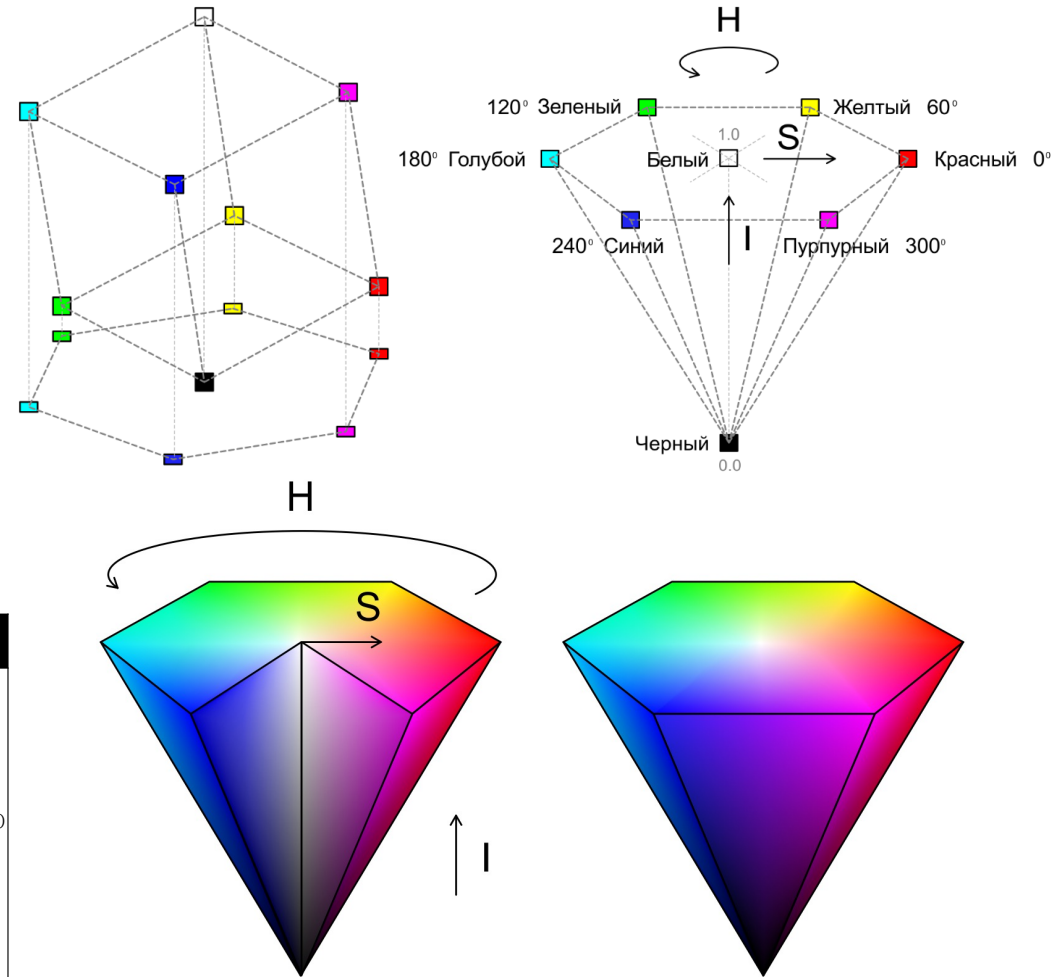


CMYK-RGB	RGB-CMYK
$\begin{cases} R = (1 - C) * (1 - K) \\ G = (1 - M) * (1 - K) \\ B = (1 - Y) * (1 - K) \end{cases}$	$\begin{cases} K = 1 - \max(R, G, B) \\ C = \frac{1 - R - K}{1 - K} \\ M = \frac{1 - G - K}{1 - K} \\ Y = \frac{1 - B - K}{1 - K} \end{cases}$

Тон, насыщенность, интенсивность

Рассмотренные цветовые модели RGB и CMY(K) весьма просты, но у них есть один существенный недостаток. Человеку очень тяжело оперировать цветами, заданными в пространстве этих моделей, т.к. человек, описывая цвета, пользуется не содержанием в описываемом цвете базовых составляющих, а несколько иными категориями. Чаще всего люди оперируют следующими понятиями: цветовой тон, насыщенность, светлота и яркость.

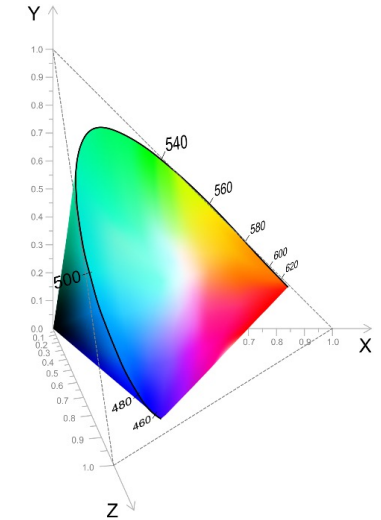
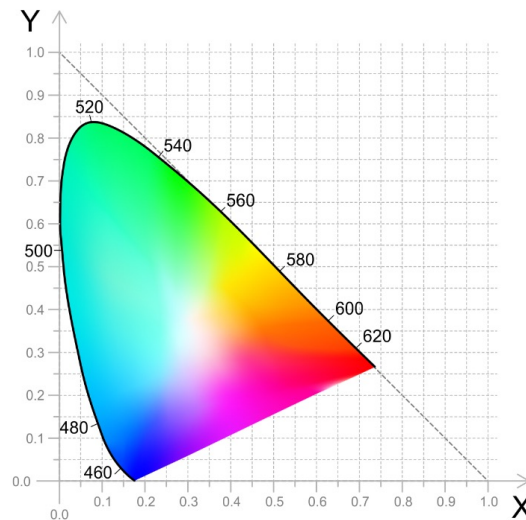
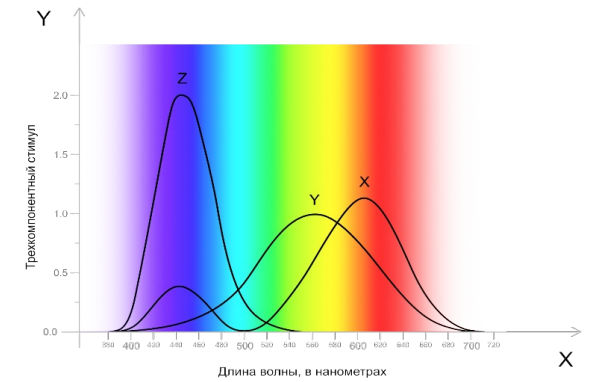
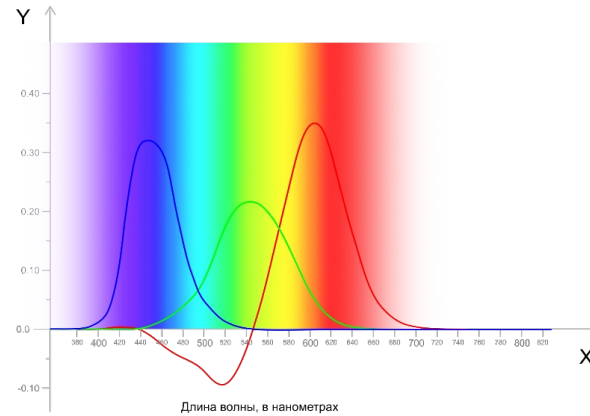
HSI-RGB	RGB-HSI
$\begin{cases} B = I(1 - S) \\ R = I(1 + \frac{S \cdot \cos H}{\cos(60^\circ - H)}), \text{ при } 0^\circ \leq H < 120^\circ \\ G = 3I - (R + B) \\ R = I(1 - S) \\ G = I(1 + \frac{S \cdot \cos(H - 120^\circ)}{\cos(180^\circ - H)}), \text{ при } 120^\circ \leq H < 240^\circ \\ B = 3I - (R + G) \\ G = I(1 - S) \\ B = I(1 + \frac{S \cdot \cos(H - 240^\circ)}{\cos(300^\circ - H)}), \text{ при } 240^\circ \leq H \leq 360^\circ \\ R = 3I - (G + B) \end{cases}$	$H = \begin{cases} \theta; B \leq G \\ 360 - \theta; B > G, \text{ где } \theta = \arccos(\frac{\frac{1}{2} * ((R - G) + (R - B))}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}}) \\ S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} \min(R, G, B) \\ I = \frac{1}{3}(R + G + B) \end{cases}$



CIE

С целью унификации кодирования цвета международной комиссией по освещению (CIE) была разработана международная стандартная цветовая модель. В результате серии экспериментов CIE определила кривые сложения основных (красного, зелёного и синего) цветов. Любой видимый средним наблюдателем цвет можно выразить как сумму определённого количества базовых цветов. При этом, для того, чтобы разработанная модель могла отражать все видимые человеком цвета, пришлось ввести отрицательное количество базовых цветов.

Чтобы уйти от отрицательных значений, CIE ввела т.н. нереальные или мнимые основные цвета: X (мнимый красный), Y (мнимый зелёный), Z (мнимый синий). При описании произвольного цвета значения X,Y,Z называют стандартными основными возбуждениями, а полученные на их основе координаты – стандартными цветовыми координатами.

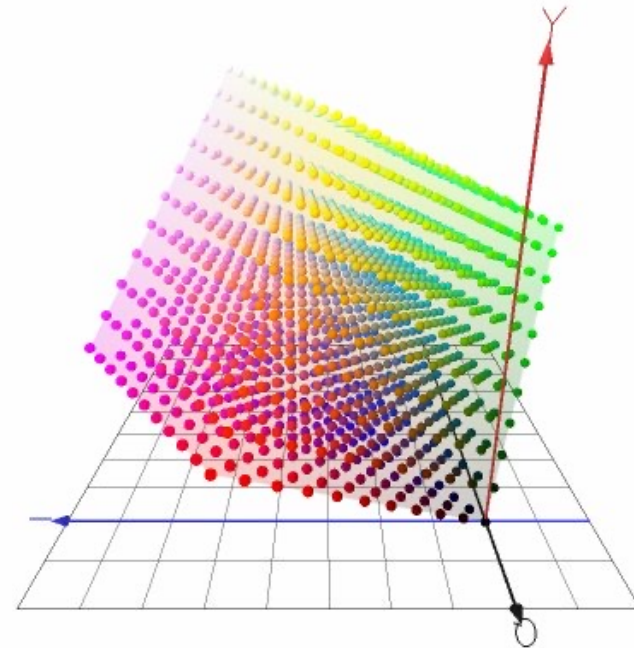


Цветоразностные модели

Цветоразностные цветковые модели являются ярким примером вспомогательных цветковых моделей, учитывающих особенности восприятия. В цветковой системе YIQ информация о цвете представляется в виде сигнала яркости (Y) и двух цветоразностных сигналов (IQ).

Популярность этих цветковых систем обусловлена в первую очередь появлением цветного телевидения. Т.к. компонента Y по сути содержит исходное изображение в градациях серого, сигнал в системе YIQ мог быть принят и корректно отображён как на старых чёрно-белых телевизорах, так и на новых цветных.

Вторым, возможно, более важным, плюсом этих пространств является разделение информации о цвете и яркости изображения. Дело в том, что человеческий глаз очень чувствителен к изменению яркости и гораздо менее чувствителен к слабым изменениям цвета. Это позволяет хранить и передавать информацию о цветности с пониженной глубиной.



YIQ-RGB	RGB-YIQ
$\begin{cases} R = Y + 0.956I + 0.621Q \\ G = Y - 0.272I - 0.647Q \\ B = Y - 1.107I + 1.706Q \end{cases}$	$\begin{cases} Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ I = 0.596R - 0.274G - 0.321B \\ Q = 0.211R - 0.523G + 0.311B \end{cases}$

ВОПРОСЫ

