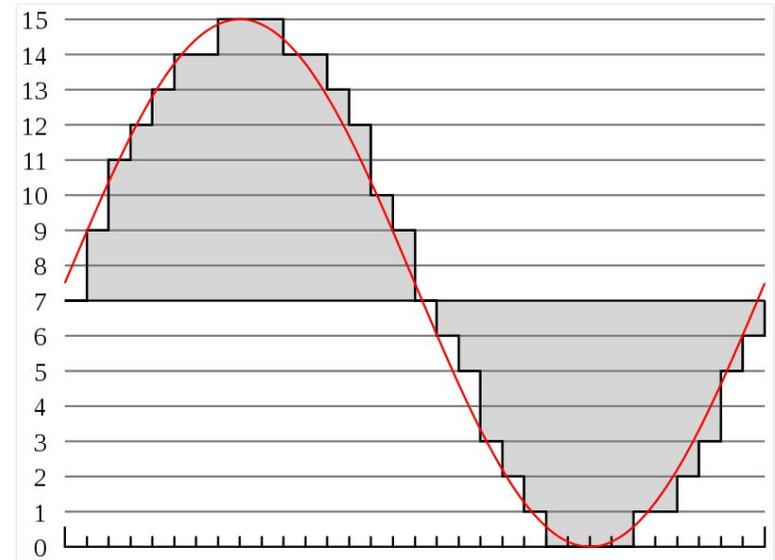
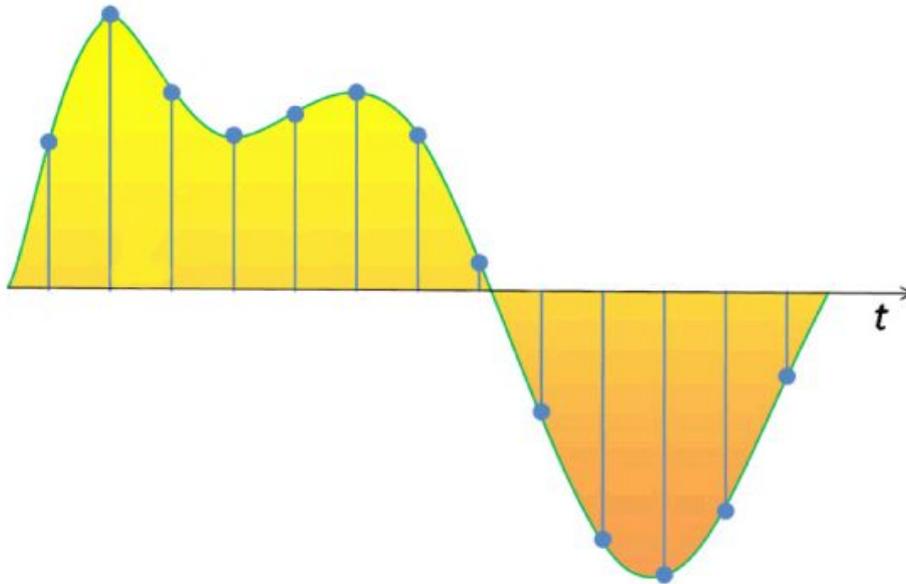


**Цвет**

## Sampling & Quantization

- *Дискретизация сигнала – разбиение непрерывного сигнала на «выборки» (**sampling**, *sampling rate*)*
- *Квантование выборки – кодирование аналогового сигнала в дискретные величины (**quantization**)*



# Sampling & Quantization

При оцифровке сигнала  $x(t)$  производятся две операции - дискретизация и квантование. Дискретизация -- это замена сигнала  $x(t)$  с непрерывным временем  $t$  на дискретизованный сигнал -- последовательность чисел  $x(t_i)$  для дискретного набора моментов времени  $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots$  (чаще всего интервалы между моментами времени  $\Delta t = t_i - t_{i-1}$  берутся одинаковыми). При дискретизации, конечно, часть информации о сигнале теряется. Но если сигнал  $x(t)$  за время  $\Delta t$  не сильно изменяется, числа  $x(t_i)$  и  $x(t_{i-1})$  близки друг к другу, то поведение  $x(t)$  между временами  $t_i$  и  $t_{i-1}$  нетрудно восстановить (сигнал практически линейно изменяется во времени от  $x(t_{i-1})$  до  $x(t_i)$ ). При дискретизации мы теряем частотные составляющие сигнала с частотами порядка  $f > 1/\Delta t$  и выше.

При дискретизации время из аналогового как бы становится цифровым -- моменты времени  $t_i$  можно нумеровать, кодировать. Производится замена непрерывного времени  $t$  на нечто, которое может принимать не все значения, а только некоторые, а именно  $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots$ . Квантование сигнала -- это нечто похожее, только данная процедура производится не со временем, а со значением сигнала  $x$ . Выбирается некий набор возможных значений сигнала  $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$  и каждому  $x(t_i)$  сопоставляется ближайшее число из этого набора.

Приведем конкретный пример дискретизации и квантования:

Пусть сигнал  $x(t)$  такой, что  $x(t) = \sqrt{t}$ , шаг дискретизации  $\Delta t = 0.1$  (т.е. набор моментов времени  $t = 0, 0.1, 0.2, \dots$ ), значение сигнала  $x$  мы будем записывать с точностью до одной сотой (т.е. набор значений сигнала  $x = 0, \pm 0.01, \pm 0.02, \dots$ ). После дискретизации сигнала получим

$x = 0.$	0.3162...	0.4472...	0.5477...	0.6324...	...
$t = 0$	0.1	0.2	0.3	0.4	...

Учитывая точность хранения значений  $x$ , после квантования получаем

$x = 0.$	0.32...	0.45...	0.55...	0.63...	...
$t = 0$	0.1	0.2	0.3	0.4	...

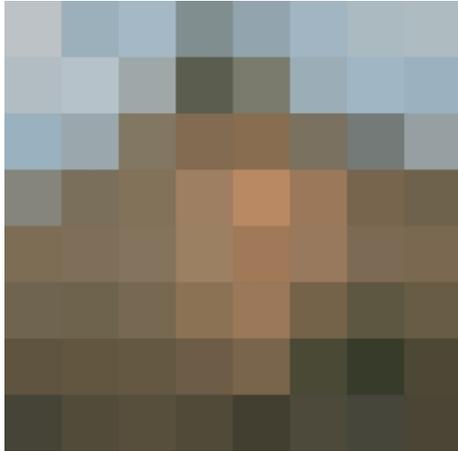
При дискретизации мы теряем высокие ( $f > 1/\Delta t$ ) частоты сигнала, при квантовании мы теряем маленькие (меньше  $\Delta x = x_n - x_{n-1}$ ) изменения сигнала. Кроме того, получившийся после квантования сигнал  $x_n(t_i)$  отличается от реального (но уже дискретизованного) сигнала  $x(t_i)$  на величину порядка шага квантования (или кванта)  $\Delta x$ . Это различие носит название шума квантования, и оно принципиально неустранимо.

Для примера, описанного выше, имеем

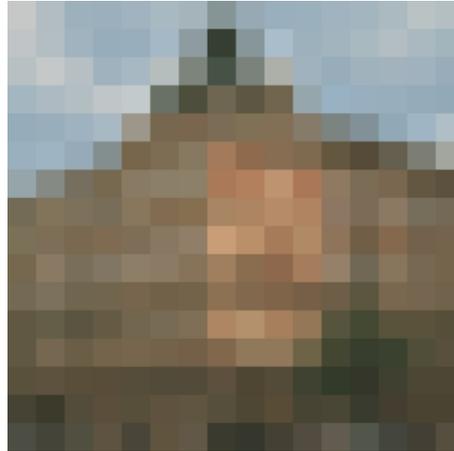
$x(t_i) =$	0.	0.3162...	0.4472...	0.5477...	0.6324...	...
$x_n(t_i) =$	0.	0.32...	0.45...	0.55...	0.63...	...
$t_i =$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	...

шум квантования  $\approx 0.$  0.00377 0.00279 0.00228 -0.00246 ...

# Sampling (разрешение)



8x8



16x16



32x32



64x64



128x128



256x256

# Quantization (глубина цвета)



2 цвета



3 цвета



4 цвета



8 цветов



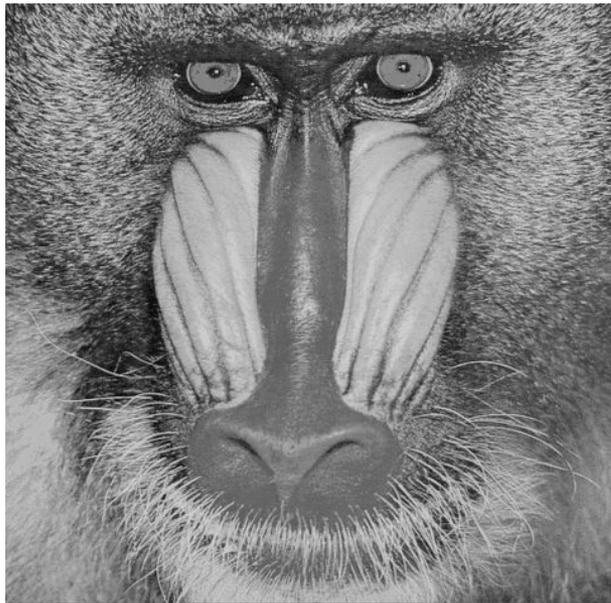
16 цветов



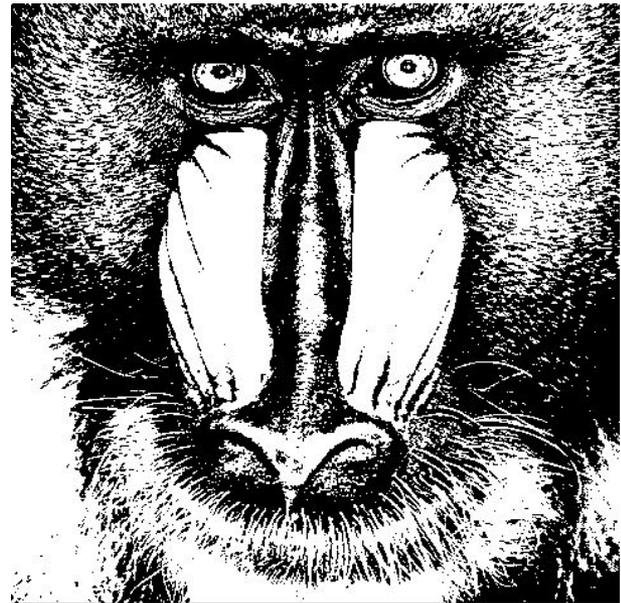
256 цветов

# Fixed Thresholding

```
if (Img(x, y) > Threshold)
    color = 1;
else
    color = 0;
```



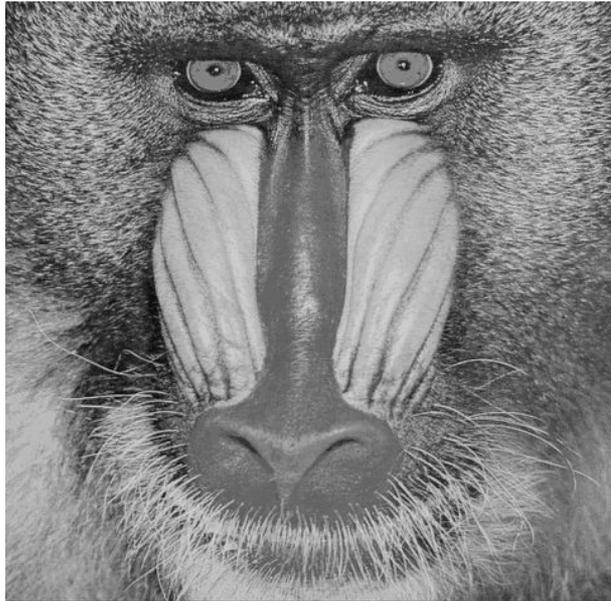
оригинал



порог = 128

# Random Thresholding

```
if (Img(x, y) > rand() % 255)  
    color = 1;  
else  
    color = 0;
```

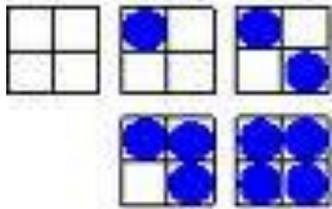


оригинал

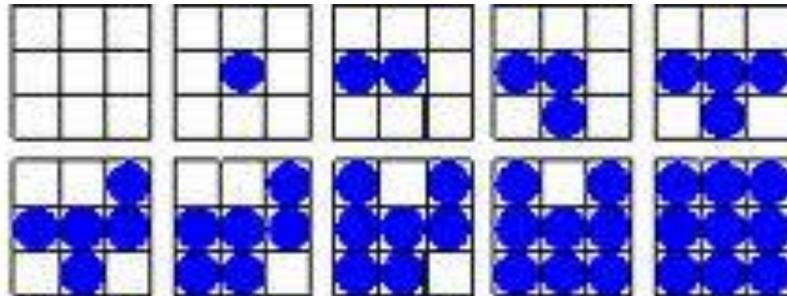


«случайный» порог

# Patterning



5 уровней  
(2x2)



10 уровней  
(3x3)

# Ordered Dither

0 2

3 1

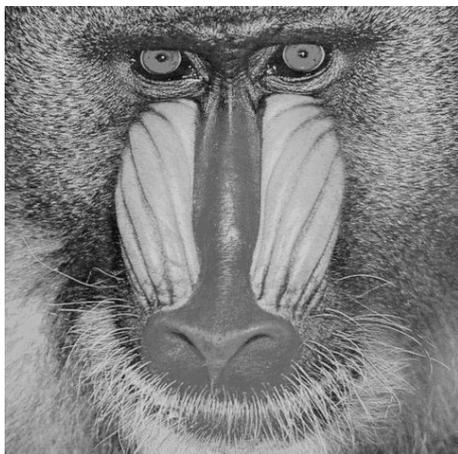


0	2	0	2		
3	1	3	1		
0	2	0	2		
3	1	3	1		

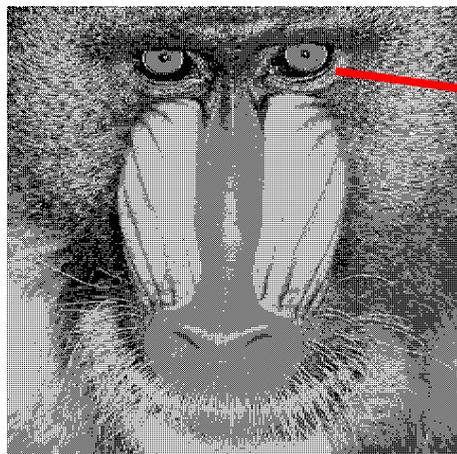
экран  
заполняется  
матрицами

```
int M_2x2[2][2] =
{
    {0, 2},
    {3, 1}
};

if (Img(x, y) * 5 / 256 > M_2x2[y % 2][x % 2])
    color = 1;
else
    color = 0;
```



оригинал



матрица 2x2

увеличенный  
фрагмент

## Метод Байера получения матриц смешивания

```

int M2[2][2] =      int M4[4][4] =
{
    {0, 2},
    {3, 1}
};
                    { 0,  8,  2, 10},
                    {12,  4, 14,  6},
                    { 3, 11,  1,  9},
                    {15,  7, 13,  5},
                    };

-----

for (i = 0; i < 4; i++)
    for (j = 0; j < 4; j++)
    {
        M2n[0 + i][0 + j] = Mn[i][j] * 4 + 0;
        M2n[0 + i][4 + j] = Mn[i][j] * 4 + 2;
        M2n[4 + i][0 + j] = Mn[i][j] * 4 + 3;
        M2n[4 + i][4 + j] = Mn[i][j] * 4 + 1;
    }

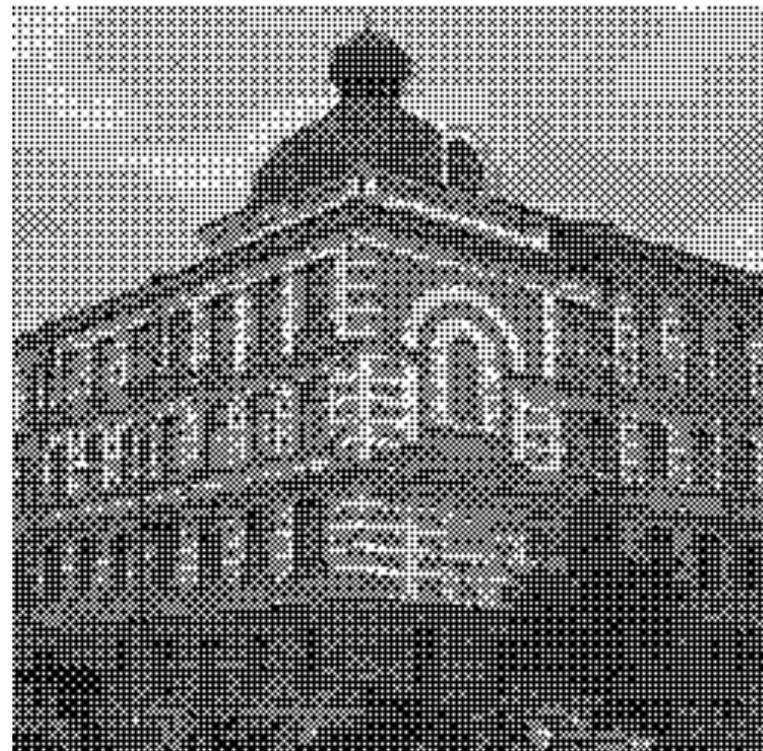
```

Метод формирования полутоновых изображений путем пороговой обработки исходного изображения. Выбор порогов осуществляется с помощью матрицы со случайным набором порогов. Ее использование позволяет создать эффект “черепичной крыши”, что улучшает визуальное восприятие двухуровневых изображений.

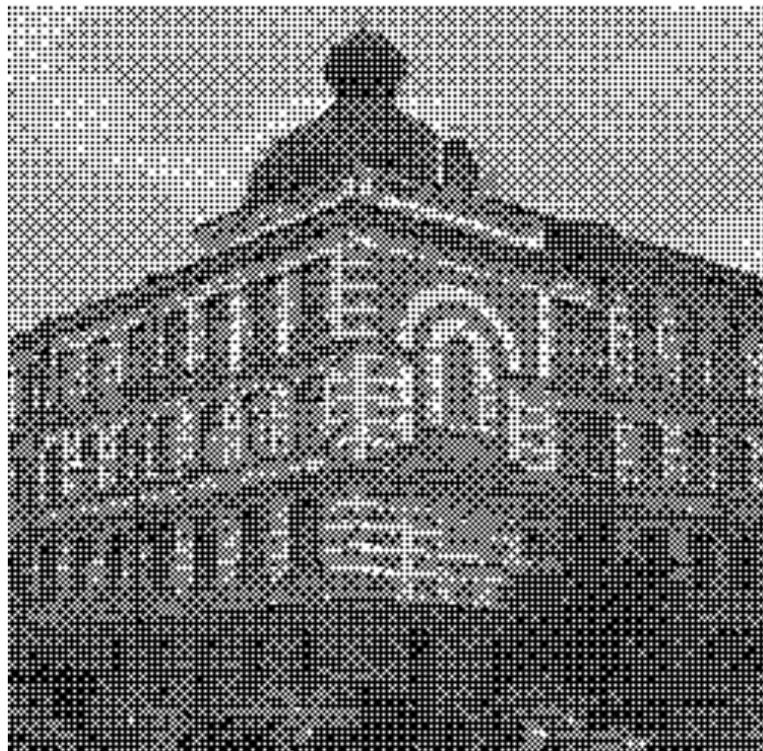
# Примеры матриц Байера



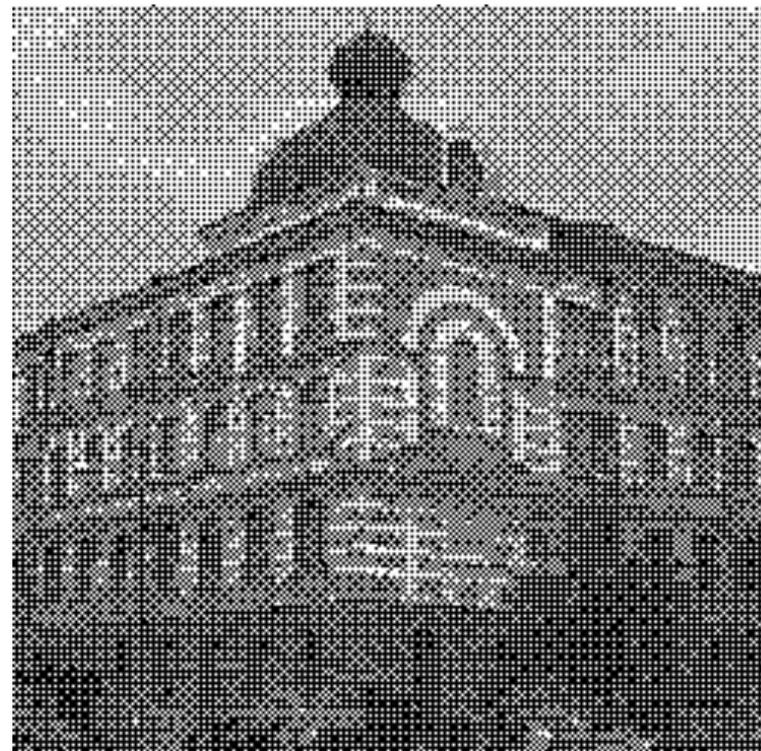
2x2



4x4

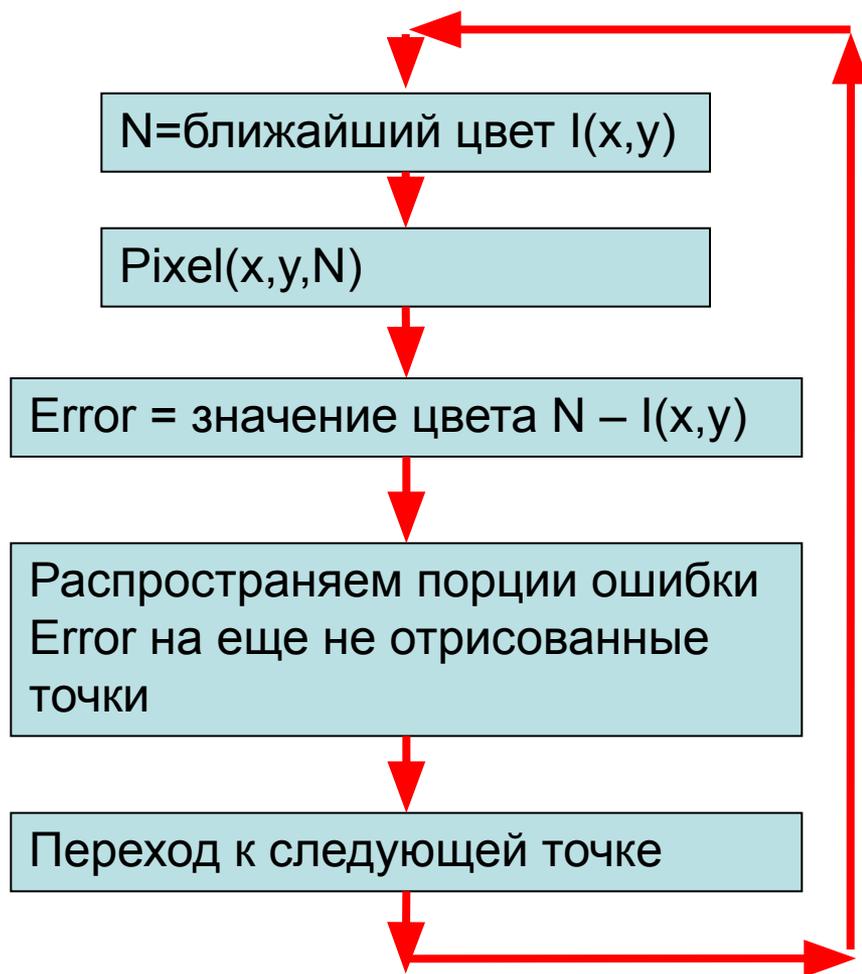


8x8



16x16

# Error Diffusion: алгоритм Флойда-Стейнберга



	*	7
3	5	1

1/16



## Error Diffusion: примеры фильтров

*	3
3	2

False Floyd-Steinberg

1/8

		*	7	5
3	5	7	5	3
1	3	5	3	1

Jarvice, Judice, Ninke

1/48

		*	8	4
2	4	8	4	2
1	2	4	2	1

Stucki

1/42

		*	8	4
2	4	8	4	2

Burkes

1/32

Frankie Sierra

		*	5	3
2	4	5	4	2
	2	3	2	

1/32

		*	4	3
1	2	3	2	1

1/16

	*	2
1	1	

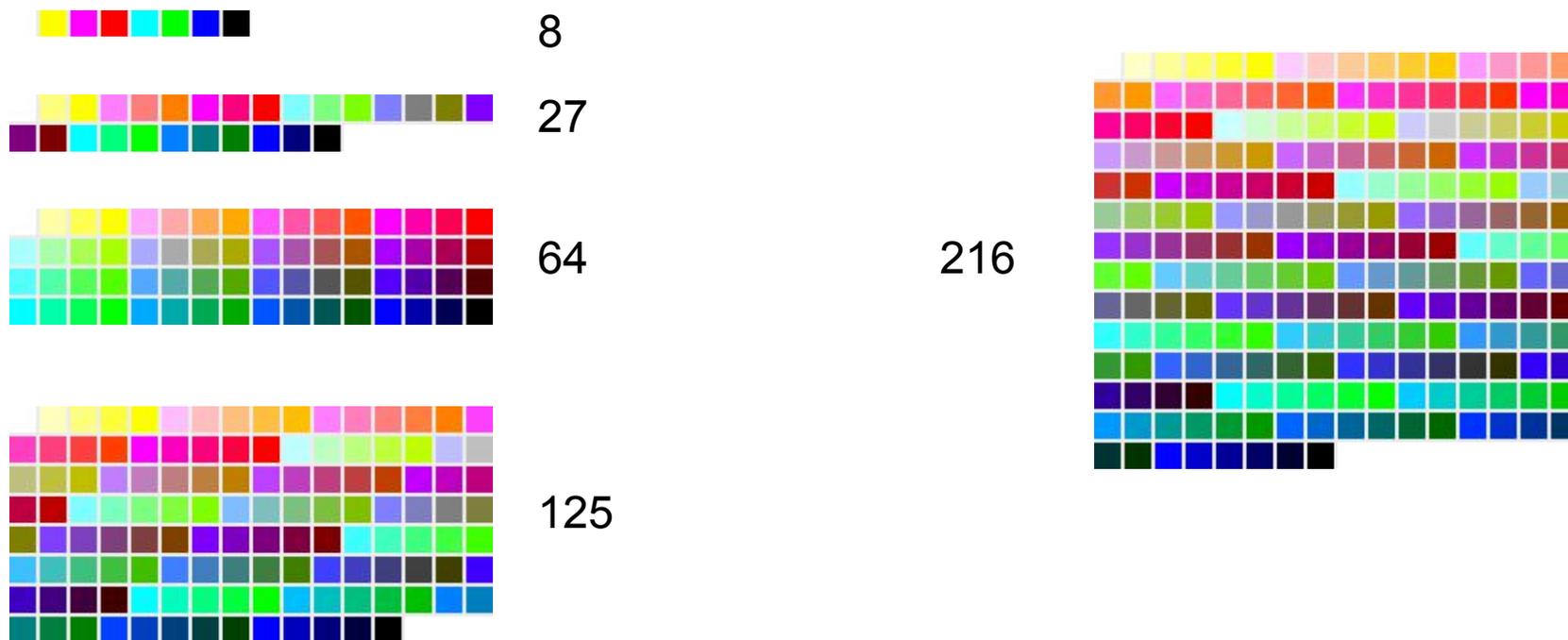
1/4

Подбор цвета: uniform palette

Универсальная палитра для любых изображений:

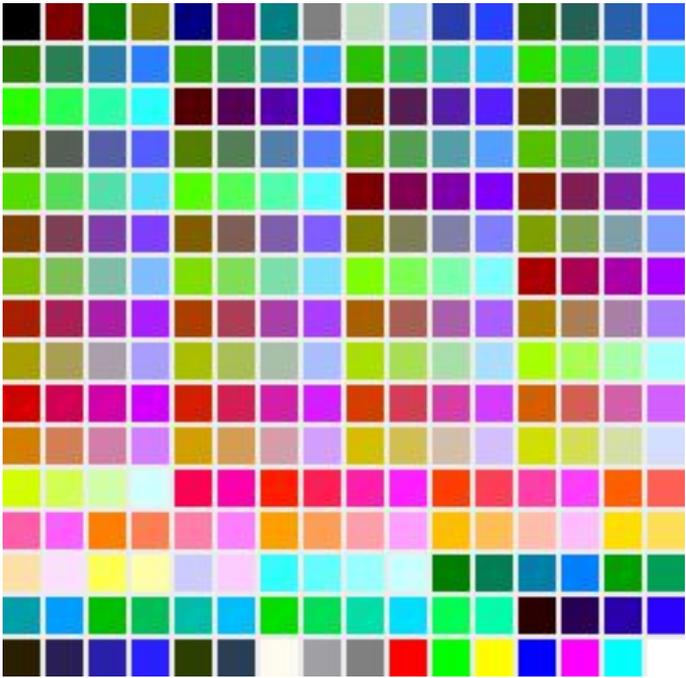
цвет задается по RGB каналам:

$$\text{ColorNo} = B + \text{SizeB} * (G + \text{SizeG} * R)$$



# Подбор цвета: OS palette

Используются в индексированных графических режимах

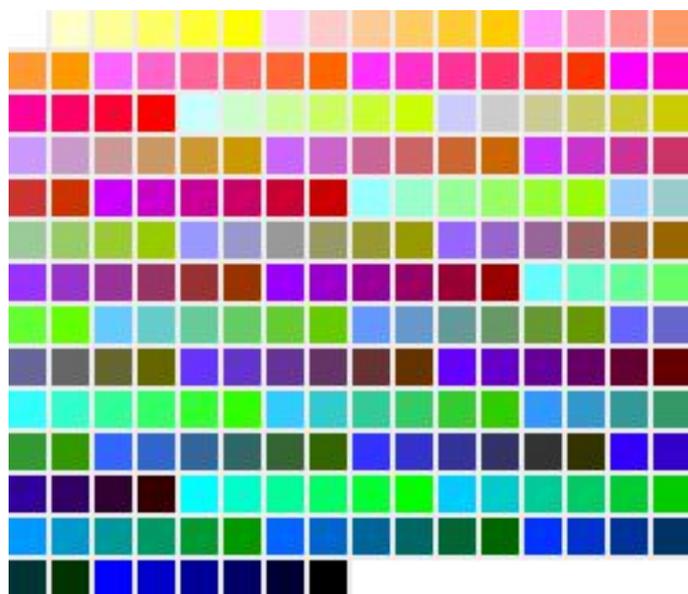


MS Windows

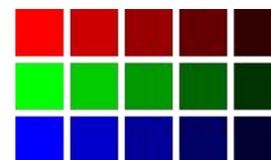


Mac OS

# Подбор цвета: WEB & safe palette

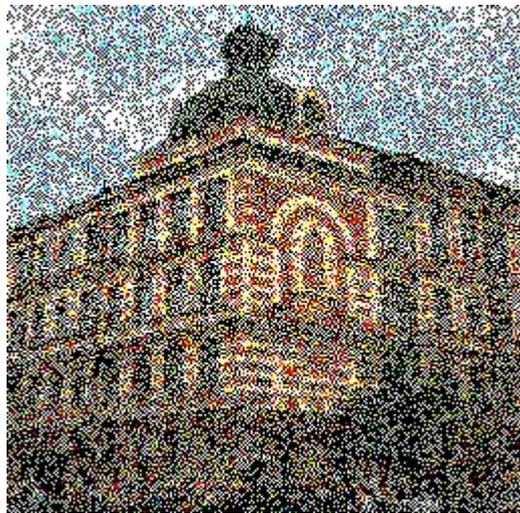


WEB палитра

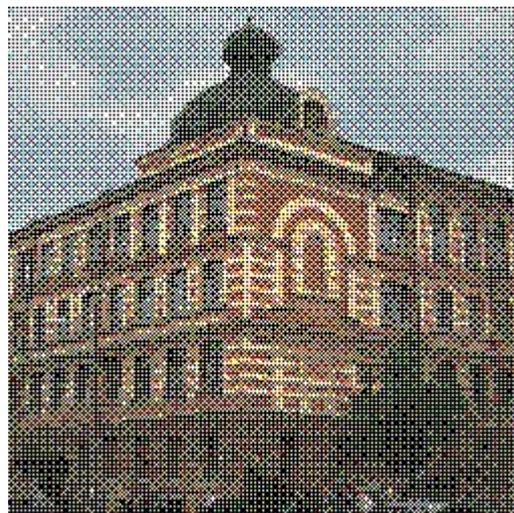


оттенки по каналам  
шаг: 0-51-102-163-204-255

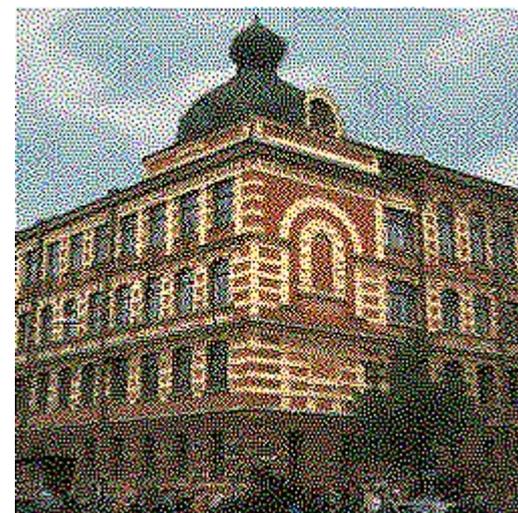
# Пример разных методов



random threshold



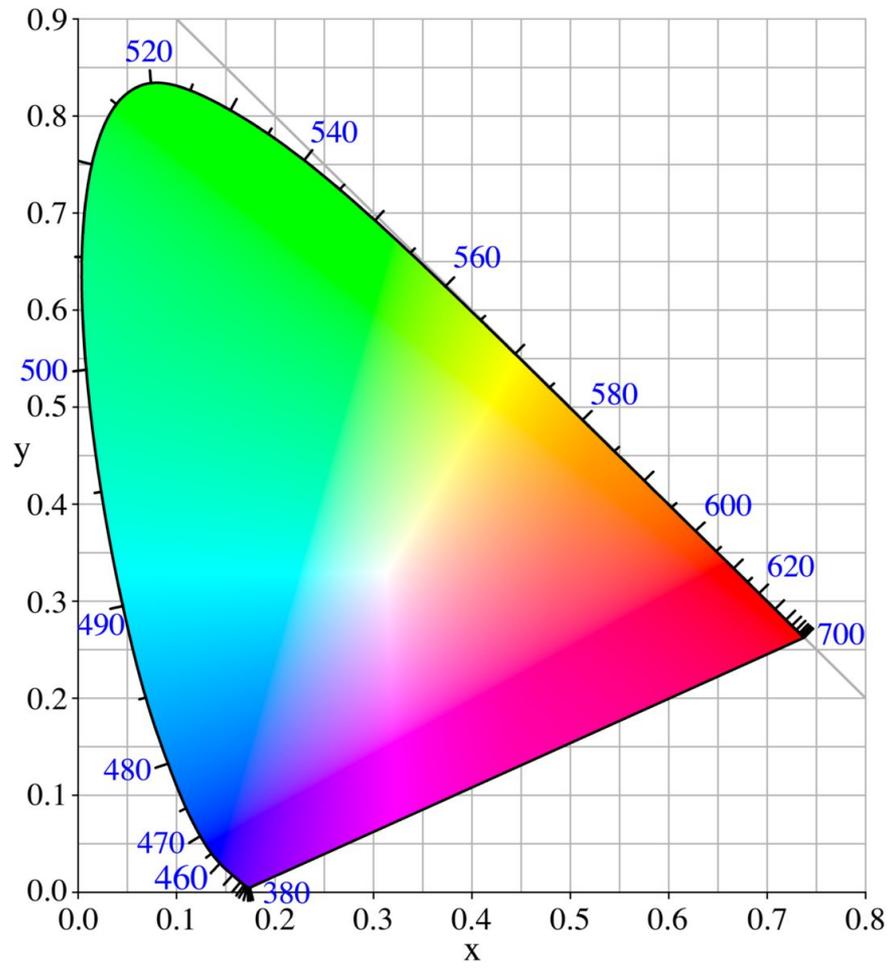
ordered dither



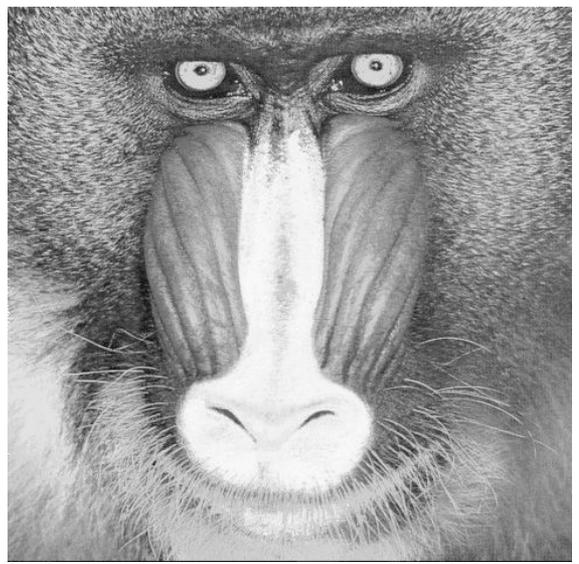
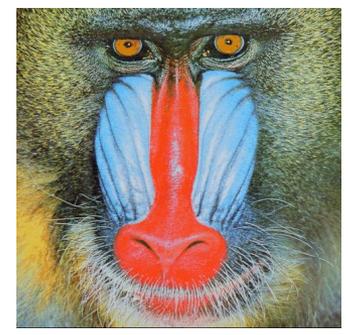
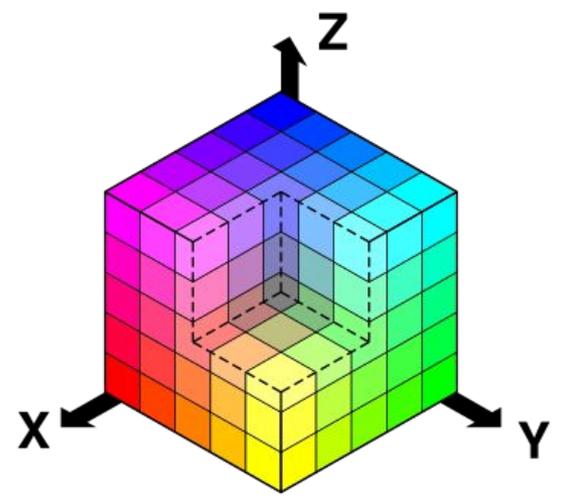
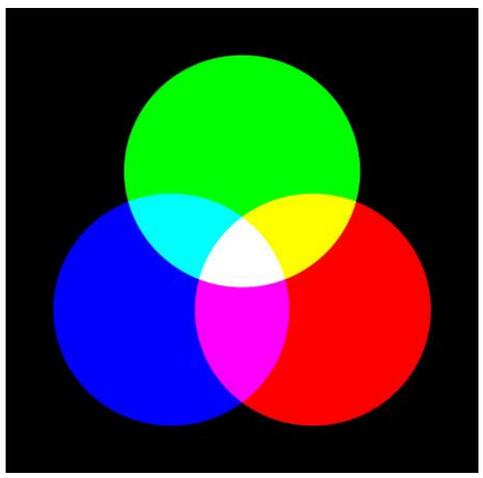
error diffusion

# График МКО

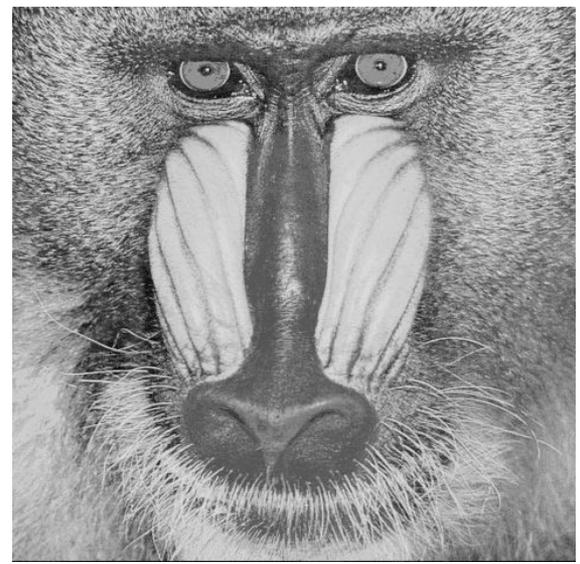
Международная Комиссия по Освещенности (Commission internationale de l'éclairage - CIE)



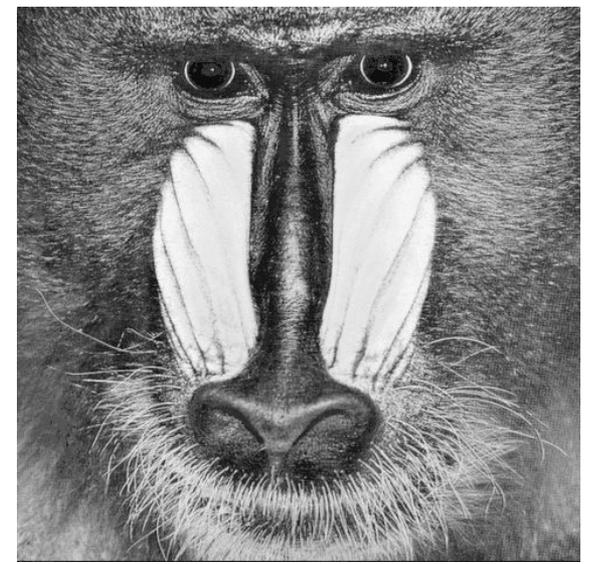
# RGB



red

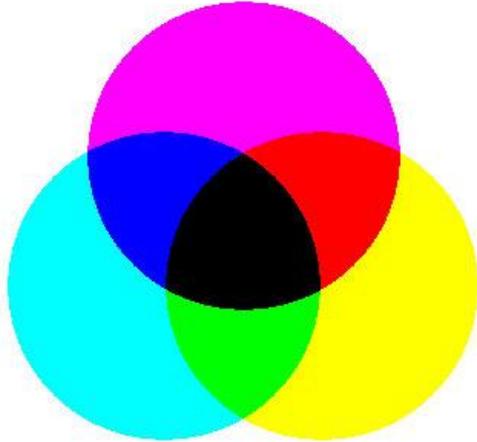


green



blue

# CMYK



RGB2CMYK:

```

C = 1.0 - R;
M = 1.0 - G;
Y = 1.0 - B;
K = min(C, M, Y);
C = C - K;
M = M - K;
Y = Y - K;

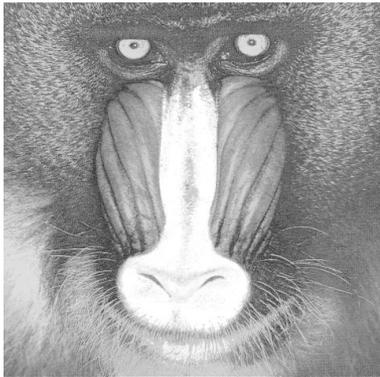
```

CMYK2RGB:

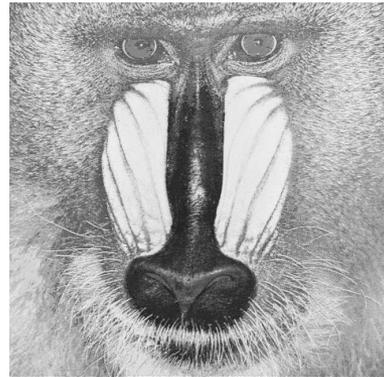
```

R = 1.0 - min(1.0, C + K);
G = 1.0 - min(1.0, M + K);
B = 1.0 - min(1.0, Y + K);

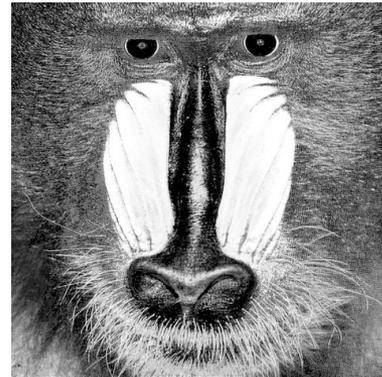
```



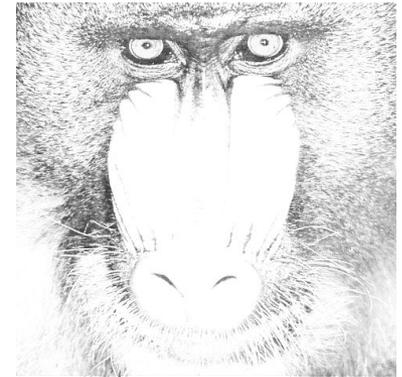
cyan



magenta

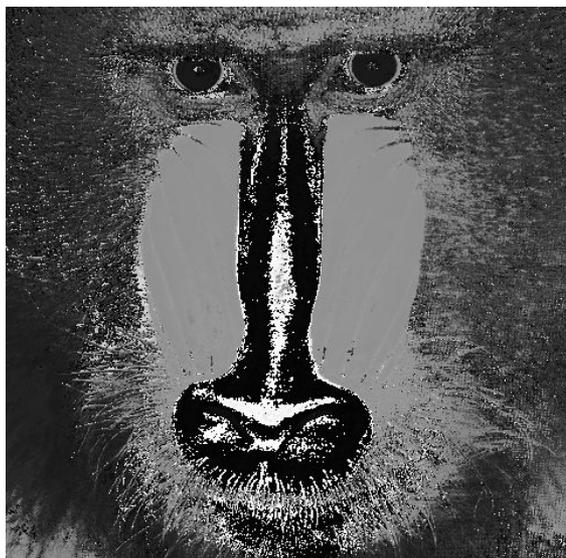
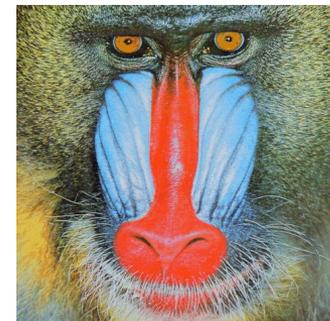
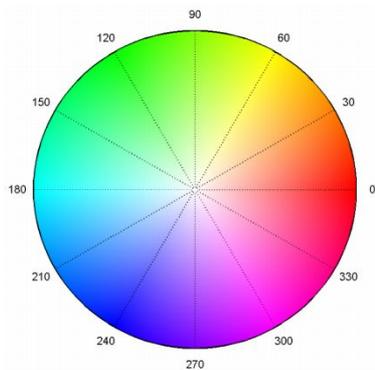
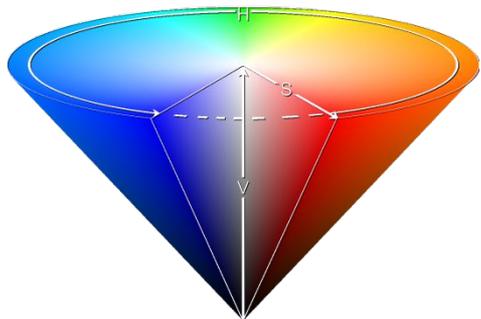


yellow

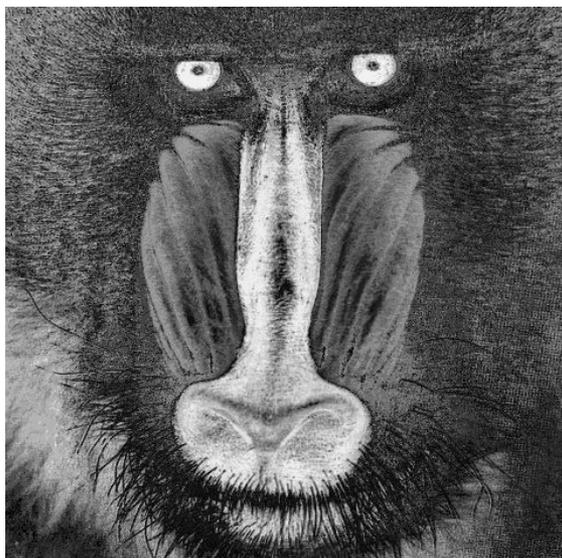


black

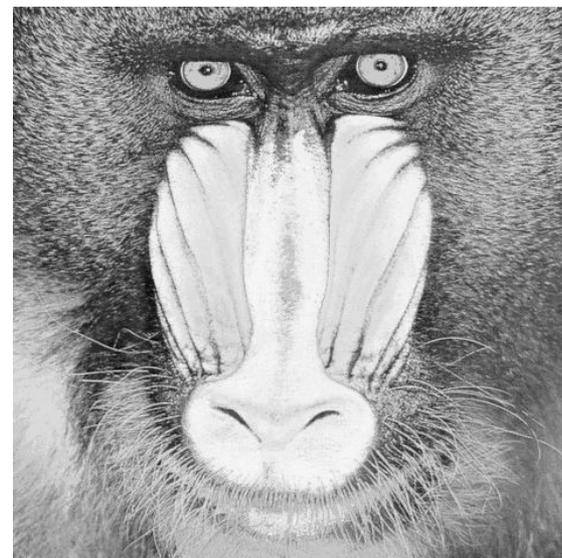
# HSV (тон, насыщенность, яркость)



hue



saturation



value

## HSV conversion

## HSV2RGB:

```

if (S == 0)
    return <V, V, V>;
else
{
    H = H / 60.0;
    n = (int)H;
    frac = H - n;
    c1 = V * (1.0 - S);
    c2 = V * (1.0 - S * frac);
    c3 = V * (1.0 - S * (1.0 - frac));
    if (n == 0)
        return <V, c3, c1>;
    if (n == 1)
        return <c2, V, c1>;
    if (n == 2)
        return <c1, V, c3>;
    if (n == 3)
        return <c1, c2, V>;
    if (n == 4)
        return <c3, c1, V>;
    if (n == 5)
        return <V, c1, c2>;
}

```

## RGB2HSV

```

maxc = max(R, G, B);
minc = min(R, G, B);
delta = maxc - minc;

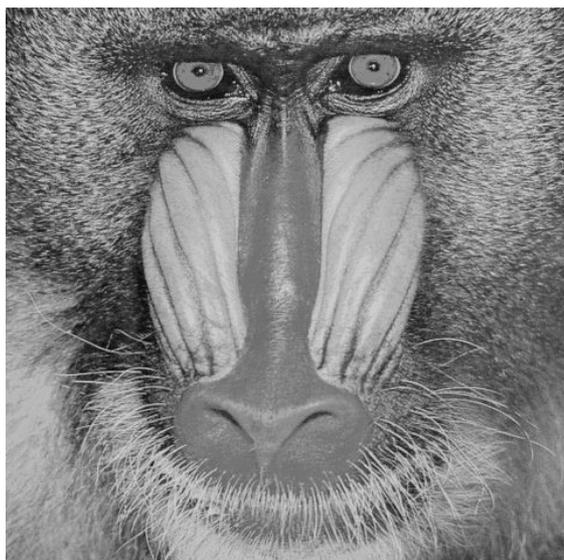
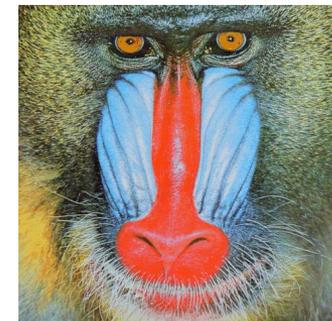
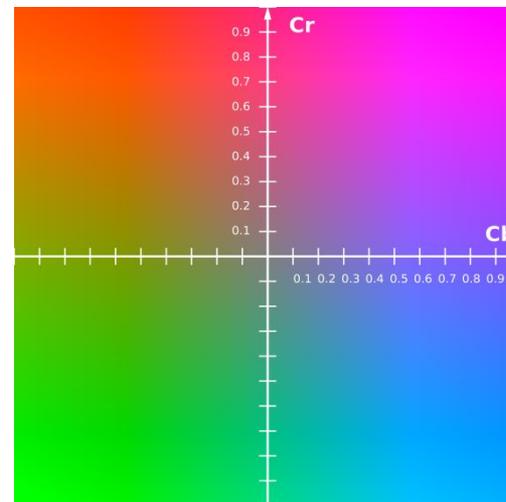
S = 0;
if (maxc > 0)
    S = delta / maxc;
V = maxc;
if (S == 0)
    H = 0; /* неопределено */
else
{
    rc = (maxc - R) / delta;
    gc = (maxc - G) / delta;
    bc = (maxc - B) / delta;
    if (R == maxc)
        H = bc - gc; /* Y-M */
    else if (G == maxc)
        H = 2 + rc - bc; /* C-Y */
    else
        H = 4 + gc - rc; /* M-C */
    H = H * 60.0;
}

```

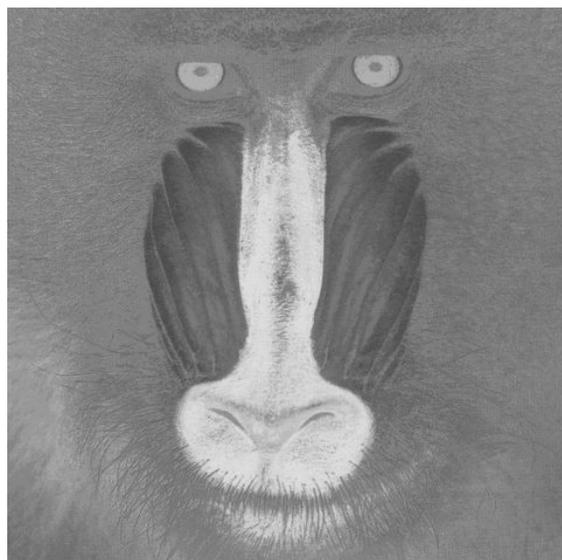
## YCrCb

$$\begin{pmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.5 & -0.4187 & -0.0813 \\ 0.1687 & -0.3313 & 0.5 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{pmatrix}$$

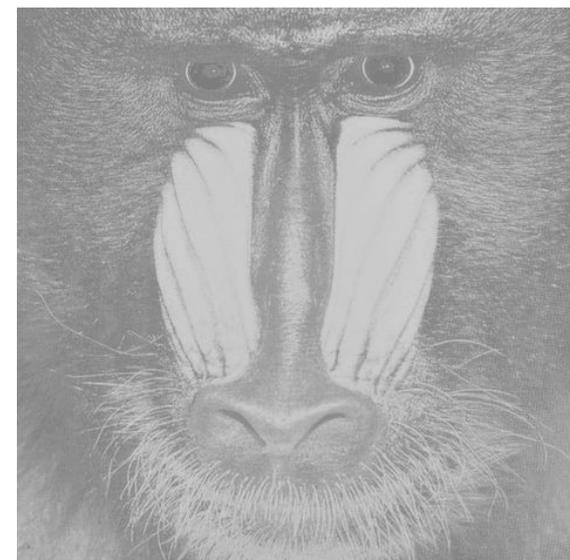
$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1402 \\ 1 & -0.34414 & -0.71414 \\ 1 & 1.772 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} Y \\ Cb - 128 \\ Cr - 128 \end{pmatrix}$$



Y



Cr



Cb

## Коррекция цвета

- LUT: `Color = LUT[Color]` ;
- Гамма коррекция, контрастность, яркость

$$I_{вых} = I_{вх}^{\frac{1}{\gamma}}$$

