

光学动作捕捉中缺失标记重建方法研究*

王云龙^{1,2}, 吕游³, 穆治亚³

(1. 黑龙江省科学院高新技术研究院, 黑龙江 哈尔滨 150020;

2. 黑龙江省科学院智能制造研究所, 黑龙江 哈尔滨 150090;

3. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 光学动作捕捉技术是一种常用的动作捕捉方法, 目前已经在各个行业内广泛应用。尤其是在体育竞技领域, 已经成为了不可或缺的训练辅助手段。在光学动作捕捉中, 最常见的问题是缺失标记, 可能由外部遮挡、身体自遮挡或信号丢失等原因造成。对于缺失标记问题, 在以往的研究中要么需要舍弃缺失的标记, 要么需要大量后处理工作来恢复缺失标记。针对这种情况, 本文提出一种用于光学动作捕捉中缺失标记的重建方法, 该方法使用卡尔曼滤波框架, 结合运动数据来预估缺失标记点的位置, 实时重建人体运动模型。实验结果证明该方法能够快速有效的恢复缺失标记, 重建人体运动。

关键词: 光学动作捕捉; 缺失标记; 运动重建

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2021)004-0116-04

Reconstruction of Missing Markers in Optical Motion Capture

WANG Yun-long^{1,2}, LV You³, MU Zhi-ya³

(1. Institute of Advanced Technology, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin 150020 China;

2. Institute of Intelligent Manufacturing, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin 150090 China;

3. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033 China)

Abstract: Optical motion capture technology is a very common motion capture method, which has been widely used in various industries. Especially in the field of sports competition, it has become an indispensable auxiliary means of training. In optical motion capture, the most common problem is missing markers, which can be caused by external occlusion, body self-occlusion, or signal loss. For the problem of missing tags, in previous studies, either the missing tags need to be discarded or a lot of post-processing work is needed to recover the missing tags. In view of this situation, this paper proposes a reconstruction method for missing markers in optical motion capture, which uses the Kalman filter framework, combines with the motion data to estimate the position of missing markers and reconstruct the human motion model in real time. Experimental results show that the method can quickly and effectively recover the missing markers and reconstruct the human movement.

Key words: optical motion capture; missing mark; sport reconstruction

1 光学动作捕捉技术

光学动作捕捉技术可分为主动式和被动式。主动式光学动作捕捉技术是靠发光二极管作为标志点, 被动式光学动作捕捉技术是靠反光 Marker 球作为标志点, 从原理上讲这两种方式均属于有标记的光学动作捕捉技

术^[1-2]。摄像机通过捕捉标志点来完成运动轨迹跟踪, 具有相当高的精度和速度, 其工作流程如图 1 所示。与之对应还有无标记的光学动作捕捉技术, 该技术直接通过图像处理来完成人体关键点识别和跟踪, 虽无需额外的标志点, 但其精度较低, 只适用于特定场合。

通过在体育竞技领域应用光学动作捕捉技术, 可以将体育动作分析由传统的二维静态图像分析转变为三维

*基金项目: 黑龙江省 2019 年度省院合作专项(编号 YS19A19)

收稿日期: 2020-09-09

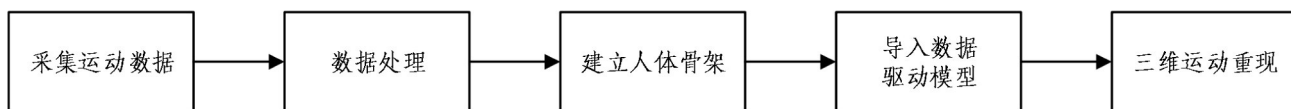


图1 动作捕捉流程图

立体动态分析,为体育运动提供更加准确的训练数据和更加有针对性的训练方法。使用动作捕捉系统获取的数据,用来驱动仿真人体模型,进而分析运动员的运动状态、身体姿态、关节受力等信息;此外还可以高精度复现运动员动作,实现动作回放、运动轨迹查看、技术动作隔空对比、动作纠正等功能。通过该技术的应用,可以摆脱单纯依靠经验教学,能够结合数字模型,为体育训练提供规范的技术指导,使体育训练进入科学化、数字化和智能化时代^[3]。

2 动作捕捉中的缺失标记

在所有的动作捕捉技术中,光学动作捕捉是最常用的一种。在搭建好的特定空间内,身体关节指定部位贴上反光标志点,摄像机阵列就能够捕捉到这些标志点。通过将标记点位置投影到多个摄像机的成像平面上进行三角分割,从而推断出时间到空间变化的标记点。捕获的数据可以用来驱动人体骨架等^[4]。

然而,所有的动作捕捉系统在工作时,都会或多或少的出现标志点丢失和标志点数值异常等问题。造成这一问题的主要原因是来自于遮挡,标志点可能被人体本身或其他物体遮挡,从而造成信号丢失和数值异常^[5-6]。无论是由遮挡或异常引起的问题,统称为缺失标记问题。当系统出现缺失标记问题时,会导致数据损坏,在后期数据处理时会额外增加大量工作量^[7],而且还极易导致出现各种意料以外的动作。

3 缺失标记重建

本文提出一种预测缺失标记并重建人体骨架模型的方法。该方法使用卡尔曼滤波框架,结合运动数据和人体自身关节约束,从残缺的数据中来预估缺失标记点的位置,并重建人体骨架模型。首先分析现存标记点的控制位置分布来排除非线性方向移动,然后基于卡尔曼滤波框架来消除噪声和抖动,最后根据恒速采样计算缺失标记的位置,恢复缺失的数据。

缺失标记会导致运动序列产生缺项或运动曲线异常变化,本文使用Qualisys动作捕捉系统采集运动数据(如图2所示),数据形式是所有标记点的三维坐标。



图2 Qualisys动作捕捉系统

通过将当前帧 f_t 中标记点状态与前一帧 f_{t-1} 中标记点状态进行分析对比,如果出现了差值快速变化,即:

$$|f_t - f_{t-1}| > \delta \quad (1)$$

其中 δ 是阈值,则判定出现了缺失标记情况。

为了预测缺失标记的当前位置,或更正错误标记位置,本文使用卡尔曼滤波框架,利用其位置速度常数速率模型,来预测缺失标记的位置。在该模型中,其导数越高,噪声越大,计算成本越高,根据恒速模型:

$$f_t = f_{t-1} + \dot{f}_{t-1} dt \quad (2)$$

其中 f_t 和 $\dot{f}$ 分别是标记在时间 t 的位置和速度,卡尔曼滤波中的预测状态可写为:

$$\begin{bmatrix} f_t \\ \dot{f}_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & dt \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{t-1} \\ \dot{f}_{t-1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

为了提高速度计算的准确性,不适用连续取样计算,而使用恒定速率采样来计算速度的历史值,也就是说需要计算分段速度。假设恒定采样速率为 δ_t ,则式(3)可写为:

$$\begin{bmatrix} f_t \\ \dot{f}_{\delta_t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & dt \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{t-1} \\ \dot{f}_{\delta_{t-1}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

使用连续采样计算和恒速采样计算速度的差异如图3所示,可见使用连续采样计算并不能准确的预测缺失标记位置,而使用恒速采样计算则能够满足符合之前的历史趋势。

通过该方法,可以恢复缺失标记点和更正错误标记点,结合人体骨架拓扑模型(如图4所示),即可重建人体运动模型。

4 实验结果

本文使用Qualisys动作捕捉系统进行测试,系统具备4台高速红外摄像机。人体关节处贴有37个标记点,在Visual 3D软件中定义骨架模型和11段刚性骨骼,用来模拟人体运动情况。在配置Intel Core i7-6700处理器和16G内存的计算机中,基于Matlab 2018b运行该算法,处理速度约40帧/秒。

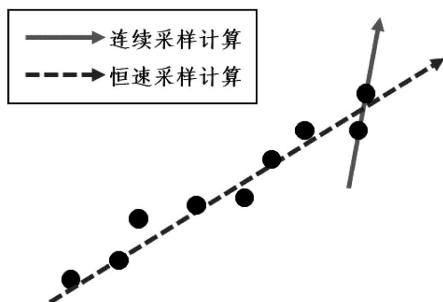


图3 连续采样计算和恒速采样计算



图4 人体骨架拓扑模型

动作采集前,遮挡右腰和右膝关节的标记,用来模拟标记缺失的情况。使用动作捕捉系统采集滑雪时的全身

动作,采集速率120帧/秒,持续5秒,共计600帧,即原始数据。然后使用本文提出的方法处理原始数据,得到缺失标记重建数据。600帧数据的处理过程耗时19.7秒。

恢复右腰和右膝关节的标记,重新使用动作捕捉系统采集相同的动作,得到600帧基准数据。然后以基准数据为标准,分别对比原始数据和重建数据的特征点跟踪成功率。经过处理,基准数据和原始数据的特征点跟踪成功率对比如图5所示,基准数据和重建数据的特征点跟踪成功率对比如图6所示,三者横向对比如图7所示。从图中可知基准数据标记点齐全无缺失,跟踪成功率保持在90%以上;原始数据由于缺失两个标记点,导致跟踪成功率在160帧和330帧时出现了大幅下滑,600帧时稳定在55%;重建数据在原始数据的基础上,恢复缺失标记点,确保了跟踪成功率平稳下降,而没有出现大幅下滑,600帧时稳定在76%,其跟踪成功率曲线与基准数据曲线相似,得到了比较好的结果。

5 结束语

本文介绍了一种用于光学动作捕捉中缺失标记的重建方法,该方法基于卡尔曼滤波框架来消除噪声和抖动,使用恒速采样计算缺失标记的位置,恢复缺失的标记数据。本文使用Qualisys动作捕捉系统来验证该方法,结果证明该方法能够快速有效的恢复缺失标记,重建的人体骨架运动可以真实地反映人体运动情况。通过该方法的研究,可以提高动作捕捉过程中标记跟踪的鲁棒性,减少在重建过程中对人为干预的需求。下一步的工作将对缺失标记引入更智能的分类方法,有针对性的提高缺

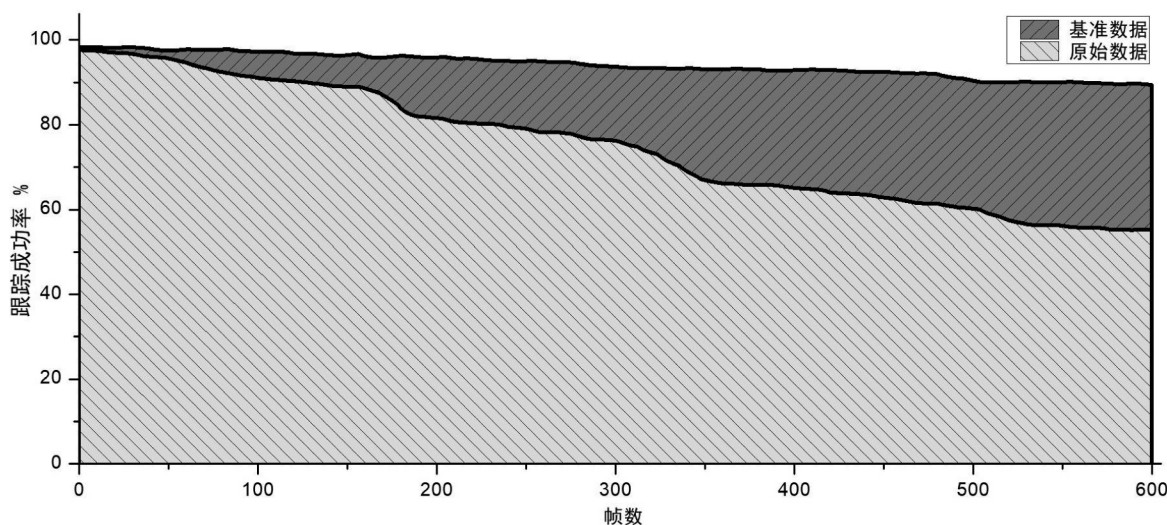


图5 基准数据和原始数据特征点跟踪成功率对比

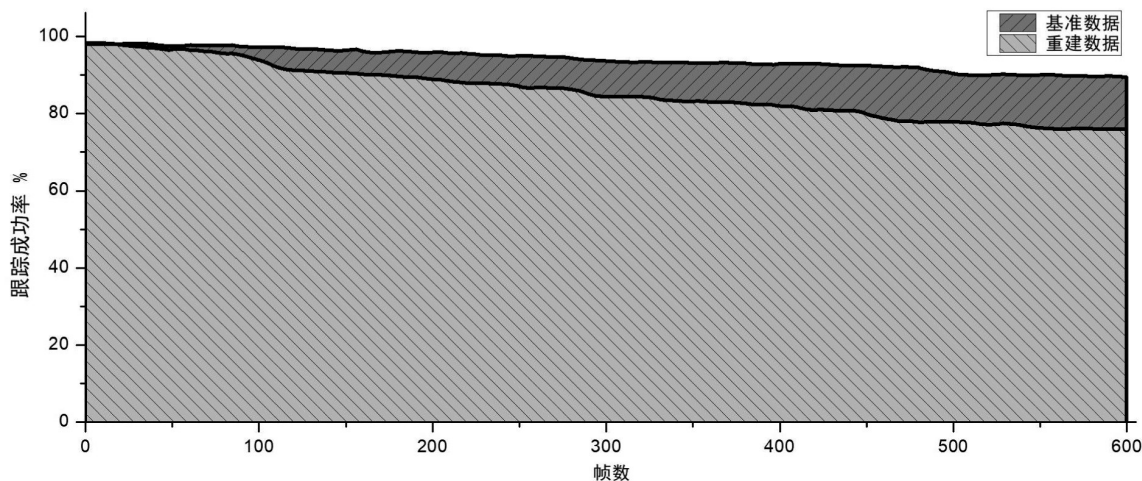


图6 基准数据和原始数据特征点跟踪成功率对比

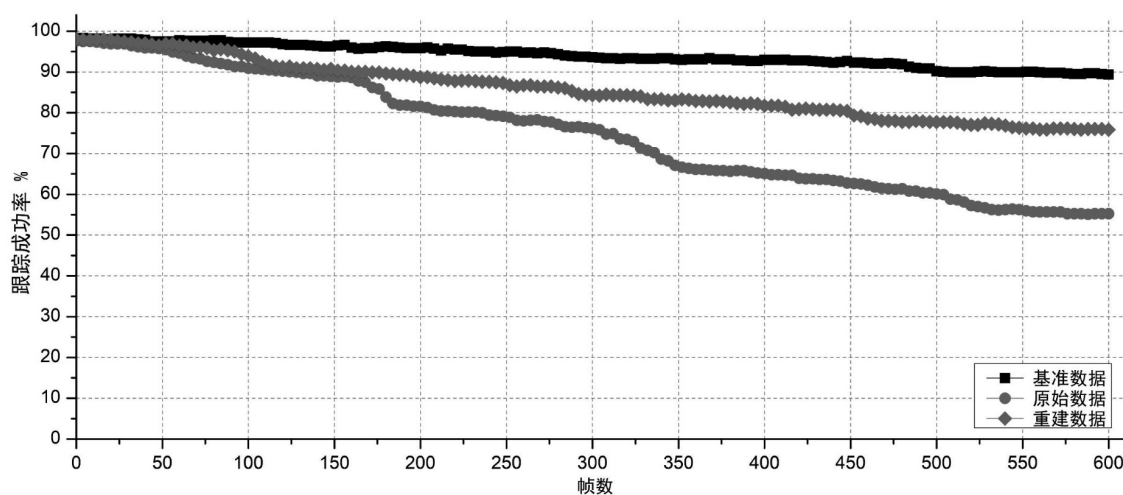


图7 基准数据和原始数据特征点跟踪成功率对比

失标记重建速度,提高重建效率。

参考文献:

- [1] Alexanderson S,O'Sullivan C,Beskow J.Real-time labeling of non-rigid motion capture marker sets[J].Computers&Graphics,2017,69(dec.):59-67.
- [2] Ya-Ming W,Tao L U,Yong-Hua H.Human Motion Capture Data Recovery Based on Skeleton Constraint[J].Computer Systems&Applications,2018,27(5):19-27.
- [3] 黄玉飞.动作捕捉技术在体育运动领域的发展现状[J].当代体育科技,2017,7(27):210-211.
- [4] 黄天羽,郭芸莹.面向动作捕捉的非线性时间序列预测方法研究[J].系统仿真学报,2018,30(7):2808-2815.
- [5] Aristidou A,Cameron J,Lasenby J.Real-Time Estimation of Missing Markers in Human Motion Capture [C]//2008 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering.IEEE,2008.

[6] Xia S,Su L,Fei X,et al.Toward accurate real-time marker labeling for live optical motion capture[J].VISUAL COMPUTER,2017,33(6-8):993-1003.

[7] 温锦纯.基于运动学的虚拟现实手臂动作捕捉技术研究[D].深圳大学,2018.

作者简介:王云龙(1989-),男,硕士研究生,助理研究员,研究方向:计算机视觉,三维测量。