

一种基于图象分割的增强算法

孙全 叶秀清 顾伟康

(浙江大学信息与通信工程研究所, 杭州 310027)

摘要 图象增强作为图象处理常用的工具,目的是为了消除原始图象边缘模糊、对比度差等缺点,增强图象的视觉效果和为以后的处理工作提供方便。文中提出的算法基于 Haralick 的斜面模型(sloped-facet model)^[1]和 Beghdadi 的对比度增强算法^[2],新算法在增强图象边缘的同时,较好地保留了原始图象非边缘区域的信息,并对噪声具有抑制作用。

关键词 图象增强 对比度 斜面模型

0 引言

图象增强是图象处理领域一个重要的组成部分。由于各种外界因素的影响,如光照、传感器分辨率等,使获得的原始图象不同程度地存在边缘模糊、局部或整体对比度差等不足之处。因此增强算法应具有增强边缘、改善对比度等功能,并能有效地抑制噪声。

利用一定算法调整图象点的灰度值,达到增强的目的,是图象增强的常用方法。根据调整算法所涉及的范围可分为:全局处理和局部处理。所谓的全局处理是指对灰度值的调整是由整幅图象灰度值分布决定的,与被调整点所处的邻域无关。直方图均衡^[3-5]和灰度拉伸都属于全局处理。由于图象中各点的存在并不是孤立的,与周围点有着种种联系。因此调整算法应充分利用周围邻域这一非常重要的信息,这样便形成了局部处理的灰度值调整算法。Pizer 和 Leszczynski 对直方图均衡方法作了改进,引入了局部信息,分别得到了局部直方图均衡 LAHE (Local Area Histogram Equalization)^[6]和移动直方图均衡 MHV (Moving Histogram Equalization)^[7]。Choi 提出了一种基于模糊逻辑的增强方法^[8],该方法利用局部信息构造了3个滤波器:分别起去噪声、锐化边缘和区域平滑的作用。再将这3个滤波器乘以权值相加,便得到了灰度值调整算法。Beghdadi 的基于边缘检测的对比度增强方法定义了 $C_u = f(V_u, V_v)$

用来衡量窗口对比度,其中 V_u, V_v 分别表示窗口中心点和其它点的灰度值。这样调整 V_u ,使 C_u 变大,便可达到增强目的。

对于各种方法,在力求好的增强效果的同时,应能有效地抑制噪声,并避免对原图有较大改变。而实际上这三者是相互抵触的,片面地追求某一方面必然以牺牲其它为代价。例如虽然各种直方图均衡方法的增强效果较好。但不能有效地抑制噪声,并且处理后图象的亮度与原图有较大的出入^[9]。而用 Beghdadi 方法增强后的图,原本光滑的非边缘区域变得比较粗糙,在对比度大的地方则可能会出现灰度值过调现象。这一切的直接后果就是使图象大量的原始信息被破坏。Centeno 在文献[10]中已注意到了这一点,因此他仅对图象的边缘区域进行增强,而对非边缘区域则进行平滑,这样使增强和抑制噪声有效地结合起来。但增强效果并不十分明显,并且当迭代几次后,边缘在被增强的同时,也变得象锯齿一样不光滑。

本文提出了一种基于斜面模型的图象分割算法和对比度增强的改进算法,并将二者结合起来,得到的新算法同时具有增强和平滑作用,增强效果优于 Beghdadi 和 Centeno 算法。

1 增强算法

图象可以用如下函数来描述, $z = g(r, c)$, 其

中 r, c 分别为行和列, z 为 (r, c) 点处的灰度值, 这样图象可以表示为三维空间 (r, c, z) 中的灰度曲面。对于函数 g , 我们作如下限制: 函数值域可以划分成多个关联的集合, 即 $\pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_m\}$, 并且满足:

1) 如果 $(r, c) \in \pi$, 则存在包含 (r, c) 的 K 点邻域 N , 且 $N \subseteq \pi_i$ 。

2) 如果 $(r, c) \in \pi_i$, 则

$$g(r, c) = \alpha_i \times r + \beta_i \times c + \gamma_i \quad (1)$$

条件(1) 要求 π 所包含的关联集合应足够的大和足够的光滑。例如当 $K=9$, 考虑的邻域为 3×3 , 则任何一个不小 π_i 于 3×3 。

条件(2) 要求每一个 π_i 所定义的灰度面在 (r, c, z) 坐标中为斜面, 式(1)可以推广到高次多项式。

以上就是斜面模型的基本思想, 它适用于 2 种情况: 斜面假设 SWA (Sloped World Assumption) 和平面假设 FWA (Flat World Assumption)。SWA 是指定义的灰度面与 rc 面的夹角 θ 不为 0; FWA 是指 π_i 定义的灰度面平行于 rc 面, 此时 π_i 内的点的灰度值是常数。

根据斜面模型, 图象可分成许多大小、形状不同的区域, 每一个区域对应于一个 π_i 。图象点可分成 2 类: 处于边缘的点 EP (Edge Point) 和处于区域内的点 RP (Region Point)。对于 EP 点, 其领域内存在着多个不同的区域, 而 RP 点的领域内只存在单一区域。图象分割作为增强的预处理, 将所有点标记为 EP 或 RP。

1.1 图象分割

设窗口大小为 $R \times C$ (R, C 是奇数), 当 $(r, c) \in R \times C$ 时, 用如下函数表示窗口:

$$z = f(r, c) \quad (2)$$

假设对所有 $(r, c) \in R \times C$, 有 $f(r, c) \in \pi_i$ (π_i 是 π 是中某一集合), 即窗口内只存在单一区域, 根据斜面模型, $f(r, c)$ 的估计 $\hat{g}(r, c)$ 应满足(1)得形式, 即:

$$\hat{g}(r, c) = \hat{\alpha} \times r + \hat{\beta} \times c + \hat{\gamma} \quad (3)$$

用最小二乘法可以得到:

$$\begin{aligned} \hat{\alpha} &= \frac{\sum_{r \in R} \sum_{c \in C} r \cdot f(r, c)}{\sum_{r \in R} \sum_{c \in C} r^2} \\ \hat{\beta} &= \frac{\sum_{r \in R} \sum_{c \in C} c \cdot f(r, c)}{\sum_{r \in R} \sum_{c \in C} c^2} \\ \hat{\gamma} &= \frac{\sum_{r \in R} \sum_{c \in C} f(r, c)}{\sum_{r \in R} \sum_{c \in C} 1} \end{aligned} \quad (4)$$

误差为:

$$\epsilon^2 = \sum \sum [\hat{\alpha} \times r + \hat{\beta} \times c + \hat{\gamma} - f(r, c)]^2 \quad (5)$$

ϵ^2 的大小直接反映了假设满足的程度, ϵ^2 较大时, 说明存在 $(r, c) \in R \times C$, 使 $f(r, c) \notin \pi_i$, 即窗口内有多个区域。 ϵ^2 较小时, 说明窗口是单一区域, ϵ^2 的大小可以通过阈值判定。另外还应考虑倾角 θ 的大小, 由(3)式可得:

$$\text{tg}\theta = \sqrt{\hat{\alpha}^2 + \hat{\beta}^2} \quad (6)$$

当 θ 较大时, 说明窗口内灰度值变化较大, 也可能存在多个区域。分割算法的流程如下:

if $\epsilon^2 > T_\epsilon^2$

flag $(r, c) = EP$

else

if $\text{tg}\theta > T_\theta$

flag $(r, c) = EP$

else

flag $(r, c) = RP$

1.2 改进的增强算法

Beghdadi 方法虽然具有较好的对比度增强效果, 不足的是: 原本光滑的区域在处理后会变得粗糙, 在对比度较大的区域出现了灰度值过调现象。在本节中我们将分析其产生原因, 并给出改进算法。对比度增强算法用窗口扫描图象, 当窗口存在多个区域时, 处理后将加大各区域间的差异, 达到增强效果; 而当窗口只存在单一区域时, 处理的结果是区域内部的差异被放大, 导致区域变得粗糙。鉴于此, 我们先对图象进行分割, 使得在增强处理时能对不同性质的窗口区别对待: 当窗口中心点是 EP 时, 说明窗口内存在多个不同的区域, 因此采用对比度增强方法加大各区域间的差别, 达到增强目的。当中心点是 RP 时, 说明窗口处于单一区域内, 采用中值滤波缩小区域内差异, 达到平滑目的。

根据 Beghdadi 对窗口内的对比度 C_μ 的定义^[2]:

$$C_\mu = |X_\mu - \bar{E}_\mu| / |X_\mu + \bar{E}_\mu|, C_\mu \in [0, 1] \quad (7)$$

式中 X_μ 是中心点的值, \bar{E}_μ 为:

$$\bar{E}_\mu = \left(\sum_{i,j \in \omega_\mu} \Delta_{ij} \times X_{ij} \right) / \left(\sum_{i,j \in \omega_\mu} \Delta_{ij} \right)$$

Δ_{ij} 称为边缘值 (edge value), 可以通过 Laplacian、Sobel 或 Weszka 和 Rosenfeld 定义的算子计算得到。如 Laplacian 算子:

$$\Delta_{ij} = |X_{ij} - \bar{X}|$$

\bar{X} 为 (i, j) 周围邻域 8 个点的平均值。

由(7)式可推得:

$$X_k = \bar{E}_k \times \frac{1 - C_k}{1 + C_k} \quad \text{当 } X_k \leq \bar{E}_k \quad (8)$$

$$X_k = \bar{E}_k \times \frac{1 + C_k}{1 - C_k} \quad \text{当 } X_k > \bar{E}_k \quad (9)$$

定义函数 $C'_k = F(C_k)$, F 满足 $F(C_k \geq C_k)$, 且 $F(C_k) \in [0, 1]$, 上式变为:

$$X'_k = \bar{E}_k \times \frac{1 - C'_k}{1 + C'_k} \quad \text{当 } X_k \leq \bar{E}_k \quad (10)$$

$$X'_k = \bar{E}_k \times \frac{1 + C'_k}{1 - C'_k} \quad \text{当 } X_k > \bar{E}_k \quad (11)$$

对于(10)和(11)式, 当 C_k 较大时, 也 C'_k 较大(接近于1), 此时(11)的分母变得很小, 调整后的 X'_k 将出现不合理的值, 这便是灰度值过调的产生原因。另外, 分析(7)式可以发现: 对比度 C_k 的大小不仅取决于 $|X_k - \bar{E}_k|$, 同时也取决于 $|X_k + \bar{E}_k|$ 。这样对亮

度较高的区域, 尽管 $|X_k - \bar{E}_k|$ 较大, 但由于 $|X_k + \bar{E}_k|$ 也大, 得到的 C_k 却较小, 这是不合理的。因此我们对(7)作改进, 得到新的对比度公式:

$$C_k = \frac{\bar{E}_k - X_k}{\text{const1}} \quad \text{当 } X_k \leq \bar{E}_k \quad (12)$$

$$C_k = \frac{X_k - \bar{E}_k}{\text{const2}} \quad \text{当 } X_k > \bar{E}_k \quad (13)$$

const1 和 const2 为常数, const1 与 const2 可以不同。由(12)和(13)得:

$$X'_k = \bar{E}_k - \text{const1} \times C'_k \quad X_k \leq \bar{E}_k \quad (14)$$

$$X'_k = \bar{E}_k + \text{const1} \times C'_k \quad X_k > \bar{E}_k \quad (15)$$

在上式中, 通过对 const1 和 const2 的选择, 可以避免出现灰度值过调。

在表 1 中, 给出了本文算法和其它二种算法的复杂度, 我们假设图象大小为 $N \times N$, 考虑领域大小为 $k \times k$ 。

表 1

	加、减	乘、除
Beghdadi 算法	$(11k^2 + 2) \times (N - k + 1)^2$	$(2k^2 + 4) \times (N - k + 1)^2$
Centeno 算法	$(7k^2 + 5) \times (N - k + 1)^2$	$(5k^2 + 15) \times (N - k + 1)^2$
本文算法	$(18k^2 - 2) \times (N - k + 1)^2$	$(7k^2 + 7) \times (N - k + 1)^2$

本文增强算法以基本运算加(减)和乘(除)操作为主, 因此通过程序优化和利用 MMX 技术, 可以较大幅度地缩短运行时间, 这便是今后要做的工作。

2 实验结果

我们用作增强的图是猩猩脸的一部分, 所有算法中的窗口大小为 3×3 。图(1)给出了几种算法的处理结果, 其中(a)是原图, (b)是用 Centeno 方法增强的结果, F 检验的显著水平(level of significance)等于 0.01, 可以看出增强效果并不理想。(c)是用 Beghdadi 的方法处理的结果, 算法中取 $F(C_k)$ 为 $(C_k)^{a/b}$, a/b 可在 0.5 ~ 0.7 之间取值。正如前面指出的那样, 原图中猩猩脸部较白的光滑区域在增强后变得比较粗糙。(d)图是用本文算法增强的结果, 比较可以发现增强效果明显好于(b)和(c)。

下面再以 Lenna 图为例对几种增强方法进行比较。图(2)中, (a)是 lenna 原图, (b)是 Centeno 的分割算法得出的结果(显著水平 0.01)。(c)是本文分割算法得出的结果, 图中亮点表示 EP, 暗点是 RP。由于二种分割算法对区域的假设不同: 前者是平面假设(FWA), 后者是斜面假设(SWA), 因此比较图(b)和(c)可以发现: 对于(a)图中灰度渐变区域的点(如 lenna 的肩部), 在(b)图中被标记为 EP, 而实际上这些点的所有邻域内并不存在边缘。本文基于 SWA 的分割算法对由于光照原因引起的灰度渐变区域, 当变化速度较小时, 仍将其看成单一区域, 因此可以避免增强处理后, 在这些区域出现灰度聚集现象, 影响增强效果。(d)、(e)是 Centeno(迭代 3 次)、Beghdadi 的增强结果, (f)是本文算法增强结果。比较 3 幅图同样可以发现(f)具有最好的效果。

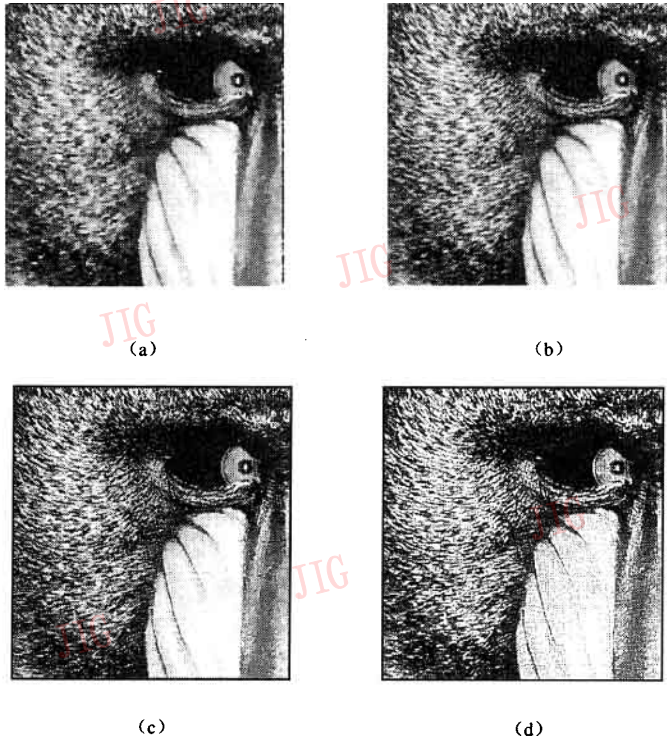


图 1

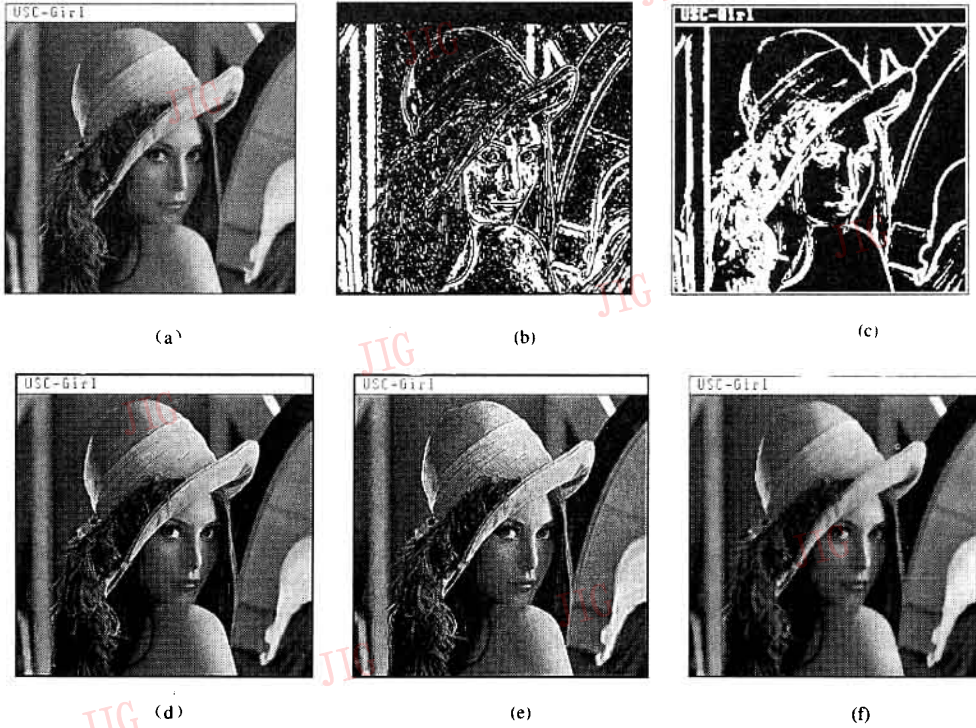


图 2

3 结 论

本文提出了一种简单有效的增强算法,算法首先分割图象,将其划分为边缘和区域。采用对比度增强方法加大各区域间的差异,突出边缘;同时以平滑处理减小区域内部差异,抑制噪声。

基于斜面模型的分割算法能有效地提取图象的边缘信息,在灰度渐变区域不会出现伪边缘。由于增强算法直接作用于图象的对比度,因此增强效果十分明显。

由此可见本文算法兼有增强和平滑作用,在增强图象同时,能较好地抑制噪声。

参 考 文 献

- 1 Haralick R M. Edge and Region Analysis for Digital Image Data. Image Modeling. Rosenfeld A eds, Academic Press, New York, 1981:171 ~ 184.
- 2 Beghdadi A, Le Negrate A. Contrast enhancement technique based on local detection of edges. Comput Vision Graph Image Process, 1989,46: 162 ~ 174.
- 3 Pratt W. Digital Image processing. New York: Wiley, 1978.
- 4 Hummel R. Image enhancement by histogram transformations. Comput Graph Image process, 1977, 6:184 ~ 195.



叶秀清 教授,浙江大学智能与信息系统研究所,主要研究方向为图象处理,计算机视觉。



顾伟康 教授,博士生导师,浙江大学副校长。研究方向为模式识别,视觉智能机器人。

- 5 Hall E L. Almost uniform distributions for computer image enhancement. IEEE trans Comput, 1974, C-23:207 ~ 208.
- 6 Pizer S M, et al. Adaptive histogram equalization and its variation. Comput Vision Graphics Image Process, 1987,39:355 ~ 368.
- 7 Leszczynski K W, Shalev S. A robust algorithm for contrast enhancement by local histogram modification. Image and Vision Computing, 1989,7(3).
- 8 Choi Y and Krishnapuram R. A robust approach to image enhancement based on fuzzy logic. IEEE Trans on Image Processing, 1997,6(6).
- 9 Yeong-Taeg Kim. Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization. IEEE Trans on Consumer Electronics, 1997,43(1):1 ~ 8
- 10 Centeno J A S, Haertel V. An adaptive image enhancement algorithm. Pattern Recognition, 1997,30(7):1183 ~ 1189.

孙 全 1992年毕业于浙江大学光电与科学仪器工程学系,获学士学位。1992-1994年工作于南京五二八厂。1997年毕业于浙江大学光电与科学仪器工程学系,获硕士学位。1997起在浙江大学信电系攻读博士学位。主要研究方向为多传感器信息融合,图象处理。

Contrast Enhancement Algorithm Based on Image Segmentation

Sun Quan, Ye Xiuqing and Gu Weikang

(Institute of Information and Communication Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract Image enhancement is a common procedure in order to enhance the contrast, sharpen the edge and optimize the visual quality of the input image, so that the resulting processed image is more suitable for a given application. The algorithm proposed in this paper, which is based on the sloped-facet model of Haralick and the contrast enhancement technique of Beghdadi, can enhance image efficiently while reducing noise, and it can preserve the original information of image perfectly.

Keywords Image enhancement, Sloped-facet model, Contrast