

# 《数字图像处理》期末速通教程

## 5. 图像增强

### 5.1 基于灰度级变换的图像增强

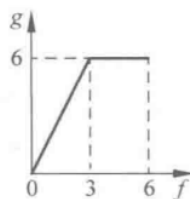
#### 5.1.1 线性灰度级变换

(看一眼) p111 ~ 112 基本线性灰度级变换、分段线性灰度级变换.

[例 5.1.1.1] 对图像  $f(x, y)$ , 给出将灰度范围  $[0, 10]$  伸长为  $[0, 15]$ 、将范围  $[10, 20]$  移到  $[15, 25]$ 、将范围  $[20, 30]$  压缩为  $[25, 30]$  的变换方程.

$$\begin{aligned} \text{[解]} \quad g(x, y) &= \begin{cases} \frac{15}{10} f(x, y), & 0 \leq f(x, y) \leq 10 \\ \frac{25-15}{20-10} [f(x, y) - 10] + 15, & 10 \leq f(x, y) \leq 20 \\ \frac{30-25}{30-20} [f(x, y) - 20] + 25, & 20 \leq f(x, y) \leq 30 \end{cases} \\ &= \begin{cases} \frac{3}{2} f(x, y), & 0 \leq f(x, y) \leq 10 \\ f(x, y) + 5, & 10 \leq f(x, y) \leq 20 \\ \frac{1}{2} f(x, y) + 15, & 20 \leq f(x, y) \leq 30 \end{cases}. \end{aligned}$$

[例 5.1.1.2] 将图像  $f = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 3 & 2 \\ 2 & 6 & 6 & 4 & 5 \\ 3 & 6 & 4 & 3 & 3 \\ 2 & 6 & 2 & 2 & 3 \end{bmatrix}$  用下图所示的方式处理得到图像  $g$ .



[解] 函数  $g(x, y) = \begin{cases} 2 \cdot f(x, y), & 0 \leq f(x, y) < 3 \\ 6, & 3 \leq f(x, y) \leq 6 \end{cases}$ . 结果  $g = \begin{bmatrix} 2 & 4 & 2 & 6 & 4 \\ 4 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 4 & 6 & 4 & 4 & 6 \end{bmatrix}$ .

#### 5.1.2 非线性灰度级变换

(看一眼) p115 ~ 116 对数变换、指数变换、幂次变换.

## 5.2 基于直方图修正的图像增强

### 5.2.1 直方图均衡化

(看一眼) p117 ~ 120 灰度直方图、直方图修正法理论.

**[定义 5.2.1.1] 直方图均衡化**将原图像的灰度直方图修正为均匀分布的直方图, 使得所有灰度级出现的相对频数(概率)相同, 此时图像包含的信息量最大, 实现图像的全局整体均匀化.

**[注 1]** 直方图均衡化的必要性:

(1) 视觉效果:

- ① 图像的灰度动态范围太小, 即直方图集中在某个灰度区间时, 视觉效果不理想.
- ② 图像直方图占满所有灰度级区间, 且所有灰度级的概率分布相近, 即直方图均匀分布时, 视觉效果理想.

(2) 信息量: 各灰度级的概率分布相等时, 图像的信息量最大, 熵最大.

**[注 2]** 直方图均衡化可用于图像增强的原因:

(1) 直方图与图像明暗和对比度的关系:

- ① 较暗的图像中, 低灰度级占大部分, 即直方图的主要分量集中在低灰度级的部分; 较亮的图像相反.
- ② 中灰度、低对比度的图像中, 直方图的主要分量集中在灰度级中部的较窄区域; 中灰度、高对比度的图像中, 直方图基本覆盖整个灰度级范围, 且分布较均匀.
- ③ 直方图覆盖范围广, 且各灰度级的分布较均匀的图像常是高对比度图像, 这样的图像常符合要求.
- ④ 直方图的峰值集中在某个区域时, 图像昏暗; 直方图具有双峰性时, 图像中物体和背景差别大.

(2) 直方图均衡化将一副直方图覆盖范围较窄、各灰度级分布不均匀的图像映射到另一幅直方图覆盖范围较广、各灰度级分布均匀的图像, 很多时候能实现图像增强.

**[注 3]** 直方图均衡化时, 会发生灰度级简并现象, 因为离散状态下灰度级有限, 需对灰度值近似.

[注 4] 常用但不熟悉的灰度级的近似值:

```

1 n = int(input())
2 res = [(f"{i}/{n}" if i != 0 and i != n else ("0" if i == 0 else "1"), f"{(i / n):.2f}")
3         for i in range(n + 1)]
4 for i in range(n + 1):
5     print(*res[i])

```

灰度级	0	$\frac{1}{6}$	$\frac{2}{6}$	$\frac{3}{6}$	$\frac{4}{6}$	$\frac{5}{6}$	1
近似值	0.00	0.17	0.33	0.50	0.67	0.83	1.00

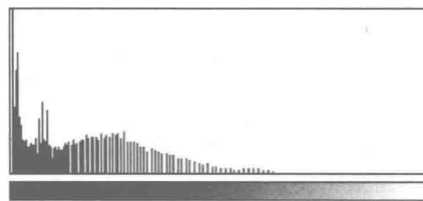
灰度级	0	$\frac{1}{7}$	$\frac{2}{7}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{4}{7}$	$\frac{5}{7}$	$\frac{6}{7}$	1
近似值	0.00	0.14	0.29	0.43	0.57	0.71	0.86	1.00

灰度级	0	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$	1
近似值	0.00	0.12	0.25	0.38	0.50	0.62	0.75	0.88	1.00

灰度级	0	$\frac{1}{9}$	$\frac{2}{9}$	$\frac{3}{9}$	$\frac{4}{9}$	$\frac{5}{9}$	$\frac{6}{9}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{8}{9}$	1
近似值	0.00	0.11	0.22	0.33	0.44	0.56	0.67	0.78	0.89	1.00

灰度级	0	$\frac{1}{11}$	$\frac{2}{11}$	$\frac{3}{11}$	$\frac{4}{11}$	$\frac{5}{11}$	$\frac{6}{11}$	$\frac{7}{11}$	$\frac{8}{11}$	$\frac{9}{11}$	$\frac{10}{11}$	1
近似值	0.00	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.55	0.64	0.73	0.82	0.91	1.00

[例 5.2.1.1] 某图像的灰度值如下图所示. 为提升视觉效果, 应如何处理.



[答] 该图像的灰度集中在低灰度区, 图像偏暗. 可用直方图均衡化或对数变换处理.

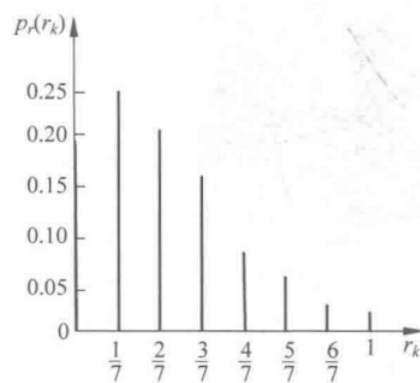
[例 5.2.1.2] 一副大小为  $64 \times 64$  的 8 灰度级图像的灰度级分布如下表所示. 作直方图均衡化.

灰度级 $r_k$	0	$\frac{1}{7}$	$\frac{2}{7}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{4}{7}$	$\frac{5}{7}$	$\frac{6}{7}$	1
像素数 $n_k$	790	1023	850	656	329	245	122	81
$p_r(r_k)$	0.19	0.25	0.21	0.16	0.08	0.06	0.03	0.02

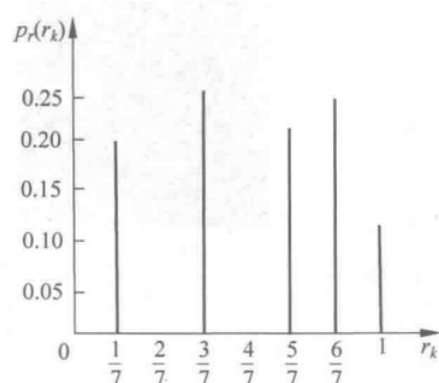
[解]

原图灰度级 $r_k$	0	$\frac{1}{7}$	$\frac{2}{7}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{4}{7}$	$\frac{5}{7}$	$\frac{6}{7}$	1
原图像素数 $n_k$	790	1023	850	656	329	245	122	81
原图直方图 $p_r(r_k)$	0.19	0.25	0.21	0.16	0.08	0.06	0.03	0.02
累计直方图 $\sum_{j=0}^k p_r(r_j)$	0.19	0.44	0.65	0.81	0.89	0.95	0.98	1
灰度级近似	$\frac{1}{7}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{5}{7}$	$\frac{6}{7}$	$\frac{6}{7}$	1	1	1
映射关系	$0 \rightarrow 1$	$1 \rightarrow 3$	$2 \rightarrow 5$	$3 \rightarrow 6$	$4 \rightarrow 6$	$5 \rightarrow 7$	$6 \rightarrow 7$	$7 \rightarrow 7$
新直方图	0	0.19	0	0.25	0	0.21	$0.16 + 0.08 = 0.24$	$0.06 + 0.03 + 0.02 = 0.11$

原图的直方图和新图的直方图如下图所示. 观察到直方图均衡化后, 直方图更 "平坦".



(a) 原始图像直方图



(b) 均衡化后图像的直方图