

一种改进的运动路径编辑方法

刘 爽,孙济洲

(天津大学 计算机科学与技术学院,天津 300072)

(zoeorange@eyou.com)

摘 要:介绍了运动路径编辑方法,提出了保持足部位置运动速率不变的算法来解决其中出现的脚步滑动现象。该算法中,使用了基于约束的技术。首先,逐帧求出原始运动数据的足部位置,作为初始约束条件,当运动路径变化后,依据足部位置运动速率不变的原则,自动更新约束条件,减少了以往方法中的人工干预过程;然后,采用按帧编辑的实时逆向运动学算法求解约束条件。实验结果表明此算法有效地解决了脚步滑动现象。

关键词:运动路径;运动约束;路径编辑;交互技术

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Improved motion path editing

LIU Shuang, SUN Ji-zhou

(College of Computer Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Motion path editing was introduced. A new algorithm which kept the velocity of foot movement unchanged was put forward to solve the footstep slip in editing process. In this algorithm, constraint technique was used. First, location of foot was computed in every frame as initial constraint. When the motion path was changed, constraints were updated automatically according to the principle of unchanged velocity of foot movement. This automatic method reduces the manual interference existing in traditional ones. Then per-frame Inverse Kinematics algorithm was used to solve foot-constraints in real time. Experimental results show that the proposed algorithm solves footstep slip effectively.

Key words: motion path; motion constraints; path editing; interaction technique

0 引言

运动捕捉方法通过跟踪人体的特定关节运动而得到非常真实细致的人体运动数据,是目前人体运动仿真中常用的一种方法^[1]。但由于捕捉的运动数据只是对某一事件精确的记录,如果我们希望复用这些数据,而只有一些细微的不同,那么就必须编辑数据。

本文考虑对一个已有的运动数据进行编辑,使得新生成的运动能沿着一条新的路径进行,比如,原始运动数据是沿着一条直线运动,通过修改使其成为沿着一曲线的运动。在编辑过程中,在加入新的运动特征的同时,可以通过使用基于约束的技术来保持原始运动的一些必要的属性。

在进行运动编辑过程中,会产生脚步滑动的现象,一般在解决脚步滑动时,要使用足部位置约束条件。Bindiganavale^[2]使用了一种足部位置约束条件自动生成的方法,但这种方法对于有脚步拖动的运动数据的编辑是不可靠的。为此,Michael Gleicher^[3]提出了自动识别旧的足部位置约束条件、并由用户干预手工编辑形成新的足部位置约束条件的方法,但这样会增加编辑者的工作量及难度。本文在解决脚步滑动的问题上,提出了在保证运动速度不变的基础上,旧的足部位置自动识别与新足部位置约束条件自动生成的方法,它也适用于有脚步拖动的运动数据。

1 运动路径

运动路径不是一段运动的内部特征,而是从运动中抽象

出来的一个特征^[5]。运动路径是对人体运动位置移动的抽象,运动路径中包含了运动方向的信息,这个信息是和人体的运动朝向相关的。

1.1 利用 B 样条抽取运动路径

在这里,我们以运动路径为交互工具,向用户提供了操纵运动的方式。路径抽取的目标就是提供一条近似于运动轨迹的曲线。通常是通过人体的某一点(一般选为根关节)的运动轨迹来计算运动路径的,但是运动轨迹不等于运动路径。以时装模特走猫步为例^[3]:在表演过程中,模特的身体在不断地扭动,其根关节的运动轨迹必然是一条振荡的曲线,但是一般观众会认为她在沿一条笔直的路线行进表演,也就是说她的运动路径被观众抽象成一条直线。所以,我们必须从这条振荡的运动轨迹曲线中提取出那条隐含的直线路径。这一过程可以看作是一个曲线的低通滤波过程。

从原始运动中抽取出几个控制点,通过三次 B 样条曲线拟合来形成一条运动路径。为了简便,控制点的选择是通过在原始运动序列上等时间间隔的帧上取根关节的全局偏移量为控制点的位置。本文对人体根关节的平移轨迹的 x 分量和 z 分量做 B 样条逼近。用户可以通过移动 B 样条的控制点,来对路径进行交互编辑,然后自动根据新的控制点的位置用 B 样条曲线拟合来形成新的运动路径,使虚拟人能够沿着新的路径进行运动。

1.2 运动路径的方向

在任何时刻,运动路径都包含了运动的方向。一般的,路径曲线的某一点对时间的导数值(即切线方向)就表示

了在该点上的运动方向。

2 路径编辑

我们以向用户提供一条运动路径为交互手段,用户可以通过修改路径上的控制点来修改路径。在生成了新的路径后,若要按照新的路径进行运动,人体就要按照新的位置来移动。由于人体的位置的变化,主要就是根节点的平移来达到的,那么,就用生成的运动路径来控制人体的位置变化以及人体的朝向,来达到人体沿着路径运动的效果。因为路径是以时间为参数的,如果直接通过时间参数来计算路径曲线上的位置信息,那么当改变路径的时候有可能会改变运动速率,有时这不是我们所希望看到的。比如在行走运动中^[5],如果改变路径的结果使根关节的移动速率增加,但脚步的数量保持不变,就会造成双脚在地板上打滑的不良结果。

为了减少脚步滑动现象,本文提出保持路径编辑前后运动速率不变的方法,使新生成的运动保持了原始运动中根节点在前后两帧中的位移大小,位置变化只是方向上的变化,而没有长度的变化。

由于路径在某一点上的切线方向是和人体的运动方向相关的,那么可以用曲线上相应点的斜率来作为人体运动的方向。

用函数 $\Delta T' = f(\Delta T, t)$ 表示初始位置变化量 ΔT 按照运动路径改变后 t 时刻所对应点的斜率变化进行相应的变化,形成新的位置变化量 $\Delta T'$ 。用 $T_i (i = 1, \dots, \text{运动捕捉序列的总帧数})$ 表示在原始运动捕捉序列各帧中根关节的平移向量,用 $\Delta T_i = T_{i+1} - T_i (i = 1, \dots, \text{运动捕捉序列的总帧数} - 1)$ 表示原始运动捕捉序列第 $i + 1$ 帧相对于第 i 帧的根节点平移向量的变化量。用 $T'_i (i = 1, \dots, \text{运动捕捉序列的总帧数})$ 表示在进行编辑后运动序列各帧中根关节的平移向量。

由于对运动序列的编辑是按照顺序的方式进行的,所以在处理 $i + 1$ 帧时,从第 1 帧到第 i 帧的根节点的新的位置信息均是已知的了,可以计算出新运动中根关节在第 $i + 1$ 中的位置向量 $T_{i+1}' = T_i' + f(\Delta T, t_i) (i = 1, \dots, \text{运动捕捉序列的总帧数} - 1)$ 。这样就可以用新生成的根节点的位置来形成新的运动序列,此新的运动保持了和原始运动相同的运动速度。

仅改变了人体的运动位置是不够的,为了产生真实的人体运动效果,还要有人体运动朝向的改变,所以在 t 时刻上还要使得人体的根节点按照运动路径改变后 t 时刻对应点的斜率变化进行相应的变化。

3 运动约束

上面描述的路径编辑方法保存了原始运动的一些特征,如,在处理过程中,没有影响各个关节的角度,但是所产生的新运动中末端效应器的位置移动了。末端效应器的位置移动在一个运动编辑过程中是很重要的,它在一定程度上影响了所产生的运动动作质量。有时,需要显示的指明它们的位置要求。

上述的路径变换会对不同的时刻有不同的影响,比如,在原始运动序列中,在连续两个或多个时刻上脚的位置在空间中是处于一个位置上,但通过路径编辑后,会使得在这几个时刻上脚处于不同的位置上,这会在一定程度上破坏原始运动的细节,产生脚步的滑动现象。尽管在第 2 部分中通过保持运动速率不变的方法来尽量减少脚步滑动的产生,但还不能完全消除。

为了解决脚步滑动的现象,一种常用的方法就是识别出原始运动的几何特征,做为约束条件,使得在编辑过程中这些

特征得以保持。在处理约束的过程中,并没有改变运动的路径,只是改变了运动的细节。

3.1 约束条件的表示

在第 2 部分介绍的基础上,本文使用基于约束的技术,在这里使用的是几何约束条件,是一种相对位置约束,在每一次路径改变后,这些约束条件都要做实时的更新处理。

本文对角色的支撑点在每一帧均施加位置约束条件: $p_k(t) = C$, 其中 $p_k(t)$ 表示第 k 个支撑关节点在 t 时刻上的位置向量, C 表示位置常量。这种在每一帧上设置约束条件的方法有别于以前的仅在某些关键帧上施加约束条件的方法^[3,6],以前的方法要加入人为的干预来指定施加约束的帧及约束位置,增加了动画制作师的工作量,并且为了保证时间上的连续性,还要做进一步的平滑处理。本文中提出的方法是按照逐帧的方法进行处理,由于帧与帧的时间间隔很短,后一帧的处理要依赖于前一帧的位置条件,这样就可以保证时间上的连续性。

3.2 初始约束条件

根据人体的树状层次结构和原始运动数据中根节点的平移量和其他相应关节的旋转角度值,可以按式(1)自动识别出在原始运动每帧中的支撑点所处的位置约束条件:

$$p_k(t) = C = T_0 R_0 R_1 \cdots R_{k-1} P_k \quad (1)$$

其中, P_k 为第 k 个支撑点在其父坐标系下的初始位置, $R_0 \cdots R_{k-1}$ 是根节点到其父关节点间的各个关节的旋转变化矩阵, T_0 为根关节的平移向量。

3.3 约束条件的更新

用 $C_i (i = 1, \dots, \text{运动捕捉序列的总帧数})$ 表示在原始运动捕捉序列各帧中支撑点的约束位置,用 $\Delta C_i = C_{i+1} - C_i (i = 1, \dots, \text{运动捕捉序列的总帧数} - 1)$ 表示原始运动捕捉序列第 $i + 1$ 帧相对于第 i 帧的支撑点位置的变化量。用 $C'_i (i = 1, \dots, \text{运动捕捉序列的总帧数})$ 表示在进行编辑后运动序列各帧中支撑点的约束位置,用 $\Delta C'_i = C'_{i+1} - C'_i (i = 1, \dots, \text{运动捕捉序列的总帧数} - 1)$ 表示在进行编辑后运动序列第 $i + 1$ 帧相对于第 i 帧的支撑点位置的变化量。

我们相信,当捕捉到的原始运动中不存在脚步滑动现象时,如果能够保证路径编辑后支撑点的移动速率与捕捉运动序列中的支撑点的移动速率相同时,就可以保证不产生滑动现象。基于这个原因,可以重新计算约束位置有 $C'_{i+1} = C'_i + f(\Delta C_i, t_i) (i = 1, \dots, \text{运动捕捉序列的总帧数} - 1)$; $C'_i = C_i$ 。本文中的方法不需要人为的指定要进行约束的帧及约束位置,程序自动更新处理。

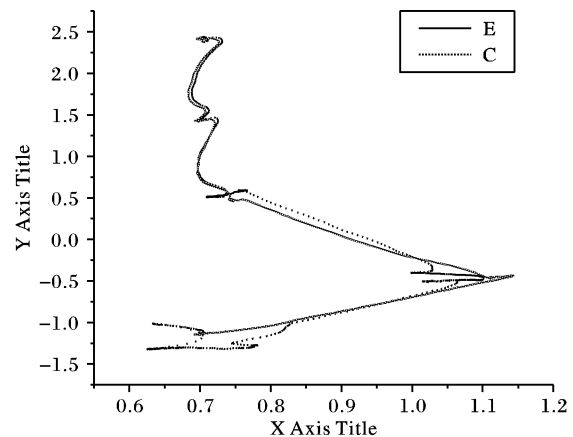


图 1 支撑点约束位置曲线

当改变了一个路径控制点后,图 1 中点画线表示只改变了角色的根节点的平移向量时支撑点的位置曲线;实曲线表

示作为新约束位置的支撑点曲线。

对一个具有 1050 帧的跳跃运动捕捉序列进行了抽取运动路径,所形成的原始路径近似于一条直线,路径上共有 9 个控制点,把第 4 个控制点在 x 方向上平移了 0.6 个单位,如图 1 所示,通过计算新的约束条件,即新的支撑点的位置,使支撑点的位置变换更为平滑,不产生支撑点的抖动现象。

3.4 求解约束条件

对于更新后的根关节的位置与支撑点的约束位置,可能会由于人体生理的限制,使得新的约束位置是不可达的,当发生了这种情况时,还要对根关节的平移向量重新做更新处理。设支撑点与根关节间的极限距离为 $threshold$,以 C_{i+1}' 为球心,以 $threshold$ 为半径做球,求出球与射线 $T_i'T_{i+1}'$ 的交点位置 P_{i+1} ,更新 $T_{i+1}' = P_{i+1}$ 。

给出了约束位置条件后,即支撑点的新位置,有关的其他关节也要做出相应的变化,使用 per-frame Inverse Kinematics (per-frame IK,即按帧编辑的逆向运动学)^[9]的方法,计算出为满足位置要求,其他关节点(如髌关节点和膝关节点)所应进行的旋转变换。

3.5 路径编辑算法步骤

综上,算法步骤归纳如下:

- 1) 提取初始运动路径,计算 $\Delta T_i, \Delta C_i (i = 1 \cdots \cdots \text{运动序列的总帧数})$;
- 2) 交互编辑路径;
- 3) 初始化:设置计数器 $i = 1, T_1' = T_1$;
- 4) 计算 $f(\Delta T_i, t_i); f(\Delta C_i, t_i)$;
- 5) $T_{i+1}' = T_i' + f(\Delta T_i, t_i); C_{i+1}' = C_i' + f(\Delta C_i, t_i)$;
- 6) 判断如果 T_{i+1}' 与 C_{i+1}' 之间的距离大于极限距离 $threshold$,到第 7) 步,否则到第 8) 步;
- 7) 以 C_{i+1}' 为球心,以 $threshold$ 为半径做球,求出球与射线 $T_i'T_{i+1}'$ 的交点位置 P_{i+1} ,更新 $T_{i+1}' = P_{i+1}$;
- 8) 用逆向运动学方法求解出从根关节点到支撑点之间其他关节点的旋转角度值;
- 9) $i = i + 1$;如果 $i < \text{总帧数}$,返回到第 4) 步;
- 10) 算法结束,形成新的动作序列。

4 应用

4.1 跳跃运动

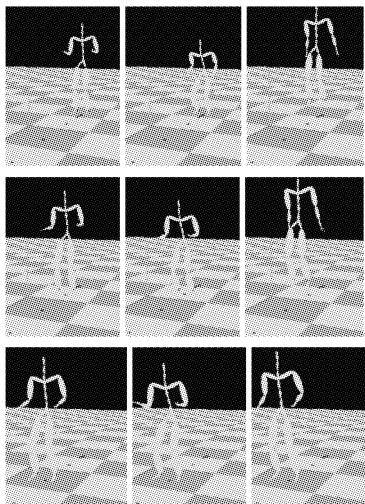


图2 跳跃的原始运动序列中的第 139、191、244、347、413、445、515、551、590 帧

图 2 为原始的具有 1050 帧的跳跃动作捕捉序列,在图中地面上的点表示路径曲线上的控制点,在足跟部的点表示在当前帧中的足部约束位置。当把此初始运动序列所形成的运

动路径曲线的第 4 个控制点在 x 方向上平移 0.6 个单位时,所产生的效果如图 3 所示,控制点的位置改变了,相应的所控制的人体的运动序列也发生了相应的变化。新生成的运动不会产生脚步滑动现象,符合人体运动规律,编辑过程可以达到实时。

4.2 走路运动

同样,我们也可以把我们算法用于其他类型的运动中,下面再以走路运动为例。图 4 为原始的具有 343 帧的走路动作捕捉序列,图 5 为改变运动路径控制点后的动作序列,所生成新运动真实可靠,也不会产生脚步滑动现象。

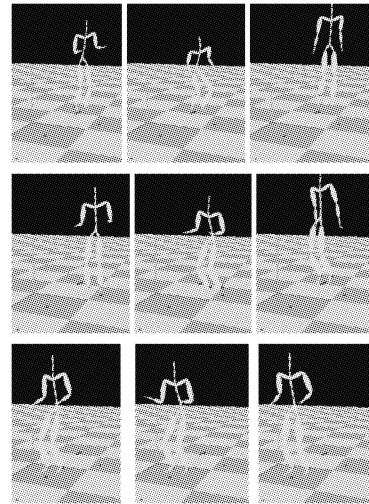


图3 路径编辑后的跳跃运动序列中的第 139、191、244、347、413、445、515、551、590 帧

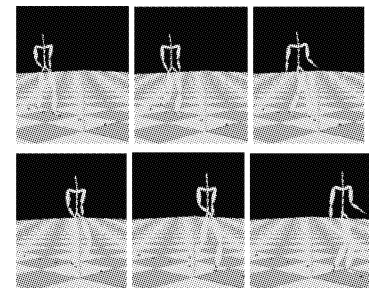


图4 走路运动原始捕捉动作序列中的第 11、27、73、120、155、191 帧

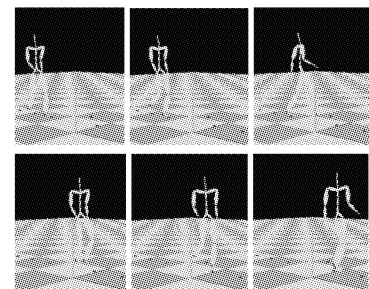


图5 运动编辑后走路运动序列中的第 11、27、73、120、155、191 帧

5 结语

当对路径进行编辑时,若不改变人体关节的旋转动作细节,会产生在其他编辑算法中常常出现的脚步滑动现象,本文在解决这个问题时,提出了一种新的方法,首先是保证人体的运动速度的不变,然后再根据运动方向的变化自动生成新的支撑点约束位置,用按帧逆向运动学方法求解约束条件,生成新的动作。

(下转第 2865 页)

行速度也很快,具有很大的实际应用的潜力。

表 1 不同隐写分析方法的识别率(%)

嵌入方法	嵌入量	隐写分析方法														
		文献[4]			文献[5]			文献[6]			文献[7]			本文特征		
		tn	tp	t	tn	tp	t	tn	tp	t	tn	tp	t	tn	tp	t
F5	1kB	51	54	53	62	58	60	62	42	52	76	72	74	77	84	81
	2kB	56	56	56	64	65	65	62	44	53	86	87	87	89	95	92
	4kB	68	53	60	85	77	81	64	48	56	94	98	96	96	99	98
OutGuess	1kB	58	38	48	61	41	51	57	41	49	91	87	89	97	98	98
	2kB	61	39	50	67	61	64	68	41	55	97	96	97	99	100	99
	4kB	59	48	54	73	79	76	69	46	57	98	97	98	100	98	99
MB1	1kB	48	55	52	59	60	59	60	42	51	66	65	66	88	91	90
	2kB	52	53	53	71	69	70	61	42	52	88	83	86	96	98	97
	4kB	53	58	55	83	81	82	64	44	54	91	88	90	100	99	99
MB2	1kB	55	47	51	65	55	60	59	43	51	64	61	62	93	89	91
	2kB	49	58	53	75	64	69	64	42	53	76	77	76	97	99	98
	4kB	59	52	55	85	83	84	66	42	54	88	80	84	99	100	99

表 2 不同隐写方法的运行速度

隐写分析方法	特征维数	s/100 幅	s/幅
文献[4]	72	657.85	6.58
文献[5]	39	406.46	4.06
文献[6]	130	130.51	1.30
文献[7]	23	1159.20	11.59
本文特征	120	130.30	1.30

4 结语

本文提出了一种简洁有效的通用隐写分析方法,对当前流行的 JPEG 隐写方法(F5, Outguess, MB)进行了隐写分析实验,性能优于现有方法。算法特点如下:1)直接在 DCT 域提取特征,避免了转到空域处理所造成的隐写信息丢失;2)利用二阶信息(共生矩阵)比一阶信息(直方图)更为丰富的特征;3)利用共生矩阵的对称性及范围控制,有效地控制特征维数;4)本文特征提取算法简单,运行速度快,对于实时处理有着很大的潜力。

参考文献:

[1] WESTFELD A. F5 a steganographic algorithm: High capacity de-

spite better steganalysis[A]. 4th International Workshop on Information Hiding[C]. Pittsburgh, PA, USA, 2001.

[2] PROVOS N. Defending against statistical steganalysis[A]. 10th USENIX Security Symposium [C]. Washington DC, USA, 2001.

[3] SALLEE P. Model-based methods for steganography and steganalysis[J]. International Journal of Image and Graphics, 2005, 5(1): 167 - 190.

[4] LYU S, FARID H. Detecting Hidden Messages Using Higher-Order Statistics and Support Vector Machines[A]. 5th International Workshop on Information Hiding[C]. 2002.

[5] XUAN GR, SHI YQ, GAO JJ, *et al.* Steganalysis Based on multiple features formed by statistical moments of wavelet characteristic functions[A]. Information Hiding Workshop (IH2005) [C]. Publisher: Springer-Verlag GmbH, 2005, Vol 3727: 262 - 277.

[6] SULLIVAN K, MADHOW U, CHANDRASEKARAN S, *et al.* Steganalysis of Spread Spectrum Data Hiding Exploiting Cover Memory [A]. SPIE2005[C]. 2005, Vol 5681: 38 - 46.

[7] FRIDRICH J. Feature-based steganalysis for JPEG images and its implications for future design of steganographic schemes[A]. 6th Information Hiding Workshop[C]. Toronto, ON, Canada, 2004.

[8] HARALICK RM, SHANMUGAM K, DINSTEN I. Textural features for image classification[J]. IEEE Transactions on Systems Man Cybernet, 1973, SMC-3(6): 610 - 621.

[9] OSU SVM Toolbox for matlab[EB/OL]. <http://sourceforge.net/projects/svm/>, 2006.

[10] IJG library for JPEG image compression[EB/OL]. <http://www.ijg.org/>, 2006.

[11] Steganography software Outguess[EB/OL]. <http://www.outguess.org/>, 2006.

[12] Steganography software F5[EB/OL]. <http://www.inf.tu-dresden.de/~westfeld/f5.html>, 2006.

[13] Steganography software Model-Based method[EB/OL]. <http://redwood.ucdavis.edu/phil/papers/iwdw03.htm>, 2006.

(上接第 2862 页)

所提出的解决脚步滑动现象的方法不需要进行非线性优化,只需在每一帧上进行固定数量的计算,能达到实时性的要求,可用于具有实时性要求的交互应用中。

目前,对于路径编辑中的约束指定是一些几何约束条件及人体关节旋转角度的运动学约束,没有考虑动力学约束条件,如运动平衡等。在以后的研究中会考虑加入更多的动力学约束条件。

参考文献:

[1] 黄河,朱登明,王兆其,等. 虚拟人运动控制开发平台的研究与实现[A]. 首届智能 CAD 与数字娱乐学术会议(CIDE2004) [C]. 杭州: 浙江大学出版社, 2004.

[2] BINDIGANAVALE R, BADLER NI. Motion abstraction and mapping with spatial constraints[A]. Proceedings of the International Workshop on Modelling and Motion Capture Techniques for Virtual Environments[C]. London, UK: Springer-Verlag, November 1998. 70 - 82.

[3] KOVAR L, GLEICHER M, SCHREINER J. Footskate cleanup for motion capture editing[A]. Proceedings of the 2002 ACM SIGGRAPH/

Eurographics symposium on Computer animation[C]. New York, NY, USA: ACM Press, 2002. 97 - 104.

[4] GLEICHER M. Motion path editing[A]. Proceedings of the 2001 symposium on Interactive 3D Graphics[C]. New York, NY, USA: ACM Press, 2001. 195 - 202.

[5] 沈军行. 运动编辑与合成技术研究[D]. 硕士, 浙江大学, 2004.

[6] GLEICHER M. Retargeting motion to new characters[A]. Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques[C]. New York, NY, USA: ACM Press, 1998. 33 - 42.

[7] GLEICHER M. Motion editing with spacetime constraints[A]. Proceedings of the 1997 Symposium on Interactive 3D Graphics[C]. New York, NY, USA: ACM Press, 1997. 139 - 148.

[8] ROSE CF, GUENTER B, BODENHEIMER B, *et al.* Efficient generation of motion transitions using spacetime constraints[A]. Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques[C]. New York, NY, USA: ACM Press, 1996. 147 - 154.

[9] GLEICHER M. Comparative analysis of constraint-based motion editing methods[A]. 2000 Workshop on Human Modeling and Animation[C]. Seoul Korea, 2000. 1 - 38.