

## Компьютерная обработка изображений

Лекция 7: Изменение яркости и контраста. Повышение резкости.

Сафонов И.В., Крыжановский К.А., Егорова М.А.

2011

1

### Яркость и контраст

Яркостью в обработке изображений называют значение пиксела (уровень сигнала) полутоновой версии данного изображения. Соответственно изменение яркости – это добавление к значениям пиксела некоторой константы, которая может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

Контраст – это разница между самой яркой и самой темной участками изображения. В зависимости от области применения контраст определяют как отношение или как разницу минимальной и максимальной яркости в изображении.



*Изображение с нормальным контрастом*



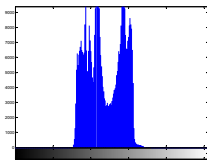
*Слабоконтрастное изображение*

2

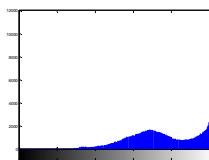
## Глобальные проблемы контраста

Глобальные проблемы контраста могут быть детектированы по глобальной гистограмме изображения. В случае слабоконтрастного изображения гистограмма не растянута на весь доступный динамический диапазон.

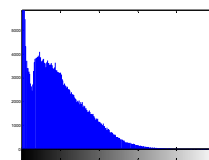
Низкий контраст



Переэкспонированное  
*overexposed*



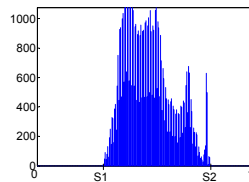
Недоэкспонированное  
*underexposed*



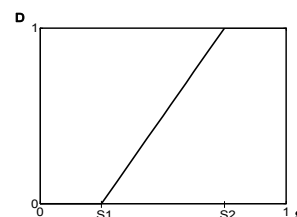
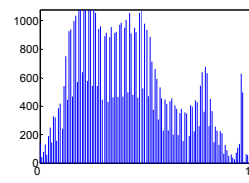
3

## Глобальная коррекция контраста

Глобальная коррекция контраста выполняется с помощью кривой (функции) преобразования (воспроизведения) уровней (*Tone Reproduction Curve, TRC*), которая преобразует значение яркости на входе в значение яркости на выходе. Простейшим вариантом TRC является пропорциональное преобразование.



$$D(r, c) = \begin{cases} 0, & S(r, c) \leq S_1; \\ \frac{S(r, c) - S_1}{S_2 - S_1}, & S(r, c) \in (S_1, S_2); \\ 1, & S(r, c) \geq S_2; \end{cases}$$



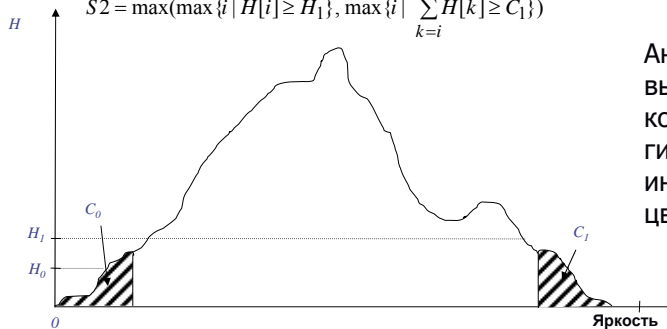
4

## Адаптивная регулировка контраста

Существует несколько достаточно простых подходов для нахождения  $S1$  и  $S2$  по гистограмме яркостей. Как правило, ищут минимальное и максимальное значение яркости, количество пикселей которых превышает пороги  $H0$  и  $H1$ , или количество пикселей светлее и темнее  $S1$  и  $S2$  соответственно превышают порог  $C0$  и  $C1$ .

$$S1 = \min(\min \{i \mid H[i] \geq H_0\}, \min \{i \mid \sum_{k=0}^i H[k] \geq C_0\})$$

$$S2 = \max(\max \{i \mid H[i] \geq H_1\}, \max \{i \mid \sum_{k=i}^{2^n-1} H[k] \geq C_1\})$$



Аналогично можно вычислить пределы для контрастирования из гистограмм интенсивностей цветовых каналов.

5

## Пример кода адаптивного контрастирования (1)

```
void AutoContrastGray(unsigned char *pbRaw, int lWidth, int lHeight, int HT, int CT)
{
    unsigned long alHist[256], lT, lSum;
    unsigned char abLUT[256];
    int i, lLeftLim, lRightLim;
    // вычисление гистограммы яркостей
    memset(alHist, 0, 256*sizeof(long));
    unsigned char *pb = pbRaw;
    for (int y = 0; y < lHeight; y++)
    {
        for (int x = 0; x < lWidth; x++)
        {
            alHist[pb[x + lWidth*y]]++;
        }
    }

    // нахождение левой границы для контрастирования
    lSum = 0;
    for (lLeftLim = 0; lLeftLim < 100; lLeftLim++)
    {
        // H0 = H1 = HT см. рис. на предыдущем слайде
        if (alHist[lLeftLim] > HT) break;
        lSum += alHist[lLeftLim];
        // C0 = C1 = CT см. рис. на предыдущем слайде
        if (lSum > CT) break;
    }
}
```

6

## Пример кода адаптивного контрастирования (2)

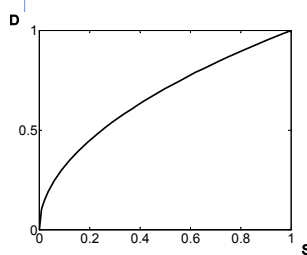
```
// нахождение правой границы для контрастирования
lSum = 0;
for (lRightLim = 255; lRightLim > 150; lRightLim--)
{
    if (alHist[lRightLim] > lT) break;
    lSum += alHist[lRightLim];
    if (lSum > lT) break;
}
// вычисление таблицы перекодировки (LUT, Look-Up Table)
for (i = 0; i < lLeftLim; i++) { abLUT[i] = (unsigned char)0; }
for (i = lLeftLim; i < lRightLim; i++)
{
    abLUT[i] = (unsigned char) (255 * (i - lLeftLim) / (lRightLim - lLeftLim));
}
for (i = lRightLim; i < 256; i++) { abLUT[i] = (unsigned char)255; }

// непосредственно контрастирование
pb = pbRaw;
for (int y = 0; y < lHeight; y++)
{
    for (int x = 0; x < lWidth; x++)
    {
        pb[x + lWidth*y] = abLUT[pb[x + lWidth*y]];
    }
}
}
```

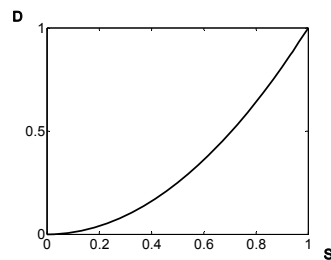
7

## Гамма-коррекция

Одним из часто используемых видов кривых преобразования уровней является гамма-коррекция.



$$D(r,c) = S(r,c)^{1/\gamma}$$



Исходное изображение



$\gamma > 1$



$\gamma = 1$



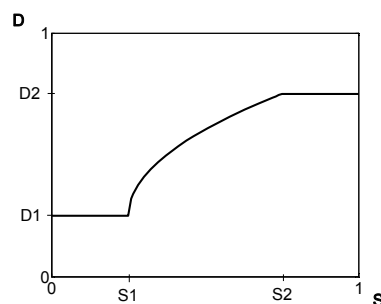
$\gamma < 1$

8

## Общий вид функции преобразования

Иногда в задачах художественного дизайна требуется понизить контраст. Ниже приведена общая формула функции преобразования уровней, которая позволяет повысить и понизить контраст, а также выполнить гамма-коррекцию.

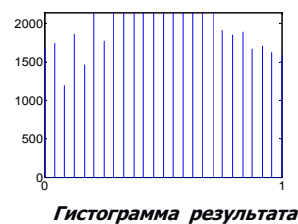
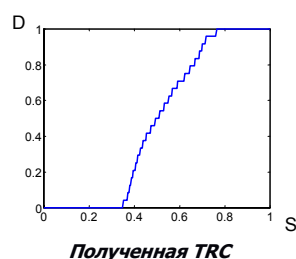
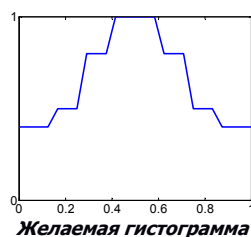
$$D(r,c) = \begin{cases} D1, & S(r,c) \leq S1; \\ \left[ \frac{S(r,c) - S1}{S2 - S1} \right]^{\gamma} \times (D2 - D1) + D1, & S(r,c) \in (S1, S2); \\ D2, & S(r,c) \geq S2; \end{cases}$$



9

## Выравнивание гистограммы

Термин выравнивание гистограммы (*histogram equalization*) объединяет группу алгоритмов, предназначенных для получения TRC, которая преобразует изображение так, чтобы его гистограмма яркостей стала похожа на заданный желаемый вид.



Исходное изображение

Выравнивание  
гистограммы



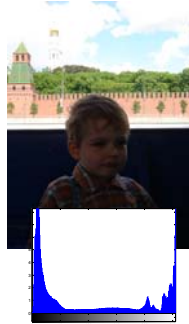
Результат обработки

10

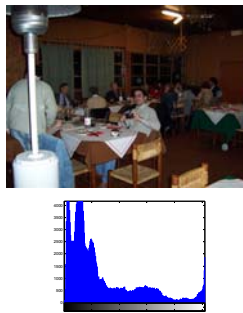
## Локальные проблемы контраста

В ряде случаев низкий контраст могут иметь только отдельные участки изображения хотя глобальный контраст достаточно высок. Детектировать такие ситуации по гистограммам яркости, в общем случае, не представляется возможным. Ниже приведены условия съемки, которые могут приводить к локальным слабоконтрастным фрагментам.

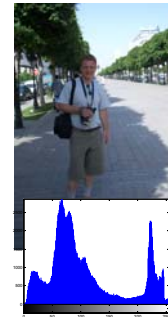
Контрольное освещение  
(*backlit / backlight*)



Съемка со вспышкой



Съемка сцен с очень высоким диапазоном яркостей



11

## Локальная коррекция

Существует несколько вариантов локальной коррекции яркости и контраста.

*Moroney* предложил преобразовывать RGB изображения, нормализованные в диапазон  $[0,1]$ :

$$R'(r,c) = (R(r,c))^{2^{(1-2M(r,c))}} \quad G'(r,c) = (G(r,c))^{2^{(1-2M(r,c))}} \quad B'(r,c) = (B(r,c))^{2^{(1-2M(r,c))}}$$

где  $M$  – результат достаточно сильного размытия изображения ФНЧ.

Другой подход для преобразования канала яркости  $I$  изображения:

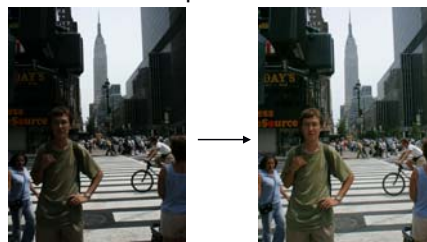
$$I'(r,c) = I(r,c) + s \times (1 - M(r,c)) \times (D(r,c) - I(r,c)).$$

где  $s$  – константа,  $M$  – результат ФНЧ,

$D$  – некая оценка отражательной способности сцены:

$$D(r,c) = \frac{a \times I(r,c)}{E(r,c) + b}$$

где  $a$ ,  $b$  – константы,  $E$  – результат применения фильтра предохраняющего границы, например, билатерального.



12

## Ретинекс

Ретинекс (*Retinex*) – группа алгоритмов гомоморфной обработки изображений основанная на модели зрения человека, предложенной Лэндом. Эти алгоритмы позволяют повысить контраст слабоконтрастных деталей изображения. Многочисленные модификации алгоритма разделяют на одномасштабный Ретинекс (*Single-Scale Retinex, SSR*) и многомасштабный Ретинекс (*Multi-Scale Retinex, MSR*):

$$I' = \sum_{n=1}^N k_n \times (\log(I) - \log(LPF_n(I)))$$

где  $N$  – количество масштабов, для SSR  $N = 1$ ;  $LPF_n$  – ФНЧ, зависящий от масштаба,  $k_n$  – коэффициент, зависящий от масштаба.



13

## Модификация цветowych каналов

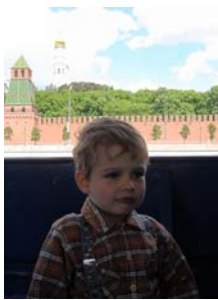
Ряд алгоритмов коррекции изменяют только канал яркости. Изменение яркости приводит к изменению насыщенности цветowych каналов. Поэтому целесообразно их модифицировать. Для RGB изображений это можно сделать так:

$$R'(r,c) = R(r,c) \times I'(r,c) / I(r,c); \quad G'(r,c) = G(r,c) \times I'(r,c) / I(r,c); \quad B'(r,c) = B(r,c) \times I'(r,c) / I(r,c);$$

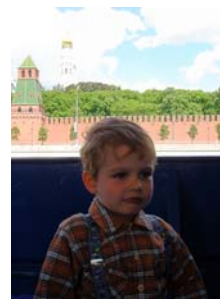
где  $RGB$  – исходное изображение с яркостью  $I$ ,  $I'$  – скорректированный яркостью канал,  $R'G'B'$  – модифицированное изображение.



Исходное изображение



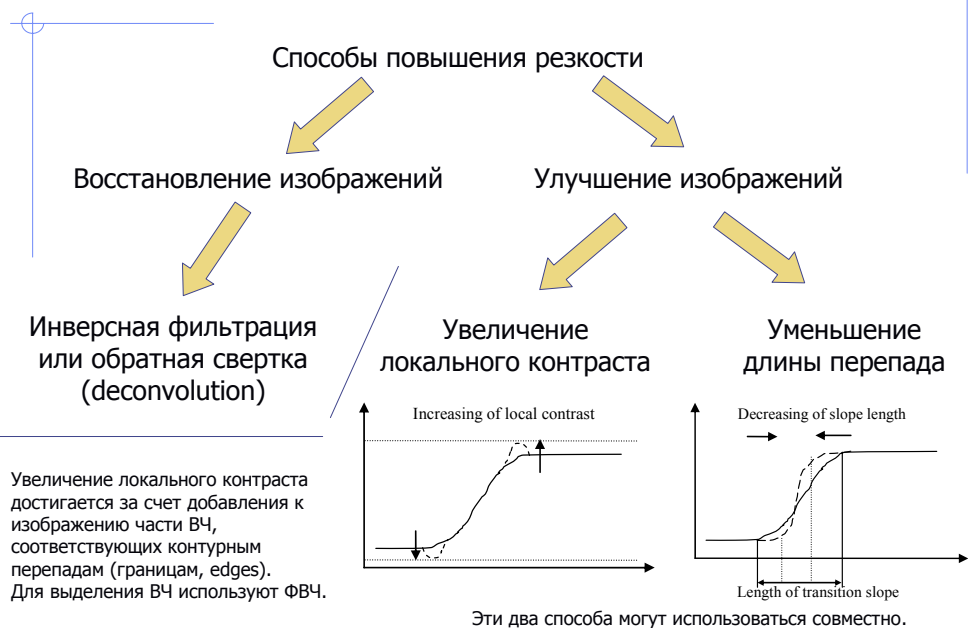
Потеря насыщенности



Насыщенность и цветовой тон не изменились

14

## Способы повышения резкости

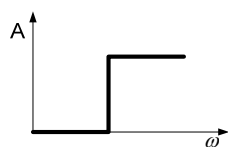


15

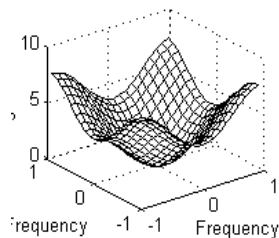
## Линейные ФВЧ: АЧХ

Свертка реализует фильтр высоких частот (ФВЧ, *High-pass Filter, HPF*) в том случае, когда сумма элементов ядра свертки равна 0, в ядре присутствуют как положительные так и отрицательные элементы.

АЧХ одномерного идеального ФВЧ



АЧХ двумерного ФВЧ



Высокие частоты – это контурные перепады (границы) и различного рода помехи, текстуры. Низкие частоты – это плавные изменения яркости. Линейные ФВЧ называют также дифференцирующими фильтрами.

16



## Линейные фильтры повышения резкости

Свертка реализует фильтр повышающий резкость (sharpening) в том случае, когда сумма элементов ядра свертки равна 1, в ядре присутствуют как положительные так и отрицательные элементы.

Примеры ядер свертки, приводящие к повышению резкости:

$$\frac{1}{5} \times \begin{bmatrix} 0 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 9 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{8} \times \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 16 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{6} \times \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 10 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Очевидно, что свертка с различными ядрами дает разные результаты. Для каждого конкретного случая должно выбираться свое ядро. Для улучшения изображений со смазом, вызванным движением, (*motion blur*) могут использоваться несимметричные относительно центра ядра.



17

## Фильтр нерезкого маскирования

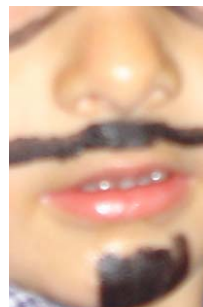
Термин “нерезкое маскирование” (*unsharp mask*) пришел из традиционной фотопечати. С помощью нерезкого маскирования в процессе фотопечати улучшали резкость изображения. Сейчас *unsharp mask* является одним из наиболее популярных цифровых нелинейных фильтров для улучшения изображений.

$$I'(r,c) = \begin{cases} I(r,c) + k \times (I(r,c) - LPF(I,r,c)) : |I(r,c) - LPF(I,r,c)| > T \\ I(r,c) \end{cases}$$

где  $LPF(I)$  – результат размытия ФНЧ исходного изображения  $I$ ;

порог  $T$  вводится для предотвращения усиления шума;  $k$  – коэффициент меньше 1; следует обратить внимание, что разность  $I - LPF(I)$  есть ФВЧ.

В качестве ФНЧ обычно используют Гауссово размытие, но возможно использовать и другие линейные и нелинейные ФНЧ.



Большой размер размывающей маски или большое значение  $k$  приводят к возникновению ореола (*halo*) вдоль границ.

18

## Фильтр для уменьшение длины перепада

Фильтр применяется  
нерекурсивно ко всем  
пикселям изображения

$L$  равно среднему среди 25%  
наименьших значений,  $H$   
равно среднему среди 25%  
наибольших значений

Пиксели  $< L$  становятся  $L$ ,  
пиксели  $> H$  становятся  $H$

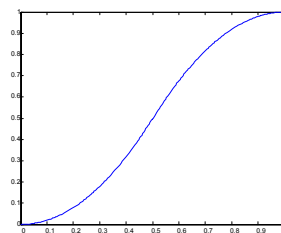
$H - L > T$

Значения из диапазона  $[L, H]$   
нормализуются в  $[0, 1]$

Локальное контрастирование

Масштабирование в  $[L, H]$

$$y = f(x) = \frac{x^2}{x^2 + (1-x)^2}$$



Пример S-образной TRC для локального контрастирования

