

面阵相机几何畸变矫正方法研究

金 元, 孟金宝, 王 琨, 蔡汉辉, 席 英, 朱 近

(南京理工大学 计算机科学与技术学院, 江苏 南京 210094)

摘 要: 由于机械加工安装、镜头光学特性等误差因素会使相机拍摄的图像产生非线性畸变, 所以在应用所拍摄图像之前需要对图像进行畸变校正. 在从硬件和软件两个方面对图像进行畸变校正的方法进行总结的基础上, 具体介绍了基于 BP 神经网络的图像几何畸变矫正方法和网格靶标交点坐标的提取方法. 实验结果表明, BP 神经网络的图像几何畸变矫正方法简单易于实现, 且能较全面地拟合畸变函数, 得到高精度的校正图像.

关键词: 畸变矫正; 交点提取; BP 神经网络; 图像变形

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)10-0036-03

The Research of Plane Array Camera Geometric Distortion Correction Method

JIN Yuan, MENG Jin-bao, WANG Kun, CAI Han-hui, XI Ying, ZHU Jin

(Department of Computer Science and Technology,
Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Because of the error factors such as machining installation and optical properties of the lens, The images will produce nonlinear distortion. The distorted images must be corrected before they are used. This paper presents BP neural networks method which is based on summarizing hardware and software methods of correction and intersection extraction in details. Experimental results show that both are easy to implement, and BP neural network method can fit the distortion function of a more comprehensive, and obtain high-precision calibration images.

Key words: distortion correction; intersection extraction; BP neural networks; image distortion

1 引言

目前, 面阵 CCD 相机在社会生产、生活及科学研究等许多方面都得到广泛应用, 人们通过面阵相机获取所需场景的数字图像, 再提取所需的信息. 这就对数字图像质量提出了很高的要求, 尤其是在需要精确测量和定位的领域显的尤为突出, 然而由于面阵相机镜头的光学特性及受到相机制造工艺限制等因素, 会使得到的图像产生畸变失真. 因此, 在实际应用数字图像之前, 对其进行畸变校正成首要解决的问题之一^[1]. 本文在总结现有方法基础上, 具体介绍了基于 BP 神经网络的矫正方法的原理, 并给出具体工作思路: 首先拍摄网格图像; 其次提取实际网格交点, 并计算标准网格坐标; 第三, 利用实际网

格交点和理想网格交点作为实验数据, 使用 Matlab 实现矫正方法; 最后, 通过双线性插值算法^[2]恢复矫正后图像. 文中给出具体实验结果, 量化比较分析了该方法与其他二种常用非线性畸变矫正方法的实验结果, 并给出基于 BP 神经网络畸变矫正法的矫正图像.

2 网格靶标交点坐标提取

2.1 网格靶标图像介绍

网格靶标为正方形(50.6 cm×50.6 cm)如图 1 所示, 横竖分别均匀分布 14 条网格线(线宽 0.1 cm), 两两垂直. 拍摄时, 相机中心与靶标中心重合, 使靶标尽量铺满整个相面. 因本实验成像图片为长方形(4 256×2 832 像素), 故只取靶面范围内图像

数据用于实验,而各方法的自行扩展性可以矫正此范围外的部分.对得到的靶标图像需进行二值化处理.

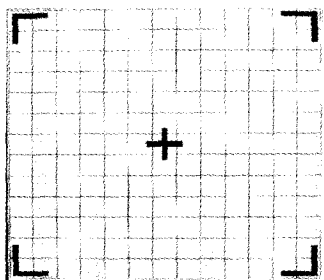


图1 标准网格图

2.2 网格靶标交点参数提取

网格靶标参数主要有两个:实拍图像(有畸变)的网格交点坐标集合,理想图像(无畸变)的网格交点坐标集合.用于作为参数计算的控制点数据和BP神经网络计算时的训练数据.

2.2.1 图像网格交点的提取

使用不同的镜头、不同的焦距、不同尺寸的面阵,所获得的实拍图像的网格线的宽度(像素)均不相同.网格交点放大图像见图2.可见,网格线边缘较为模糊,且两线重合范围内,不易判定中心点.

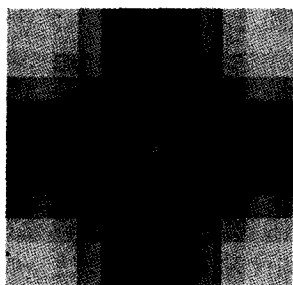


图2 网格交点放大图

在这里将重心的概念引入到网格中心交点的提取中.首先明确重心的概念:设某物体总质量为 M ,任取一确定的空间直角坐标系 $O-xyz$,则该物体可微出 i 个质点,每个质点对应各自坐标 (x_i, y_i, z_i) 及质量 m_i ,设该物体重心为 $G(X, Y, Z)$,则如公式(1)所示:

$$\begin{cases} X = (x_1 m_1 + x_2 m_2 + \cdots + x_i m_i) / M \\ Y = (y_1 m_1 + y_2 m_2 + \cdots + y_i m_i) / M \\ Z = (z_1 m_1 + z_2 m_2 + \cdots + z_i m_i) / M \end{cases} \quad (1)$$

现假设像素点 $g(x, y)$ 是一个质点,其中 g 为像素值, (x, y) 为像素坐标,则图像可以看成是一个由像素组成的有质量平面,其像素值即为对应质点的质量.基于这种假设我们在每个网格交点附近加一个窗口,若窗口重心和窗口中心距离低于一个阈

值,则该重心可看成是这个交线的实测中心交点.如图2所示,定义一个 $R \times R$ 的窗口, D 为窗口中心, d 为窗口重心, T 为阈值.若 $|Dd| < T$,则 d 即为该交线中心交点,否则微调窗口使其满足条件.定义一个的合适步长并以此遍历整个靶标图像,可得到实拍图像(有畸变)的网格交点坐标集合.

2.2.2 理想网格坐标计算

根据观察可知,镜头在镜片中心^[3]和长宽中线附近的畸变最小.理想网格坐标可以根据此假设条件和实拍图像的网格交点坐标集合进行计算得到.所以我们使用这一区域的实测中心交点,并利用最小二乘法拟合图像网格线所在的坐标线及原点.因为图1的网格线是等间隔的,这样就可以计算每个网络线中心交点在未畸变情况下的理想网格交点坐标.

3 基于BP神经网络的矫正方法

3.1 BP神经网络技术

BP神经网络也可被称为误差反向传播网络,这种思想最早是在1969年由Bryson等人提出^[4].它可被看成是一个从输入到输出的非线性映射,而且是一种多层结构,可分为输入层、隐藏层和输出层,如图3所示,其中隐藏层可以是多层的.每层包含若干的神经元,可见神经元是网络的基本组成部分.神经网络对神经元的数目非常敏感,各层神经元的数目,会直接影响到网络逼近精度和收敛速度,所以需合理设置BP神经网络.所以根据经验可以参考如式(2)进行设定:

$$l = \sqrt{n_1 + n_2} + \alpha \quad (2)$$

式中, l 表示隐藏层节点数; n_1, n_2 分别为输入层和输出层节点数; α 表示为1~10之间的常数.

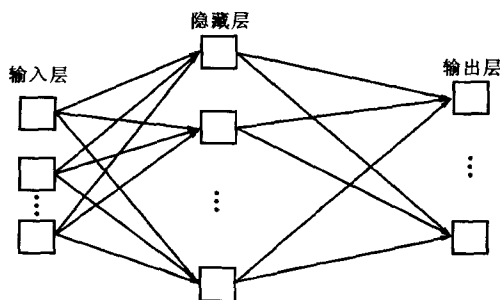


图3 三层BP神经网络结构图

BP神经网络是一种监督型学习模型,在确定网络层数和各层神经元个数后,就要利用学习函数来确定各神经元的权值.常用的学习算法有:动量BP算法、学习速率可变的BP算法、弹性BP算法、变梯

度 BP 算法、拟牛顿算法和 LM 算法. 本文实验选用了 LM 算法, 如式(3)所示, 该算法对中小规模的 BP 神经网络具有收敛速度快和占用存储空间少的优点^[5].

$$\begin{cases} x(k+1) = x(k) + \eta_k d(k) \\ d(k) = -\{\hat{H}(k)\}^{-1} g(k) \\ \hat{H}(k) = H(k) + \beta_k \hat{Q}(k) \end{cases} \quad (3)$$

$g(k)$ 、 $H(k)$ 分别是性能函数在 $x(k)$ 处的一阶和二阶导数; $Q(x)$ 是给定的正定矩阵; η_k 为迭代步长.

由于 BP 神经网络所具有的极强的非线性映射功能, 以及能从样本中学习, 抽象出一般规律的泛化能力, 所以它能非常好的解决多元非线性函数的拟合问题. 而图像的畸变矫正函数正属于这类问题.

3.2 基于 BP 神经网络的矫正方法步骤

(1) 训练数据来源. 提取的标准网格交点坐标和计算出的理想网格交点坐标.

(2) 确定各层的神经元个数. 根据经验, 本文输入层神经元个数是 3, 分别为标准网格交点的坐标 X、Y 及整数 1. 中间层网络神经元个数为 10. 输出层神经元为 1, 即理想 X、Y 分别输出. 并使用函数 newff 缺省的训练函数 trainlm, 即 LM 算法. 本处实验表明此设定可以加快收敛的速度.

(3) 归一化训练数据. 我们将标准网格实测点像素坐标归一化后作为输入数据, 将实测点与理想点之间坐标差值的归一化(如式(4)所示)数据作为输出, 这样便于输出三维误差图, 见图 4, 可以直观的加以分析.

$$D_{\text{norm}} = \frac{D - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} \quad (4)$$

D 为待归一化数据, $D_{\max}$ 、 $D_{\min}$ 分别为 D 中最大、最小数据, D_{norm} 为归一化后数据.

(4) 用双线性插值法恢复图像^[6]. 将网格图理想点的像素坐标作为输入进行训练即可. 再利用双线性灰度插值算法, 就可以得到校正后图像的像素值, 进而可恢复整幅图像.

4 实验结果与分析

4.1 实验设计

本实验所选用相机: NIKON D700; 焦距: 50 mm; 实拍图像大小: 4 256 × 2 832 像素. 取实拍图像部分用于矫正, 为了进一步比较矫正效果, 利用 Photoshop 对实拍图像加大变形后矫正.

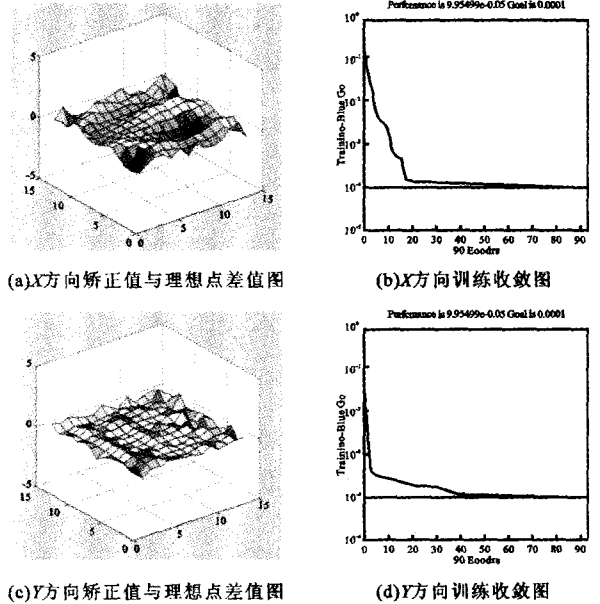


图 4 矫正结果图

4.2 结果与分析

表 1 中, 矫正前数据表示实测点相对理想点像素值的最大偏差值和偏差值均方差. 而矫正后的数据则表示实测点的矫正值相对理想点像素的最大偏差值和偏差值的均方差. 表中 BP 神经网络法校正后数据是在中间节点个数为 10, 两个方向 MSE 目标设定为条件下, 将 X、Y 分别训练输出, 在连续做多次训练情况下, 取最好一次的结果, 并将其神经元权系数保存, 以便以后使用. 多项式法矫正后数据, 是在多项式法项数 N 为 3 时的数据. 实际应用中常将镜头畸变分为径向畸变、偏心畸变和薄棱镜畸变三类, 并以此构成较为典型的非线性畸变模型, 在此称为典型畸变模型. 从表中数据可知, BP 神经网络和多项式均起到较好的校正效果, 并相对于典型畸变模型精度有提高.

表 1 矫正前后误差对比表

	最大偏差值/像素		均方差/像素	
	X	Y	X	Y
矫正前	16.940	21.086	3.669	5.830
多项式法	1.270	1.020	0.456	0.332
BP 神经网络法	1.209	1.672	0.232	0.434
典型畸变模型	3.186	1.764	1.335	0.746

从实验结果可以看到, 三维曲面上的点在一个水平面上波动且幅度很小, 说明该算法得到较好的校正效果. 从两个方向 MSE 设定为 10^{-4} 时的收敛速度, 说明校正精度较高且收敛速度非常快.

(下转第 43 页)

6 结束语

应用基因表达式编程对影响太湖水的主要因素:氮、磷、正磷酸盐、硝酸氮等营养盐进行自动聚类和公式发现研究,对监控、优化太湖水质具有一定的指导性意义。

参考文献:

- [1] Han J, Kamber M. 数据挖掘:概念与技术[M]. 范明, 孟小峰, 译. 北京:机械工业出版社, 2007.
- [2] 陈瑜, 唐常杰. 基于基因表达式编程的自动聚类方法[J]. 四川大学学报:工程科学版, 2007, 39(6): 107-112.
- [3] Candida Ferreira. Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems[J]. Complex Systems, 2001, 13(2): 87-129.
- [4] Ferreira C. Gene expression programming in problem solving[EB/OL]. [2001-10-24]. <http://www.gene-expression-programming.com/GEPBiblio.asp>.
- [5] 唐常杰, 张天庆, 左劼, 等. 基于基因表达式编程的知识

发现沿革、成果和发展方向[J]. 计算机应用, 2004, 24(10): 1-5.

- [6] Ferreira C. Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems[J]. Complex Systems, 2001, 13(2): 87-129.
- [7] 左劼. 基因表达式编程核心技术研究[D]. 四川: 四川大学, 2004: 36-42.
- [8] 颜雪松. 基于基因表达式程序设计的电路优化算法研究[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(1): 120-126.
- [9] 雷泽湘, 徐德兰. 太湖大型水生植物分布特征及其对湖泊营养盐的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 698-704.
- [10] 雷泽湘, 谢贻发, 徐德兰, 等. 大型水生植物对富营养化湖水净化效果的试验研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(3): 553-554.

作者简介:

鞠训光 男, (1966-), 博士, 讲师. 研究方向为智能计算、数据挖掘.

张三友 硕士研究生. 研究方向为智能计算、图像处理.

(上接第 38 页)

再利用双线性插值算法恢复校正后图像. 实验表明, 在畸变不严重的情况下, 该方法取得很好的矫正效果.

对网格图和待矫正图像分别作挤压变形和球面化变形之后, 再矫正. 可以看到均有明显的矫正效果. 实验表明, 在畸变较严重的情况下, 应该将 MSE 的值适当降低, 以防止出现矫正过适, 即训练点矫正精度高, 而训练点之间出现过度扭曲的情况.

5 结束语

本文在总结畸变校正方法的基础上, 给出基于 BP 神经网络的畸变校正方法的具体介绍与实现. 通过实验结果表明, 基于 BP 神经网络畸变矫正方法能较全面地拟合畸变函数, 得到高精度的校正图像, 尤其是在畸变不是很严重的情况下, 而且易于实现, 能够有效地解决图像矫正在实际工作中的应用.

参考文献:

- [1] Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334.
- [2] Park D B. Learning logic[C]// Center for computing research in economics and management sciences. Cambridge: MIT, 1985.
- [3] 朱铮涛, 黎绍发. 镜头畸变及其校正技术[J]. 光学技术, 2005(1): 136-141.
- [4] Bryson A E, Ho Y C. Applied optimal control[M]. New York: Blaisdell, 1969.
- [5] 史忠植. 神经网络[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [6] 王昊京, 王建立, 王鸣浩, 等. 采用双线性插值收缩的图像修复方法[J]. 光学精密工程, 2010(5): 1234-1241.

作者简介:

金元 男, (1985-), 硕士研究生. 研究方向为图像处理.