

基于直方图的图像增强及其 MATLAB 实现

Image Enhancement Based on Histograms and Its Realization with MATLAB

汪志云¹, 黄梦为², 胡 钊¹, 饶 强¹WANG Zhi-yun¹, HUANG Meng-wei², HU Po¹, RAO Qiang¹

(1. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 武汉大学城市建设学院, 湖北 武汉 430072)

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072;

2. School of Urban Construction, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

摘 要: 图像增强是数字图像的预处理, 对图像整体或局部特征能有效地改善。我们讨论了基于直方图的均衡化和规定化处理的图像增强技术基本原理, 给出了相关推导公式和算法; 同时, 以一个灰度图像为例, 用 MATLAB 语言实现了直方图均衡化和规定化增强处理, 并给出了具体程序、实验结果图像及直方图。结果表明, 直方图均衡化和规定化处理能有效改善灰度图像的对比度差和灰度动态范围。

Abstract: Image enhancement which is also called image pre-processing plays an indispensable role in signal image processing. This article introduces two kinds of algorithm-histogram equalization and histogram specifications, gives an experimental result based on MATLAB. From the relevant images and histograms of realization, it is clear that histogram enhancement can improve the contrast details and equalize the dynamic range of image gray level.

关键词: 图像增强; 直方图; 均衡化; 规定化; 灰度级; MATLAB

Key words: image enhancement; histogram; equalization; specification; gray level; MATLAB

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

1 引言

在图像形成、传输或变换的过程中, 由于受到其它客观因素诸如系统噪声、曝光不足或过量、相对运动等影响, 获取图像往往会与原始图像之间产生某种差异(称为降质或退化)。退化后的图像通常模糊不清或者经过机器提取的信息量减少甚至错误, 因此必须对其采取一些手段进行改善。

图像增强技术正是在此意义上提出的, 目的就是为改善图像的质量。图像增强根据图像的模糊情况采用各种特殊的技术突出图像中的某些信息, 削弱或消除无关信息, 达到强调图像的整体或局部特征的目的。图像增强尚没有统一的理论方法, 常用的图像增强技术有直方图修改、图像平滑滤波、图像锐化等。图像增强技术主要分为两类: 频域增强法和空域增强法。频域增强法主要是利用各种频域滤波器进行图像平滑或锐化处理, 然后进行变换域反变换来增强图像; 空域增强法是直接针对图像中的像素, 对图像的灰度进行处理。空域法属于直接增强的方法, 它包括扩展

对比度的灰度变换和直方图变换、消除噪声的平滑法和增强边缘的锐化法。本文要讨论的直方图增强方法便属于空域增强法。

2 直方图增强技术的基本理论

2.1 直方图基础

数字图像的直方图是作为图像每一个灰度级的统计概率分布, 它提供了图像灰度分布的概貌, 直方图增强技术正是利用修改给定图像直方图的方法来增强图像的, 最后得到的图像增强程度取决于我们所采用的直方图。令变量 r 和 s 分别代表图像增强前后的像素灰度级, 相应灰度级分布的概率密度分别为 $P_r(r)$ 、 $P_s(s)$ 。为讨论方便, 假设像素灰度值已经归一化在区间 $[0, 1]$, 在灰度级坐标中 $r=0$ 表示黑, $r=1$ 表示白。对区间 $[0, 1]$ 内任一 r 值按变换函数:

$$s = T(r) \quad (1)$$

* 收稿日期: 2004-04-12; 修订日期: 2004-06-16

作者简介: 汪志云(1977-), 男, 湖北鄂州人, 硕士生, 研究方向为信号处理、图像处理等; 黄梦为, 本科, 研究方向为图像图形处理; 胡钊, 副教授, 研究方向为信号处理、自动化等; 饶强, 硕士生, 研究方向为数字信号处理等。

通讯地址: 430072 湖北省武汉市武汉大学电气工程学院; Tel: 13886085839; E-mail: wzhyun@21cn.com

Address: School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072, P. R. China

进行变换, $T(r)$ 满足两个条件: (1) 单值单调增加函数; (2) $0 \leq T(r) \leq 1$ 。

条件(1)使灰度级保持从黑到白的次序, 条件(2)保证映射变换后像素灰度值在允许的范围。从 s 到 r 的反变换为:

$$r = T^{-1}(s), 0 \leq s \leq 1 \quad (2)$$

同样, 规定变量 s 也满足条件(1)和(2)。由概率理论知, 若 $P_r(r)$ 和变换函数 $s = T(r)$ 已知, $T^{-1}(s)$ 是单值单调增加函数, 则有:

$$P_s(s) = [P_r(r) \frac{dr}{ds}]_{r=T^{-1}(s)} \quad (3)$$

直方图增强技术就是通过变换函数 $T(r)$ 控制图像灰度级的概率密度函数而改变图像的外貌。

2.2 直方图均衡化

对于连续图像, 变换函数为:

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(r) dr, 0 \leq r \leq 1 \quad (4)$$

此式右边为累积分布函数(CDF), 由该式对 r 求导有:

$$\frac{ds}{dr} = P_r(r) \quad (5)$$

代入(3)得到:

$$P(s) = [P_r(r) \frac{1}{P_r(r)}]_{r=T^{-1}(s)} = 1, 0 \leq s \leq 1 \quad (6)$$

这说明, 在变换后变量 s 在定义域内, $P_s(s)$ 是均匀概率密度。在图像增强意义上, 这相当于像素的动态范围增加。在后面 MATLAB 仿真时, 便可以看到图像对比度会产生显著的变化。

对于离散图像, 灰度级 r_k 的概率值为:

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n}, 0 \leq r_k \leq L-1, k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (7)$$

其中, n 表示图像中像素的总数, n_k 是在图像中出现这种灰度级的次数, L 表示灰度级的数目, $P_r(r_k)$ 为第 k 级灰度级的概率。与连续图像的(4)式相对应, 离散形式为:

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k P_r(r_j) \quad (8)$$

反变换为:

$$r_k = T^{-1}(s_k), 0 \leq s_k \leq 1 \quad (9)$$

可见, 能够直接利用式(8)从所给的图像计算变换函数 $T(r_k)$ 。

基于直方图的图像增强可划分为三种情况: 直方图均衡化、直方图修正、非交叠块自适应直方图修正。以上讨论的便是传统的直方图均衡化。有人提出了新的改进算法, 该方法是基于原始图像直方图分为三个子图重新安排像素, 首先用 k -means 法进行 k 簇初始化, 并递归得簇质心再求出两个阈值, 运用数学形态法将分开的三个子图连接, 最后再对子图分别运用直方图均衡化而获得图像增强。

2.3 直方图规定化

由于均衡化的直方图技术只能产生一种近似均匀的直方图, 而不适于需要交互作用的图像增强的应用。实际上, 为了能增强图像中某些灰度级的范围, 有时希望能够规定交互作用的特定的直方图。直方图规定化可看作是直方图均衡化方法的改进。假设 $P_r(r)$ 和 $P_z(z)$ 分别表示原始和希望的图像概率密度函数, 同时利用式(4)直方图均衡化,

则:

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(r) dr \quad (10)$$

$$v = G(z) = \int_0^z P_z(z) dz \quad (11)$$

$$z = G^{-1}(v) \quad (12)$$

由式(4)均衡化处理产生最后的结果 $P_s(s) = 1$ 与积分内的概率密度无关, 因此, 处理后的原图像及理想图像的概率密度 $P_s(s)$ 和 $P_v(v)$ 具有相同的均匀密度。这样, 可以从原始图像中得到的均匀灰度 s 代替逆过程中的 v , 其结果灰度级 $z = G^{-1}(s)$ 就是所要求的概率密度函数。上述过程即为:

(1) 将原始图像的灰度级均衡化。

(2) 规定希望的概率密度函数, 并用式(11)得到变换函数 $G(z)$ 。

(3) 计算逆变换函数 $z = G^{-1}(v)$ 便得到了所希望的灰度级。

由以上讨论可以得到:

$$z = G^{-1}[T(r)] \quad (13)$$

对离散图像, 相应的规定化表达式为:

$$P_z(z_i) = \frac{n_i}{n} \quad (14)$$

$$v_i = G(z_i) = \sum_{j=0}^{i-1} P_z(z_j) \quad (15)$$

$$z_i = G^{-1}(s_i) = G^{-1}[T(r_i)] \quad (16)$$

以上各式表明, 一幅图像决定出 $T(r)$ 与反变换函数 $z = G^{-1}(v)$ 便可以进行直方图规定化, 对连续变量使用上述方法实际上就是求得反变换函数解析式。而对于离散图像, 由于离散的灰度级个数通常很少, 对每一个可能像素值计算映射是可行的, 就不用像连续变量那样求逆变换的解析式了。

3 MATLAB 实现及分析

MATLAB 中直方图均衡化和规定化处理函数格式如下:

- (1) $J = imhist(I, n)$
- (2) $J = imhist(I, map)$
- (3) $[counts, X] = imhist(I, \dots)$
- (4) $J = histeq(I, n)$
- (5) $J = histeq(I, map, n)$
- (6) $[J, counts] = histeq(I, \dots)$

说明: 对于格式(1), 显示图像 I 的直方图, n 为灰度级数目, 灰度图像的缺省值为 256, 黑白图像缺省值为 2; 对于格式(2), J 返回调色板为 map 的图像 I 的直方图; 对格式(3), 返回图像 I 的每个灰度上的像素点数目; 格式(4)对图像 I 均衡化处理, n 表示灰度级数目, 缺省值为 64; 格式(5)对调色板为 map 的灰度图像均衡化处理, 返回有 n 级灰度的图像; 格式(6)对图像 I 均衡化处理后同时返回各灰度值。

下面举例说明直方图均衡化和规定化处理:

```
I = imread('rice.tif'); % 读入图像
imshow(I); % 显示图像
```

```

title('原始图像');
figure,imhist(I,256); %显示原始图像直方图,灰度级为
256
title('原始图像直方图');
%直方图均衡化处理
J=histeq(I,32); %均衡化处理为灰度级为 32 的直方图
figure,imshow(J);
title('均衡化图像(32 级)');
figure,imhist(J,256);
[counts,x]=imhist(J); %获得均衡化处理后直方图各像素
点灰度级以便后面图像规定化
title('均衡化图像直方图 1');
%直方图规定化处理
K=imread('pout.tif');
figure,imshow(K);
title('要规定化图像');
figure,imhist(K);
title('要规定化图像直方图');
L=histeq(K,counts); %规定化处理
figure,imshow(L);
title('规定化后图像');
figure,imhist(L);
title('规定化后图像直方图');

```

程序实现的图像如图 1~7 所示,其中图 1 和图 2 为原始图像及其直方图,原始图像较暗且动态范围小;图 3 和图 4 分别是对原始图像进行灰度级为 32 级的均衡化处理的结果,可以看到处理后图像亮度值出现的频数趋于平衡,灰度的动态范围和对比度差都得到了增强;图 5 和图 6 为需要规定化处理的图像及其直方图;图 7 和图 8 是采用直方图规定化处理后的结果,可以看到规定化处理将原来较暗区域的一些细节得到增强而变得更加清晰了。

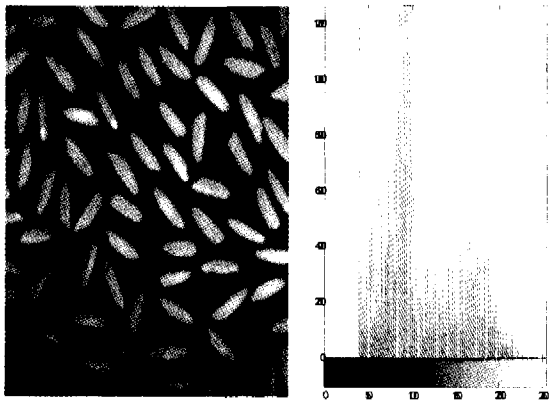


图 1 原始图像 1

图 2 原始图像 1 的直方图

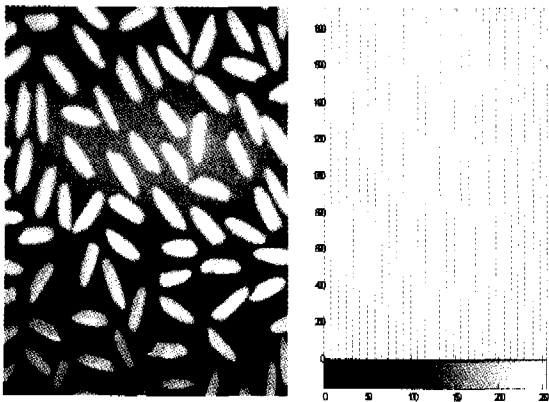


图 3 均衡处理结果图

图 4 均衡化处理后的直方图

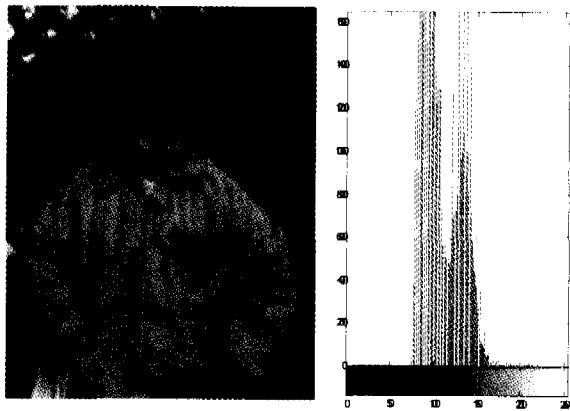


图 5 原始图像 2

图 6 原始图像 2 的直方图

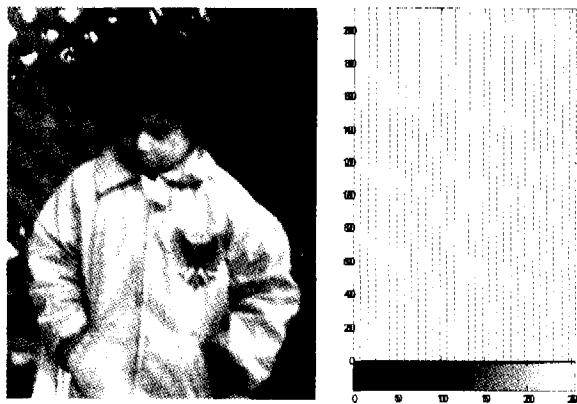


图 7 规定化处理结果

图 8 规定化处理后的直方图

4 结束语

图像增强技术属于数字图像预处理的范畴,直方图均衡化和规定化处理是图像增强技术中的基本方法。本文分析了这两种处理方法的基本理论,并用 MATLAB 进行了实验。结果表明,基于直方图的图像增强技术能在一定程度上改善图像的对比度差细节和灰度动态范围。应该指出的是,图像增强没有固定的理论方法,增强质量往往由增强目的而主观评定。

参考文献:

- [1] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. Digital Image Processing(Second Edition)[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002.
- [2] HUNG-SHUNG WONG, JUNG-HUA WANG. Contrast Enhancement Based on Divided Histogram Manipulation[A]. 2000 IEEE Int'l Conf on Systems, Man and Cybernetics. Vol 2[C]. 2000. 1551-1555.
- [3] 李耀辉,刘保军. 基于直方图均衡的图像增强[J]. 华北科技学院学报, 2003, 5(2): 65-66.
- [4] 徐飞,施晓红. MATLAB 应用图像处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2002.
- [5] 王耀南,李树涛,毛建旭. 计算机图像处理与识别技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2001.