

基于全景子空间的尺度不变特征跟踪方法

范志强

(北京航空航天大学 虚拟现实技术与系统国家重点实验室, 北京 100191)

摘 要: 提出一种基于全景子空间尺度不变特征跟踪方法, 包括离线阶段建立全景图像与原始图像序列特征集对应关系和在线阶段基于关键图像识别的特征匹配等过程. 首先利用全景图充分覆盖局部场景信息特性, 通过扩展 Kd 树组织全景图特征并建立其与原始图像序列特征对应关系, 不但解决了图像间特征对应, 而且能够有效减少全景图冗余特征量, 提高首次特征匹配速度. 然后给出一种基于投票策略的关键图像识别方法以进一步完成二次特征匹配, 从而将多图像大数据量特征匹配转换为单图像小数据量特征匹配目标, 较好实现了特征匹配速度与稳定性的平衡. 试验结果表明本方法能够有效增强特征跟踪的稳定性.

关键词: 全景图; Kd 树; 尺度不变特征变换; 关键图像; 投票

中图分类号: TP 391.41

文献标识码: A **文章编号:** 1001-5965(2011)09-1181-05

Panoramas subspace based scale invariant feature tracking method

Fan Zhiqiang

(State Key Laboratory of Virtual Reality Technology and Systems, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: Aiming to panoramas images, a panoramas subspace based scale invariant feature tracking method was proposed which contains an offline process to build feature correspondence between panoramas and original image sequence and an online process to match features based on keyframe recognition. Firstly making full use of the ability of panoramas to cover approximately entire local nature space, a way was given to extend Kd tree to build feature correspondence between panoramas and original image sequence which can efficiently reduce feature redundancy of panoramas and improve the first matching stage's time. On the basis of this mapping, a voting method was used to recognize keyframe to finish the second matching stage. Through the two feature matching stages above, the aim was reached that converts the feature matching from multiple images to single image to decrease feature number. Experimental results show that the method can efficiently achieve good balance between matching time and stability.

Key words: panoramas; Kd tree; scale invariant feature transform; keyframe; voting

图像特征跟踪技术一直是计算机图像与视觉中的重要研究内容. 在诸如图像检索、目标识别、三维重建以及相机姿态恢复等众多领域, 图像特征跟踪技术都起着重要作用. 特征提取与匹配是特征跟踪的 2 个关键部分, 其有效性与稳定性直接决定了特征跟踪技术的适用范围.

以尺度不变特征变换 (SIFT, Scale Invariant Feature Transform)^[1-2] 为代表的不变量技术近年

来获得了广泛的关注与研究. 由于采用提取图像信号空间梯度域极值方法获取特征点, 并建立高维描述子表征相应特征点信息, 相比其他特征跟踪方法能够获取更多的稳定特征信息, 对于旋转、缩放甚至光照等变化有着很好的不变性^[1,3]; 通过将描述子看作高维欧氏空间中的几何点, SIFT 特征匹配问题可以有效转化为欧氏空间中点的几何距离计算问题, 结合采用 Kd 树^[4] 等工具有效

地组织特征集合,使得该方法能够较好地适用于长基线弱时序关系图像间特征跟踪任务.基于上述原因,文献[1]利用该方法进一步实现了多图像大数据量特征跟踪,取得了较好的跟踪效果;文献[5]在此基础上将该方法推广到场景建模条件下相机姿态恢复中的场景大数据量特征跟踪工作中,扩展了该特征跟踪技术的应用范围.然而,基于Kd树的SIFT特征跟踪方法也存在如下问题^[1,3]:虽然Kd树的二叉平衡性^[4]能够保证达到对数级的匹配效率,但是实践表明^[1,3-4],随着特征数据量的增加,基于Kd树的SIFT特征匹配稳定性会迅速下降.文献[6]给出了一种基于Vocabulary树的特征跟踪方法,较好提高了大数据量条件下特征匹配数量,但该方法存在对特征冗余性敏感等问题,当图像序列包含特征冗余较多时,该方法中基于Vocabulary树的统计投票方法^[6]会出现误选关键图像问题,造成特征匹配稳定性迅速下降.

针对上述问题,本文提出了一种基于全景子空间的尺度不变特征跟踪方法.由于全景图^[7]能够充分地覆盖局部空间,因此在全景图表达的子空间内可以充分利用全景图包含特征信息进行特征跟踪,以提高特征匹配的稳定性.基于这一思想,本文在全景合成技术基础上,给出了一种扩展Kd树组织全景图特征并建立与原始图像序列特征间对应方法,基于该对应关系进行全景图冗余特征的剔除工作以完成初次匹配.然后通过基于投票策略的查找方法有效发现合成全景图原始图像序列中对应匹配特征最多的关键图像以进行二次匹配,从而将多图像大数据量特征匹配过程转换为单图像小数据量特征匹配过程进而达到提高特征匹配的稳定性目标,较好实现了特征匹配速度与稳定性的平衡.最后实验表明,在全景图能够覆盖的全景子空间内,本文方法确实能够达到稳定的特征匹配效果.

1 算法概述

算法分为离线与在线2个阶段,其中离线阶段为合成全景图像与提取特征,包括3个步骤:①获取原始图像序列,采用全景图技术合成全景图;②利用SIFT方法获取全景图与原始图像序列特征集;③扩展Kd树,并利用该结构组织特征点集并建立特征对应关系,完成全景图冗余特征剔除.

在线阶段包括实时图像序列SIFT特征提取和基于全景图的关键图像选取与匹配等部分.其

中关键图像选取与匹配部分首先根据离线阶段建立的全景图与原始图像序列对应关系,采用投票策略查找匹配特征点数最多的原始图像即为所求的关键图像,然后利用该图像进一步完成基于关键图像的特征匹配并在匹配过程中采用随机抽样一致算法(RANSAC, RANdom SAmple Consensus)^[8-9]等技术提高特征匹配的鲁棒性.

2 全景-原始图像序列特征对应关系

为了有效地实现在线阶段关键图像的选取并提高特征匹配的稳定性,离线阶段需要建立全景图特征与原始图像序列特征之间的对应关系.

如图1所示,全景映射过程^[7]中,不同原始图像特征点被映射到同一个全景图位置,通过该映射关系可以建立全景图与原始图像序列间的特征对应.鉴于全景合成过程中存在误差,本文给出了一种基于扩展Kd树匹配的特征对应方法.

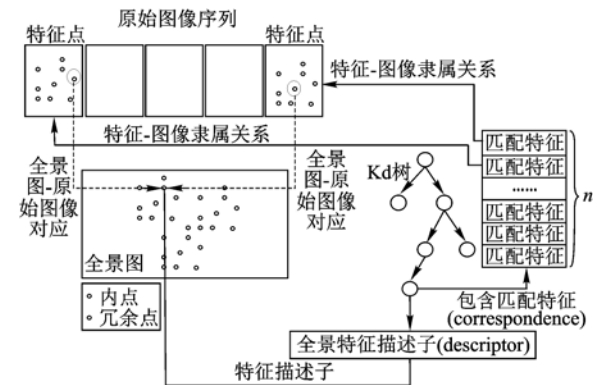


图1 全景-原始图像序列特征对应关系

首先针对Kd树作如下扩展,使其包含的每一个特征都包含如下信息: $feature = \{ D_{descriptor}, I_{image}, C_{correspondence}, n \}$. 其中, $D_{descriptor}$ 为特征描述子, I_{image} 指示该特征所隶属的图像,每一个 $C_{correspondence}$ 都是一个 $feature$ 类型的指针,用以指示与该特征匹配的原始图像特征, n 为整数,指示与该特征匹配的特征数量. 通过将匹配成功特征挂接到该全景图特征的 $C_{correspondence}$ 中并更新 n 大小,从而精确地记录了全景-原始图像序列特征对应关系. 算法如下.

算法1 全景-参考图像序列特征对应.

Input:

- 1) n 幅图像包含的特征点集合 $F[n]$;
- 2) 全景图对应特征点集 P .

Output:

建立对应关系后的全景图对应特征集 P .

Begin:

- ① 遍历 F , 若完成遍历, 则退出算法, 否则对

每一个 F 中特征 f , 转到步骤②;

② 利用扩展 Kd 树方法组织 P , 与 f 进行特征匹配, 若 P 中存在与 f 匹配的特征 f_{match} , 转入步骤③, 否则转入步骤①;

③ 利用扩展 Kd 数据结构, 将 f 挂接到 f_{match} 中的 $C_{\text{correspondence}}$ 字段中, 完成一次特征对应工作, 转到步骤①.

End

3 全景冗余特征剔除

如图 1 所示, 全景图中存在大量特征点与原始图像序列不存在对应关系, 将这些冗余特征点也组织进 Kd 树中参加特征匹配不但会降低特征匹配的稳定性, 而且会影响特征匹配的速度, 因此, 针对算法 1 建立的全景图对应特征集, 有必要进行冗余特征的剔除工作. 算法如下.

算法 2 全景图冗余特征剔除.

Input:

全景图对应特征点集 P .

Output:

提出冗余特征全景图对应特征点集 P' .

Begin:

1) 遍历 P , 若完成遍历, 则退出算法, 否则对每一个 P 中特征 f , 转到步骤 2);

2) 检测 f 中的 $C_{\text{correspondence}}$ 字段, 如果该字段为空, 转到步骤 1), 否则将 f 添加进 P' 中, 然后转步骤 1).

End

根据算法 1 建立的全景图特征对应关系, 可以充分利用 $C_{\text{correspondence}}$ 信息进行冗余特征的剔除工作. 后继实验表明, 剔除特征量平均达到 60% ~ 80%, 从而能够有效减少匹配特征数量.

4 关键图像识别与匹配

本文采用投票策略选取关键图像. 算法如下.

算法 3 基于投票策略关键图像识别算法.

Input:

- 1) 全景图特征集合 P' ;
- 2) 实时图像特征集合 F ;
- 3) 图像计数集合 C .

Output:

关键图像.

Begin:

① 遍历 F , 若完成遍历, 则转步骤④, 否则对每一个 F 中特征 f , 转到步骤②;

② 将全景图特征集合 P' 用 Kd 树组织, 与 f 进行特征匹配, 若 P' 存在与 f 匹配的特征 f_{match} , 转入步骤③, 否则转入步骤①;

③ 遍历 f_{match} 中的 $C_{\text{correspondence}}$ 字段, 对每一个 $f_{\text{match}} - > C_{\text{correspondence}}$, 为该特征对应图像 i 投一票 $C[i]++$; 转步骤①;

④ 选取 C 中对应最大元素 i 所指图像为关键图像.

End

如算法 3 所示, 整个搜索算法基于投票机制, 即对实时获取图像, 遍历该图像所有特征点, 然后将每一个特征点与离线采用 Kd 树组织良好的剔除冗余点全景图特征集做匹配并利用 RANSAC^[8-9] 等技术进行外点剔除. 对于匹配成功的全景图特征点 f_{match} , 搜索该特征 $C_{\text{correspondence}}$ 字段中包含的所有对应原始图像特征, 并为该原始图像投一票. 遍历完成后票数最多的图像即是所要选择的关键图像.

选取关键图像后, 采用该关键图像进行二次匹配并利用 RANSAC^[8-9] 等技术进行外点剔除, 从而能够有效将多图像大数据量特征匹配过程转换为单图像小数据量特征匹配过程进而达到提高特征匹配的稳定性目标, 同时相比于原始图像序列, 全景图包含特征数要少得多, 在一定程度上能够提高特征匹配的速度.

5 算法分析与试验

5.1 算法分析

本文离线阶段与在线阶段时间都主要消耗在基于 Kd 树的特征匹配上, Kd 树为二叉平衡树^[4], 服从标准的对数时间复杂度. 其中在线阶段复杂度为 $|F| \times O(\lg n)$, n 为全景图特征点数, $|F|$ 为实时图像特征数. 由于本文方法有效剔除了全景图冗余特征, 相比原始图像序列包含特征来说, 全景图匹配特征数量 n 要少得多, 从而能够有效提高特征跟踪的稳定性与实时性.

5.2 试验

在一台普通桌面 PC 机器上实现了上述算法, 硬件配置环境为 Intel Core 2 Duo 2.66 GHz 处理器, 软件环境为 Windows XP 平台, 采用 VC2005. NET 平台开发, 开发过程中使用了 OpenCV 库. 图像序列统一采用 640×480 像素大小图片.

采集了一组室内桌面工作环境图像序列与室外图像序列, 每一幅图像特征点数为 1 000 ~ 2 000. 图 2a 和图 2b 分别为随机选取的室内、室外

场景图像序列示意图,图2c和图2d为其对应的全景图。

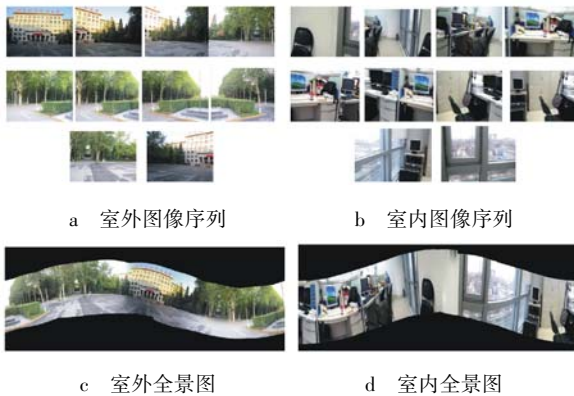


图2 图像序列示意图

为验证全景图-原始图像序列特征对应关系,对于室内、室外场景,都采用30幅图像合成全景图,图3分别给出了采用室内、外图像序列条件下的全景图-原始图像序列特征对应关系,即原始图像及全景图像匹配特征数与原始图像包含特征数比例与图像序列的对应关系。

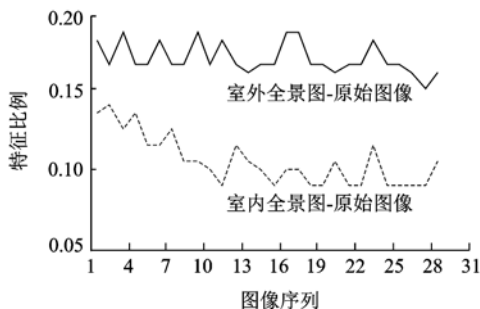


图3 全景-原始图像序列特征对应关系图

由图3可见,全景-原始图像序列间存在着良好的特征对应关系,按每幅图像1500特征点计算,对应特征数量大约为150~250。全景图为 2500×850 像素图像,平均特征数为18000,则对应特征占全景图特征数比例平均为30%且均匀分布在全景图中。其中室外场景特征对应比例要好于室内场景对应比例,这主要是由于SIFT特征提取方法对于旋转保持部分不变性,因此,对于旋转相同角度获取的图像序列,显然室外图像包含场景信息变化幅度要远小于室内场景。结合本文的冗余特征剔除方法,全景图内点数平均为6000左右。鉴于Kd树为二叉平衡树,深度大约为13层,而全景图平均18000特征点,深度为15层。显而易见,冗余特征剔除工作能够有效提高特征匹配的速度。

本文各关键步骤的平均消耗时间如表1所示。显然第1阶段特征匹配时间要远高于第2阶

段,但相比于SIFT特征提取消耗时间来说,上述两特征匹配阶段都不是系统性能瓶颈所在。

表1 平均计算时间

关键步骤	计算时间/ms
SIFT特征提取	750
第1阶段Kd树匹配	50
第2阶段Kd树匹配	40

为进一步验证本文方法的有效性,采用图2中室外图像序列进行关键图像识别与匹配验证并将最后匹配效果与文献[5-6]方法进行比较。对于最后的特征匹配效果,本文选取了100幅实时图像进行验证。

如图4所示,在全景图所能够覆盖的全景子空间内,显然本文方法要明显好于文献[5]方法。相比于文献[6]方法,由于本质上都是转化为单幅图像进行特征匹配,因此匹配效果差别不大,但如图示,文献[6]方法在图像30~40之间与70~90之间出现了大量无匹配情况。这主要是由于原始图像序列是随机选择的,其中存在大量冗余特征,从而造成基于Vocabulary树的关键图像选择方法^[6]无法有效选取正确关键图像;相比于文献[6]方法,本文方法要好得多,这主要是因为剔除了大量全景图冗余特征,降低了基于全景图匹配的特征数量,达到了增加特征匹配稳定性目的,从而提高了投票决策的正确率。

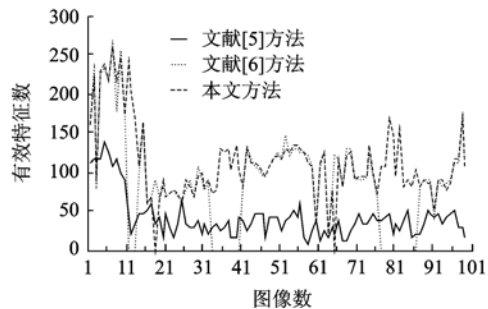


图4 有效特征跟踪效果比较图

6 结论

本文提出一种基于全景子空间的尺度不变特征跟踪方法。方法包括离线阶段基于全景技术的全景子空间自然场景抽象建模和在线阶段基于关键图像识别的特征匹配等2个过程。方法首先利用全景图充分覆盖局部场景信息特性,采用全景图表达自然场景并扩展Kd树建立其与原始图像序列特征对应关系从而有效实现全景图冗余特征剔除。在此基础上,给出一种基于投票策略的关键图像识别方法以进一步完成基于关键图像的两阶段特征匹配。从而将匹配过程由多图像大数据量

特征匹配转换为单图像小数据量特征匹配,较好提高了特征匹配的效果。

实现一种多线程的基于 Kd 树的特征跟踪方法是未来的一个研究内容。另外,本文提出方法适用于小范围场景特征跟踪,随着全景设备的成熟与推广,获取大范围场景空间全景视频序列变得越来越容易,google earth 甚至实现了整个美国主要街景的全景图。因此,利用全景技术给出一种大范围空间特征跟踪技术也是未来的工作内容,一种可能的方法是通过将全景子空间进行互联,并利用外存技术进行预取以实时地实现全景子空间切换,从而实现大范围空间的特征跟踪。

参考文献 (References)

- [1] Lowe D G. Distinctive image features from scale invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60 (2): 91 - 110
- [2] Mikolajczyk K, Schmid C. Scale & affine invariant interest point detectors [J]. Computer Vision, 2004, 60 (1): 63 - 86
- [3] Mikolajczyk K, Schmid C. A performance evaluation of local descriptors [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2005, 27 (10): 1615 - 1630
- [4] Beis J, Lowe D G. Shape indexing using approximate nearest neighbour search in high-dimensional spaces [C]//Proceedings of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington DC: IEEE Computer Society, 1997: 1000 - 1006
- [5] Skrypnik I, Lowe D G. Scene modelling, recognition and tracking with invariant image features [C]//Proceedings of the 3th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Washington DC: IEEE Computer Society, 2004: 110 - 119
- [6] Dong Zilong, Zhang Guofeng, Jia Jiaya, et al. Keyframe-based real-time camera tracking. [C]//Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Computer Vision. Kyoto: IEEE Computer Society, 2009: 1538 - 1545
- [7] Brown M, Lowe D G. Recognising panoramas [C]//Proceedings of the 9th International Conference on Computer Vision. Nice, France: IEEE Computer Society, 2003: 1218 - 1225
- [8] Fischler M A, Bolles R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography [J]. Communications of the ACM, 1981, 24 (6): 381 - 395
- [9] Hartley R, Zisserman A. Multiple view geometry in computer vision [M]. 2nd Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2004

(编辑:文丽芳)

(上接第 1180 页)

从图 7 可以看到,在频率高于 400 MHz 的情况下,平行板的电源总线结构的辐射电场超过标准 EN55022 class B 的值,特别是当频率越靠近谐振频率,其超标就越严重。因此,应该注意由电源总线结构带来的电磁兼容性问题,特别是辐射发射问题。

3 结论

本文在传统腔模辐射公式的基础上,利用傅氏级数得出单一级数形式的电路板辐射表达式。通过分析和比较,单一级数方法和双级数方法的计算吻合度很好,但是利用单一级数方法对单个频点的计算时间仅与模式数 N 的一次方成正比,比与模式数平方成正比的传统双级数算法计算时间更快。同样,该方法也具有很快的收敛速度,仅仅需要级数的前几项和便可以达到很高的收敛效果,相对于双重级数和的腔模方法,单一级数的收敛效果和精度是可以用传统级数来衡量。通过分析可以看到,类似于平行板结构的电源总线结构很容易带来电磁兼容性问题特别是辐射发射问题。

但是该方法和传统腔模算法一样目前还只能

用于分析简单形状电源总线的辐射发射,还无法分析不规则形状或者器件加载的电源总线的辐射发射问题,这些问题可以作为以后研究的重点。

参考文献 (References)

- [1] Lin D B, Wu C T, Hung K C, et al. A fast algorithm to calculate the transfer impedance of an arbitrarily shaped power bus [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2009, 19 (3): 125 - 127
- [2] Wang C, Mao J K, Selli G, et al. An efficient approach for power delivery network design with closed-form expressions for parasitic interconnect inductances [J]. IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2006, 29 (2): 320 - 334
- [3] Wang Z L, Wada O, Toyota Y, et al. Convergence acceleration and accuracy improvement in power bus impedance calculation with a fast algorithm using cavity modes [J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2005, 47 (1): 2 - 9
- [4] Leone M, Fischer T, Albach M. Investigation of the radiation from parallel-plane power-bus structures on printed circuit boards [J]. Electrical Engineering, 2003, 85 (2): 113 - 118
- [5] Leone M. The radiation of a rectangular power-bus structure at multiple cavity-mode resonances [J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2003, 45 (3): 486 - 492
- [6] Okoshi T. Planar circuits for microwaves and lightwaves [M]. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1985

(编辑:娄嘉)