

一种分层渐进匹配的鲁棒估计算法

杨 丹, 孙向南, 张小洪

(重庆大学 软件学院, 重庆 400030)

摘 要:针对基于图像特征点匹配的图像拼接存在的缺点,文中提出了一种自动图像拼接新算法。该算法使用了改进的RANSAC算法来消除局外点对全局变换参数估计的影响,而在初始参数估计问题上,则采用分层渐进匹配的机制及梅林变换,从而有效地解决了方位变动较大的图像带来大的初始参数估计的困难,同时有效地提高了计算效率。实验表明,使用该技术后图像拼接效果较理想,鲁棒性好,真实感强,实际应用价值较高。

关键词:特征点;图像拼接;鲁棒估计;梅林变换

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)06-0036-03

A Robust Estimating Algorithm Based on Layered Progressive Matching

YANG Dan, SUN Xiang-nan, ZHANG Xiao-hong

(School of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: By analyzing the disadvantages of the keypoint-based image stitching, a new automatic image-stitching algorithm is proposed. An improved RANSAC algorithm is used for getting rid of influence of the bad points. In the problem of the parameter estimation, a layered progressive matching scheme and Mellion transformation are employed in the initial parameter estimation when orientation of the images is great. The above scheme also improved computing efficiency. Experimental image-stitching results are better satisfactory, better robustness and stronger sense of reality. It is high valuable in practice.

Key words: keypoint; image-stitching; robust estimation; Mellion transformation

0 引 言

图像拼接(image stitching)是将空间存在一定重叠部分的相邻图像进行对准而形成一幅新图像的技术。目前,该技术在图像数据融合、时变场景检测、全景图及目标识别等领域有着广泛的应用。当前的众多图像拼接算法基本是基于特征匹配^[1-3]和基于特征区域匹配^[4,5]的方法。首先计算出图像中的一些特征位置,然后计算这些离散特征对之间的对应关系,最后根据这些对应关系来估计全局变换参数。该方法的优点在于其能胜任于图像位置变动大的场合。由于该方法匹配的精度一方面依赖于特征点位置计算的精度,另一方面取决于特征提取算子是否具有几何变换不变性,此外,由于该方法有较高的误匹配率,因此在参数估计的计算中,其缺点是拼接的精度不高。通常该方法面临如下问题:一是图像中局部噪声以及局部内容的变

化(也称局外点);二是计算全局变换参数过程中初始参数的估计。前者可以通过预处理来消除。后者对于图像空间位置变动不大的场合,金字塔匹配策略可以有效地处理;对于图像间仅仅存在平移变动的情况,可以采用相位相关法来获得初始平移参数。然而在实际应用中,例如航空图像的拼接中,图像之间的空间位置变动很大,通常既有尺度的变化,又有旋转和平移的变化,在这些场合,上述方法均不能胜任,通常的做法是手工选择一定数量的对应特征点来计算出初始参数。这一方面显然需要改进。

文中针对上述问题,提出了如下改进的算法:引入SIFT算子^[6]提取特征点,再通过RANSAC算法^[7]消除局外点的影响。而对全局变换参数初始值的估计则采用了扩展的相位匹配算法(即梅林变化)来获得近似的解,然后采用分层渐进的策略逐步求精,最终即可获得精确的全局变换参数。

1 鲁棒拼接理论

一般地,如果两幅图像有相同的观察点,或者摄像机采集的是平面场景,则这两幅图像中所有匹配点之

收稿日期:2008-09-13;修回日期:2009-01-04

基金项目:重庆大学研究生科技创新基金(200801A1B0290288)

作者简介:孙向南(1981-),山东东营人,硕士研究生,研究方向为图像处理、计算机视觉;杨 丹,教授,博士生导师,主要从事图像处理、计算机视觉、可信软件等研究。

间严格满足如下几何关系:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $(x, y, z)^T$ 和 $(x', y', z')^T$ 分别表示两幅图中对应同一位置的特征点。 m_2 和 m_5 表示两图的相对平移量, m_0, m_1, m_3, m_4 表示尺度和旋转变化量, m_6 和 m_7 表示水平和垂直方向的变形量。

在图像拼接中,对于图像特征的选取非常重要。特征点是图像的一种基本特征,从待配准图像中精确地提取点特征,可以将图像间的拼接问题转化为两个特征点集的匹配问题。由于 Harris 角点检测^[8]的简单易行及其良好的检测性能等特点,被广泛地应用于诸多图像处理特征提取阶段。但是, Harris 角点对尺度要求较敏感。由于 SIFT 算子对旋转、尺度缩放、仿射变换、视角变化、光照变化等图像变化因素保持一定的不变性,故文中采用 SIFT 算子提取特征点和特征描述符,形成两幅图像的对应匹配点对。由于噪声点的存在,提出了改进的 RANSAC 算法来消除噪声点的影响。

改进 RANSAC 算法基本步骤:

(1) 从匹配点对序列中随机选取能算出矩阵参数所需要的最少点数对匹配点,算出变换矩阵 H (H 为式(1)中的变换矩阵)。

(2) 对所有匹配点对序列中的点通过 H 计算误差。当 $\|Hx - x'\|^2 \leq \epsilon$ (x 和 x' 代表两幅图像中的特征匹配点, ϵ 为设定的阈值)时确定该对匹配点为内点,算出所有内点并记内点数为 m 。若内点数 $m > t$ (t 为设定的阈值),则用这 m 对内点重新计算 H , 确定新的 m ; 若 $m < t$, 返回(1)。

(3) 当 m 不再变化(m 为最大)且 $m > t$, 则计算出此次 m 个内点所求; 若当 m 不再变化且 $m < t$, 则算法失败, 并返回(1)。

通过 RANSAC 算法可以得到一个基本没有噪声点的内点集。此时全局参数的估计问题就转化为如下最小化问题,即使得误差 δ 最小。

$$\delta = \sum_{i=1}^k \epsilon_i^2 / k \quad (2)$$

其中, $\epsilon_i^2 = \|Hx - x'\|^2$, k 为参与用于估计几何变换关系矩阵的内点个数。对式(2)的求解通常可以采用非线性最优化算法 Levenberg - Marquardt 算法(简称 L - M^[9]算法)来解。

2 分层渐进计算模型

对于数值计算而言,几乎所有的非线性最优化问

题都面临初始值的估计问题。由于待估计的参数个数为 8,即使可以给出一个合理的参数集范围,并可对其采用启发式搜索算法(例如遗传算法)进行估计,其运算量也将是十分惊人的,而且极易陷入局部最优。文中采用一种新的分层渐进方法来解决此问题。

分析关系式(1)中的参数集 $m = \{m_0, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7\}$ 可知,其中 m_2 和 m_5 参数体现平移变化, m_0, m_1, m_3, m_4 参数反映了水平和垂直尺度以及旋转因子, m_6 和 m_7 体现了投影变换在水平和垂直方向的变形因子。对于实际拍摄的图像来说,通常由于图像的 m_6 和 m_7 参数贡献较小,其在初始值的估计中可以忽略,即 $m_6 = m_7 = 0$, 因此,模型可以简化为

$$g_1(m) = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

该变换为 6 参数的仿射变换模型,由于其忽略了水平和垂直尺度变化因子的差别,对于初始值估计不会带来太大的影响,因此,对 g_1 做进一步的简化和近似,即得到如下相似变换模型:

$$g_2(h, \theta, a, b) = \begin{bmatrix} h \cos \theta & -h \sin \theta & a \\ h \sin \theta & h \cos \theta & b \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)的 4 参数全局变换模型包含了尺度因子、旋转因子和平移变换因子,对于初始值估计来说,已具有足够的近似精度。为了得到式(4)的 4 个参数,可以采用鲁棒性较高的梅林变换来估计。梅林变换实际上是相位相关法的扩展,设两幅图像 f_1, f_2 满足平移变化,即 $f_1(x, y) = f_2(x - a, y - b)$, 其傅里叶变换 F_1 和 F_2 满足如下关系:

$$\frac{F_1(u, v) * F_2^*(u, v)}{|F_1(u, v) * F_2^*(u, v)|} = e^{-j2\pi(ua+vb)} \quad (5)$$

其中符号“*”表示复数共轭,对式(5)右边进行傅里叶反变换即可得到一个在 (a, b) 处的冲击函数,由此可以方便地获得平移值。如果两幅图像之间满足式(5)给出的变换,则它们傅里叶变换的幅度 M_1 和 M_2 满足如下关系:

$$M_1(\log \rho, \theta) = M_2(\log \rho - \log h, \theta - \theta_0) \quad (6)$$

$$\rho = (x^2 + y^2)^{1/2}, \theta = \arctan(x/y)$$

对 M_1 和 M_2 实施式(5)中的相位相关法,而根据式(6)可获得参数 h 和 θ_0 , 然后对原始目标图像进行反向尺度和旋转变换,即可得到一幅新的图像 \tilde{f}_2 , 最后对 f_1 和此新图像 \tilde{f}_2 进行相位相关,即可获得参数 a 和 b 。

为了进一步提高算法的效率和精度,可引用多分辨率参数估计策略,即首先对原始图像采用高斯平滑

和亚采样进行多分辨率金字塔分解,对于金字塔的最高层,可采用仿射变化模型式(3),其初始参数估计可用上面的梅林变换来获得;然后用 L-M 算法来获得收敛参数集 $m^{(0)} = \{m_0, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5\}$;在金字塔的中间层,可仍然采用仿射变化模型,其初始参数为上一层计算出的更新参数集:

$$m^{(k)} = \{m_0^{(k-1)}, m_1^{(k-1)}, m_2^{(k-1)}, m_3^{(k-1)}, m_4^{(k-1)}, m_5^{(k-1)}\}$$

然后同样采用 L-M 算法来获得收敛参数集;在金字塔的最底层,即最高分辨率一层,则采用投影变换模型,其初始参数中 $m_0, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5$ 的更新规则和中间层一样,而 $m_6 = m_7 = 0$, 同样使用 L-M 算法来获得特定精度要求的参数集。通过上述方法计算出图像之间的全局变换参数后,就可以以其中一幅图像作为参考图像,将另一幅图像通过全局变换式(1)得到一幅新的变换图,然后对这两幅图像进行灰度融合,即可获得最终拼接图。

3 实验分析

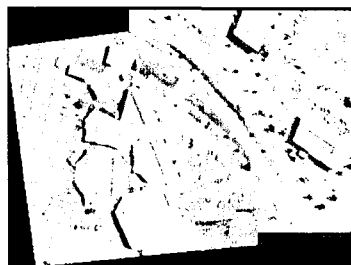
为了验证文中算法的效果,用一些典型的航空图片进行了测试。测试是在 P4 3.0, 内存 1G 的机器上,采用 Matlab7.0 作为软件编程和运行环境。

图 1 是城市公路线航拍图像的拼接。原始图像由于在不同的时间段拍摄,因此在重叠区的某些位置存在着较强的局部噪声和内容变化,若采用传统的基于特征点的匹配方法,将会产生较大的瑕疵,并且要引入适当的初始参数估计方法。而采用文中的算法,则可得清晰的拼接效果图(见图 1(b)),运算时间大约为 2s。

图 2 为城市房屋航拍图,两幅原始图像在尺度上有一定的差异,如果采用传统方法将不能获得正确的结果,而采用文中提出的算法,可在 4s 左右,使全局参数获得收敛。一系列的实验表明,采用文中算法能够支持在重合区域内有 50% 左右的局外点以及两幅图像尺度变动较大的情况下,也能得到较好的效果。对于空间位置变化较大的图像来说,则首先采用了分层渐进的方法进行了合理的降维处理,然后利用 Mellion 相位匹配法来获得初始估计值,在此基础上再利用 L-M 非线性最小化方法来求得精确的几何变换关系,从而获得了高精度的拼接图。

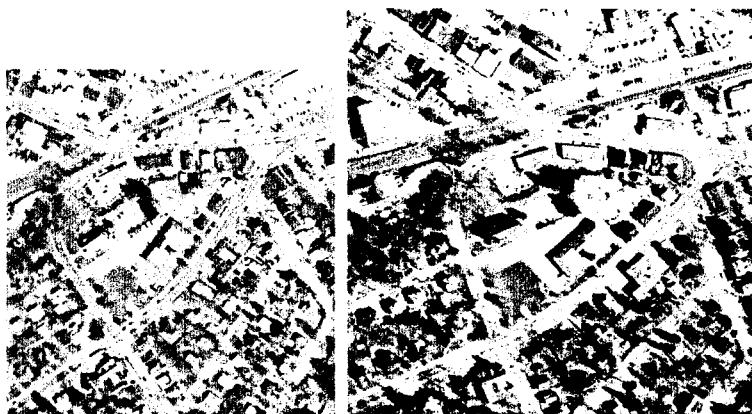


(a) 原始图像



(b) 拼接效果

图 1 城市公路线航拍图像及其拼接效果



(a) 原始图像 1

(b) 原始图像 2



(c) 拼接效果

图 2 城市房屋航拍原始图及其拼接效果

4 结束语

针对传统的基于特征点的图像拼接算法进行了两

(下转第 42 页)

后数据进行对比,改进前耗时 20.6s,而改进后耗时 14.6s。由图可以看出:改进后光线投射算法^[8]使得绘制速度大幅提高,而图像质量并未受到明显影响。

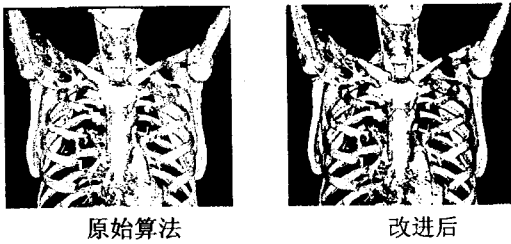


图 5 胸腔骨骼绘制结果

3 结束语

介绍了目前国内外流行的可视化支持工具和软件系统 VTK,讨论了 VTK 的医学体绘制方法,给出了代码,并对各种体绘制方法进行了分析和总结。VTK 中提供的直接体绘制技术,使人们在普通 PC 机上只需要几秒钟就实现了医学体数据场的可视化^[9],并且绘制效果很好。同时,VTK 还直接提供了交互功能,可以实现对图像的缩放、旋转、定位等多种操作,医生可根据需要从任意角度,以任意大小对绘制图像进行观察,这样就有利于医生对病灶进行正确的判断,而不是依靠空间想象。VTK 中提供的这些体绘制方法各有其优缺点,开发人员应根据实际需要选择最适合的绘制方法。文中借助了可视化工具 VTK,成功地实现了对 DICOM 图像序列的体绘制重建^[10],并且根据所采用的光线投射法的特点,对重建算法进行了多方面的

优化,达到了令人满意的效果,为进一步进行医学图像可视化的研究奠定了良好的基础。

参考文献:

- [1] 唐泽圣. 三维数据场可视化[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.
- [2] 王文举,侯德文. 几种变换域体绘制算法的比较研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(4): 80-83.
- [3] 李 嘉,胡怀中,胡 军,等. 可视化三维图形库 Visualization Toolkit 3.2 的原理及应用[J]. 计算机应用与软件, 2004, 21(2): 5-6.
- [4] 田 捷,包尚联. 医学影像处理与分析[M]. 北京:电子工业出版社, 2003.
- [5] 齐 敏,位 军. 基于 VTK 的医学三维可视化分析系统[J]. 计算机仿真, 2008, 25(3): 242-244.
- [6] 樊 鹏. 医学图像可视化关键技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2008.
- [7] 彭群虎,鲍虎军,金小刚. 计算机真实感图形的算法基础[M]. 北京:科学出版社, 1999.
- [8] Gross M H, Lippert L, Ditttrich R, et al. Two methods for wavelet-based volume rendering[J]. Computers and Graphics, 1997, 21(2): 237-252.
- [9] Westenberg M, Roerdink J. Frequency domain volume rendering by the wavelet x-ray transform[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(7): 1249-1261.
- [10] Max N. Optical Models for Direct Volume Rendering[J]. IEEE Trans on Visualization and Computer Graphics, 1995, 1(2): 99-108.

(上接第 38 页)

方面的补充和完善。对误匹配点,通过引入 SIFT 算子用于特征点检测并使用改进的 RANSAC 算法来消除局外点对全局变换参数估计的影响。而在初始参数估计问题上,则采用分层渐进匹配的机制及梅林变换,从而有效地解决了方位变动较大的图像带来大的初始参数估计的困难,同时有效地提高了计算效率。

参考文献:

- [1] 龙祖利,宋京燕. 基于角点检测法的图像配准[J]. 网络与信息技术, 2007(5): 57-59.
- [2] 李晓娟,郭宝龙. 一种基于兴趣点方向特征的图像拼接方法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(12): 26-28.
- [3] 黄铜城,银丽平. 基于投影变换的图像自动配准[J]. 微机发展(现更名:计算机技术与发展), 2003, 13(2): 59-61.
- [4] 冯 林,颜世鹏,孙 焱. 图像配准中的一种特定区域轮廓提取算法[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(3): 11-13.
- [5] 张红民. 基于模板匹配的彩色图像自动拼接方法[J]. 微机发展(现更名:计算机技术与发展), 2003, 13(7): 40-42.
- [6] Brown M, Lowe D G. Recognizing Panoramas[C]//In Ninth International Conference on Computer Vision. Nice, France: [s. n.], 2003: 1218-1225.
- [7] Fischler M A, Bolles R C. Random Sample Consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communication of the ACM, 1981, 24(6): 381-395.
- [8] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector [C]//Proceedings Fourth Alvey Vision Conference. Manchester: [s. n.], 1988: 147-151.
- [9] Zhang Z. Parameter estimation techniques: A tutorial with application to conic fitting[R]. [s. l.]: Institute of National Research of Information and Automatic Research Report, 1995: 26-76.