



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116863086 A

(43) 申请公布日 2023. 10. 10

(21) 申请号 202311129240.7

(22) 申请日 2023.09.04

(71) 申请人 武汉国遥新天地信息技术有限公司

地址 430073 湖北省武汉市东湖开发区高新大道999号

(72) 发明人 陈超 石海军 吕勇 周峰

甘生强

(51) Int. Cl.

G06T 17/00 (2006.01)

G06F 30/10 (2020.01)

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 111/04 (2020.01)

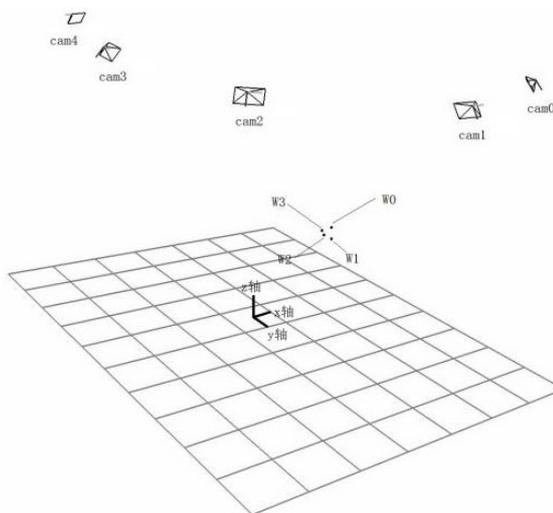
权利要求书2页 说明书10页 附图7页

(54) 发明名称

一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法

(57) 摘要

本发明涉及光学动作捕捉系统刚体稳定重建技术领域,且公开了一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,包括以下步骤:1) 通过利用极线的夹角和距离来剔除重叠的极线的方法,识别并剔除极线重叠的异常情况,减少刚体重建出现错点的问题。2) 多视角特征点匹配的方法实现了高优先级的相机先作为基准相机进行多视角特征点匹配,优先进行匹配的基准点能找齐同一个匹配组的所有相机,减少匹配组遗漏相机,导致重建时出现漏点和重复点的问题。提升刚体重建的完整性和稳定性。



1. 一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 剔除重叠的极线包括:

A1: 计算一个相机的所有点在其他相机中的极线方程 l_1, l_2, \dots, l_i ;

A2: 对极线两两比较重叠性,先计算极线方程之间的夹角,如果夹角小于 T_{angle} ,则判断极线近似平行,继续判断极线间的距离,计算直线在图像上的最小距离,如果最小距离小于阈值 T_{distanse} ,则判断极线方程重叠,其中最小距离的阈值 T_{distanse} 为marker点在图像上的平均直径;

2) 特征点匹配包括:

B1: 基准相机、基准点优先级排序;

B2: 候选相机优先级排序;

B3: 迭代三相机空间配准;

所述B3中迭代三相机空间配准,其特征是包括以下步骤:

B3-1: 先按照优先级顺序,依次选择基准相机的基准点,再选择基准点对应的协作相机和协作点,最后按照优先级选择待匹配相机和待匹配点;

B3-2: 三相机空间匹配,先计算基准点和协作点在待匹配相机极线的交点 P_{cross} ;然后计算候选点与 P_{cross} 的距离 d ,最后设置阈值 threshold1 ,如果 d 小于等于 threshold1 ,则匹配成功,基准点、协作点和待匹配点组成候选匹配组,并且候选匹配组中的相机和点不再参与后续的匹配过程;

B3-3: 重复B3-1到B3-2过程,按照候选相机的优先级,遍历待匹配相机进行匹配,按照优先级顺序,依次更新待匹配相机和待匹配点,重复S2的三相机空间匹配过程,将匹配成功的待匹配相机和待匹配点添加到候选匹配组中,直到所有的待匹配相机完成匹配,得到最终的匹配组;

B3-4: 重复B3-1到B3-3过程,按照基准点优先级,遍历相机中的每一个基准点进行匹配,得到第一优先级基准相机的每一个基准点的匹配组;

B3-5: 重复B3-1到B3-4过程,按照基准相机优先级,遍历每一个基准相机,得到每一个基准相机的匹配组;

B3-6: 两两比较B3-5得到的匹配组,如果匹配组中有交集,则合并两个匹配组,如果匹配组的点少于3个,则判断为无效匹配组,进行删除;

3) 三维点重建包括:

C1: 利用匹配组进行三维重建;

C2: 去除重建点集中的离群点;

C3: 合并重建点集中的重复点;

4) 刚体marker点出现抖点的位置纠正包括:

D1: 记录上一帧刚体位置信息 CW ,其中包括 n 个marker点的位置 W_0, W_1, \dots, W_n ,以及当前帧刚体位置信息 CW ,包括 n 个marker点的位置 W_0, W_1, \dots, W_n ;

D2: 遍历 CW 中的每个点,在 CW 查找最近点,并计算最近的距离 d ,以marker点半径作为阈值 threthold2 ,如果 $d > \text{threthold2}$ 则判断marker点移动;

D3: 如果当前帧部分marker点移动,则判断为存在抖点的现象,使用上一帧最近点的位置代替该marker当前帧的位置。

2. 根据权利要求1所述的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,其特征在于,所述B1中基准相机、基准点优先级排序,其特征是包括以下步骤:B1-1:按照有效基准点数进行基准相机排序,基准点至少在两个相机中有候选点,记为有效基准点,计算每个相机的有效基准点数,点的数量越高,则相机的优先级越高;如果有效基准点数为0,则从序列中删除,如果有多个相机的有效基准点数量相同,则进行候选相机数排序,B1-2:按照候选相机数之和进行基准相机排序,基准点在其他相机上有候选点,则其他相机为该基准点的候选相机,一个基准相机中所有基准点的候选相机数之和越大则基准相机的优先级越高,如果B1-1的排序中,存在有效基准点数相同,则根据候选相机数进行排序,B1-3:按照候选相机数进行排序基准点排序,为保证先匹配的基准点能尽可能找全候选点,对同一个相机的基准点按照候选相机数降序排序,如果候选相机数量为0,则从序列中删除。

3. 根据权利要求1所述的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,其特征在于,所述B2中候选相机优先级排序,其特征是具体步骤如下:B2-1:按照候选点到极线距离之和进行候选相机排序,计算每个基准点候选相机的候选点距离之和,升序排序,得到候选相机的序号,B2-2:候选相机中优先级最高的相机作为协作相机,其他相机作为待匹配相机。

4. 根据权利要求1所述的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,其特征在于,所述C1中利用匹配组进行三维重建,其特征是包括以下步骤:

C1-1:利用三角测量对匹配组中的点进行两两重建,得到候选的三维点,将三维点重投影到匹配组的其他相机上,计算在其他相机上的重投影误差;如果误差大于marker点的直径,则判断为重建错误的点,进行剔除;最后用两两重建的三维点的平均点作为最终三维重建点;

C1-2:每个匹配组重建一个三维点,所有的三维点构成重建点集。

5. 根据权利要求1所述的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,其特征在于,所述C2中去除重建点中的离群点,其特征包括以下步骤:C2-1:将重建点集的距离假设构成高斯分布,计算所有重建点到其他点的距离的平均值 μ 和标准差 σ ,C2-2:设标准差倍数为std,当一个点到其他点的平均距离d在范围 $(\mu - \sigma \cdot std, \mu + \sigma \cdot std)$ 内时保留该点,不在范围内则定义离群点进行删除。

6. 根据权利要求1所述的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,其特征在于,所述C3中合并重建点集中的重复点,其特征是包括以下步骤:C1:计算所有重建点到其他点的距离的平均值 μ ,C2:设邻近阈值为n,当一个点最近点的距离d小于 $n \cdot \mu$ 则判断为重复点,使用两个点的平均点代替。

一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光学动作捕捉系统技术领域,具体为一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法。

背景技术

[0002] 光学式动作捕捉凭借着采集精度高、可实时反馈等优势已成为运动捕捉技术中的重要研究分支。常见的光学式运动捕捉大多基于计算机视觉原理,从理论上说,对于空间中的一个点,只要它能同时为两部相机所见,则根据同一时刻两部相机所拍摄的图像和相机参数,可以确定这一时刻该点在空间中的位置,而当相机以足够高的速率连续拍摄时,从图像序列中就可以得到该点的三维运动轨迹。三维空间坐标数据被计算机识别后,可以应用在数字沙盘、动画制作、步态分析、生物力学、人机工程等领域。

[0003] 采用标记点的光学动作捕捉系统往往包括光学标记点、动作捕捉相机(简称动捕相机)、信号传输设备、数据处理中心等功能单元。当运动物体粘贴上标记点并运动时,多个动捕相机会从不同角度同时拍摄运动物体,获取其上标记点的图像,并将拍摄到的图像进行预处理,获取标记点的二维位置信息;于此同时,信号传输设备将标记点的二维位置信息实时地传输至数据处理中心,数据处理中心将根据预设的算法(如立体视觉匹配算法等)计算出标记点的三维空间坐标(简称三维重建),从而获得运动物体(由多个marker点组成,简称刚体)的运动轨迹,实现运动物体的空间定位。

[0004] 多视角特征点匹配是实现刚体重建的最大挑战,它是指在多视图中搜索同一三维空间点在这些视图中的投影点的过程,这些投影点被称为匹配点或对应点。对基于标记的光学动作捕捉技术来说,多视角特征点匹配的目标是将相同时刻各个相机捕捉的同一标记点分配到相同匹配组。由于缺乏图像特征信息支持,基于位置信息的多视角特征点匹配大多依赖对极几何理论。多视角特征点匹配过程中,各种图像噪声带来的误差使得在多视角特征点匹配过程中极易产生漏匹配和误匹配现象。漏匹配和误匹配不但会降低刚体点的三维重建精度,还会导致刚体重建中出现漏点,错点,重复点,抖点的问题。

[0005] 光学动作捕捉系统重建刚体点三维坐标时,常常会遇到漏点、错点、重复点、抖点的问题。这些问题会导致刚体的三维坐标计算错误和产生偏差,从而导致刚体的姿态计算存在明显误差,影响动作捕捉系统的稳定性,故而提出一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法以解决上述问题。

发明内容

[0006] 针对现有技术的不足,本发明提供了一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,具备提升刚体重建的稳定性等优点,解决了光学动作捕捉系统重建时,出现的漏点、错点、重复点、抖点的问题。

[0007] 为实现上述提升刚体重建的稳定性目的,本发明提供如下技术方案:一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,包括以下步骤:

1) 剔除重叠的极线包括:

A1: 计算一个相机的所有点在其他相机中的极线方程 l_1, l_2, \dots, l_i ;

A2: 对极线两两比较重叠性, 先计算极线方程之间的夹角, 如果夹角小于 T_{angle} , 则判断极线近似平行, 继续判断极线间的距离, 计算直线在图像上的最小距离, 如果最小距离小于阈值 T_{distance} , 则判断极线方程重叠, 其中最小距离的阈值 T_{distance} 为marker点在图像上的平均直径;

2) 特征点匹配包括:

B1: 基准相机、基准点优先级排序;

B2: 候选相机优先级排序;

B3: 迭代三相机空间配准;

所述B3中迭代三相机空间配准, 其特征是包括以下步骤:

B3-1: 先按照优先级顺序, 依次选择基准相机的基准点, 再选择基准点对应的协作相机和协作点, 最后按照优先级选择待匹配相机和待匹配点;

B3-2: 三相机空间匹配, 先计算基准点和协作点在待匹配相机极线的交点 P_{cross} ; 然后计算候选点与 P_{cross} 的距离 d , 最后设置阈值 threshold_1 , 如果 d 小于等于 threshold_1 , 则匹配成功, 基准点、协作点和待匹配点组成候选匹配组, 并且候选匹配组中的相机和点不再参与后续的匹配过程;

B3-3: 重复B3-1到B3-2过程, 按照候选相机的优先级, 遍历待匹配相机进行匹配, 按照优先级顺序, 依次更新待匹配相机和待匹配点, 重复S2的三相机空间匹配过程, 将匹配成功的待匹配相机和待匹配点添加到候选匹配组中, 直到所有的待匹配相机完成匹配, 得到最终的匹配组;

B3-4: 重复B3-1到B3-3过程, 按照基准点优先级, 遍历相机中的每一个基准点进行匹配, 得到第一优先级基准相机的每一个基准点的匹配组;

B3-5: 重复B3-1到B3-4过程, 按照基准相机优先级, 遍历每一个基准相机, 得到每一个基准相机的匹配组;

B3-6: 两两比较B3-5得到的匹配组, 如果匹配组中有交集, 则合并两个匹配组, 如果匹配组的点少于3个, 则判断为无效匹配组, 进行删除;

3) 三维点重建包括:

C1: 利用匹配组进行三维重建;

C2: 去除重建点集中的离群点;

C3: 合并重建点集中的重复点;

4) 刚体marker点出现抖点的位置纠正包括:

D1: 记录上一帧刚体位置信息 CW , 其中包括 n 个marker点的位置 W_0, W_1, \dots, W_n , 以及当前帧刚体位置信息 CW , 包括 n 个marker点的位置 W_0, W_1, \dots, W_n ;

D2: 遍历 CW 中的每个点, 在 CW 查找最近点, 并计算最近的距离 d , 以marker点半径作为阈值 threthold_2 , 如果 $d > \text{threthold}_2$ 则判断marker点移动;

D3: 如果当前帧部分marker点移动, 则判断为存在抖点的现象, 使用上一帧最近点的位置代替该marker当前帧的位置。

[0008] 进一步, 所述B1中基准相机、基准点优先级排序, 其特征是包括以下步骤: B1-1: 按

照有效基准点数进行基准相机排序,基准点至少在两个相机中有候选点,记为有效基准点,计算每个相机的有效基准点数,点的数量越高,则相机的优先级越高;如果有效基准点数为0,则从序列中删除,如果有多个相机的有效基准点数量相同,则进行候选相机数排序,B1-2:按照候选相机数之和进行基准相机排序,基准点在其他相机上有候选点,则其他相机为该基准点的候选相机,一个基准相机中所有基准点的候选相机数之和越大则基准相机的优先级越高,如果B1-1的排序中,存在有效基准点数相同,则根据候选相机数进行排序,B1-3:按照候选相机数进行排序基准点排序,为保证先匹配的基准点能尽可能找全候选点,对同一个相机的基准点按照候选相机数降序排序,如果候选相机数量为0,则从序列中删除。

[0009] 进一步,所述B2中候选相机优先级排序,其特征是具体步骤如下:B2-1:按照候选点到极线距离之和进行候选相机排序,计算每个基准点候选相机的候选点距离之和,升序排序,得到候选相机的序号,B2-2:候选相机中优先级最高的相机作为协作相机,其他相机作为待匹配相机。

[0010] 进一步,所述C1中利用匹配组进行三维重建,其特征是包括以下步骤:

C1-1:利用三角测量对匹配组中的点进行两两重建,得到候选的三维点,将三维点重投影到匹配组的其他相机上,计算在其他相机上的重投影误差;如果误差大于marker点的直径,则判断为重建错误的点,进行剔除;最后用两两重建的三维点的平均点作为最终三维重建点;

C1-2:每个匹配组重建一个三维点,所有的三维点构成重建点集。

[0011] 进一步,所述C2中去除重建点中的离群点,其特征包括以下步骤:C2-1:将重建点集的距离假设构成高斯分布,计算所有重建点到其他点的距离的平均值 μ 和标准差 σ ,C2-2:设标准差倍数为std,当一个点到其他点的平均距离d在范围 $(\mu - \sigma \cdot std, \mu + \sigma \cdot std)$ 内时保留该点,不在范围内则定义离群点进行删除。

[0012] 进一步,所述C3中合并重建点集中的重复点,其特征是包括以下步骤:C1:计算所有重建点到其他点的距离的平均值 μ ,C2:设邻近阈值为n,当一个点最近点的距离d小于 $n \cdot \mu$ 则判断为重复点,使用两个点的平均点代替。

[0013] 与现有技术相比,本发明提供了一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,具备以下有益效果:

1、该光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,通过利用极线的夹角和距离来剔除重叠的极线的方法,识别并剔除极线重叠的异常情况,减少刚体重建出现错点的问题,多视角特征点匹配的方法实现了高优先级的相机先作为基准相机进行多视角特征点匹配,优先进行匹配的基准点能找齐同一个匹配组的所有相机,减少匹配组遗漏相机,导致重建时出现漏点和重复点的问题。

[0014] 2、该光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,通过三维点重建的方法中,识别并去除重建点集中的离群点,能将重建的错误点识别并进行剔除;合并重复点能有效消除重复点,刚体marker点出现抖点的位置纠正办法,能有效识别出抖点的问题,并对抖点进行纠正,解决了光学动作捕捉系统重建时,出现的漏点、错点、重复点、抖点的问题。

附图说明

[0015] 图1为本发明提出的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法的对极几何基本模型；

图2为本发明提出的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法的极线和匹配点的对应关系；

图3为本发明提出的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法的双极线约束示意图；

图4为本发明提出的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法的三相机特征点匹配示意图；

图5为本发明提出的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法的极线与候选匹配点的距离矩阵图；

图6为本发明提出的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法的去除重叠极线的距离矩阵图；

图7为本发明提出的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法的基准点与候选点的匹配矩阵图；

图8为本发明提出的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法的候选点的距离矩阵图；

图9为本发明提出的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法的相机和点的匹配优先级排序图；

图10为本发明提出的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法的二维观察点的匹配组示意图；

图11为本发明提出的一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法的三维重建点结果示意图。

具体实施方式

[0016] 下面将结合本发明的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

实施例一

[0017] 一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,包括以下步骤:

1) 对极几何是一种基于针孔模型且仅存在于两个视图之间的一种特殊几何关系,它独立于场景结构,只依赖于相机的内外参数。对极几何常用于在多视角特征点匹配时搜索匹配点,它将搜索区域从整幅图像缩减至一条直线;

2) 对极几何的基本模型。其中 O_1 和 O_2 分别表示两个相机的光心,它们的连线表示基线,极点为基线与像平面的交点,分别记作 e_1 和 e_2 ,极平面是一个由三维点 P 和光心 O_1 和 O_2 定义的平面,记作 π , l_1 和 l_2 是极线,它是极平面与像平面相交的直线,极线 l_1 是相机2的光心 O_2 和 P 的连线在另一个相机成像面上的投影,极线 l_1 则相反,因此相机1中的点在相机2的成像

面上能够找到一条与之相对应的极线,相机2成像面上与该点相匹配的点必定位于此极线上,这样便在多视角特征点匹配时将匹配点的搜索区域缩小到一条直线上;

3)理想情况下极线与投影点的对应关系,通过极线约束,已知空间点在相机1成像面的投影点 P_1^1 、 P_1^2 、 P_1^3 ,即可以确定其在相机2的极线 l_1 、 l_2 、 l_3 ,并且 P_2^1 、 P_2^2 、 P_2^3 正好在 l_1 、 l_2 、 l_3 线上,常出现错误匹配的情况,其一,由于相机的内参和外参存在误差,观察点常在极线附近,如 p_2^1 和 p_2^3 则远离极线,因此很容易被漏检,从而导致漏配现象,其二,极线和观察点有多对一的情况,例如 P_2^2 同时位于 l_2 和 l_3 两条极线上,其三,极线和观察点有一对多的情况,例如 P_2^1 、 P_2^2 同时位于 l_1 极线上,其四,当刚体点组成的平面与极平面平行时,会出现多根极线和多个观测点重叠的情况;

4)为了实现观察点在极线附近时的多视角特征点匹配,使用双极线约束来匹配观察点和极线,对于相机1和相机2中相匹配的两个二维观察点 P_1^1 和 P_2^1 ,理想情况下, P_2^1 应该位于在相机2的极线 l_1 上,然而,在误差影响下,实际情形中点 p_2^1 通常只是位于极线附近,甚至可能离极线较远。双极线约束能够用于确定候选匹配点的搜索区域,该区域由两条与极线距离为 θ 的平行线所确定,只有位于该区域内的二维观察点才能被选为候选匹配点。 θ 是二维观察点到极线距离的阈值,即双极线约束的阈值,如图4中极线为 P_1^1 在相机2中对应的极线 l_1 , P_2^1 和 P_2^2 均位于搜索区域内,因此 P_2^1 和 P_2^2 均为 P_1^1 的候选匹配点;

5)利用双极线约束筛选候选匹配点,将所有点相互之间候选匹配关系记录在匹配矩阵中,匹配矩阵创建算法选择单相机中某点为基准点开始候选匹配点筛选过程,首先计算该点在其他相机中的极线方程,随后依次计算每个相机中二维观察点到相应极线的距离,遍历该相机所有二维观察点后,通过分块矩阵记录其他相机所有点到基准点极线的距离,依次对所有相机所有点进行上述操作,得到一个分块矩阵组成的距离矩阵(如附图6所示),矩阵存储了所有镜头中所有点到极线的距离;

6)为了避免出现附图3中,多个极线出现重叠,导致多视角特征点匹配出现误匹配,本发明公开一种利用极线之间的夹角和距离来剔除重叠的极线包括:

A1:计算一个相机的所有点在其他相机中的极线方程 l_1 、 l_2 、...、 l_i ;

A2:对极线两两比较重叠性。先计算极线方程之间的夹角,如果夹角小于 1° ,则判断极线近似平行,继续判断极线间的距离。计算直线在图像上的最小距离,如果最小距离小于7,则判断极线方程重叠。其中最小距离的阈值为marker点的平均直径;

A3:对于重叠的极线,在距离矩阵中,将两个极线的距离值改为99。

[0018] 其中,设置距离阈值10,通过阈值筛选则匹配值记为1,没有通过阈值则匹配值记为0,得到只有0和1的匹配矩阵,记录了所有相机的所有二维观察点之间的候选匹配关系,可用于后续的多相机匹配。

[0019] 需要说明的是,利用极线的夹角和距离来剔除重叠的极线的方法,识别并剔除极线重叠的异常情况,减少刚体重建出现错点的问题,多视角特征点匹配的方法实现了高优先级的相机先作为基准相机进行多视角特征点匹配。优先进行匹配的基准点能找齐同一个匹配组的所有相机,减少匹配组遗漏相机,导致重建时出现漏点和重复点的问题,三维点重建的方法中,识别并去除重建点集中的离群点,能将重建的错误点识别并进行剔除;合并重复点能有效消除重复点,刚体marker点出现抖点的位置纠正办法,能有效识别出抖点的问

题,并对抖点进行纠正。

实施例二

[0020] 一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,包括以下步骤:

1) 使用三相机空间匹配实现的三个视角特征点匹配,对极几何会出现一根极线对应多个观察点的情况,这容易导致误匹配从而产生错点的问题, P_2^1 和 P_2^2 都在 l_1 的邻域内,所以 P_2^1 和 P_2^2 均为 P_1^1 的候选匹配点;

2) 如附图4和附图5所示,在三相机空间匹配过程中,起始搜索的相机1称为基准相机;基准相机中用于生成极线的点 P_1^1 、 P_1^2 、 P_1^3 称为基准点;相机2和相机3都成为候选相机,候选相机中的点称为候选点;具体的,相机2称为待匹配相机, P_2^1 、 P_2^2 、 P_2^3 称为待匹配点;相机3称为协作相机, P_3^2 称为协作点;

3) 为了解决这个问题引入相机3, P_1^1 在相机3中查找候选点 P_3^2 ,通过极线约束计算 P_3^2 在相机2的极线 L_1 ,如图5所示。在相机2图像中, l_1 与 L_1 产生交点 P_{cross} 。 P_1^1 的候选匹配点 P_2^1 位于交点周围搜索半径内,则三个相机中的观察点匹配成功, P_2^1 、 P_2^2 、 P_2^3 这三个观察点形成候选匹配组;

4) 相机数量大于三个时,为了找到 P_1^1 在所有相机的匹配点,需要在上述的候选匹配组的基础上,使用 P_1^1 和 P_3^2 在剩下的相机中继续进行三相机空间匹配,直到所有的相机完成空间匹配,最终该点在所有相机的匹配点记录在匹配组中,完成一个点的匹配,则将匹配组中的所有点不再参加后续的匹配过程。

[0021] 其中,对相机1中的二维图像点重复上述过程。当基准相机中的所有图像点采用相同的方式处理后,选择另一相机作为基准相机,并且与剩余的未匹配的二维观测点一样地重复相同的过程。

[0022] 需要说明的是,利用极线的夹角和距离来剔除重叠的极线的方法,识别并剔除极线重叠的异常情况,减少刚体重建出现错点的问题,多视角特征点匹配的方法实现了高优先级的相机先作为基准相机进行多视角特征点匹配。优先进行匹配的基准点能找齐同一个匹配组的所有相机,减少匹配组遗漏相机,导致重建时出现漏点和重复点的问题,三维点重建的方法中,识别并去除重建点集中的离群点,能将重建的错误点识别并进行剔除;合并重复点能有效消除重复点,刚体marker点出现抖点的位置纠正办法,能有效识别出抖点的问题,并对抖点进行纠正。

实施例三

[0023] 一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,包括以下步骤:

1) 特征点匹配包括:

B1: 基准相机、基准点优先级排序;

B2: 候选相机优先级排序;

B3: 迭代三相机空间配准;

B1中基准相机、基准点优先级排序,其特征是包括以下步骤:

B1-1: 按照有效基准点数进行基准相机排序,基准点至少在两个相机中有候选点,记为有效基准点,计算每个相机的有效基准点数,点的数量越高,则相机的优先级越高;如

果有效基准点数为0,则从序列中删除,如果有多个相机的有效基准点数量相同,则进行候选相机数排序;

从上往下统计cam0、cam1、cam2、cam3、cam4的有效基准点数分别为4、4、4、0、4,因此将相机的顺序cam0、cam1、cam2、cam4、cam3;由于cam3的有效基准点数为0,因此删除cam3;最终的相机序列为cam0、cam1、cam2、cam4;由于cam0、cam1、cam2、cam4的有效基准点数都为4,因此还需要进一步排序;

B1-2:按照候选相机数之和进行基准相机排序,基准点在其他相机上有候选点,则其他相机为该基准点的候选相机,一个基准相机中所有基准点的候选相机数之和越大则基准相机的优先级越高,如果B1-1的排序中,存在有效基准点数相同,则根据候选相机数进行排序;

从上往下统计,cam0有5个点,p0、p1、p2、p3的候选相机数分别为3、3、4、4,相机cam0的候选相机数之和为14。同理,cam1、cam2、cam3、cam4的候选相机之和分别为9、9、0、11。S1中cam0、cam1、cam2、cam4的有效基准点数相同,使用候选相机数之和进行降序排列,最终排序为cam0、cam4、cam1、cam2;

B1-3:按照候选相机数进行排序基准点排序,为保证先匹配的基准点能尽可能找全候选点,对同一个相机的基准点按照候选相机数降序排序,如果候选相机数量为0,则从序列中删除;

cam0有5个点,p0、p1、p2、p3、p4的候选相机数分别为3、3、4、4,因此候选点排序为p2、p3、p0、p1。同理,对cam4、cam1、cam2的基准点进行排序。最终输出的基准相机和基准点序号如附图10所示,基准相相机和基准点的优先级从上往下排列;

匹配矩阵记录了所有相机的所有二维观察点之间的候选匹配关系,匹配矩阵值为1则说明该点为候选点,距离矩阵记录了候选点到基准点极线的距离,距离越小,基准点和候选点为同一组点的概率越大。取匹配矩阵值为1的候选点的距离组成附图9;

B2-1:按照候选点到极线距离的之和进行候选相机排序,计算每个基准点候选相机的候选点距离之和,升序排序,得到候选相机的序号;

B2-2:候选相机中优先级最高的相机作为协作相机,其他相机作为待匹配相机;

cam0点p0有三个候选相机,候选相机cam2的候选点为p0,距离为0;候选相机cam3的候选点为p1,距离为2,候选相机cam4的候选点为p0和p2,距离分别为7和2,距离之和为9,因此cam0点p0的候选相机顺序为cam2、cam3、cam4,其中,cam2作为协作相机,cam3、cam4作为待匹配相机。同理,可对其他基准点的候选相机排序,完整排序结果见附图10,候选相机的顺序按照优先级从上往下排列;

B3中迭代三相机空间配准,其特征是包括以下步骤:

B3-1:先按照优先级顺序,依次选择基准相机的基准点。再选择基准点对应的协作相机和协作点,最后按照优先级选择待匹配相机和待匹配点。如附图10所示,先选择cam0点p2,再选择协作相机cam1和协作点cam1点p1,最后选择待匹配相机cam2和待匹配点cam2点p3;

B3-2:三相机空间匹配,先计算基准点和协作点在待匹配相机极线的交点 P_{cross} ;然后计算候选点与 P_{cross} 的距离d,最后设置阈值threshold1,如果d小于等于threshold1,则匹配成功,基准点、协作点和待匹配点组成候选匹配组,并且候选匹配组中的相机和点不再参

与后续的匹配过程；

如果待匹配相机存在多个待匹配点，则选择距离最近的待匹配点加入候选匹配组，cam0点p2的待匹配相机cam4存在两个候选点p0和p3，在匹配过程中，比较p0和p3到的距离，将距离更小的p3加入到匹配组中；

B3-3:重复B3-1到B3-2过程，按照候选相机的优先级，遍历待匹配相机进行匹配，按照优先级顺序，依次更新待匹配相机和待匹配点，重复S2的三相机空间匹配过程，将匹配成功的待匹配相机和待匹配点添加到候选匹配组中，直到所有的待匹配相机完成匹配，得到最终的匹配组；

B3-4:重复B3-1到B3-3过程，按照基准点优先级，遍历相机中的每一个基准点进行匹配，得到第一优先级基准相机的每一个基准点的匹配组；

B3-5:重复B3-1到B3-4过程，按照基准相机优先级，遍历每一个基准相机，得到每一个基准相机的匹配组；

B3-6:两两比较B3-5得到的匹配组，如果匹配组中有交集，则合并两个匹配组，如果匹配组的点少于3个，则判断为无效匹配组，进行删除。

[0024] 需要说明的是，利用极线的夹角和距离来剔除重叠的极线的方法，识别并剔除极线重叠的异常情况，减少刚体重建出现错点的问题，多视角特征点匹配的方法实现了高优先级的相机先作为基准相机进行多视角特征点匹配。优先进行匹配的基准点能找齐同一个匹配组的所有相机，减少匹配组遗漏相机，导致重建时出现漏点和重复点的问题，三维点重建的方法中，识别并去除重建点集中的离群点，能将重建的错误点识别并进行剔除；合并重复点能有效消除重复点，刚体marker点出现抖点的位置纠正办法，能有效识别出抖点的问题，并对抖点进行纠正。

实施例四

[0025] 一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法，包括以下步骤：

1) 三维点重建包括：

C1: 利用匹配组进行三维重建；

C2: 去除重建点集中的离群点；

C3: 合并重建点集中的重复点；

C1中利用匹配组进行三维重建，其特征是包括以下步骤：

C1-1: 利用三角测量对匹配组中的点进行两两重建，得到候选的三维点，将三维点重投影到匹配组的其他相机上，计算在其他相机上的重投影误差。如果误差大于marker点的直径，则判断为重建错误的点，进行剔除。最后用两两重建的三维点的平均点作为最终三维重建点；

匹配组中有三个点cam0点p3、cam2点p2、cam3点p2；利用三角测量对cam0点p3和cam2点p2重建得到三维点T1，将T1重投影到cam3上得到二维点t1，计算t1和cam3点p2的距离记作重投影误差 R_{error} ，如果 R_{error} 大于marker点的直径 γ ，则进行剔除。两两重建得到三个三维点T1、T2、T3，计算三维点的平均点W作为最终的重建点；

C1-2: 每个匹配组重建一个三维点，所有的三维点构成重建点集；

C2中去除重建点集中的离群点，其特征包括以下步骤：

C2-1:将重建点集的距离假设构成高斯分布,计算所有重建点到其他点的距离的平均值 μ 和标准差 σ ;

C2-2:设标准差倍数为 std ,当一个点到其他点的平均距离 d 在范围 $(\mu - \sigma \cdot std, \mu + \sigma \cdot std)$ 内时保留该点,不在范围内则定义离群点进行删除;

C3中合并重建点集中的重复点,其特征是包括以下步骤:

C1:计算所有重建点到其他点的距离的平均值 μ ;

C2:设邻近阈值为 n ,当一个点最近点的距离 d 小于 $n \cdot \mu$ 则判断为重复点,使用两个点的平均点代替。

[0026] 最终重建4个三维点,分别为 $W_0(357, 527, 1094)$, $W_1(295, 491, 1129)$, $W_2(372, 495, 1192)$, $W_3(322, 418, 1144)$,具体如附图10所示。

[0027] 需要说明的是,利用极线的夹角和距离来剔除重叠的极线的方法,识别并剔除极线重叠的异常情况,减少刚体重建出现错点的问题,多视角特征点匹配的方法实现了高优先级的相机先作为基准相机进行多视角特征点匹配。优先进行匹配的基准点能找齐同一个匹配组的所有相机,减少匹配组遗漏相机,导致重建时出现漏点和重复点的问题,三维点重建的方法中,识别并去除重建点集中的离群点,能将重建的错误点识别并进行剔除;合并重复点能有效消除重复点,刚体marker点出现抖点的位置纠正办法,能有效识别出抖点的问题,并对抖点进行纠正。

实施例五

[0028] 一种光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,包括以下步骤:

1)在连续的几帧中,同一个marker在两个位置来回跳动。一个刚体由多个marker点组成,抖点的现象具有随机性,多为刚体中的部分marker点抖动,很少会出现全部的marker点出现抖动。而如果刚体出现移动或旋转,则会出现全部marker产生位移。通过这个规律,可以判断刚体中是否所有点出现移动来判断刚体中的marker点出现跳点的问题,并用上一帧的marker点位置纠正抖点的位置:

2)刚体marker点出现抖点的位置纠正包括:

D1:记录上一帧刚体位置信息 CW ,其中包括 n 个marker点的位置 W_0, W_1, \dots, W_n ,以及当前帧刚体位置信息 CW ,包括 n 个marker点的位置 W_0, W_1, \dots, W_n ;

D2:遍历 CW 中的每个点,在 CW 查找最近点,并计算最近的距离 d ,以marker点半径作为阈值 $threthold_2$,如果 $d > threthold_2$ 则判断marker点移动;

D3:如果当前帧部分marker点移动,则判断为存在抖点的现象,使用上一帧最近点的位置代替该marker当前帧的位置。

[0029] 假设一个刚体由四个marker点组成,marker点在图像上的半径为3,上一帧坐标为 $w_0(0, 0, 0)$ 、 $w_1(100, 0, 0)$ 、 $w_2(200, 0, 0)$ 、 $w_3(300, 0, 0)$;当前帧坐标为 $W_0(0, 10, 0)$ 、 $W_1(100, 1, 0)$ 、 $W_2(200, 2, 0)$ 、 $W_3(300, 1, 0)$; W_0, W_1, W_2, W_3 的最近点分别为 w_0, w_1, w_2, w_3 ,距离分别为10、1、2、1;由于只有 W_0 的移动距离大于3,判断为移动状态,而 W_1, W_2, W_3 判断为未移动状态。因此判断刚体中的 W_0 为抖点,使用 w_0 的坐标替换 W_0 实现抖点坐标纠正。

[0030] 需要说明的是,利用极线的夹角和距离来剔除重叠的极线的方法,识别并剔除极线重叠的异常情况,减少刚体重建出现错点的问题,多视角特征点匹配的方法实现了高优先级的相机先作为基准相机进行多视角特征点匹配。优先进行匹配的基准点能找齐同一个匹配组的所有相机,减少匹配组遗漏相机,导致重建时出现漏点和重复点的问题,三维点重建的方法中,识别并去除重建点集中的离群点,能将重建的错误点识别并进行剔除;合并重复点能有效消除重复点,刚体marker点出现抖点的位置纠正办法,能有效识别出抖点的问题,并对抖点进行纠正。

[0031] 本发明的有益效果是:

该光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,通过利用极线的夹角和距离来剔除重叠的极线的方法,识别并剔除极线重叠的异常情况,减少刚体重建出现错点的问题,多视角特征点匹配的方法实现了高优先级的相机先作为基准相机进行多视角特征点匹配,优先进行匹配的基准点能找齐同一个匹配组的所有相机,减少匹配组遗漏相机,导致重建时出现漏点和重复点的问题。

[0032] 该光学动作捕捉系统刚体稳定重建方法,通过三维点重建的方法中,识别并去除重建点集中的离群点,能将重建的错误点识别并进行剔除;合并重复点能有效消除重复点,刚体marker点出现抖点的位置纠正办法,能有效识别出抖点的问题,并对抖点进行纠正,解决了光学动作捕捉系统重建时,出现的漏点、错点、重复点、抖点的问题。

[0033] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

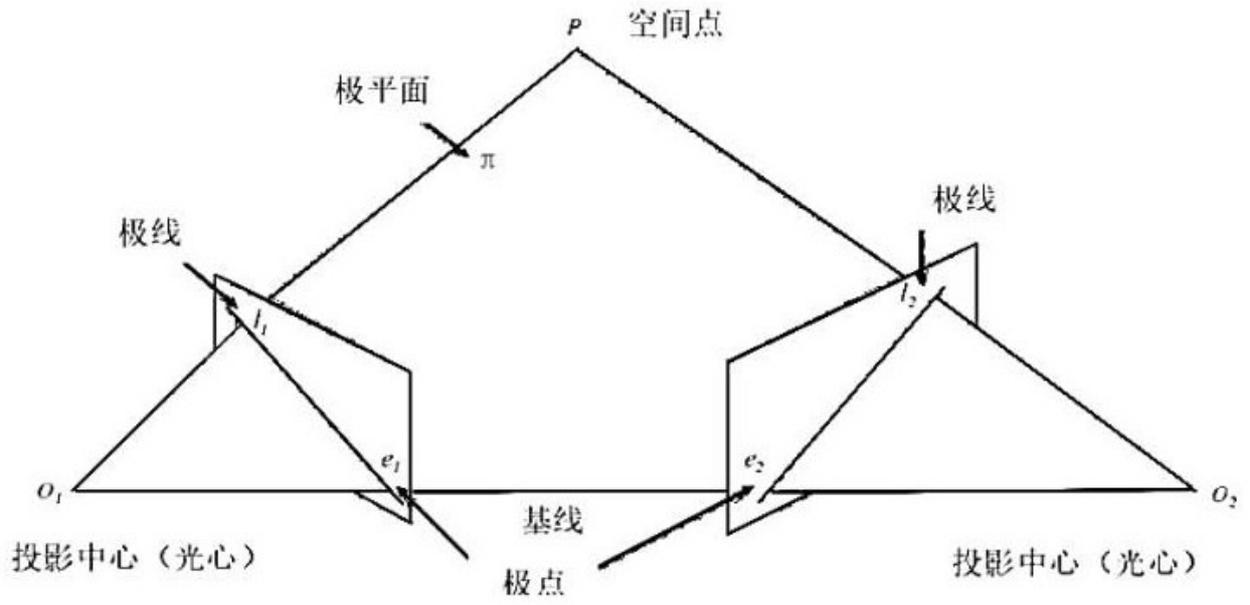


图 1

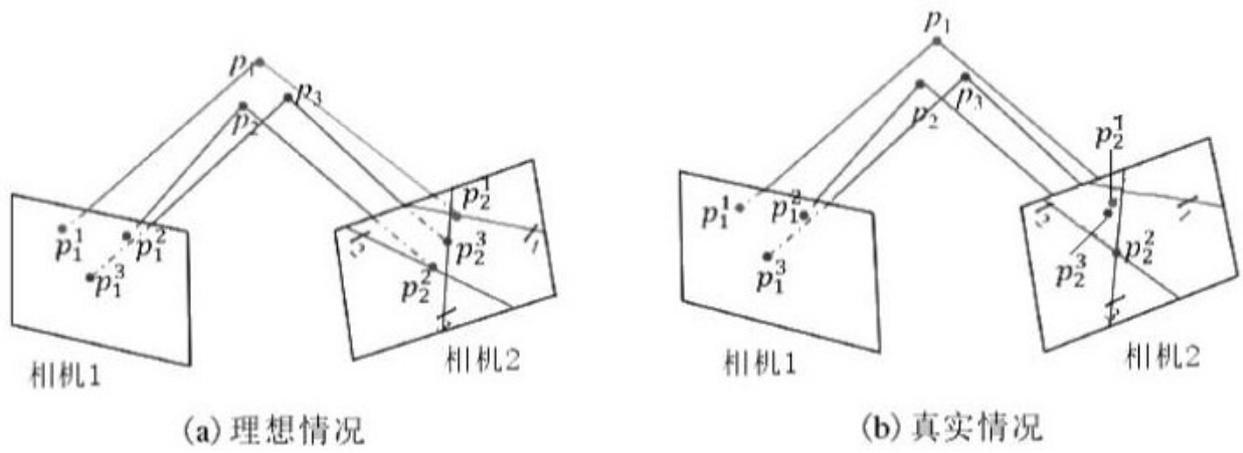


图 2

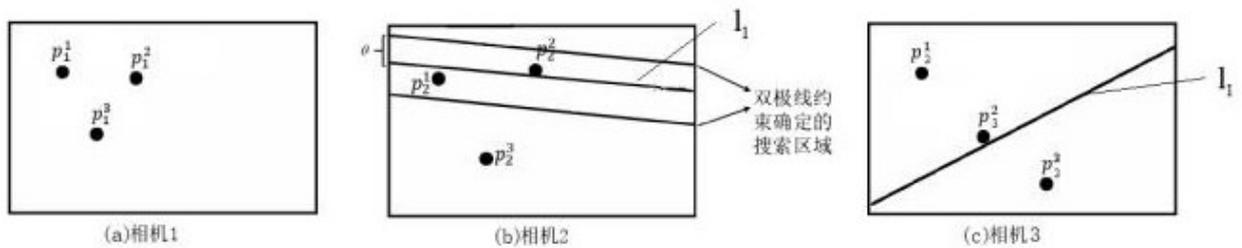


图 3

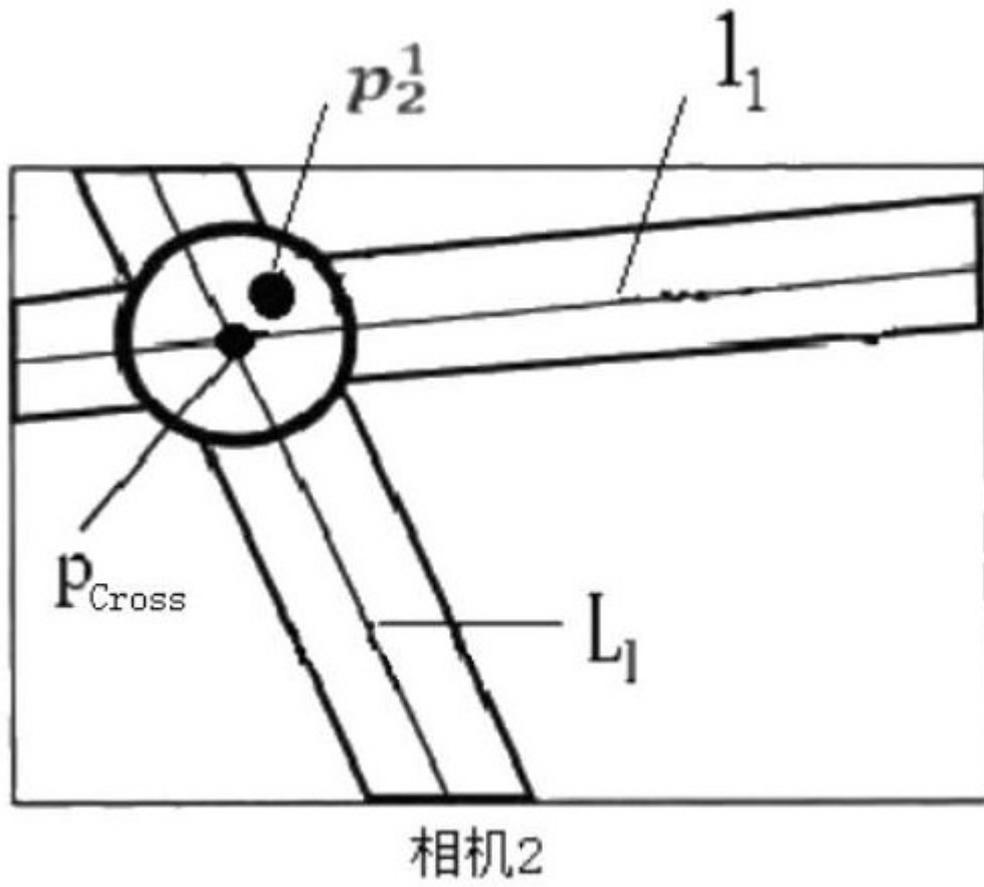


图 4

相机号		cam0				cam1				cam2				cam3				cam4			
相机号	点号	p0	p1	p2	p3																
cam0	p0	0	0	0	0	11	44	55	72	0	26	61	44	16	2	57	43	7	14	2	8
	p1	0	0	0	0	20	11	22	39	23	1	36	20	2	11	43	29	20	1	9	20
	p2	0	0	0	0	31	1	12	29	42	18	16	1	25	38	16	2	2	24	13	1
	p3	0	0	0	0	47	15	4	12	57	33	1	13	37	50	3	9	2	24	12	1
cam1	p0	13	23	35	53	0	0	0	0	12	0	32	36	2	3	31	43	1	16	3	22
	p1	49	13	1	17	0	0	0	0	24	11	20	24	3	5	29	41	15	2	10	36
	p2	62	25	14	4	0	0	0	0	60	48	15	11	49	50	16	3	24	42	29	2
	p3	80	44	32	13	0	0	0	0	56	44	12	8	36	37	3	9	3	21	8	17
cam2	p0	1	27	49	67	12	24	63	58	0	0	0	0	4	10	28	55	6	6	5	34
	p1	30	1	20	38	0	12	50	46	0	0	0	0	10	16	35	61	18	5	17	46
	p2	70	41	19	1	34	21	16	12	0	0	0	0	12	6	11	38	6	6	5	34
	p3	52	23	1	15	38	25	12	8	0	0	0	0	39	33	16	10	23	35	23	5
cam3	p0	18	2	27	41	2	3	49	36	4	10	11	38	0	0	0	0	6	3	7	36
	p1	2	12	43	56	3	5	51	37	9	16	6	32	0	0	0	0	3	13	2	26
	p2	64	47	17	3	31	29	16	3	27	33	11	15	0	0	0	0	3	13	2	26
	p3	49	33	3	10	44	41	3	9	53	59	36	10	0	0	0	0	34	43	32	3
cam4	p0	11	28	3	3	2	19	30	3	7	22	7	28	7	5	5	43	0	0	0	0
	p1	20	2	34	33	21	3	54	26	7	7	7	43	4	17	17	55	0	0	0	0
	p2	4	13	18	18	4	13	37	10	7	21	6	28	9	3	3	41	0	0	0	0
	p3	12	29	2	2	30	46	3	22	43	57	42	7	46	34	33	4	0	0	0	0

图 5

相机号		cam0				cam1				cam2				cam3				cam4			
相机号	点号	p0	p1	p2	p3																
cam0	p0	0	0	0	0	11	44	55	72	0	26	61	44	16	2	57	43	7	14	2	8
	p1	0	0	0	0	20	11	22	39	23	1	36	20	2	11	43	29	20	1	9	20
	p2	0	0	0	0	31	1	12	29	42	18	16	1	25	38	16	2	2	24	13	1
	p3	0	0	0	0	47	15	4	12	57	33	1	13	37	50	3	9	2	24	12	1
cam1	p0	13	23	35	53	0	0	0	0	12	0	32	36	99	99	99	99	1	16	3	22
	p1	49	13	1	17	0	0	0	0	24	11	20	24	99	99	99	99	15	2	10	36
	p2	62	25	14	4	0	0	0	0	99	99	99	99	49	50	16	3	24	42	29	2
	p3	80	44	32	13	0	0	0	0	99	99	99	99	36	37	3	9	3	21	8	17
cam2	p0	1	27	49	67	12	24	63	58	0	0	0	0	4	10	28	55	99	99	99	99
	p1	30	1	20	38	0	12	50	46	0	0	0	0	10	16	35	61	18	5	17	46
	p2	70	41	19	1	99	99	99	99	0	0	0	0	12	6	11	38	99	99	99	99
	p3	52	23	1	15	99	99	99	99	0	0	0	0	39	33	16	10	23	35	23	5
cam3	p0	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	0	0	0	0	6	3	7	36
	p1	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	0	0	0	0	99	99	99	99
	p2	99	99	99	99	99	99	99	99	27	33	11	15	0	0	0	0	99	99	99	99
	p3	99	99	99	99	99	99	99	99	53	59	36	10	0	0	0	0	34	43	32	3
cam4	p0	11	28	3	3	2	19	30	3	99	99	99	99	99	99	99	99	0	0	0	0
	p1	20	2	34	33	21	3	54	26	99	99	99	99	4	17	17	55	0	0	0	0
	p2	4	13	18	18	4	13	37	10	99	99	99	99	99	99	99	99	0	0	0	0
	p3	12	29	2	2	30	46	3	22	43	57	42	7	46	34	33	4	0	0	0	0

图 6

相机号		cam0				cam1				cam2				cam3				cam4			
相机号	点号	p0	p1	p2	p3																
cam0	p0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
	p1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	p2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1
	p3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
cam1	p0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
	p1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	p2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	p3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
cam2	p0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	p1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	p2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	p3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
cam3	p0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
	p1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	p2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	p3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
cam4	p0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	p1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	p2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	p3	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0

图 7

相机号		cam0				cam1				cam2				cam3				cam4			
相机号	点号	p0	p1	p2	p3																
cam0	p0									0					2			7		2	
	p1										1			2					1		
	p2						1						1				2	2			1
	p3							4					1			3		2			1
cam1	p0										0							1		3	
	p1			1															2		
	p2				4											3					2
	p3															3		3			
cam2	p0	1												4							
	p1		1			0													5		
	p2				1										6						
	p3			1																	5
cam3	p0																	6	3	7	
	p1																				
	p2																				
	p3																				3
cam4	p0			3	3	2			3												
	p1		2				3							4							
	p2	4				4															
	p3			2	2			3					7				4				

图 8

基准相机 (优先级从上往下)	基准点顺序 (优先级从上往下)	候选相机顺序 (优先级从上往下)	
		候选相机 (加粗为协作相机、 未加粗为待匹配相机)	候选点 (加粗为协作点、 未加粗为待匹配点)
cam0	p2	cam1	p1
		cam2	p3
		cam3	p3
		cam4	p0、p3
	p3	cam2	p2
		cam3	p2
		cam4	p0、p3
		cam1	p2
	p0	cam2	p0
		cam3	p1
		cam4	p0、p3
	p1	cam2	p1
cam4		p1	
cam3		p0	
cam4	p3	cam1	p2
		cam0	p2、p3
		cam3	p3
		cam2	p3
	p2	cam0	p0
		cam1	p0
	p0	cam1	p0、p3
		cam0	p2、p3
	p1	cam0	p1
		cam1	p1
cam3		p0	
cam4		p3	
cam1	p2	cam4	p3
		cam3	p3
		cam0	p3
	p0	cam2	p1
		cam4	p0、p2
	p1	cam0	p2
		cam4	p1
	p3	cam3	p2
cam4		p0	
cam4		p1	
cam2	p1	cam1	p0
		cam0	p1
		cam4	p1
	p0	cam0	p0
		cam3	p0
	p2	cam0	p3
		cam3	p1
	p3	cam0	p2
cam4		p3	
cam4		p3	

图 9

序号	匹配组	
	匹配组相机	匹配组点
0	cam0	p2
	cam1	p1
	cam2	p3
	cam3	p3
	cam4	p3
1	cam0	p3
	cam2	p2
	cam3	p2
2	cam0	p0
	cam2	p0
	cam3	p1
	cam4	p0
3	cam0	p1
	cam2	p1
	cam4	p1
	cam3	p0

图 10

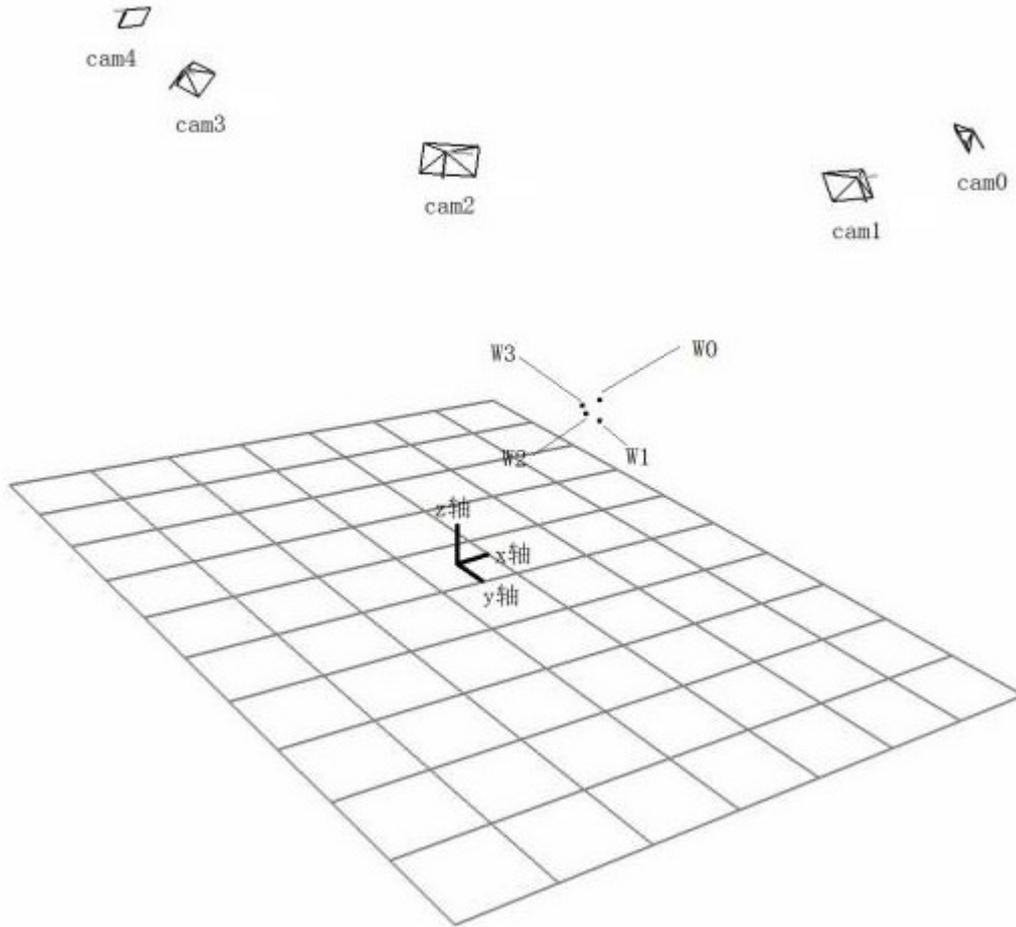


图 11