

一个运动编辑系统的实现: MotionPro

韩红雷¹, 费广正², 孙国玉¹, 舒志雄¹

(中国传媒大学 计算机与软件学院¹ 北京 100024)

(中国传媒大学 动画学院² 北京 100024)

摘要 :利用运动捕捉系统来获取人体运动已经变得越来越普遍了,这个方法的最大的优势之一就是能得到真实自然的运动数据,但缺点是系统价格昂贵,获取运动数据成本较高,并且捕捉到的运动数据难以进行编辑和重用。本文介绍了我们开发的运动编辑系统—MotionPro,并分析了该系统所使用的一些运动编辑技术。MotionPro 提供了包括实时逆向运动学和简单图形用户界面在内的基本编辑工具,使得我们能方便快捷地重用和修改已存在的运动数据。

关键词: 运动编辑; 运动过渡; 运动融合; 运动插值; 主元分析法; 逆向运动学

Implementation of a Motion Editing System: MotionPro

Han Honglei¹, Fei Guangzheng², Sun Guoyu¹, Shu Zhixiong¹

(Computer and Software School¹, Communication University of China, Beijing 100024, China)

(Animation School², Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract: It becomes generalized to generate a human animation using the motion capture system. One of the most important merits of motion capture systems is that one can acquire natural and realistic motion data, while the fact that the systems' cost is high, the cost of acquiring a set of motion data is also very high, and modifying or reusing captured motion data is difficult are critical demerits. This paper introduces our motion editing system, MotionPro, and various motion modifications and editing techniques it uses. Providing essential motion editing tools including real-time inverse kinematics and simple graphical user interface, MotionPro enables us to reuse and modify existing motion data freely and easily at our own will.

Key words: motion editing; motion transition; motion blending; motion interpolation; principle components analysis; inverse kinematics

0. 引言

运动捕捉技术是一个对真实对象的运动进行捕捉并将其映射到计算机生成的虚拟对象上的技术。在进行运动捕捉的时候,需要将特殊的标记或传感器放置于演员的关节上,在演员做动作的同时,使用特殊的硬件设备不停地采样标记的空间位置和旋转,以此来生成运动数据集合[1]。

相比诸如关键帧和动态仿真等传统动画技术来说,实时可见性,以及可以生成高质量运动是运动捕捉技术的巨大优势。于是运动捕捉在最近几年成为了娱乐、体育训练等行业用来生成运动数据的主要工具。

然而,由于运动捕捉技术生成的运动数据规模庞大并且难以控制,所以充分利用这项技术还是比较困难的[2]。当使用传统的运动控制方法时,我们需要改变的仅仅是关键帧或输入参数,然后重新运行即可得到不同种类和风格的运动。这是因为那些方法有着我们能够完全控制的明确计算过程。相反,当使用运动捕捉技术时,我们唯一能得到的就是一个特定的运动数据集合,其中没有任何我们可以在更高层次加以控制的元素。

运动捕捉数据的可控制性是非常重要的,因为运动捕捉过程复杂并且成本较高,如果我们需要的运动和已经捕捉到的运动差别甚微,但仍要重复运动捕捉过程的话,那工作效率将是很低的,并且制作成本也将被抬高。因此,编辑已存在的运动数据的能力就成了提高运动捕捉技术利用率的核心。

人们提出了很多运动编辑技术来简化对运动捕捉数据进行处理的过程,这些技术可以粗略地分为信号处理类[1][3][4][5][6]、受约束的优化类[7][8][9][10]和基于插值技术类[11][12]。运动编辑通过修改或融合现有运动的方式来创造出新的运动,它引入了运动段(clip motions)的概念并使

本文得到:国家自然科学基金(60403037)资助

本文发表于: Chinagraph'2006 论文集, pp.87-93

作者简介: 韩红雷(1980年1月生),男,硕士研究生,主要研究方向为计算机图形学与计算机动画;费广正(1973年生),男,博士,副研究员,主要研究方向为计算机图形学与计算机动画;孙国玉(1979年5月生),女,硕士研究生,助教,主要研究方向是运动捕捉技术和计算机动画;舒志雄(1980年11月生),男,硕士研究生,主要研究方向为计算机图形学与计算机动画

用运动段来进行编辑操作。运动段是运动数据包含的最小语义单元。运动编辑研究的当前趋势是建立运动段的数据库,并通过应用适当的运动编辑技术来重利用这些运动段,借此得到新的所需的运动。

本文将介绍我们开发的运动编辑系统——MotionPro,以及几种运动编辑技术和实现这些技术时产生的一些实际问题。MotionPro 可以提供包括实时逆向运动学和简单图形用户界面在内的基本编辑工具,使得我们能简便地重用和修改已存在的运动数据。

接下来将阐述运动编辑操作和相关的工作,然后将介绍对运动编辑器提出的功能要求,其次将描述 MotionPro 系统的技术细节,最后是结论与未来工作。

1. 运动编辑

1.1. 运动编辑操作分类

依据不同的技术标准,运动编辑可以有很多种分类方法。在本文中,我们根据一次操作引入的运动数目将运动编辑技术分为多运动编辑(inter-motion)和单运动编辑(intra-motion)两种,前者需要两个或更多的运动而后者只需要一个,这样的分类方法有利于运动编辑软件的设计。多运动编辑包括过渡(transition)、融合(blending)和插值(interpolation)等,而单运动编辑包括关节重排(joint repositioning)、重定向(retargeting)、平滑(smoothing)和风格化(style manipulation)等。下面两部分将介绍每种操作的相关工作。

1.2. 多运动编辑操作

运动过渡是指通过去除两段运动连接处的不连贯性来无缝连接两个运动段的运动编辑操作。可以认为运动周期化(Cyclification)是一种特殊的运动过渡形式,因为在两段相同的运动间的转换意味着一段运动的重复。信号处理的方法通过对两段运动信号相交部分做加权和来得到间隔处的运动[3][5][6],而这样得到的结果可能是不自然的运动,例如:脚可能产生滑步现象等。Gleicher 和 Rose 等利用时空约束的方法[7][10]解决了这个问题。

运动融合是指一个运动段中的身体部分和另一个运动段的其余身体部分之间进行融合来创造出新的运动。例如我们可以把“挥手”和“行走”运动融合成为“边走边挥手”的运动。Rose 等提出的运动编辑的功能表达语言能处理简单的融合操作[10]。

运动插值操作从运动样本集合和关联参数中生成中间运动。Bodenheimer 等利用这个操作在[11]中展示的编辑结果令人印象深刻,他们通过结合线

性逼近(linear approximation)和径向基函数(radial basis functions)的方法,来计算拟合的可以逼近样本点的超曲面。我们可以把对运动数据进行 PCA(主元分析法, Principle Components Analysis)处理的方法归为插值类,因为其最终结果是用插值的方法得到的。Glardon 等在[12]中应用到了这个技术,他们首先对运动数据进行 PCA 分析,然后通过分析结果可以插值得到某个运动特征有所改变的新的运动。但是其方法仅使用在了“人的行走运动”范畴。

1.3. 单运动编辑操作

关节重排意味着改变身体的姿态,这是对运动的底层操作,可以通过直接或目标驱动的方式实现。Bruderlin 等提出了运动位移映射[3](Witkin 等提出了类似的技术,他们把这个技术叫做运动变形(Motion Warping)[6]),该技术可以使用传统的关键帧技术,并且不管原运动的表现形式如何,该技术都可以在保持运动细节的前提下对运动进行改变。由于这个优点,很多关节重排工作都用到了运动位移映射[7][8][9]。

运动重定向把一个角色的运动应用到具有相同层次结构但尺寸和身体各部分比例都不尽相同的别的角色上。Gleicher 把运动重定向操作转化为一组运动学约束,并运用时空约束来建立方程[8]。Bindiganavale 提出了一种自动提取运动重定向中重要事件的方法[14]。

运动的平滑度依赖于曲线控制点的密度。我们可以通过改变运动曲线表示中控制点的数目来控制运动的平滑程度[4][10]。在信号处理方法中,可以通过在高频或低频率波段上增加或减少运动信号的方法来控制平滑程度[3][5]。运动捕捉阶段也可以运用信号处理技术来控制运动曲线的平滑度[1]。

运动风格是一个难以量化的抽象特征。因此,研究者采用交互编辑[3][5]和基于插值的方法[11][12]来对其进行编辑。基于插值的方法对运动风格的操作特别有效,因为我们能在不用建立任何风格的计算模型基础上生成各种运动。

2. 运动编辑系统的要求

运动编辑系统要求一些诸如运动旋转、剪切和粘贴之类的基本操作。当用户想改变整个运动序列的方向时,运动旋转是很有用的。例如,在游戏应用中,“重复行走”运动的朝向是重要的,而朝向可以通过旋转操作来调节。考虑到通常的字处理软件中,剪切和粘贴的功能十分重要,用户可以通过剪切和粘贴操作来方便地调整各部分文字在文档中的分布;而在运动编辑系统中剪切和粘贴操作也有类似的作用,所以一个运动编辑系统应当具备这样的

现在存在着许多运动捕捉数据的格式，其中 BVH 和 AMC/ASF 比较常用。运动编辑系统应该支持对各种格式文件的读取、存储和不同格式文件之间的转换。由于各种文件格式之间差别很大，所以对他们之间进行转换的功能比较重要。

在运动编辑所涉及的所有插值操作中四元数表示是必不可少的,因为在四元数空间中插值能比在欧拉角空间中产生更平滑的结果。

键帧控制符合动画师的操作习惯。为不失一般性,运动编辑系统应该有键帧工具。

3. 运动编辑系统的实现——MotionPro

保存

读取

运动数据库

输入/输出

多类型文件支持: AMC/ASF, BVH

文件之间转换

运动数据

运动编辑

运动融合、运动过渡、运动周期化、运动插值(包括PCA); 运动平滑、关节重排、重定向

显示以及用于交互的图形用户界面

一个运动数据文件由文件头和运动数据组成。文件头包括文件的类型、帧数、采样时间和人体层次结构的定义等。每帧的运动数据由关节位置和旋转角度组成。我们建立了一个包含 10 万个以上运动段的运动库，并可以按照不同的分类方法对这些运动段按照进行索引。MotionPro 能读取 BVH 和 ASF/AMC 格式的文件并能支持他们之间的转换。MotionPro 没有使用特殊的数据表示形式。

放(包括反向播放)和暂停运动、帧速率控制、相机控制、显示层次信息以及在其上的选取。也包括运动旋转和运动剪切与粘贴操作。运动旋转使你向任意方向旋转整个运动序列,通过修改“root”段的平移和朝向来生成正确的结果。

The screenshot shows the AllInOne Motion Capture software interface. The left sidebar contains a list of motion capture files: Alldanet, Alldrums, Alldroman, Alldtecto, and Alldino. The 'Alldino' file is selected. Below the list is a section for 'Motion's Parameters' with fields for 'Action' (Walk), 'Bearing' (20kg), and 'Mood' (Angry). At the bottom of the sidebar are checkboxes for 'Head', 'Left Sho', 'Left ER', 'Left', 'Right Sho', and 'Right ER'. The main 3D view shows a character model in a blue and white checkered environment, with a timeline at the bottom.

图 2: Motion Pro 的一幅截图

3.3. 运动过渡

连接两个运动包括以下三步：归一化，插值和消除滑步。通常两个运动的身体部位大小可能不一样。归一化就是把两个不同的基平移和旋转变得一致，经过这个步骤之后我们就可以连接两段运动数据。为了消除在两段运动连接处的不连续性，我们需要沿边界进行插值。对于插值这里有两种选择。一是在两段运动间插入新帧，而另一种是在不引入新帧的情况下对运动进行平滑处理（见图3）。该系统中用的插值算法和3.2节的一样。由于滑步现象的存在，这种处理的结果并不好。在确定了和地面有接触的帧之后，我们用前向运动学方法比较连续两个接触位置，以此来避免滑步现象的发生。对关节姿态进行的所有改变都是通过逆向运动学完成的，稍后将对逆向运动学进行介绍。可以认为运动过渡操作中包含了运动重定向的处理。

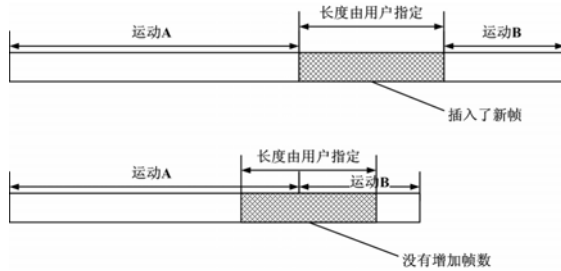


图 3: 运动过渡

3.4. 运动融合

运动融合把两段运动的身体部位混合起来，包括选择关节来交换和设置运动数据交换时的帧间隔。与运动过渡操作中的步骤一样，运动融合要求有归一化和插值的过程。这些过程的实际处理也和运动过渡中相同，但在运动融合中的插值一般不引入新帧。图4是运动融合处理的示意图，用户选定的关节以及所有子关节的运动都用另一个角色对应关节的运动代替。

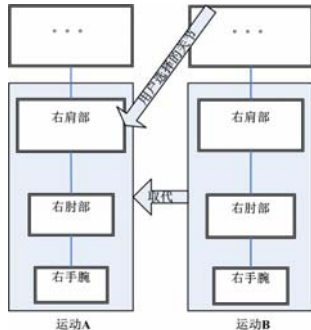


图 4: 运动融合

3.5. 运动插值

我们的运动插值的实现和 Bodenheimer 的实现[11]相类似。根据插值系数，运动插值依靠给定的两段运动 A、B 产生一段新的运动。例如从走和跑两

段运动，我们可以创造出快步走和慢跑。图5插值算法的示意图，和[11]中一样，我们需要得到特征帧，也就是类似于脚接触到地面等有重要意义的帧。在图5中特征帧的数目为3，插值系数为0.5。在两段运动中都有两处间隔a和b。运动A和B中含a和b的帧数分别为8帧和6帧。在考虑了插值系数的情况下，可以确定插值出的运动有7帧。图5中虚线并不总是恰好和运动A或B中的点相交。在这种情况下，利用四元数插值来完成根据虚交点估计数据的任务。MotionPro 允许缩放时间因子，所以运动的速度是可以调节的。

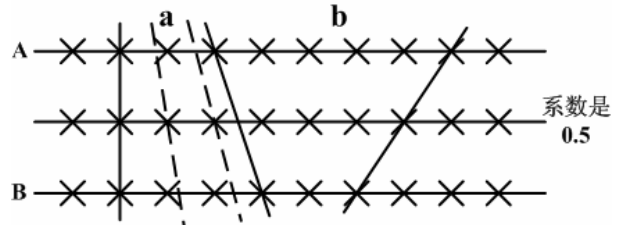


图 5: 运动插值

3.6. 对运动进行 PCA 分析

PCA 对于寻找统计数据特征是很有效的，MotionPro 系统允许用户对数据库中的运动数据进行 PCA 分析来生成新的运动，该方法的实现主要采用了类似[12]中的思想。其处理步骤包括：调入一组类似运动（运动的差别仅是某个运动特征，比如行走时的情绪或速度等）；对所有运动进行手动截取，成为周期运动，并进行归一化；对原始数据进行 PCA 降维；对降维后的数据每一维进行最小二乘拟合；插值；得到新的运动。经过这个操作得到的插值运动比较真实，并且它可以用外插值的方法来生成比较自然的新运动，这点是一般运动编辑技术所不具备的。图7中倒数第二个图是最初的一组踢腿运动，这组运动的差别是踢腿的高度，经过 PCA 分析之后，可以得到任意踢腿高度的新踢腿运动（图7中最后一个图）。

3.7. 实时逆向运动学

我们实现了两种 IK，一种是解析的 2 链路 IK 方法而另一种是采用逆向速率控制的多链路方法[13]。

因为仅在肢体中引入两个链路就能有效地控制人的肢体结构，所以对于大多数的 IK 应用而言 2 链路方法足以满足用户的需求。图6展示了解决 2 链路 IK 问题的两步算法。在图中灰球代表每个关节，黑球代表末端影响器的期望位置，虚线代表每个步骤后期望的形状（Configuration）。我们假设连接线是手臂，首先，在完成期望的肘角度计算后，我们改变肘关节的角度，然后从 3 个球决定的平面确定旋转轴。第二步是通过调节肩关节角度来将末

端影响器放置到期望位置，其旋转轴也是由球的布局决定的。这个方法的处理速度很快，以至于我们能用鼠标的拖拽自由地控制肢体的形状。为避免丢失初始姿势信息，在应用 IK 解算法前我们将关节数据存储起来。

对于超过两个链路的逆向运动学，我们应用[13]中的逆向运动学速率控制方法。这个方法使用了雅可比行列式（Jacobian）和数值计算。这个过程可以由下列方程抽象表示：

$$x = f(\theta), \Delta x = J\Delta\theta, \Delta\theta = J^+\Delta x, J^+ = J^T(JJ^T)^{-1}$$

这里 J 是雅可比矩阵而 J^+ 是 J 的逆矩阵。

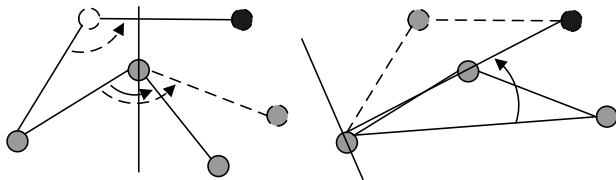


图 6：2 链路操作的逆向运动学

3.8. 运动重定向

我们使用的运动重定向只关注怎样解决滑步现象

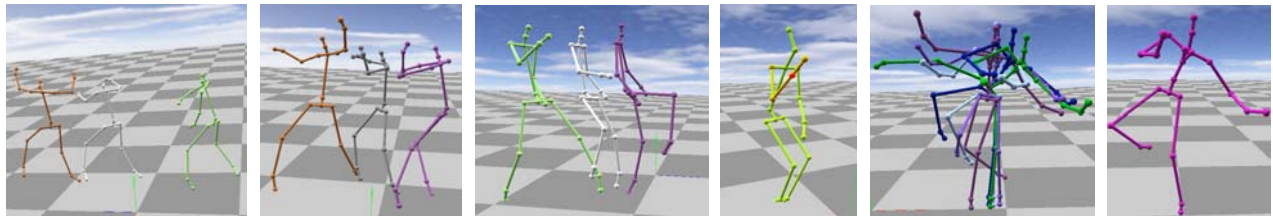


图 7：MotionPro 中运动过渡、融合、插值、逆向运动学和对运动数据进行 PCA 处理以及插值得到新运动的屏幕截图

参考文献：

- [1] C. J. Park, I. K. Jeong, H. K. Kim and K. Y. Wohn, "Sensor Fusion for Motion Capture System Based on System Identification"[C], Proc. of Computer Animation 2000, pp. 82-86, 2000.
- [2] Jung, Fisher, Gleicher, and Thingvold, "Motion Capture and Motion Editing"[R], Bridging Principles and Practice, AK Peters, 2000.
- [3] A. Bruderlin and L. Williams, "Motion Signal Processing"[C], Proc. of SIGGRAPH 95, pp. 97-104, ACM Press, 1995.
- [4] S. Sudarsky and D. House, "Motion Capture Data Manipulation and Reuse via B-splines"[C], Proc. of CapTech '98, IPIF Workshop on Modelling and Motion Capture Techniques for Virtual Environments, pp. 55-69, Springer-Verlag, 1998.
- [5] M. Unuma, K. Anjyo and R. Takeuchi, "Fourier Principles for Emotion-based Human Figure Animation"[C], Proc. of SIGGRAPH 95, pp. 91-96, ACM Press, 1995.
- [6] A. Witkin and Z. Popovic, "Motion Warping"[C], Proc. of SIGGRAPH 95, pp. 105-108, ACM Press, 1995.
- [7] M. Gleicher, "Motion Editing with Spacetime Constraints"[C], Proc. of Symposium on Interactive 3D Graphics, 1997.
- [8] M. Gleicher, "Retargeting Motion to New Characters"[C], Proc. of SIGGRAPH 98, pp. 33-42, ACM Press, 1998.
- [9] J. H. Lee S. Y. Shin, "A Hierarchical Approach to Interactive Motion Editing for Human-like Figures"[C], Proc. of SIGGRAPH 99, 1999.
- [10] C. Rose, B. Guenter, B. Bodenheimer and M. F. Cohen, "Efficient generation of motion transitions using spacetime constraints"[C], Proc. of SIGGRAPH 96, pp. 147-154, ACM Press, 1996.
- [11] B. Bodenheimer, C. Rose and M. F. Cohen, "Verbs and Adverbs: Multidimensional Motion Interpolation"[C], IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 18, No. 5, pp. 32-40, 1998.
- [12] P. Gizardon, R. Boulic, D. Thalmann, "PCA-based walking engine using motion capture data"[C], In Computer Graphics International (2004), pp. 292--298.
- [13] K. J. Choi and H. S. Ko, "On-line Motion Retargeting"[C], Proc. of International Pacific Graphics '99, pp. 32-42, 1999.
- [14] R. Bindiganavale and N. I. Badler, "Motion Abstraction and Mapping with Spatial Constraints"[C], Proc. of CapTech '98, IPIF Workshop on Modelling and Motion Capture Techniques for Virtual Environments, pp. 70-82, Springer-Verlag, 1998.
- [15] K. Shoemake, "Animating Rotation with Quaternion Curves" [C], Computer Graphics Computer Graphics. In: Proceedings of SIGGRAPH 1985, Vol. 19, No. 3, pp. 245-254.

象，这是游戏应用中的关键问题。当把一段运动应用到具有不同身体尺寸比例的别的角色时，我们按照在运动过渡操作中采用的前向运动学和逆向运动学来阻止滑步一样的方法，根据比例估计“根”的平移量。

图 7 是利用 MotionPro 进行各种运动编辑操作的屏幕截图。

4. 结论和未来工作

我们开发了系统 MotionPro，它有以下几个功能：运动浏览、运动剪切和粘贴、运动旋转、运动过渡、运动融合、运动插值、实时逆向运动学、关键帧技术和运动重定向。也进行了一些关于运动编辑系统需求的讨论。提供了包括实时逆向运动学和简单图形用户界面在内的基本运动编辑工具。MotionPro 使得我们能够对已获得的运动数据进行简便地重用和修改。

未来的工作将集中于对已实现的功能进行改进和实现新的操作，如对运动进行风格化处理等。