

基于动态规划的关键帧提取算法

费广正 张 焰 韩红雷 黄赞榛

(中国传媒大学 计算机与软件学院, 北京 100024)

摘 要: 在传统的键帧动画中, 动画师对键帧进行编辑并通过插值生成一段连续的动画. 运动捕捉数据的每一帧均可看作键帧, 但是对其直接进行编辑非常繁琐, 需要从运动中提取具有代表性的键帧, 简化运动的编辑操作. 已有的键帧抽取方法主要基于一些局部误差度量策略, 算法的全局误差难以得到保证. 提出了一种基于动态规划的运动捕捉数据的键帧提取算法, 该算法通过曲线拟合技术对密集采样的运动捕捉数据进行减帧, 在生成指定数目键帧的同时保证误差达到全局最小. 用户可以利用传统的键帧技术对减帧后的运动进行编辑.

关键词: 运动编辑; 键帧; 动态规划

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1009-315X (2007) 05-0012-05

运动捕捉技术以其质量高、代价小、制作速度快的特点在影视制作和计算机游戏等领域得到了广泛的应用. 然而该技术本质上只是对真实世界运动的复制, 不能满足各种应用对运动的需求, 在许多场合下需要对运动捕捉数据进行处理, 提高运动捕捉技术的利用率. 目前, 人们已经提出了一系列有效的运动编辑与合成方法^[1-7], 这些方法在运动控制的灵活性和实现运动对环境或角色本身的适应性方面取得了巨大的成功. 然而, 许多动画师仍然习惯于利用传统的键帧技术对角色运动进行编辑.

虽然运动捕捉的手段很多, 但是运动捕捉的成本通常较高. 为了连续地记录表演者的动作, 要求运动捕捉设备有很高的采样速率, 一些光学运动捕捉设备的采样速率甚至可达每秒 1 000 帧以上. 由于运动捕捉数据缺乏帧间相关性, 运动的每一帧均可看作是一个键帧, 对如此庞大的数据直接进行存储和键帧修改显然是不现实的.

我们希望在保持原始运动真实性的前提下, 对运动捕捉数据进行压缩, 并且赋予用户控制角色的能力, 这就需要在原始运动中挑选出具有代表性的键帧. 本文提出了一个基于曲线拟合算法的从运动捕捉数据中提取键帧的动态规划方法, 这是一种全局最优的减帧策略, 降低了局部噪声对选择键帧过程的影响, 而且用户可以控制最后生成的键帧数目. 另外, 通过反向动力学可以直接对拟合后的运动进行编辑和控制.

1 运动捕捉数据表示

人体是一种关节链结构, 其状态可用根关节的平移和所有关节的旋转表示, 平移一般用三维向量表示. 旋转可用旋转矩阵、欧拉角或四元数等形式来表示. 由于四元数在插值方面的优越性, 目前被广泛应用于计算机动画中. 在数学上, 我们常把运动数据表示为一个离散时间向量函数

$$M(t) = [p(t), q_1(t), q_2(t), \dots, q_n(t)],$$

$$1 \leq t \leq T,$$

其中: $p(t) \in R^3$ 表示根关节的平移运动, $q_i(t) \in S^4$, ($i = 1, 2, \dots, n$), 为一个四元数, 表示关节 i 的旋转运动.

1.1 四元数方法

欧拉角是使用最为广泛的表示旋转的方法, 但是难以用简单的数学方法表示两个欧拉角之间的运算, 同时还会带来万向节死锁问题 (Gimbal lock). 一种替代欧拉角表示的最常用的方法是四元数, 该方法最早由 Shoemake^[8] 引入到图形学应用中. 由于涉及大量的编辑操作和插值运算, 利用四元数表示可以得到自然平滑的运动数据, 所以我们将关节的旋转都转换为四元数的形式.

1.2 四元数之间距离的计算

定义: q_1, q_2 , 为两个单位四元数, 若 $q_2 q_1^{-1} =$

收稿日期: 2007-07-01.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60403037).

作者简介: 费广正 (1973-), 男, 安徽合肥人, 中国传媒大学计算机与软件学院副教授. 研究方向: 计算机动画、虚拟现实等.

$[w, x, y, z]$, 则 q_1, q_2 之间的距离定义为 $Dist(q_1, q_2) = \arccos(w)$ (如图1所示)。

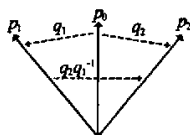


图1 四元数之间的距离

下面引入帧间距离来衡量两帧之间人体姿势的差异,并将其应用于下面讨论的误差计算中。

定义:设 $m(t_1), m(t_2)$, 分别为不同时刻 t_1, t_2 上的两帧,它们之间的距离定义为

$$Dist(t_1, t_2) = \|m(t_1) - m(t_2)\|$$

$$= \sum_{i=1}^n \omega_i Dist(R_i(t_1), R_i(t_2)),$$

其中: $\omega_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为加权系数,表示各关节对运动影响的重要度; $Dist(R_i(t_1), R_i(t_2))$ 根据四元数之间的距离公式求得。人体结构是一种树状的关节链,父关节的运动带动子关节一起运动,所以从运动上来讲父关节显得更加重要。

为每个节点赋予不同的权重,权重说明了该关节在选取关键帧的过程中的重要程度。一般将躯干部分的关节赋予大的权重,四肢关节赋予较小的权重。因为躯干部位的变化直接影响了运动的真实程度。

2 运动曲线拟合

事实上,每一个关节的运动均可看作是一条运动曲线,运动捕获数据则可看成是上述运动曲线的集合。因此,提取关键帧的过程可以看作是对密集样本点选取关键点,然后构造一组特定参数化曲线的过程。使得曲线与原始数据满足某种最小化误差的问题在数学上即为曲线拟合问题,因此运动数据关键帧抽取问题可以理解为一组曲线的拟合问题。

2.1 拟合曲线的参数形式

在进行曲线拟合时,通常需要事先确定一种曲线形式,然后试图求解曲线的各参数使之尽可能准确地拟合数据。由于参数形式简单以及容易交互的特点,本文选择用分段3次 Hermite 样条曲线来拟合运动数据,各关键点作为每段 Hermite 曲线的控制点。至少首尾两帧是关键帧,中间每增加一个关键帧,就增加一段 Hermite 曲线。

在计算 Hermite 曲线的表达式时,需要用到两个端点处的切向量,算法中通过对该点与前后两

个相邻点构成的向量求平均近似得到(如图2所示中的P点),首尾端点处的切向量则分别取与后一点或前一点构成的向量。由于距离较远的点对曲线形状的影响比较小,因此在实际应用中这种方法是可行的。

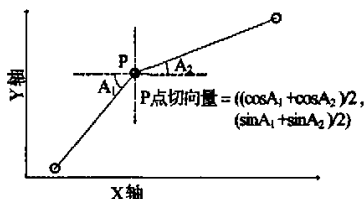


图2 数据点处切向量的计算方法

从上述定义中容易看出,分段曲线节点位置(即关键帧位置)的选择将直接决定曲线的表达式,从而影响曲线的最终拟合效果。Plass 等^[9]运用动态规划方法来寻找一系列最佳节点(knot)使得拟合误差最小,本文中采用了类似的算法。

2.2 误差度量准则

我们将拟合曲线引起的误差定义为样本点到曲线的距离平方和再加上 τ , τ 是调节参数,代表多选择一个控制点的代价。样本点到曲线的距离可以定义如下:样本数据点可以表示为方程 $F(P, T)$, 其中 P 表示数据点, T 表示该数据点到起始数据点之间的线段长度在总数据点线段长度中所占的比例;拟合曲线可以表示为方程 $G(P', T)$, 其中 P' 表示曲线上的数据点, T 表示其对应的参数。设某个样本数据点 P 对应的参数 $T = t$, 则其在拟合曲线上的对应点是满足 $T = t$ 的点 P' , P 和 P' 之间的距离就表示 P 到曲线的距离。

假设 $h(t)$ 表示节点 i 和节点 j 决定的一段 Hermite 曲线, $g(t)$ 为原始运动曲线(此处仅需考虑其在各采样点处的值),则误差的计算公式为

$$e_{ij} = \sum_k \|h(t_k) - g(t_k)\|^2 + \tau,$$

其中: k 为 i 与 j 之间的任意节点; t_k 为其对应的参数, τ 分别为两条曲线对应的弧长(或弦长)参数;为一正值平衡常数,它的大小决定了拟合曲线逼近原始样本点集的程度。 τ 越大,误差越大,拟合曲线控制点越少; τ 越小,误差越小,控制点越多;当 $\tau = 0$ 的时候,该算法会将所有样本数据点作为控制点。对于 τ 的值,可以由程序员经验性给出,也可以动态的让用户自己调节。

2.3 拟合曲线控制点选取

在计算误差 e_{ij} 的同时,必须为每个节点 k 维护一个从开始点到该节点最小的 e_{ik} , 每次增加一

一个新节点 j 的时候,都要重新考虑之前每个节点保存的 e_k ,分别加上 e_j ,通过比较得到最小的 e_j .这是一个动态规划的过程,类似于图论中的 Dijkstra 算法.我们假设 E_{ij} 表示节点 i 到节点 j 在可能有其他节点情况下的最小拟合误差,则有

$$E_j = \min(E_k + e_j), i < k < j.$$

显然公式被递归定义,并假设已经将所有 $i < k < j-1$ 的 E_k 计算出来,并且予以保存.通过计算之前曲线拟合区域内的所有节点 k 到样本点 j 之间距离的方式,我们可以得到所有的 e_j 值.

那么,计算数据点的最优拟合曲线也就是计

算 $E_{1j}(2 < j \leq n)$,并且将对应的 k 依次予以保存.最后,所有 k 就是使得拟合最优的节点,利用这些 k 为控制点的三次 Hermite 曲线对原始数据点的拟合,就是误差最小的拟合.

图 3 所示,显示了曲线控制点选取的过程.图 3(1)表示拟合 3 个数据点选择节点的两种方法;图 3(2)表示拟合 4 个点的时候,可以利用前 3 个点保存的结果,并将比较次数由 4 次减少为 3 次的情况.考虑到运动数据是由多个关节的运动曲线组成,我们将对每一个自由度曲线应用上述的曲线拟合算法.

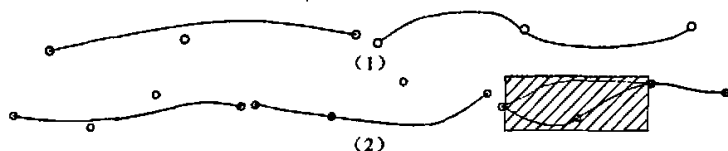


图 3 利用动态规划寻找拟合曲线的节点

3 基于关键帧的运动编辑

运用上述算法抽取出关键帧之后,可以很方便地计算生成每一个关节的分段 3 次 Hermite 曲线,通过 Hermite 曲线连接这些关键点,便形成了只包含几个关键帧信息的原始运动的新表示.

利用 Hermite 曲线易于交互编辑的特性,可以对关键帧进行直观的编辑操作.由于 Hermite 曲线是自动生成的,编辑的结果可以很容易地传递到运动中的其他帧,并保持较好的效果.这样便提供了一个非常方便和快捷的交互工具,通过传统的关键帧技术对角色运动进行编辑.在系统中,由于每个关节的运动通过减帧算法得到的关键帧并不相同,可以直接对需要调整的单个关节进行编辑.编辑的前提是必须保持原始运动的重要约束,以免修改后的运动失去物理真实感.

4 实验结果

我们用 VC++ 6.0 和 OpenGL 实现了一个运动数据减帧系统,对本文提出的算法进行了实现和验证,使之达到既保持了原始运动的特征,又一定程度地压缩了数据.我们选取了一个由 111 帧构成的运动捕捉数据进行演示.由于难以对四元数进行可视化展示,不失一般性,这里用欧拉角表示运

动的旋转,当用户指定不同的 τ 时,得到了控制点数目不同的拟合方案, τ 的值选择越大,最优参数化曲线的控制点越少,但是,拟合误差也越大.

如果选择 $\tau=0.5$,用 46 个关键帧可以基本上还原原始数据(如图 4 所示);如果选择 $\tau=10$,那么用 17 个关键帧就可以基本上还原原始数据(如图 5 所示).

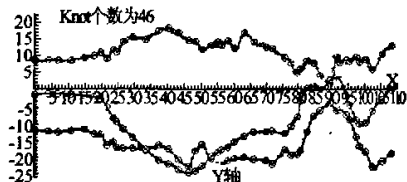


图 4 $\tau=0.5$ 时的拟合效果

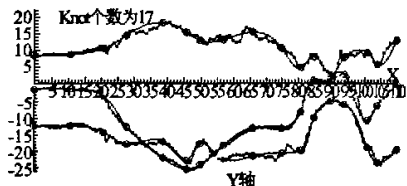


图 5 $\tau=10$ 时的拟合效果

图 6 所示是原始运动与本文抽取出关键帧之后拟合得到的新运动之间的比较,给出了原始运动与新运动对应的第 1、20、40、60、80 和 100 帧.

从图6可以看出,本文的关键帧抽取算法很好地保持了原始运动的姿态。

图7所示为原始运动和基于关键帧编辑后的运动的比较,给出了原始运动和编辑后运动的第1、2、4、10、12帧和第18帧。原始运动是一段跑步

的动画序列,我们在第4帧处将角色调整为跳跃的姿态,经过编辑后的运动就变成了一个在奔跑中跳跃,然后落地又继续奔跑的动画序列。第1帧和最后一帧的姿态是相同的,这符合曲线插值的效果。

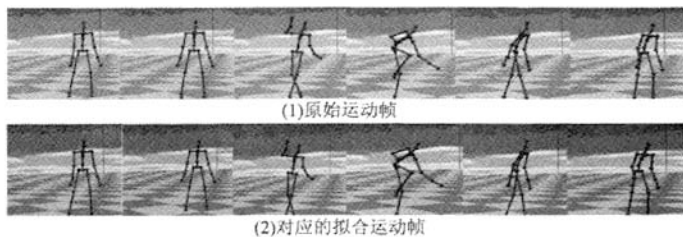


图6 原始运动与拟合运动之比较

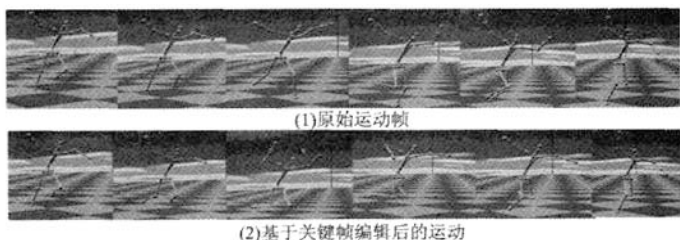


图7 原始运动和基于关键帧编辑后的运动比较

5 结论与讨论

本文运用曲线拟合的原理,结合动态规划的节点搜寻策略,在四元数空间对运动捕捉数据进行了曲线拟合。通过拟和选中的关键帧可以重建原始运动,从而达到了减帧的目的。该算法可以在保证原始运动质量的前提下,对运动捕捉数据进行关键帧提取,用较少的关键帧来实现对原始数据很好的拟合。

一旦提取到关键帧,动画师就可以利用传统的关键帧编辑方法对提取出的帧进行编辑。由于本文提出的关键帧抽取算法是全局最优抽取方法,相比于局部优化的方法来说,该方法一方面可以让用户控制全局拟合误差,另一方面可以防止噪声对关键帧抽取过程的影响。

现在要对未来的工作有一个总结性的讨论。首先, τ 值是由用户随机指定的,而我们只关心那些有意义的经验值。其次,没有在算法中加入物理

和动力学约束。当提取的关键帧数目较少时,结果会显得不太自然,部分关节的运动不符合动力学规律。最后,如何保持拟合前后的运动与环境的一致性,是我们未来要继续研究的一个重点。

参考文献:

- [1] Gleicher M. Motion Editing with Spacetime Constraints [C]// Proceedings of Symposium on Interactive 3D Graphics, Providence: Rhode Island, 1997.
- [2] Gleicher M. Retargeting Motion to New Characters [C]// Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, Orlando, Florida, 1998.
- [3] Bruderlin A, Williams L. Motion Signal Processing [C]// Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, Los Angeles, California, 1996.
- [4] Witkin A, Popovic Z. Motion Warping [C]// Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, Los Angeles, California, 1995.
- [5] Arikan O, Forsyth D, O'Brien J. Motion Synthesis from Annotations [C]// Computer Graphics Proceedings, Annual Con-

- ference Series, ACM SIGGRAPH, San Diego, 2003.
- [6] Li Y, Wang T, Shum H. Motion texture: A Two - level Statistical Model for Character Motion Synthesis [C] // Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, San Antonio, 2002.
- [7] Shen Junxing, Sun Shouqian, Pan Yunhe. Key - frame extraction from motion capture data [J]. Journal of Computer - Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16 (15): 719 - 723.
- [8] Shoemake K. Animating Rotation with Quaternion Curves [J]. Computer Graphics, 1985, 19 (3): 245 - 254.
- [9] Michael Plass, Maureen Stone. Curve - Fitting with Piecewise Parametric Cubics [J]. Computer Graphics, 1983, 17 (3): 229 - 239.

Dynamic Programming Based Key - frame Extraction Algorithm

FEI Guang - zheng ZHANG Yan HAN Hong - lei HUANG Zan - zhen

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

Abstract: In traditional key - frame animation, animators edit the key frames to generate a continuous animation sequence by interpolation. However, each frame of motion capture data can be considered as a key frame, and it is too tedious to perform editing task to such data. We need to extract the representative key frames from motion to simplify the motion editing operation. Existing key frame extraction algorithms mainly consider local error metrics, thus do not guarantee a global error tolerance. In this paper, we propose a dynamic programming approach to key reduction for motion capture data, which can reduce key frames of intensive sampled motion capture data through a curve fitting algorithm, and this method promises a minimized global error with a given number of key frames. In addition, users can edit key - reduced motion capture data using traditional technologies of key - frame.

Key words: motion editing; key - frame; key - reducing; dynamic programming

(责任编辑 邹永红)

大连民族学院首获国家自然科学基金委 国际合作交流项目资助

经第十一届中韩基础科学研究联合委员会批准,大连民族学院刘秋教授申请的国家自然科学基金委(NSFC)与韩国科学与工程基金会(KOSEF)合作研究项目“新型聚酮类化合物的筛选及其KS基因的克隆”,获得基金委国际合作局立项资助,资助经费10万元。该项目依托于学校国家民委-教育部共建重点实验室,与韩国忠南大学校的专家开展新型聚酮类化合物的筛选及其相关基因的分析研究工作。

同时,经国家自然科学基金委化学科学部批准,大连民族学院田文杰博士申请的国际合作项目“具有信号转导机能的生物纳米器件的开发研究”也获得立项资助,资助经费1万元。该项目将与日本奈良先端科学技术大学院大学开展合作研究。这个项目也是大连民族学院首次获得国家自然科学基金委国际(地区)合作交流项目,对于促进学校的国际学术交流将起到了积极作用。

(黄治宇)

作者: [费广正](#), [张焰](#), [韩红雷](#), [黄赞榛](#), [FEI Guang-zheng](#), [ZHANG Yan](#), [HAN Hong-lei](#),
[HUANG Zan-zhen](#)
作者单位: [中国传媒大学, 计算机与软件学院, 北京, 100024](#)
刊名: [大连民族学院学报](#)
英文刊名: [JOURNAL OF DALIAN NATIONALITIES UNIVERSITY](#)
年, 卷(期): 2007, 9(5)

参考文献(9条)

1. [Gleicher M](#) [Motion Editing with Spacetime Constraints](#) 1997
2. [Gleicher M](#) [Retargeting Motion to New Characters](#) 1998
3. [Bruderlin A](#); [Williams L](#) [Motion Signal Processing](#) 1996
4. [Witkin A](#); [Popovic Z](#) [Motion Warping](#) 1995
5. [Arikan O](#); [Forsyth D](#); [O' Brien J](#) [Motion Synthesis from Annotations](#) 2003
6. [Li Y](#); [Wang T](#); [Shum H](#) [Motion texture: A Two-level Statistical Model for Character Motion Synthesis](#) 2002
7. [Shen Junxing](#); [Sun Shouqian](#); [Pan Yunhe](#) [Key-frame extraction from motion capture data](#) [期刊论文]-
[Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics](#) 2004(15)
8. [Shoemake K](#) [Animating Rotation with Quaternion Curves](#) 1985(03)
9. [Michael Plass](#); [Maureen Stone](#) [Curve -Fitting with Piecewise Parametric Cubics](#) 1983(03)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dlmzxyxb200705004.aspx