

文章编号:1001-9081(2010)06-1581-03

基于矢量运算的图像光照处理算法

朱君波¹,王守觉^{1,2},冯浩³

(1. 同济大学 半导体与信息技术研究所, 上海 200092;
2. 中国科学院 半导体研究所, 北京 100083; 3. 嘉兴学院, 浙江 嘉兴 314001)
(xzhujb@163.com)

摘要:基于高维形象几何与仿生信息学,提出了一种新的光照处理算法。该算法从高维空间矢量关系的角度,分析图像中的光照问题。采用高维空间矢量表征图像和光照,通过计算图像矢量与光照矢量之间差值得到均衡光照下的图像。实验表明该方法处理效果明显,而且简单容易实现。

关键词:高维形象几何;仿生信息学;光照处理;图像处理

中图分类号: TP751 **文献标志码:** A

Illumination processing algorithm based on vector calculation

ZHU Jun-bo¹, WANG Shou-jue^{1,2}, FENG Hao³

(1. Institute of Semiconductor and Information Technology, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China;
3. Jiaxing University, Jiaxing Zhejiang 314001, China)

Abstract: A novel algorithm on illumination processing was proposed based on High Dimensional Image Geometry and Biomimetics Informatics (HDIGBI), which is a brand new theory developed in recent years. From the angle of high dimensional space vector, illumination of the image was analyzed. Adopting high dimensional space vector to describe image and illumination, the image under even illumination was obtained by calculating the difference between the image vector and the illumination vector. The experiments demonstrate that this method is effective and simple to realize.

Key words: high dimensional image geometry; biomimetics informatics; illumination processing; image processing

0 引言

在图像处理中,光照问题一直是公认的具有挑战性的重点课题^[1-2]。作为图像预处理,光照处理严重影响着应用系统。例如,在目标图像识别领域,除了识别算法的性能外,光照的鲁棒性是影响系统应用的重要难题之一。因此,处理好光照问题,是提高图像处理应用系统性能,扩大系统应用范围的关键。

传统处理光照的主要方法有灰度直方图均衡化、Gamma矫正、基于光照经验模型的仿射变换AT算法、基于多重线性回归模型的光照补偿ICR算法、色感一致性方法和色彩空间转换法等。其中灰度直方图均衡化和Gamma矫正比较多,许多改进方法都是基于这两种方法的^[3-5]。

Jaepil等人提出了一种基于多重回归模型的光照补偿算法(ICR算法)^[6]。算法通过多重回归模型,估计出拟合样本的光照亮度平面,然后将平面逆变换,得到补偿光照用的光照亮度负平面,将负平面叠加到样本中,即得到处理结果。该算法要求,估计出的亮度平面跟光线的实际分布一致才能有好的效果,即图像受到点光源干扰下效果才明显,对于复杂的光照则无能为力。

Land等人提出了Retinex算法^[7],从信号分析角度出发,根据光照变化缓慢的假设,认为光照是图像中的低频分量,因此用低通滤波来估计光照。计算样本图像和估计光照的卷积得到处理结果。该算法的关键在于卷积核的估计和选择,而

且该算法容易在边缘区域产生“光晕”现象。通过设定复杂的参数可以减少“光晕”现象,如Multiscale Retinex方法^[8]、LCIS方法^[9]和自商图像法^[10]等改进算法。

王守觉等人^[11]基于人类视觉系统的全局和局部自适应特性,提出了一种新的仿生彩色图像增强算法,用于增强不均匀光照或低照度情况下的图像。实验结果表明该算法具有良好的效果。

高维形象几何与仿生信息学^[12-15]是以形象思维为出发点,从矢量角度理解和处理信息科学中的问题,并在语音处理和图像处理领域获得了良好的效果。本文的算法就是将光照处理变成矢量计算,从而简化了处理,并在实际中获得了良好的效果。

1 理论基础

一般而言,图像可以表示为物体反射系数和光照的乘积,即:

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

其中:反射系数 $R(x, y)$ 由物体的材料、形状、姿态等因素决定,与光照无关;而 $L(x, y)$ 则代表光照。

从原始图像 $I(x, y)$ 中恢复反射系数 $R(x, y)$ 和光照 $L(x, y)$ 是一个不定方程求解问题。一般的算法都是通过增加一个约束条件来解决问题。因此,约束条件的不同得出的解就不同。

把物体的反射系数与光照分离,完全地从图像中提取出

收稿日期:2009-11-09;修回日期:2010-01-20。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60871093)。

作者简介:朱君波(1979-),男,上海人,讲师,博士,主要研究方向:仿生模式识别、图像处理、图像检索;王守觉(1927-),男,北京人,中国科学院院士,研究员,主要研究方向:仿生模式识别、人工神经网络;冯浩(1958-),男,浙江杭州人,教授,博士生导师,博士,主要研究方向:控制理论、模式识别、机器人。

来是很困难的。如果完全去除光照,把物体放在黑屋子里,那将得到一张全黑的图像。因此,反映物体的反射系数需要一定的光照,需要均衡的光照。使光照均衡,减少不平衡光照对图像的影响,是处理光照问题的本质。

假设图像中的光照由均衡的光照和不均衡的光照两部分组成。即图像可表示为:

$$I(x, y) = R(x, y)(L_1(x, y) + L_2(x, y)) \quad (2)$$

其中: $L_1(x, y)$ 代表均衡的光照, $L_2(x, y)$ 代表不均衡的光照。将式(2)变换得:

$$I(x, y) = R(x, y)L_1(x, y) + R(x, y)L_2(x, y) \quad (3)$$

设 $I_1(x, y) = R(x, y)L_1(x, y)$, $I_2(x, y) = R(x, y)L_2(x, y)$ 得 $I(x, y) = I_1(x, y) + I_2(x, y)$ (4)

其中: $I_1(x, y)$ 是物体在均衡光照下的图像,这是最理想的; $I_2(x, y)$ 是物体在不均衡光照下的图像,属于干扰部分。在样本图像中,不均衡光照表现为不均衡的亮度。因此,通过对图像亮度分布的计算,可以简单地估计出不均衡的光照分量;再运用矢量计算方法,将其去除就可以得到均衡光照下的图像。一次估计是无法完全去除不均衡光照分量的,需要通过设定阈值,进行多次迭代。

高维形象几何与仿生信息学的基础是高维空间点分布分析理论。了解该理论有助于从矢量角度理解图像处理中的问题。

2 基于矢量运算的光照处理算法

本文采用高维空间矢量表征图像和光照,通过计算图像矢量与光照矢量之间差值得到均衡光照下的图像矢量。通过式(4),可以将图像表示为均衡的光照分量 I_1 和不均衡的光照分量 I_2 。其在高维空间中的关系可以用二维的矢量图来示意,如图1所示(图中弧线表示迭代过程)。具体计算步骤如下所述。

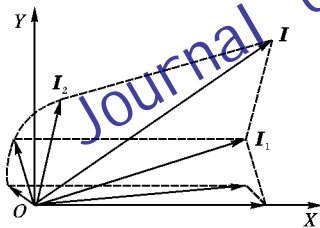


图1 图像与光照矢量

首先计算样本图像的亮度分布情况,来估计不均衡的光照分量 I_2 。定义图像的亮度 $H(x, y)$ 为 R, G, B 三元色中的最大值,即:

$$H(x, y) = \max \{R(x, y), G(x, y), B(x, y)\} \quad (5)$$

其中: $R(x, y)$ 、 $G(x, y)$ 、 $B(x, y)$ 分别代表RGB空间中点 (x, y) 处像素的 R, G, B 分量的值。再计算平均亮度:

$$Hv(x, y) = \frac{1}{4NM} \sum_{i=-N}^N \sum_{j=-M}^M H(x+i, y+j) \quad (6)$$

其中: N 和 M 是一个取平均的范围常量,可以相等,它与图像的分辨率有关,一般以图像尺寸的 $1/32$ 比较合适。

再定义暗度:

$$D(x, y) = 255 - H(x, y)$$

通过亮度、平均亮度和暗度的高斯核函数加权,获得不均衡的光照分量:

$$I_2(x, y) = \alpha |D - H| \exp\left(\frac{-H^2}{(Hv - H)^2} \times \frac{1}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

其中: σ 是一个衰减速度常量, α 是补偿参数。 α 的含义是光照

均衡情况,表示光照不足或过亮,它的值由平均亮度和亮度决定。当亮度最大值与平均亮度相差比较大,认为光照很不均衡,需要较大的补偿;相反,当亮度最大值与平均亮度相同时,不需要补偿。计算公式如式(8)所示。当亮度的最大值低于平均亮度的 50% 时,认为光照不足,它应当得到正 0.5 的增益;如果亮度的最大值超过平均亮度的 50% 时,则认为光照过亮,需要抑制,它应当得到负 0.5 的增益;其他情况则根据亮度和平均亮度,在 $-0.5 \sim 0.5$ 线性变化。

$$\alpha = \begin{cases} 0.5, & H \leq 0.5Hv \\ \frac{Hv - H}{Hv}, & 0.5Hv < H < 1.5Hv \\ -0.5, & H \geq 1.5Hv \end{cases} \quad (8)$$

$|D - H|$ 表示不均衡的光照分量的绝对值,当亮度和暗度相差比较大时,其值越大,表示光照越不均衡,具体是光照不足还是过亮由前面的 α 符号决定。

$\exp\left(\frac{-H^2}{(Hv - H)^2} \times \frac{1}{2\sigma^2}\right)$ 是个高斯核函数,表示补偿速度。当光照很不均衡时,即亮度最大值与平均亮度相差越大,能让迭代比较快地达到收敛。 σ 是一个衰减速度常量,其值应根据实际实验决定,一般取 $4 \sim 8$ 。

基于矢量运算的光照处理算法的具体步骤如下:

- 1) 按照坐标将样本图像转化成矢量 I ;
- 2) 根据式(7)计算 I_2 ;
- 3) $I_1 = I - I_2$;
- 4) 将 I_1 还原为图像,并回到2)进行迭代,直到不满足迭代条件;
- 5) 按照坐标将矢量 I 还原为图像。

迭代结束条件可设置为 I_2 的模或者一范数(即 $\max \{I_2(x, y)\} \leq \text{threshold}$)。当 I_2 的模很小时, I 和 I_1 非常接近,表示图像的光照均匀。另一个 I_2 的一范数条件是控制图像噪点的,在迭代过程中,产生噪点的时候就应该停止迭代。

3 实验

为了验证算法的有效性,本文采用 Yale 数据库和文献[11]中的树图片进行实验。

从 Yale 人脸数据库中选择严重光照不均衡的 15 个人的 30 张正面人脸照片,归一化为 160×160 的人脸图片。实验效果如图2所示。



(a) 原始图像



(b) 处理结果

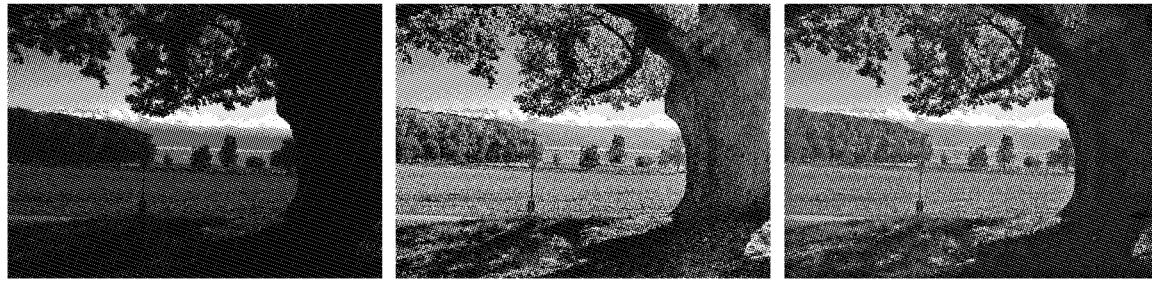
图2 人脸图片实验效果

从图2(b)可看出:处理后的图像光照比较均衡,明暗比较一致;而且原先暗处的脸部纹理,经处理后还原比较好,特别是头发、耳朵;而高亮处,经处理后亮度有所降低,但变化不是很大。因为在迭代算法里设置的结束条件就是控制噪点,因此在本次实验中都没有出现图像噪点。

选用文献[11]中的树照片进行彩色图像的实验,效果如图3所示。本文方法和文献[11]方法的图像处理效果都很明显,文献[11]方法对比度提升指数为 1.485,本文方法对比

度提升指数为 1.237。另外本文方法的树干处理效果不如文献[11]方法,其原因在于树干光照特别低,需要多次迭代,而每次迭代时都要重新计算均衡的光照分量,这样在最后就产

生了色差。但文献[11]方法在亮暗的过渡边缘缺乏有效的处理,如树林的顶端和草坪的顶端。本文方法在这些边缘上得到了有效的处理,没有黑边,亮暗过渡自然。



(a) 原图

(b) 文献[11]方法

(c) 本文方法

图3 树图片实验效果

4 结语

根据实验结果分析可知:基于矢量运算的光照处理算法能有效处理不均衡的光照图像,使图像的光照均匀,显示暗处的纹理细节,高亮处也不丢失纹理,亮暗过渡自然;但是在样本的光照特别低时,容易产生色差。这也是该算法需要改进的地方。

致谢:感谢丁兴号博士提供的树图像以及用于与本文比较的图像增强程序。

参考文献:

- [1] Face Recognition Vendor Test (FRVT) [EB/OL]. [2009-09-05]. <http://www.frvt.org/>.
- [2] ADNIN Y, MOSES Y, ULLMAN S. Face recognition: The problem of compensating for changes in illumination direction [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7): 712-732.
- [3] LUCCHESI L, MITRA S K. Color image segmentation: A state-of-the-art survey [EB/OL]. [2009-09-03]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1.84.4896&rep=rep1&type=pdf>.
- [4] FARID H. Blind inverse Gamma correction [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(10): 1428-1433.
- [5] 王涌, 庄连生, 庄镇泉, 等. 基于全变分模型的多分辨率光照处理算法[J]. 电路与系统学报, 2009, 14(1): 32-37.
- [6] JAEPIK K, EUNJU K, HYERAN B. A simple illumination normali-

- zation algorithm for face recognition [C]// PRICAI 2002: Trends in Artificial Intelligence. Berlin: Springer-Verlag, 2002: 199-206.
- [7] LAND E H, MCCANN J J. Lightness and retinex theory [J]. Journal of the Optical Society of America, 1971, 61(1): 1-11.
- [8] JOBSON D J, RAHMAN Z-U, WOODDELL G A. A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(7): 965-976.
- [9] TUMBLIN J, TURK G. LCIS: A boundary hierarchy for detail-preserving contrast reduction [C]// Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 1999: 83-90.
- [10] WANG HANTAO, LI S Z, WANG YANGSHENG. Generalized quotient image [C]// CVPR'04: 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004, 2: 498-505.
- [11] 王守觉, 丁兴号, 廖英豪, 等. 一种新的仿生彩色图像增强方法[J]. 电子学报, 2008, 36(10): 1970-1973.
- [12] 王守觉, 王柏南. 人工神经网络的多维空间几何分析及其理论[J]. 电子学报, 2002, 30(1): 1-4.
- [13] 王守觉. 仿生模式识别(拓扑模式识别)——一种模式识别新模型的理论与应用[J]. 电子学报, 2002, 30(10): 1417-1420.
- [14] 王守觉, 孙华. 一种基于矢量关系运算的人脸检测算法[J]. 微计算机信息, 2006, 22(28): 294-296.
- [15] 谭乐怡, 王守觉. 一种基于高维形象几何理论的彩色图像增强算法[J]. 计算机科学, 2008, 35(12): 214-215.

(上接第1500页)

函数 SHA-1, 选用长度为 240 位的私钥, 对比 ECDSA 多重数字签名算法进行测试得到表 1 测试结果。从表 1 可以看出, 不但本算法安全性高, 而且运算效率也高, 测试结果与分析一致。

表1 算法效率

| 过程 | 有序签名者 | 广播签名者 | ECDSA |
|------|-------|-------|-------|
| 公钥生成 | 78 | 78 | 78 |
| 签名 | 47 | 47 | 78 |
| 验证 | 78 | 78 | 94 |

4 结语

针对混合结构的归一化数字签名算法不仅能实现单个签名的功能, 确保签名顺序, 而且能够保证每个执行者的签名和验证的过程与单个数字签名和验证相当。本算法用于解决有序签名中包含广播签名团体的混合结构的签名问题, 通过在实验室搭建的环境进行测试, 运行结果证明了该方案的正确性。

参考文献:

- [1] HARN L, LIN C Y, WU T C. Structured multisignature algorithms [J]. IEEE Proceedings: Computers and Digital Techniques, 2004, 151(3): 231-234.
- [2] JOHNSON D, MENEZES A, VANSTONE S, et al. The Elliptic Curve Digital Signature Algorithm (ECDSA) [EB/OL]. [2008-09-18]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.38.8014>.
- [3] 陈相琳. 数字签名技术及算法的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2007: 28-38.
- [4] 王晓峰, 张璟, 王尚平. 多重数字签名方案及其安全性证明[J]. 计算机学报, 2008, 31(1): 176-182.
- [5] 朱南希, 李志斌. 一种改进的有序与广播方式相结合的结构化多重签名[J]. 计算机应用, 2007, 27(1): 86-91.
- [6] 刘培, 藤玲莹, 余望, 等. 椭圆曲线密码体制的安全性分析[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(16): 2943-2945.