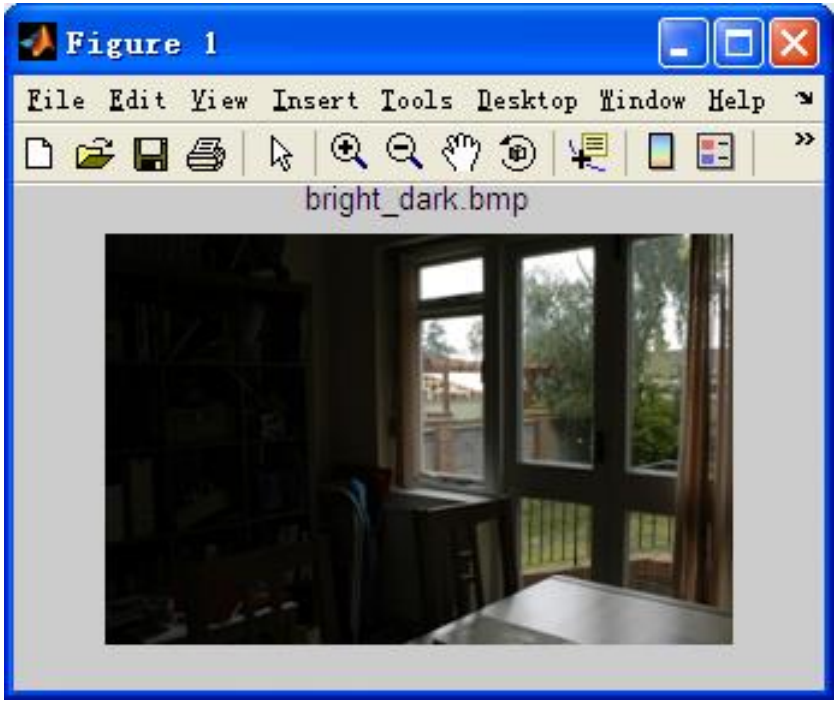
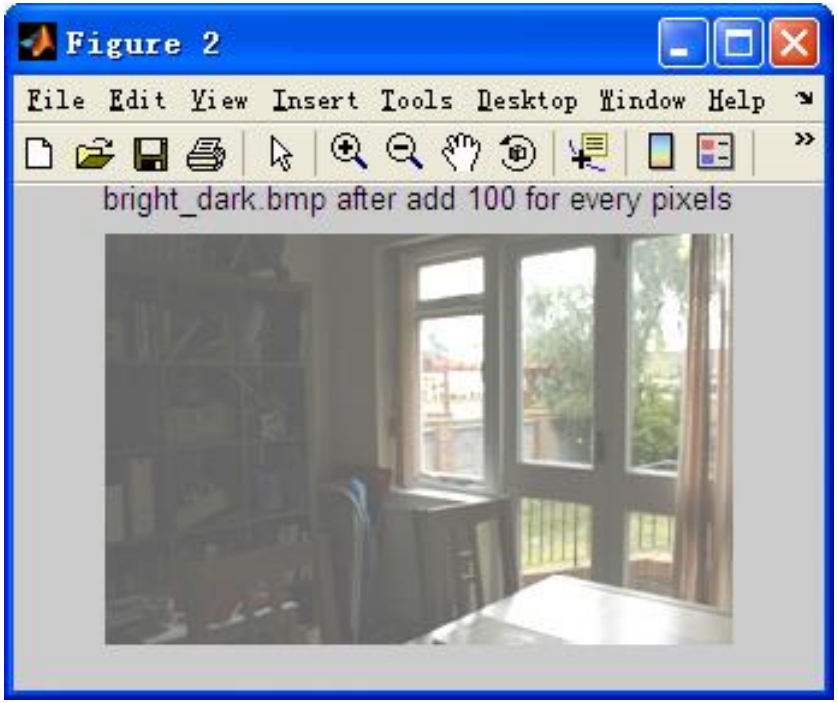
图像增强
Image Enhancement

许 向 阳
xuxy@hust.edu.cn

图像增强的示例



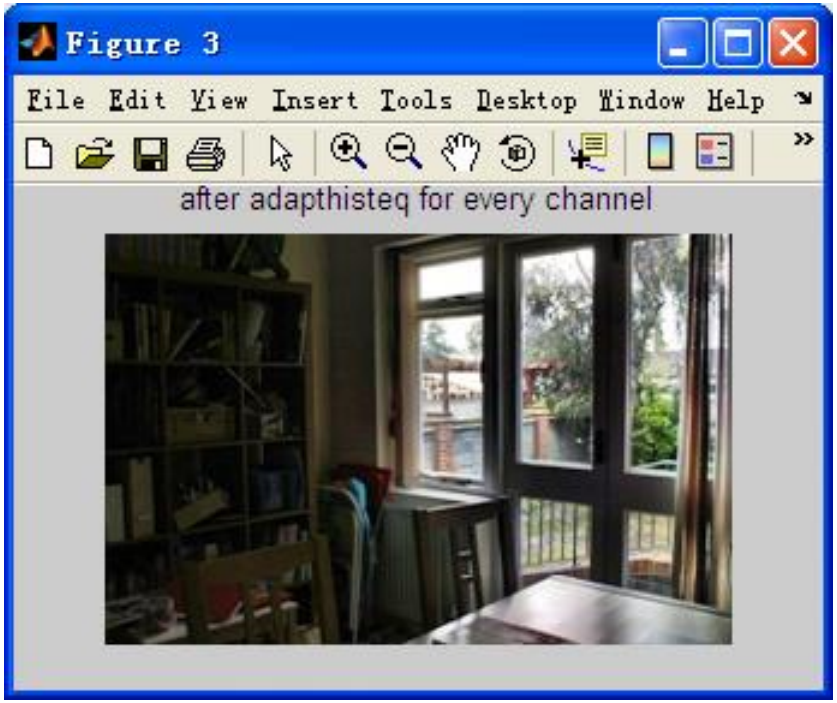


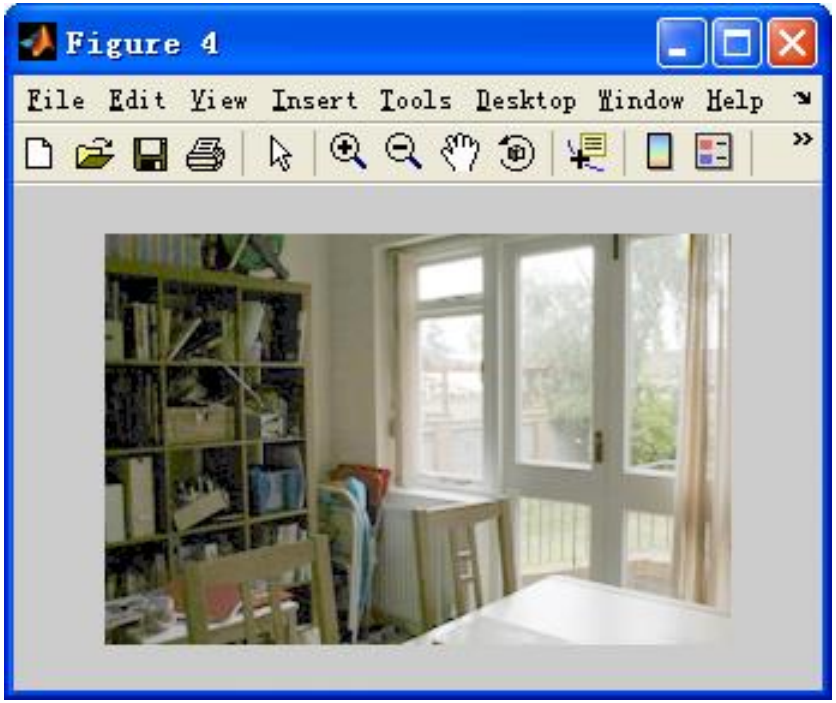

```
I=imread('bright_dark.bmp');
figure,imshow(I);
title('bright\_dark.bmp');
```

每个像素值均加100

```
J=I+100;
figure,imshow(J),
title('bright_dark.bmp after add
100 for every pixels');
```

图像增强的示例





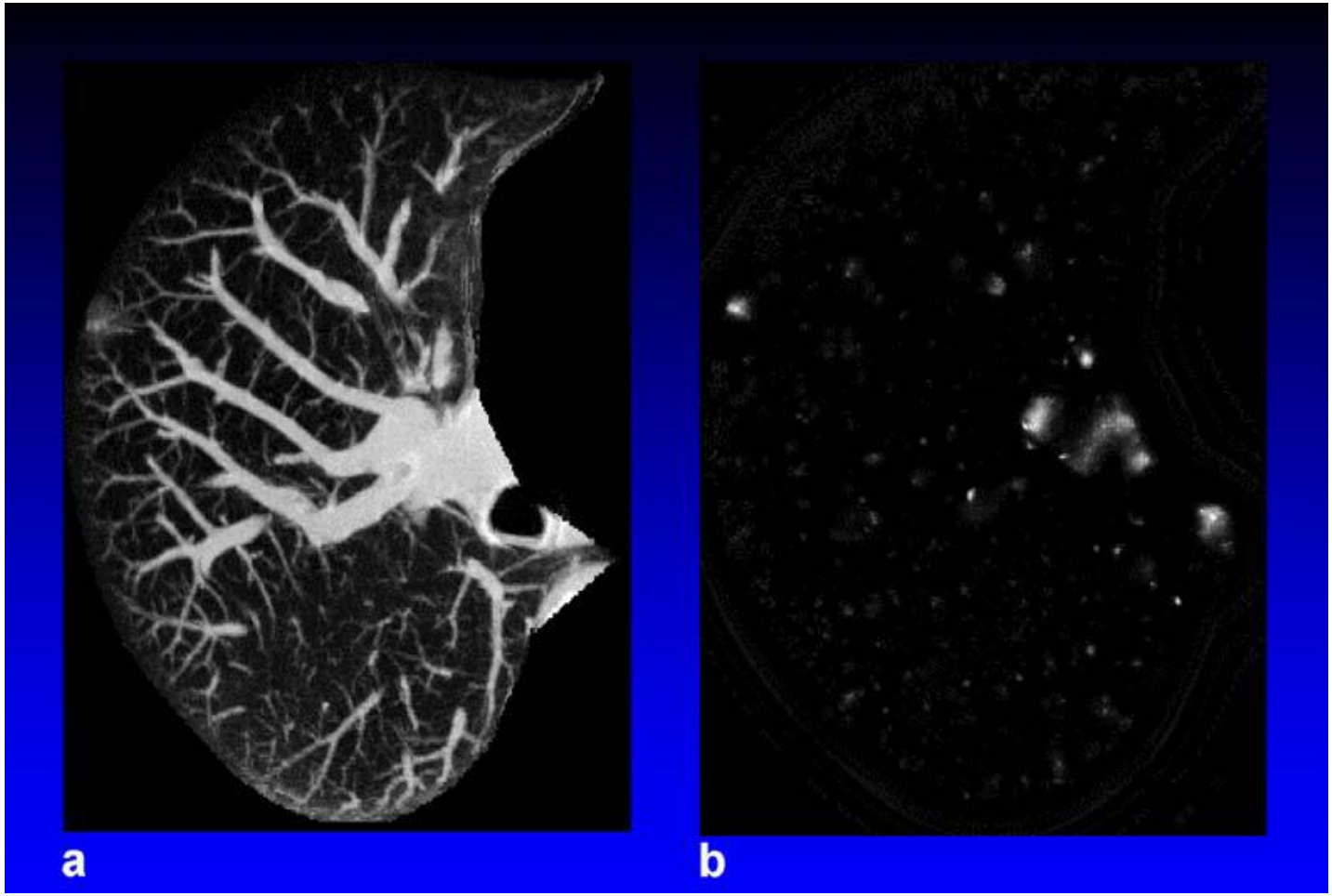

```
K(:,:,1)=adapthisteq(I(:,:,1));
K(:,:,2)=adapthisteq(I(:,:,2));
K(:,:,3)=adapthisteq(I(:,:,3));
figure,imshow(K)
```

```
L=double(I);
L=log(L+1)*255/log(256);
L = uint8(L);
figure,imshow(L)
```

图像增强的示例

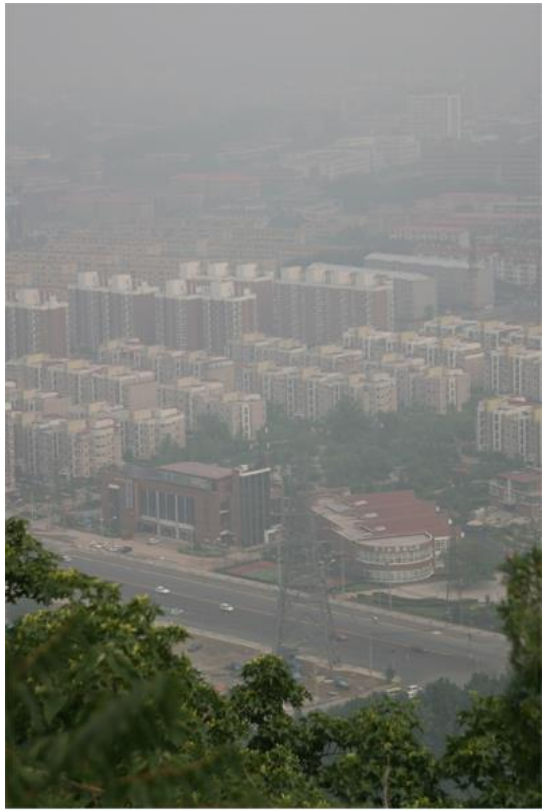
感兴趣区域增强　**Enhancement for Region of Interest**

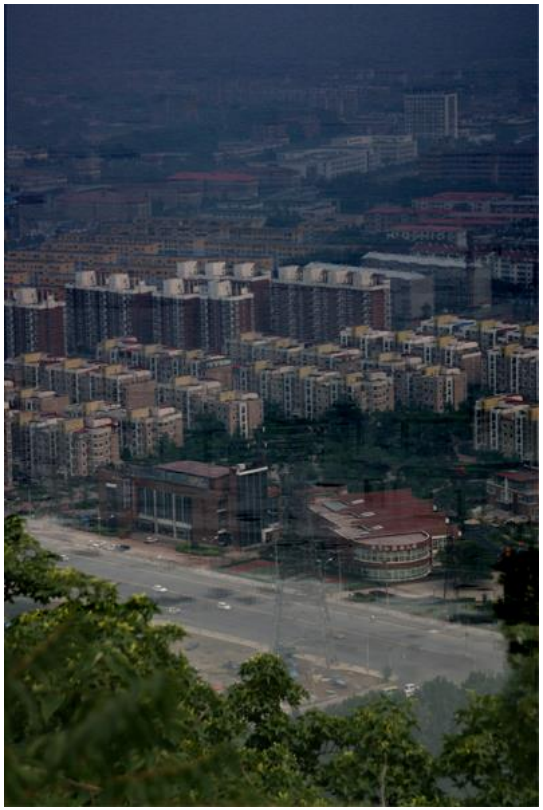
图像增强的示例



选择性增强 Selective Enhancement

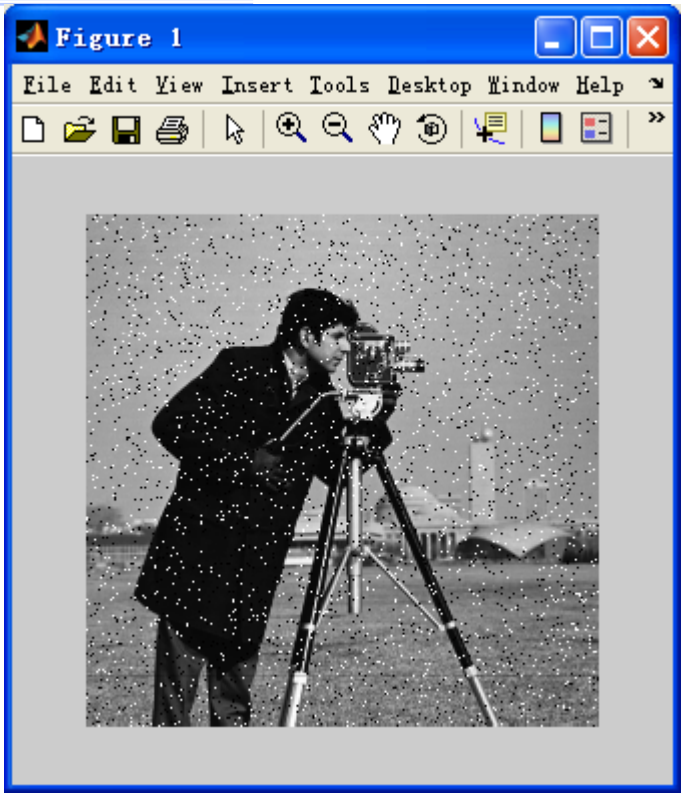
图像增强的示例





图像去雾 Image Dehaze

图像增强的示例

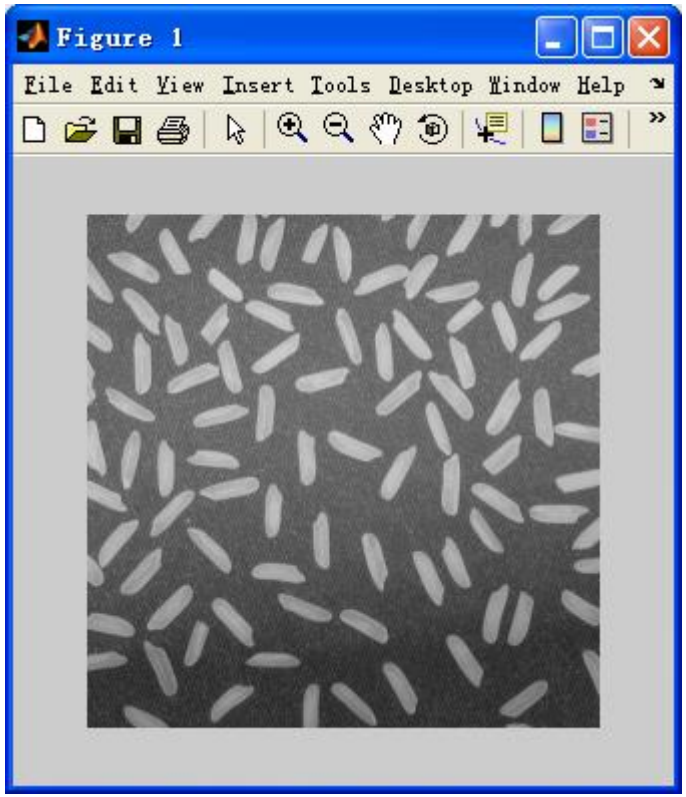



```
I=imread('cameraman.tif');
J=imnoise(I,'salt & pepper');
figure,imshow(J);
```

```
K=medfilt2(J);
figure,imshow(K);
```

图像去噪　Image Denoise

图像增强的示例

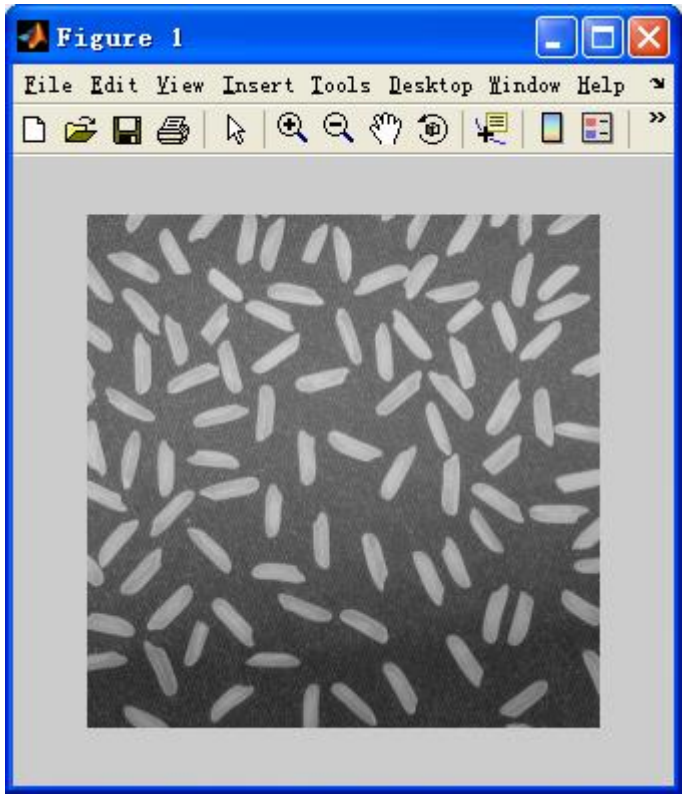



```
I = imread('rice.png');
background = imopen(I,strel('disk',15));
I2 = imsubtract(I,background);
imshow(I2,[]);
```

亮度不均校正

Correcting Nonuniform Illumination

图像增强的示例




```
I = imread('rice.png');
background = imopen(I,strel('disk',15));
I2 = imsubtract(I,background);
imshow(I2,[]);
```

亮度不均校正

Correcting Nonuniform Illumination

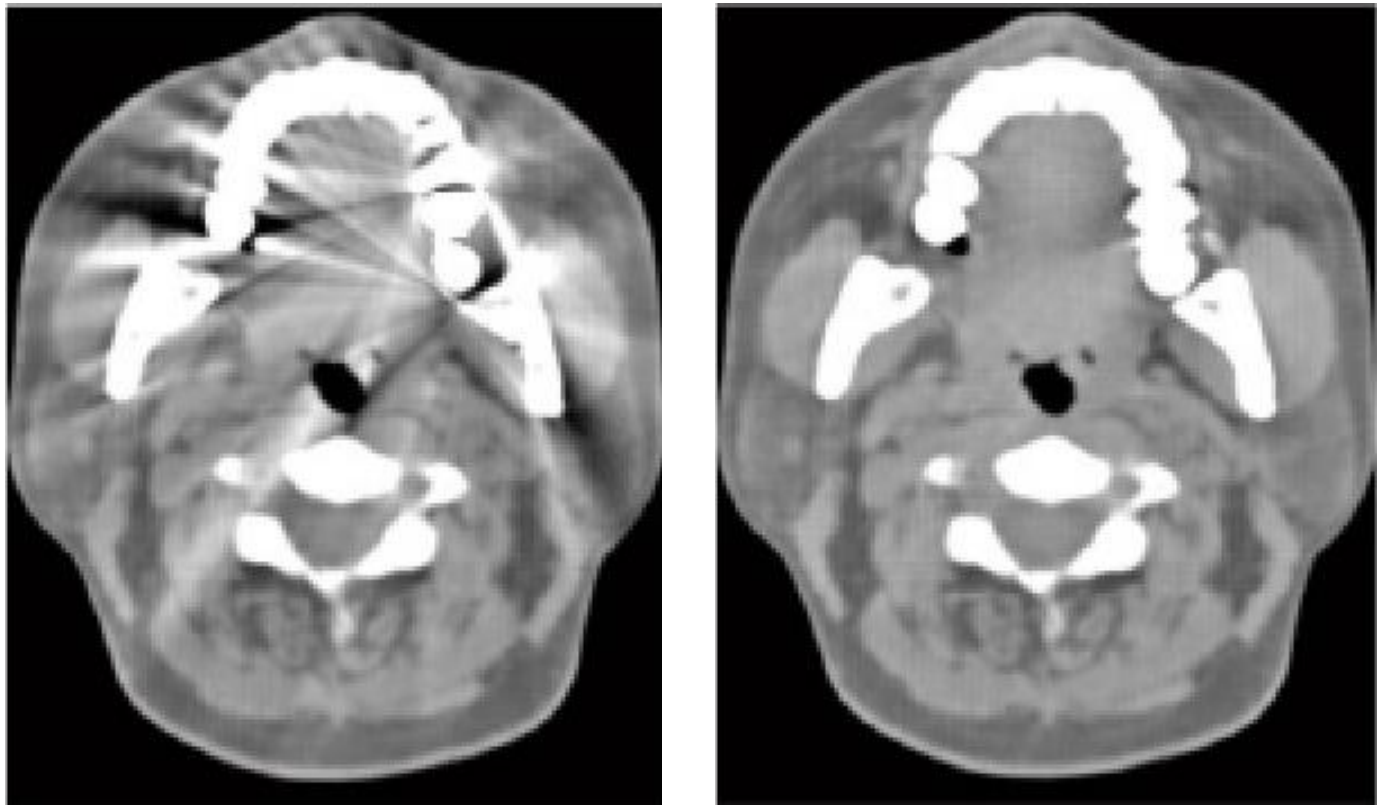
图像增强的示例

模糊图像复原

图像增强的示例

模糊图像复原

图像增强的示例



金属去伪影

图像增强的示例

多尺度视网膜 (Multiscale retinex) 增强

一、什么是图像增强呢？

华中科技大学

图像增强的目的：

- 改善图像的视觉效果
- 转换为更适合于人或机器分析处理的形式
- 突出对人或机器分析有意义的信息
- 抑制无用信息，提高图像的使用价值
- 增强后的图像并不一定保真

一、什么是图像增强呢？

图像增强需要注意的问题

- 考虑人眼的视觉特性和硬件的表现能力，达到合理的匹配
- 处理时必须考虑处理目的，选用合适的方法

二、图像增强有哪些方法呢？

- 从处理方法分类
  - 空域方法
    - 点处理（灰度变换）
    - 邻域方法（空域滤波）
  - 频域方法
- 从处理目的分类
  - 灰度调整
  - 平滑去噪
  - 图像锐化
- 从处理策略分类
  - 全局处理
  - 局部处理（ROI，Region of Interest）
- 从处理对象分类
  - 灰度图像
  - (伪)彩色图像

图像增强的方法分类：

空间域处理

- **全局运算：在整个图像空间域进行**
- **局部运算：在与像素有关的空间域进行**
- **逐点运算：对图像作逐点运算**

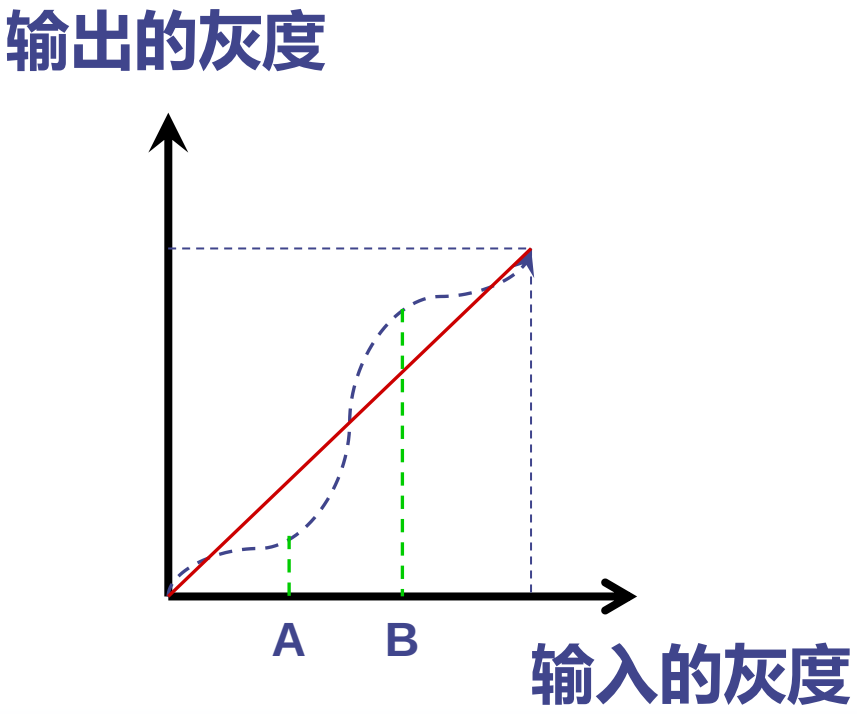
频域处理

- **在图像的变换域（Fourier、小波等）上进行**

图像增强的方法：对比度增强

- **灰度变换法**
  - 线性变换
  - 对数变换
  - 指数变换
- **直方图调整法**
  - 直方图均衡化
  - 直方图匹配

灰度变换法



输入图像

↓ 灰度变换

输出图像

红色线

output = f(input)

= input

采用虚线映射函数 g，

g(A) < A

g(B) > B

新图像与原图像比，

有什么变化特点？

灰度变换法

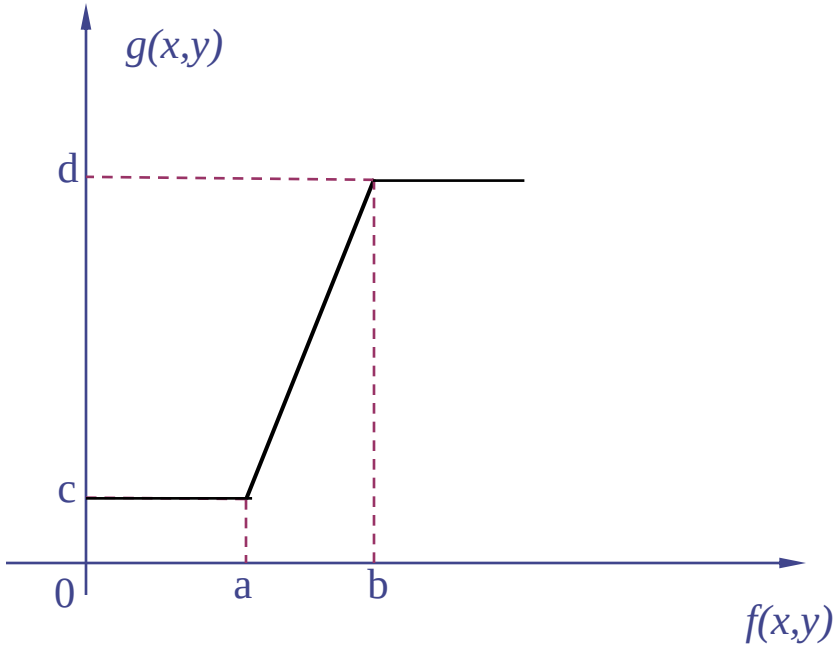
➢线性灰度变换

$$g(x,y)=\begin{cases} d & f(x,y)>b \\ \dfrac{d-c}{b-a}[f(x,y)-a]+c & a\le f(x,y)\le b \\ c & f(x,y)<a \end{cases}$$

灰度变换法

华中科技大学

➢线性灰度变换



灰度变换法

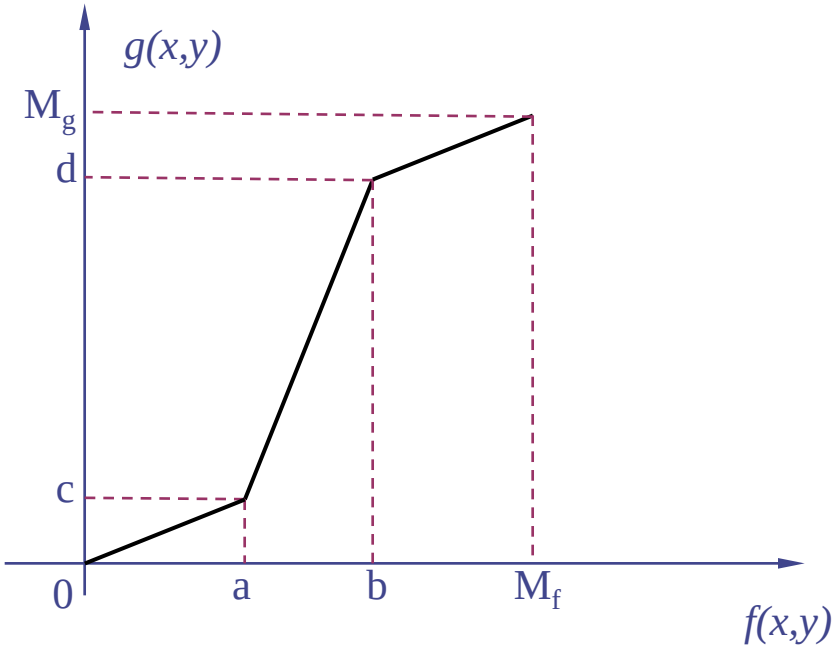
华中科技大学

➢分段线性灰度变换

$$g(x,y)=\begin{cases}\dfrac{M_g-d}{M_f-b}[f(x,y)-b]+d & b\le f(x,y)\le M_f\\ \dfrac{d-c}{b-a}[f(x,y)-a]+c & a\le f(x,y)<b\\ \dfrac{c}{a}f(x,y) & 0\le f(x,y)<a\end{cases}$$

灰度变换法

➢分段线性灰度变换



灰度变换法

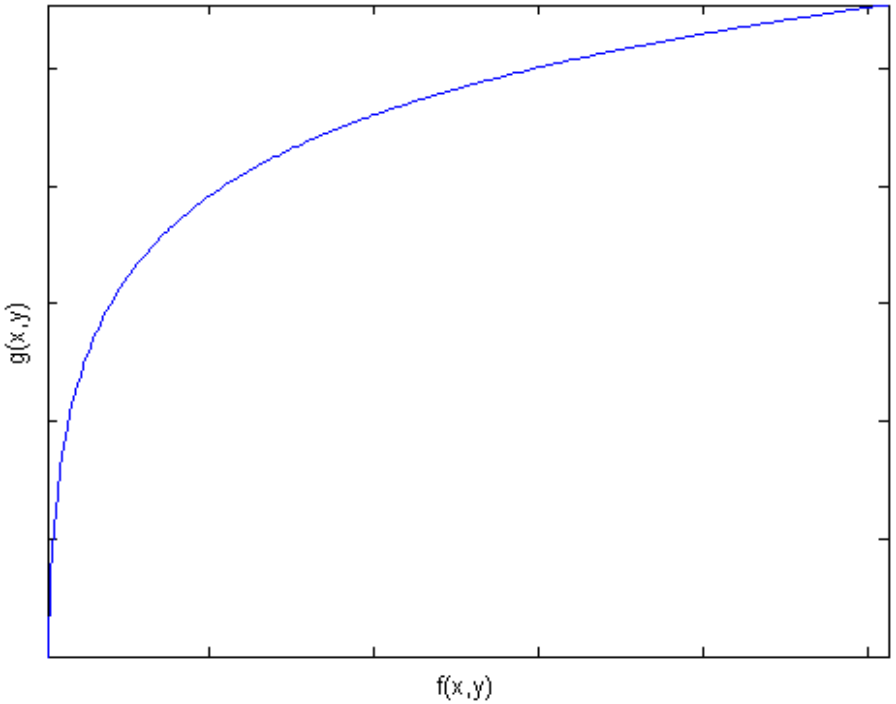
- 对数变换

$$g(x,y)=a+\frac{\ln[f(x,y)+1]}{b\ln c}$$

a,b,c是按需要可以调整的参数。

灰度变换法

- 对数变换



灰度变换法

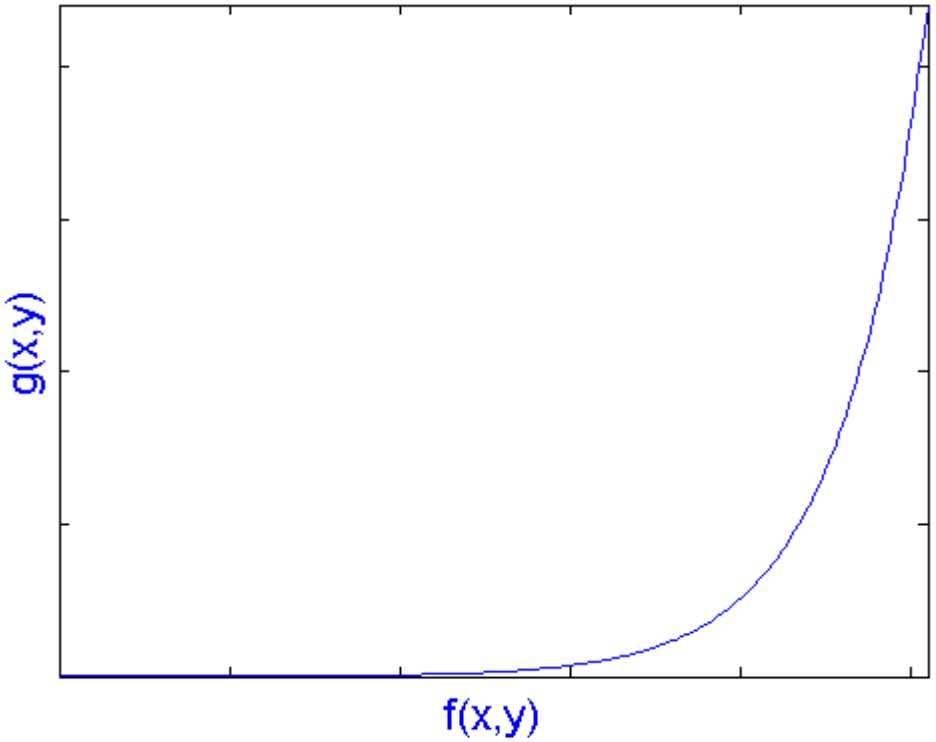
- 指数变换

$$g(x,y)=b^{c[f(x,y)-a]}-1$$

a,b,c是按需要可以调整的参数。

灰度变换法

- 指数变换



灰度变换法

讨论：

对数变换和指数变换的变换效果有何差别？

对数变换：低灰度区扩展，高灰度区压缩

指数变换：高灰度区扩展，低灰度区压缩

商业软件的灰度变换效果展示：

Adobe Photoshop (可以自由调整对比度曲线)

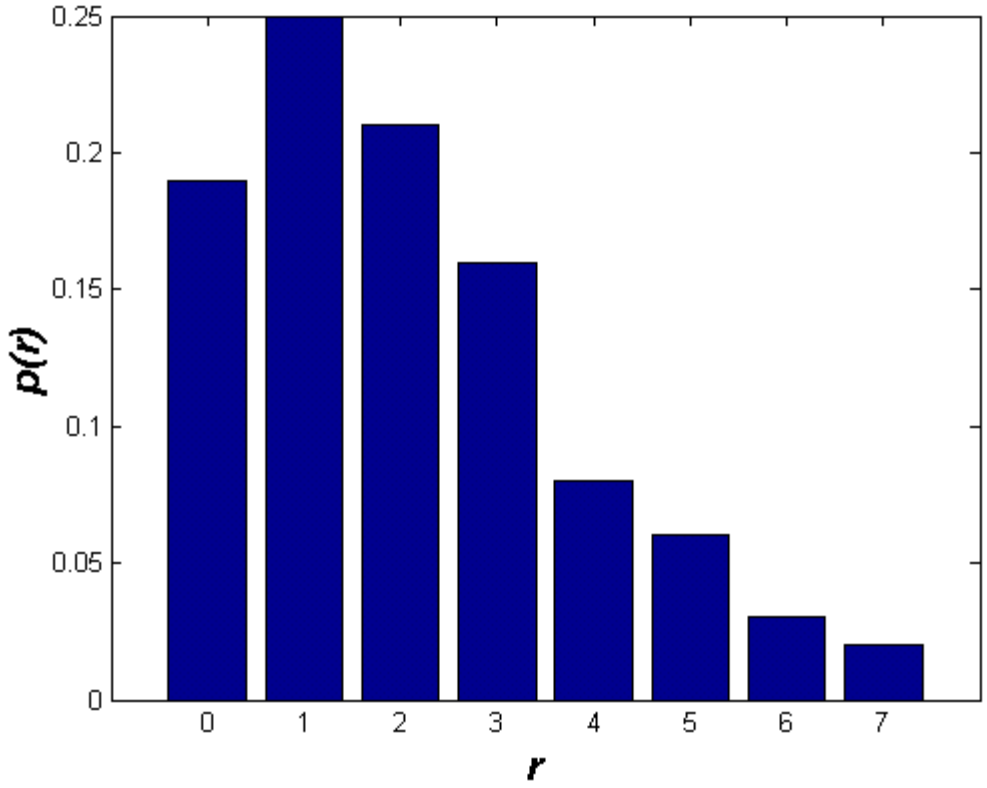
ACDSee

学习：何斌，《VC 数字图像处理》，人民邮电出版社

直方图调整法

直方图

频数(或概率)



灰度级

直方图调整法

$$\delta(n) = \begin{cases} 1 & n = 0 \\ 0 & n \neq 0 \end{cases}$$

设 图像F的大小为 M*N

$$\mathrm{h}(g) = \sum_{x=1}^{M} \sum_{y=1}^{N} \delta(F(x, y) - g)$$

g=0,1,2,…,255

Adobe Photoshop

文件(F) 编辑(E) 图像(I) 图层(L) 选择(S) 滤镜(T) 视图(V) 窗口(W) 帮助(H)

an01.gif @ 100%(索引)

直方图

通道(C): 亮度

好

平均值: 45.03　　色阶:

标准偏差: 70.83　　数量:

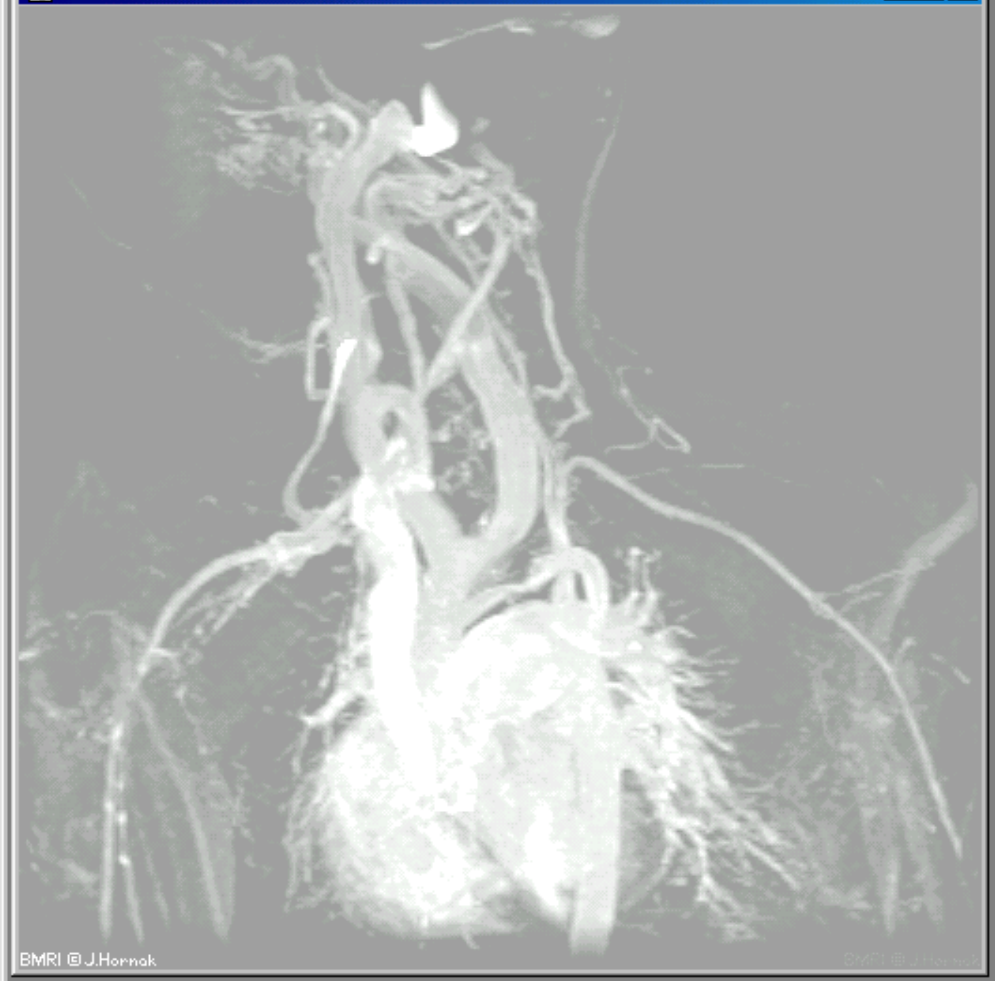
中间值: 0　　百分位:

像素: 262144　　高速缓存级别: 1

Adobe Photoshop

文件(F) 编辑(E) 图像(I) 图层(L) 选择(S) 滤镜(T) 视图(V) 窗口(W) 帮助(H)

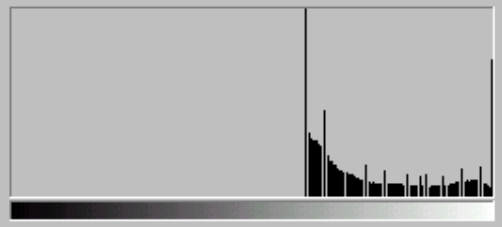
an01.gif @ 100%(索引)



直方图

通道(C): 亮度

好



平均值: 176.27　　色阶:

标准偏差: 31.11　　数量:

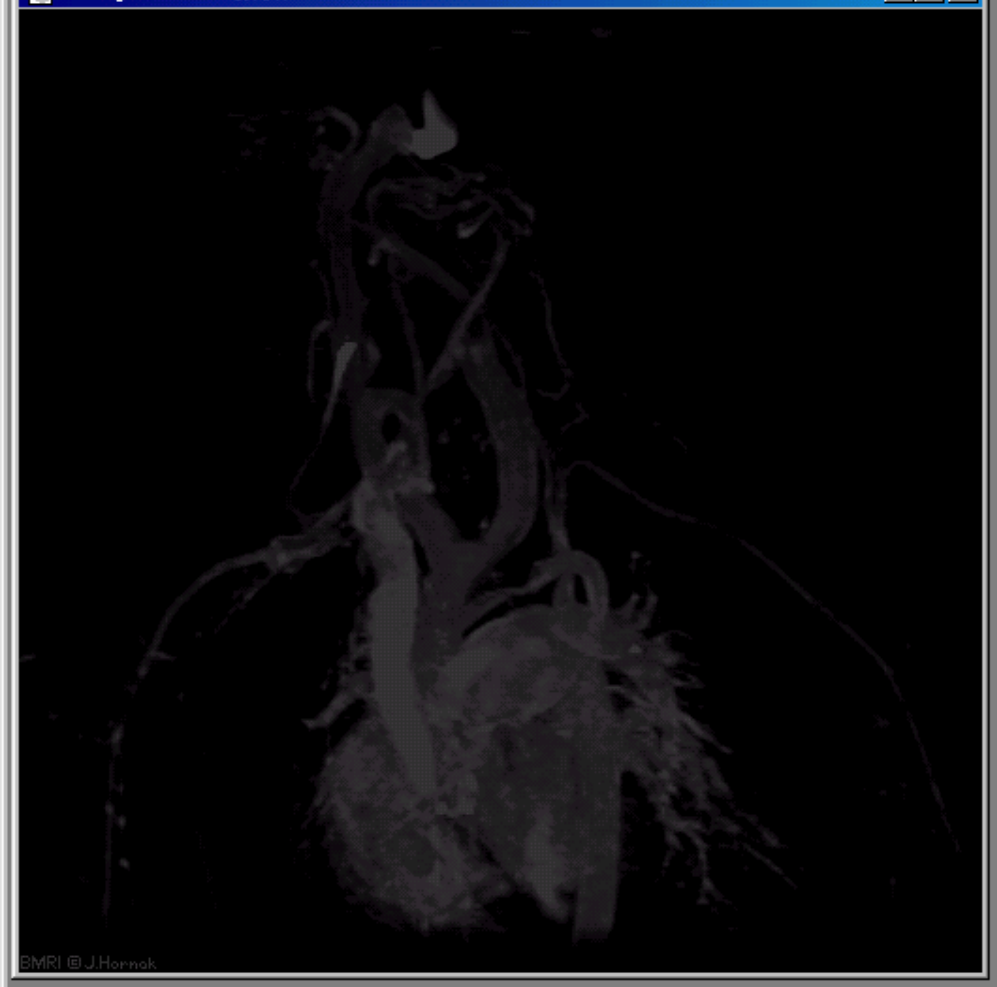
中间值: 156　　百分位:

像素: 262144　　高速缓存级别: 1

Adobe Photoshop

文件(F) 编辑(E) 图像(I) 图层(L) 选择(S) 滤镜(T) 视图(V) 窗口(W) 帮助(H)

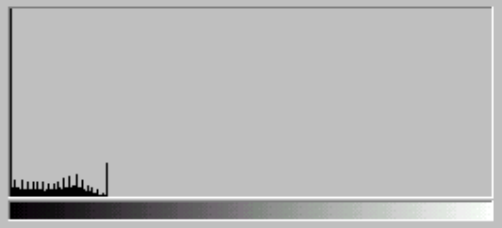
an01.gif @ 100%(索引)



直方图

通道(C): 亮度

好



平均值: 5.45　　色阶:

标准偏差: 12.40　　数量:

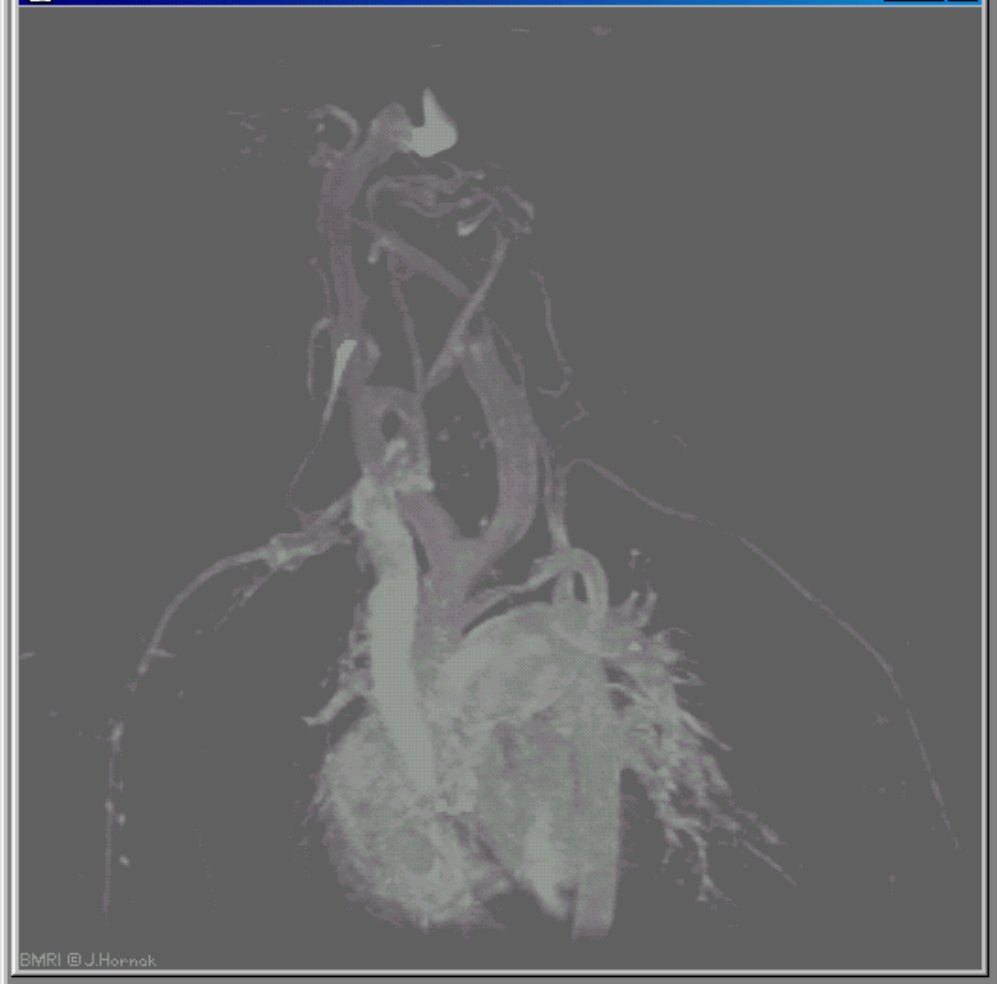
中间值: 0　　百分位:

像素: 262144　　高速缓存级别: 1

Adobe Photoshop

文件(F) 编辑(E) 图像(I) 图层(L) 选择(S) 滤镜(T) 视图(V) 窗口(W) 帮助(H)

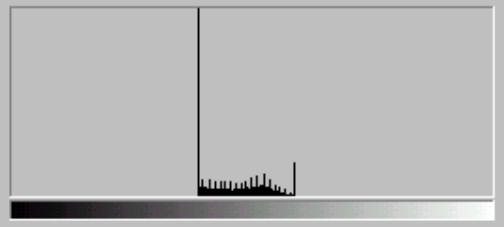
an01.gif @ 100%(索引)



直方图

通道(C): 亮度

好



平均值: 104.45　　色阶:

标准偏差: 12.40　　数量:

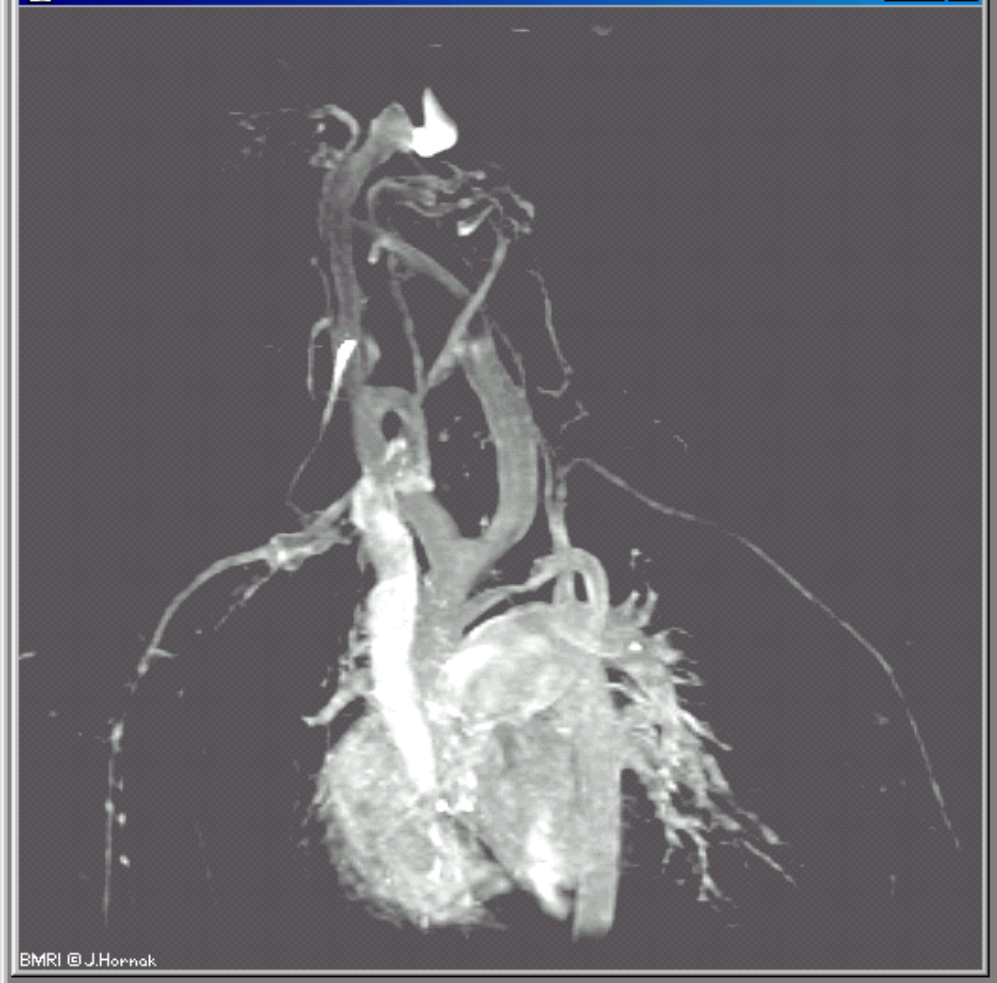
中间值: 99　　百分位:

像素: 262144　　高速缓存级别: 1

Adobe Photoshop

文件(F) 编辑(E) 图像(I) 图层(L) 选择(S) 滤镜(T) 视图(V) 窗口(W) 帮助(H)

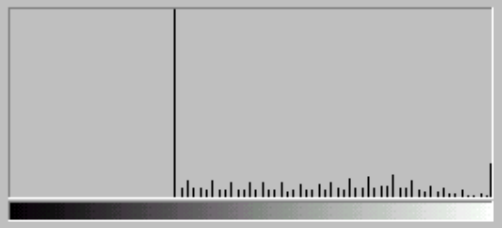
an01.gif @ 100%(索引)



直方图

通道(C): 亮度

好



平均值: 105.12　　色阶:

标准偏差: 41.14　　数量:

中间值: 87　　百分位:

像素: 262144　　高速缓存级别: 1

Adobe Photoshop

文件(F) 编辑(E) 图像(I) 图层(L) 选择(S) 滤镜(T) 视图(V) 窗口(W) 帮助(H)

an01.gif @ 100%(索引)

直方图

通道(C): 亮度

好

平均值: 52.87　　色阶:

标准偏差: 94.39　　数量:

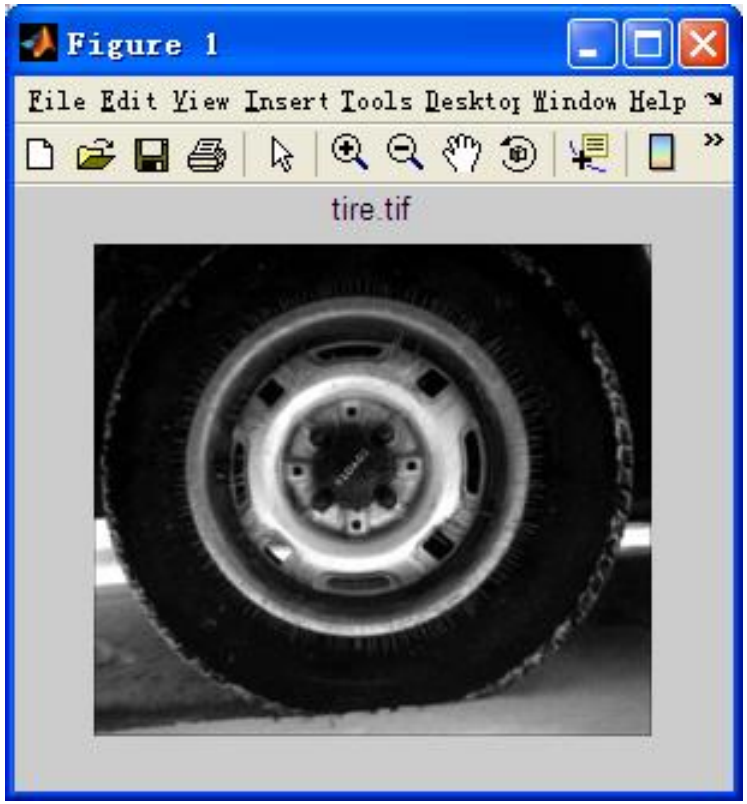
中间值: 6　　百分位:

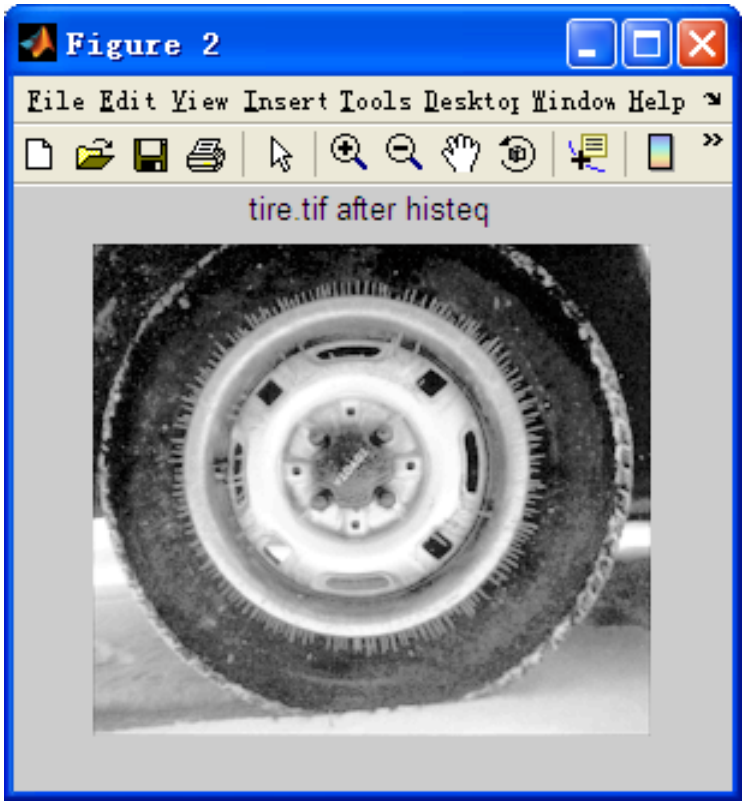
像素: 262144　　高速缓存级别: 1

直方图调整法：均衡化

- **均衡**：图像的直方图是平直的，即各灰度级具有相同的出现频数
- **均衡化**：将原图像的直方图通过变换函数修正为均匀的直方图
- 均衡化后的图像看起来就更清晰

直方图调整法：均衡化






```
I=imread('tire.tif');
figure, imshow(I);
hold on,title('tire.tif');
```

```
J=histeq(I);
figure, imshow(J);
hold on,title('t…');
```

直方图调整法：均衡化

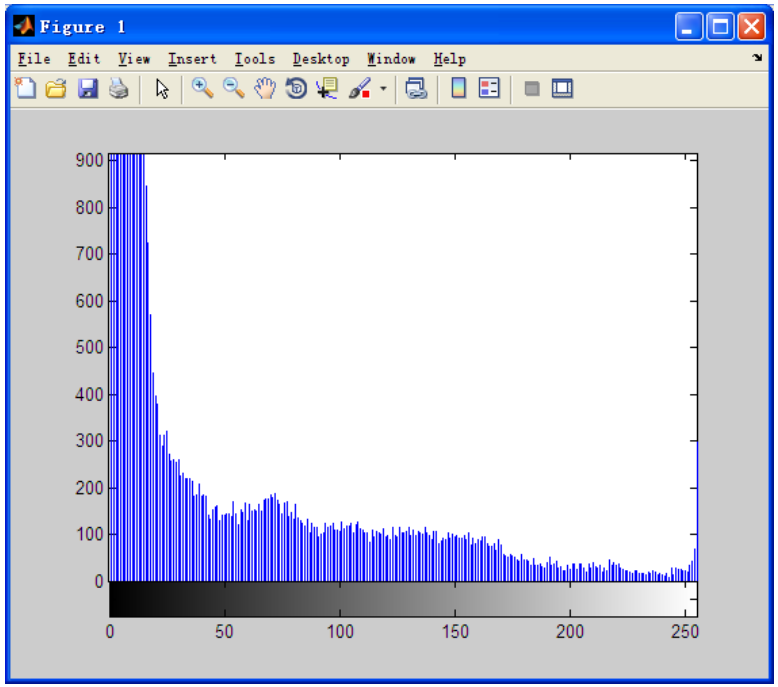


Figure 1
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0 50 100 150 200 250

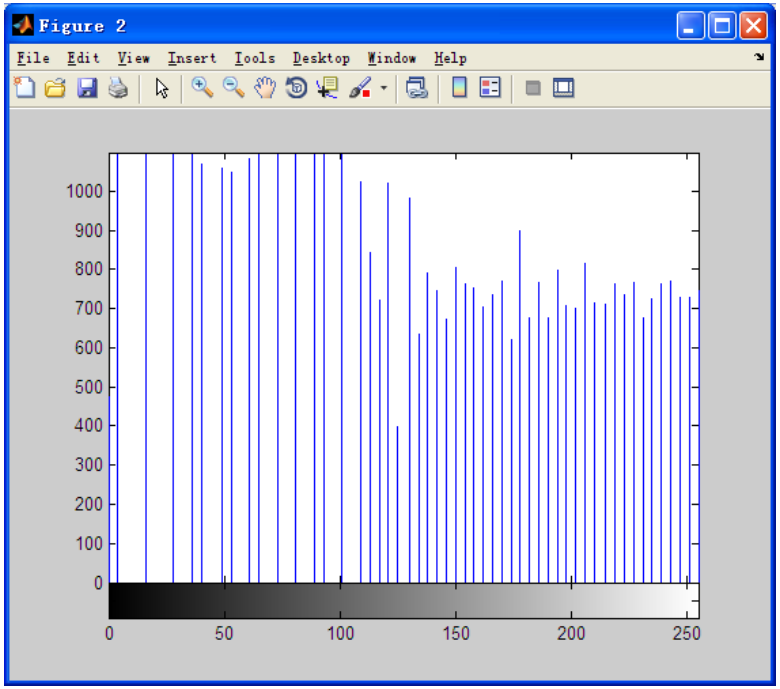
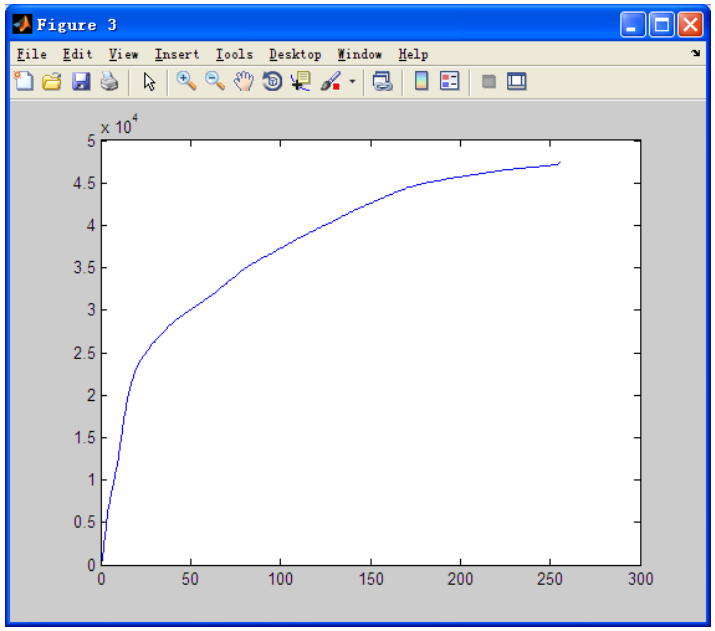
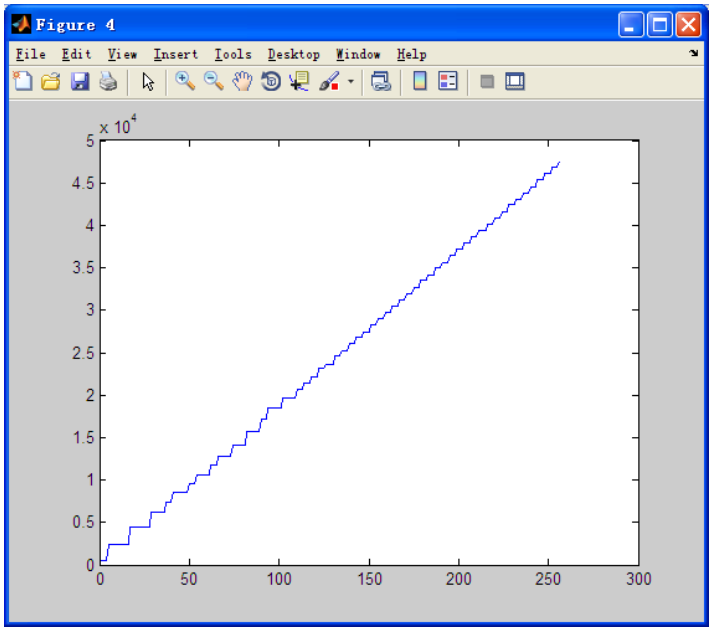


Figure 2
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0 50 100 150 200 250

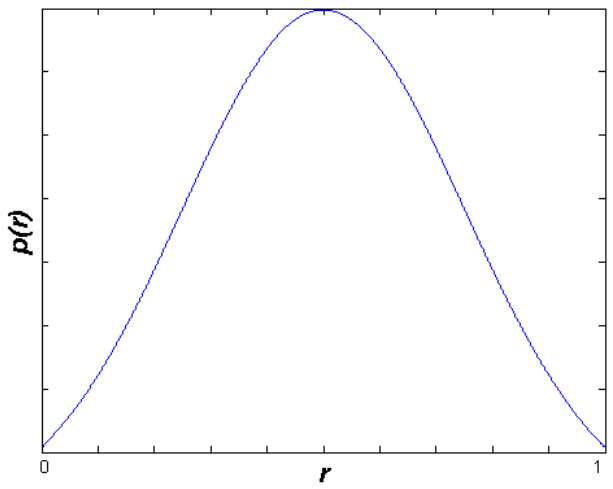
直方图调整法：均衡化



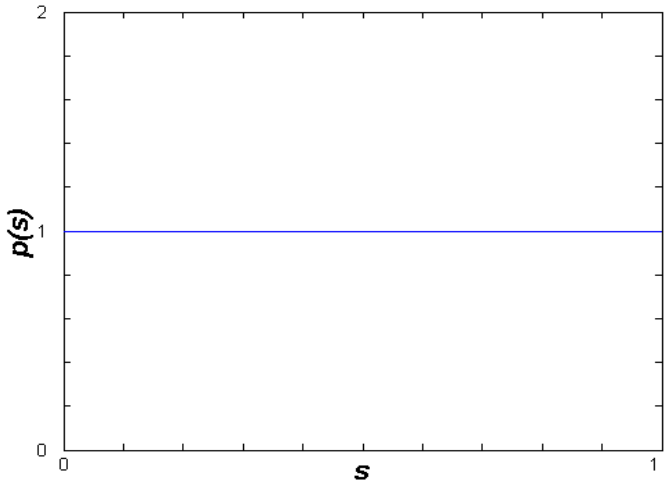



```
[c,b] = imhist(I);
t = cumsum(c);
figure, plot ( t )
```

直方图调整法：均衡化

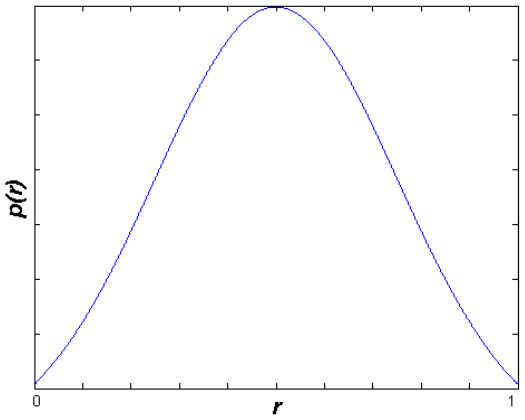


非均匀分布

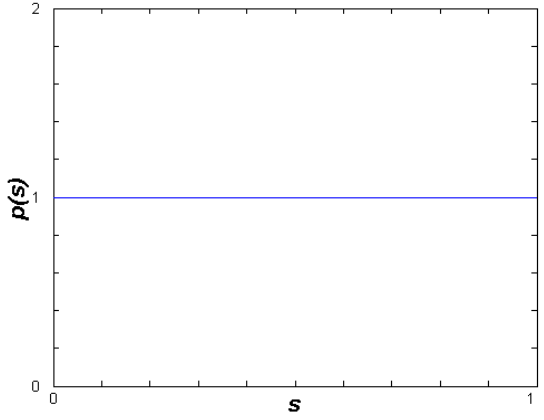


均匀分布

直方图调整法：均衡化



直方图均衡化



直方图均衡化目标

直方图调整法：均衡化

- 找到一种变换 S=T(r) 使直方图变平直
- 规定：

  $0 \le r \le 1$，T(r)是单调递增函数，

  且$0 \le T(r) \le 1$；

  反变换 $r=T^{-1}(s)$，

  $T^{-1}(s)$ 也为单调递增函数， $0 \le s \le 1$。

直方图调整法：均衡化

将 r 映射为 s
原图像的概率密度函数为 **p(r)**
均衡化后，图像的概率密度函数为 $\hat{p}(s) = 1$

$$\int_0^r p(r)dr = \int_0^s \hat{p}(s)ds = \int_0^s 1 \cdot ds = s = T(r)$$

$$T(r) = \int_0^r p(r)dr$$

直方图调整法：均衡化

设一幅图像的像素总数为n，分L个灰度级。

n_k： 第k个灰度级出现的频数。

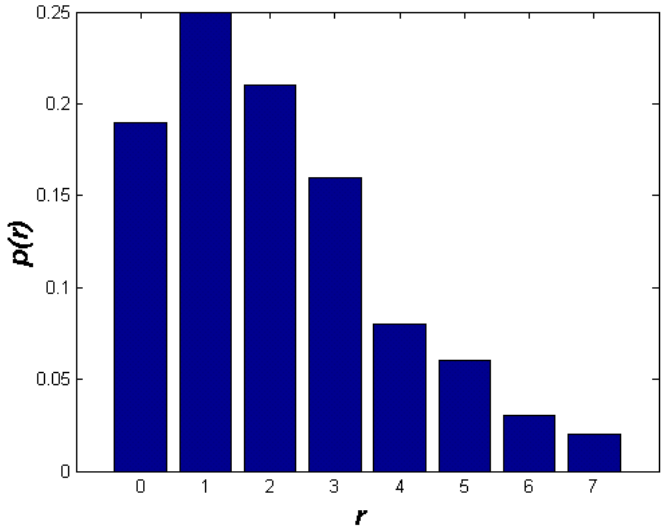
$P(r_k)$ 第k个灰度级出现的概率

$0 \le r_k \le 1$，$k=0,1,\ldots,L-1$

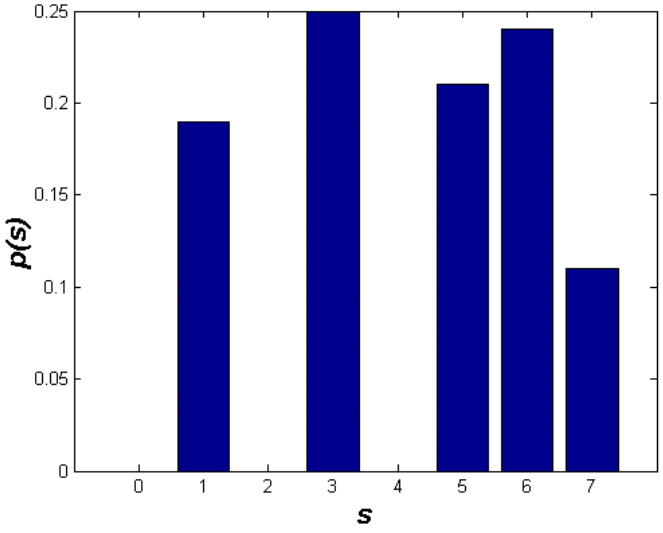
$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^{k} p(r_j) = \sum_{j=0}^{k} \frac{n_j}{n}$$

由直方图计算累积概率分布：cumsum

直方图调整法：均衡化



直方图均衡化



均衡化前后直方图比较

直方图调整法：均衡化

实验：

比较直方图均衡化前后的直方图，以及相应的图像视觉效果

- Tire.tif
- Pout.tif
- Sperm.bmp
- Breast.bmp

直方图调整法：均衡化

讨论：

均衡化时，变换前后的灰度级是否一一对应？

原图像的灰度：0 -> 1

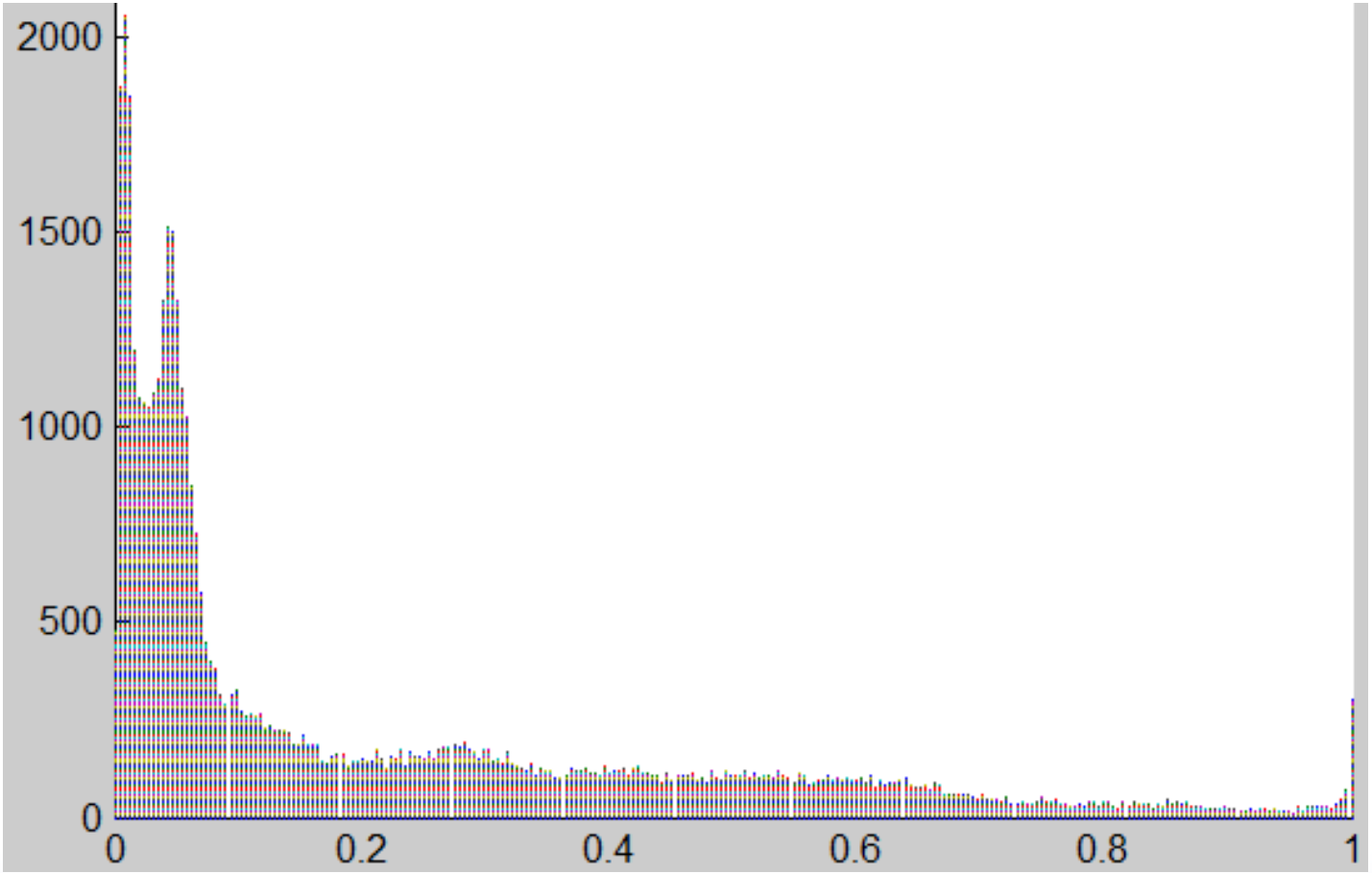
概率：p(r)

累 计 概 率： 0 -> 1

$$\mathrm{t}(r_k) = \sum_{j=0}^{k} p(r_j)$$

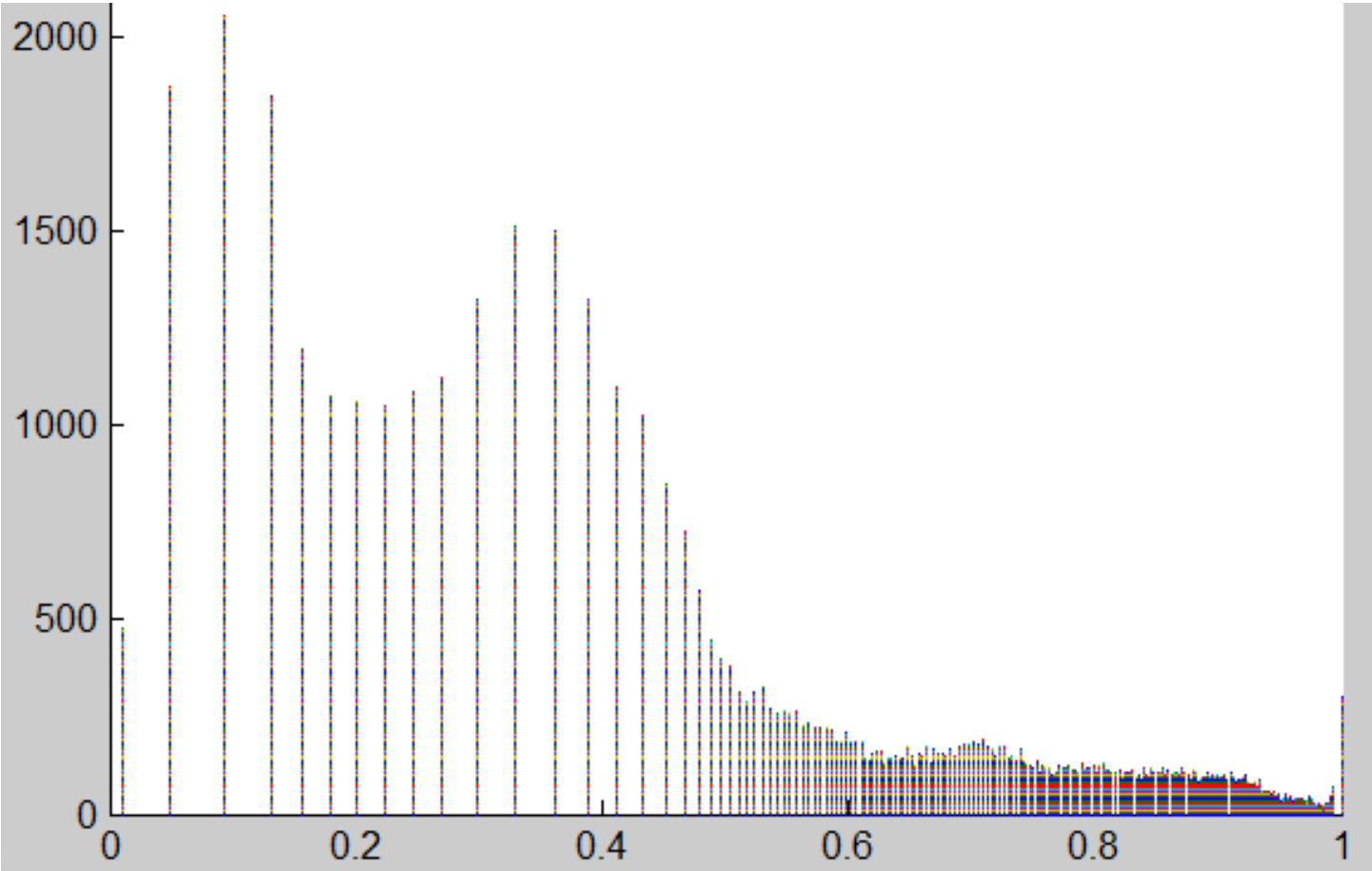
在实数范围内：灰度映射是一一对应的

直方图调整法：均衡化



Tire.tif ：原图像的直方图，用 实数表示灰度

直方图调整法：均衡化



Tire.tif ：均衡化后的直方图　　hieteq_comprehension.m

直方图调整法：均衡化

讨论：

均衡化时，变换前后的灰度级是否一一对应？

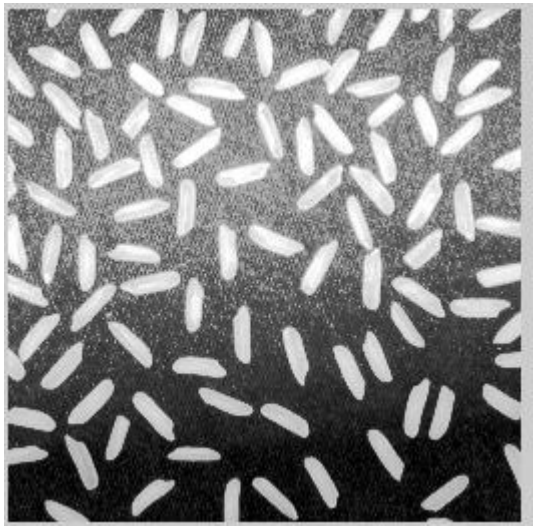
将灰度映射为无符号8位整数：0~ 255

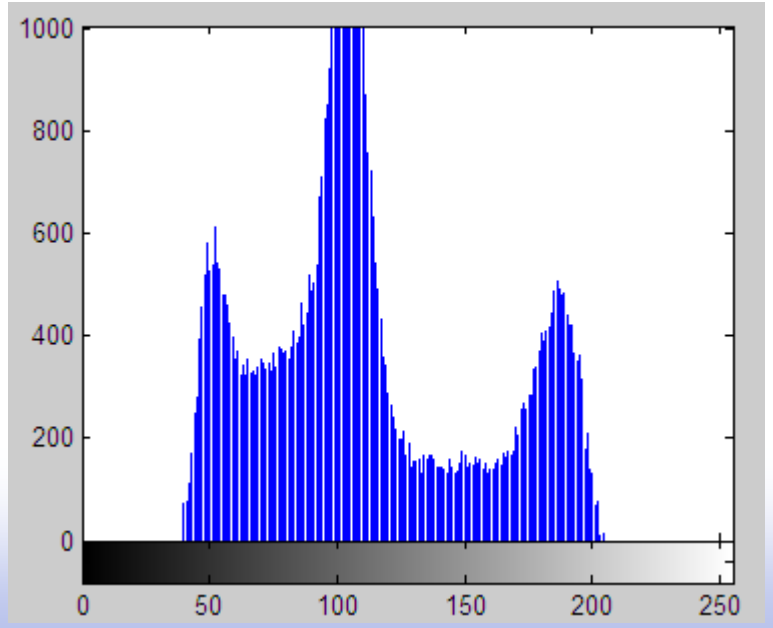
- 减少图像的灰度级以换取对比度的加大
- 原图上频数较小的灰度级被归入很少几个或一个灰度级内，故得不到增强。
- 若这些灰度级所构成的图象细节比较重要，则需采用局部区域直方图均衡。

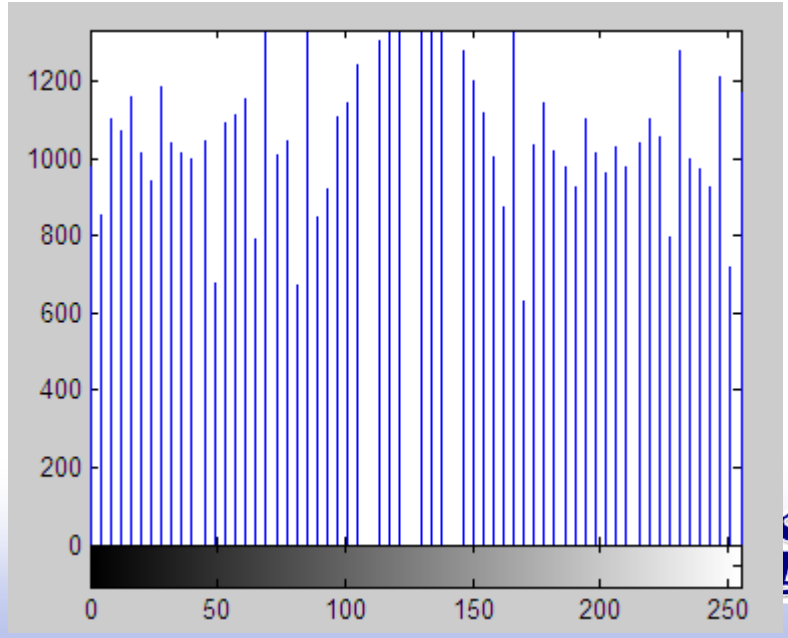
讨论：何种情况下使用直方图均衡化?

直方图调整法：均衡化

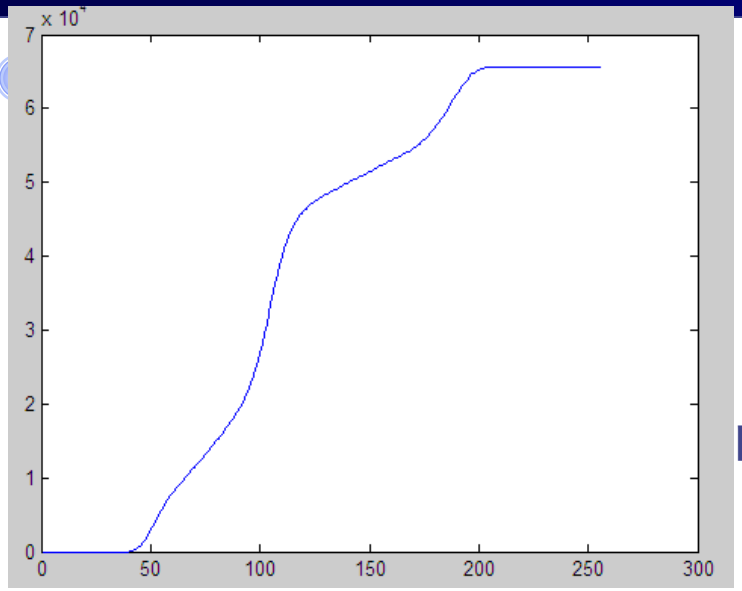
J=imhist(I);



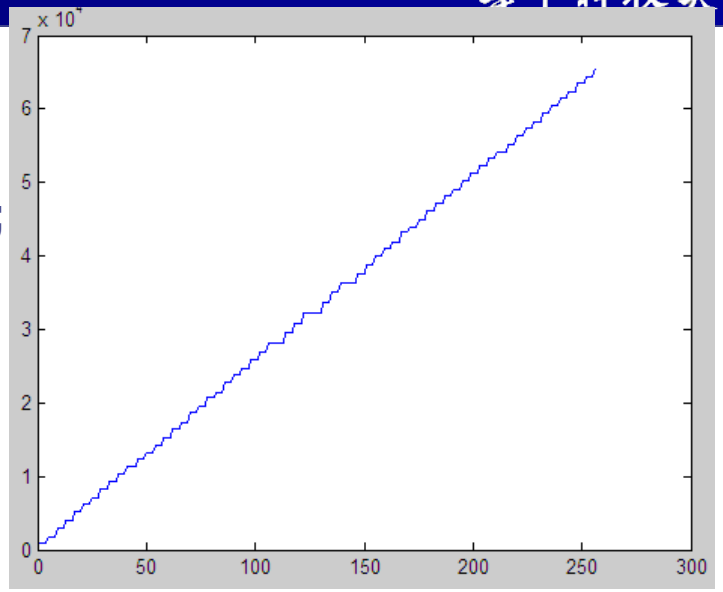


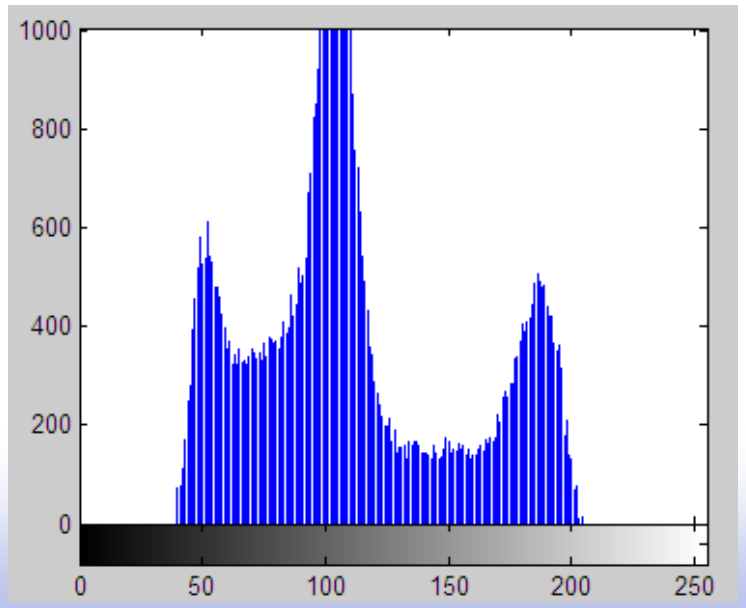


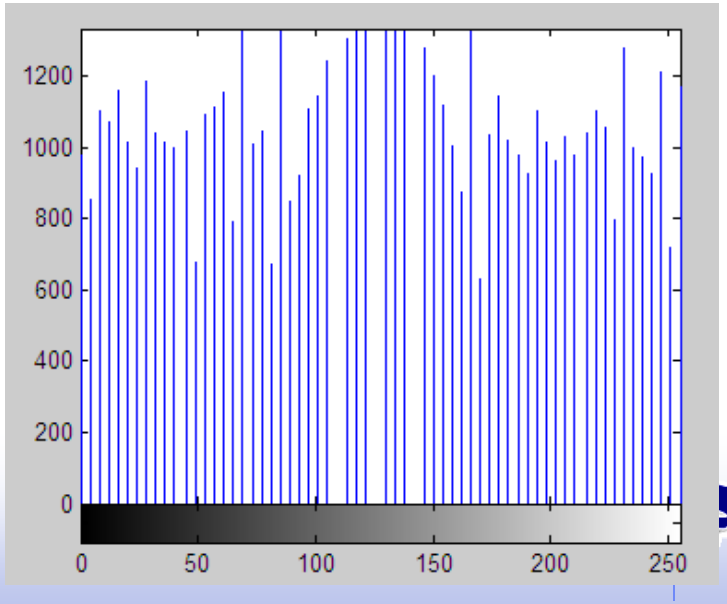
直方图调整法：均衡化



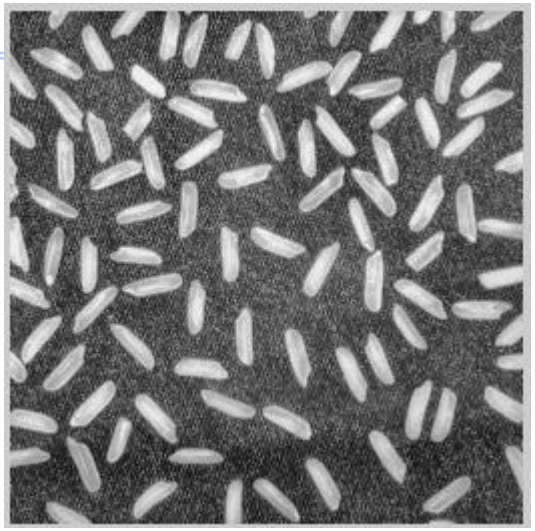

```
[c,b]=imhist(I);
t=cumsum(c);
plot(t)
```







直方图调整法：均衡化



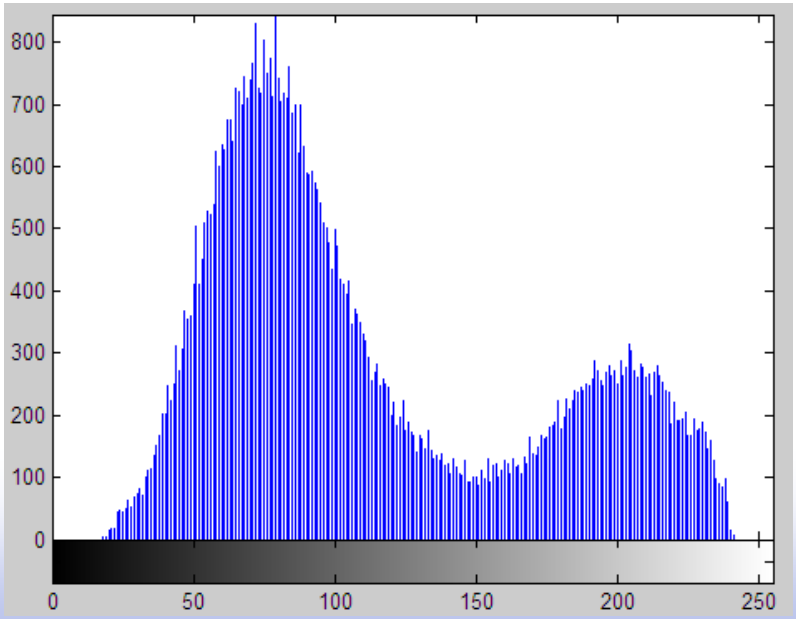
左图：

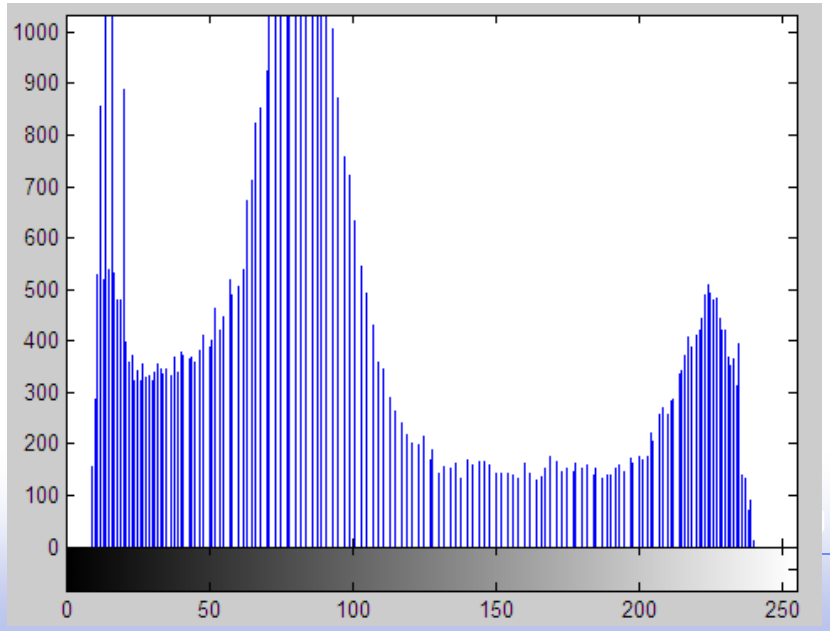
J=adapthist(I);

右图：

$$J = \psi^{-1}(2 * \psi(I))$$

$$\psi(I) = \log((255 - I) / I)$$

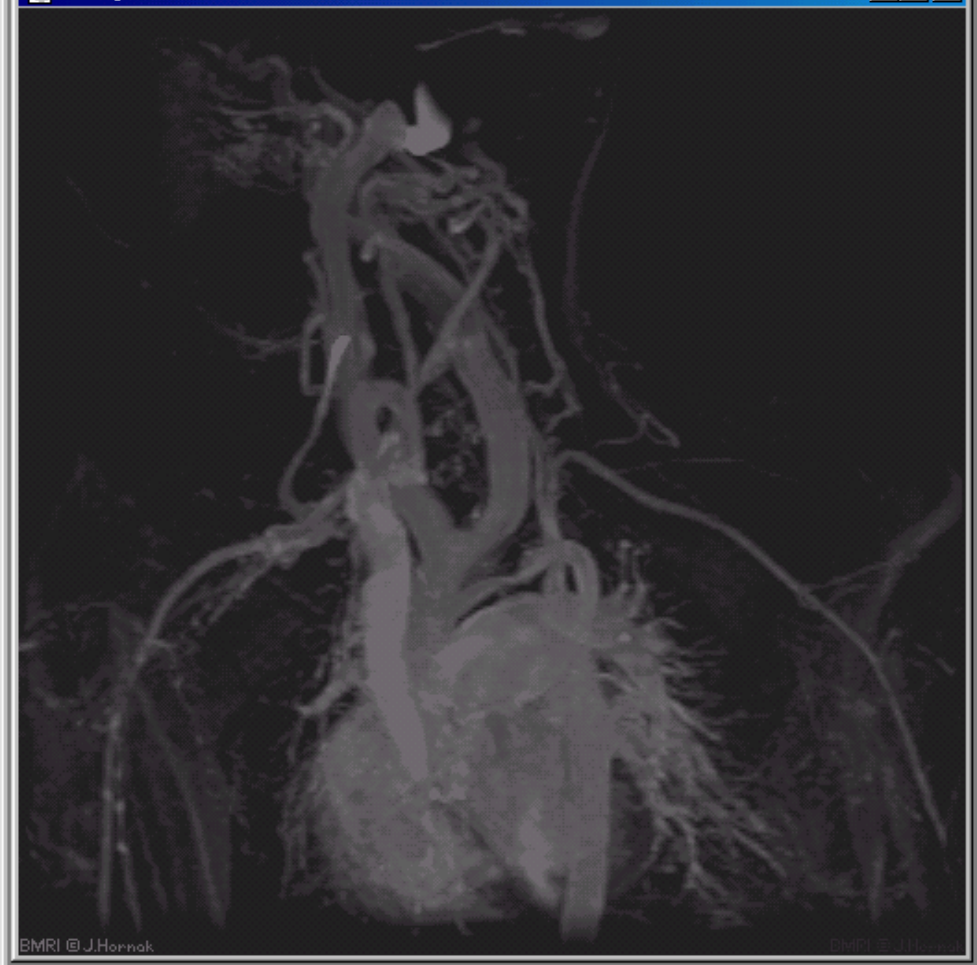




Adobe Photoshop

文件(F) 编辑(E) 图像(I) 图层(L) 选择(S) 滤镜(T) 视图(V) 窗口(W) 帮助(H)

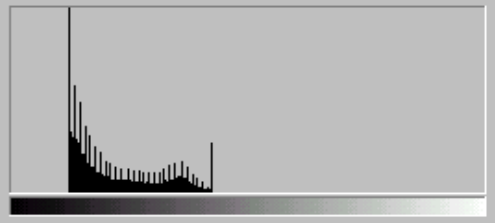
an01.gif @ 100%(索引)



直方图

通道(C): 亮度

好



平均值: 44.82　　色阶:

标准偏差: 21.50　　数量:

中间值: 31　　百分位:

像素: 262144　　高速缓存级别: 1

编辑(E) 图像(I) 图层(L) 选择(S) 滤镜(T) 视图(V) 窗口(W) 帮助(H)

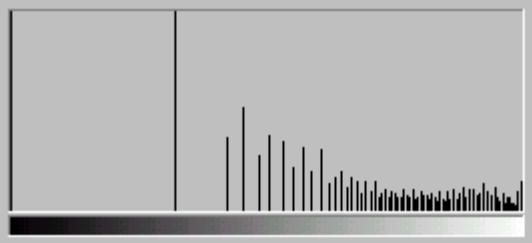
an01.gif @ 100%(灰色)

直方图均衡化
灰度动态范围扩展

直方图

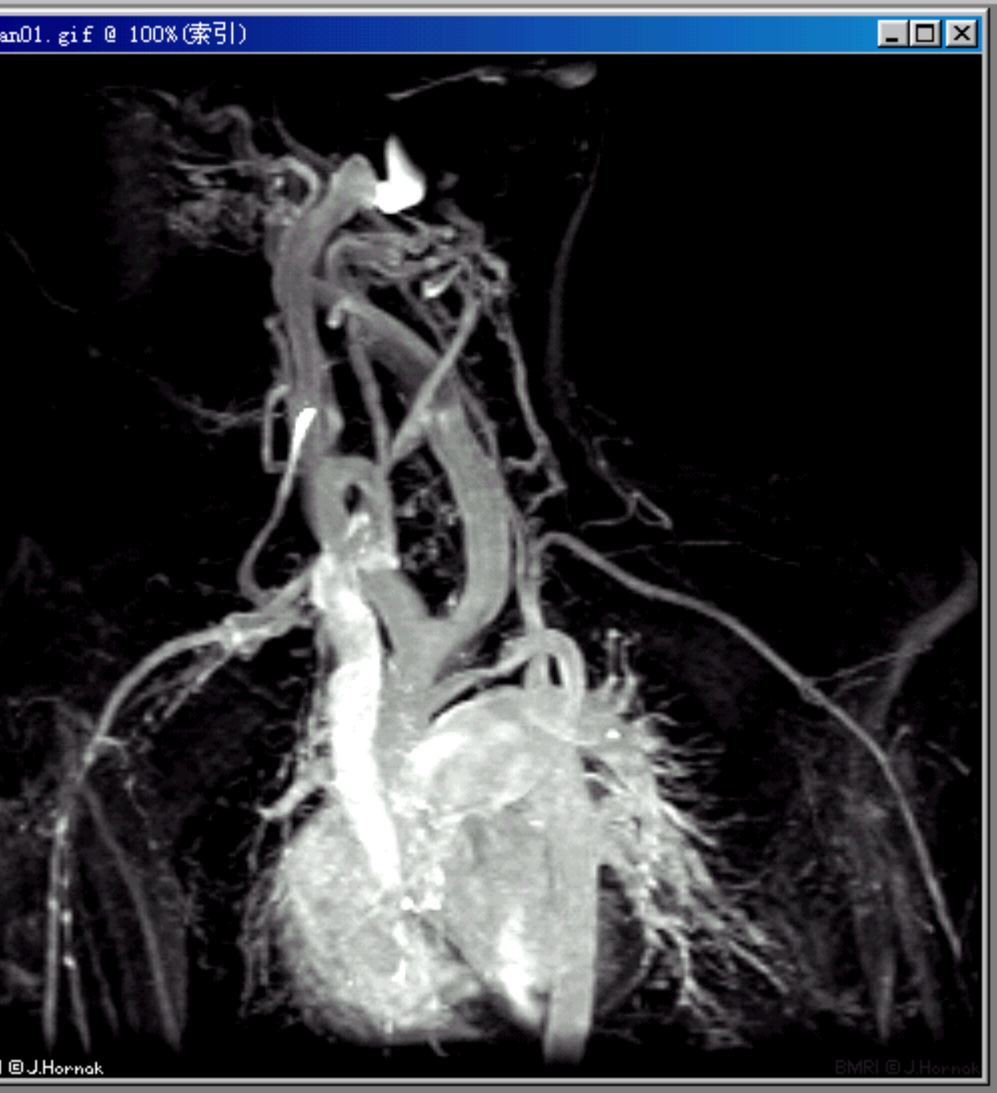
通道:灰色

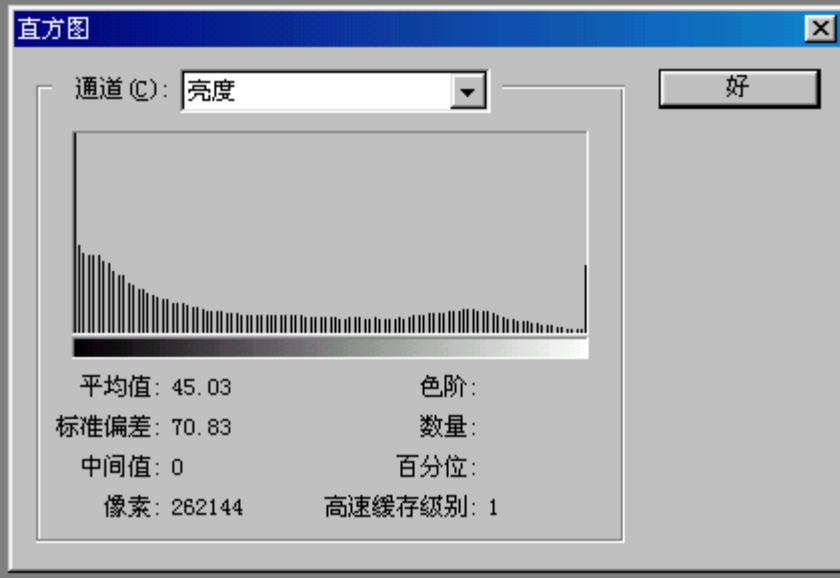
好



平均值: 98.30　　色阶:
标准偏差: 88.60　　数量:
中间值: 82　　百分位:
像素: 262144　　高速缓存级别: 1

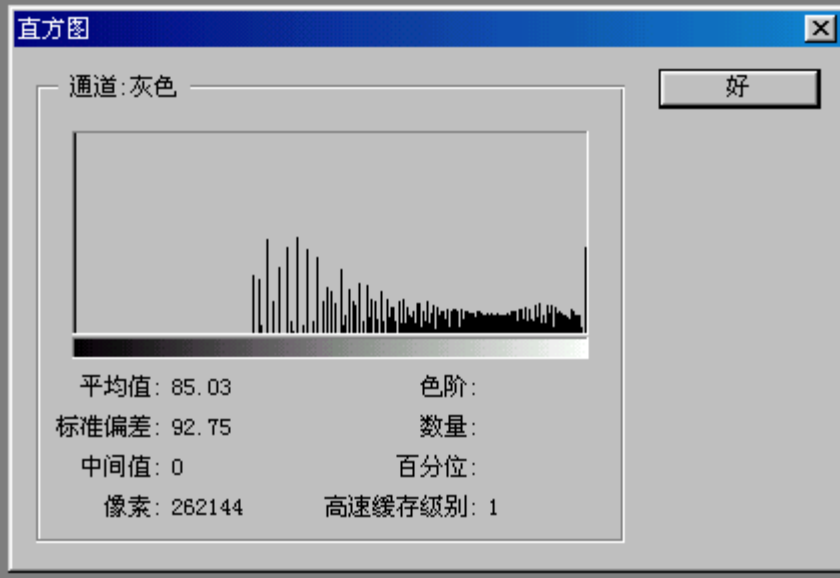
对比度扩展


(F) 编辑(E) 图像(I) 图层(L) 选择(S) 滤镜(T) 视图(V) 窗口(W) 帮助(H)
an01.gif @ 100%(索引)
©J.Hornak
BMRI ©J.Hornak


直方图
通道(C): 亮度
好
平均值: 45.03
色阶:
标准偏差: 70.83
数量:
中间值: 0
百分位:
像素: 262144
高速缓存级别: 1

直方图均衡化


an01.gif @ 100%(灰色)
BMRI ©J.Hornak

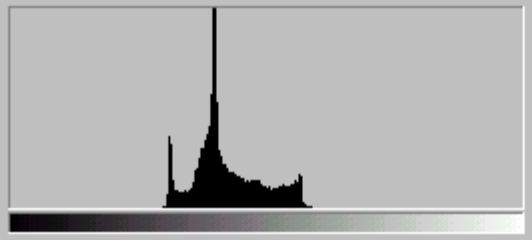

直方图
通道:灰色
好
平均值: 85.03
标准偏差: 92.75
中间值: 0
像素: 262144
色阶:
数量:
百分位:
高速缓存级别: 1

(F) 编辑(E) 图像(I) 图层(L) 选择(S) 滤镜(T) 视图(V) 窗口(W) 帮助(H)

直方图

通道(C): 亮度

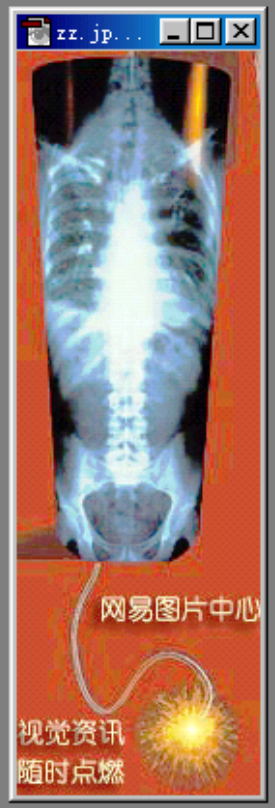
好



平均值: 105.93　　色阶:
标准偏差: 14.64　　数量:
中间值: 102　　百分位:
像素: 48510　　高速缓存级别: 1

dobe Photoshop

(F) 编辑(E) 图像(I) 图层(L) 选择(S) 滤镜(T) 视图(V) 窗口(W) 帮助(H)



直方图

通道(C): 亮度

好

平均值: 129.82　　色阶:

标准偏差: 53.56　　数量:

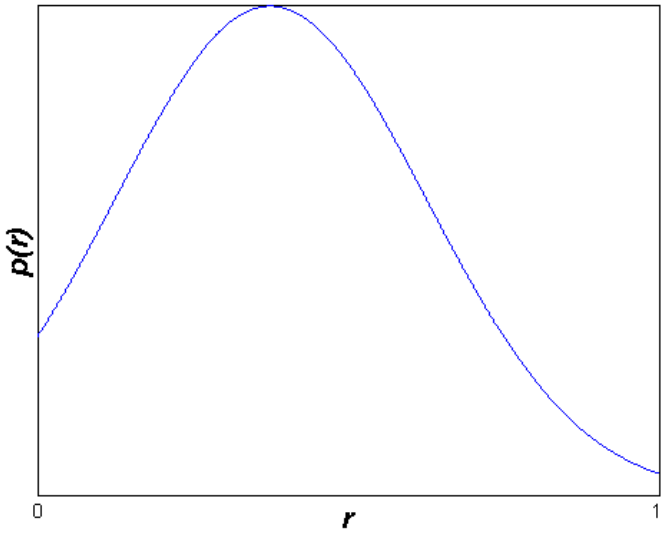
中间值: 119　　百分位:

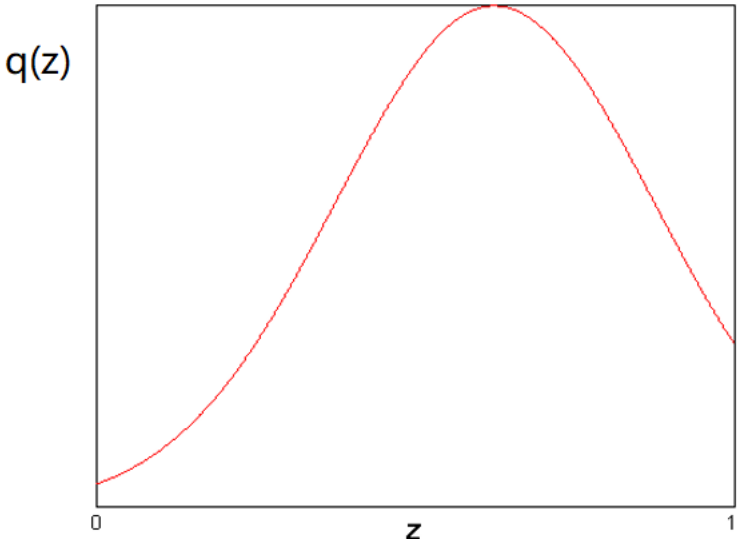
像素: 48510　　高速缓存级别: 1

直方图调整法：直方图匹配

- 修改一幅图像的直方图，使得它与另一幅图像的直方图匹配或具有一种预先规定的函数形状
- 突出感兴趣的灰度范围，使图像质量改善

直方图调整法：直方图匹配





原图的直方图　　规定的直方图

Z = T(r) ：　$\int_0^z \boldsymbol{q}(z)dz = \int_0^r \boldsymbol{p}(\boldsymbol{r})d\boldsymbol{r}$

Z* = arg(z) min $\left|\int_0^z \boldsymbol{q}(z)dz - \int_0^r \boldsymbol{p}(\boldsymbol{r})d\boldsymbol{r}\right|$

直方图调整法：直方图匹配

步骤

- 各点灰度由 *r* 映射成 *s*

$$s = T(r) = \int_0^r p(r)dr \qquad 0 \le r \le 1$$

- 各点灰度由 *z* 映射成 *v*

$$v = G(z) = \int_0^z q(z)dz \qquad 0 \le z \le 1$$

- 根据 v=G(z), $z=G^{-1}(v)$

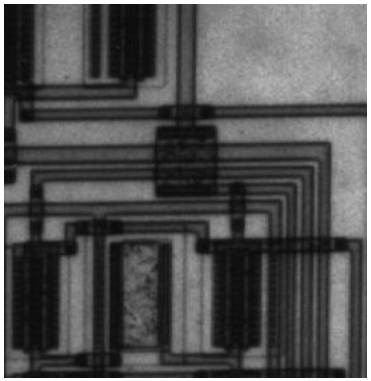
  由于 v, s有相同的分布，

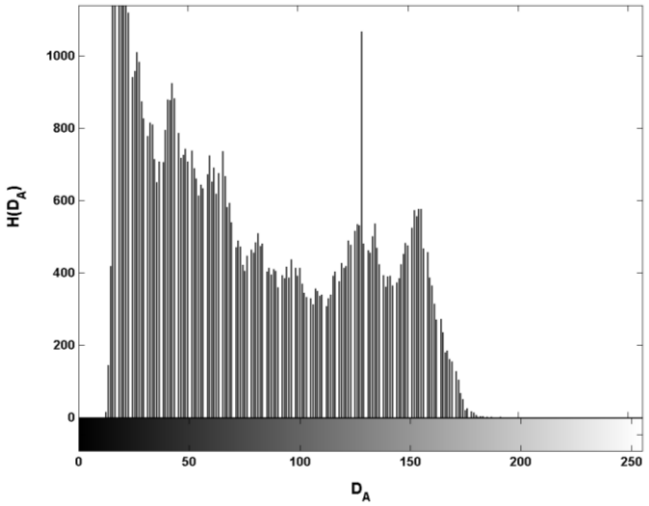
  逐一取 v=s，求出与 r 对应的 $z=G^{-1}(s)$。

离散的情况下如何实现?

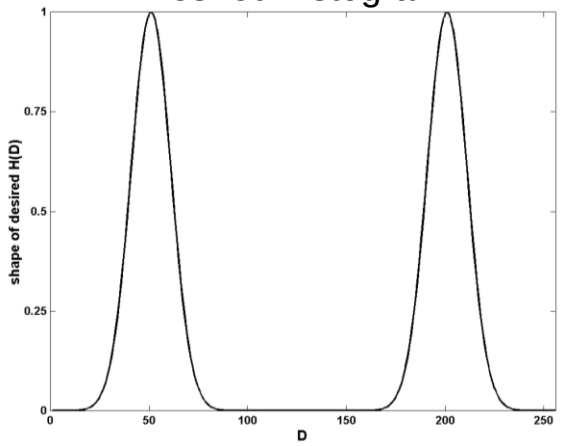
Histogram Matching (Specification)

original

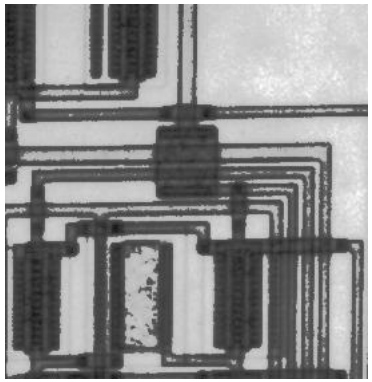


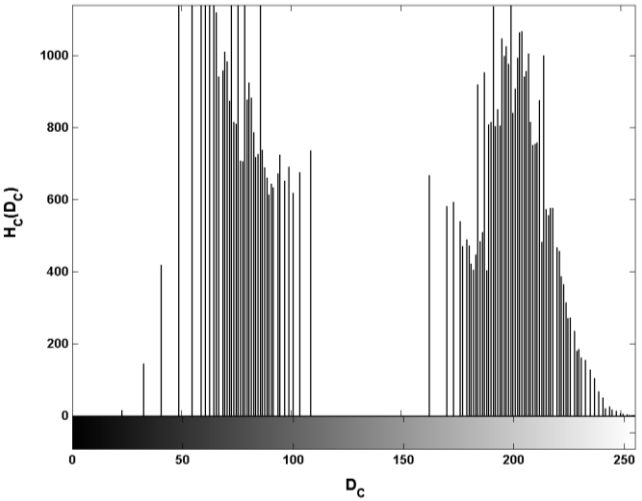


Desired histogram



After

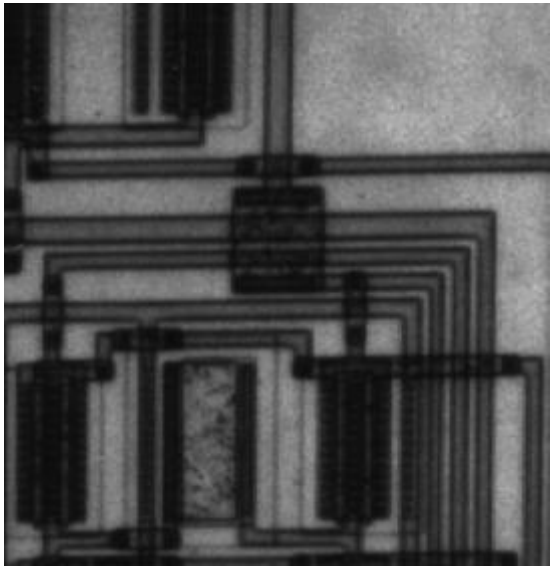




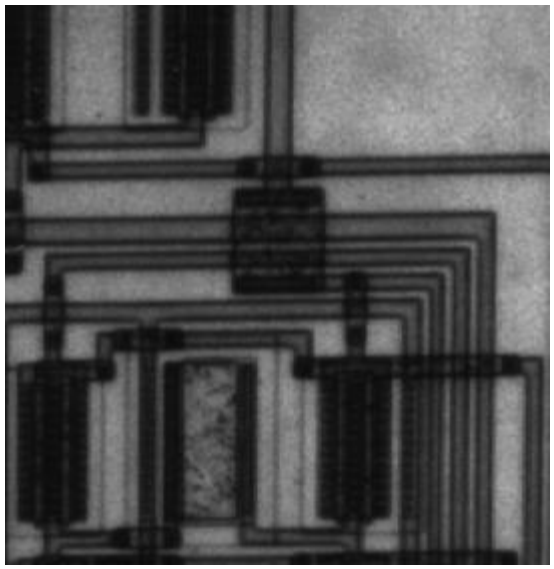
Example - Application

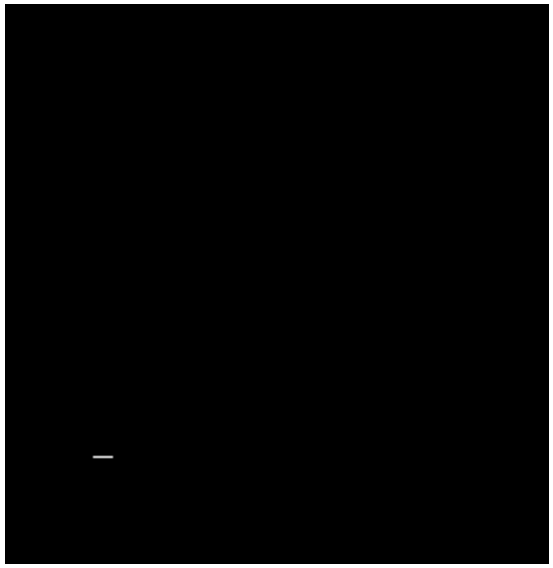
We wish to check if a circuit board (image 1) matches the template (image 2) from which it was manufactured. Any defects?

1 - Manufactured



2 - Template



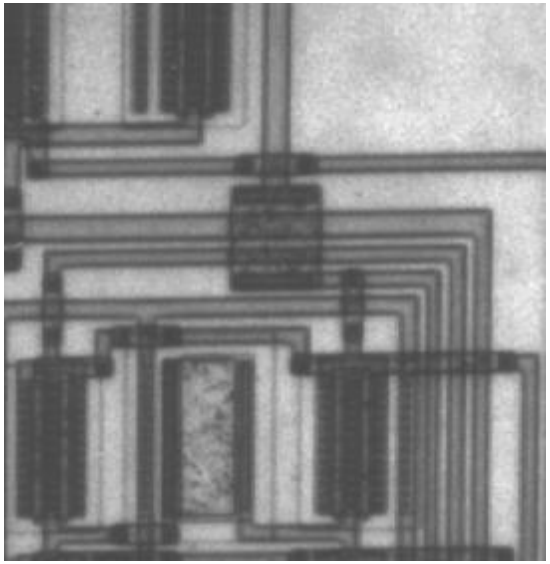


Compute difference image (defined later), threshold by setting pixels with non-zero absolute difference to 1 and all other pixels to 0:

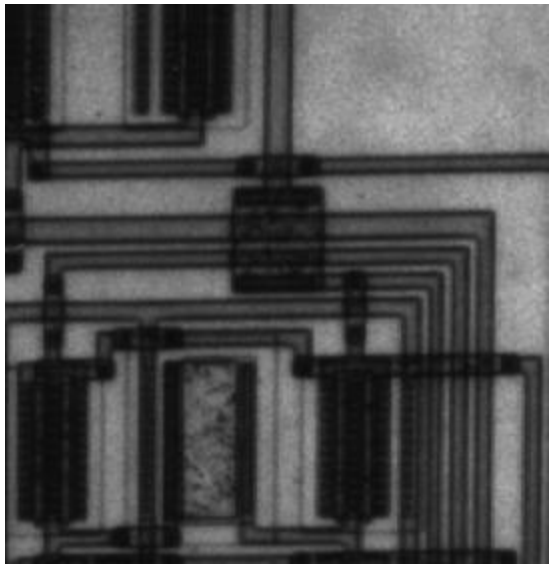
Example - Application

What if the overall brightness of image 1 is different from that of image 2?

1 - Manufactured



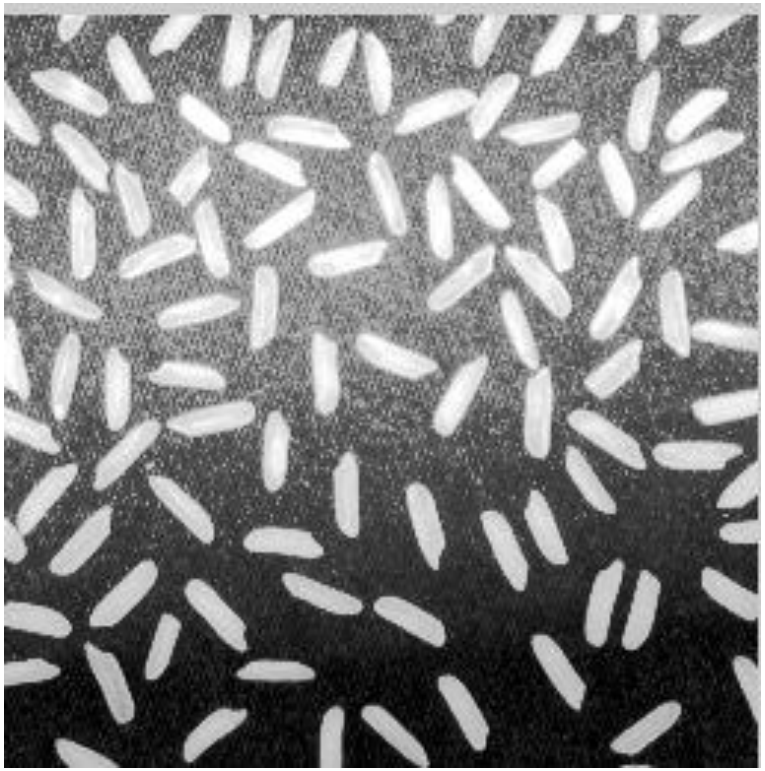
2 - Template



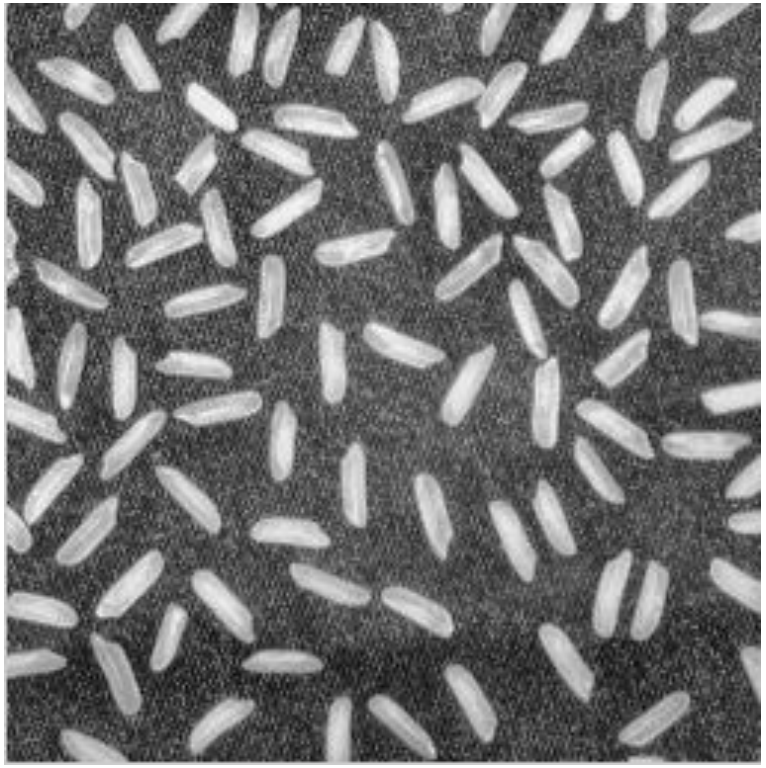
Difference image is white everywhere because there is a difference in the brightness of all pixels.

One solution would be to match the histograms of the two images and then do the subtraction.

自适应的直方图均衡化



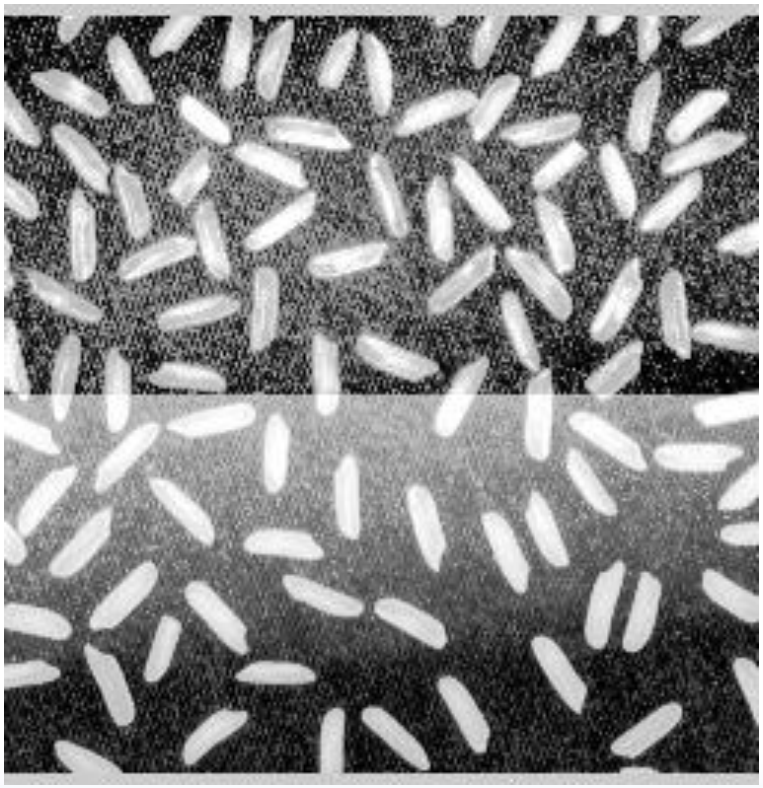
```
I=imread('rice.png');
J=histeq(I);
figure,imshow(J);
```



```
K=adapthisteq(I);
figure,imshow(K);
```

自适应的直方图均衡化

图像分块，每块都均衡化



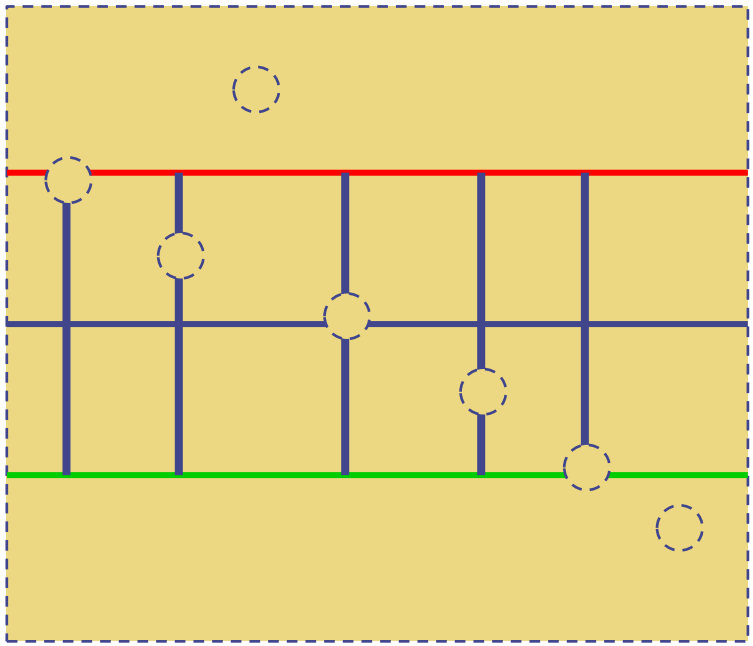
上面的块将 r -> s1

下面的块将 r -> s2

如何光滑化？

自适应的直方图均衡化

图像分块，每块都均衡化



如何光滑化？

线性插值：

离上块中心线的距离

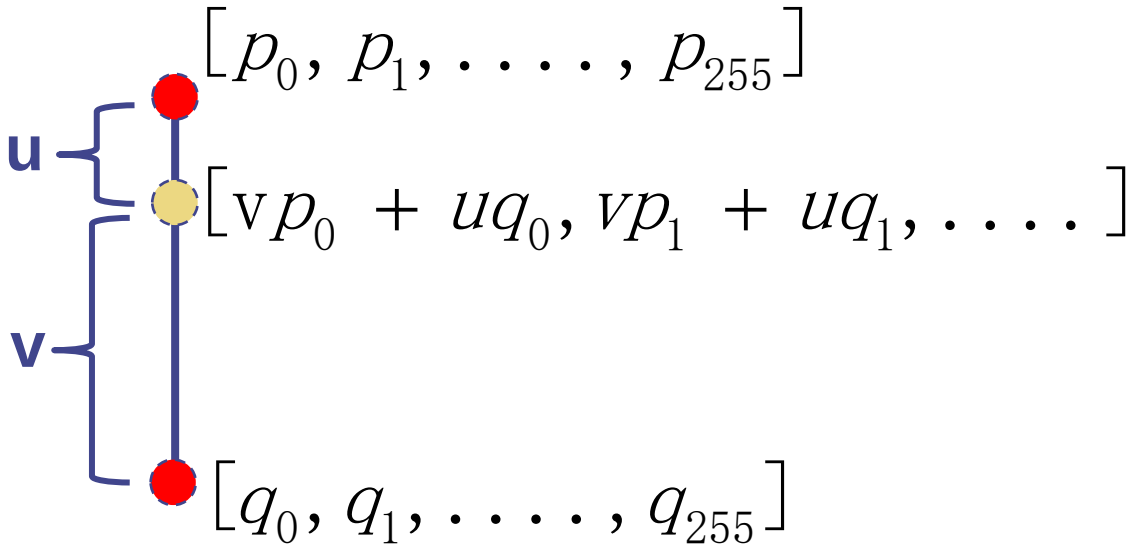
离下块中心线的距离

设图中圆圈代表的点，在原图像上灰度相同，
如何确定他们在变换后的灰度值？

自适应的直方图均衡化

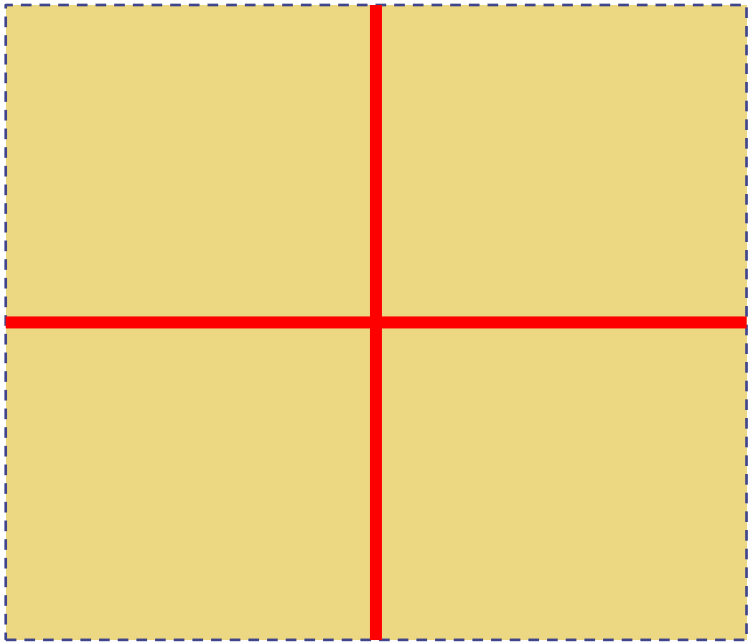
华中科技大学

图像分块，每块都均衡化

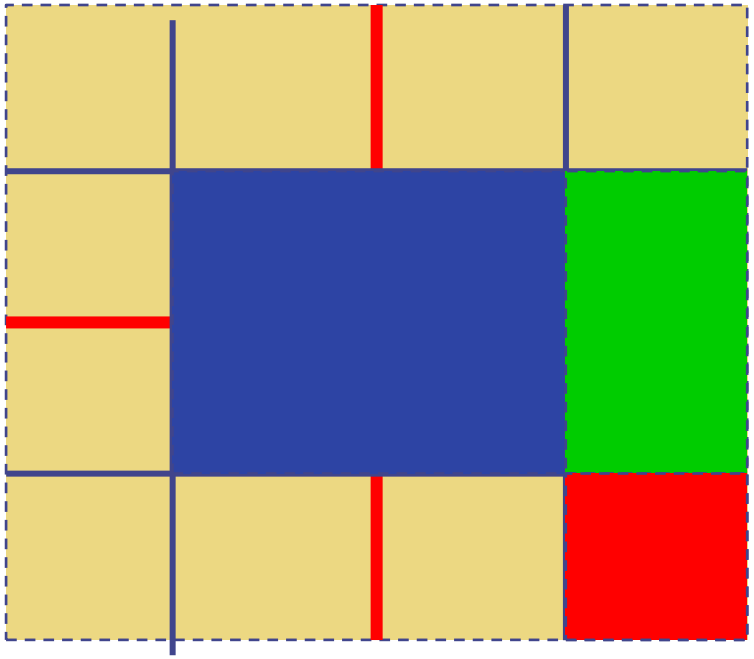


自适应的直方图均衡化

图像分块，每块都均衡化



分4块，每块都均衡化



不同颜色块灰度映射平滑时使用的信息不同

自适应的直方图均衡化

直方图均衡化中有什么缺点？

设 r → S

p(r+1) 又很大，映射后会有什么现象？

$$T(r+1)=\sum_{j=0}^{r+1}p(j)=\{\sum_{j=0}^{r}p(j)\}+p(r+1)$$

$$=T(r)+p(r+1)$$

对直方图进行修正：削峰填谷

Terms

Image enhancement: 图像增强
Image quality: 图像质量
Globe operation: 全局运算
Local operation: 局部运算
Point operation: 点运算
Spatial domain: 空间域
Spatial coordinate: 空间坐标
Frequency domain: 频域
Fourier transform: 傅立叶变换

Terms

華中科技大學

Contrast enhancement: 对比度增强

Contrast stretching: 对比度扩展

Linear: 线性

Nonlinear: 非线性

Frequency: 频率

Frequency variable: 频率变量

Terms

Gray-scale transformation(GST): 灰度变换

Logarithm transformation: 对数变换

Exponential transformation: 指数变换

Threshold: 阈值

Thresholding: 二值化、门限化

False contour: 假轮廓

Terms

Histogram: 直方图

Multivariable histogram: 多变量直方图

Histogram modification: 直方图调整、直方图修改

Histogram equalization: 直方图均衡化

Histogram specification: 直方图规定化

Histogram matching: 直方图匹配

Terms

華中科技大學

Histogram thresholing: 直方图门限化

Probability density function(PDF): 概率密度函数

Cumulative distribution function(CDF): 累积分布函数

Slope: 斜率

Normalized: 归一化

Inverse function: 反函数

MATLAB 的图像增强函数

imadjust
histeq
adapthisteq
stretchlim