

一种快速实用的灰度校正算法

高建贞 任明武 杨静宇

(南京理工大学计算机科学与工程模式识别与图象处理教研室, 南京 210094)

摘要 介绍了光学成像系统灰度衰减模型,提出了一种快速的灰度不均图象校正方法.该方法不需要其他的外部参数,也不需要模型,仅通过对灰度不均的图象自身进行运算来加以校正,它基于通过原图象减去背景图象来消除不均的策略,根据图象特性,直接从原图象中取出属于背景上的点,再通过插值或曲面拟合等方法得到整个背景图象.该方法不但保持了原图象上的目标,而且效果明显,简单快速,并具有很好的通用性.高速公路路面病害检测实验结果验证了该方法的有效性.

关键词 光通量 灰度校正 双线性插值

中图法分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)06-0548-05

A Practical and Fast Method for Non-uniform Illumination Correction

GAO Jian-zhen, REN Ming-wu, YANG Jing-yu

(Department of Computer Science Image Processing Lab, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

Abstract The degenerate illumination model for the optics camera system is introduced, and a fast method for gray-level correction is presented. It needn't additional parameters and mathematic model, only performs on the image. It corrects degenerate illumination based on the strategy of original image subtraction from background image. Generally say, the method includes three steps: first, background subset extraction. The image is divided into blocks, then according to the image characteristic, one point is extracted as the background point for each block; second, the whole background building. The whole background image can be got by interpolation from the background subset extracted in previous step; then the last step is correction using subtract the background image from original image. This method can not only keep the object of original image, but also be efficacious, fast and simple. It has proved good result from the crack detection of surface of highway.

Keywords Luminous flux, Illumination correction, Bilinear interpolation

0 引言

图象在形成、传输和记录的过程中,会由于成像系统、传输介质和记录设备的不完善,使图象质量下降,形成退化图象,造成比较差的视觉效果和计算机处理上的困难.使图象质量下降的原因很多,有的是因为成像系统本身所致,比如摄像机的靶面上每个像素,因其在靶面上的位置不同而对光的响应不一致;有的是因为环境本身光照不均(比如室内有灯的地方较亮)和成像特点(如目标距离摄像机的远近不同,近亮远暗)所致;有时往往是上述3个方面的混合影响

所致,因此一般难以用一个显式的数学公式来描述.对由CCD摄像机正面拍摄的图象而言,主要是由于成像系统本身的特点,以及成像时的光照不均,使得进光量不同而造成亮度不均,形成中间亮、周围暗的效果,这给以后的处理和分析,比如图象分割带来很大的困难.因此需要对退化的图象加以校正,消除其影响,尽可能逼真地恢复其本来图象.

1 光场及成像系统^[1]

成像除了与本身的几何光学成像系统有关外,还与进入成像系统的物理辐射能量有关,进入成像

系统的能量大,相应地,成像后的图象点就亮。如图1所示,点光源是发光体最简单的模型。

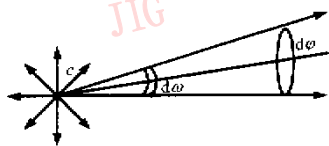


图1 点光源的辐射模型

光线由光源 c 向四周发散,其能量也在空间内沿着光线方向向四周辐射。若在某一方向上划出一个很小的立体角 $d\omega$,并在此立体角限定的范围内,点光源发出的光通量为 $d\varphi$,则

$$H = \frac{d\varphi}{d\omega} \quad (1)$$

称为点光源在该方向上的发光强度,即发光强度 H 等于单位立体角内所发出的光通量。进入立体角 α 内的光通量为

$$\varphi = \int_{\alpha} H d\omega \quad (2)$$

设点光源各向均匀发光,利用球坐标形式可得在立体角 α 内的光通量

$$\varphi = \int_0^{2\pi} \int_0^{\alpha} H_0 d\omega \sin\psi d\psi = 4\pi H_0 \sin^2 \frac{\alpha}{4} \quad (3)$$

若点光源位于光学系统的光轴上,上式即为进入光学系统的光通量。

一个具有一定面积的光源,若在光源表面划出一元面积 dS ,那么在与法线 N 成 β 角的方向上,由元面积 dS 和受照小面积所限定的范围内,从光源元面积所发出的光通量 $d\varphi$ 应与立体角 $d\omega$ 和元面积在光束轴线垂直的平面上的投影 $dS_N = dS \cdot \cos\beta$ 成比例,用 L_β 表示其系数,则有

$$d\varphi = L_\beta \cdot \cos\beta \cdot dS \cdot d\omega \quad (4)$$

比例系数 L_β 是光源在与法线成 β 角方向上的亮度。设光源的光亮度不随方向而异,即 $L_\beta = L_N$ 为常数,将式(1)代入式(4),可得

$$H_\beta = H_N \cdot \cos\beta \quad (5)$$

这就是著名的广泛被采用的朗伯光源(余弦辐射体),其在各个方向上的发光强度,随方向角 β 的余弦而变化。当光照到不透明物体表面上时,部分被反射,部分被吸收,粗糙的物体表面往往将反射光向各个方向反射,这种一般的漫反射光都具有近似的余弦辐射特性。

将式(5)代入式(3)可得朗伯光源体辐射元 dS

进入光学成像系统的光通量

$$\varphi = \pi L \cdot \sin^2 \alpha \cdot dS \quad (6)$$

α 为 dS 与光轴的夹角, L 为 dS 的光亮度。

当物体由光学系统成像时,物面上的点到成像镜面的立体角 α 与该点到光轴的距离 d 成反比关系,即当 d 增大时, α 减小。由此可见,物面上的点进入成像系统的光通量会随着到光轴距离的增加而减小,也就是说,物面上两个发光亮度一样的点,其进入光学系统的光通量会由于距光轴的远近不同而不同,近光轴大,远光轴小,其必然会造成相应成像点的灰度不同。

再根据像面上轴外像点与轴上像点孔径角的关系,可得成像后像面上轴外点与轴上点的能量关系,即轴外点的像较轴上点的像的光照度近似满足如下关系

$$E_\theta = E \cos^4 \theta \quad (7)$$

轴外像点的光照度会随现场角余弦的四次方而降低,其中 E_θ 为与光轴成 θ 角的象点的光照度, E 为光轴上象点的光照度。

2 校正方法

根据与光轴成 θ 角的像素上的光照度按 $\cos^4 \theta$ 的比例减少这一规律,可以简单地对其乘以 $1/\cos^4 \theta$ 进行校正^[3]。然而该方法需要知道镜头的像距等参数,仅在理想图象退化模型下适用。实际情况有时由于环境光照和摄像机架设角度等因素的影响,灰度衰减并不是完全从图象中心开始,而是产生了一定的漂移,这使得该方法难以适用。文献[3]提出一种局部线性增强的方法,通过图象分块,求出块内像素灰度的最大值与最小值,然后进行插值,求出各点的校正系数,此方法显然受噪声影响较大。基于熵的方法^[4,5]需做大量计算,不便于实时连续处理。

假设:在 t_0 时刻,得到没有目标的背景图象 I_0 ,在 t_1 时刻,得到有目标的图象 I_1 ,若 $t_1 - t_0$ 很小时,对目标图象 ΔI ,近似可有 $\Delta I = I_1 - I_0$,即消除背景的图象,从而 ΔI 中灰度近似均匀。对图象分割而言, ΔI 中消除了照度不均的影响,而且突出了目标。然而在有些应用中,需要的是灰度校正后的图象 I'_1 ,包括目标和背景,此时可以用乘系数的方法得到,即

$$I'_1(x, y) = I_1(x, y) \times \frac{I_{\max}}{I_0(x, y)} \quad (8)$$

其中, $I_{\max}$ 是 I_0 中的灰度最大值, $I_1(x, y)$ 是 I_1 中像素 (x, y) 的灰度值, $I'_1(x, y)$ 是校正后像素 (x, y) 的

灰度值, $I_0(x, y)$ 是中像素 (x, y) 的灰度值.

对以上假设分析可知, 关键问题在于如何得到背景图象 I_0 , 然而在实际应用中, 目标的背景图象 I_0 是很难直接得到的, 有时即使得到, 时间也可能相距甚远, 这时就必须考虑其他方法. 毫无疑问, 图象分割就是要区分目标和背景, 设 $P(x, y)$ 为图象 I_1 在 (x, y) 处的像素, 则在图象 I_1 中, 肯定包含了背景像素 $P(x, y) \in I_0$, 假设已经知道 I_0 , 则有

$$\Phi = I_1 \cap I_0, \Phi \neq \text{NULL} \quad (9)$$

即 I_1 中能取出部分像素 $P(x, y)$ (背景像素), 使得 $P(x, y) \in \Phi$, 即 $P(x, y) \in I_0$, 所以, 根据一定的二次曲面拟合或插值可以由 Φ 得到像素 $P(x, y) \notin \Phi$ 的灰度值, 即

$$f(\Phi) \rightarrow I'_1, \text{ 且 } I'_0 \approx I_0 \quad (10)$$

从而用下列运算可得到背景灰度近似均匀, 且包含目标的图象

$$\Delta I = I_1 - I'_0 \quad (11)$$

或

$$I'_1(x, y) = I_1(x, y) \times \frac{I'_{\max}}{I'_0(x, y)} \quad (12)$$

其中, $I'_{\max}$ 是 I'_0 中的灰度最大值.

从以上的分析, 可得出校正算法的步骤为

- (1) 由原图象 I_1 求取背景子集 Φ .
- (2) 由 Φ 作插值计算得到背景图象 I'_0 .
- (3) 使用式(11)或式(12)对原图象各像素进行校正.

2.1 求取 Φ

从 I_1 中求取 Φ 是校正过程的关键问题, 这要根据目标和背景的特征来进行. 特征有很多, 一般主要使用灰度特征, 因为目标和背景的灰度显然是有差异的. 求取 Φ 时, 一般遵循下述假定: 光照不均在整个图象中表现明显, 而在一个图象的局部可认为是均匀的; 图象背景或目标至少有一个均匀或近似均匀, 且当二者都不均匀时, 将无法或很难抽取出反映图象灰度衰减趋势的 Φ 集. 首先对图象分块, 然后再对每一块取一背景像素作为当前块的值归入到 Φ 中, 可得到 I_1 的背景子集 Φ . 例如设原图象为 256×256 , 以 8×8 分块, 每块取一个背景点, 则共得到 32×32 个点属于 Φ . 分块大小和每块中背景点的选取应根据不同的图象而使用不同的方法. 下面是几种情况下较好的求取策略.

- (1) 若背景分布均匀, 背景像素暗, 而目标像素亮时, 比如在黑板上写白字. 根据图象目标与背景灰

度分布情况, 将图象分为若干个 $N \times N$ 大小的块, 每块不能全部为目标像素, 但可以全部为背景像素. 则根据约定, 在本块的 $N \times N$ 个像素中, 取出一定比例的 M 个像素 $P(x_i, y_i)$, 使得它们在这 $N \times N$ 个像素中灰度最小的, 则可以认为 M 个像素都是背景像素, 显然 $P(x_i, y_i) \in \Phi$, 即得到了 Φ . 在实际应用中, 由于受噪声等因素的影响, 单个像素的值可能不可靠, 根据平均去噪理论, 若能使用 M 个像素的平均值, 且将该值作为一像素 $P(x, y)$ 存入 Φ 中, 则信噪比提高 M 倍^[6], 所以可以在每块中选取 M 个像素取其灰度平均值, 即 $\bar{I}(P) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I(P_i)$ 归入到 Φ 中, $I(P_i)$ 为像素 $P(x_i, y_i)$ 的灰度值.

- (2) 当背景不均匀, 而目标均匀时, 则改为取目标像素, 但要使目标像素分布散乱, 其做法跟上面情况刚好相反.

- (3) 当多类目标存在时, 比如路面存在沥青, 裂缝和石子, 沥青显然是分布最广泛的, 其灰度值高于裂缝, 低于石子, 则选取沥青像素 $P(x, y)$ 作为背景归到 Φ 中, 即在每一块中选取沥青像素归到 Φ . 根据它们 3 者的关系, 在每一块中去掉亮度最高的 25%, 去掉亮度最低的 25%, 即得中间灰度的 50% 的像素的平均值 (即沥青).

2.2 双线性插值

大家知道, 灰度的变化反映在图象中是渐渐变化的, 若将图象看作一函数, 设 $F = P(x, y)$, 比较平滑的 F 函数能得到平滑的或近似平滑的曲面. 得到 Φ 后, 对 Φ 插值至原图大小, 可得到灰度衰减的近似变化趋势图. 至双线性插值^[3] (或称一阶插值) 对 4 个相邻的像素进行插值, 所产生的表面是连续的, 可获得比较好的效果. 如图 2 所示, 其由双线性方程

$$f(x, y) = ax + by + cxy + d \quad (13)$$

来定义的一个双曲抛物面与 4 个已知点拟合. 设 4

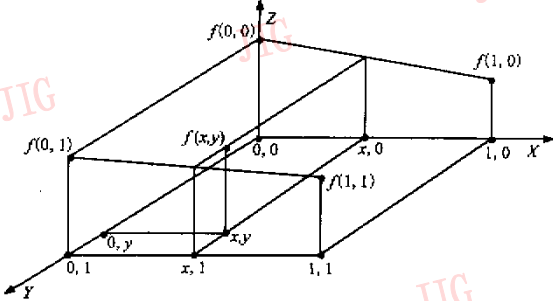


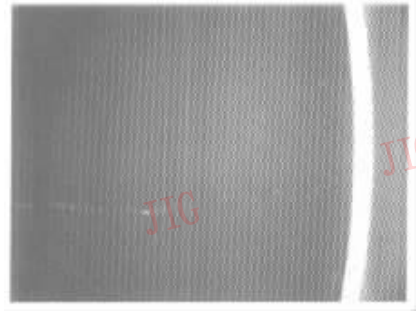
图 2 双线性插值

个已知点为: $f(0,0),f(0,1),f(1,0),f(1,1)$,则其他各点可由下式得出

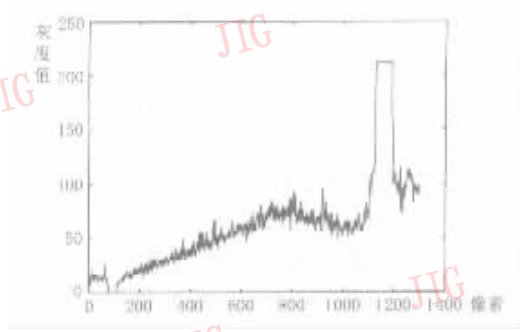
$$f(x,y)=[f(1,0)-f(0,0)]x+[f(0,1)-f(0,0)]y+[f(1,1)+f(0,0)-f(0,1)-f(1,0)]xy+f(0,0) \tag{14}$$

3 实验结果

为了验证本方法的有效性,用实际拍摄的有严重灰度不均的路面图象进行了实验. 图3(a)是由广角



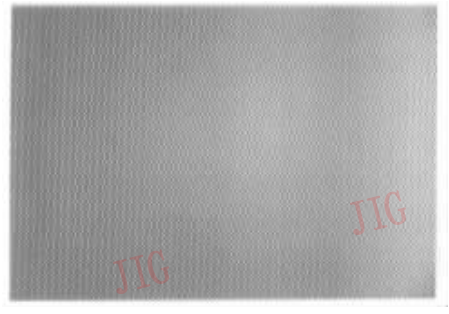
(a) 原路面图象(1 300×1 030)



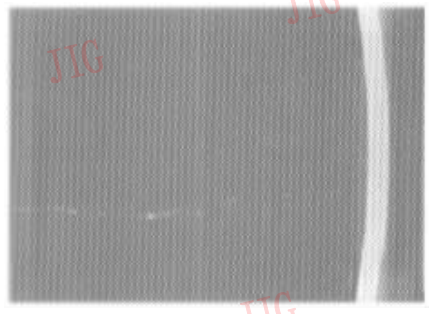
(b) 原图第 515 行数据剖面图



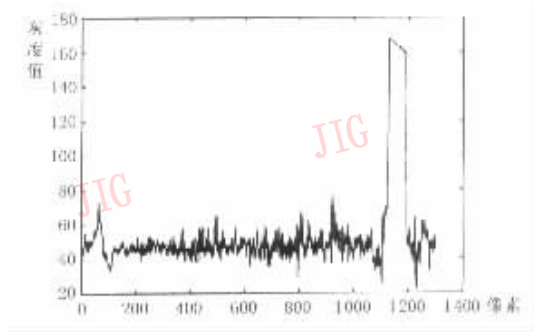
(c) 由 32×32 分块得到的 Φ



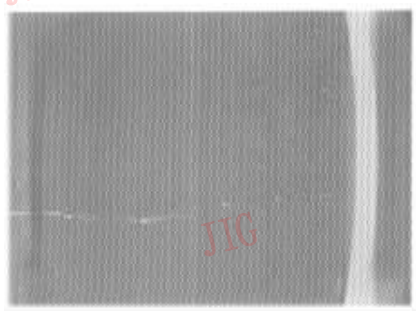
(d) 由 Φ 用双线性插值的结果



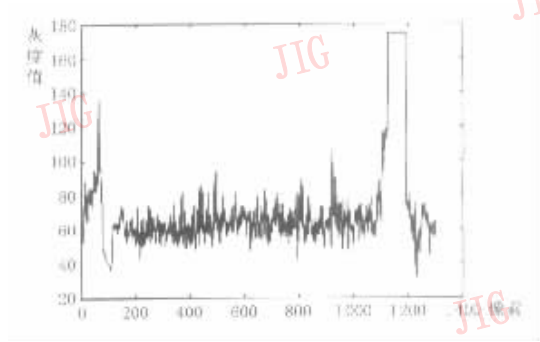
(e) 式(11)校正结果



(f) 图(e)第 515 行数据剖面图



(g) 式(12)校正结果



(h) 图(g)第 515 行数据剖面图

图 3 实验结果

CCD 摄像机(分辨率 $1\,300 \times 1\,030$)在离地面 2m 高处所拍摄下来的路面图象,其中有一条白色的车道路标和一条细长的裂缝.由于视场角大于 45° ,图象的照度极不均,使得中间部分亮,而周围部分暗.由于 CCD 摄像机倾斜,而不完全垂直于路面以及太阳光射等原因,使得衰减中心产生漂移,因此不是严格地从图象中心开始向四周衰减,这给以后用计算机处理分析路面状况带来困难.考虑到路面上的灰度分布特征,一般所求的目标是裂缝、白线,而裂缝的灰度值要比其周围沥青石子的灰度值小,相反白线灰度值很大,另外裂缝有时受到泛浆的影响,呈现白色的特征,其灰度值也偏大,所以在求取 Φ 背景集时按一定的比例去掉了灰度值较低的和较高的部分,仅留下中间一部分.图 3(c)是所得到的 Φ 背景集,以图象形式给出.图 3(d)是由求取的 Φ 集用双线性插值得到的拟合路面背景,由此图可见,求取 Φ 时尽可能地去掉了想要的目标集,而仅留下了背景集.图 3(e)与图 3(g)是分别用式(11)和式(12)校正后的最终结果.图 3(b)、图 3(f)及图 3(h)分别是图 3(a)、图 3(e)和图 3(g)第 HEIGHT/2(515)行数据的剖面图,其横坐标为像素位置,纵坐标为其灰度值.由图 3(a)及图 3(b)可看出,其衰减并不是从中心开始,而是从靠近中心的某一区域开始.比较图 3(a)与图 3(e),图 3(b)与图 3(f),很容易看出图象的灰度分布得到了很大的改善,而目标也得到了保持.再据此结果作另外的处理(比如寻找裂缝)也取得了令人满意的结果.

3 结 论

针对 CCD 成像时存在的中间亮四周暗的降质现象,本文提出了一种实用的快速灰度校正算法.研究表明,其不依赖于具体的某个退化模型,不需要其他的外部参数,而仅通过对不均的图象运算来校正.在使用式(12)校正时,有时物体边界会出现模糊,如图 3(g)所示,这是由于初期背景集选取不当

所致.假如能够进一步提高背景集的选取准确度,将能取得更好的效果.

本文方法同样适合于环境照度不均时的灰度校正,也适合于环境照度不均和摄像机及图象系统本身同时存在时的灰度校正,因而具有较好的通用性.

参 考 文 献

- 1 王子余著.几何光学和光学设计[M].杭州:浙江大学出版社,1989.
- 2 田村秀行等著,赫荣威译.计算机图象处理技术[M].北京:北京师范大学出版社,1986.
- 3 James D F, Robert A S. Spatially variant contrast enhancement using local ranger modification[J]. SPIE, 1983, 22(3): 378~381.
- 4 田金文,柳斌,程伟.基于局部最大熵的辐射校正方法[J].中国图象图形学报,1999,4A(1):41~44.
- 5 王学良,黄廉卿.改进的局部最大熵图象恢复方法[J].中国图象图形学报,2000,5A(7):589~592.
- 6 Kenneth R Castleman 著,朱志刚等译.数字图象处理[M].北京:电子工业出版社,1998.



高建贞 1974 年生,博士研究生.主要研究方向为数字图象处理、计算机视觉、人工智能等.



任明武 1969 年生,2001 年获南京理工大学博士学位,现为南京理工大学计算机系讲师.主要研究方向为数字图象处理、计算机视觉、图象压缩与编码.



杨静宇 1941 年生,教授,博士生导师,现任南京理工大学信息学院院长.主要研究方向为人工智能、机器人等.