

中图分类号: TP751.1 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)12-1728-05

论文索引信息: 李权合, 毕笃彦, 马时平, 何宜宝. 基于 Retinex 和视觉适应性的图像增强 [J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(12): 1728-1732

基于 Retinex 和视觉适应性的图像增强

李权合, 毕笃彦, 马时平, 何宜宝

(空军工程大学工程学院, 西安 710038)

摘要: 根据人眼视网膜上的锥细胞和柱细胞的视觉特性, 提出了用于彩色图像增强的视觉适应性模型。基于 Retinex 和视觉适应性模型提出了一种新的图像增强算法, 先将图像进行简单去光照分量处理, 得到反射分量的近似解, 再根据视觉适应性模型对反射图像的近似解进行全局对比度和亮度的调整, 使之适应于人的视觉。实验中使用的算法和经典 Retinex 算法处理相同的 RGB 退化图像, 对处理结果进行了定性和定量比较, 结果表明提出的算法在增强图像细节, 提高全局对比度方面优于已有的 Retinex 算法。

关键词: 视觉适应性; Retinex; 图像增强

Image enhancement based on Retinex and vision adaptability

LI Quanhe, BI Duyan, MA Shiping, HE Yibao

(Engineering College of Air Force Engineering University, Xi'an 710038)

Abstract: According to the vision character of cone and rod in human's retina, a new model called vision adaptability model is proposed in this paper, the model aims at enhancing color image. Based on Retinex and vision adaptability model a new algorithm for image enhancement is proposed, in this algorithm the illumination image's approximate is simply removed and the reflectance image's approximate is calculated, then the global contrast and brightness of reflectance image's approximate are adjusted according to the proposed model, which make the enhanced image agree with human's vision. The proposed algorithm and some classic Retinex algorithms are applied to the same degraded RGB images in the experiment, then qualitative analysis and quantitative analysis are conducted on the experimental results. It can be concluded from the comparison that the proposed algorithm performs better than preexisted Retinex algorithms on enhancing the image details and upgrading the global contrast.

Keywords: vision adaptability; Retinex; image enhancement

0 引言

图像增强的目的是调整图像对比度和亮度以改善图像视觉质量, 图像增强技术在军地双方都有广泛的应用。现有的图像增强技术根据其处理所进行的空间不同, 可以分为基于空域的方法和基于变换

域的方法两类^{[1]79}。Edwin Land 提出的 Retinex 理论^[2], 是一种基于空域的图像增强方法, 该理论模拟人类大脑视觉皮层的成像原理, 建立了简化的图像形成模型, 先期的经典 Retinex 算法, 例如, 随机游程法^[3] (random walk type)、同态滤波^[4] (homomorphic filters)、McCann 和 Sobel 提出的算法^[5], 都采用多次迭代方法, 将光照图像消除得到目标本身的反射性

基金项目: 国防重点实验室基金项目(9140C610301080C6106)。

收稿日期: 2009-06-15; 改回日期: 2009-09-02

第一作者简介: 李权合(1987—), 男。空军工程大学信号与信息处理硕士研究生。主要研究方向: 模式识别、图像处理。

E-mail: liquanhe.ning666@163.com。

质作为增强的结果。随后又有 Kimmel 等人提出了变分法的 Retinex 算法^[6],该算法的目的仍然是希望提取出反射图像。事实上从原图像中计算亮度图像在数学上是一个奇异问题,对于这样一个奇异问题我们不可能得到精确解。本文基于上述考虑,先对原始图像进行简单的去光照分量处理得到反射分量的近似解,然后根据视觉适应性模型对反射图像进行亮度和对比度的调整,使之适应于人的视觉。

1 Retinex

Retinex 理论是最早用于解释颜色恒常性理论并可以通过数学计算求解的模型^[7],它可以表示为

$$S(x, y) = R(x, y) \times L(x, y) \quad (1)$$

式中, S 为已知图像, R 为反射图像, L 为亮度图像。Retinex 算法就是要从已知图像中估计亮度图像,然后将其去除得到反射图像。

为了简化计算多数 Retinex 算法都先将数据类型转换为双精度,然后变换到对数域进行处理,再将处理后的图像反变换回去得到反射图像。在求解亮度图像的时候,多采用高斯平滑的方式来获取其近似解,而且需反复迭代使得提取的亮度图像尽可能精确。

2 视觉适应性模型

据现有研究证明,视网膜表面分布着一个个光接受细胞(感光单元),它们可以接受光的能量并形成视觉图案。光接受细胞有两类:锥细胞(cone)和柱细胞(rod)。锥细胞又分为 3 种,它们对入射的辐射有不同的频谱响应曲线。锥细胞视觉称为适亮视觉(photopic vision),对颜色很敏感。柱细胞视觉称为适暗视觉(scotopic vision),对颜色不敏感,对低照度敏感^{[1]29-30}。

既然柱细胞仅在非常暗的光线下工作,且对颜色不敏感,那么由柱细胞所获取的图像就不能称为适于人的视觉的图像。因此所谓的适于人的视觉的图像应该是由锥细胞所感知的,那么在对人的视觉适应性建模的时候,我们首先将已知图像的亮度提升到一定水平,抑制掉过亮和过暗的部分,再调整其对比度,这样就会在保证颜色失真较少的基础上,使图像无论是在对比度上还是在亮度上都适于人的视觉。

综上所述,本文提出的视觉适应性模型可以表示为

$$s(x, y) = f\{i(x, y) \times b(x, y)\} \quad (2)$$

式中, $s(x, y)$ 是输出的视觉适应性图像像素值, $i(x, y)$ 为输入图像像素值, $b(x, y)$ 用于调整图像亮度,函数用于调整图像的对比度。

对比度调整函数旨在提取不同类像素点间差异最大的部分,提升图像的对比度。实验中我们发现,采用简化的 Retinex 算法对图像去光照分量后得到的图像对比度仍然不够大,图像细节不够突出,数值表现为图像矩阵的方差较小,主要原因是不同像素值的真实差异被光照分量所淹没,这符合 Retinex 所作出的假设——光照分量远大于反射分量,因此本文设计的对比度提升函数可表示为

$$S_{out} = S_{in} - \frac{1}{D}fix(S_{in}) \quad (3)$$

式中, S_{out} 为输出图像, S_{in} 为输入图像,函数 fix 对像素值下取整, D 为常数,本文设为 8。

为将图像亮度的动态范围压缩到视觉愉悦区,在设计亮度调整函数时应注意以下几点:平均亮度小的图像较平均亮度大的图像对应的函数值大;由于人眼不能同时适应很宽的光强范围,当人眼适应某一平均亮度时,能够同时鉴别出的光强变化范围相对人眼所能适应的亮度范围要窄得多,因此设计的亮度调整函数应配合对比度提升函数压缩两端的亮度;此外,在很多范围内,主观亮度与光强的对数成线性关系,所以函数形式应为对数函数。我们采用文献[8]提出的曲率和中心点均可根据图像统计特性自动调整形状的“S”型曲线,增加 A 值减小 V 值使低照度区域的亮度得到更好提升,公式(4)为该曲线表达式为

$$\begin{cases} b(x, y) = \frac{1}{A} \lg \left(\frac{1}{(sup - inf) / \max(i) \times i(x, y) + inf} \right) \\ sup = 1 / [1 + e^{-A(1-V)}], inf = 1 / [1 + e^{AV}] \\ V = 2.05 \times e^{0.006 \times Var} \\ A = 0.6106 \times mean^{0.96} \end{cases} \quad (4)$$

式中 Var 是输入图像的方差, $mean$ 是输入图像的平均值, A 调整曲率, V 调整中心点,求输入图像最大值。

3 本文算法

3.1 去光照图像

鉴于经典 Retinex 算法的思想,先将图像像素值

的数据类型转换为双精度,然后变换到对数域内进行去光照分量处理。本文用于估计光照分量的卷积核选为像素点的 8 邻域矩阵,即

$$H = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

光照图像计算公式为

$$\hat{L} = S * H \quad (5)$$

式中, S 为输入图像, \hat{L} 为光照图像的估计。

同样采用迭代的方法去除光照分量,为了节省计算时间,将循环次数控制在 20 次以内,执行下列循环:

1) 转换数据类型,归一化并变换到对数域。设置循环次数 N ,初始化反射图像为原始图像,将原始图像同卷积核卷积,得到光照图像

$$r_0 = S, \hat{L}_0 = S * H \quad (6)$$

2) 将光照图像从反射图像中去除,得到更逼真的反射图像

$$r_{n+1} = r_n - \hat{L}_n \quad (7)$$

判断循环是否结束,是跳到步骤 4),否执行步骤 3)。

3) 将反射图像同卷积核卷积,得到更逼真的光照图像,返回步骤 2)

$$\hat{L}_{n+1} = r_{n+1} * H \quad (8)$$

4) 将结果进行指数变换,得到反射图像的次优估计 \hat{R} 。

3.2 获取视觉适应性图像

由上述步骤获取的反射图像的次优估计并非最适于人的视觉的图像,为了得到更加适合人眼观看的图像,需要依据在第 2 部分提出的视觉适应性模型对反射图像的次优估计进行对比度和亮度调整。

使用该算法对退化的 RGB 图像同时进行全局增强(各通道使用相同的亮度调整矩阵)和局部增强(各通道使用不同的亮度调整矩阵),两种增强效果合成最终的视觉适应性图像^[9-10]。下面先介绍全局增强的具体算法:

1) 初始化 \hat{R}_0 为上一步得到的反射图像次优估计 \hat{R} ,计算其均值和方差,并将方差赋给 $temp_var$,将 \hat{R}_0 转换到 HSV 空间,通过 V 通道的亮度图像计算出亮度调整矩阵

$$\begin{cases} B_0 = [b_0(x, y)]_{M \times N} \\ temp_var = var(\hat{R}_0) \end{cases} \quad (9)$$

2) 先对 \hat{R}_n 进行亮度调整,再调用对比度调节

函数进行对比度调整,并计算结果的亮度调整矩阵

$$\hat{R}_{n+1} = \hat{R}_n \times B_n - \frac{1}{D} f(x) (\hat{R}_n \times B_n) \quad (10)$$

$$B_{n+1} = [b_{n+1}(x, y)]_{M \times N} \quad (11)$$

需要说明的是,使用式(10)对 RGB 图像进行对比度调整,R、G、B 通道共同使用由 HSV 空间中的 V 通道获取的亮度调整函数。

3) 计算 \hat{R}_{n+1} 的方差和 $temp_var$ 比较,若 $var(\hat{R}_{n+1}) < temp_var$ 则跳到步骤 4),否则跳到步骤 2)。

4) 得到全局视觉适应性图像 \bar{R} 。

进行局部增强时,R、G、B 分量需在原图像中各分量所占的比例约束下进行对比度调整,假设 R、G、B 分量在原始图像中所占的比例分别为 r, g, b 那么应用于各通道的亮度调节矩阵为

$$B_R = [b_R(x, y)]_{M \times N}$$

$$B_G = B_R \times \frac{g}{r} \quad (12)$$

$$B_B = B_R \times \frac{b}{r}$$

其余步骤均和全局增强算法相同,调整结果得到局部视觉适应性图像 \bar{R}' 。

最后将全局视觉适应性图像 \bar{R} 和局部视觉适应性图像 \bar{R}' 简单相加即得到最后视觉适应性图像

$$R = (\bar{R} + \bar{R}') / 2 \quad (13)$$

实验中发现循环系数为 3 次的时候,就可以得到视觉适应性较好的图像,因此实际应用中为了提高运算速度常将循环次数设为 3。

4 实验结果

实验中选取了一组比较典型的退化图像作为增强的对象。图 1 为本文算法在处理因雾气影响导致退化的图像时不同层次的输出结果。图 2—图 4 为本文算法与经典 Retinex 算法的比较。表 1—表 3 给出了对增强效果的客观数据评价,在主观评价效果相当时,图像均值和方差可以作为不错的评价标准,所以本文选用图像的均值和方差作为评价增强效果优劣的标准。

对“交通”图像的增强,McCann 算法存在明显的颜色失真,交通灯和车灯颜色发生严重偏差,天空的颜色过渡剧烈,从而导致图像具有较大方差!本文算法增强效果和 Kimmel 算法增强效果相近,但容易发现对灯光颜色的保持上,本文算法优于 Kimmel 算法。



图 1 本文算法不同层次的增强结果
Fig.1 Enhancement results in different layer by the proposed algorithm

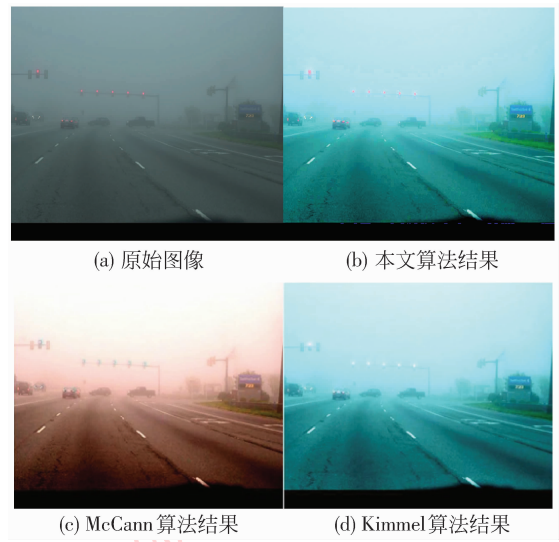


图 2 图像“交通”的不同算法增强效果
Fig.2 Enhancement results of image “traffic” by different algorithms

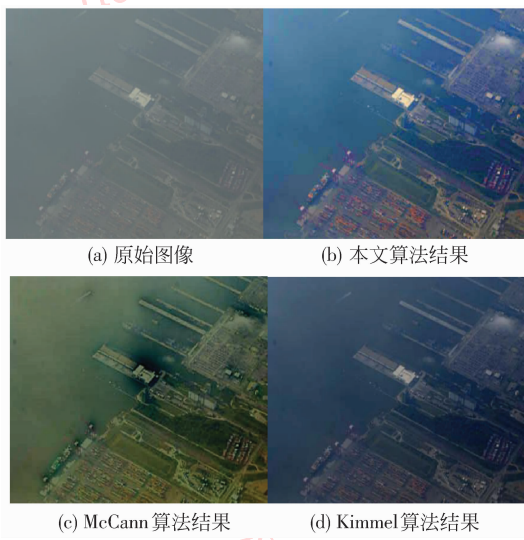


图 3 图像“港口”的不同算法增强效果
Fig.3 Enhancement results of image “port” by different algorithms

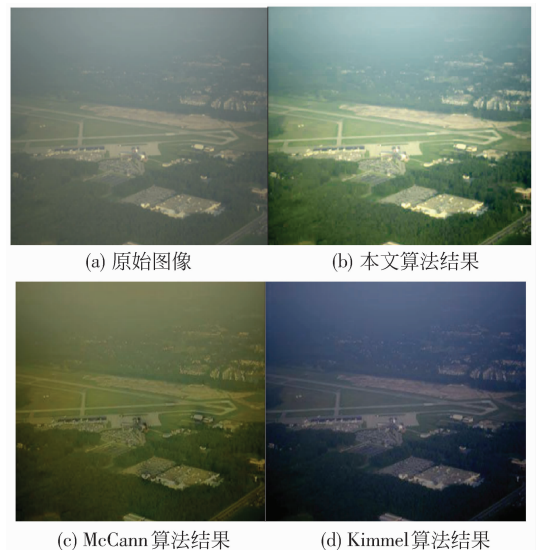


图 4 图像“林地”的不同算法增强效果
Fig.4 Enhancement results of image “forest” by different algorithms

表 1 图像“交通”增强效果的客观数据评价

Tab.1 The objective data evaluation of different algorithms' enhancement results of image “traffic”

	原始图像	本文算法	McCann	Kimmel
均值	98.339 9	139.840 4	148.507 0	145.972 6
方差	43.348 5	82.290 9	94.692 6	82.401 9

表 2 图像“港口”增强效果的客观数据评价

Tab.2 The objective data evaluation of different algorithms' enhancement results of image “port”

	原始图像	本文算法	McCann	Kimmel
均值	116.844 6	97.815 4	72.855 8	64.372 9
方差	8.167 9	25.720 7	23.429 0	17.329 1

表 3 图像“林地”增强效果的客观数据评价

Tab.3 The objective data evaluation of different algorithms' enhancement results of image "forest"

	原始图像	本文算法	McCann	Kimmel
均值	112.335 2	127.420 2	84.208 5	64.225 9
方差	23.991 6	49.891 0	25.321 3	21.149 3

从对图像增强效果的主观评价和客观数据评价来综合考虑增强效果,提出的基于 Retinex 和视觉适应性模型的算法可以有效的将图像的亮度和对比度调整到一个较适于人的视觉的范围,同时在保持原始图像颜色的性能上优于经典 Retinex 算法。

5 结 论

图像增强作为图像工程的预处理工作对之后的图像分析和图像理解工作起着至关重要的作用。围绕人的视觉特性开展的图像增强研究仍旧是当前一个热门的课题,在对视网膜上两种光接受细胞的特点深入分析的基础之上,建立了视觉适应性模型,继而提出了一种基于 Retinex 和视觉适应性模型的图像增强方案,实验结果显示,该方案较已有的经典 Retinex 算法有较大的优越性。

提出的视觉适应性模型仅是针对锥细胞的建模,而忽略了柱细胞对成像的贡献,虽然该模型对一些图像具有不错的处理效果,但对一些具有强对比度的图像处理效果并不让人满意。因此在今后的科研工作当中如何针对不同光接受细胞的特点建立更

符合人的视觉特性的模型将成为一个重要的研究方向。

参考文献 (References)

- [1] Zhang Yujin. Image Engineering (1) Image Processing [M]. Beijing: Tsinghua Press, 2006:79 [章毓晋著. 图像工程(上册)图像处理[M]. 北京:清华大学出版社,2006.]
- [2] Land E. The Retinex [J]. American Scientist, 1964,52(2): 247-264.
- [3] Land E H, McCann J J. Lightness and the Retinex theory [J]. J. Opt. Soc. Am. , 1971,61(3):1-11.
- [4] Faugeras O D. Digital image color processing within the framework of a human visual system [J]. IEEE Trans. on ASSP, 1979,27:380-393.
- [5] McCann J J, Sobel I. Experiments with Retinex [DB/OL]. (1998-06-18). <http://hpl.hp.com/HPL-1999-151R1.pdf>.
- [6] Kimmel R, Elad M, Sobel I. A variational frame work for Retinex [J]. International Journal of Computer Vision, 2003,52(1):7-23.
- [7] Lei Ling, Zhou Yinqing, Li Jingwen. Investigation of Retinex algorithms for image enhancement [J]. Journal of Electron (CHINA), 2007,24(5):696-700.
- [8] Gong Wei, Si Ke, Ye Xiuqing, et al. Highly robust real-time image enhancement [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2007, 20(9): 2026 - 2028. [龚薇, 斯科, 叶秀清, 等. 一种强鲁棒性的实时图像增强算法 [J]. 传感技术学报, 2007, 20(9): 2026-2028.]
- [9] Fattal R. Single image dehazing [DB/OL]. (2008-04-18). <http://www.cs.huji.ac.il/~raananf/projects/defog/index.html>.
- [10] He Kaiming, Sun Jian, Tang Xiaou. Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior [DB/OL]. (2009-06-04). <http://people.cs.uu.nl/robby/fog/index.html>.