

8-20-2020

## Model and Simulation of Virtual Character Based on Real-time Sensor Data-driven

Lufeng Luo

1. *Lab of Virtual Reality, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;* 2. *Mechanical Engineering College, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China;*

Xiangjun Zou

1. *Lab of Virtual Reality, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;*

Zhang Cong

2. *Mechanical Engineering College, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China;*

Xie Lei

2. *Mechanical Engineering College, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Model and Simulation of Virtual Character Based on Real-time Sensor Data-driven

### Abstract

**Abstract:** The real-time control of virtual character behavior is a challenge in simulating virtual exercise. A kind of virtual character running behavior control method based on real-time data-driven was proposed, the real-time data acquisition with the help of sensor was expounded, the time-series law of human body running was analyzed, the human body posture mathematics expression was modeled, and a limb movement parts and rotation degrees of freedom computing model was proposed. By use of rotation angle method, the space and time relationship of each part of human movement chains was established and the movement process frame when moving was arithmetized by use of L- $\theta$  inserted frame. By combining EonSDK, the real-time control of character running behavior was realized in Visual C++. It is proved that this control method can meet the needs of sports simulation.

### Keywords

virtual character, real-time data, behavior control, rotation angle

### Recommended Citation

Luo Lufeng, Zou Xiangjun, Zhang Cong, Xie Lei. Model and Simulation of Virtual Character Based on Real-time Sensor Data-driven[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(4): 677-681.

# 基于实时数据的角色运动建模与仿真

罗陆锋<sup>1,2</sup>, 邹湘军<sup>1</sup>, 张丛<sup>2</sup>, 谢雷<sup>2</sup>

(1. 华南农业大学虚拟现实技术研究所, 广州 510642; 2. 天津职业技术师范大学机械工程学院, 天津 300222)

**摘要:** 虚拟角色运动的实时控制是虚拟健身运动仿真中的难点。提出一种基于实时数据驱动的虚拟角色跑步控制方法, 建立基于传感器的实时数据获取模型, 分析人体跑步运动规律, 建立跑步运动的数学模型, 运用基于旋转角度的方法求解人体运动链上各个关节运动, 采用 L- $\theta$  插帧法对关键帧之间的过渡帧进行运动插值运算, 在 Visual C++ 环境下结合 EONSDK 实现了虚拟人跑步运动的实时控制。测试效果表明: 该控制方法能很好的满足健身运动仿真的需要。

**关键词:** 虚拟角色; 实时数据; 行为控制; 旋转角度

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 04-0677-05

## Model and Simulation of Virtual Character Based on Real-time Sensor Data-driven

Luo Lufeng<sup>1,2</sup>, Zou Xiangjun<sup>1</sup>, Zhang Cong<sup>2</sup>, Xie Lei<sup>2</sup>

(1. Lab of Virtual Reality, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. Mechanical Engineering College, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** The real-time control of virtual character behavior is a challenge in simulating virtual exercise. A kind of virtual character running behavior control method based on real-time data-driven was proposed, the real-time data acquisition with the help of sensor was expounded, the time-series law of human body running was analyzed, the human body posture mathematics expression was modeled, and a limb movement parts and rotation degrees of freedom computing model was proposed. By use of rotation angle method, the space and time relationship of each part of human movement chains was established and the movement process frame when moving was arithmetized by use of L- $\theta$  inserted frame. By combining EonSDK, the real-time control of character running behavior was realized in Visual C++. It is proved that this control method can meet the needs of sports simulation.

**Keywords:** virtual character; real-time data; behavior control; rotation angle

## 引言

虚拟人运动的实时控制是人机交互中的一个研究热点与难点, 也是虚拟健身运动仿真中一项关键技术。目前, 应用虚拟现实技术与设备, 以真实的人体运动数据控制虚拟人运动, 是解决这个问题

的一种新方法。这种方法一般有 2 大类, (1) 是基于计算机视觉的方法<sup>[1]</sup>, (2) 是基于传感器的方法<sup>[2-4]</sup>。在这一研究领域, 由宾夕法尼亚大学的 Badler 领导的团队比较著名<sup>[5]</sup>, 主要从事逆运动学、身体平衡、脊骨建模、运动捕获和人体碰撞检测等方面的研究。另外, Girard 等人用动力学规则生成躯干运动, 用逆运动学生成腿部运动产生自然的人体行走运动<sup>[6]</sup>; Stewart 等人用基于约束的方法, 完全采用动力学生成了在平地或在楼梯环境下的 3D 人行走<sup>[7]</sup>。在国内, 哈尔滨工业大学、浙江大学、中科



收稿日期: 2014-03-04 修回日期: 2014-05-21;  
基金项目: 国家自然科学基金(31171457);  
作者简介: 罗陆锋(1982-), 男, 湖南新化人, 博士生, 讲师, 研究方向为虚拟现实、机器视觉; 邹湘军(1957-), 博士, 教授, 博导, 研究方向为虚拟现实技术、农业采摘机器人。

<http://www.china-simulation.com>

院等学校和机构做了大量的工作。浙江大学的庄越挺等<sup>[8-9]</sup>在利用运动捕获来制作人体动画方面从事了许多研究。哈尔滨工业大学的洪炳熔等<sup>[10-11]</sup>在虚拟人的实时运动控制方面进行了研究。中科院计算技术研究所的王兆其等<sup>[12-14]</sup>在虚拟人运动合成等方面做了深入研究。

虚拟健身运动仿真需要根据实际人体运动的实时数据来同步控制虚拟角色, 虚拟人的跑步动画不是周期性一成不变, 考虑到运动的实时需要, 本文提出一种基于传感器实时数据的跑步运动关键帧的实时求解方法, 讨论了该方法中传感器数据采集模型、跑步过程的运动规律、基于旋转角度的运动链上各个关节位置的求解以及关键帧过渡中的运动插值, 最后开发出的虚拟跑步健身系统验证该控制方法的有效性。

## 1 虚拟人实时控制过程

在具有虚拟人参与的实时控制仿真环境中, 实时绘制和交互显得格外重要。本研究采用 VR 交互设备(USB 数码跑步机、脉搏测试仪等) 与仿真系统进行交互, 当用 USB 数码跑步机外设接入系统时, 系统将其识别为 USB HID 设备, 通过 USB 数码跑步机的实时输入信号来计算控制虚拟人的跑步速度和跑过的距离。输入信号为单位时间内输入的脉冲频率, 运动员每跑步前进一定距离( $\Delta s$ )就有一次信号响应。 $\Delta s$ 是一个可设置的均匀值, 由一个跑步周期距离和给定的关键帧个数计算得到。安装在数码跑步机转轴上的传感器实时采集人跑过的距离。跑步机转轴每转过 $\Delta s$ 就产生一个信号, 人的跑步速度越快, 信号产生的频率越高, 反之, 频率低, 这样就将人体跑步速度转化为一个频率信号。再通过基于旋转角度的方法实时求解虚拟人在 $\Delta s$ 这一段距离过程中的各个关节部位的变化, 运用虚拟仿真开发工具 EON 对人体姿态关键帧进行实时绘制, 采用 L- $\theta$ 插帧法对过渡帧进行绘制, 产生一束连续平稳的人体跑步动作。虚拟人实时控制的数据采集及传输流程图如图 1 所示。

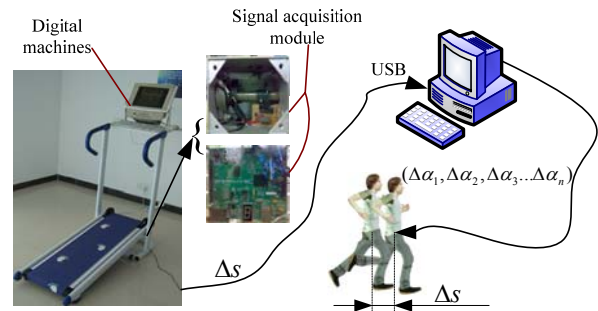


图 1 数据采集及传输流程图

## 2 人体跑步过程分析

人体跑步过程分析是为了确立跑步运动的时序关系, 以便根据四肢和身体位置及速度协调它们之间的运动, 为各关节位置的求解提供约束条件。在分析之前, 先提出如下概念参量<sup>[15]</sup>: 运动周期( $T_c$ )、支撑期( $t_s$ )、单脚支撑期( $t_{ss}$ )、步幅( $L_c$ )、飞行时间( $t_f$ )。

人体跑步基本运动过程可简化为周期性的重复运动, 以一个周期来描述人体的跑步过程, 一个跑步周期是由两个单脚支撑期和一个腾空飞行期组成, 如图 2 所示。

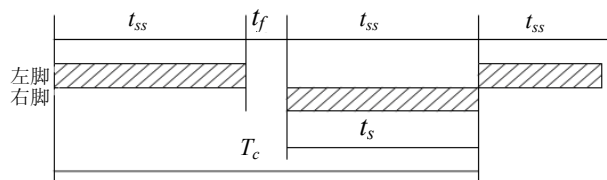


图 2 跑步运动周期时序关系图

跑步运动最重要的空间特征是步幅, 设定人体跑步相对速度参量用 $V_R$ 表示, 根据 Inman 等<sup>[14]</sup>经验标准化公式, 得出:

$$L_c = 2.123(V_R)^{1/2} \quad (1)$$

基本的时间特征是运动周期:

$$T_c = L_c / V_R \quad (2)$$

Murray 等<sup>[7]</sup>指出其他的时间特征, 即单脚支撑期 $t_{ss}$ 和支撑期 $t_s$ 都与运动周期 $T_c$ 线性相关:

$$t_s = t_{ss} = 0.0447 T_c + 0.123 \quad (3)$$

$$t_f = 0.106 T_c - 0.0123 \quad (4)$$

跑步时, 身体部位主要做前后和上下摆动, 左

右运动(横向运动)幅度则很小。幅度较大的关键部位关节及其活动范围如表 1 所示。

表 1 人体运动时关节旋转角度

身体部位	关节	活动角度范围/°	跑步时的活动范围/°
大腿/躯干	髋关节	345~175	315~180
大腿/小腿	膝关节	15~180	45~150
小腿/对脚	踝关节	180~345	315~270
上臂/躯干	肩关节	-90~90	-45~45
下臂/上臂	肘关节	+180~345	270~315

### 3 运动姿态的时空关系求解

#### 3.1 人体跑步运动表示

在分析了人体跑步过程后, 为了求解跑步动作各关键帧之间的时空关系, 把虚拟人的运动表示为:

$$m(t) = (p(t), r(t), q^1(t), \dots, q^n(t))' \quad (5)$$

其中:  $p(t) \in \mathbb{R}^3, r(t) \in S^3$  描述了人体的平移和旋转;  $q^i(t) \in S^3$  描述了第  $i$  个关节的旋转位移运动,  $1 \leq i \leq n$ 。

构建人体骨架模型来描述人体模型的关节结构, 骨架模型如图 3 所示, 其中圆点代表关节点, 线段代表关节之间的骨骼和骨连接, 称之为关节连接体。其中:  $\overline{OA}$  表示躯干( $L_1$ );  $\overline{AB}, \overline{AD}$  表示上臂( $L_2, L_4$ );  $\overline{BC}, \overline{DE}$  表示下臂( $L_3, L_5$ );  $\overline{OF}, \overline{OI}$  表示大腿( $L_6, L_9$ );  $\overline{FG}, \overline{IJ}$  表示小腿( $L_7, L_{10}$ );  $\overline{GH}, \overline{JK}$  表示下脚掌( $L_8, L_{11}$ )。

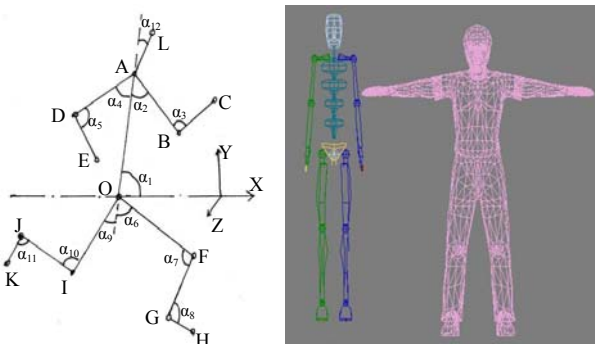


图 3 简化的骨架模型结构

根据各关节的旋转和平移运动属性构建如下运动状态函数:

$$\begin{cases} q = (\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n) \\ X = (x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) \\ q = f(X) \end{cases} \quad (6)$$

其中:  $q$  表示人体关节角度参数,  $X$  表示关节末端操作器的状态矢量。

本文采用 3DMAX 软件构建人体三维模型, 将人体的模型数据导入 EON 平台后, 再根据上述人体跑步运动的数学表示方法, 定义人体骨骼模型各关节局部坐标系。

#### 3.2 人体跑步各部位的时空求解

为了求解虚拟人各关节的运动变化, 给每个关节都设定一个局部坐标系, 同时还需要引入矩阵  $A$ , 用  $A_i^{-1}$  为两相邻肢体  $i-1$  和  $i$  之间的齐次坐标变换矩阵。为了表示这个矩阵, 引入以下变量<sup>[5]</sup>: 肢体的长度  $L_i$ , 肢体的扭转角  $\alpha_i$ , 关节变量角  $\theta_i$ , 偏置量  $d_i$ 。根据这 4 个参数可以得出从关节  $i$  到关节  $i-1$  的变换矩阵  $A_i^{-1}$ , 当  $i=0$  时,  $A_i^{-1}$  表示世界坐标系:

$$A_i^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & L_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & L_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中:  $[L_i \cos \theta_i \quad L_i \sin \theta_i \quad d_i]^T$  产生投影变换;

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{bmatrix} \text{ 产生旋转几何变换。}$$

这样就可以确定每个肢体坐标系相对于世界坐标系的变换:

$$T_1 = A_1^0, T_2 = A_1^0 A_2^1, \dots, T_n = A_1^0 A_2^1 \dots A_n^{n-1} \quad (8)$$

在分析得出各关节相对于绝对坐标系的矩阵变换后, 需求解人体跑步过程中位移与各关节姿态的关系。在由肢体和关节构成的肢体链中, 当肢体前进微小位移  $\Delta s$  时, 会引起关节链上各个关节的回转角  $\Delta \alpha$  产生微小变化。  $\Delta s$  和  $\Delta \alpha$  的函数关系可用下式来表示:

$$\Delta s = J(\alpha) \Delta \alpha \quad (9)$$



以中心位置  $O$  点为人体前进位移的参考点, 则当  $O$  点位置处发生微小运动  $\Delta s$  时, 利用基于旋转角度的计算方法<sup>[16]</sup>, 可求出人体运动链上各关节的微小位置变化。表示方程如下:

A 关节的位姿函数表示为:

$$\begin{cases} x_A(s) = x_O(s) + L_1 \cos(\alpha_1(s)) \\ y_A(s) = y_O(s) + L_1 \sin(\alpha_1(s)) \end{cases} \quad (10)$$

B 关节的位姿函数表示为:

$$\begin{cases} x_B(s) = x_A(s) + L_2 \cos(\alpha_1(s) + \alpha_2(s)) \\ y_B(s) = y_A(s) + L_2 \sin(\alpha_1(s) + \alpha_2(s)) \end{cases} \quad (11)$$

K 关节的位姿函数表示为:

$$\begin{cases} x_K(s) = x_J(s) + L_{11} \sin(\alpha_1(s) + \alpha_9(s) + \alpha_{10}(s) + \alpha_{11}(s)) \\ y_K(s) = y_J(s) + L_{11} \cos(\alpha_1(s) + \alpha_9(s) + \alpha_{10}(s) + \alpha_{11}(s)) \end{cases} \quad (12)$$

同理可以推导出人体其他关节的位姿函数。

### 3.3 人体跑步过程仿真

给定人体各关节参数:  $OA=100, AB=50, BC=40, AD=50, DE=40, OF=70, FG=60, GH=20, EI=70, IJ=60, JK=20, AL=20$ 。根据如表 1 所示的各关节跑步过程中的角度旋转范围, 运用基于旋转角度的方法对人体跑步过程进行仿真, 图 4~5 是在 MATLAB 环境实现下实现的人体跑步运动仿真效果。

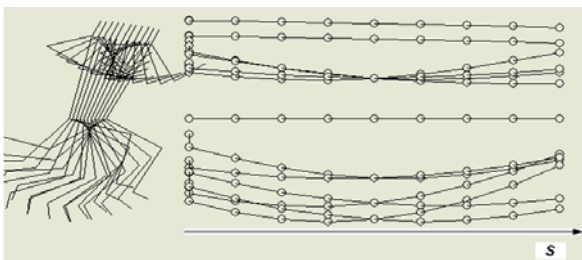


图 4 人体跑步运动仿真 (关节位置)



图 5 人体跑步运动仿真 (关键帧)

## 4 跑步运动插值

插补算法在实现用关键帧技术产生最终的行为仿真中具有很重要的地位。利用关键帧技术实现虚拟人的运动控制时, 必须解决的两个问题, 分别是位置插值和朝向插值。插帧算法设置必须要分析虚拟人体相邻运动之间的切换条件。虚拟人体连续稳定的周期性步行运动中主要是各个关节之间的相对位移和旋转角度发生变化, 本文采用基于  $L-\theta$  的插帧计算方法。当  $L$  和  $\theta$  均匀变化时, 插帧计算公式如下:

$$L(t) = L_0 + \frac{L_T - L_0}{T} \times t \quad (13)$$

$$\theta(t) = \theta_0 + \frac{\theta_T - \theta_0}{T} \times t \quad (14)$$

其中,  $T$  为关键帧时间间隔(s),  $t$  为当前记时 ( $0 \leq t \leq T$ ),  $L$  为关键节点的水平位移,  $\theta$  为肢体绕关键节点的旋转角度; 水平位移  $L$  和旋转角度  $\theta$  都是时间的函数。通过调用上述插帧算法生成的中间画将从开始关键帧稳定地变换到终止关键帧, 在变化过程中, 中间画比较均匀地改变关键帧特征在屏幕上绘制人体模型, 即可生成连续的人体运动画面。图 6 为一个跑步周期内的主要关键帧。



图 6 虚拟人跑步周期内主要关键帧

## 5 虚拟人实时控制测试

为了验证上述运动控制方法的可行性, 利用虚拟现实开发平台 EON 及其 SDK 结合 Visual C++ 高级编程语言在 Windows XP 系统下实现了虚拟人跑步运动仿真平台, 运用自主开发的基于 USB 接口的数码跑步机作为人体跑步速度的采集设备。在系统测试中, 实时控制的虚拟角色动画流畅, 能够真实、自然的反映出人体跑步运动。系统如图 7 所示。



图 7 虚拟人跑步仿真界面

## 6 结论

本文提出了一种基于实时数据驱动虚拟角色跑步控制和仿真方法,通过USB数码跑步机实时采集人体跑步速度,分析人体跑步过程,构建人体运动学表示模型,运用基于旋转角度的方法求解人体运动链上各个关节的运动,最后在Visual C++环境下开发完成了跑步仿真系统,实现了流畅、自然的虚拟人跑步实时动画,为我们开发虚拟健身运动系统下一步工作打下了坚实的基础。但是和虚拟人之间的交互比较少,我们下一步的工作将结合动力学和逆动力学知识,实现与虚拟人之间的更多的交互,突出虚拟人动作的个性化。

### 参考文献:

- [1] Sullivan S, Ponce J. Automatic model construction, pose estimation, and object recognition from photographs using triangular splines [C]// Proceedings of 6th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'98), Bombay, India, 1998. USA: IEEE, 1998: 3-10.
- [2] Badler N, Phillips C B, Webber B L. Simulating Humans, Computer Graphics, Animation, and Control [M]. 2nd Edition. London, UK: Oxford University Press, 1999.

- [3] 王兆其, 高文, 徐燕. 一种基于传感器的人体上肢运动实时跟踪方法 [J]. 计算机学报, 2001, 24(6): 616-619.
- [4] 邹得杰, 王红军, 邹湘军. 基于 USB 接口的人体运动数据采集与处理技术 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19(S2): 278-281.
- [5] 王建军, 姜显明. 虚拟人跑步运动的仿真 [J]. 微电子学与计算机 [J]. 2004, 21(11): 117-120.
- [6] M Girard, A A Maciejewski. Computational modeling for the computer animation of legged figures [C]// Proceedings of SIGGRAPH'85 in Computer Graphics. USA: ACM, 1985: 263-270.
- [7] A J Stewart, J F Cremer. Beyond Keyframing: An Algorithmic Approach to Animation [C]// Graphics Interface'92. New York, USA: ACM, 1992: 273-281.
- [8] 罗忠祥, 庄越挺, 刘丰, 等. 基于视频的人体动画 [J]. 计算机研究与发展, 2003, 40(2): 269-276.
- [9] 程熙, 潘志庚. 虚拟人运动中受扰的平衡保持算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学, 2009, 21(3): 326-330.
- [10] 洪炳镛, 贺怀清. 虚拟人的步行和跑步运动控制方法的研究 [J]. 高技术通讯, 2001, (3): 91-95.
- [11] Gao Quansheng, Hong Bingrong. A Method for Character Animation Generation and Control [J]. Journal of Software, 2007, 19(9): 2356-2364.
- [12] 王兆其, 高文. 基于虚拟人合成技术的中国手语合成方法 [J]. 软件学报, 2002, 13(10): 2051-2056.
- [13] 王海强, 毛天露, 王兆其, 等. 运动状态下虚拟人全省皮肤实时变形方法 [J]. 计算机辅助设计与图形学, 2005, 17(12): 2722-2728.
- [14] 夏时洪, 魏毅, 王兆其. 人体运动仿真综述 [J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(8): 1354-1361.
- [15] 洪炳镛, 蔡则苏, 唐好选. 虚拟现实及其应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [16] Liu Tianhu, Zou Xiangjun, Wang Hongjun, et al. Round angle based on run simulation [J]. Journal of System Simulation (S1004-731), 2008, 20(19): 5362-5365.