

马运动的动画模拟

金小刚 万华根 彭群生

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027)

摘 要 马运动的动画研究在广告、古战争模拟、影视特技等方面都有很大的意义。本文从分析真实马的运动出发,运用关节动画的正向运动学原理,首次对马的运动进行了初步的研究,并制作了马各种运动的动画片。从实验结果看,运动逼真,效果令人满意。

关键词 计算机动画,关节运动,马,正向运动学

1 引言

在三维计算机动画中,加入人、动物这种有生命的角色,能使整段动画生动活泼、有生机。关节动画是实现人和动物动画不可缺少的一部分,因而这方面的研究吸引了众多的研究者。

关节动画的一个重要问题是怎样控制物体的运动。Girard 和 Maciejewski 提出了一种用逆运动学生成腿部运动的方法^[1]。该方法由用户指定脚的世界坐标系位置,然后用伪逆 Jacobian 矩阵求解从脚到臀部关节的旋转角。该方法是生成逼真关节运动的最好方法之一。Badler 也采用逆运动学求解关节运动^[2],该方法允许对关节进行多重约束,当所有的约束不能同时满足时,则按约束的重要性进行排序。关节动画的动力学仿真方法由 Armstrong, Green 和 Wilhelms 等人引入计算机动画^[3,4]。采用动力学方法可以得到更好的物理真实性,但由用户控制力和力矩使运动符合特定的要求仍然是一个未很好解决的问题,因为动画师指定运动的关节角比指定力和力矩要直观得多。为了使动画师能以适合他的方式思考问题并解决运动学和动力学相结合的问题, Lsaacs 提出把传统的关键帧系统嵌入到动力学分

析中作为运动学约束,然后用逆动力学来决定产生特定运动的力。动力学方法能生成符合物理规律的运动,但这种运动不一定是自然的,运动学方法很难表达所仿真角色的情绪和个性。由于关节角色运动的复杂性,因此必须有比指定每一低层运动参数更高层的运动控制方法。在 Zeltzer 的“director”控制方法中,动画师指定的基于目标的行为被分解成任务级的子运动,而子运动由一个稳定的运动库提供^[5]。由于他采用的是对测试数据插值的方法,因而不能实现如改变速度、改变步长这样的运动控制。Bruderlin 和 Calvert 提出了一个基于目标和动力学两种运动控制方法相结合的技术^[6]。他们把运动周期的知识结合到一个层次控制过程中,所需要的运动可以很方便地在顶层以一个任务的方式指定(比如以速度 V 行走),然后把任务分解成低层的小任务用动力学模型去求解。动画师指定一些参数如速度、步长和步频后,系统可以以实时的速度生成大范围的人体行走方式。在他们后来提出的过程控制方法中^[7],步伐之间的三次和线性插值取代了原来的动力学方法,而真实性与原来相差无几。在 Boulic 提出的具有实时运动学个性的人体行走模型中^[8],行走模型来源于实验数据,并分为两级来控制。第一级产生运动的整体时空参数,第二级由参数化的轨

迹生成人体关节的空间位置。

在关节动画的研究方面,大部分研究集中在二足动物(人)的动物上,而对多足动物的研究则较少。Mckenna 和 Zelter 提出了一个六腿虚拟昆虫的运动协调策略^[9]。Raibert 提出了一个腿部运动的动力学控制方法^[10],并把它应用于单足机器人、四足机器人和袋鼠的运动。虚拟动物可以以不同的速度和不同的步伐(跑、小跑、跳跑、急驰、单脚跳)运动。在四足机器人的小跑和跳跑中,腿以成对的方式协调工作。一对腿构成一条虚拟的腿,并象一条腿一样起作用。每对腿的成员以一致的方式触地和离地。在小跑中,对角的腿构成一对腿;在跳跑中,两条前腿和两条后腿分别构成一对腿。此时四足动物的步伐可看成虚拟双足动物的步伐,其中着地的一对腿提供支撑,离地的一对腿向前摆动,以便为下一步作准备。因此,在高层的控制系统中,可以以双足运动的控制方式对两条虚拟腿进行控制。四足急驰与跳跑类似,不同之处在于前腿对和后腿对不再以完全一致的方式触地和离地,支撑期由一单足支撑期、一双足支撑期和另一单足支撑期构成。但迄今为止,仍未见专门对马的运动进行研究的文献出现。马的动画研究在广告、古战争模拟、影视特技等方面都有很大的意义,本文从分析真实马的运动出发,运用关节动画的正运动学原理,对马的运动进行了研究。

2 关节链结构的表示和马的关节结构

在关节运动中,首先要碰到的是关节链的数学描述问题,Denavit-Hartenberg 表示(简称 DH 表示)是一种常用的方法^[11]。DH 表示通过将一坐标架附在某一链上来描述该链相对于其相邻链的运动,它用四个参数定义相邻坐标系间的线性变换矩阵(图 1),它们为

$$Joint_i = [a_i, \alpha_i, d_i, \theta_i]$$

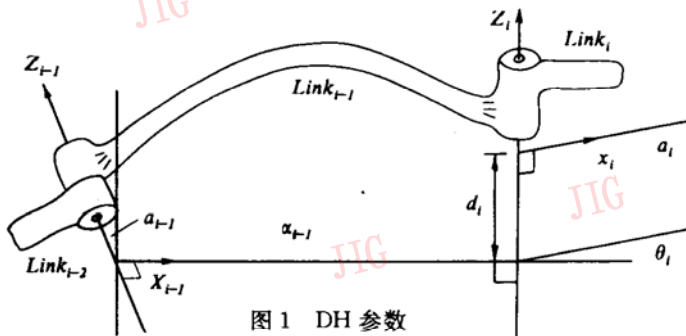


图 1 DH 参数
Fig. 1 DH notation

其中, a_i 为链的长度,它表示沿 x_i 方向轴 z_i 和轴 z_{i+1} 之间的距离; α_i 为链之间的扭曲角,它表示轴 z_i 和 z_{i+1} 之间的角; d_i 为链之间的距离,它表示沿 z_i 方向轴 x_{i-1} 和 x_i 之间的距离; θ_i 为链之间的夹角,它表示轴 x_{i-1} 和 x_i 之间的夹角。在图 1 中,坐标架 i 的 z_i 轴为关节的旋转轴, x_i 轴垂直于 z_i 轴,并且指向第 $i+1$ 关节,原点为 z_i 和 z_{i+1} 的公共法向,并与 z_i 轴相交处。通常称 (a_i, α_i) 为链参数, (d_i, θ_i) 为关节参数。相邻链坐标系间的齐次坐标变换可用 A 矩阵来表示, A 矩阵将上编号链坐标系 i 向下编号链坐标系 $i-1$ 变换,

$${}^{(i-1)}A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & \sin\theta_i \cos\alpha_{i-1} & \sin\theta_i \sin\alpha_{i-1} & 0 \\ -\sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_{i-1} & \cos\theta_i \sin\alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & -\sin\alpha_{i-1} & \cos\alpha_{i-1} & 0 \\ a_{i-1} & -d_i \sin\alpha_{i-1} & d_i \cos\alpha_{i-1} & 1 \end{bmatrix}$$

从第 i 个标架到第 0 个标架的变换为:

$${}^0A_i = {}^0A_1 A_2 \cdots {}^{(i-1)}A_i$$

这个变换为所有关节变量的函数。利用上式,可以计算出所有关节和末端执行器的位置与朝向。象马之类的动物,通常具有上百个关节和几百个自由度,要全都模拟是非常困难的,一个解决办法是采用简化的骨架结构。因为我们关心的是马的整体运动,因而可对马的腿部关节进行模拟。显然,这种关节全为旋转关节,因此 $d_i = 0$ 。设定每条马腿的关节都在同一 xy 平面上,此时 $\alpha_i = 0$ 。每条马腿的关节都为图 2

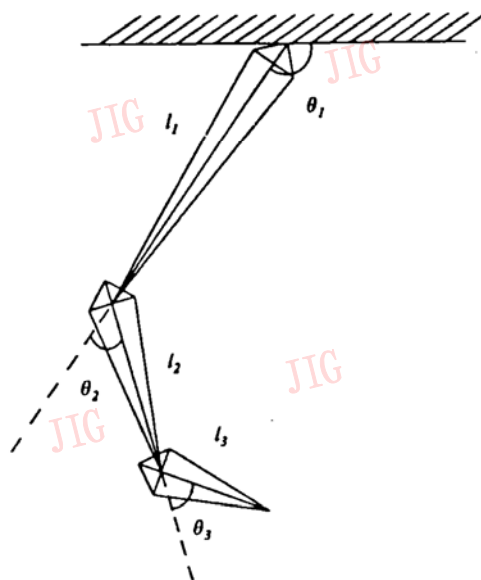


图 2 马腿的关节结构
Fig. 2 articulated structure of a horse leg

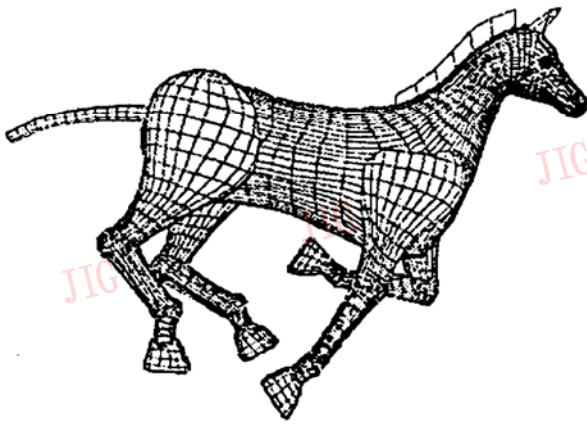


图 3 马的线框图

Fig. 3 wireframe of a horse

所示的形状,相应的三个关节为 thigh(大腿)关节、knee(膝)关节和 andle(踝)关节。马的造型见图 3。

3 马运动的动画设置

我们采用的是正运动学的方法,即给定关节变量 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N)$ 的动画,计算末端执行器的位置 $X = f(\theta)$ 。在正向运动学中,一个关节的运动将驱动该关节下层关节的运动,例如,肩膀的旋转会使整条手臂旋转。因此,在建立动画时,采取从顶向下的关节动画设置方式。即先设置大腿关节的动画,然后是膝关节,再是踝关节。正运动学虽然动画设置繁琐,但提供了最大程度的自由度。由于正运动学中的低层关节继承了高层关节的动画,因此,动画设置时采用了下面的原则:即先把上层动画设置得尽量完善,然后再设置下层动画。因为调整上层关节的动画将导致下层关节动画的改变,而调整下层关节的动画却不会引起上层关节动画的改变。

马的运动是一种复杂的活动,马身体的平移是由下肢关节的旋转运动引起的。但马的运动是周期性的,在每个周期里,马的运动以一种相同的模式表现出来。因此,我们可在单个周期 T 里讨论问题。设马的四条腿分别用 Fore-Leg-Right, Fore-Leg-Left, Hind-Leg-Right, Hind-Leg-Left 来表示,通过分析真实马的运动^[12],我们得到了马行走、小跑、急驰时的关节变量变化曲线,并制作了相应的几段动画片。在动画片《Horse Galloping》中(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室,1995 年制作),thigh, knee, ankle 的关节变量动画曲线见图 4, 5 和 6。马在跑动时,其重心在垂直方向会发生变化,我们采用正弦曲线形状的动画曲线来对它进行模拟(图 7 中

动画曲线 Body-Translate-Y)。运动中的马沿 z 轴还会有较小角度的旋转,相应的动画曲线见图 7 中的 Body-Roate-Z。(图版 I)图 8 和图 9 为动画片中的两帧。

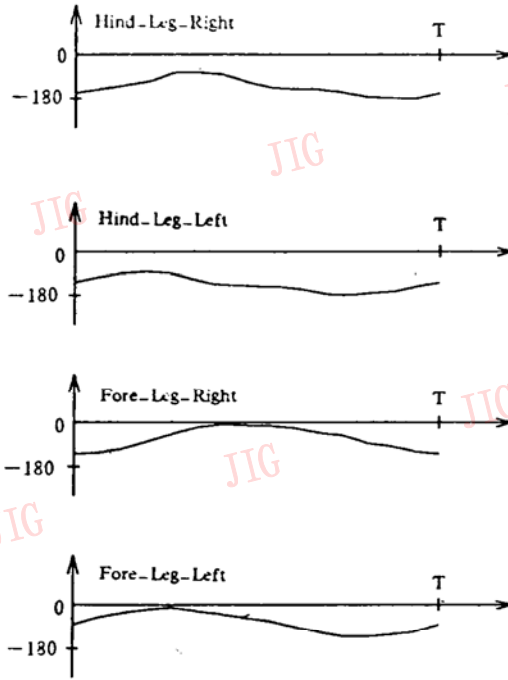


图 4 thigh 关节的动画曲线

Fig. 4 animation curves for the thigh joint

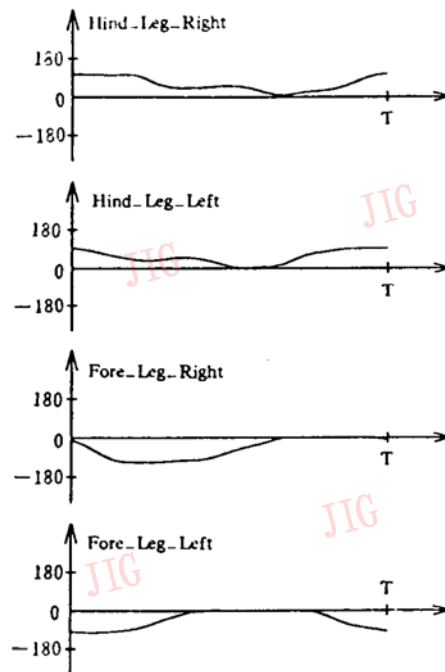


图 5 knee 关节的动画曲线

Fig. 5 animation curves for the knee joint

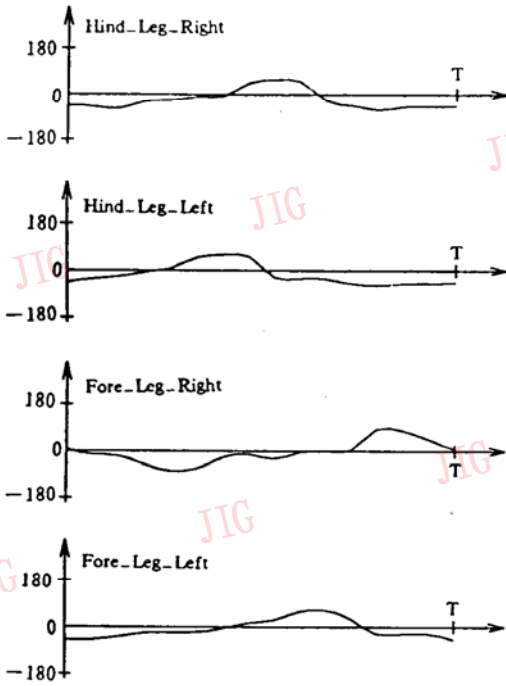


图6 ankle 关节的动画曲线

Fig. 6 animation curves for the ankle joint

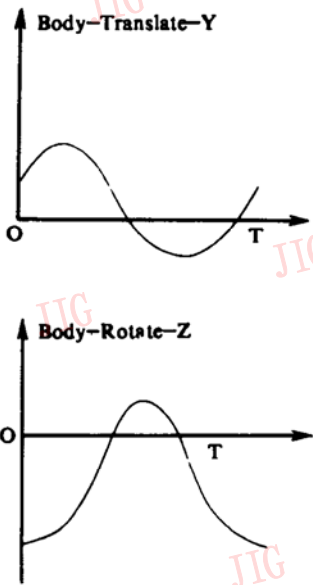


图7 马身体的动画曲线

Fig. 7 animation curves for the horse body

4 结论

关节动画是实现人和动物动画不可缺少的部

分,也是三维计算机动画中的难点,这方面的研究一直富有挑战性。马运动的动画研究在广告、古战争模拟、影视特技等方面都有很大的意义,本文从分析真实马的运动出发,运用关节动画的正向运动学原理,对马的运动进行了初步的研究,并制作了马各种运动的动画片。从实验结果上看,运动逼真,效果令人满意。

参考文献

- [1] Girard M and Maciejewski A A. Computational modeling for the computer animation of legged figures. *Computer Graphics*, 1985, 19(3):263-270.
- [2] Badler N I. Animating facial animation. *Computer graphics*, 1981, 15(3):245-252.
- [3] Armstrong W W and Green M W. The dynamics of articulated rigid bodies for purposes of animation. *The Visual Computer*, 1985, 1(4):231-240.
- [4] Wilhelms J. Using dynamics analysis for animation of articulated bodies. *IEEE Computer Graphics & Applications*, 1987, 7(6):12-27.
- [5] Zeltzer D. Motor control techniques for figure animation. *IEEE Computer Graphics & Applications*, 1982, 2(9):53-59.
- [6] Bruderlin A and Calvert T W. Goal-directed, dynamics animation of human walking. *Computer Graphics*, 1989, 23(3):233-242.
- [7] Bruderlin A, Teo C G and Calvert T W. Procedural movement for articulated figure animation. *Proc. of CAD/Graphics 93*, 1993, 141-146.
- [8] Boulic R and Thalmann D. Combined direct and inverse kinematic control for articulated figure motion editing. *Computer Graphics Forum*, 1992, 11(4):189-202.
- [9] Mckenna M and Zelter D. Dynamic simulation of autonomous legged locomotion. *Computer Graphics*, 1990, 24(4):29-38.
- [10] Raibert M H and Hodgins J K. Animation of dynamic legged locomotion. *Computer Graphics*, 1991, 25(4):349-358.
- [11] Denavit J and Hartenberg R. A kinematic notation for lower-pair mechanism based on matrices. *Journal of Applied Mechanics*, 1955, 77:215-221.
- [12] Muybridge E. *Animals in motion*. Dover Publications, Inc., 1957.



金小刚, 讲师, 博士, 浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室固定研究人员, 主要从事计算机动画和真实感图形研究。

The Simulation of Horse Animation

Jin Xiaogang Wan Huagen & Peng Qunsheng

(State Key Lab of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou, 310027)

Abstract Horse animation is of significant in advertisement, ancient war simulation and special effects for TV. This paper describes a horse animation study using forward kinematics based on the analysis of a real horse motion. We created a piece of animation for several of kinds of horse motions. Experiments show that the results are satisfactory.

Keywords Computer animation, Articulated animation, Horse, Forward kinematics

坚持走高技术产品开发道路的 科技嘉仪器仪表有限公司

科技嘉仪器仪表有限公司成立于1988年,是以中国科学院自动化研究所图像部为技术后盾的高技术企业。主要致力于设计、制造、销售CA系列图像产品及魔影牌视频设备,年销售近1000块本公司生产的各种图像板卡,产品遍布包括以台湾、香港在内的全国各省市,已少量出口新加坡、西德、瑞典等国家。中国科学院自动化研究所是国内最早开展图像处理、模式识别研究的单位,早在1977年就研制成功手写阿拉伯数字识别机,并用于邮电部的信函分拣系统,该技术已形成产品,在邮政系统推广使用,获得了很大的经济和社会效益。1981年研制成功供实验室研究用的第一台图像处理系统,为本所、各高等院校和研究所提供了图像处理和模式识别的研究工具。

科技嘉公司早在1987年就推出了第一代图像采集卡产品,至今已开发各种图像产品和视频设备近30多种。曾开发成功功能很强的CA-6300真彩色图像卡、魔影牌实时数字视频特技机等高难度产品,获得了广大图形、图像和电视界的好评。

历年来公司一直摒弃纯贸易的行为,坚持走新技术产品的研究和开发,将开发最先进的图像、视频技术产品作为公司的主营方针。最近开发成功的MVE、MPE等系列产品是针对计算机的最新发展而研制的局部总线产品,这二种产品利用高速局部总线,将视频图像直接采集到主机内存,连续采集可精确到场,采集图像的多少取决

于主机内存的大小,适用于电视跟踪、压缩解压、医疗减影、运动分析等领域。由于采用了可编程高集成度芯片,视频质量高,像点位置精度高,和国内外同类产品相比价格合理。这些产品的高性能价格比,将会给科学、工业界的图像处理带来新的机遇,助各位取得新的学术成果,推出更新的产品。

公司还努力开展国际合作,1990年与SONY公司合作开发了SMC-3000GP电视图文创作系统的软硬件,接着与美国Trident公司合作开发了专用图像处理ASIC芯片,大大提高了图像采集卡的性能和可靠性。目前公司正在积极打开国际市场,努力让中国的图像卡跻身世界。

CA图像采集卡多年来连续获得北京市新技术产业开发试验区新技术拳头产品称号。魔影牌数字视频特技机获北京市优秀产品二等奖等多项荣誉称号。

在全体员工兢兢业业的努力下,公司为中国的图形图像处理事业作出了应有的贡献。为高等院校和研究单位提供了开展图像处理研究的手段;为工业界提供了开发各种图像系统的初级产品;为千百个个体户提供了就业致富的机会。在为用户服务的精神指导下,广交了高等院校、科研机构、工程技术界,甚至于个体经营者等各行各业的各阶层朋友。公司愿开发更多的高技术产品,为图形图像界的朋友服务。