

一种虚拟人运动拟合算法

贺怀清, 洪炳熔

(哈尔滨工业大学计算机科学与工程系, 黑龙江哈尔滨 150001)

摘 要: 本文研究并实现了虚拟人在不同运动形式之间进行自然、平滑过渡的一种运动拟合算法. 该算法根据已有的运动, 采用多级 B-样条表示的规整函数产生不断细化的运动, 从而得到最终的目标运动. 最后, 本文对算法的可行性和有效性进行了实验验证.

关键词: 运动形式过渡; 运动拟合; 规整函数; 多级 B-样条函数

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 08-1107-03

A Motion Fitting Algorithm for Virtual Humans

HE Huai-qing, HONG Bing-rong

(Department of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract: This paper studies and implements a motion fitting algorithm to realize a natural and smooth transition between different motions for virtual humans. According to existing motions, the algorithm adopts a warping function represented by multi-level B-spline function to generate detailed motion level by level in order to get the goal motion. Finally, experiments demonstrate the feasibility and effectiveness of the algorithm.

Key words: motion transition; motion fitting; warping function; multilevel B-spline function

1 引言

在虚拟环境中, 利用虚拟人来模拟人的行为并对其性能进行评估, 这在动画、机械工程、医学、军事和空间探索应用中变得越来越重要. 而虚拟人的运动控制是虚拟人研究中的一项重要内容, 国外许多研究者都致力于这方面的研究, 所采用的运动控制方法主要包括: 关键帧方法^[1,2]、正、逆运动学方法^[3-5]和动力学方法^[6,7]等常用控制方法; 借助于传感器、电缆等外部设备的运动捕捉方法^[8]; 时空约束方法^[9,10]. 国内在虚拟人运动控制方面的研究很少, 已有的研究受人体模型的限制, 通用性较弱^[11,12].

迄今为止, 研究人员运用不同的运动控制方法生成了虚拟人的多种、独立的运动, 但在虚拟环境中, 虚拟人的各个运动不是孤立存在的, 往往需要相互之间的过渡, 如何自然、平滑地实现不同运动之间的过渡是一个值得研究的问题.

在采用逆运动学控制方法生成了虚拟人多种运动形式的基础上, 为了实现不同运动之间的过渡, 本文借鉴运动捕捉和时空约束方法的思想, 研究并实现了一种虚拟人运动拟合算法.

2 基本思想

虚拟人的运动是一个时变函数, 它描述了虚拟人在某一

时刻的姿态. 为了以统一的方式处理表示位置和方向的向量数据^[13], 可以把虚拟人的运动表示为 $m(t) = (p(t), q^1(t), \dots, q^n(t))^T$, 其中 $p(t) \in R^3, q^1(t) \in S^3$ 描述了虚拟人本体的平移和旋转运动; $q^i(t) \in S^3$ 描述了第 $i-1$ 个关节的旋转运动, $2 \leq i \leq n$.

给定初始运动 $m(0)$ 和一组约束 C , 主要的问题是如何得到满足约束 C 的目标运动 $m_g(t)$, 为此, 引入描述两个运动间差异的规整函数: $w(t) = m(t) \ominus m(0) = (v^0(t), \dots, v^n(t))^T, v^i(t) \in R^3, 0 \leq i \leq n$. 通过对初始运动应用规整函数, 可以得到新的运动 $m(t) = m(0) \oplus w(t)$.

一个合适的规整函数在产生新的运动时不应该丢失运动细节, 为此, 本文考虑把规整函数表示为定义在结点上的多级 B-样条函数, 每级 B-样条曲线描述了对应关节的时变运动偏移, 并在提炼结点序列的过程中加入运动细节信息. 利用较好的结点序列, 可以找到精确满足 C 中所有约束的解.

3 算法的实现

3.1 规整函数的表示

令 $\Omega = \{t \in R | 0 \leq t < n\}$ 为范域, 考虑一组离散数据点 $P = \{(t_i, x_i)\}, t_i \in \Omega$. 于是, 根据定义在范域 Ω 上的均匀结点序列, 用均匀三次 B-样条基函数 $B_k, (0 \leq k \leq 3)$ 对规整函数

w 进行描述:

$$w(t) = \sum_{j=-1}^{n+1} \sum_{k=0}^3 B_k(t) b_j \quad (1)$$

$$b_j = \frac{(t_i, x_i) p_j}{(t_i, x_i) p_j} \frac{2}{ij} \quad (2)$$

它将局部近似误差 $(t_i, x_i) p_j w(t_i) - x_i^2$ 最小化。其中, $ij = B_{j+1} \cdot L_{i,j}(t_i - L_{t_i,j})$ 是根据 B-样条基函数得到的,而

$$ij = \frac{ix_i}{\sum_{k=0}^3 B_k(t_i - \tau_{t_i,j})}$$

的作用是使曲线靠近数据点 (t_i, x_i) 。

为了保持运动的细节特征,本文根据 Lee 等^[14]提出的多级 B-样条近似技术,用一系列 B-样条函数逐级表示规整函数,于是得到逐步求精的规整函数序列: w_1, \dots, w_g , 逐级应用规整函数,得到相应的逐步求精的运动序列: m_1, \dots, m_g

$$m_g = (\dots((m_0 \oplus w_1) \oplus w_2) \oplus \dots \oplus w_g) \quad (3)$$

这里, $w_k (1 \leq k \leq g)$ 由三维向量空间中的一组三次 B-样条曲线表示, w_k 的组成曲线定义在均匀间隔的结点序列 k 上, 结点序列 $k, (1 \leq k \leq g)$ 组成了由粗到细的层次。

3.2 约束

约束定义了运动必须保持的具体特征,共分两类,一类约束从生理解剖学的角度说明了人体各个关节间的约束关系;二类约束来自具体的运动约束,说明虚拟人末端效应器的位置和方向。假设每类中的约束是在具体的时刻定义的,运动帧间隔上保持的可变约束可由时间间隔上的一系列约束来说明,顺序对 (t_j, C_j) 说明了在帧 t_j 上的约束集 C_j 。

3.3 结点间隔

结点序列 $k (1 \leq k \leq g)$ 的密度决定了约束对该级规整函数的影响范围,控制着最终运动 m_g 的精确性。为简单起见,在实现时,把结点序列的密度逐级加倍。

3.4 运动拟合算法

为了计算规整函数,必须估计每个约束帧上每个关节的运动偏移。一个具体帧上的关节偏移是通过规整函数相应的组成曲线进行拟合的,并平滑地传递给邻近各帧。假设现在在第 k 级, $1 \leq k \leq n$ 。在每个约束帧 t_j , 逆运动学控制算法给出了虚拟人满足给定约束集 (t_j, C_j) 的位姿 $m(t_j)$ 。由于可能存在满足 C_j 中所有约束的许多可能位姿,所以需要选择与前一级运动 $m_{k-1}(t_j)$ 偏差最小的一个位姿,即,需要把下式最小化:

$$w(t_j)^2 = m(t_j) - m_{k-1}(t_j)^2 = \sum_{i=0}^n v_i^2 \quad (4)$$

其中 $w(t_j) = (v^0, \dots, v^n)$ 。通过调整各关节的权值,能够控制关节运动的准确性。

把逆运动学控制算法与式(3)给出的逐步求精方法相结合,得到了下面的运动拟合算法。

【算法】输入:初始运动 m_0 , 约束集 C ; 输出:目标运动 m_g 。

步骤 1:令 $k = 1$ 。

步骤 2:令推导规整函数 w_k 的关键帧集合 $W = \dots$ 。

步骤 3:对各约束帧 $(t_j, C_j) \in C$, 执行

用逆运动学算法求出该帧的位姿 $m(t_j) = \text{IKsolver}(C_j, m_{k-1}(t_j))$

根据式(4)计算与该帧前一级运动 $m_{k-1}(t_j)$ 偏差最小的运动偏移 $w(t_j) = m(t_j) \ominus m_{k-1}(t_j)$

$$W = W \cup (t_j, w(t_j))$$

步骤 4:通过式(2)对 w 进行曲线拟合以计算 w_k 。

步骤 5:第 k 级的运动为 $m_k = m_{k-1} \oplus w_k$ 。

步骤 6:如果得到了满足约束 C 的目标运动 m_g , 则转步骤 7; 否则令 $k = k + 1$; 转步骤 2。

步骤 7:结束。

4 实验结果

本文所采用的人体模型的骨架结构如图 1 所示,将人体表示为 20 个关节共 40 个自由度,关于逆运动学问题总共有 40 个参数。在研究中,虚拟人的运动是以每秒 30 帧的频率产生的。

在用运动拟合方法产生两种运动方式的过渡时,能够在运动过渡时平滑地连接运动数据。图 2 给出了运动过渡的几个例子。

表 1 给出了例子的性能总结。

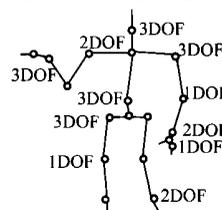


图 1 人体模型的骨架结构

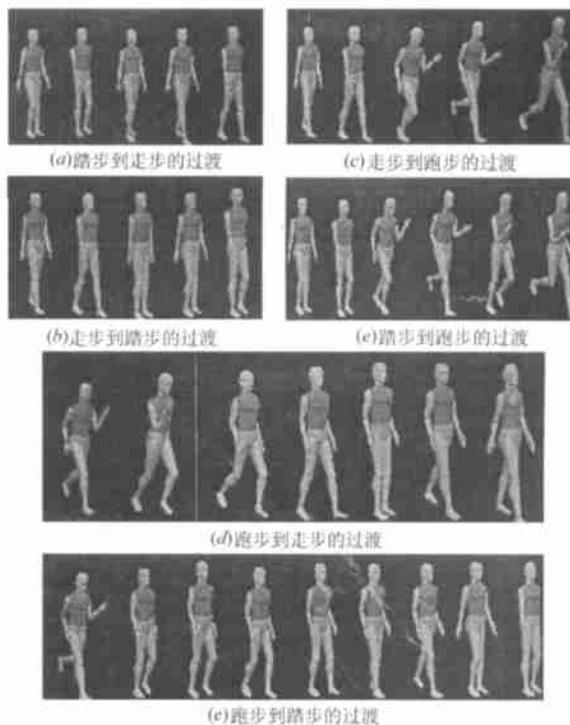


图 2 踏步、走步和跑步三种运动形式之间的过渡
定时信息是在具有 R4400 处理器的 SGI Indigo2 工作站上得到的。每个例子的执行时间不仅受定量因子的影响,如帧、约束和参数数量,而且受定性因子的影响,如获得由约束指定的期望特征的困难程度。实验过程中发现,执行时间和最大误差逐级迅速地减少,用四到五级拟合,就可得到最终的结果。由实

表 1 例子的性能总结

过渡方式	踏步到走步的过渡				走步到踏步的过渡				走步到跑步的过渡					
帧数	82				82				132					
二类约束数	214				214				526					
级别	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
帧数/ 结点	16	8	4	2	16	8	4	2	16	8	4	2		
执行时间(CPU sec)	0.16	0.12	0.12	0.10	0.18	0.14	0.11	0.08	0.53	0.37	0.22	0.13		
最大误差(%)	4.39	2.75	1.43	0.32	5.03	3.72	1.46	0.37	6.23	3.41	1.78	0.64		
过渡方式	跑步到走步的过渡					踏步到跑步的过渡				跑步到踏步的过渡				
帧数	187					112				195				
二类约束数	764					269				824				
级别	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5
帧数/ 结点	32	16	8	4	2	16	8	4	2	32	16	8	4	2
执行时间(CPU sec)	2.13	1.74	1.04	0.79	0.23	0.33	0.19	0.12	0.09	2.51	1.96	1.14	0.91	0.34
最大误差(%)	10.09	8.17	5.64	2.27	0.74	4.56	2.93	1.34	0.41	10.81	8.62	5.67	2.37	0.68

验结果,可以预测,后一级的计算代价比前一级的计算代价小得多。

由于使用三次 B -样条表示规整函数,一帧中姿态的变化能够影响当前级七个结点覆盖的邻近帧姿态,这种处理的前后兼顾性,避免了运动中许多不希望出现的人工矫饰。

5 结论

本文研究并实现了在虚拟人的不同运动形式之间产生自然、平滑过渡的一种运动拟合算法,算法的核心思想在于引入由多级 B -样条函数表示的规整函数,在一定误差范围内由粗到细地产生满足约束的目标运动。多级结构弥补了局部近似方法的缺陷。该算法与已有的逆运动学控制方法相结合,不仅减少了计算代价,而且提高了运行速度。

但该算法存在的不足之处在于:为了加强分布在多帧上的参数之间的关系,需要做额外的工作以处理帧间约束;当处于所有各帧都彼此相关的极端情况下,需要解决一个大型优化问题来获得各级的规整函数;物理约束的缺乏,会产生一些不真实的结果。这些都是需要进一步解决的问题。

参考文献:

- [1] Sketee S N, Badler N I. Parametric keyframe interpolation incorporating kinetic adjustment and phrasing control [J]. Computer Graphics, 1985, 19(3): 255 - 262.
- [2] Watt A, Watt M. Advanced animation and rendering techniques[M]. Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [3] Grard M, Maciejewski and A. A. Computational modeling for the computer animation of legged figures[J]. Computer Graphics, 1985, 19(3): 263 - 270.
- [4] Grard M. Interactive design of 3D computer animated legged animal motion[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1987, 7(6): 39 - 51.
- [5] Phillips C, Zhao J and Badler N I. Interactive real time articulated figure manipulation using multiple kinetic constraints [J]. Computer Graphics, 1990, 24(2): 245 - 250.
- [6] Wilhelms J. Using dynamics analysis for animation of articulated bodies [J]. IEEE Computer Graphics & Applications, 1987, 7(6): 12 - 27.
- [7] Badler N I and Ko H S. Animation human locomotion with inverse dynamics[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1996, 16(2):

50 - 59.

- [8] Bruderlin A, Williams L. Motion signal processing [A]. Proceedings of SIGGRAPH '95 [C], Los Angeles, California, 1995: 97 - 104.
- [9] Zcheng Liu, Steven J Gortler, Michael F. Cohen. Hierarchical space-time control [A]. Proceedings of SIGGRAPH '94 [C], Orlando, Florida, 1994: 35 - 42.
- [10] Jehoo Lee, Sung Yong Shin. A Hierarchical Approach to Interactive Motion Editing for Human-like Figures [A]. Proceedings of SIGGRAPH '99 [C], Los Angeles, California, 1999: 39 - 48.
- [11] 宋顺林, 詹永照, 薛安荣, 伏劲松. 三维计算机动画中人体建模方法的研究[J]. 软件学报, 1995, 6(5): 311 - 315.
- [12] 宋顺林, 詹永照, 薛安荣, 伏劲松. 三维人体行走模型的研究与实现[J]. 计算机学报, 1996, 19(6): 429 - 434.
- [13] M-J Kim, M-S Kim, S Y Shin. A general construction scheme for unit quaternion curves with simple high order derivatives [A]. Proceedings of SIGGRAPH '95 [C], Los Angeles, California, 1995: 369 - 376.
- [14] S Lee, G Wolberg, S Y Shin. Scattered data interpolation with multilevel bsplines [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1997, 3(3): 228 - 244.

作者简介:



贺怀清 女,现在哈尔滨工业大学攻读计算机应用博士学位,主要研究方向为:虚拟人的运动控制,虚拟环境人-机接口等。



洪炳熔 工学博士,教授,博士生导师,研究方向为:空间机器人,虚拟现实技术及应用等。