



数字图像处理

Digital Image Processing

信息工程学院

School of Information Engineering

5.2 基于直方图处理的图像增强

黄朝兵 主讲

1. 灰度图像的直方图

- 灰度级直方图是图像的一种统计表达，它反映了该图中不同灰度级出现的统计概率。
- 设图像具有L个灰度级，图像中像素点的个数为n，它的第k个灰度级 n_k 出现的次数为 ($k=0,1,2,\dots,L-1$)

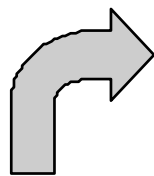
$$h(k) = n_k$$

则概率

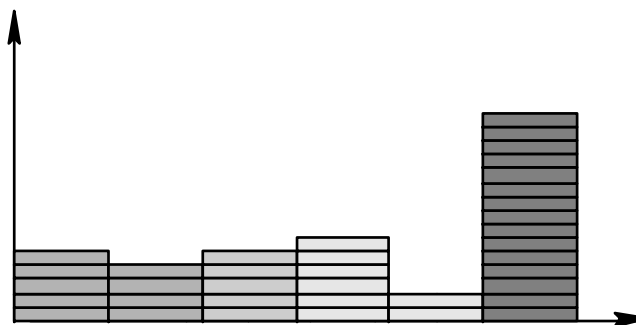
$$P_r(k) = n_k / n$$

1. 灰度图像的直方图

1	2	3	4	5	6
6	4	3	2	2	1
1	6	6	4	6	6
3	4	5	6	6	6
1	4	6	6	2	3
1	3	6	4	6	6

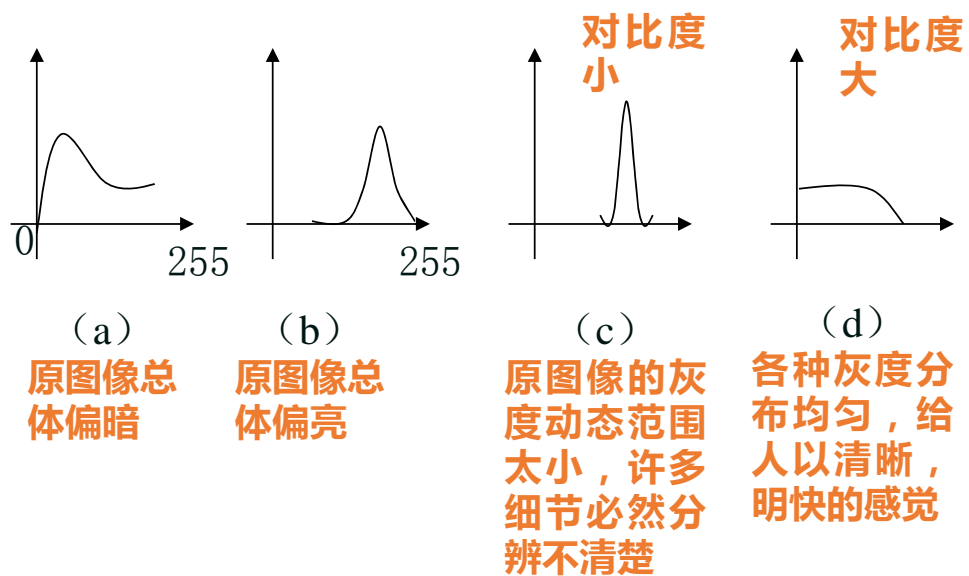
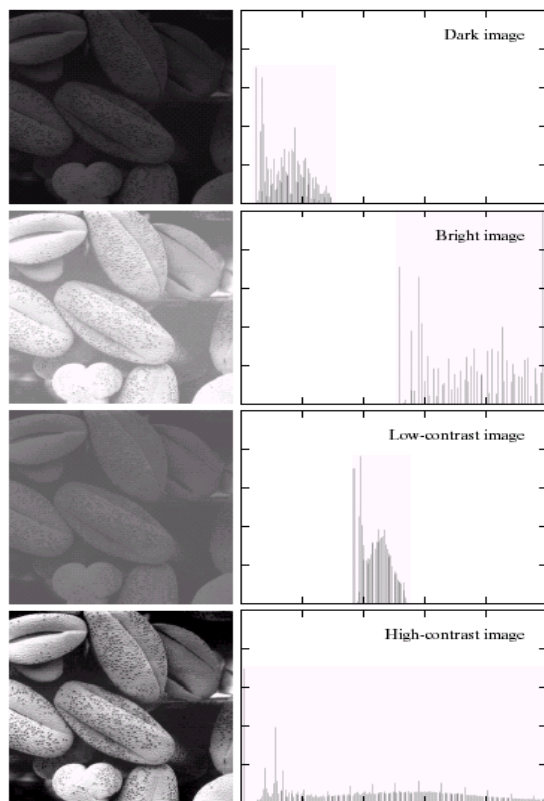


1	2	3	4	5	6
5	4	5	6	2	14



1. 灰度图像的直方图

通过直方图可以看出图像整体的性质



2. 直方图均衡化-思想

基本思想：

- 把原始图像的直方图变换为均匀分布的形式，从而增加图像灰度的动态范围，达到增强图像对比度的效果。
- 经过均衡化处理的图像，其灰度级出现的概率相同，此时图像的熵最大，图像所包含的信息量最大。

2. 直方图均衡化-方法推导

- 假设原始图像灰度级 r 归一化在 $0 \sim 1$ 之间，
 $p_r(r)$ 为原始图像灰度分布的概率密度函数
- 直方图均衡化实际上是：
寻找灰度变换函数 T ，使变换后的灰度值满足
 $s = T(r)$
 s 归一化在 $0 \sim 1$ 之间，
要求处理后图像灰度分布的概率密度函数
 $p_s(s) = 1$ --在 $[0, 1]$ 上的均匀分布。

2. 直方图均衡化-方法推导

- 变换函数 $T(r)$ 应满足下列条件：
 - (1) 在 $0 \leq r \leq 1$, $T(r)$ 单值单调递增；
 - (2) 对于 $0 \leq r \leq 1$, 有 $0 \leq T(r) \leq 1$ 。
- 条件1保证了变换后图像的灰度级从黑到白的次序不变。
- 条件2保证了变换前后图像灰度范围一致。

反变换 $r=T^{-1}(s)$ 也满足类似条件。

随机变量 ξ 的概率密度函数 $p_r(r)$, $\eta=T(\xi)$ 的概率密度函数为 $p_s(s)$, 可以求得 η 的分布函数：

$$F_{\eta}(s) = p(\eta < s) = p(\xi < r) = \int_{-\infty}^r p_r(x) dx$$

2. 直方图均衡化-方法推导

$$F_{\eta}(s) = p(\eta < s) = p(\xi < r) = \int_{-\infty}^r p_r(x) dx$$

两边求导，可得随机变量 η 的概率密度函数 $p_s(s)$

$$p_s(s) = [p_r(r) \cdot \frac{dr}{ds}]_{r=T^{-1}(s)}$$

若 $p_s(s)=1$ ，则： $ds=p(r)dr$ ，对其两边积分得：

$$S = T(r) = \int_0^r p_r(x) dx$$

离散情况下，用频率近似代替概率，有：

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

2. 直方图均衡化-方法

(1) 统计原始图像的直方图：

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n}$$

其中, r_k 是归一化的输入图像灰度级。

(2) 计算直方图累积直方图

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

(3) 用累积直方图作变换函数进行图像灰度变换：

与归一化灰度等级 r_k 比较，寻找最接近的一个作为原灰度级k
变换后的新灰度级 s_k 。

2. 直方图均衡化-示例

- 假定有一幅总像素为 $n=64 \times 64$ 的图像，灰度级数为8，各灰度级分布列于下表中，对其均衡化计算过程及结果如下表：

$$s'_k = \text{int}[(L-1)s_k + 0.5]$$

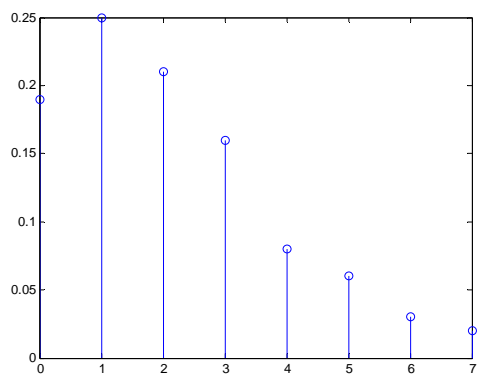
原象灰级 k	归一化灰级 (r_k)	第 k 像素级 像素个数	$n_r(r_k)$	$s_k = \sum_{j=0}^k n_r(r_j)$	变换后 灰度级
0	$0/7=0$	790	0.19	0.19	S1
1	$1/7=0.14$ 28	1023	0.25	0.44	S3
2	$2/7=0.28$ 56	850	0.21	0.65	S5
3	$3/7=0.42$ 85	656	0.16	0.81	S6
4	$4/7=0.57$ 14	329	0.08	0.89	S6
5	$5/7=0.71$ 42	245	0.06	0.95	S7
6	$6/7=0.85$ 71	122	0.03	0.98	S7
7	$7/7=1$	81	0.02	1	S7

2. 直方图均衡化

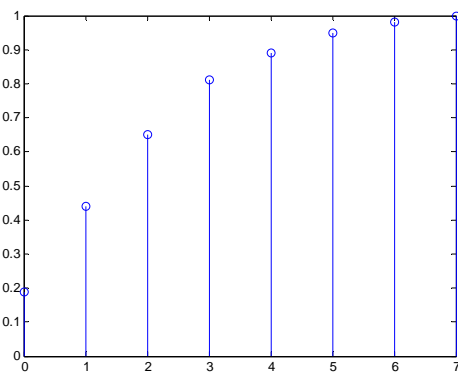
$$s'_k = \text{int}[(L-1)s_k + 0.5]$$

r_k	n_k	$p(r_k)$	s_k 计算	s_k 舍入	s_k	n_{sk}	$p(s_k)$
$r_0=0$	790	0.19	0.19	1/7	s_1	790	0.19
$r_1=1/7$	1023	0.25	0.44	3/7	s_3	1023	0.25
$r_2=2/7$	850	0.21	0.65	5/7	s_5	850	0.21
$r_3=3/7$	656	0.16	0.81	6/7	s_6	985	0.24
$r_4=4/7$	329	0.08	0.89	6/7			
$r_5=5/7$	245	0.06	0.95	1	s_7	448	0.11
$r_6=6/7$	122	0.03	0.98	1			
$r_7=1$	81	0.02	1.00	1			

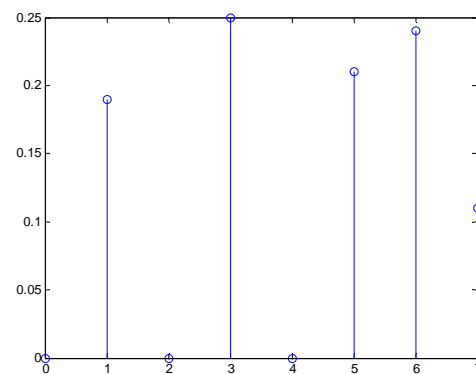
2. 直方图均衡化-示例



(a)原图像直方图



(b)累积直方图

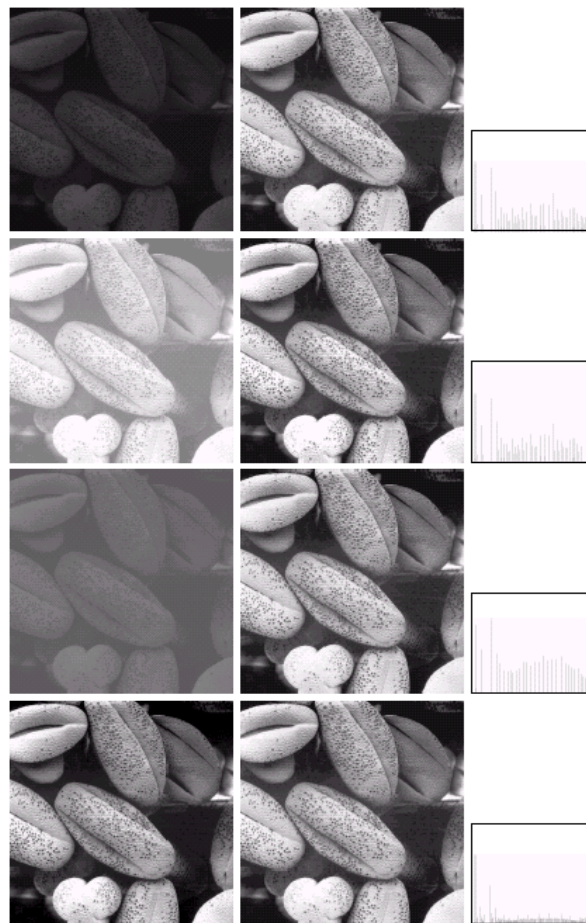


(c)直方图均衡化处理后直方图

2. 直方图均衡化-方法特点

直方图均衡化是一种适应性很强的增强工具

对于具有相同内容而具有不同直方图的图像，经过直方图均衡化处理后可以得到视觉上相似的结果





谢谢

THANK YOU