

结合高维空间几何计算的图像阴影消除新方法

朱世交^{1,2}, 张南华^{1,2}

(1. 同济大学计算机科学与工程系, 上海 200092; 2. 同济大学半导体与信息技术研究所, 上海 200092)

摘要: 提出了一种结合高维空间几何计算的图像消影方法, 通过一组光滑滤波核与原始图像作用, 生成一幅新的特征图像点, 将此 2 个图像映射成为高维空间中的 2 个点, 测算空间中点与特征图像向量的欧式距离, 获得消除阴影后的最终图像。实验表明, 即使对于不同种类图像, 该方法也可以获得很好的阴影增强效果。

关键词: 高维空间几何计算; 图像消影; 图像增强

New Method of Image Shadows Elimination Combining High Dimension Geometry Calculation

ZHU Shijiao^{1,2}, ZHANG Nanhua^{1,2}

(1. Department of Computer Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092;

2. Institute of Semiconductors & Information Technology, Tongji University, Shanghai 200092)

【Abstract】 This paper presents a new method for eliminating shadowed digital image combining high-dimension geometry calculation. In order to calculate a new image based on original one, it gets the new image through the way of convolution original image with a set of smoothing filter kernels, and then calculates the distance in Euclidean space and gets the last image point. Experimental results have shown there are better effects for shadowed image even for different category pictures.

【Key words】 High-dimension space geometry; Shadows elimination; Image enhancement

在进行图像识别的过程中, 图像的视觉效果往往会受到光照的干扰, 光照阴影降低了图像阴影处的亮度和对比度, 增加了计算机视觉识别方法如图像分割、目标定位、跟踪的难度, 因此, 有必要研究简单有效的方法对图像阴影进行补偿和消除。

近几年对这一方面的研究逐渐得到重视, Jobson 等人提出了多尺度 Retinex 方法^[1], Finlayson 等人用彩色不变量来进行阴影检测、阴影消除^[2], Amnon 等人提出了自商图像的方法来解决图像阴影问题^[3]。Funt 等人使用 Retinex 方法对黑白图像进行了增强取得和很好的效果^[4]。但这些图像处理方法都是传统的代数方法, 本文依据王守觉院士提出的高维空间几何计算原理^[5], 把待处理的图像看作高维空间的点, 从图像在高维空间点运算入手, 通过简单的空间几何体运算方法, 提出了一种图像阴影消除新的计算方法模型。使用本文方法对不同种类和环境下的图像进行了测试, 试验结果表明, 该方法能够很好地消除图像阴影区域, 且时间计算复杂度可以控制在 $O(n \log_2 n)$ 范围之内, 具有很好的鲁棒性和速度快等优点。

1 模型算法与原理分析

图像通常使用阵列来表示, 设灰度数字化的图像为 $[X_{i,j}]$ (其中 i, j 表示图像元素的下标), $f(x, y)$ 表示表示一幅 $M \times N$ ($0 < x < M, 0 < y < N$) 的图片, 基本模型是把图片映射为 $M \times N$ 维空间中的一个点, 为了获得期望中阴影消除后的更好图像, 根据原图像点特征来获得相应的轨迹特征, 即空间中参考图像点, 通过轨迹特征获得新图像。

基于 Retinex 方法的光照反射模型^[3], 图像的明暗程度取

决于图像表面的反射能力, 为了获得图像表面的反射系数, 此处使用光滑核函数作为光线照射模拟, 把卷积后的结果作为新的图像, 即高维空间中的新的图像点, 为了模拟多反射和漫反射情况, 采用不同的光滑核 h 作用原图像, 实施 $f * h$ 操作, 从而获得在不同模拟光照条件下的图像特性点, 此时在不同核作用下的生成图像反射特征点集超平面, 通过迭代运算获得的最能反映图像反射特征的 f_n 图像点。由文献[5]可知, 同类样本在高维空间具类似的聚集特征, 然后计算原图像在图像反射特征情况下的相近图像点, 由空间几何知识可知, 点到向量的最短距离为垂线, 因此, 计算原图像与图像反射特征向量 $\overline{Of_n}$ 的垂足点位置, 此点也最能反映原图像内容的图像。整个图像点在空间的变化如图 1 示例。

基于上述考虑, 基本处理步骤如下:

(1) 光滑核函数的滤波操作。

选取连续的平滑核函数 h_i , 其中, $i = p, p+1, \dots, q$, 表示截至频率, 然后对原图像进行卷积操作, 此处定义一组操作, 计算方法如下:

$$\begin{cases} f = f_0 \\ f_{i+1} = f_i \times (1 - \delta) + \delta \times [\log(f_0 + 1) - \log(f_i * h_{i+p} + 1)] \\ \delta = 1 / (1 + \exp(-i)) \\ i = 0, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

式 (1) 描述了新图像 f_{i+1} 的生成过程, 其中, 式 $\log(f_0 + 1) - \log(f_i * h_{i+p} + 1)$ 定义为当前图像 f_i 的反射能力,

作者简介: 朱世交(1980 -), 男, 博士生, 主研方向: 仿生模式识别的原理及应用; 张南华, 博士生

收稿日期: 2006-07-20 **E-mail:** mediate@163.com

δ 定义为反射能力贡献系数；通过式(1)算法过滤之后，得到偏离原图像的高维空间的一个新的图像点 f' 。因为卷积运算能采用快速FFT操作，同时 n 的运算次数比较少(通常 $n < 10$)，所以此步骤时间复杂度主要集中在滤波过程中，约为 $O(n \log_2 n)$ 。

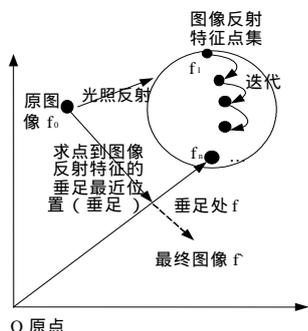


图1 原始图像到最终图像的空间变化示意图

(2)计算超多面体中原图到新图的垂足点。

通过步骤(1)得到的新图像即为高维空间内的新的数据点，此时 f, f', O 构成一个超平面，把 f' 与 O 连接起来，此时构成向量 $\overrightarrow{f'O}$ ，在高维空间内计算以原图像 f 为一点到新图像 f' 点构成的向量 $\overrightarrow{f'O}$ 的垂足，此计算方法使用欧式空间的距离定义 $d(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m x_i y_i}$ ，设 X, Y 为 m 维空间内的点，点到空间向量的距离计算方法如图2描述。

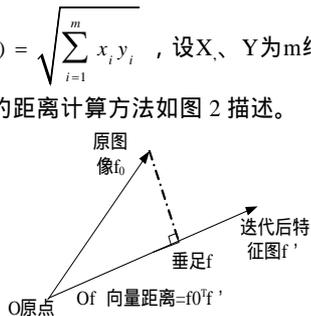


图2 空间向量的距离计算关系

具体计算步骤如下：

- 1)在欧式空间里计算 f_0 到 $\overrightarrow{f'O}$ 的距离 $D(Of) = d(f_0, f') / (d(O, f')^2)$ ；
- 2)计算 Of 向量距离 $D(Of') = d(O, f')$ ；
- 3)计算距离比例系数 $coef = D(Of) / D(Of')^2$ ；
- 4)计算 f 的向量， $f = (f' - O) * coef + O$ 。

此时的垂足符号定义为 f ， f 点对应的图像较原始图像已有所改善，以 $(f - f_0) > 0$ 为原图像增量的判别准则，以下继续对阴影和光亮点进行识别和增强。

(3)寻找原图像上阴影处的位置。

为了进一步增强图像阴影亮度，需要对图像中的阴影进行标记^[6]。在图像中与当前位置点 $f(p, q)$ 相连接的部分有8个点，通过求取协方差来获得相关的信息属性，一幅图像特定位置点的8个位置如表1所示，定义以下一组操作：

$$\begin{cases} \bar{m} = 1/9 \times \sum_{x=p-1}^{p+1} \sum_{y=q-1}^{q+1} f(x, y) \\ CONV(x, y) = \sqrt{\sum_{x=p-1}^{p+1} \sum_{y=q-1}^{q+1} (f(x, y) - \bar{m})^2} \end{cases} \quad (2)$$

表1 特定位置点

p-1,q-1	p-1,q	p-1,q+1
p,q-1	p,q	p,q+1
p,q+1	p+1,q	p+1,q

原始图像通过式(2)运算，获得图像标记的CONV数，当 $f(x, y) < T_1$ and $CONV(x, y) < T_2$ (T_1, T_2 为定义的阈值)，则此时的原图像 (x, y) 处被认定为阴影图像区域，用shallowmap标记，当阴影区域时shallowmap (x, y) 被置0，具体判别如式(3)所示。

$$shallowmap(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) < T_1 \text{ and } CONV(x, y) < T_2 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

(4)进一步增强图像阴影效果。

对于图像，其灰度编码范围从0~255，调整视觉亮度的基本方法就是有条件地增大原有图片上的灰度，通过步骤(2)、步骤(3)，已经获得相应的增强图片和图片阴影标记shallowmap，继续增强图像的计算算法如下：

- 1)初始 $x=1, y=1$ ；
- 2)继续下一组 x, y ；
- 3)当 $shallowmap(x, y) = 0$ 时， $f(x, y) = \alpha \times |f(x, y) - f(x, y)|$ ； $0 \leq \alpha \leq 1$ 。
- 4)判别 x, y 是否行列结束；是则结束运算，否则转到2)。

通过以上步骤，进一步增强高维空间中的垂足处含阴影的图像，获得人眼视觉特征更好的效果图像。

2 试验与结果分析

为了验证算法的效果，同时也为了验证算法的稳定性，本文采用了一些影视作品中的不太清晰的模糊图像为测试用例(截取的影像为RMVB格式，图片本身效果不理想)。

测试中分别采用了大量的不同类型图像，包括电影中的模糊图像、自然景物图像、Yale人脸图像库等，如图3所示。为了测试的有效性，这些测试用例在上述相同运算参数下进行的($T_1=128, T_2=64, \alpha=0.9$)。

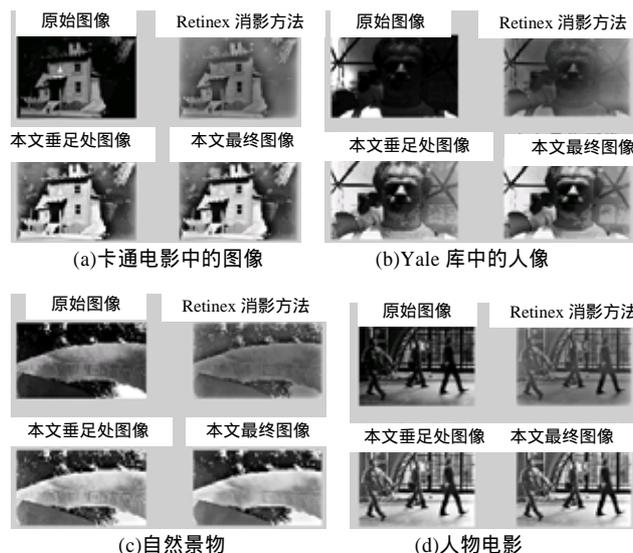


图3 不同类别的测试用例图示

对于图像本身质量很差、不同类别的图像，分别采用基本Retinex方法^[1]和本文方法进行了比较(其中包括空间垂足处和最终图像)，处理后的最终图像无论在图像的整体还是细

节成分上都有明显的改善,而且这种改善是依据于原始图像的,从而保有了视觉主观感受上的提高,同时算法对于不同种类和复杂内容的图片都有作用,算法实现复杂度不高(大致为 $O(n\log_2 n)$),适当调整基本可以满足实时性要求。

本文使用的是高斯平滑进行操作的,通过大量图片实验测试,滤波次数与输出图片信噪声比变化关系如图4所示,其中,均方误差(MSE)、信噪比(PNSR)计算方法如下(M , N 为图像矩阵的行列数):

$$MSE = (\text{sum}(\text{sum}(\text{原始图像} - \text{重建图像})^2)) / (M \times N) \cdot 1/2$$

$$PNSR(\text{信噪比}) = 20 \times \log_{10}(255/MSE)$$

视觉效果提升百分比(visual effect enhance percent, VEEP)的计算方法是对已经在垂足处图像 f 和最后图片 f' 而言的,计算方法: $VEEP = (PNSR(f') - PNSR(f)) / PNSR(f) \times 100\%$ 。

为了能在图形上显示,加入一个基数,新的 $VEEP = \text{base} + VEEP$ 。

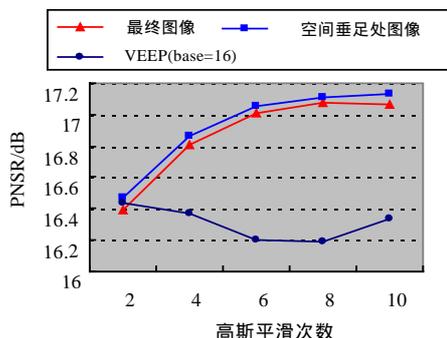


图4 高斯平滑次数与输出图像PNSR改善的变化关系 ($T_1=128, T_2=64, \alpha=0.9$)

由图4可以看出在最后修改继续增强后的图片与垂足处的图像信噪比变小了,因为在最后一步进行图片阴影处增强是有条件的,且更新的值比较小,而这些与图片本身的阴影程度和垂足后的阴影增强的量有关,同时也间接说明了客观

信噪比高,图像视觉感受质量未必就高,还要考虑到人眼的主观视觉特征。

另外,使用迭代核平滑的次数到一定数量后,若再增加平滑次数,则对信噪比的贡献已经不大,这也与实验中选取的加权系数 δ 算法有关。

3 结论

本文提出的图像阴影区域增强的方法,其计算复杂度低、稳定,便于实施和应用,相对一般的空域和频域的方法,对于不同类别的图像,增强的效果也比较明显。当然试验效果也有待进一步完善,例如可以尝试使用能更好保持图像边缘结构特性的核方法(例如,各向异性滤波方法)。下一步要解决的问题是如何把图像特征与仿生模式识别的高维空间理论^[5]结合在一起提高识别率。

参考文献

- 1 Jobson D J, Rahman Z, Woodell G A. Properties and Performance of a Center/Surround Retinex[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(3): 451-462.
- 2 Finlayson D, Hordley S D, Drew M S. Removing Shadows from Images Using Retinex[C]//Proceedings of IS&T/SID the 10th Color Imaging Conference: Color Science, Systems and Applications. 2002: 73-79.
- 3 Shashan A, Riklin-Raviv T. The Quotient Image: Class-based Re-rendering and Recognition with Varying Illuminations[J]. Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(2): 129-139.
- 4 B Funt, K Barnard. Luminance Based Multi Scale Retinex[C]//Proceedings of AIC Color'97, Kyoto, Japan. 1997: 330-333.
- 5 王守觉, 王柏南. 神经网络的多维空间几何分析及其理论[J]. 电子学报, 2002, 31(1): 1-4.
- 6 王军利, 王树根. 一种基于RGB空间彩色图像的阴影检测方法[J]. 信息技术, 2002, 26(12): 7-9.

(上接第192页)

3 结论

RSA 最常采用的快速实现算法是使用中国剩余定理和 Montgomery 模指数算法。虽然它们增加了计时攻击的难度,但由于 Montgomery 模指数算法中存在额外约简,因此仍可能对 RSA 快速实现进行计时攻击。为了抵御这种攻击,必须对 Montgomery 约简算法进行改进,比如对于所有不同的输入,都固定进行额外约简操作,随后将无用的数据抛弃。

参考文献

- 1 Quisquater J J, Samyde D. Side Channel Cryptanalysis[C]//Proc. of Southeast European Cooperative Initiative. 2002: 179-184.
- 2 Kocher P. Timing Attacks on Implementations of Diffie-Hellman,

- RSA, DSS, and Other Systems[C]//Proc. of Advances in Cryptology-CRYPTO'96. Berlin: Springer, 1996, 1109: 104-113.
- 3 Dhem J F, Koeune F. A Practical Implementation of the Timing Attack[C]//Proc. of CARDIS'98. Berlin: Springer, 1998.
- 4 Menezes A J, Oorschot P C, Vanstone S A. 应用密码学手册[M]. 胡磊, 王鹏, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- 5 Montgomery P. Modular Multiplication without Trial Division[J]. Mathematics of Computation, 1985, 44(170): 519-521.
- 6 Schindler W. A Timing Attack against RSA with the Chinese Remainder Theorem[C]//Proc. of Cryptographic Hardware and Embedded Systems(CHES'00). Berlin: Springer, 2000: 109-124.