

精确校正图像的径向畸变和倾斜失真

刘堂友 董爱华

(东华大学信息科学与技术学院, 上海 200051)

摘要 对于用图像进行几何检测,由数码相机生成的图像存在一些固有缺点,如存在径向畸变、倾斜几何变形等。为此提出了一种可同时精确校正数码相机图像的径向畸变和倾斜失真的算法。该算法基于标准网格,首先分别建立倾斜变形模型和径向畸变模型,由此建立目标图像的倾斜变形和径向畸变的联合变形模型;然后用最小二乘法和最优化算法求根据联合失真模型求得标准网格的失真参数,利用该参数可校正同等条件下获得的目标图像;最后对实际图像进行了校正实验,获得了满意的校正结果,说明该算法能有效地同时精确校正图像的径向畸变和倾斜失真。

关键词 图像 径向畸变 倾斜失真 校正

中图法分类号: TP751.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)10-1935-04

Precisely Correct Radial and Oblique Distortion of Camera Image

LIU Tang-you, DONG Ai-hua

(College of Information Science and Technology, Donghua University, Shanghai 200051)

Abstract There are radial and oblique distortion in the digital images obtained using the digital camera (DC) in geometric measurement. In this paper, an algorithm to correct the oblique and the radial distortion of the digital image obtained by DC is proposed. Firstly, the oblique distortion model and the radial distortion model of the digital image are established respectively. The union distortion model of the objective image is then derived based on these two individual models. The algorithm to correct the union distortions model of the objective image is designed based on the Least Squared Methods and optimal algorithm, and the distortion parameters of the objective image are obtained from a standard gridding. These distortion parameters are then applied into correcting distortion of the objective image taken in the same condition. The experimental result shows the proposed algorithm could successfully correct the union distortion of the digital image.

Keywords image, radial distortion, oblique distortion, correction

1 引言

随着电脑越来越普及,电脑已成为当今社会办公的基本工具,许多纸质图纸、地图等需要输入电脑并矢量化,当前的主要方法是采用数字化仪,比较费时费力。随着电子技术的快速发展,数码相机所采用的 CCD (charge couple device) 的分辨率越来越高,已达千万像素,能够满足大多数图纸(如服装设计图)的自动矢量化需求。但相机存在一些固有缺点,如目标经镜头成像后通常会产生径向畸变^[1];相机光轴如果没有和目标垂直,即目标倾斜会产生

几何变形等,会产生较大误差,因此如果要用数码相机进行数字化,必须对数码相机图像进行几何校正。

对于镜头径向畸变的校正国内外已有较多的研究^[1-3],虽然 Wang^[4]、Lucchese^[5]等人提出了同时校正径向畸变和倾斜变形的的方法,但为了兼顾倾斜变形的校正,对至少需要用5次多项式的径向畸变校正只采用二项式,其校正图像在视觉上有较好的改善,如果用于图纸的矢量化精度上有所欠缺。本文使用标准网格利用在同条件下对标准网格和目标图纸进行拍摄获得图像,对标准网格图像建立倾斜失真模型和径向畸变模型采用最小二乘法^[6]和 Levenberg-Marquardt^[6,7]算法求得图像的变形参数,

基金项目:国家自然科学基金项目(40401041)

收稿日期:2007-07-16;改回日期:2007-08-01

第一作者简介:刘堂友(1969~),男,讲师。2002年于中国科学院上海技术物理研究所获博士学位。主要研究方向为遥感图像处理与模式识别。E-mail: liuty@dhru.edu.cn

再用该参数对实际图纸图像进行校正。

2 失真模型

2.1 倾斜失真模型

根据相机成像原理,一个不垂直于光轴的平面,经过镜头成的像还是一个不垂直于光轴的平面,但它只能在垂直于光轴的 CCD 或 CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) 上进行光电转换,因而造成了图像失真,如图 1 所示。

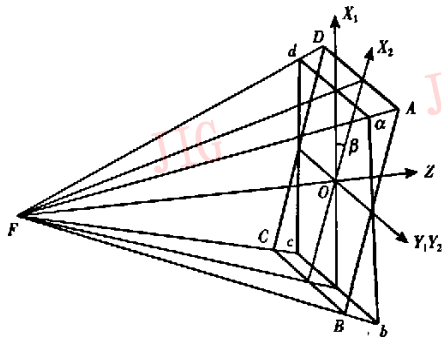


图 1 倾斜失真示意图

Fig. 1 Sketch of oblique distortion of image

对相机来说,物距远远大于像距,故一个小角度倾斜的正方形平面目标成像后形成的实像 $ABCD$ (设其坐标系为 $X_2O_2Y_2$) 基本上也是一个正方形,但只能在位于垂直于光轴 OZ 的平面 $X_1O_1Y_1$ 上形成四边形图像 $abcd$ (由于相机有一定的景深,图像 $abcd$ 仍然是清晰的)。由于四边形 $abcd$ 是正方形 $ABCD$ 关于点 F (镜头的光学中心) 在平面 $X_1O_1Y_1$ 上的中心投影,因而四边形 $abcd$ 已不是一个正方形。图像倾斜校正的目的是根据中心投影的原理把实际获得的位于 $X_1O_1Y_1$ 上的失真图像还原为 $X_2O_2Y_2$ 上的理想图像。

采用 X_1Y_1Z 作为工作坐标系。为此需要将理想像面坐标系的坐标转换成 X_1Y_1Z 坐标系的坐标。在图 1 中,由于坐标系 $X_2O_2Y_2$ 和 $X_1O_1Y_1$ 的原点是重合的,可假设坐标平面 $X_2O_2Y_2$ 通过先绕 X_1Y_1Z 坐标系的 X_1 轴旋转 α 角度,再绕 Y_1 旋转 β 角度回到 $X_1O_1Y_1$ 平面;另外在拍摄网格图像时,在对网格拍照时,标准网格图像的坐标不一定和坐标轴 OX_2, OY_2 平行,而是存在一个交角,设该交角为 γ ,网格图像的中心点 O_3 也不一定和 O_2 点重合,如图 2 所示,设 O_3 点在 $X_2O_2Y_2$ 坐标系中的坐标为 (x_0, y_0) ,如果假设相邻网格交点间

的距离为 l ,则在 $X_2O_2Y_2$ 坐标系中每一个方格交点的坐标 (x_3, y_3) 为 (al, bl) , a, b 为已知的整数。

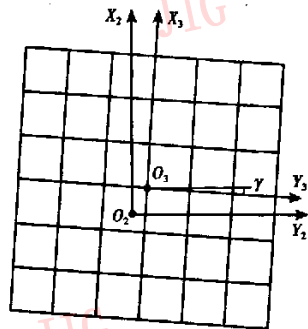


图 2 网格坐标系与图像坐标系不重合

Fig. 2 Coordinate systems of standard gridding don't overlap with that of image

根据上述分析可建立图像的倾斜失真模型,令 T_α, T_β 和 T_γ 分别为图像绕 X, Y 和 Z 轴的旋转矩阵, T_c 为坐标平移矩阵, V, V_3 为坐标向量,则 $X_3O_3Y_3$ 坐标系上的点在 X_1Y_1Z 坐标系中的坐标为

$$V = T_\beta T_\gamma T_c T_\alpha V_3 \quad (1)$$

平面 $X_3O_3Y_3$ 上的点关于点 F 在平面 $X_1O_1Y_1$ 上的投影实际上就是平面 $X_3O_3Y_3$ 上的点 (X, Y, Z) 与镜头中心 $F(0, 0, f)$ 点的连线与平面 $X_1O_1Y_1$ 的交点 $(x_1, y_1, 0)$, 根据简单的几何关系可求得:

$$\begin{cases} x_1 = \frac{fX}{f-Z} \\ y_1 = \frac{fY}{f-Z} \end{cases} \quad (2)$$

上式中的 f 为像方焦距。从上面分析可知,如果已知网格各交叉点在 $X_3O_3Y_3$ 坐标系中的坐标,并且知道 $\alpha, \beta, \gamma, x_0, y_0, l$ 这 6 个参数,就完全确定了失真后的各网格交叉点的坐标,即由已知的理想图像确定失真后的图像,建立了倾斜失真模型。

2.2 径向畸变模型

设计相机镜头在考虑校正几何畸变的同时也要考虑色差的校正,如果这两者都要校正得很理想,设计出来的镜头往往是一个复杂的光学系统,不但使设计难度加大,而且给制造工艺也带来一定的难度,并提高了光学系统的制造成本,在较为廉价的普通相机镜头中往往是难以实现的。在几何畸变和色差校正不可兼得的情况,首先是确保色差的校正^[8],因而大多数镜头都存在不同程度的径向几何畸变,特别是在广角端几何畸变较为严重,如果使用这种镜头的相

机拍出来的照片进行几何测量,就必须对图像进行几何校正。镜头的径向畸变分为桶形畸变和枕形畸变,桶形畸变使得图像向中心压缩,并且越边缘畸变得越厉害,如图3所示,而枕形畸变则刚好相反。

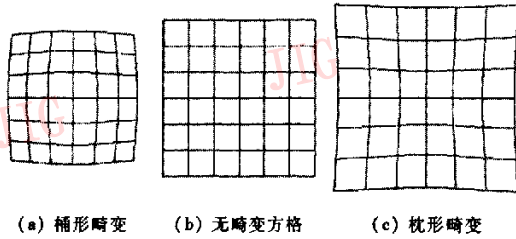


图3 方格图像的径向畸变

Fig. 3 Radial distortion of image of standard gridding

对于图像的径向畸变,通常采用多项式拟合算法。假设图像中的像素点理想的坐标为 (x_1, y_1) ,畸变后的坐标为 (x_0, y_0) ,则

$$r_0 = \sum_{i=1}^n k_i r_1^i \quad (3)$$

式中, $r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$, $r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}$, k_i 为多项式系数, n 一般取 5~7, 并且可只取奇数项。

由于径向畸变只跟像素点离图像中心的距离有关,因此在直角坐标系中

$$x_0 y_1 = y_0 x_1 \quad (4)$$

把式(4)代入式(3),得

$$\begin{cases} x_0 = x_1 \sum_{i=1}^n k_i r_1^{i-1} \\ y_0 = y_1 \sum_{i=1}^n k_i r_1^{i-1} \end{cases} \quad (5)$$

2.3 径向畸变和倾斜失真的联合模型

实际上径向畸变和倾斜失真是同时产生的,并不能分别对它们进行校正,因此对一幅图像进行校正,需建立径向畸变和倾斜失真的联合模型。对于径向畸变和倾斜失真,可假设平面 X_3OY_3 上的方格经中心投影在 X_1OY_1 上形成倾斜失真图像,该失真图像在 X_1OY_1 平面上产生径向畸变,形成既有径向畸变又有倾斜失真的图像,如图4(c)所示,倾斜失真和径向失真后各网格顶点的坐标为

$$\begin{cases} x_0 = \frac{fX}{f-Z} \sum_{i=1}^n k_i r_1^{i-1} \\ y_0 = \frac{fY}{f-Z} \sum_{i=1}^n k_i r_1^{i-1} \end{cases} \quad (6)$$

式中, $r_1 = \sqrt{f^2(X^2 + Y^2)/(f-Z)^2}$ 。

在倾斜失真和径向畸变的联合模型中,从 X_2OY_2 平面上的理想图像失真成像面上的实际图像,总共需要知道的参数为 $\alpha, \beta, \gamma, x_c, y_c, l$ 和 n 个 k_i , 共 $6+n$ 参数。

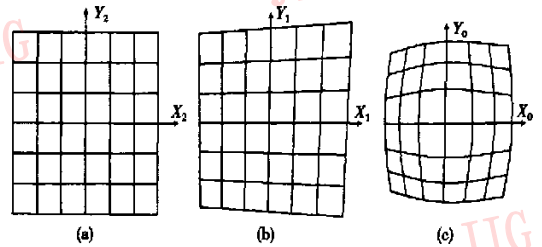


图4 径向畸变和倾斜失真的联合模型

Fig. 4 Union model of radial and oblique distortion

3 模型求解

对网格拍照时,由于相邻网格点间的距离是相等的,假设理想图像的各网格点在坐标系 X_3OY_3 上的坐标为 (al, bl) , 共 $m \times m = M$ 个网格点,而失真图像中的各网格点坐标可从图像中直接获得,因此各网格点的理想图像坐标与实际图像坐标一一对应,通过这些坐标对可以求出图像的各失真参数 $\alpha, \beta, \gamma, x_c, y_c, l$ 和 k_i 。利用最小二乘法,所有网格交点的位置残差平方和为

$$E = \sum_{j=0}^M \left(x_{1j} \sum_{i=1}^n k_i r_{1j}^{i-1} - x_{0j} \right)^2 + \sum_{j=0}^M \left(y_{1j} \sum_{i=1}^n k_i r_{1j}^{i-1} - y_{0j} \right)^2 \quad (7)$$

令 $\omega = [\omega_1 \ \omega_2 \ \dots \ \omega_m]^T = [\alpha, \beta, \gamma, x_c, y_c, l, k_1, k_2, \dots, k_n]^T$

可利用最优化方法进行迭代求出 $\alpha, \beta, \gamma, x_c, y_c, l$ 和 k_i 。一般来说最优化方法求解时需要设置参数的初始值,倾斜角 α, β, γ 在小角度(肉眼感觉倾角不明显即可视为小角度)的情况下可直接设为0;径向畸变多项式系数 k_i , 除 k_1 设为1外,其他全设为0;对于网格中心的偏移量 x_c, y_c 可采用所有网格点的坐标均值。

4 图像的校正

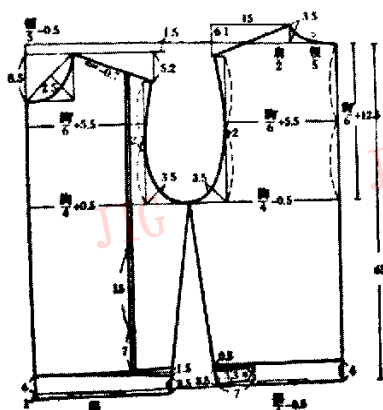
用网格图像获得图像的失真参数 $\alpha, \beta, \gamma, x_c, y_c, l$ 和 k_i 后,即可对在同等条件下拍摄的图像进行校正。可先建立一幅较大的空图像,假设该图像是理想像平面上的理想图像,然后将每个像素坐标按照失真模型求得该坐标在失真坐标系中的坐标 (x_0, y_0) , 由于求得的坐标 (x_0, y_0) 不是整数,可用 (x_0, y_0) 周围像素点坐标和像素值用插值的方法求

得 (x_0, y_0) 坐标的像素值,该像素值就是理想图像坐标上的像素值,求得所建图像的所有像素点像素值后即完成了对图像的校正。

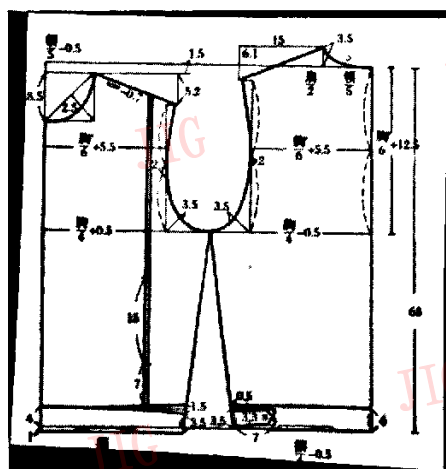
5 实验结果与分析

用 500 万像素的数码相机分别对网格和服装图

纸进行拍摄,焦距为 7.24mm,用数字图像处理方法获得网格各交点的坐标后,用 Levenberg-Marquardt 算法进行求解,算得待求参数 ω ,其中倾斜角 α 、 β 和 γ 角度分别为 -2.12° 、 -2.83° 和 -5.62° 。获得倾斜角 α 、 β 和 γ 以及径向畸变参数 k_i 后,对服装图像进行校正。校正前、后的图像如图 5 所示,可以看出失真图像得到了良好的校正。



(a) 校正前



(b) 校正后

图 5 失真图像和校正后的图像

Fig. 5 Distorted image and corrected image

6 结 论

提出了一种应用于数码相机图像倾斜失真和径向畸变的精确校正方法。该方法采用了标准网格样板,根据标准网格的变形参数校正同等条件下拍摄的图纸图像,将这种方法应用于实际存在畸变的图纸图像,获得了满意的校正结果,因而本校正方法是可行有效的。

参考文献 (References)

- 1 Nomura Y, Sagara M, Naruse H, *et al.* Simple calibration algorithm for high-distortion-lens camera[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(11): 1095 ~ 1099.
- 2 Christoph Palm, Annegret Pelkmann, Thomas Lehmann, *et al.* Distortion correction of videobased laryngoscopic images[A]. In: Proceedings of 3rd International Workshop[C], Aachen, Germany, 1998: 117 ~ 125.
- 3 Chen Dong-qing, Xie Hong-bo, Xu Zhi, *et al.* Study on correction of distortion in medical electronic endoscope image[J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2001, 2(1): 89 ~ 94. [陈冬青, 谢洪波, 徐智等. 医用电子内窥镜图像畸变校正方法的研究[J]. 中国生物医学工程学报, 2001, 2(1): 89 ~ 94.]
- 4 Wang X, Klette R, Rosenhahn B. Geometric and photometric correction of projected rectangular pictures[A]. In: Proceedings of International Conference on Image and Vision Computing (IVCNZ) [C], Dunedin, New Zealand, 2005: 223 ~ 228.
- 5 Luca Lucchese, Sanjit K Mitra. Correction of geometric lens distortion through image warping[A]. In: Proceedings of the 3rd International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis[C], Rome, Italy, 2003: 516 ~ 521.
- 6 Marquardt D W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters[J]. SIAM Journal on Applied Mathematics, 1963, 11: 431 ~ 441.
- 7 Gill P E, Murray W, Wright M H. Practical Optimization[M]. London: Academic Press, 1981: 136 ~ 137.
- 8 Born M, Wolf E. Principles of Optics[M]. Cambridge, England: Cambridge University Press, 1997: 301 ~ 302.