

基于像素领域信息的自适应图像增强算法

王启帆¹, 贾振红¹, 覃锡忠¹, 杨 杰², 胡英杰³

(1. 新疆大学信息科学与工程学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 上海交通大学图像处理与模式识别研究所, 上海 200240;

3. 奥克兰理工大学知识工程与开发研究所, 新西兰 奥克兰 1020)

摘 要: 针对图像增强后视觉效果较差和细节信息不明显的问题, 提出一种新的图像增强算法。计算图像中各像素数据模型与均匀分布模型之间的相对熵, 设定阈值, 基于邻域信息对相对熵大于阈值的像素进行自适应对比度增强, 其余像素采用平台限制的双直方图均衡算法进行增强。实验结果表明, 与 HE 算法、BHEPL 算法和 PLIP_BHE 算法相比, 经过该算法增强后的图像具有更好的视觉效果和更明显的细节信息。

关键词: 相对熵; 图像增强; 邻域信息; 遥感图像; 视觉效果; 图像细节

Adaptive Image Enhancement Algorithm Based on Pixel Neighborhood Information

WANG Qi-fan¹, JIA Zhen-hong¹, QIN Xi-zhong¹, YANG Jie², HU Ying-jie³

(1. College of Information Science and Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

3. Knowledge Engineering and Discovery Research Institute, Auckland University of Technology, Auckland 1020, New Zealand)

【Abstract】 In order to solve the problem that the visual effect of enhanced image is poor and the detail is fuzzy, this paper proposes a new image enhancement algorithm. It calculates every pixel's relative entropy between data model and uniform distribution model in the image, and sets a threshold to judge whether the pixel's relative entropy is more than the threshold. If it is that, the pixel will be enhanced by the algorithm based on the neighborhood information of pixel, and other pixels will be enhanced by the algorithm of BHEPL. Experimental results show that the enhanced image by proposed algorithm has a good visual effect and its detail information is clearer.

【Key words】 relative entropy; image enhancement; neighborhood information; remote sensing image; visual effect; image detail

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.24.048

1 概述

图像增强是图像处理的重要内容之一, 它在很多领域都有着重要的应用。从低质量的图像中获取好的视觉和细节信息是图像增强算法的目标。目前常用的一种图像增强算法是直方图均衡化(Histogram Equalization, HE), 它使图像直方图均衡分布, 从而使图像的整体对比度的到提升使图像变得清晰。但 HE 在增强图像的同时会很大程度上改变图像的原始亮度, 使图像的视觉效果变差^[1]。

近几年来出现的直方图类增强算法还有亮度保持的双直方图均衡化(BBHE)算法^[2]、动态区域分离的直方图均衡(DRSHE)算法^[3]和引入平台限制的双直方图均衡(BHEPL)算法^[4], 此外还有一类算法利用图像处理模型进行图像增强, 如利用对数图像处理模型(LIP)的图像增

强算法^[5]、利用参数化对数图像处理模型(PLIP)的 BHE 增强算法^[6]和利用熵解释(Entropy Interpretation)的 LIP 模型的图像增强算法^[7]。文献[8]为解决在图像增强过程中, 图像原始的平均亮度容易遭到破坏从而导致视觉效果变差的问题, 提出一种基于多目标粒子群优化的图像亮度保存对比度增强算法。文献[9]为解决遥感图像中因为对比度高度的集中在某一范围内, 而导致图像中该区域包含的信息有可能丢失的问题, 提出一种基于离散小波变换(DWT)和奇异值分解的遥感图像对比度增强算法。文献[10]为解决遥感图像分辨率低的问题, 提出一种基于复数小波变换(CWT)的遥感图像分辨率增强算法。其中, 文献[7]提出的用熵解释的 LIP 模型采用相对熵(Relative Entropy)作为图像细节的判别标准, 指出相

基金项目: 科技部国际科技合作基金资助项目(2009DFA12870); 教育部促进与美大地区科研合作与高层次人才培养基金资助项目(2010-1595, 2011-1056)

作者简介: 王启帆(1984—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 数字图像处理; 贾振红, 教授、博士生导师; 覃锡忠, 副教授; 杨 杰, 教授、博士生导师; 胡英杰, 研究员

收稿日期: 2011-09-05 **修回日期:** 2011-10-26 **E-mail:** jzh@xju.edu.cn

对熵较大的像素一般位于图像的边缘或纹理区域,并对这些像素进行 LIP 图像增强,使图像中的细节信息变得突出。但文献[7]的算法在图像增强时并未充分考虑到被增强像素点的邻域信息,使增强后的细节不太明显。

针对此问题,本文以相对熵为判别标准,提出一种基于像素邻域信息的自适应图像增强算法。

2 原理分析与算法实现

在图像中定义一个以 x_0 为中心像素且一共包含 N 个像素的空间区域,该区域中像素点 x_n 的概率为 $p_n=x_n/S$, S 由式(2)求得,把这样一个概率模型叫做数据模型 P 。在模型 P 中,像素点 x_n 的 Shannon 信息量定义为:

$$I_p(x_n) = -\log_a p_n = -\log_a (x_n / S) \quad (1)$$

$$S = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \quad (2)$$

本文取 $a=e$, 信息量的单位为奈特(nat)。

用区域中像素点的均匀分布定义另一个概率模型 Q ,则在模型 Q 中,像素点 x_n 的概率为 $q_n=1/N$ 。用来比较 2 种分布的相对熵定义如下:

$$D(Q, P) = \sum_{n=0}^{N-1} q_n \log_a \frac{q_n}{p_n} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (\log_a A - \log_a x_n) = \log_a \frac{A}{G} \quad (3)$$

$$G = \exp[(1/N) \sum_{n=0}^{N-1} \log_a x_n] \quad (4)$$

其中, $A=(S/N)$ 为算术平均值; G 为几何平均值,由式(4)求得。因为 $A \geq G$, 所以相对熵 $D(Q, P) \geq 0$; $D(Q, P)$ 越小,则表示 2 种分布越接近,反之,则表示 2 种分布相差越大,当且仅当 $p_n=q_n=1/N$ 时, $D(Q, P)=0$ 。由于模型 Q 是均匀分布,因此可以用 $D(Q, P)$ 来测量数据的平滑程度。在这里可以利用像素点 x_0 的相邻像素(如取 3×3 空间区域),分别计算出图像中每个像素的 $D(Q, P)$, $D(Q, P)$ 小的像素说明其位于较平滑区域, $D(Q, P)$ 大的像素说明其位于边缘或纹理区域。

假设图像中位于 (x, y) 点的像素的相对熵用 $d_0(x, y)$ 表示,负图像(由 $x_1(x, y)=M-x(x, y)$ 得到, M 为原图像的最大灰度值)中的像素相对熵用 $d_1(x, y)$ 表示。定义 $d(x, y)=d_0(x, y) \times d_1(x, y)$, 这时可以设定一个阈值 t_k , 对 $d(x, y) \geq t_k$ 的像素进行增强,而 $d \geq t_k$ 的像素往往是包含图像细节的一些像素, k 表示图像中有 $k\%$ 的像素被增强(如 $k=10$, 则图像中有 10% 的像素 $d(x, y) \geq t_k$)。因为 d_0 对图像中较暗区域的噪声过于敏感^[7], 为防止噪声被增强,所以选用 d 作为判别标准。

本文算法的实现步骤如下:

(1)对灰度图像 I 进行归一化处理, $In=I/255$, 其中, In 为归一化后的灰度值。

(2)对原图像进行边界扩展得到 Y 。首先将灰度图像 I 进行首列向左拓展 di 列和末列向右拓展 ui 列得到 Xt , 然后将 Xt 进行首行向上拓展 di 行和末行向下拓展 ui 行得到 Y 。

(3)计算图像各像素的 $d(x, y)$ 值。在 Y 中,分别以原图

像各像素为中心取 $h \times h$ 区域(如取 3×3 区域, 则 $di=ui=1$), 利用式(3)计算各像素相对熵 $d_0(x, y)$, 同理计算出负图像中各像素的相对熵 $d_1(x, y)$, 最后得到 $d(x, y)$ 。

(4)用式(5)求卷积获得图像中各像素的邻域信息。其中, $F(x, y)$ 为高斯核函数,可由式(6)求得, c 为常数,本文取 $c=1$, K 的值可由式(7)求得。计算出高斯核值 $F(x, y)$ 后,形成 $M \times N$ 模板(如取 3×3 模板),带入式(5)进行卷积计算。

$$I_{conv}(x, y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} I(m, n) F(m+x, n+y) \quad (5)$$

$$F(x, y) = K \exp\left(-\frac{(x+y)^2}{c^2}\right) \quad (6)$$

$$K = \iint F(x, y) dx dy \quad (7)$$

(5)设定阈值 t_k , 确保图像中有 $k\%$ 的像素 $d(x, y) \geq t_k$ 。

(6)自适应图像增强变换。输入像素为 $I(x, y)$, 经式(8)变换后输出像素为 $S(x, y)$ 。其中, In 、 enh 为对数型非线性增强函数,可由式(9)求得; μ 为设定参数,其值不同对比度增强的程度也不同; $E(x, y)$ 由式(10)求得, P 则由图像的灰度方差决定。

$$S(x, y) = \begin{cases} 255 \times I_{n,enh}(x, y)^{E(x, y)} & d(x, y) \geq t_k \\ BHEPL(I(x, y)) & d(x, y) < t_k \end{cases} \quad (8)$$

$$I_{n,enh} = \frac{\ln(1 + \mu In)}{\ln(1 + \mu)} \quad (9)$$

$$E(x, y) = \left(\frac{I_{conv}(x, y)}{I(x, y)} \right)^P \quad (10)$$

$$P = \begin{cases} 2 & \sigma \leq 30 \\ -0.03\sigma + 29 & 30 < \sigma \leq 80 \\ 1/2 & \sigma > 80 \end{cases} \quad (11)$$

3 实验与结果分析

图 1(a)是拍摄于乌鲁木齐市郊的大小为 512×512 像素的遥感图像。由于受天气等因素的影响图像看上去有些模糊不清,本文分别用传统的 HE 算法、BHEPL 算法^[4]、PLIP_BHE 算法^[6]、应用 EILIP 模型的增强算法($k=10$)^[7]以及文本文算法($\mu=10$, $k=10$)对该遥感图像进行增强,增强后的结果图像分别如图 1(b)~图 1(f)所示。

目前对图像增强效果的评价主要包括定性评价和定量评价 2 个方面。定性评价是指对图像增强的视觉效果进行评价,可以对图像的局部或具体研究目标进行评价。本文在定性评价的同时,引入 $EMEE$ 指标和传统的图像平均梯度($avg_gradient$)指标进行定量评价。

$EMEE$ 的计算是先将图像 I 分成 $k_1 \times k_2$ 个互不重叠的子块,然后分别计算出每个子块的最大值($I_{maxk, l}$)和最小值($I_{mink, l}$),最后用式(12)计算出图像的 $EMEE$ 值^[6]。

$$EMEE_{\alpha, k_1, k_2} = \frac{1}{k_1 k_2} \sum_{l=1}^{k_1} \sum_{k=1}^{k_2} \left[\alpha \left(\frac{I_{maxk, l}}{I_{mink, l}} \right)^\alpha \ln \left(\frac{I_{maxk, l}}{I_{mink, l}} \right) \right] \quad (12)$$

其中, α 是一个常数,这里取 $\alpha=1$, 每个子块大小为 4×4 进行计算。图 1 中各图像的 $EMEE$ 值如表 1 所示。

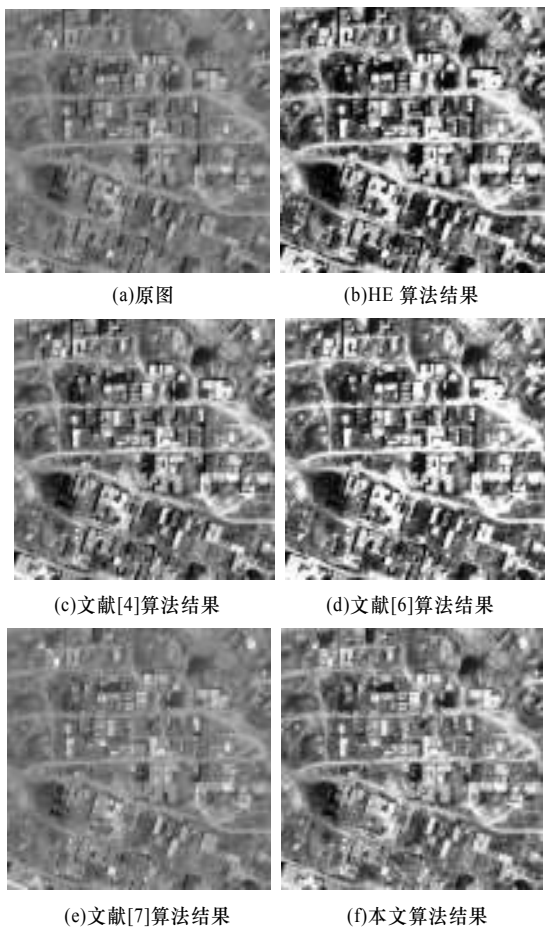


图 1 原始图像及各算法的增强结果

表 1 各图像的定量评价指标

图像	EMEE 值	avg_gradient
图 1(a)	0.386	4.989
图 1(b)	10.191	12.692
图 1(c)	2.275	9.328
图 1(d)	3.173	12.279
图 1(e)	0.708	6.376
图 1(f)	6.135	10.442

可以看出,原图像经过 HE 算法增强后对比度得到了很大的提升,同时也获得了最高的 *EMEE* 值和平均梯度值,但图像的亮度却发生了很大的变化,使图像的视觉效果变差,并且图像中较暗区域的细节信息比较难辨认;由于文献[4]中算法采用了平台限制,限制了增强中的过暗和过亮现象,故增强后的图像与 HE 相比视觉效果有了很大的改善,但图像中的细节信息还不是很突出;文献[6]中算法增强后的图像虽然获得了很高的平均梯度值,但图像中的细节信息还是比较难辨认;文献[7]中算法跟本文一样采用的也是针对图像细节信息以相对熵为判别准则的增强算法,增强后图像的细节信息变得突出可辨,但整体对比度没有得到有效的提升,且 *EMEE* 值和平均梯度值都偏低;本文算法增强后的图像,视觉效果要明显好于 HE 算法和文献[6]的图像,图像中的细节信息与 HE、文献[4]算法和文献[6]算法的图像相比也要更加清晰明显,同时本文

算法也获得了很好的定量评价指标。

4 结束语

针对图像增强中出现的增强后图像视觉效果较差和细节信息不明显的问题,本文提出一种以相对熵为判别标准的基于像素邻域信息的自适应图像增强算法。实验结果表明,与文献[4, 6-7]算法相比,该算法获得了更好的细节信息和更高的定量评价指标。与 HE 算法相比,图像的视觉效果得到明显改善,且图像细节信息清晰可辨。下一步研究是找到一种最优化的算法,使算法中的参数根据最优化算法设定,以进一步提高图像增强质量,缩短算法运行时间。

参考文献

[1] Wang Chao, Ye Zhongfu. Brightness Preserving Histogram Equalization with Maximum Entropy: A Variational Perspective[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2005, 51(4): 1326-1334.

[2] Kim Yeong-Taeg. Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-histogram Equalization[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1997, 43(1): 1-8.

[3] Park Gyu-Hee, Cho Hwa-Hyun, Choi Myung-Ryul. A Contrast Enhancement Method Using Dynamic Range Separate Histogram Equalization[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2008, 54(4): 1981-1987.

[4] Chen H O, Kong N S P, Ibrahim H. Bi-Histogram Equalization with a Plateau Limit for Digital Image Enhancement[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2009, 55(4): 2072-2080.

[5] Deng Guang, Cahill L W, Tobin G R. The Study of Logarithmic Image Processing Model and Its Application to Image Enhancement[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(4): 506-512.

[6] Panetta K, Agaian S, Zhou Yicong, et al. Parameterized Logarithmic Framework for Image Enhancement[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2011, 41(2): 460-473.

[7] Deng Guang. An Entropy Interpretation of the Logarithmic Image Processing Model with Application to Contrast Enhancement[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(5): 1135-1140.

[8] Kwok N M, Ha Q P, Liu Dikai, et al. Contrast Enhancement and Intensity Preservation for Gray-level Images Using Multiobjective Particle Swarm Optimization[J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2009, 6(1): 145-155.

[9] Demirel H, Ozcinar C, Anbarjafari G. Satellite Image Contrast Enhancement Using Discrete Wavelet Transform and Singular Value Decomposition[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Letters, 2010, 7(2): 333-337.

[10] Demirel H, Anbarjafari G. Satellite Image Resolution Enhancement Using Complex Wavelet Transform[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Letters, 2010, 7(1): 123-126.

编辑 金胡考