

基于图像建模系统中图像拼接算法研究

易成涛¹, 王孝通¹, 徐晓刚²

(1 海军大连舰艇学院 航海系, 辽宁 大连 116018; 2 海军大连舰艇学院 装备系统与自动化系, 辽宁 大连 116018)

摘 要: 为解决各型航海、航空模拟器中基于图像建模系统的重建物体视觉外观真实感较差问题, 研究了对于在不同角度下拍摄的不在同一平面的图像的自动拼接与融合算法. 算法首先基于 SIFT 算子提取图像特征; 接着采用近似最近邻的优先搜索算法以及极线约束条件获取精确的特征匹配点对; 然后采用 RANSAC 算法鲁棒地估算变换矩阵; 最后实现自动拼接与融合. 实验结果表明, 该算法拼接效果较理想, 鲁棒性强, 具有一定的实用价值.

关键词: 图像拼接; 尺度不变特征变换; 随机抽样一致性; 基于图像建模

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)06-0020-04

Research on Image Mosaics Algorithm in Image-Based Modeling System

YI Cheng-tao¹, WANG Xiao-tong¹, XU Xiao-gang²

(1 Department of Navigation, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China;

2 Department of Automatization, Dalian Naval Academy, Dalian 16018, China)

Abstract: Aiming at the problem of low photorealistic models in the current image-based modeling system in the current virtual simulator, a new algorithm of image stitching and blending was studied for the images under different angles which are not in the identical plan. Firstly, use scale invariant feature transform(SIFT) to extract invariant features from images mosaic. Secondly, adopt approximate nearest neighbor searching and epipolar constraint to perform reliable matching. Then, use random sample consensus(RANSAC) to obtain the parameters of transform matrix. Lastly, stitching and blending the images. Experimental results show that the image stitching effect is wonderful and the algorithm is highly valuable in practice.

Key words: images mosaics; scale invariant feature transform; random sample consensus; image-based modeling

1 引言

随着科技的发展, 各型航海、航空模拟器对计算机三维模型的需求与日俱增, 而基于图像建立三维模型的 IBM(image-based modeling)算法由于具有成本低廉、快速简洁、适用范围广的优点, 因而一直是计算机视觉领域中的研究热点^[1]. 对于完整的三维模型而言, 考虑到每一幅纹理图像只能覆盖物体表面上一个有限的区域, 为了得到具有完整纹理的三维模型, 必须对多幅纹理图像进行拼接和融合.

图像拼接的关键技术是图像配准和图像融合. 图像配准的方法很多, 通常将其归类为基于区域和

基于特征两种基本的图像匹配方法^[2]. 基于区域的图像配准算法一般需要利用图像的全部信息, 计算量都较大, 配准效果往往不理想; 基于特征的图像拼接是利用图像的明显特征(角点或关键点)、轮廓和一些不变矩等来估计图像之间的变换, 而不是利用图像全部的信息, 故而成为研究热点. 其主要算法有控制点配准算法、自动角点检测配准算法、基于轮廓特征的配准算法、基于尺度不变特征变换(SIFT)的配准算法^[3]等. 其中, 基于 SIFT 配准算法是目前的研究热点, 性能优秀, 但是算法复杂度依旧较高. 图像融合是将两幅已配准图像中有效信息综合到一幅图像中并以可视化方法显示的技术, 主要有基于图

收稿日期: 2009-05-11; 修回日期: 2009-07-11

基金项目: 海军大连舰艇学院科研发展基金资助项目(20090101)

像灰度的融合算法、基于颜色空间变换的融合算法、基于变换域的融合算法等,如文献[4]则利用小波变换之后新型的图像多尺度几何分析工具 Ridgelet 变换对遥感图像融合取得了较好的效果。

文中给出了一种基于改进 SIFT 特征匹配的图像拼接算法。算法的基本思想是首先利用 SIFT 算子提取相邻图像的特征点,然后采用近似最近邻的优先搜索算法查找可能特征匹配对,并基于极线约束条件找出最佳的匹配特征点集,最后利用随机抽样一致性(RANSAC)鲁棒地估算出变换矩阵实现了图像的自动无缝拼接。

2 图像拼接

2.1 基于 SIFT 特征点的提取与匹配

2.1.1 SIFT 特征点的提取与描述

SIFT 算法首先在尺度空间进行特征点检测^[3],确定特征点的位置和特征点所处的尺度,然后利用其邻域像素的梯度方向计算该点的主方向,以实现算子对尺度和方向的无关性,最后对每个特征点构造相应的特征描述子。其具体实现步骤如下:

(1) 尺度空间极值检测。将原始图像用一系列尺度因子成一定倍数的高斯函数进行滤波,建立图像金字塔。再将每两个相邻的高斯模糊图像进行相减得到高斯差分金字塔图像。在高斯差分金字塔图像中,去除最底层和最上层图像,在剩余的每一幅图像中求取不同尺度上的候选尺度和方向不变兴趣点。

$$\begin{cases} G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \\ L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) \times I(x, y) \\ D(x, y, \sigma) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \end{cases} \quad (1)$$

式中, $G(x, y, \sigma)$ 为二维高斯函数, σ 为高斯正态分布的标准差,如果把 σ 看成是尺度变量,那么在尺度空间中,不同 σ 的 $G(x, y, \sigma)$ 就组成一个 Octave。 $I(x, y)$ 为金字塔的每层图像; $L(x, y, \sigma)$ 为图像与二维高斯函数的卷积,称为图像的尺度空间; $D(x, y, \sigma)$ 为 DOG 算子,定义为每个滤波图像组中相邻高斯滤波图像的差分,是归一化 LOG 算子的近似。 k 可视为两层相近的尺度之间的比例,为了计算方便,一般令 $k = 2^{(1/s)}$, s 为一个 Octave 之间的层数。 DOG 中每个像素在其 3×3 的 8 邻域和相邻的上层和下层金字塔图像中两个对应的 9 邻域中比较其灰度值,若该像素在这 26 个邻域像素中皆为极值,则作为候选的特征点。

(2) 特征点定位。得到候选的特征点后,还需要利用其周围的数据对特征点进行精确的定位。一般是通过拟合三维二次函数来精确确定特征点的位置和尺度的。为增强特征点的独特性,提高匹配性能,应去除对比度的绝对值低于设定阈值 m 的极值点和主曲率不满足一定条件的边缘响应点。阈值 m 及判别条件可采用文献[5]推荐的参数。

(3) 指定主方向。为了使特征点具有旋转不变性, SIFT 采用方向直方图来确定主方向。即:对于每一个特征点,首先计算以该点为中心的邻域内的点的梯度方向,该邻域内的每一个点的梯度的模乘以一个高斯函数作为权重,用投票的方式决定该特征点的主方向。

(4) 特征点的特征描述子。为了提高特征点的区分度, SIFT 采用了局部图像区域方向直方图作为特征描述子的特征向量。文献[5]的具体实现方法是,把每个特征点附近的 16×16 的窗口切成 4×4 的子窗口,首先将每一个像素的梯度方向旋转为特征点的主方向,然后利用高斯平滑滤波为每一个方向做加权,再在每一个子窗口中计算它的 8 个方向直方图。这样,每个特征点都可以得到一个 $4 \times 4 \times 8 = 128$ 维的特征向量。最后对得到的特征向量进行归一化处理,以增强对光照变化的鲁棒性。由于 SIFT 算法复杂,由文献[5]可知 1 幅典型的 500×500 的图像可得到约 2 000 个稳定特征点,计算开销很大,为了减少特征提取部分的耗时,在保证特征点质量的前提下应尽可能减少特征点的数量。因此,文中在实验基础上选用了 8×8 的窗口,即每个特征点用一个 $2 \times 2 \times 8 = 32$ 维的特征向量来描述。

2.1.2 改进的 SIFT 特征点的匹配

得到两幅图像的特征点后,必须先找到相互对应的特征点,即特征点匹配问题,这是自动匹配的关键步骤。通常分成两步来完成,即特征点的初始匹配(粗匹配)和精匹配。初始匹配阶段仅仅考虑特征点之间的局部特性,精匹配阶段将使用全局信息进行优化。

(1) 特征点的初始匹配。实现步骤是,首先计算第一幅图像 A 的每个 SIFT 特征点在另一幅图像 B 的特征点集中的最近邻距离(即特征向量间的最小欧氏距离)。然后计算每对特征点的最近邻距离与次近邻距离的距离比率 r 。设定阈值 t ,将 r 小于 t 的认为是正确的匹配点对。Lowe 推荐 t 取 0.8,文中取 0.6 合适。由于同一点可能有多个方向,因此属于不同的特征点,而实际上它们可能是同一点,这就会产

生重复的匹配点.为此,文中采用了逆向匹配的改进算法,即在完成图像 A 的所有特征点在图像 B 的特征点集中的最近邻匹配之后,同理完成图像 B 的所有特征点在图像 A 的特征点集中的最近邻匹配.两幅图像特征向量的欧氏距离一般用穷尽法计算,但计算复杂度是 $O(n^2)^{[5]}$,实时性较差. $k-d$ 树能够快速有效地找到最近邻点,且复杂度仅为 $O(n \lg n)$,但当特征点描述子大于 10 维时, $k-d$ 树的效率就大大降低,并不比穷尽法效率高^[6].因此,这里采用了近似最近邻优先搜索算法,其对高维空间的搜索效果比 $k-d$ 树有明显提高.

(2) 特征点的精匹配.本阶段主要采用 RANSAC 优化算法确定一对一的精匹配点对. RANSAC 处理为一个迭代过程,文中作了改进,将立体视觉中的极线约束引入到该算法中,以将搜索空间从整幅图像 2D 空间的盲目搜索降为沿着极线的 1D 搜索,匹配时间大大减少.主要实现方法是,通过 RANSAC 迭代算法进行几何一致性检验,将少数精度较低的匹配点对当作 Outliers 去除,直至所有特征点都满足极线约束(式(2)),即点 $P(x_i, y_i)$ 的匹配点 $P(x_j, y_j)$ 必在其对应的极线上,其极线相似距离可表示为

$$S_i = \left| \frac{ax_j + by_j + c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right| \quad (2)$$

式中,相应的极线为 $J = [a, b, c]^T$,匹配点越相似,则极线相似距离越小.

2.2 变换矩阵的鲁棒估计

经过图像特征匹配以后,两幅图像产生了一一对应的特征点集合.为了对两幅图像进行拼接,需要求解出两幅图像之间的变换矩阵 M .设 (x_i, y_i) 、 (x_j, y_j) 是匹配集合中的一对匹配点,它们之间的关系可以通过变换矩阵 M (式(3))来求解:

$$\begin{cases} x_j = \frac{m_0 x_i + m_1 y_i + m_2}{m_6 x_i + m_7 y_i + 1} \\ y_j = \frac{m_3 x_i + m_4 y_i + m_5}{m_6 x_i + m_7 y_i + 1} \end{cases} \quad M = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

求解变换矩阵 M 一般可分为线性算法、非线性优化迭代算法和鲁棒性估计算法三大类.线性算法简单,但对噪声非常敏感,对 M 估计精度较差;非线性优化迭代算法比线性算法精度高,对噪声敏感度要小,但计算量较大,且不能去除潜在的伪匹配特征点对.鲁棒性估计算法在 M 估计精度和伪匹配对的消除能力上都要强一些,故采用鲁棒性估计算法.鲁

棒性估计算法主要有 M -估计算法、RANSAC 算法和最小中值法(LMedS).文中基于 RANSAC 方法进行鲁棒性估计,计算步骤如下:

(1) 重复 n 次随机采样(保证 4 个特征匹配对是内点的概率大于 99.9%);

(2) 随机选取 4 个特征匹配对(任意 3 点不共线),线性的计算变换矩阵 M ;

(3) 计算每个匹配点经过矩阵变换后到对应匹配点的距离;

(4) 设定一距离阈值 ϵ (取特征点提取均方差的 2.5 倍数值),通过几何一致性检验,确定内点、外点,并在内点集合中重新估计 M ;

(5) 找出满足每次迭代计算出的对应矩阵最多的特征匹配对,并利用这些特征匹配对计算出最终的变换矩阵 M .

一旦确定了最优的变换矩阵 M ,就可以把两幅图像拼接起来.

2.3 图像融合

求得两幅图像的最优变换矩阵 M 之后就确定了它们之间的变换关系,图像融合的任务就是把配准后的两幅图像拼接成一幅无缝图像.一般分两步进行融合,第一步是图像的合并,将两幅图像拼接到同一个坐标空间内,使两幅图像成为一幅图像;第二步是拼缝的消除,去除拼接缝使两幅图像真正能融合成为一幅图像.为消除拼接的痕迹,文中采用了加权平均的融合算法.实现方法是,设图像 $I_1(i, j)$ 的加权系数为 α ,则融合图像可表示为

$$I(i, j) = \alpha I_1(i, j) + (1 - \alpha) I_2(i, j) \quad (4)$$

式中,加权系数 α 取值范围为 $[0, 1]$,若 $\alpha = 0.5$,则相当于两幅图像取平均值;若 α 取为渐变系数,即在不同的坐标点它的取值也不同;当 α 由 0 慢慢变化到 1 时,图像从 $I_2(i, j)$ 慢慢过渡到了 $I_1(i, j)$,这样就可以实现图像间的平滑过渡,从而消除了拼接的痕迹^[7].

3 实验结果

为了准确实现相邻图像的拼接,采用 Kenox 数码相机绕原地旋转或平行移动拍摄了几组照片,在拍照时尽量避免相机转动或平移时镜头的偏斜与俯仰,保证所拍照片的水平中线与照相机的焦点中心处在同一水平面上,并按照上述算法进行了拼合实验,如图 1、图 2 所示.由实验结果可以看出,文中算法取得了较好的拼接效果,而且基本消除了拼接部分的亮度差异和鬼影,实现了图像缝合处的平滑过渡.

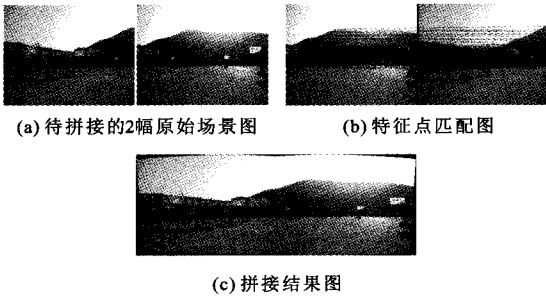


图1 基于两幅图像的拼接结果

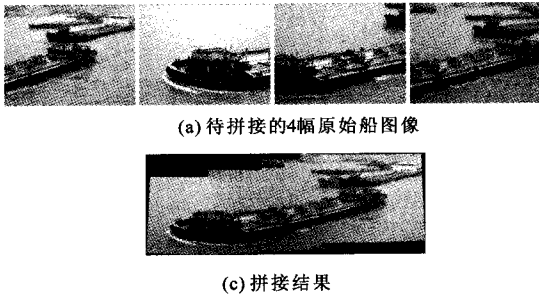


图2 基于多幅图像的拼接结果

此外,文中也与 Lowe 的基于 SIFT 算法的 Autostitch 图像拼接系统进行了比较,两者的拼接的正确概率均为 100%,而且对 SIFT 算法进行了简化,故文中算法的总耗时有所降低。

4 结束语

文中采用的 SIFT 算子对图像缩放、旋转变换、色差、噪声等抗干扰性较强,增加了拼接算法的稳定性;采用的近似最近邻优先搜索算法以及极线约束条件降低了特征点匹配的复杂性,提高了算法的实时性;基于 RANSAC 的变换矩阵估计算法也有效提

高了图像拼接的成功率。实验证明,此算法能力较强、速度较快、拼接效果也较为理想,具有一定的实用价值。

参考文献:

- [1] 李健,史进. 基于 openCV 的三维重建研究[J]. 微电子学与计算机, 2008,25(12): 29-32.
- [2] Zitova B, Flusser J. Image registration methods: a survey [J]. Image and Vision Computing, 2003,21(11): 977-1000.
- [3] 王国美,陈孝威. SIFT 特征匹配算法研究[J]. 盐城工学院学报:自然科学版, 2007, 20(2): 1-5.
- [4] 徐学斌,张新曼,张德运. 一种基于 Ridgelet 变换的遥感图像融合方法[J]. 微电子学与计算机, 2008,25(8):2-4.
- [5] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004,60(2):91-110.
- [6] Arya S, Mount D, Netanyahu N, et al. An optimal algorithm for approximate nearest neighbor searching in fixed dimensions[J]. Journal of the ACM, 1998,45(6):891-923.
- [7] 张静,严壮志. 自动图像拼接中的一种特征提取和匹配方法[J]. 应用科学学报,2008,26(3): 287-294.

作者简介:

易成涛 男,(1975-),博士研究生,讲师. 研究方向为计算机视觉、虚拟现实.

王孝通 男,博士,教授.

徐晓刚 男,博士,教授.

(上接第 19 页)

- [3] Akl R, Arepally A. Dynamic channel assignment in IEEE 802.11 networks[C]// Proc. of the IEEE Intl. Conf. on Portable Information Devices 2007. Orlando, FL, USA: Portable, 2007:1-5.
- [4] Metropolis N, Rosenbluth A W, Rosenbluth M N, et al. Equation of state calculations by fast computing machines [J]. J. Chem. Phys., 1953, 21(6): 1087-1092.
- [5] Kirkpatrick S, Gelatt C D, Vecchi M P. Optimization by

simulated annealing[J]. Science, 1983, 220(4598): 671-680.

- [6] 徐宁,杨程. 混合模拟退火算法解决 VLSI 布局问题 [J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(10): 51-53.

作者简介:

刘超 男,(1974-),博士研究生. 研究方向为无线资源管理.

戎蒙恬 男,(1952-),教授,博士生导师.