

Histogram Equalization Algorithm for Variable Gray Level Mapping

Youlian Zhu, Cheng Huang

College of Electronic Information Engineering, Jiangsu Teachers University of Technology, Changzhou, Jiangsu, China
(czzhuyoulian@126.com)

Abstract—The traditional histogram equalization algorithm is likely to cause information loss. The paper introduced a gray level mapping algorithm in which information entropy remains the same. The algorithm adjusting the gray scale transformation of the image, introduces a new transformation formula parameter β , and makes the spacing of two adjacent gray levels extend in the new mapped histogram. So that it avoids excessive gray pixel merger and excessive bright image. The selection rule of parameter β for different gray levels images is given. Experiments show that the improved algorithm may effectively improve visual effects under the premise of the same information entropy.

Keywords—histogram equalization, image enhancement, gray level transformation, information entropy

可变灰度映射的直方图均衡算法

朱幼莲 黄成

江苏技术师范学院电气信息工程学院, 常州, 江苏, 中国

摘要 传统直方图均衡算法容易造成信息丢失, 介绍一种信息熵保持不变的可变灰度映射方法。该方法通过修正灰度变换, 并在变换式中引入参数 β , 使映射后相邻两灰度间距加大, 从而避免均衡过程中灰度过多合并, 图像过亮等现象。文章对不同灰度级的图像给出参数 β 的选择规律, 实验证明, 改进方法可以在保持信息熵不变的前提下有效改善图像的视觉效果。

关键词 直方图均衡, 图像增强, 灰度变换, 信息熵

1. 引言

直方图均衡方法因其简单有效已成为图像对比度增强的常用方法, 其基本思想是根据输入图像的灰度概率分布来确定其对应的输出灰度值, 通过扩大图像灰度分布的动态范围改善图像视觉效果^[1]。直方图均衡方法有局部均衡和全局均衡两种, 局部均衡可以较好地增强图像的局部细节, 具体方法有子块不重叠、子块重叠和子块部分重叠三种方式, 其中子块不重叠方式因产生明显的方块效应而很少采用; 子块重叠方式由于计算量大、处理速度慢, 实际应用也不多; 子块部分重叠方式, 虽然可以提高处理速度, 但算法相对复杂^[2]。与局部方法相比, 全局方法在处理速度方面有一定优势, 但在增强效果方面存在不足。为提高增强效果, 文献[2]–[9]介绍了多种改进算法。

针对传统的全局直方图均衡算法的不足, 在本文作者

前期研究的基础上[10], 介绍可变灰度映射的改进方法, 给出灰度变换的映射关系和参数 β 的选择规律, 使该算法对任意灰度级图像进行变换后都能在保持信息熵不变的前提下取得较好的视觉效果。

2. 直方图均衡算法的原理

直方图均衡化算法是图像增强空域法中最常用的算法之一, 图像直方图反映了不同灰度值像素的面积或像素个数在一帧中的比例, 反映了图像的某些信息, 直方图均衡就是把一幅已知灰度概率分布的图像, 变换成具有均匀概率分布的图像, 从而使信息熵最大。

算法原理: 直方图均衡关键是要寻找一种灰度映射关系, 使图像变换后在所有灰度层上的像素分布概率密度为1。为了讨论方便, 在图像直方图均衡中先将图像灰度值归一化, 即将图像灰度范围归一化为 $[0, 1]$ 。

江苏技术师范学院自然科学基金项目 (KY09020)

设原像素的灰度值为 r ($0 \leq r \leq 1$)，概率密度为 $p(r)$ ；经过变换后像素灰度为 s ($0 \leq s \leq 1$)，概率密度为 $p(s)$ ，变换函数为 $s=T(r)$ ，由直方图的物理意义可知，灰度变换前后某一灰度值 r 所包含的像素总数不变，即：

$$p_s(s)ds = p_r(r)dr \quad (1)$$

假设变换关系 $s=T(r)$ 是单调增加，其反函数 $r=T^{-1}(s)$ 也是单调函数。则由(1)式可得：

$$p_s(s) = [p_r(r) \frac{1}{ds/dr}]_{r=T^{-1}(s)} = p_r(r) \frac{1}{p_r(r)} = 1 \quad (2)$$

在离散情况下，原始图像中的灰度值 i 经过变换后的灰度值为 f_i ，它们之间的关系为^[1]：

$$f_i = (m-1)T(r) = (m-1) \sum_{k=0}^i \frac{r_k}{Q} \quad (3)$$

其中， m 为原始图像可以提供的灰度级数， r_k 为原始图像中灰度为 k 的像素个数， Q 为原始图像中像素总数。

当图像的直方图均匀分布时，图像的信息熵最大。根据熵的定义，对于一幅具有 m 级灰度的图像，若设其第 i 级灰度出现的概率为 p_i ，则整幅图像的熵为：

$$E = - \sum_{i=0}^{m-1} p_i \log p_i \quad (4)$$

3. 可变灰度映射算法

问题的提出：由(3)式可知，直方图均衡只是改变原图像中同一灰度层上所有像素的灰度，并不能改变单个像素点在灰度层上的分布。均匀化后图像的动态范围扩大了，但其本质是扩大了量化间隔，量化级别反而有所减少。因此，传统算法存在着三个方面的问题：

- (1) 变换后图像的灰度级减少，造成某些细节消失。
- (2) 某些图像，经处理后会局部过亮现象。

(3) 原来灰度级不同的像素经处理后可能变得相同，形成一片相同灰度级的区域，使各区域之间存在明显的边界，从而出现伪轮廓现象。

为此本文介绍可变灰度变换的算法，其思路为：

对原始图像灰度直方图中的第 i 级的灰度 f_i ，根据其左右两边 $\sum_{k=0}^{i-1} p_k$ 和 $\sum_{k=i+1}^{m-1} p_k$ 之比来确定其修正后的灰度 g_j 的位置 j ， $j < i$ （向前映射）， $j > i$ （向后映射），以达到“均匀”或“局部均匀”分布的目的。

$$j = (m-1) \frac{\sum_{k=0}^{i-1} p_k}{\sum_{k=0}^{i-1} p_k + \sum_{k=i+1}^{m-1} p_k} \quad (5)$$

因为 $\sum_{k=0}^{m-1} p_k = 1$ ， $p_k = \frac{q_k}{Q}$ ， q_k 为灰度级为 k 的像素数。

为了减少转换过程中出现的像素个数较少的灰度被其周围的像素个数较多的灰度吞噬而造成信息丢失现象，只要选择合适的映射函数，总可以加大 $\sum_{k=0}^i \frac{q_k}{Q}$ 与 $\sum_{k=0}^{i+1} \frac{q_k}{Q}$ 之间的差距。本文采用对数映射关系 $q_k \log(q_k + 1)$ ，其作用是加大相邻两灰度间距，将暗的部分扩展，而将亮的部分抑制，从而使得变换后的灰度尽可能的分散，尽量减少灰度被淹没的现象。

为了更好的实现图像的动态增强，在(5)式基础上引入参数 β ，通过对 β 的选择获取更好的视觉效果。映射关系为：

$$j = (m-1) \frac{\sum_{k=0}^{i-1} p_k}{\sum_{k=0}^{i-1} p_k + \beta \sum_{k=i+1}^{m-1} p_k}, \quad \beta \in (0, +\infty) \quad (6)$$

β 的选择规律：由(6)式可知 j 是 β 的单调递减函数。

当图像偏暗时，灰度过于集中在低灰度级部分，欲获得较好的视觉效果，必须加大 j ，此时 β 应小于1；同理，当图像亮度适中时，灰度分布集中在中间灰度级，则 β 应取1左右；当图像亮度过亮时，灰度过于集中在高灰度级部分，此时必须减小 j ，则 β 应大于1。

算法步骤：

- (1) 参数初始化，读入原始图像。
- (2) 统计原始图像的灰度级 f_k ， $k=0,1,\dots,m-1$ 。
- (3) 对像素个数进行预处理，统计各灰度级的像素 q_k ，并取对数映射关系： $q_k = \log(q_k + 1)$ ， $k=0,1,\dots,m-1$ 。
- (4) 统计原始图像灰度级为 f_k 的像素点出现的概率

$$p_k, \quad p_k = \frac{q_k}{Q}, \quad k=0,1,\dots,m-1。$$

(5) 计算信息熵，选择 β 参数，按公式(6)进行灰度级修正。

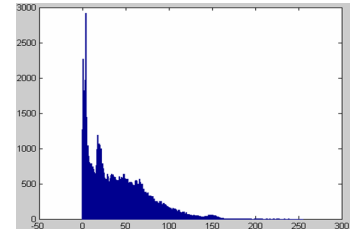
(6) 依次计算修正后灰度值，获取处理后的输出图像。

4. 仿真实验及分析

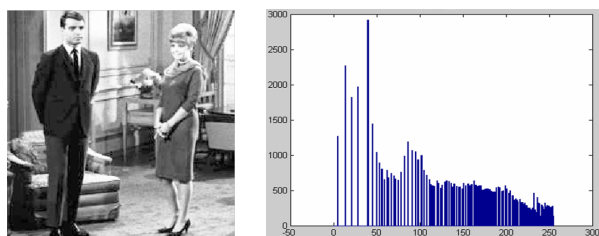
实验1：低灰度级图像的对比实验



(a) 原图

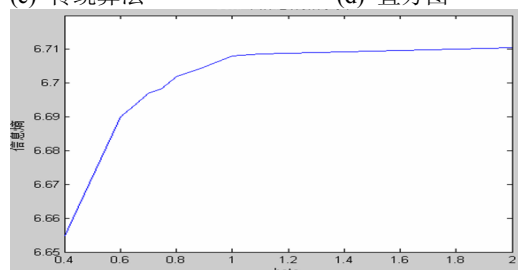


(b) 直方图

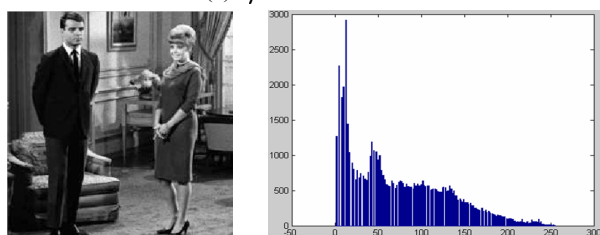


(c) 传统算法

(d) 直方图



(e) β 与熵的关系



(f) 本文算法 $\beta=0.8$

(g) 直方图

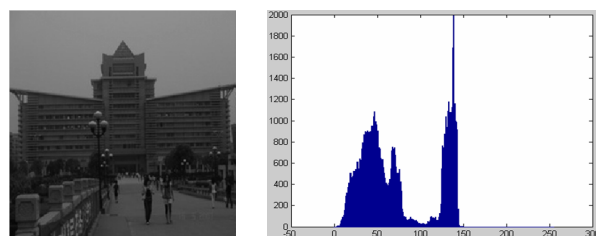
图1 低灰度级图像的对比实验

表 1. 参数 β 对实验结果的影响

| 参数 | 熵 | 主观评价 |
|------|--------|----------------|
| 0.4 | 6.6549 | 优于传统算法，但仍然局部过亮 |
| 0.6 | 6.6901 | 轮廓稍模糊 |
| <0.7 | 6.6972 | 个别轮廓稍有模糊 |
| 0.8 | 6.7018 | 较好 |
| >0.9 | 6.7048 | 局部稍暗淡 |

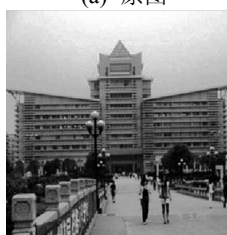
分析：原图的信息熵为 6.6607，像素集中分布在低灰度级部分，视觉效果偏暗。传统直方图修正后扩大了像素的灰度级动态范围，视觉效果有所改善，但是图像过亮却造成信息丢失(熵为 6.5727)，如图 1(c)、(d)所示。从图 1(e)看出，参数取值越大，熵值越大，图像细节越丰富，但是从表 1 可知，当大于 0.9 时，虽然可获得较大的信息熵，但视觉效果局部亮度偏暗。综合考虑对于低灰度级图像参数取 0.8 左右较为合适，实验结果如图 1(f)、(g)所示。

利用上述分析所得的参数选择规律，对图 2(a)原图进行实验，参数取 0.75，结果如图 2(f)、(g)所示，取得了较好的视觉效果，克服了传统算法的伪轮廓现象。

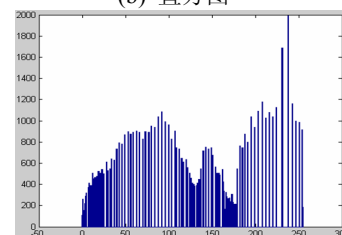


(a) 原图

(b) 直方图



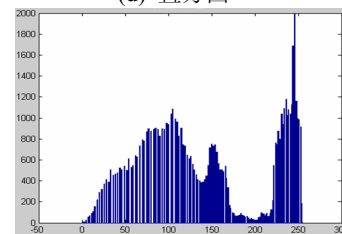
(c) 传统算法



(d) 直方图



(f) 本文算法 $\beta=0.75$



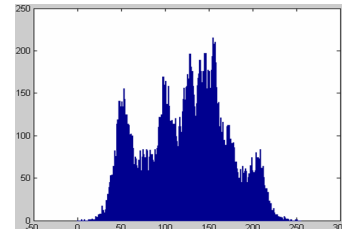
(g) 直方图

图2 低灰度级图像的对比实验

实验 2: 中灰度级图像的对比实验



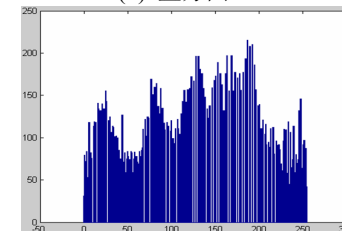
(a) 原图



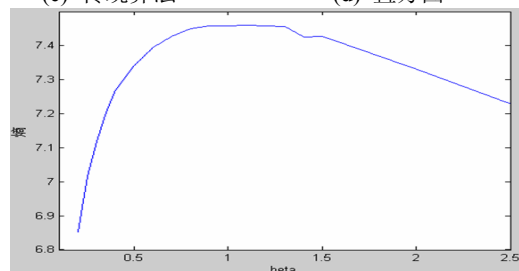
(b) 直方图



(c) 传统算法



(d) 直方图



(e) β 与熵的关系

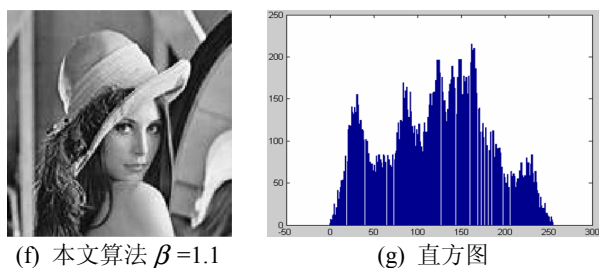


图3 中灰度级图像的对比实验

分析：图3(a)原图图像信息熵为7.4716，像素主要分布中间灰度级部分，视觉效果一般。由图3(e)参数与信息熵的关系可知，随着参数的不断增大，熵先增大后减小，从信息熵的角度考虑，当参数取值在0.7到1.4之间时，图像得到较大的熵值。综合考虑图像的视觉效果和信息熵，参数取在1.1左右较合适，实验结果如图3(f)、(g)所示，熵为7.4595。

实验3：高灰度级图像的对比实验

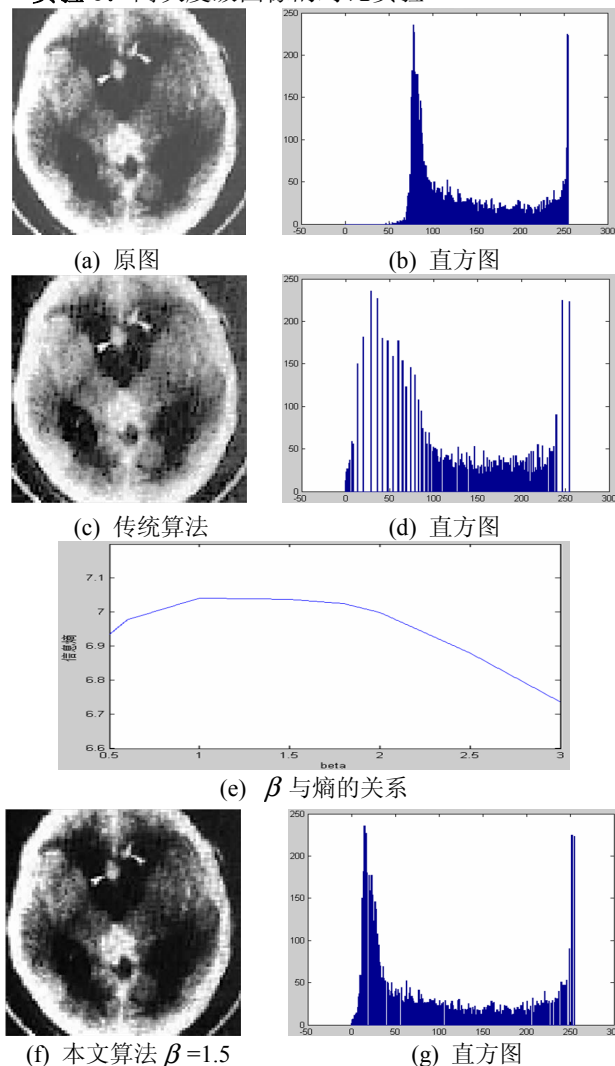


图4 高灰度级图像的对比实验

分析：图4(a)原图信息熵为7.0477，灰度分布动态范围偏小，像素灰度级偏高，视觉效果偏亮。从图4(e)参数与熵的关系可知随着参数的不断增大，图像的熵值先是缓慢增大然后急剧减小。从信息熵的角度考虑，当参数取值在0.8到1.8之间时，图像有较大的熵值。综合考虑参数取值在1.5左右时，图像有较好的视觉效果和较大的熵值(7.0380)，如图4(f)、(g)所示。

5. 结论

文章针对传统直方图均衡算法存在的不足，介绍了一种可变参数的改进方法，给出了不同环境下参数 β 的选择规律，实验证明本文算法在保留图像细节的同时，有效克服了图像过亮或伪轮廓等现象，因此在图像增强中具有较好的应用前景。

参考文献

- [1] 陈延, 夏良正. 数字图像处理. 北京: 人民邮电出版社, 1990.
- [2] 张佑生, 胡敏, 保持图像亮度的局部直方图均衡算法, 电子学报, no. 5, pp. 861-866, 2006.
- [3] J Y Kim, L S Kim, S H Wang, "An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub2block histogram equalization", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 11, no. 4, pp. 475-484, 2001.
- [4] Stark J A. "Adaptive Image Contrast Enhancement Using Generalizations of Histogram equalization", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.9, no. 5, pp.889-896, 2000.
- [5] 翟东青, 吴陈, 曾庆军, 保持亮度的多峰值直方图均衡算法, 计算机仿真, vol. 26, no. 1, pp. 222-224, 2009.
- [6] 张懿, 刘旭, 李海峰, 自适应图像直方图均衡算法, 浙江大学学报(工学版), vol. 41, no. 4, pp. 630-633, 2007.
- [7] 熊亮, 图像增强算法与评价方法研究, 计算机应用研究, no.12, pp. 175-176, 2004.
- [8] 杨海涛, 常义林, 王静等. 一种基于亮度直方图的自动曝光控制方法, 光学学报, vol. 27, no. 5, pp. 841-847, 2007.
- [9] 周宏潮, 王正明, 赵敏, 基于全局信息的图像增强组合法, 数据采集与处理, vol. 20, no. 4, pp.432-435, 2005.
- [10] 黄成, 朱幼莲, 一种改进的直方图均衡算法, 江苏技术师范学院学报, vol. 14, no. 1, pp. 57-61, 2008.