

基于 Halcon 的图像拼接算法研究

谭 杰,王殊轶,王慧芳,郑加宽

(上海理工大学 医疗器械与食品学院, 上海 200093)

摘 要: 提出了一种基于机器视觉软件 MVTec Halcon 的图像拼接算法. 该算法首先对摄像机进行标定, 以及对图像进行预处理, 然后采用 Harris 角点检测提取特征点, 接着检测出的角点经归一化互相关匹配后使用 RANSAC (random sample consensus, 随机抽样一致性算法) 算法剔除误匹配点, 估算单应性矩阵, 最后用改进的加权融合方法进行图像融合. 针对提出的算法编制了相应的软件, 并进行了拼接实验, 结果表明该方法可以快速有效地对图像进行无缝拼接, 精度可达到 0.02 mm.

关键词: MVTec Halcon; Harris 角点检测; 图像拼接; 加权融合

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)12-0184-04

Study of Image Mosaic Algorithm Based on Halcon

TAN Jie, WANG Shu-yi, WANG Hui-fang, ZHENG Jia-kuan

(School of Medical Instrument and Food Engineering,

University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: An image mosaic algorithm based on machine vision software MVTec Halcon is proposed. Firstly, the camera calibration, as well as images preprocessing are performed. Secondly, feature points are extracted by Harris corner detection and then the points are matched using normalized cross-correlation. After this, error matching points are excluded using RANSAC (random sample consensus) and homography matrix is estimated. At last, images are fused by the method of improved weighted fusion. The software correspond to the algorithm which were proposed in this paper has been worked out and mosaic experimental has been finished. Experimental results show that image mosaic can be accomplished rapidly and efficiently by this method and precision is 0.02 mm.

Key words: MVTec Halcon; Harris corner detection; image mosaic; weighted fusion

1 引言

图像拼接技术就是将数张有重叠部分的图像拼成一幅大型的无缝高分辨率图像的技术, 并且要求拼接后的图像最大程度地与原始图像接近, 失真尽可能小, 没有明显的缝合线. 图像拼接技术具有重要的实际应用意义, 被广泛应用在多个领域. 图像拼接算法主要有基于区域的和基于特征的两种, 其中基于特征的方法因其鲁棒性好得到广泛应用, 刘小军^[1]等人利用基于轮廓特征的方法完成了两幅图像的配准, 但是这种方法对于特征不明显或噪声干扰较大的图像不适用; Lowe^[2]提出的基于 SIFT (scale

invariant feature transform, 尺度不变特征变换) 的配准算法可以较好地完成图像的配准, 但是算法复杂度较高, 实现难度大, 速度一般; 李冬梅^[3]等人采用基于特征点灰度相关原理的方法, 通过 Harris 角点算法提取特征点, 完成了图像的拼接, 但是整个过程用时 24.8 s 且对曝光强度有明显差异的图像拼接效果不好. 本文提出了一种基于机器视觉软件 MVTec Halcon 的图像拼接算法, 首先通过对摄像机进行标定消除图像中可能存在的径向畸变, 然后采用 Harris 角点检测算法提取图像中的特征点, 接着对特征点进行归一化互相关匹配, 使用 RANSAC 剔除误匹配点, 估算单应性矩阵, 最后使用 gold_

standard 算法进行优化,得到较准确的变换矩阵,最后用改进的加权融合方法进行融合.实验结果表明该算法相比现有方法无论是在精度还是速度方面都有较大提高.

2 摄像机标定

摄像机标定是准确测量目标物体的必要过程,由于每个镜头都存在畸变并且各不相同,所拍摄图像就会存在径向畸变,这会给拼接精度带来影响,所以在拼接之前应对摄像机进行标定以校正这种镜头畸变.

本文算法在德国 MVTec 公司研发的图像处理软件平台 Halcon 中实现.它是世界公认具有最佳效能的机器视觉软件,由一千多个各自独立的函数,以及底层的数据管理核心构成.在 Halcon 中进行摄像机标定主要通过摄像机对不同方位的标定板进行拍照,使用标定算子完成标定,得到摄像机的内部参数:焦距 f ,径向畸变系数 k ,水平和垂直比例因子 s_x, s_y ,图像中心点行坐标和列坐标 c_x, c_y ,图像宽度和高度 W, H .最后通过将所得到的径向畸变系数 k 设置为 0 就可以消除图像的径向畸变.

3 图像配准

3.1 Harris 角点检测^[4]

Harris 算子是由 C. Harris 和 M. J. Stephens 于 1988 年提出的一种特征点提取算子.他们在 Moravec 算子的基础上进行改进,形成了 Harris 角点检测算法,它与 Moravec 方法主要不同在于用一阶偏导来描述亮度的变化,这种算子受信号处理中自相关函数的启发,给出与自相关函数相联系的矩阵 M , M 的特征值反映了局部互相关曲率.

其原理为:通过判断某一点向任一方向小小偏移都是否会引起灰度的很大变化,如果是就说明该点是角点,它的具体算法是通过分析像素周围区域的自相关函数的自相关矩阵特征值来判断某一点是否是角点.这个局部自相关函数 E 为

$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2 \quad (1)$$

式中, u, v 为 x, y 方向上的微小偏移量. $I(x, y)$ 是 (x, y) 像素点上的灰度值, $I(x + u, y + v)$ 为 (x, y) 有微小偏移后的灰度值; $w(x, y)$ 为高斯滤波器.它的泰勒展开式为

$$E(u, v) \cong (u, v) M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (2)$$

M 是 2×2 的对称矩阵:

$$M = \sum_{x, y} w(x, y) \otimes \begin{bmatrix} IX^2 & LX \cdot IY \\ IX \cdot IY & IY^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, IX, IY 分别为图像 x, y 方向的梯度值.

设 λ_1, λ_2 是矩阵 M 的两个特征值,则 λ_1, λ_2 可表示局部自相关函数的曲率.通过对矩阵 M 的两特征值分析,我们可大致对角点进行检测,但实际运用来计算角点的响应函数为

$$R = \det(M) - k \cdot \text{tr}^2(M) \quad (4)$$

式中, $\det$ 为矩阵的行列式; r 为矩阵的迹; k 根据实际情况取值 $0.001 \sim 0.06$.其判断标准为:设定一个合理的阈值 T ,当实际计算出来的 R 大于该阈值时,则表示找到了一个角点,否则就不是.

提取出特征点后,每幅图像的特征点有很多冗余,采用以特征点为中心的灰度窗归一化互相关来对特征点集合进行初步匹配计算,减少差异较大的特征点对.在此,本文选择的窗口大小为 20×20 .

3.2 图像变换矩阵的线性估计

假设要拼接的两幅图像分别为 $I(x_1, y_1)$ 和 $I(x_2, y_2)$,其对应的投影变换关系为

$$k \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ w_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & h_2 \\ h_3 & h_4 & h_5 \\ h_6 & h_7 & h_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ w_2 \end{bmatrix} \text{ 或 } kX_1 = HX_2 \quad (5)$$

式中, k 为比例因子,反映了图像间的缩放关系, $X_1 = (x_1, y_1, w_1)^T$, $X_2 = (x_2, y_2, w_2)^T$ 为要拼接的两幅图像上的齐次坐标, H 有 8 个自由度,至少选择 4 对匹配点就可以估计出 H .

3.3 用 RANSAC 剔除特征点,确定单应性矩阵

用归一化互相关做初步匹配时,存在很多误匹配点,此时采用 RANSAC 算法,利用所有的初步匹配点,根据一个允许误差将所有的匹配点对分为内点和外点,从而剔除误匹配点,提高运算速度和匹配准确度,最后利用内点数据比较准确的特点来进行参数估计,估算变换矩阵.具体步骤如下所示.

首先设置当前最佳估计内点数 S_i .

(1) 重复 N 次采样.本文的矩阵 H 估计需要的匹配点为 4 对,确定一个恰当的采样次数 N ,以保证此时采样的 4 对匹配点都是内点的概率足够高;

(2) 根据 4 对匹配点计算出变换矩阵 H ;

(3) 计算每个经过矩阵变换后到对应匹配点的欧式距离 $d(x_{1i}, Hx_{2i})$;

(4) 设定距离阈值 T ,把满足 $d < T$ 的匹配点作

为内点;

(5) 比较当前内点数目与 S_i , 若大于 S_i 则将 H 和当前的内点集作为当前最佳估计, 更新 S_i , 若等于 S_i , 则选择配准较低的作为当前最佳估计. 同时动态估测剩余所需迭代次数 N , 如果当前迭代次数达到 N , 则保留 H 和当前的内点集并停止迭代;

(6) 对当前内点集的所有匹配点采用 gold_standard 算法进行优化, 得到效果理想的单应性矩阵 H .

在上面的(1)和(2)中需要随机从 n 对匹配点中选取 4 对匹配点来计算变换矩阵, 为了保证 H 为非退化矩阵, 要首先判断 4 点中是否存在 3 点共线的情况, 若存在这种情况, 必须重新选取.

4 图像融合

对于配准后的图像, 如果仅仅是简单的叠加, 会造成图像的模糊和明显的缝合线, 拼接效果差, 这就需要对图像进行融合.

4.1 加权平滑法

该方法的主要思想是: 在重叠部分两幅图像之间缓慢过渡, 即将图像重叠的区域的像素值按一定的权值相加合成新的图像. 如下图相邻的图像 I_1 、 I_2 在区间 $[x_1, x_2]$ 上重叠, 令加权系数为 σ . $\sigma = i / (x_2 - x_1)$, 其中 $0 \leq i \leq x_2 - x_1$, $x_2 - x_1$ 为重叠区域的宽度. 见图 1.

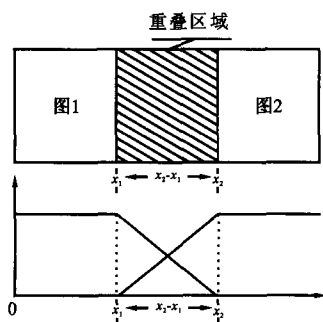


图 1 重叠区域及加权渐变

设 $I_1(x, y)$ 和 $I_2(x, y)$ 是亮度调整后待拼接的两幅图像, 则重叠区域图像的像素值 $I(x, y)$ 可表示为

$$I(x, y) = I_1(x, y)(1 - \sigma) + I_2(x, y) \quad (6)$$

可以看出, 当 σ 由 0 慢慢变化到 1 时, 图像从 $I_1(x, y)$ 慢慢过渡到了 $I_2(x, y)$, 实现了图像间的平滑过渡, 从而消除了拼接的痕迹. 但是这种方法较适合于水平方向之间的拼接.

4.2 改进的加权平滑法

对于有一定旋转的图像, 为了更好地实现图像

融合, 本文在加权平滑算法的基础上提出了一种改进的加权平滑算法. 基本方法如下:

(1) 找到重叠区域在图像 1、2(图 2) 中的边缘 1、2;

(2) 分别找到重叠区域中的点 $P(x, y)$ 到各自图像中距边缘 1、2 的距离 a 、 b ;

(3) 根据 a 、 b 计算出加权系数 $\sigma_1 = a / (a + b)$, $\sigma_2 = b / (a + b)$, 从而重叠区域图像的像素值可以表示为

$$I(x, y) = I_1(x, y)\sigma_1 + I_2(x, y)\sigma_2 \quad (7)$$

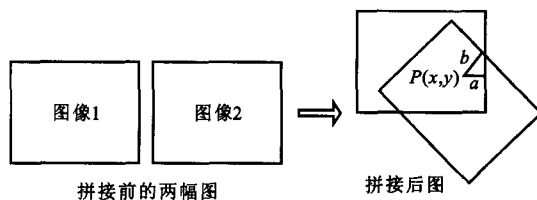
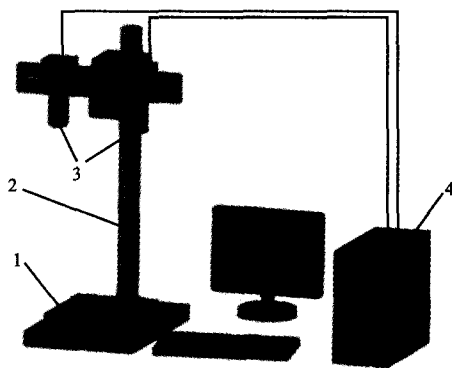


图 2 有一定旋转角度的两幅图像

5 实验结果与分析

在本文的研究过程中, 完成了不同条件下的多次实验, 实验系统如图 3 所示. 实验基于 Halcon 软件平台, 根据前面所述算法, 编制了相应的软件. 为了能准确测量出拼接精度, 本文选用符合 ISO3650-1978 标准 1 级精度的 60 mm 钢制量块做拼接, 为了提取到更多的特征点, 在实验过程中人为的创造了很多特征点, 图 4 为包含了人为特征点的待拼接的两幅图像, 图 5 为 Harris 算法提取的角点以及最终匹配结果, 图 6 为最终的拼接图.



1-光源; 2-银瑞实验台; 3-焦阑远心镜头; 4-lenovo PC机;

图 3 实验系统图

从拼接结果来看, 对于两幅有一定旋转角度的图像, 使用加权融合方法拼接出的图像可以看到明显的缝合线如图 7 所示, 而用本文方法拼接的结果较自然, 无明显拼接缝; 从测量结果来看, 经过多次实验, 本文拼接精度可以达到 0.02 mm, 整个过程平均用时 6.5 s, 相比市场上的拼接软件 Panorama

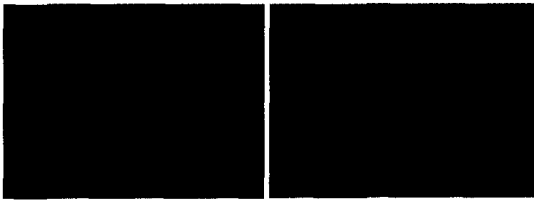


图 4 待拼接图像

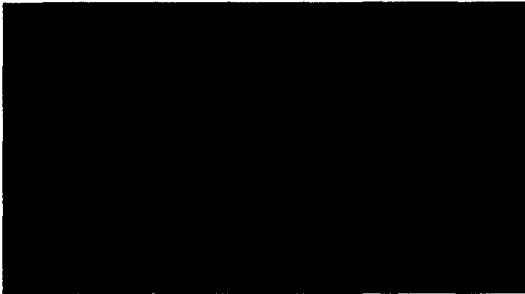


图 5 角点提取及匹配结果

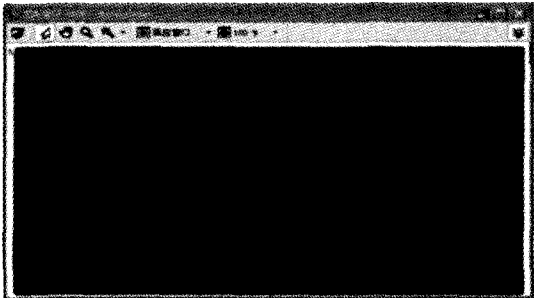


图 6 60 mm 量块拼接图

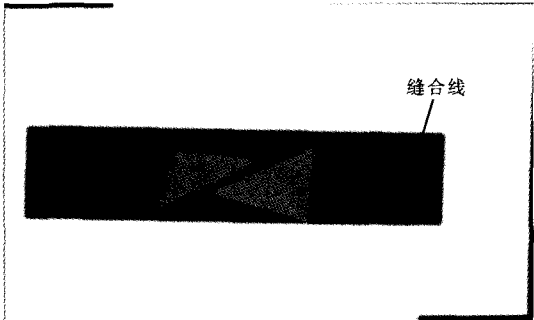


图 7 加权平滑的融合结果

Maker 具有更高的精度,更快的速度. 具体测量结果如表 1 所示.

表 1 两幅图像拼接结果比较

	Halcon 拼接结果/mm	Panorama Maker 拼接结果/mm	真实值/ mm
1	60.004	59.830	60
2	60.005	59.846	60
3	60.012	59.848	60
4	60.018	59.860	60
5	60.019	59.860	60
平均值	60.012	59.849	60
误差	0.012	-0.151	

此外,本文也对三幅图像做了拼接实验,具体结果如表 2 所示.

表 2 三幅图像拼接结果比较

	Halcon 拼接结果/mm	Panorama Maker 拼接结果/mm	真实值/ mm
1	59.996	59.777	60
2	60.002	59.787	60
3	60.007	59.821	60
4	60.027	59.839	60
5	60.029	59.863	60
平均值	60.012	59.817	60
误差	0.012	-0.183	

6 结束语

本文提出了一种利用机器视觉软件 Halcon 进行图像拼接的方法,与现有方法相比,该方法首先对摄像机进行了标定,可以消除镜头畸变给拼接带来的影响,能有效提高精度,然后用 gold_standard 算法对估算出的单应性矩阵进行优化,很好地解决了检测出的角点经归一化互相关后直接使用 RANSAC 得到的单应性矩阵准确度不高的问题,最后采用改进的加权平滑方法进行图像融合,有效避免了图像融合过程中可能出现的拼接线现象. 实验结果表明,整个拼接过程平均用时仅为 6.5 s,精度可以达到 0.02 mm,与现有方法相比,无论是精度还是速度都有较大提高,另外,对光照强度也没有很高要求,适用于一般场合,是一种稳健有效的实用算法.

参考文献:

[1] 刘小军,周越. 基于轮廓特征的 SAR 图像自动配准[J]. 计算机工程,2007,33(4):176-178.
[2] Lowe D G. Distance image features from scale-invariant key points[J]. International Journal of Computer Vision,2004,60(2):91-110.
[3] 李冬梅,王延杰. 一种基于特征点匹配的图像拼接技术[J]. 微计算机信息,2008,24(53):296-298.
[4] Harris C, Stephens M J. A combined corner and edge detector[C]// Proceedings of Fourth Alvey Vision Conference, Manchester, UK:IEEE,1988:147-151.
[5] 刘亚洲,刘国荣,王田甲. 基于 Harris 角点的彩色图像文字检测[J]. 微电子学与计算机,2010,27(10):136-139.

(下转第 192 页)

表 3 一体化联合作战效能总体属性组合评估信息

总体属性	一体化联合作战方案军团 1(α_1)
y	$\{(H_2, 0.004\ 9), (H_3, 0.205\ 5), (H_4, 0.663\ 5), (H_5, 0.118\ 5), (H_H, 0.007\ 6)\}$

表 4 一体化联合作战效能评估效用值

总体属性	一体化联合作战效能效用值			
	$u_{\max}(\alpha_1)$	$u_{\min}(\alpha_1)$	$u_{\text{avg}}(\alpha_1)$	$u_{\text{app}}(\alpha_1)$
y	0.804 8	0.799 9	0.802 4	0.801 4

参考文献:

[1] 白松卫,龚传信,古平. “一体化联合作战”的概念辨析[J]. 装甲兵工程学院学报, 2006, 20(4): 15—18.

[2] 陈芳莉,张明智,邵勇. 基于模糊综合评判的一体化联合作战能力评估模型研究[J]. 系统仿真技术及其应用, 2007 (8): 780—783.

[3] 魏华实,徐建,姚炳辉,等. 一体化联合作战战役级通信网效能评估[J]. 兵工自动化, 2008, 27(3): 50—53.

[4] 江汉,张义宏,蒋晓原,等. 基于体系对抗仿真的指挥自动化系统效能评估[J]. 军事运筹与系统工程, 2005, 19(4): 54—57.

[5] 王梦麟,鲁云军. 一体化联合作战仿真通信兵模型体系研究与实践[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 66—68.

[6] Yang J B, Singh M G. An evidential reasoning approach for multiple—attribute decision making with uncertainty[J]. IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics, 1994, 24(1): 1—18.

[7] Yang J B. Rule and utility based evidential reasoning approach for multi—attribute decision analysis under uncertainties[J]. European Journal of Operational Research, 2001 (131): 31—61.

[8] Yang JB, Wang Y M, Xu DL. The evidential reasoning approach for MADA under both probabilistic and fuzzy uncertainties[J]. European Journal of Operational Research, 2006 (171): 309—343.

[9] Dempster A P. Upper and lower probabilities induced by a multi—valued mapping[J]. Annual of mathematical statistics, 1967(38): 325—339.

[10] Shafer G. A mathematical theory of evidence[M]. princeton, NJ: Princeton University Press, 1976.

[11] 段新生. 证据理论与决策、人工智能[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1993.

[12] Yang J B, Xu D L. Nonlinear information aggregation via evidential reasoning in multi—attribute decision analysis under uncertainty[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2002, 32 (3): 376—393.

作者简介:

李业军 男, (1983—), 助教, 硕士生. 研究方向为移动通信、优化理论及其应用和效能评估.

李文元 男, (1964—), 副教授, 硕士生导师. 研究方向为移动通信和通信信号处理.

方向东 男, (1967—), 工程师. 研究方向为通信工程、网络工程及移动通信.

(上接第 187 页)

[6] Zhang Q, Ma L M, Chelberg D M. A novel machine vision application for analysis and visualization of confocal microscopic images[J]. Machine Vision and Applications, 2005 (16): 96—104.

[7] 杨少荣, 吴迪靖, 段德山. 机器视觉算法与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.

[8] 冯宇平, 戴明. 一种基于角点特征的图像拼接融合算法[J]. 微电子与计算机, 2009, 26(7): 21—28.

作者简介:

谭 杰 男, (1986—), 硕士研究生. 研究方向为机器视觉.

王殊轶 女, (1972—), 副教授. 研究方向为机器视觉、人因工程、医疗器械工程.

王慧芳 女, (1986—), 硕士研究生. 研究方向为医疗器械工程.

郑加宽 男, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为人因工程.