

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică
Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor

GRAFICA PE CALCULATOR

ТЕМА 3. АТРИБУТЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

I.u., dr. NASTAS Andrei

3.1. Свойства света. Цветовые модели

3.1.1. Модель RGB (красный, зеленый, синий)

3.1.2. Модель CMY (голубой, пурпурный, желтый)

3.1.3. Модель YIQ

3.1.4. Модель HSV (оттенок, насыщенность, значение)

3.1.5. Модель HLS (оттенок, яркость, насыщенность)

3.2. Интерполяция в цветовом пространстве

3.3. Цветовое кодирование

Изучение графических атрибутов требует более широкого теоретического подхода к математическому моделированию физических явлений, управляющих оптическими процессами, обусловленными, в частности, взаимодействием света с телами. Эти модели используются в профессиональном графическом моделировании, таким как виртуальная реальность и художественные приложения.

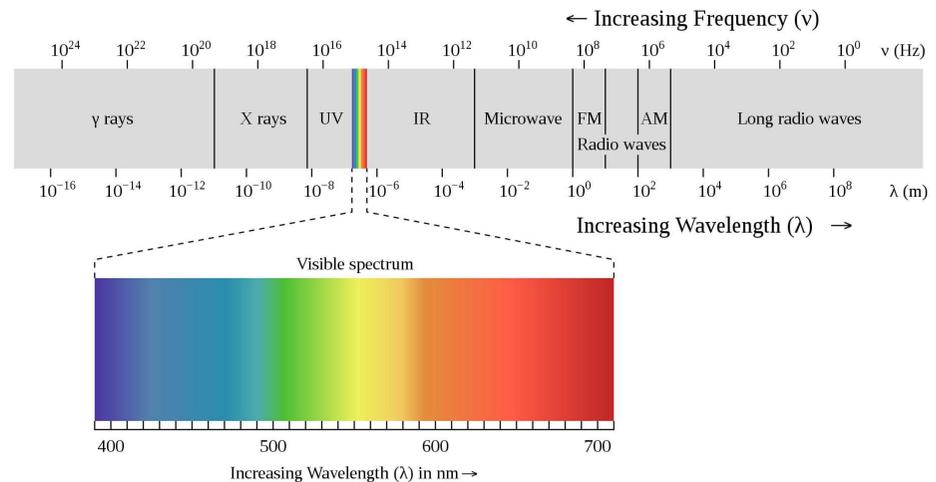
Изображения создание при помощи компьютера должны быть максимально приближены к воспринимаемому человеческим глазом, таким образом как бы эти изображения, действительно существовали. И поэтому удаление невидимых частей — это только первый шаг в синтезе реалистичных изображений. Следующим шагом является воспроизведение света и теней с учетом источников света, особенностей поверхностей предметов, их положения и ориентации.

Модели освещения позволяют рассчитать интенсивность света, отраженного в глаз наблюдателя от разных точек на поверхности объекта. Существует два класса моделей освещения: **локальные модели и глобальные модели**. В локальных моделях интенсивность света определяется только падающим светом, исходящим от одного или нескольких источников света, ориентацией и физическими характеристиками поверхности. В глобальных моделях также учитывается свет, отраженный и пропущенный другими объектами синтезируемой сцены. Среди глобальных моделей наиболее известна та, которая используется в методе трассировки лучей. Тени изображения, создаваемые объектами в 3D-сцене, освещенными одним или несколькими источниками, придают изображению высокую степень реалистичности.

3.1. Свойства света. Цветовые модели

Свет – это электромагнитная энергия. Он представляет собой область электромагнитного спектра между длинами волн 38° и 78° нанометров. Нижняя граница области соответствует фиолетовому цвету, а верхняя – красному. Между двумя границами, глаз может различать около 350 000 цветов. Когда световая энергия падает на поверхность объекта, она может поглощаться, отражаться или передаваться. Так что свет, воспринимаемый глазами, исходит либо непосредственно от источника, либо опосредованно, за счет его отражения и пропускания предметами окружающей среды.

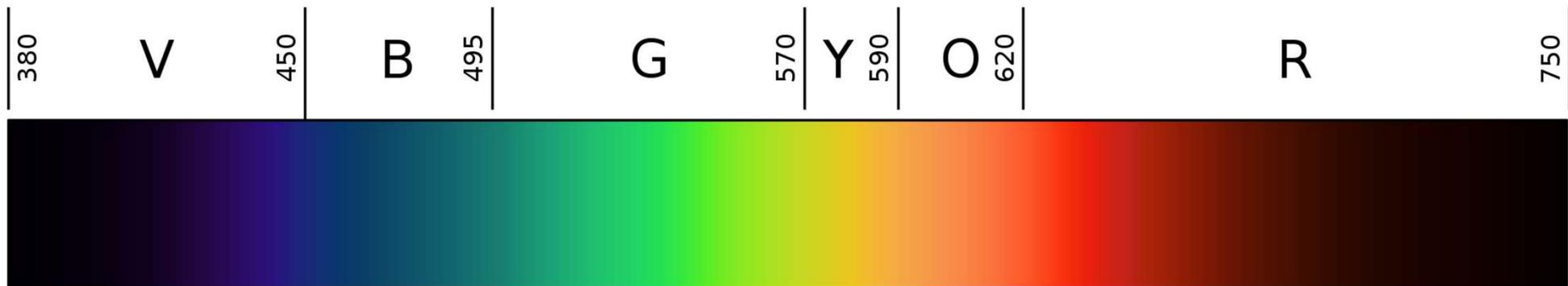
Свет, содержащий все длины волн видимого спектра примерно в равных пропорциях, называется **ахроматическим**. Ахроматический свет от источника воспринимается как белый. Ахроматический свет от объекта воспринимается как белый, черный или оттенок серого в зависимости от физических свойств поверхности объекта. Объекты, которые ахроматически отражают более 80% падающего белого света, выглядят белыми. Те, которые ахроматически отражают менее 3% падающего света, кажутся черными.



*Примечание. К **хроматическим** цветам относятся все «цветные» цвета. К **ахроматическим** - белый, черный серый.*

3.1. Свойства света. Цветовые модели

Свет, содержащий несколько длин волн в неравных пропорциях, называется **хроматическим**. Таким образом, если преобладают длины волн на верхнем пределе видимого спектра, воспринимаемый свет красный или красноватый. Цвет объекта зависит как от распределения длины волны света, падающего на объект, так и от физических характеристик объекта. Если объект отражает или пропускает только узкую полосу длин волн, а остальные поглощаются, объект кажется окрашенным. Длины волн отраженного или прошедшего света определяют цвет объекта. На самом деле электромагнитная энергия не имеет цвета. Цвет есть результат психофизиологического процесса. В частности, один и тот же цвет может не одинаково восприниматься двумя разными людьми.



3.1. Свойства света. Цветовые модели

Психофизиологическое определение цвета включает:

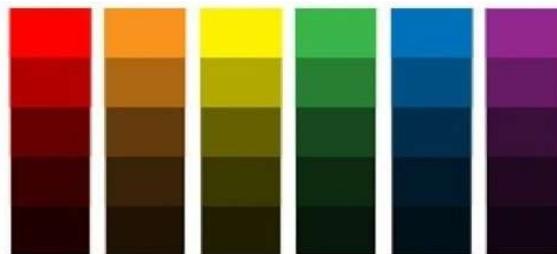
Оттенок или цветовой тон, характеризующий цвет (красный, желтый, зеленый и др.); он определяется доминирующей длиной волны цветового спектрального распределения. Цветовой тон — основная характеристика хроматических цветов, определяется по сходству данного цвета с одним из цветов спектра.

Насыщенность или чистота, которая является мерой смешения белого цвета с чистым цветом; это понятие позволяет различать красный и розовый, синий и голубой и так далее. Чистый цвет имеет 100% насыщенность. Ахроматический свет имеет насыщенность 0%.

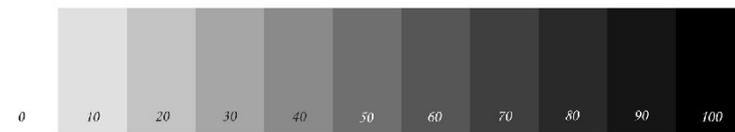
Яркость и светлота, которая является интенсивностью света. Яркость характеризует светоизлучающий объект, а **светлота** характеризует неизлучающий объект, отражающий свет.



Цветовые тона



Шкалы насыщенности

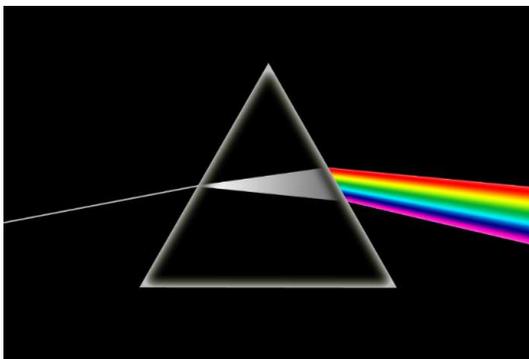


Шкала светлости ахроматических цветов

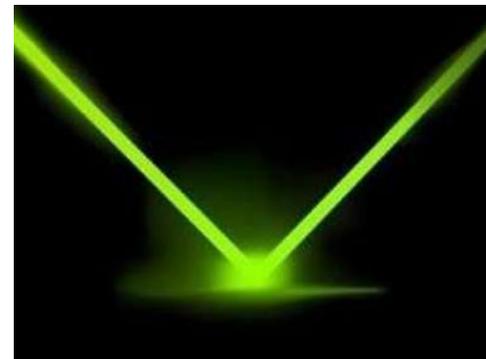
3.1. Свойства света. Цветовые модели

На рис. *а* показано распределение энергии белого света, а на рис. *б* показано распределение энергии с доминирующей длиной волны, которая воспринимается глазом как цвет. Чем больше разница $E_d - E_w$, тем чище цвет. Если $E_w = 0$, цвет имеет 100% чистоту и свет с таким спектром называется монохроматическим. По определению, монохромный свет имеет спектр с шириной полосы в один нанометр.

Цвета, воспринимаемые глазами, обычно представляют собой смеси чистых цветов. Наиболее известная теория образования цвета в системе глаз-мозг состоит в том, что в сетчатке человеческого глаза есть три типа фоточувствительных рецепторов (колбочек), каждый из которых чувствителен к одному из цветов: красному, зеленому и синему.



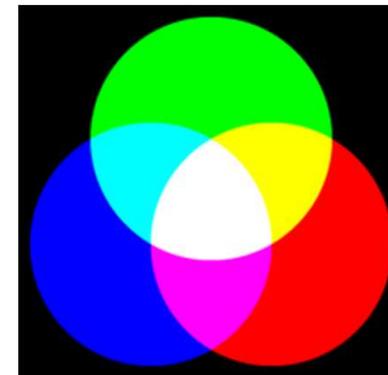
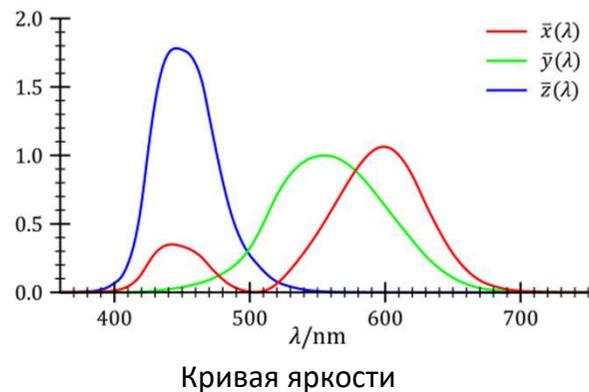
а) Полихроматический свет



б) Монохроматический свет

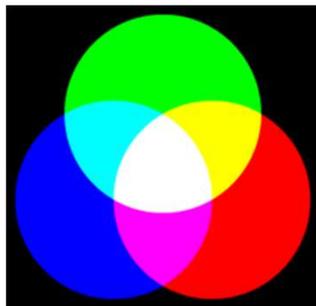
3.1. Свойства света. Цветовые модели

Например, в свете, соответствующем длине волны 550 нанометров, синие рецепторы имеют чувствительность 0 %, зеленые — около 55 %, а красные — около 45 %. Кривые показывают, что синие рецепторы гораздо менее чувствительны, чем красные и зеленые. Сумма трех кривых отклика, показанных на рисунке, называется кривой яркости. Он иллюстрирует реакцию глаза на свет постоянной яркости при изменении доминирующей длины волны; максимальная чувствительность соответствует свету с длиной волны около 550 нм, воспринимаемому как желто-зеленый. Цвета красный, зеленый и синий называются основными цветами. Смешав их в равных пропорциях, получают белый цвет. Два цвета, которые дают белый свет через смесь, называются дополнительными. Смешение двух основных цветов дает цвет, дополнительный к третьему. Например, синий + зеленый = голубой, красный + зеленый = желтый, красный + синий = пурпурный.



3.1. Свойства света. Цветовые модели

Красный, зеленый и синий цвета также называют «аддитивными примитивами», потому что они позволяют формировать оттенки, собирая их в разных пропорциях. Это определение цвета соответствует светоизлучающим устройствам (устройствам отображения). Дополнительными цветами аддитивных примитивов являются голубой, пурпурный и желтый. Таким образом, белый - красный = голубой, белый - зеленый = пурпурный, белый - синий = желтый. Они позволяют задавать оттенки, извлекая их в различных пропорциях из белого. Вот почему они называются «субтрактивными примитивами». Вычитая их в равных пропорциях из белого, получают разные оттенки серого. Извлекающие примитивы используются для определения цветов, отражаемых печатным документом. Пигменты в печатных красках поглощают цвета, которые дополняют цвета пигментов. Например, пурпурный пигмент поглощает компоненты зеленого света из падающего света, а пигмент желтого света поглощает компоненты синего света. Следовательно, поверхность, содержащая пурпурный и желтый пигменты, будет отражать (или пропускать) красный свет. Если красный свет падает на голубую поверхность, поверхность будет видна черной, потому что все компоненты падающего света были удалены.



Аддитивное смешивание цветов



Субтрактивное смешивание цветов

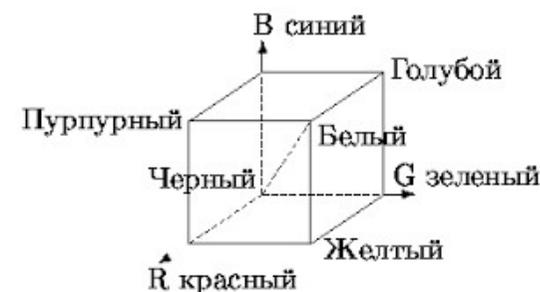
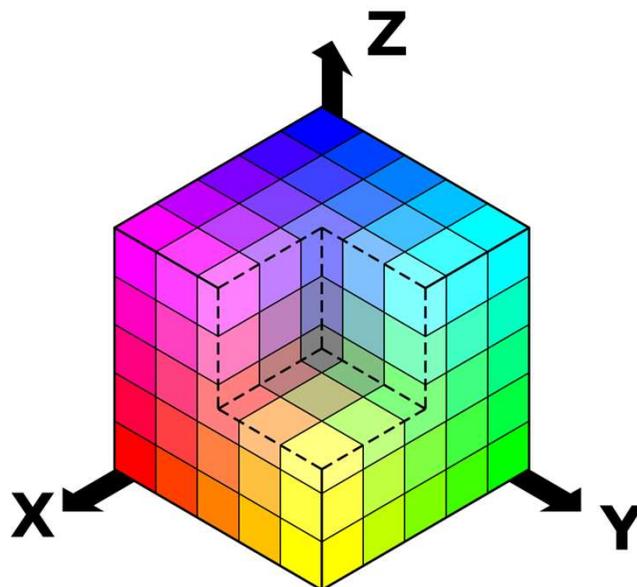
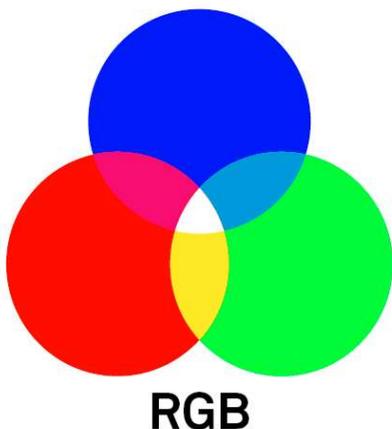
3.1. Свойства света. Цветовые модели

Существует несколько моделей, используемых для представления цвета в системах синтеза и анализа изображений. Некоторые из них ориентированы на оборудование, то есть они основаны на основных цветах, используемых оборудованием для цветопередачи; в этой категории: RGB, CMY и YIQ. Другие модели основаны на психофизиологических свойствах цветов. Вот почему говорят, что они ориентированы на пользователя; таковы модели HSV и HLS.

Цветовая модель задает трехмерную систему координат и цветовое подпространство в этой системе координат. Каждый цвет представлен точкой в цветовом подпространстве.

3.1.1. Модель RGB (красный, зеленый, синий) (Red, Green, Blue)

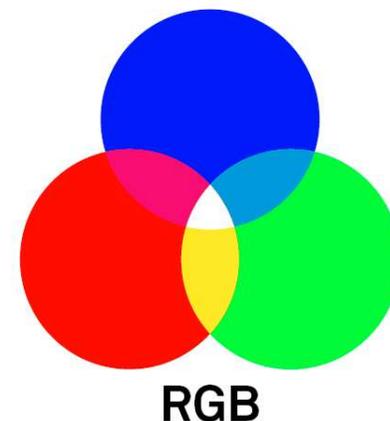
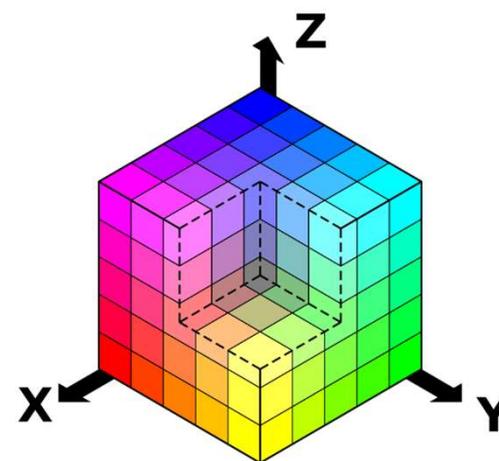
Цветовое подпространство представляет собой единичный куб, определенный в трехмерной декартовой системе координат. Каждая ось соответствует основному цвету: красному, зеленому и синему (Red, Green, Blue). Цвет определяется тремя действительными значениями от 0 до 1, представляющими вклад трех основных цветов в формирование цвета. Оттенки серого представлены точками на главной диагонали. Они соответствуют смешению в равных пропорциях трех основных цветов.



Цветовое подпространство в виде единичного куба

3.1.1. Модель RGB (красный, зеленый, синий) (Red, Green, Blue)

- Описывает испускаемые цвета;
- Основная область применения - для цветового пространства монитора;
- Модель состоит из трех цветов - красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue);
- Модель является аддитивной, т.е. при смешивании двух цветов полученный будет светлее исходных. Сумма всех трех цветов — белый;
- Поскольку модель зависит от аппаратного обеспечения, в результате одно и то же изображение будет выглядеть по-разному на разных мониторах.



3.1.2. Модель CMY (голубой, пурпурный, желтый) (Cyan, Magenta, Yellow)

Используется для указания цветов для принтеров. Он использует ту же систему координат и то же цветовое подпространство, что и шаблон RGB, за исключением того, что исходная точка — белая, кончик (1, 1, 1) — черный, а основные цвета — голубой, пурпурный и желтый.

В этой модели цвет определяется тремя значениями от 0 до 1, представляющими пропорции, в которых должны быть смешаны три пигмента, извлекающие компоненты белого света. Черный цвет получается при смешивании основных цветов в максимальных пропорциях. В общем, однако, из-за несовершенства красок при смешивании в максимальных пропорциях трех пигментов черный цвет не получается. Поэтому вместо CMY используется система CMYK:

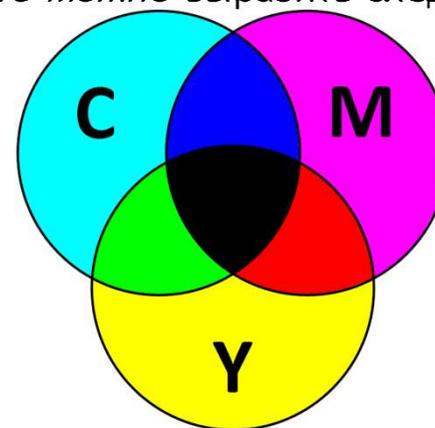
$$K = \min(C, M, Y), C = C - K, M = M - K, Y = Y - K$$

Преобразование цвета из RGB в CMY и наоборот очень просто. Его можно выразить следующим образом:

$$[C \ M \ Y] = [1 \ 1 \ 1] - [R \ G \ B]$$

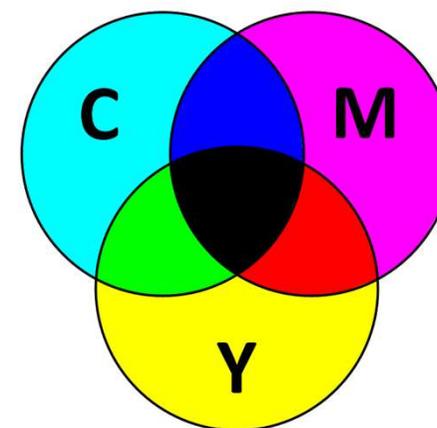
соответственно

$$[R \ G \ B] = [1 \ 1 \ 1] - [C \ M \ Y]$$



3.1.2. Модель CMY (голубой, пурпурный, желтый) (Cyan, Magenta, Yellow)

- Описывает отраженные цвета;
- Область применения - полиграфия;
- Шаблон состоит из трех цветов: голубого, пурпурного и желтого — «Триада печати». Эти цвета получаются путем вычитания основных цветов шаблона RGB из белого. На практике в модель включен и 4-й цвет - черный K(Black);
- Модель субтрактивна, то есть при смешивании двух цветов результат будет темнее, чем оригинал;
- Модель также зависит от аппаратного обеспечения — распечатки будут выглядеть по-разному на разных устройствах.



3.1.3. Модель YIQ

Эта модель представляет собой перекодировку модели RGB, установленной в 1953 году NTSC, целью которой было согласование передачи цветных изображений с черно-белыми.

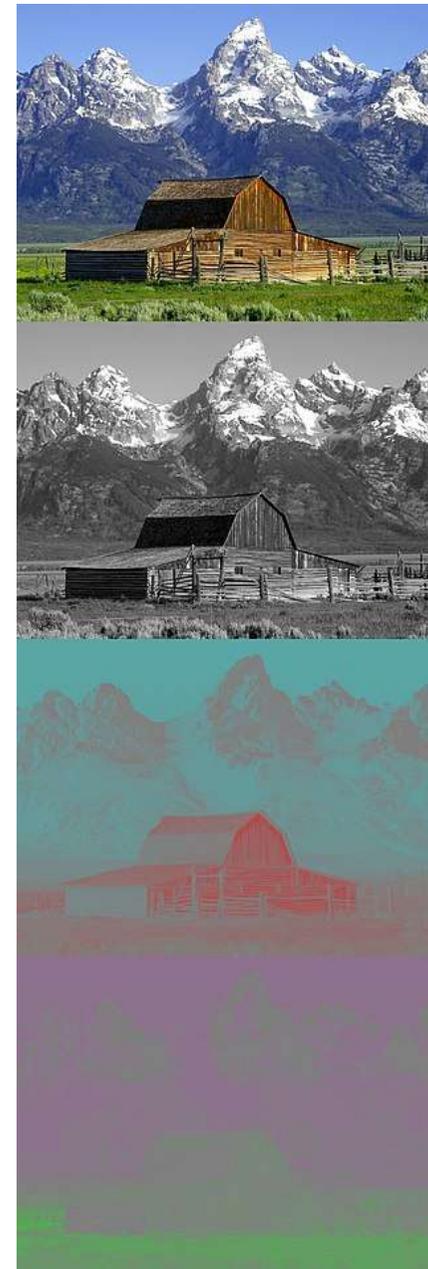
Цветовое подпространство в этой модели представляет собой выпуклый многогранник относительно трехмерной декартовой системы, который применяется к кубу RGB путем обратного преобразования:

$$|Y| \quad |0.299 \ 0.587 \ 0.114| \quad |R|$$

$$|I| = |0.596 \ -0.274 \ -0.322| \quad |G|$$

$$|Q| \quad |0.211 \ -0.523 \ 0.312| \quad |B|$$

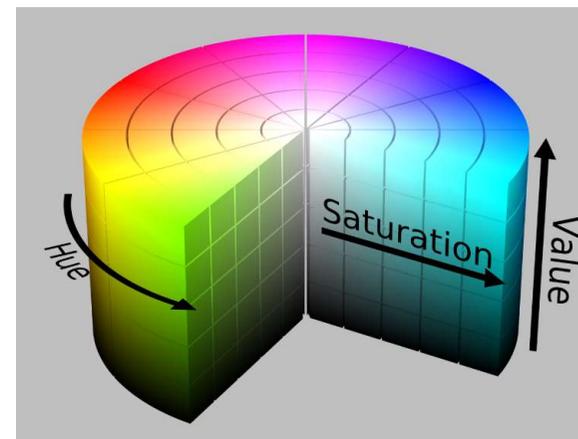
Задав цвета в модели YIQ, можно избежать важной телевизионной проблемы: два разных цвета в модели RGB могут одинаково отображаться на черно-белом экране. Проблема устраняется за счет того, что два цвета, которые различает глаз, будут иметь разные значения яркости, представленные компонентом Y, и, следовательно, на черно-белом экране будут отображаться с разной интенсивностью. Модель основана на том факте, что зрительная система более чувствительна к изменениям яркости, чем к изменениям оттенка или насыщенности, которые представлены в этой модели компонентами I и Q. Поэтому сигналу Y выделена большая часть ширины спектра. Пропорции основных цветов в системе NTSC определялись таким образом, чтобы получить стандартную кривую яркости. Поскольку информация о яркости содержится в компоненте Y, черно-белые телевизоры используют только этот сигнал.



3.1.4. Модель HSV (оттенок, насыщенность, значение) (Hue, Saturation, Value)

Указание цветов в моделях RGB и CMY может быть затруднено для пользователей графических систем. Художники определяют цвета оттенками, насыщенностью и тонами. Начиная с чистого пигмента, художник добавляет белый, чтобы получить оттенок, черный, чтобы получить насыщенность, черный и белый, чтобы получить тона цвета.

Модель HSV, созданная Смитом, использует понятия оттенок, насыщенность и значение. Основание гексагона соответствует цветам максимальной интенсивности ($V = 1$). Оттенок определяется углом поворота вокруг вертикальной оси, нулевой угол соответствует красному цвету. Дополнительные цвета расположены под углом 180 градусов друг к другу в зависимости от гекса. Насыщенность определяется расстоянием от оси шестигранника до краев шестигранника при всех значениях V . Оно изменяется от нуля на оси до 1 на боковых гранях шестигранника. Сочетание только двух основных цветов дает цвет с максимальной насыщенностью, но смесь, в которой все три основных цвета отличны от нуля, не может дать цвет с максимальной насыщенностью. Комбинация ($S = 0, V = 1$) соответствует белому цвету, а ($S = 0, 0 \leq V \leq 1$) представлены уровни серого. При $S = 0$ значение H не имеет значения. Чистые цвета представлены $V = 1$ и $S = 1$.



3.1.4. Модель HSV (оттенок, насыщенность, значение) (Hue, Saturation, Value)

H, S и V соответствуют элементам цветовой системы художника. Таким образом, выбор чистого пигмента для начала означает выбор H (оттенка). Добавление белого означает уменьшение S (насыщенности). Добавление черного означает уменьшение V (значения). Различные тона получаются при уменьшении V и S.

Каждая постоянная плоскость V в пространстве HSV соответствует представлению вложенного куба в кубе RGB. Главная диагональ куба RGB становится главной осью в пространстве HSV. Эта интерпретация приводит к следующим двум алгоритмам преобразования между моделями RGB и HSV:

RGB → HSV

Считаем, что:

$$H \in [0, 360]$$

$$S, V, R, G, B \in [0, 1]$$

Пусть *MAX* — максимальное значение из *R*, *G* и *B*, а *MIN* — минимальное из них.

$$H = \begin{cases} \text{не определено, если } MAX = MIN \\ 60 \times \frac{G - B}{MAX - MIN} + 0, \text{ если } MAX = R \text{ и } G \geq B \\ 60 \times \frac{G - B}{MAX - MIN} + 360, \text{ если } MAX = R \text{ и } G < B \\ 60 \times \frac{B - R}{MAX - MIN} + 120, \text{ если } MAX = G \\ 60 \times \frac{R - G}{MAX - MIN} + 240, \text{ если } MAX = B \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0, \text{ если } MAX = 0; \\ 1 - \frac{MIN}{MAX}, \text{ иначе} \end{cases}$$

$$V = MAX$$

HSV → RGB

Для любых оттенков $H \in [0, 360]$, насыщенности $S \in [0, 100]$ и яркости $V \in [0, 100]$:

$$H_i = \left\lfloor \frac{H}{60} \right\rfloor \bmod 6$$

$$V_{min} = \frac{(100 - S) * V}{100}$$

$$a = (V - V_{min}) * \frac{H \bmod 60}{60}$$

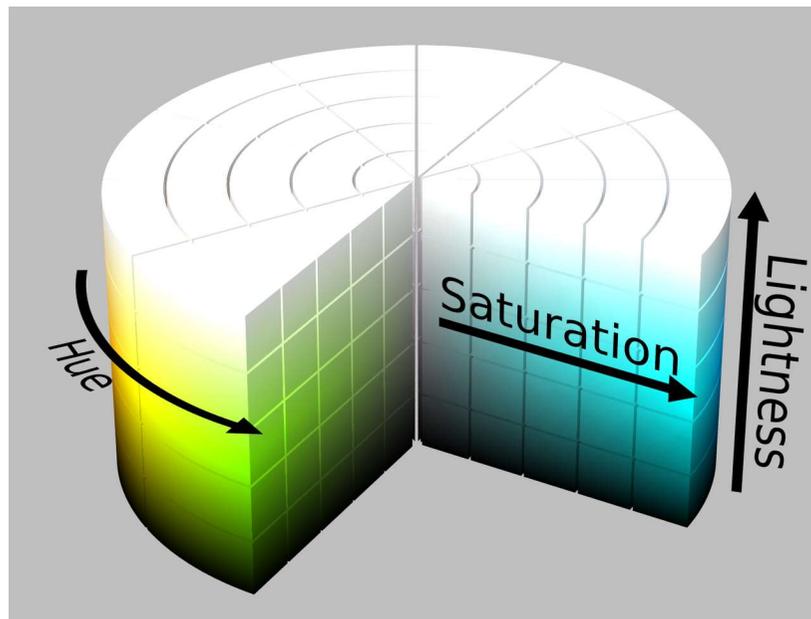
$$V_{inc} = V_{min} + a$$

$$V_{dec} = V - a$$

H_i	R	G	B
0	V	V_{inc}	V_{min}
1	V_{dec}	V	V_{min}
2	V_{min}	V	V_{inc}
3	V_{min}	V_{dec}	V
4	V_{inc}	V_{min}	V
5	V	V_{min}	V_{dec}

3.1.5. Модель HLS (оттенок, яркость, насыщенность) (Hue, Lightness, Saturation)

Модель используется фирмой Tektronix. Цветовое подпространство имеет форму двойного шестиугольника (рис. HLS). Компоненты H и S определены как в модели HSV. В этой модели основные цвета с максимальной насыщенностью и их дополнения представлены $S = 1$, $L = 0,5$. Преобразование RGB-HLS и обратно выполняется на основе алгоритмов преобразования RGB-HSV и HSV-RGB.



3.2. Интерполяция в цветовом пространстве

Существует несколько методов освещения 3D-сцен, основанных на интерполяции цветов. Например, расчет интенсивности в модели Гуро, расчет освещенности в точке прозрачной поверхности и другие. Результат интерполяции между двумя цветами зависит от цветового шаблона, в котором они указаны. Таким образом, результат интерполяции в любой из моделей RGB, CMY и YIQ будет одинаковым, поскольку преобразования между этими моделями являются аффинными преобразованиями. Вместо этого результат интерполяции HSV или HLS будет отличаться от результата интерполяции RGB.

Пусть в модели RGB заданы два цвета: $C1 = (1,0,0)$ и $C2 = (0,1,0)$. Мы интерполируем их с равными весами в моделях RGB и HSV:

а) В модели RGB:

$C = t * C2 + (1-t) * C1$, где $t = 0,5$, получается

$C = (0,5, 0,5, 0)$, что при преобразовании в HSV дает нам $(60, 1, 0,5)$

б) В модели HSV:

$C1$ представлен в HSV $(0, 1, 1)$ и

$C2$ через $(120, 1, 1)$

$C = 0,5 * (0,1,1) + 0,5 * (120,1,1) = (60, 1, 1)$

Таким образом, цвета, полученные в двух случаях, различны.

Выбор модели интерполяции зависит от желаемого результата. Например, если вы хотите интерполировать два цвета с определенным оттенком (или насыщенностью), сохраняя при этом один и тот же оттенок (насыщенность) для всех интерполируемых цветов, следует выбирать модель HSV или HLS.

3.3. Цветовое кодирование

При описании растрового изображения его цвет определяется для каждой точки в соответствии с выбранным цветовым шаблоном.

Глубина цвета изображения, т. е. максимальное количество цветовых оттенков, определяется количеством битов, выделенных для описания цвета каждого пикселя.

Рассмотренные цветовые модели являются 24-битными. Таким образом для каждого пикселя выделяются минимум по 8 бит или 256 делений для каждого из трех цветовых компонентов. Таким образом, максимальное количество цветовых оттенков составляет $16\,777\,216$.

Современные видеокарты работают с 32-битным цветовым пространством, а некоторые модели используют и 48-битное. Это значительно превышает цветовой охват всех реальных устройств и технологий воспроизведения цветной графики, кроме аналоговой фотографии.

Возможны два случая цветового кодирования:

Кодирование оттенков серого

Индексированное цветовое кодирование.

3.3. Цветовое кодирование

Изображение в градациях серого — это изображение, которое не содержит информации о цветовом тоне.

При описании такого изображения в RGB все три значения компонентов цвета равны:

RGB 0, 0, 0 — черный

RGB 128, 128, 128 — 50 % серого

RGB 255, 255, 255 — белый



Для кодирования такого изображения без потерь достаточно 8 бит на каждый оттенок. То есть максимальное количество оттенков серого в таком изображении — 256.

Для других цветовых моделей (CMYK, HSx, Lab) правило равнозначности компонентов цвета не соблюдается.

В моделях HSx и Lab изменяются только компоненты яркости (x и L), а остальные равны 0.

В модели CMYK значения компонентов M и Y равны между собой и всегда ниже значения компонента C.

3.3. Цветовое кодирование

Цветовое кодирование выполняется с использованием фиксированной цветовой палитры.

Количество цветовых оттенков в изображении от 2 до 256.

Все используемые цвета описаны в палитре (индексированы) в соответствии с выбранным цветовым образцом.

При кодировании изображения соответствующий номер цвета (индекс) в палитре указывается как цветовой признак каждого пикселя.

Этот тип кодирования вносит значительные искажения в цветное пространство изображения.

Для уменьшения искажения цвета в процессе индексации используются следующие подходы:

Адаптивный подбор цветов в палитре, согласно преобладающим оттенкам на изображениях.

Дизеринг — цвет, которого нет в поле, аппроксимируется диффузией пикселей в цветовой палитре.



ВОПРОСЫ