2D计算机视觉

原理、算法及应用

第3章　空域增强

图像增强是指通过对图像的各种加工，获得视觉效果更“好”，或看起来更“有用”的图像

图像增强技术是一类基本和典型的图像处理技术

空域增强：在图像增强中，对图像的加工可直接地在图像域（空域）进行，即直接改变对各个像素的位置或灰度以得到增强的效果

在变换域间接地进行图像增强见第4章

第3章　空域增强

3.1　图像间运算

3.2　图像灰度映射

3.3　直方图均衡化

3.4　直方图规定化

3.5　空域卷积增强

3.1 图像间运算

算术运算

一般用于灰度图像，对整幅图像的算术运算是逐像素进行的

两个像素p和q之间的算术运算包括：

（1）加法：记为$p + q$

（2）减法：记为$p - q$

（3）乘法：记为$p \times q$（也可写为pq和$p*q$）

（4）除法：记为$p \quad q$

3.1 图像间运算

算术运算

图像加法的一种应用方式是通过图像平均减少图像采集中的噪声

采集的图像 $g(x,y)=f(x,y)+e(x,y)$

平均的图像 $\bar{g}(x,y)=\dfrac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}g_i(x,y)$

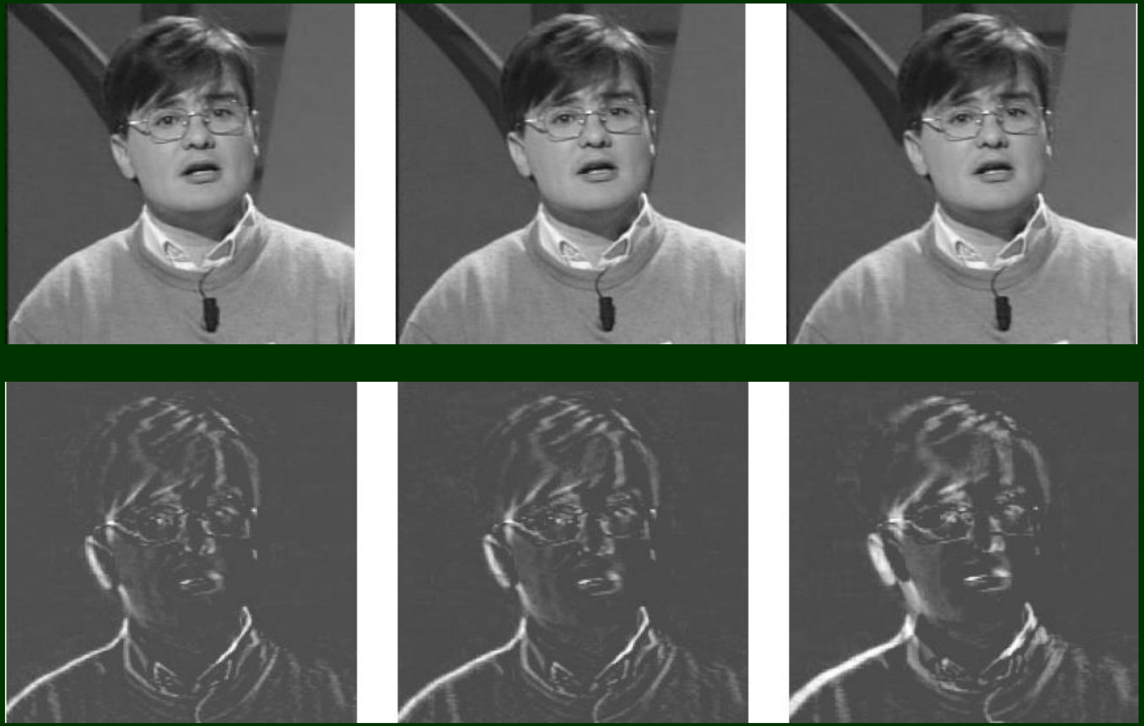
新图像的期望值 $E\{\bar{g}(x,y)\}=f(x,y)$

新图像的均方差 $\sigma_{\bar{g}(x,y)}=\sqrt{\dfrac{1}{M}}\times\sigma_{e(x,y)}$

3.1 图像间运算

算术运算

图像减法可用于检测图像中目标运动信息



3.1 图像间运算

逻辑运算

逻辑运算只用于二值图像

（1）补（COMPLEMENT）运算：

记为 NOT q （也可写为 $\bar{q}$）

（2）与（AND）运算：

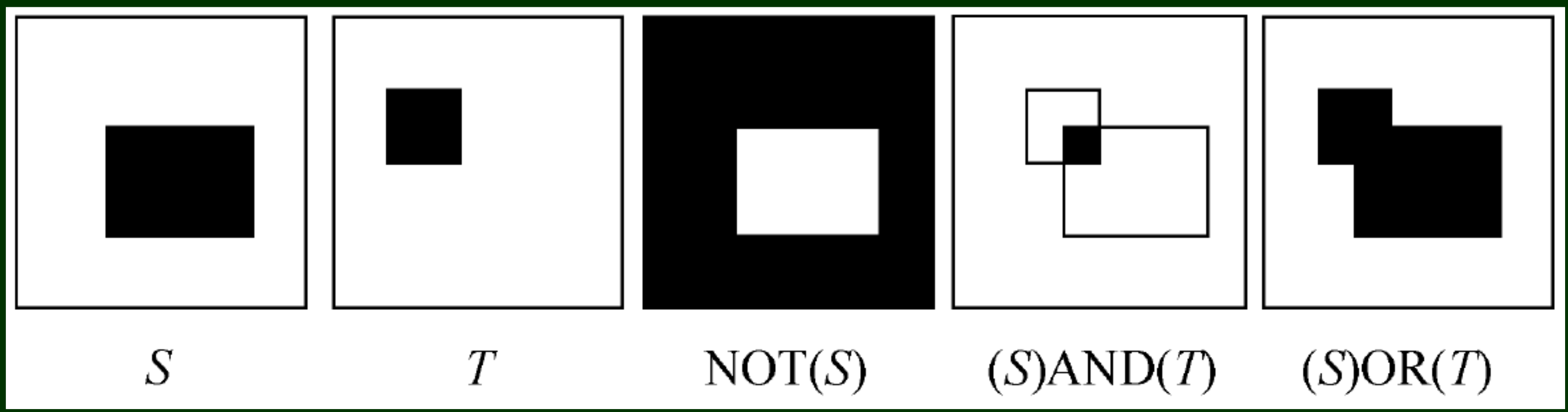
记为 p AND q （也可写为 $p \bullet q$）

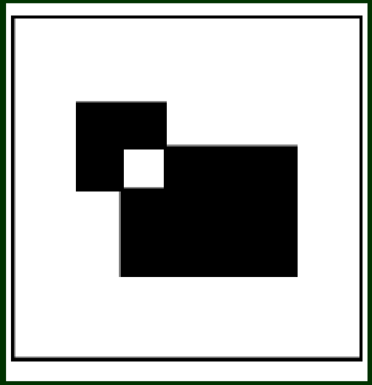
（3）或（OR）运算：

记为 p OR q（也可写为 $p + q$）

3.1 图像间运算

逻辑运算





对于XOR（异或）运算，当两个像素之一（不同时）为1时结果为1，其它情况下结果均为0

3.2 图像灰度映射

设原始图像在(x, y)处的灰度为 f，而改变后图像在(x, y)处的灰度为g，则对图像的增强可表述为将在(x, y)处的灰度 f 映射为g的操作

设 f 和g的取值范围均在$[0，L-1]$中

图像求反

将原图灰度值翻转

图像求反的映射规则

$$g(x,y)=(L-1)-f(x,y)$$

3.2 图像灰度映射

对比度拉伸

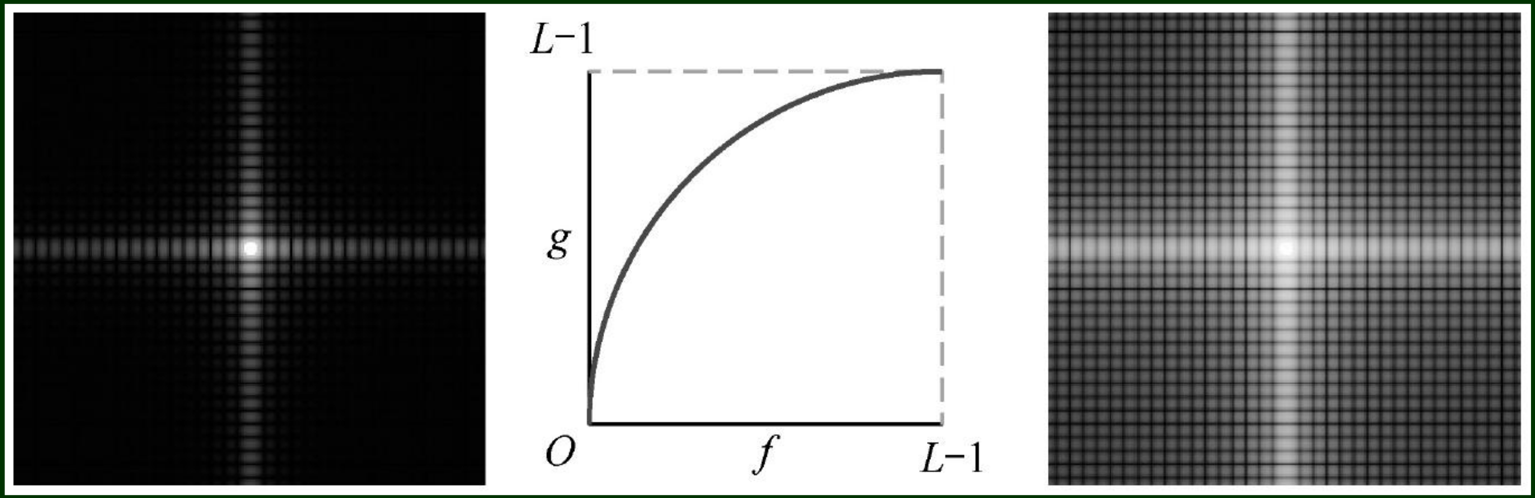
加大图像中各部分之间的反差（灰度差别）

典型的对比度拉伸曲线（这里是1条折线）

$$
g(x,y)=\begin{cases}
\dfrac{g_1}{f_1}, & 若 0<f(x,y)\leqslant f_1 \\[2ex]
\dfrac{g_2-g_1}{f_2-f_1}, & 若 f_1<f(x,y)\leqslant f_2 \\[2ex]
\dfrac{L-1-g_2}{L-1-f_2}, & 若 f_2<f(x,y)\leqslant L-1
\end{cases}
$$

动态范围压缩

当原图的动态范围太大时，超出设备允许的显示范围，可借助对数形式的变换来进行压缩



3.3 直方图均衡化

图像直方图

1个1-D的离散函数

$$p_f(f_k) = \frac{n_k}{n} \quad k = 0, 1, \cdots, L-1$$

f_k为图像 $f(x, y)$的第k级灰度值，n_k是图像$f(x, y)$中具有灰度值 f_k的像素的个数，n是图像像素总数

见图3-7，图像的明亮反差等视觉效果和其直方图具有较直接的对应关系，可以通过改变直方图的形状来达到改善视觉效果，增强图像的目的

3.3 直方图均衡化

原理和步骤

基本思想是把原始图像的直方图变换为均匀分布的形式，这样就增加了像素灰度值的动态范围，从而可实现增强图像整体对比度的效果

累积直方图

$$g_k = \sum_{i=0}^{k} \frac{n_i}{n} = \sum_{i=0}^{k} p_f(f_i) \qquad \begin{array}{l} 0 \leqslant f_k \leqslant 1 \\ k = 0, 1, \cdots, L-1 \end{array}$$

（1）在$0 \le f \le L-1$范围内是1个单值单增函数

（2）对$0 \le f \le L-1$有$0 \le g \le L-1$

3.3 直方图均衡化

原理和步骤

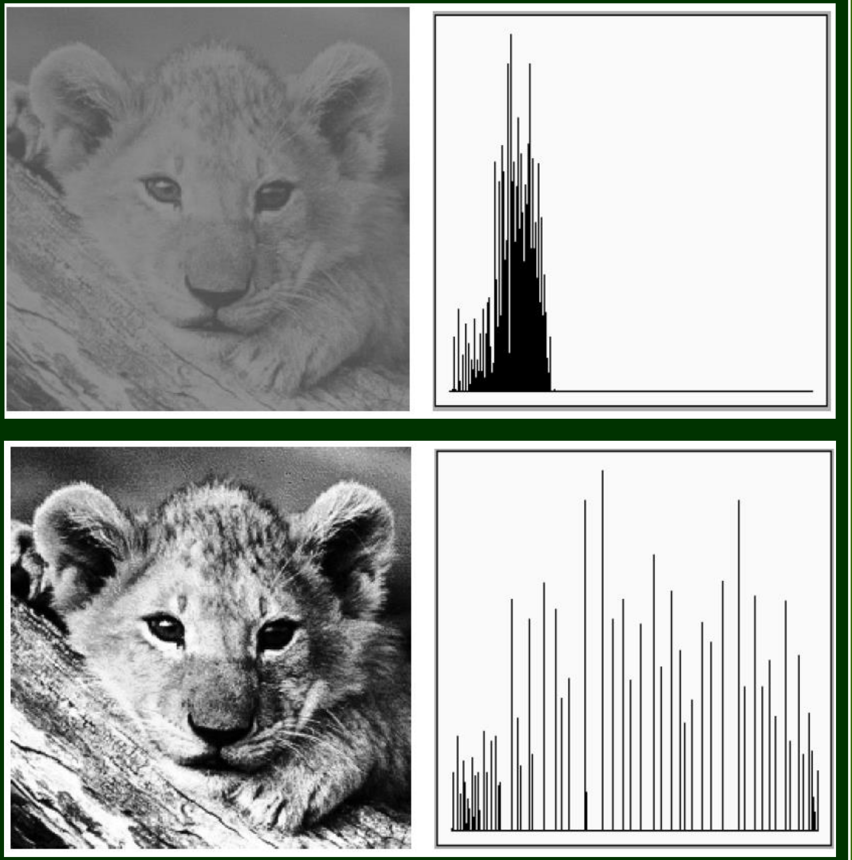
序　号	运　算	步骤和结果							
1	列出原始图像灰度级 f_k，k=0, 1, ⋯, 7	0	1	2	3	4	5	6	7
2	列出原始直方图	0.02	0.05	0.09	0.12	0.14	0.20	0.22	0.16
3	用式（3-10）计算原始累积直方图	0.02	0.07	0.16	0.28	0.42	0.62	0.84	1.00
4	取整，$g_k = \mathrm{int}[(L-1)g_k+0.5]$	0	0	1	2	3	4	6	7
5	确定映射对应关系（$f_k \to g_k$）	$0, 1 \to 0$		$2 \to 1$	$3 \to 2$	$4 \to 3$	$5 \to 4$	$6 \to 6$	$7 \to 7$
6	计算新直方图	0.07	0.09	0.12	0.14	0.20	0	0.22	0.16

3.3 直方图均衡化

原理和步骤

原始图较暗且动态范围较小，其直方图的灰度值范围比较窄且集中在低灰度值一侧

增强直方图增加了图像灰度动态范围和对比度，图像有较大的反差，细节更加清晰



3.4 直方图规定化

原理和步骤

规定直方图：具有特定形状的直方图

（1）对原始图的直方图进行灰度均衡化

$$g_k = \sum_{i=0}^{k} p_f(f_i) \qquad k = 0,1,\cdots,M-1$$

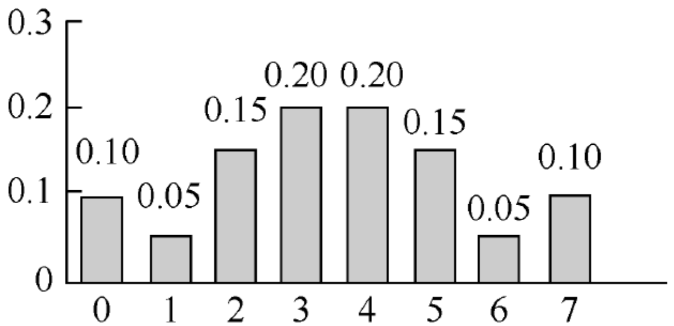
（2）计算能使规定直方图均衡化的变换

$$v_l = \sum_{j=0}^{l} p_u(u_j) \qquad l = 0,1,\cdots,N-1$$

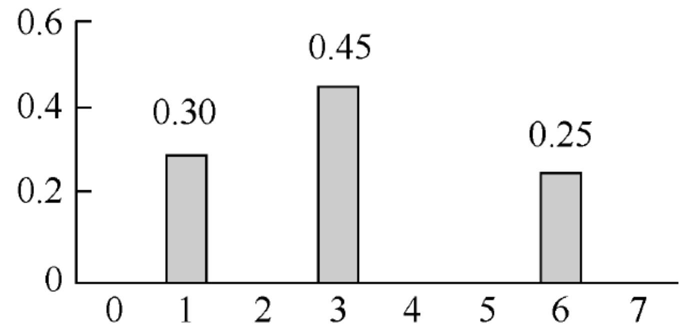
（3）将所有$p_f(f_i)$对应映射到$p_u(u_j)$中去

3.4 直方图规定化

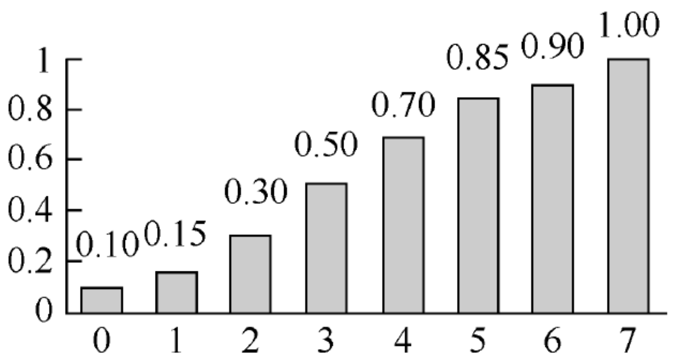
原理和步骤



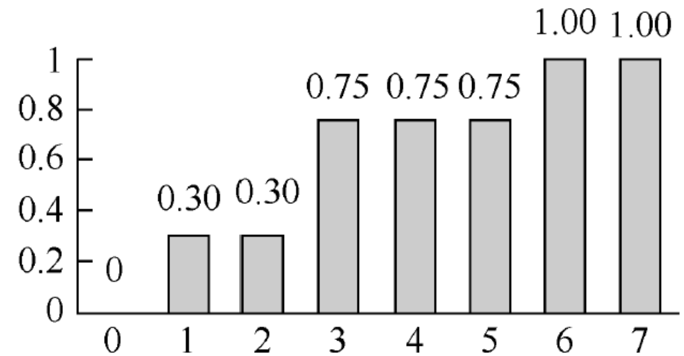
原始直方图



规定直方图



原始累积直方图



规定累积直方图

3.4　直方图规定化

单映射规则和组映射规则

步骤（3）采用的（映射）对应规则

单映射规则：将$p_f(f_i)$逐个映射到$p_u(u_j)$

$$\left|\sum_{i=0}^{k} p_f(f_i) - \sum_{j=0}^{l} p_u(u_j)\right| \qquad \begin{array}{l} k = 0,1,\cdots,M-1 \\ l = 0,1,\cdots,N-1 \end{array}$$

组映射规则：将一组$p_f(f_i)$一起映射到$p_u(u_j)$

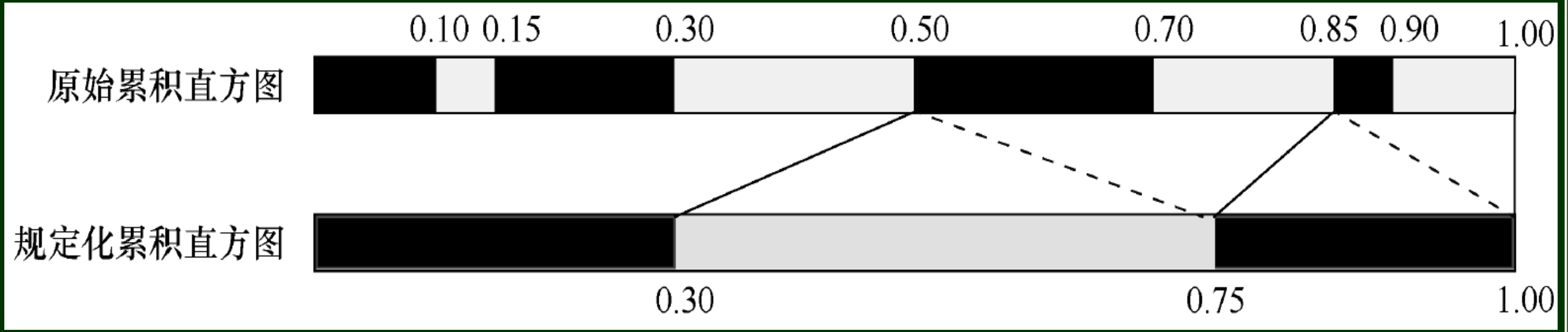
$$\left|\sum_{i=0}^{I(l)} p_f(f_i) - \sum_{j=0}^{l} p_u(u_j)\right| \qquad l = 0,1,\cdots,N-1$$

3.4　直方图规定化

单映射规则和组映射规则

借助图示的方法来解释

单映射：从原始累积直方图向规定化累积直方图进行（取尽可能竖直的线）

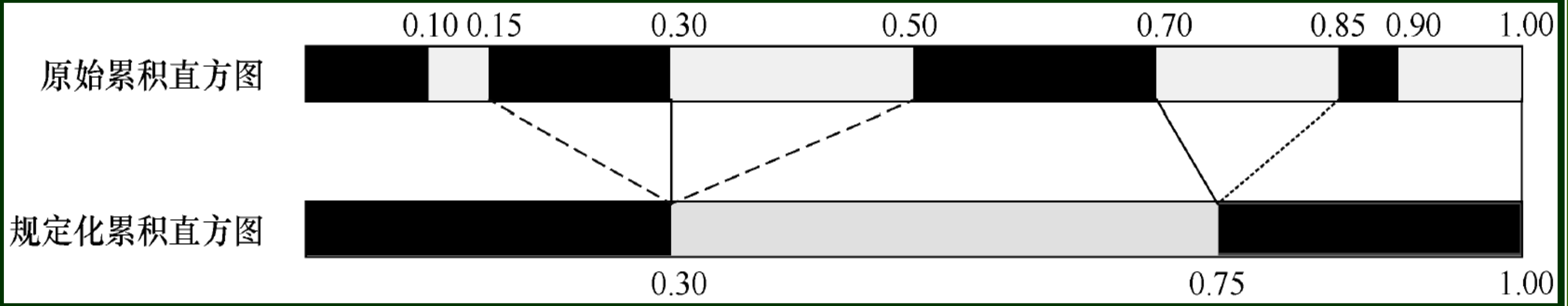


原始的0.5根据式(3-13)映射到规定的0.3

3.4 直方图规定化

单映射规则和组映射规则

组映射：从规定化累积直方图向原始累积直方图映射进行（取尽可能竖直的线）



根据式(3-14)，规定化累积直方图中的0.3包括了原始累积直方图中的0.1，0.15和0.3这3项

3.4 直方图规定化

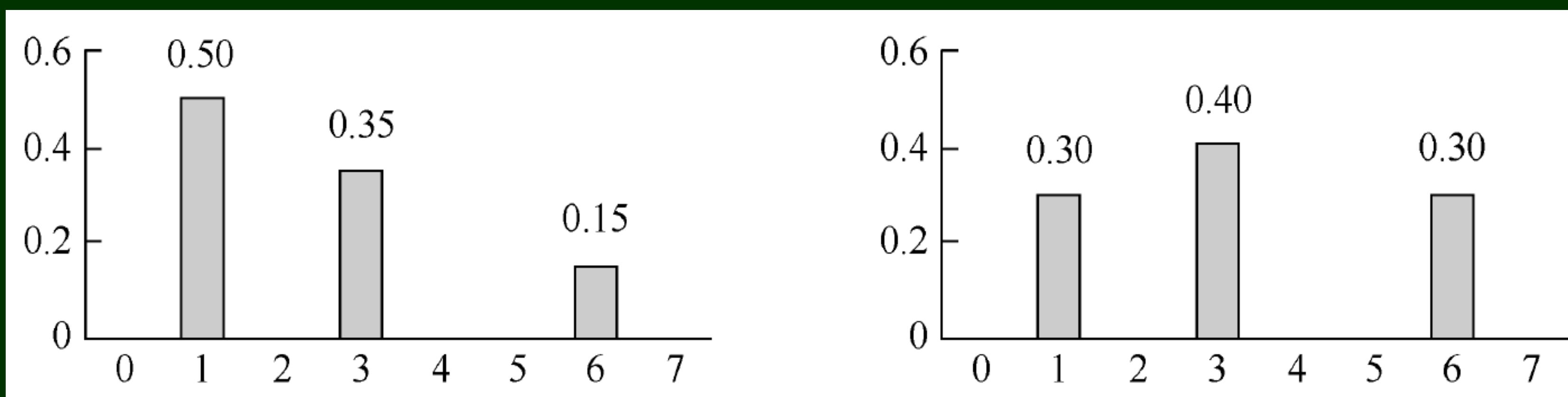
序　　号	运　　算	步骤和结果							
1	列出原始图像灰度级 $f_k, k = 0, \cdots, 7$	0	1	2	3	4	5	6	7
2	列出原始直方图	0.10	0.05	0.15	0.20	0.20	0.15	0.05	0.10
3	用式（3-10）计算原始累积直方图	0.10	0.15	0.30	0.50	0.70	0.85	0.90	1.00
4	列出规定化直方图	0	0.30	0	0.45	0	0	0.25	0
5	用式（3-10）计算规定化累积直方图	0	0.30	0.30	0.75	0.75	0.75	1.00	1.00
6S	“单映射规则”映射	1	1	1	1	3	3	6	6
7S	确定映射对应关系	$0, 1, 2, 3 \rightarrow 1$				$4, 5 \rightarrow 3$		$6, 7 \rightarrow 6$	
8S	得到变换后的直方图	0	0.50	0	0.35	0	0	0.15	0
6G	“组映射规则”映射	1	1	1	3	3	6	6	6
7G	确定映射对应关系	$0, 1, 2 \rightarrow 1$			$3, 4 \rightarrow 3$		$5, 6, 7 \rightarrow 6$		
8G	得到变换后的直方图	0	0.30	0	0.40	0	0	0.30	0

3.4 直方图规定化

单映射规则和组映射规则

单映射结果规定直方图差距较大

组映射结果，基本与规定直方图一致



组映射规则的期望误差不会大于单映射规则的期望误差。实际中，用组映射得到的结果更接近规定直方图

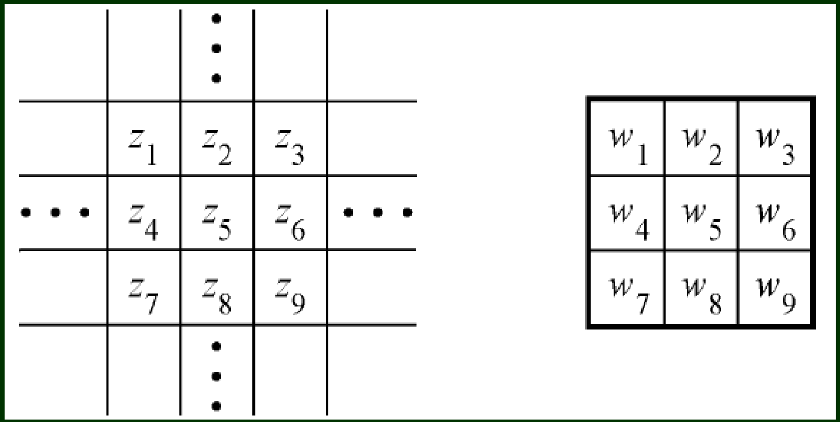
3.5　空域卷积增强

模板卷积

模板：一个中心像素和其近邻像素的集合

模板运算：将赋予某个像素的值作为其本身灰度值和其邻域中像素灰度值的函数值

$$z=\frac{1}{9}\left(z_1+z_2+\cdots+z_9\right)=\frac{1}{9}\sum_{i=1}^{9}z_i$$



3.5 空域卷积增强

空域滤波

前述相乘并相加的运算等价于一个卷积运算

空域滤波在图像空间借助模板进行卷积操作

通过选择不同的模板系数，可实现表3-3中的4种增强效果

表 3-3 空域卷积滤波增强方法分类

功能	线性	非线性
平滑	线性平滑	非线性平滑
锐化	线性锐化	非线性锐化

3.5 空域卷积增强

空域滤波

线性平滑滤波：模板中的所有系数都是正的

原始图
噪声图
5 × 5

7 × 7
9 × 9
11 × 11

3.5　空域卷积增强

空域滤波

非**线性平滑滤波**：中值滤波是一种典型方法

（1）使模板在图中漫游，并将模板中心对准图像中某个像素位置

（2）读取模板下各对应像素的灰度值

（3）将这些灰度值从小到大排成1列

（4）找出位于正中间的1个灰度值

（5）将这个中间值赋给对应模板中心位置的像素

3.5　空域卷积增强

空域滤波

比较

- 邻域平均
- 中值滤波

3 × 3　　5 × 5

3.5 空域卷积增强

空域滤波

线性锐化滤波：模板里中心系数应当为正，而周围的系数应当为负。常取所有系数之和为0

高频提升滤波：把原始图像乘以1个放大系数A再减去平滑图像

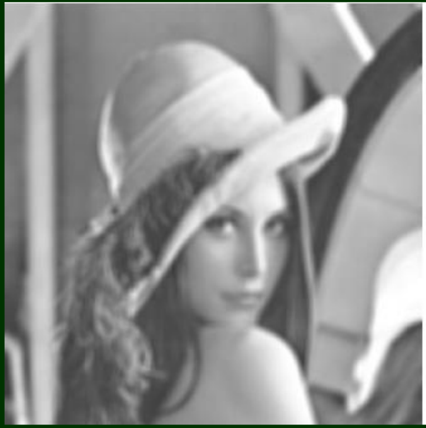
$$H_b(x,y) = A\times f(x,y) - L(x,y) = (A-1)\times f(x,y) + H(x,y)$$

$A = 1$，就是普通的锐化滤波；若$A > 1$，原始图像的一部分与用$H(x, y)$滤波得到的锐化图像相加，恢复了部分锐化滤波时丢失的低频分量，使得最终结果与原图更接近

3.5 空域卷积增强

空域滤波

线性锐化滤波与高频提升滤波比较

模糊图像	线性锐化滤波结果	高频提升滤波结果	直方图均衡化
			

3.5　空域卷积增强

空域滤波

非**线性锐化滤波**：利用梯度计算微分

用2个模板分别沿x和y方向计算微分

$$\nabla f(x,y)=\left[\frac{\partial f}{\partial x}\quad\frac{\partial f}{\partial y}\right]^{\mathrm{T}}$$

梯度幅度 $$\left|\nabla f_{(2)}\right|=\mathrm{mag}(\nabla f)=\left[\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$ （欧氏距离）

（城区距离）$$\left|\nabla f_{(1)}\right|=\left|\frac{\partial f}{\partial x}\right|+\left|\frac{\partial f}{\partial y}\right|$$ $$\left|\nabla f_{(\infty)}\right|=\max\left\{\left|\frac{\partial f}{\partial x}\right|,\quad\left|\frac{\partial f}{\partial y}\right|\right\}$$（棋盘距离）

3.6 各节要点和可参考的文献

1 图像间运算

2 图像灰度映射

3 直方图均衡化

4 直方图规定化

5 空域卷积增强

自 我 检 测 题