

运动捕获系统中标记点自动初始化方法

雷伍琴¹, 郑江滨¹, 蔡里宁²

(1 西北工业大学 陕西省语音与图像信息处理重点实验室, 陕西 西安 710129;

2 中国人民解放军 61938 部队, 北京 100089)

摘 要: 基于辅助标记点的多摄像机运动捕获系统, 往往需要在运动捕获初始阶段手工建立各标记点与关节点的对应关系. 为了减少初始化阶段繁琐的手动标记工作, 提出一种标记点自动初始化方法. 首先预定义表演者初始姿态, 利用 PCA 算法分析出人体主轴, 结合人体骨架模型, 使标记点与各关节点关联, 再将带有关节信息的标记点进行三维重构, 通过反投影到各个视角完成所有点的初始化. 实验结果表明, 该方法能够准确地标识出各个标记点, 完成标记点的自动初始化.

关键词: 运动捕获; 标记点识别; 自动初始化; 人体骨架模型

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)02-0081-05

An Automatic Marker Initialization Method in a MCP System

LEI Wu-qin¹, ZHENG Jiang-bin¹, CAI Li-ning²

(1 Shaanxi Provincial Key Laboratory of Speech & Image Information Processing,

Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China;

2 No. 61938 Force of the PLA, Beijing 100089, China)

Abstract: In initialization stage of markers in a motion capture system, it needs to establish the correspondence between each marker and joint, which causes a fussy and heavy workload because it is usually carried out manually. To solve this problem, we proposed a reliable automatic marker initialization method. Firstly, we predefine the actor's initial posture. Secondly a PCA algorithm is performed to analyze the body's two principal axes. According to the definition of human skeleton model, the correspondences are established between markers and joints. And then the 3D positions of markers with joint information are reconstructed. Finally other viewing points can be initialized by projecting 3D position to each camera plane. Several experimental results demonstrate the proposed method's accuracy and efficiency.

Key words: motion capture; marker identification; automatic initialization; human skeleton model

1 引言

运动捕获技术在影视制作等领域的应用前景和潜在经济价值^[1]. 基于标记点的光学运动捕获系统由于其快速、安全、准确、方便等优点, 被广泛使用^[2]. 光学运动捕获系统在人体各关节点上粘贴标记球, 利用多个摄像机从不同角度拍摄, 然后运用跟踪分析出图像上标记点的坐标, 最后得出标记点的三维运动数据^[3].

运动捕获的种类不同、实验环境不同, 其采用的初始化方法也有所差别. 文献[4]在进行人体跟踪之前, 凭用户先验知识, 采用纯手工方式标注首帧人体各关节点, 过程繁琐, 且跟踪精度完全依赖于用户标注的正确性, 不利于系统的自动化. 文献[5]采用三步自动标定特征点: 人体分割、canny 算子提取目标轮廓并分析、关节点自动标注, 这种方法需要检测出完整的人体轮廓. 文献[6]利用神经网络自动学习骨

收稿日期: 2011-05-27; 修回日期: 2011-07-29

基金项目: 国家自然科学基金(60970069); 西北工业大学研究生创业种子基金资助项目(Z2011135)

架模型,方便特征点的自动标注。

在基于标记点的运动捕获系统中,随着对标定精度要求的提高和摄像机与标记球数量的增加,手动标记繁琐且工作量大的问题愈加显著,导致了这种系统在产业化应用过程中存在很大的局限性。

为了实现在运动捕获初始化阶段的自动标记,本文提出了一种简单可靠的自动标识标记点的方法,通过预定义表演者的初始姿态,利用 PCA 算法分析出人体的两个主轴,采用人体骨骼拓扑结构对标记点进行分析,实现对标记点的自动识别和标记,为后续的运动跟踪提供初始化数据。

2 标记点自动初始化方法

2.1 骨骼拓扑结构定义

人体是一个非常复杂的形体,由两百多旋转关节组成。

在运动捕获系统中,为了更好地描述运动,有必要对其进行抽象和简化。如图 1 所示,建立一个能够描述人体骨架结构的模型,该骨架模型主要由 23 个关节点和 22 个骨骼向量组成。根据骨骼段之间的运动连带关系,建立父子节点约束关系,根节点无父节点。骨骼段向量由父节点指向子节点。

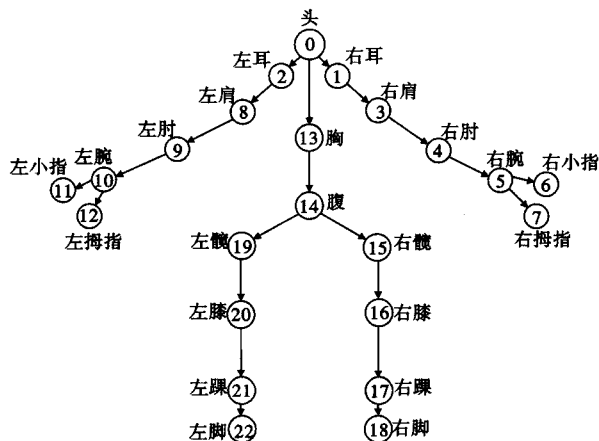


图 1 骨架模型

在人体运动过程中,将骨骼段视为不可形变的刚体,其长度保持不变,具有一定的拓扑保持性。可将表示骨骼段的三维向量定义为

$$\text{vec}::= \text{pt}_{\text{child}} - \text{pt}_{\text{father}},$$

式中, $\text{pt}_{\text{father}}$ 和 pt_{child} 分别是该骨骼段对应的父子节点,均为三维空间点,最终形成具有多叉树结构的骨骼模型。

2.2 提取标记点坐标

为了实现标记点位置的自动初始化,在进行运

动捕获之前,令表演者保持简单的预定初始姿态:双臂自然下垂与躯干成一定角度,两腿自然分开一定距离,挺直站立,姿势如图 2(a)所示。为了能够计算出所有标记点的三维位置,保证至少有两路相机可以拍摄到全部的标记点,所有的相机同步采集图像数据。

对得到的各路图像,按照图 2 所示流程进行标记点坐标提取,完成背景与前景标记点的分割,得到二值图像(图 2(b))。对图像上的各个连通区域采用 $k\sum\text{means}$ 算法^[7]进行聚类分析,各聚类中心即为要标识的标记点的坐标值(图 2(c))。

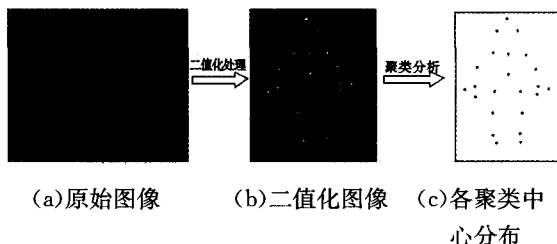


图 2 标记点坐标提取过程

2.3 自动初始化方法

本实验运动捕获系统采用白色标记球,标记球图像之间无可区分,特征少,经过步骤 1.2 之后得到的只是所有标记球的二维坐标点集,标记点的自动初始化是要识别出这些标记点所对应的关节位置。本文提出的方法首先采用 PCA(Principal Components Analysis 主成分分析)算法对这些点集进行主轴分析,将数据变换到新的坐标系下,结合定义的骨架模型,使标记点与各关节点关联。

具体步骤如下:

(1) 假设总共有 n 个标记点,初始时刻设所有的点都未标记, $\text{isLabel} = \text{false}$ 。

(2) 计算 PCA 方法中所用到的统计特性, X 、 Y 分别为 x 轴、 y 轴的坐标值。

$$\text{均值: } \bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) / n$$

$$\text{方差: } s^2 = \left[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2 \right] / n$$

$$\text{协方差: } C = \begin{pmatrix} \text{cov}(X, X) & \text{cov}(X, Y) \\ \text{cov}(Y, X) & \text{cov}(Y, Y) \end{pmatrix}$$

(3) 计算协方差矩阵的特征值(eigenvalue)和特征向量(eigenvector)。特征值按照从大到小进行排序。特征向量的方向即为主轴的方向,本实验所用到的为二维数据,得到两个主轴,较大特征值对应的特征向量为第一成分主轴(躯干方向),较小特征值对应特征向量为第二成分主轴(臂展方向)。

(4) 将数据变换到新坐标系下. 定义 rowFeatureVector 为由特征向量作为行组成的矩阵, 原数据减去均值得到 rowAdjustData, 则新坐标系下的数据 newData 按式(1)变换.

$$\text{newData} = \text{rowFeatureVector} * \text{rowAdjustData} \quad (1)$$

(5) 根据骨架模型的定义, 到第一主轴距离最近的点 $\min(\text{dist}_1)$, 必为头、胸、腹三个点, 按照它们在轴上投影值的大小进行标识, $\text{label}(k)=0, 13, 14$, 然后将标识符设置为已标识, $\text{isLabel}=\text{true}$, 对于已标记过的点不再重复查找.

(6) 根据人体结构对称性特点, 所有标记点关于第一主轴对称. 将剩下的未标识点投影到第一主轴上并排序, 可以分别识别出耳、肩、脚、踝、膝、髋部位的两组标记点, 根据各部位两组标记点在第二主轴上的投影值和对称性, 确定其左右位置.

(7) 将剩下的手臂上标记点投影到第二主轴, 并排序, 根据定义的人体骨架模型和对称性, 找到其对应位置手、腕、肘, 然后将所有标记点设置为已标识, $\text{isLabel}=\text{true}$.

(8) 将已标识好的所有数据按式(2)变换回原始坐标系下, 则原始数据 originalData 也附带上了关节信息. meanData 为坐标均值.

$$\text{originalData} = (\text{rowFeatureVector}^T \times \text{newData}) + \text{meanData} \quad (2)$$

2.4 标识各路图像标记点

采用上述方法能完成两幅检测到所有标记点图像的自动初始化, 对于其他视角图像还需通过标记点的重建和反投影完成. 基本方法如下: 首先通过计算机双目视觉原理恢复出标记点的三维空间位置^[8], 然后根据已标定好的摄像机参数, 将附有关节信息的三维标记点反投影到每一路摄像机平面, 完成对其他未标记视角图像的自动初始化.

图3所示为从两幅可以看到所有标记点图像到三维空间点的重构示意图. $(x_1, y_1, 1)$ 与 $(x_2, y_2, 1)$ 分别为胸部位标记点14在两幅图像上的齐次坐标, $(X, Y, Z, 1)$ 为该点在世界坐标系下的齐次坐标, 对应摄像机参数已通过算法^[9]标定完成, 他们的投影矩阵分别为 M_1 和 M_2 . 于是有

$$Z_{c_1} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11}^1 & m_{12}^1 & m_{13}^1 & m_{14}^1 \\ m_{21}^1 & m_{22}^1 & m_{23}^1 & m_{24}^1 \\ m_{31}^1 & m_{32}^1 & m_{33}^1 & m_{34}^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Z_{c_2} \begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11}^2 & m_{12}^2 & m_{13}^2 & m_{14}^2 \\ m_{21}^2 & m_{22}^2 & m_{23}^2 & m_{24}^2 \\ m_{31}^2 & m_{32}^2 & m_{33}^2 & m_{34}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

联立求解式(3)、(4)得到空间点的三维坐标, 结果如表1所示. 通过已获得的其他各摄像机标定参数, 将三维空间坐标反投影到各个摄像机平面, 完成各个图像上标记点的初始化, 如图3所示.

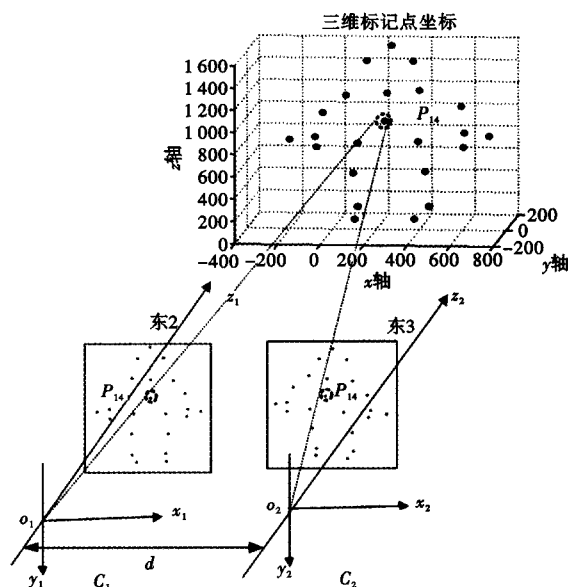


图3 空间三维标记点重建

3 实验结果

本文提出的标记点自动化初始方法, 使用 C++ 编程实现. 23 个白色标记球, 16 台数字工业相机, 系统通过同步仲裁器控制同步采集图像数据.

实验所采集的数据, 其中两台摄像机可以看到所有的标记点, 首先选择这两路图像数据进行自动初始化标记, 所标识结果如图4所示. 白色的点为标

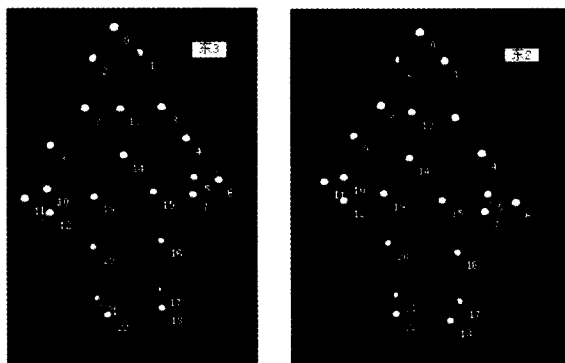


图4 自动标识的两路图像

记球,绿色矩形框右下角即为自动识别出的标记点标号,自动初始化过程避免了手动初始化带来的误差问题.

将两路标记好的数据,使用计算机双目视觉原理,重建出空间三维位置,获得对应的标记点标识,如表 1 所示即为 X、Y、Z 坐标值和对应的标记点

标号.

图 5 所示即为自动初始化结果. 针对各图像已检测出的标记点(有些视角存在标记点被遮挡情况),采用本文所描述方法,对其余各路图像完成了自动初始化,使得后续跟踪过程能够顺利进行.

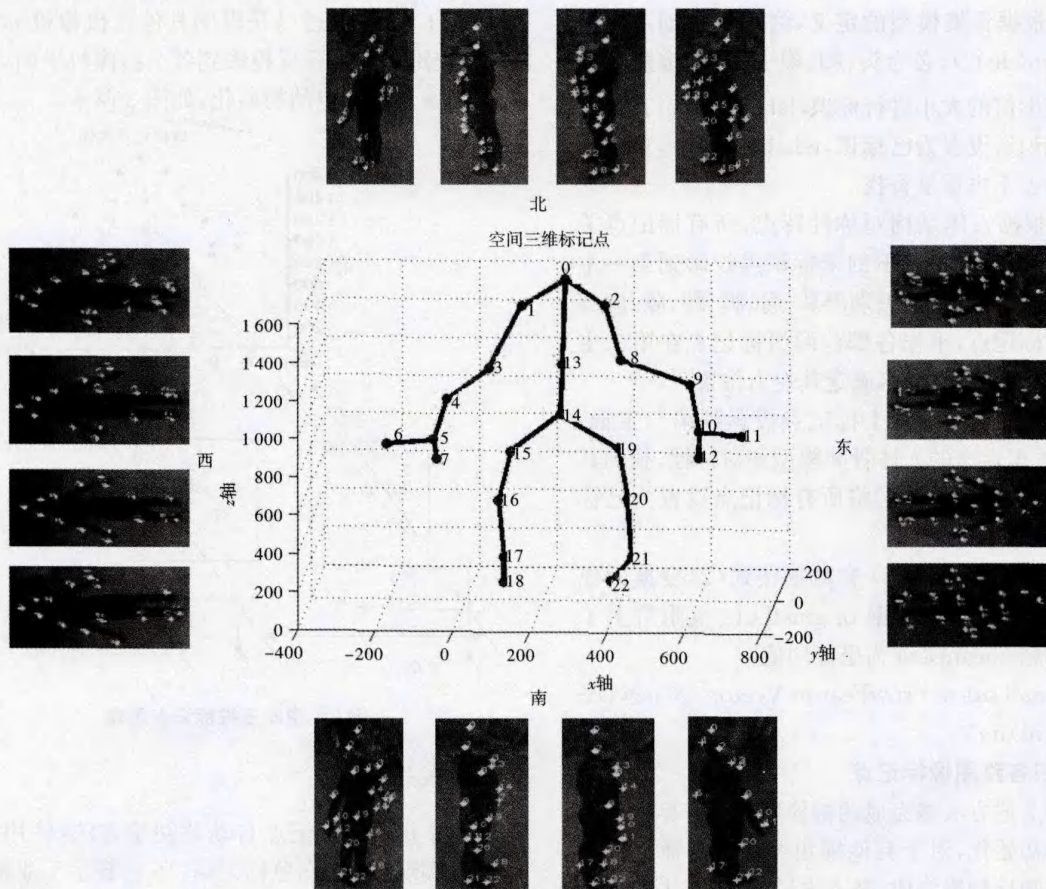


图 5 空间三维点反投影到各路图像

表 1 重建出的三维点坐标

Label	X	Y	Z	Label	X	Y	Z
0	228.826	142.784	-1 555.66	12	598.663	22.977 5	-724.307
1	120.857	125.605	-1432.8	13	246.693	7.297 34	-1 220.76
2	334.652	131.567	-1427.83	14	254.801	-59.186 3	-1 018.58
3	58.076 7	3.120 61	-1 205.06	15	118.458	-14.524 5	-783.298
4	-57.076 7	36.688 6	-1 017.36	16	68.845 2	78.096 4	-446.041
5	-86.726 3	10.811 3	-820.389	17	71.681	140.445	-101.507
6	-212.678	41.930 9	-770.183	18	96.438 5	10.017 8	-80.755 4
7	-73.825 6	-10.315 3	-738.635	19	394.455	0.368 93	-790.447
8	395.364	22.100 6	-1 236.45	20	407.396	60.842 7	-474.187
9	560.341	111.396	-1 034.23	21	402.507	145.728	-103.511
10	596.232	40.402 6	-843.285	22	372.281	13.443 8	-86.159 2
11	703.694	65.835 7	-797.631				

4 结束语

基于辅助标记点的运动捕获系统初始化是现代运动捕获系统中自动化程度实现较低的环节之一,经常需要手工辅助完成标记点信息的初始化.本文提出的初始化方法,充分利用人体骨骼拓扑结构信息,在对表演者施以简单约束的条件下,成功实现无特征标记点的自动初始化,减少了大量繁琐的手动标记工作,提高了效率,由于标记点的位置是以连通域分析和聚类分析相结合方法得到的,标记的精度高于手动标记,在基于无特征标记点的运动捕获系统中提高了系统自动化程度,加速了运动参数获取速度,也适于系统的产业化应用.

参考文献:

- [1] Wang Manjun, Wang Wei, Li Yan. Motion capture data segmentation using kernel dynamic texture [C]// Proc of International conference on Audio Language and Image Processing, Shanghai, 2010:592-596.
- [2] 张欢欢,郑江滨.运动捕获系统中多视觉目标跟踪算法[J].微电子与计算机,2009,26(6):66-69.
- [3] 晏剑云,郑江滨.运动捕获系统中多运动目标跟踪方法[J].微电子与计算机,2008,25(8):88-91.

- [4] 李魁.基于特征跟踪的视频运动捕获技术研究[D].杭州:浙江大学,2004.
- [5] 洪涛,王申康.人体正面运动的尺度骨架模型初始化算法研究[J].浙江大学学报:工学版,2004,38(12):1586-1605.
- [6] 王唯一,张明.基于自动标注特征点的人体关节跟踪[J].计算机测量与控制,2007,15(10):1379-1382.
- [7] 边肇祺,张学工.模式识别[M].2版.北京:清华大学出版社,2007.
- [8] 罗世民,李茂田.双目视觉测量中三维坐标的求取方法研究[J].计算机工程与设计,2006,27(19):3622-3624.
- [9] Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2000,22(11):1330-1334.

作者简介:

雷伍琴 女,(1987—),硕士研究生.研究方向为图像处理和计算机视觉.

郑江滨 男,(1971—),教授,博导.研究方向为多媒体智能信息处理、计算机视觉.

蔡里宁 男,(1972—).研究方向为语音图像处理与计算机视觉.

(上接第80页)

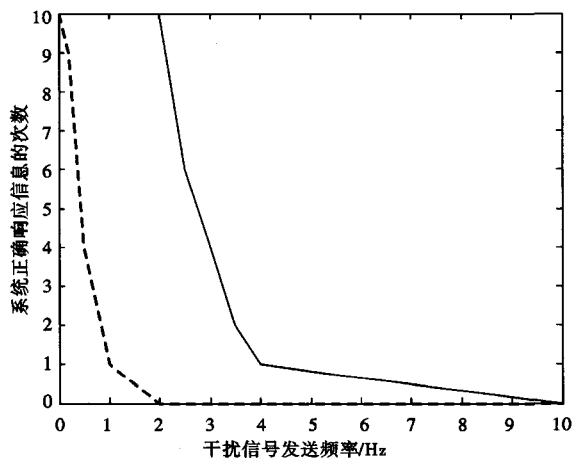


图5 抗干扰测试结果

6 结束语

本文针对 GPRS 模块与单片机串口通信中遇到的问题给出了一种改进的 KMP 算法,该方法对模式与相对子串的相似程度进行了评估.实验证明,该方法有效防止了因系统受到干扰导致个别字符错误对信息解析的影响,提高了系统的抗干扰能

力,对提高远程监控系统的稳定性具有十分现实的意义.

参考文献:

- [1] 孙建华.基于IPVPN的无线网络监控系统[J].微电子学与计算机,2008,25(9):132-137.
- [2] 王素珍,吕佩举.基于ISP器件的ISD系列SPI串口通信接口的设计[J].微电子学与计算机,2005,22(8):100-103.
- [3] 鲁宏伟,魏凯,孔华锋.一种改进的KMP高效模式匹配算法[J].华中科技大学学报:自然科学版,2006,34(10):41-43.
- [4] 谭跃生,顾瑞春,段军,等.改进的KMP算法在深度包过滤技术中的应用[J].计算机应用,2006,27(z1):217-218.
- [5] 葛永明,程文锋,饶琨.基于SMS通用型远程无线监控系统的实现[J].计算机测量与控制,2009,17(5):869-871.

作者简介:

杨小东 男,(1985—),硕士.研究方向为加密技术与无线通信.