

武汉体育学院青年教师科研基金项目（2014QZ04）资助

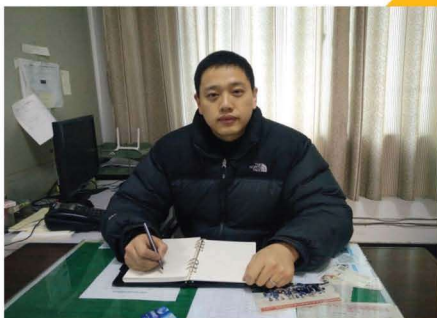
TIYU SANWEI ZHANSHI JISHU:
YI TAIJIQUAN JIAOHU PINGTAI WEILI

体育三维展示技术： 以太极拳交互平台为例

周彤◎著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE



作者简介

周彤，男，1977年生，湖北武汉人，硕士研究生，武汉体育学院副教授，中国体育科学学会会员。主要从事多媒体技术在体育领域中的应用研究，主编教材1部，主持省部级课题2项，厅局级课题3项，在各级学术刊物公开发表多篇学术论文。

策划编辑：段连秀
责任编辑：段连秀 彭钰会
封面设计：魏少雄



中国地质大学出版社

ISBN 978-7-5625-3851-6



9 787562 538516 >

定价:45.00元

武汉体育学院青年教师科研基金项目（2014QZ04）资助

TIYU SANWEI ZHANSHI JISHU:
YI TAIJIQUAN JIAOHU PINGTAI WEILI

体育三维展示技术: 以太极拳交互平台为例

周彤 © 著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

体育三维展示技术:以太极拳交互平台为例/周彤著. —武汉:中国地质大学出版社,2016.

12

ISBN 978-7-5625-3851-6

I. ①体…

II. ①周…

III. ①三维动画软件-应用-武术-套路(武术)

IV. ①TP391.41②G852.019-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 284196 号

体育三维展示技术:以太极拳交互平台为例

周 彤 著

责任编辑:段连秀 彭钰会

策划编辑:段连秀

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027) 67883511

传真:67883580

E-mail: cbb @ cug. edu. cn

经 销:全国新华书店

http://www. cugp. cug. edu. cn

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16

字数:330 千字 印张:13

版次:2016 年 12 月第 1 版

印次:2016 年 12 月第 1 次印刷

印刷:武汉教文印刷厂

印数:1—1000 册

ISBN 978-7-5625-3851-6

定价:45.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前言

我们处于一个信息表现形式多样化的时代,多媒体技术的创新正挑战着我们传统的信息传播方式。体育领域也需要新技术的渗入,如何利用多媒体技术辅助传统体育教学和训练,是众多体育组织和单位面临的共同问题。而这个问题的解决又依赖两方面的技术:一是对体育的专业技术要求,特别是对技术动作的表现方式和教学方法的运用;二是能将技术动作进行数字化处理,并能通过多种平台进行展示。因此,寻求一个合理可靠的体育多媒体展示解决方案是目前体育领域的热点与重点。

一、为什么要选择太极拳?

体育运动项目数量庞大,我们目前还没有能力将所有的体育项目技术动作进行数字化处理。鉴于以下原因,我们选择太极拳作为本课题的研究对象。

(1) 太极拳是我国民族传统文化重要的组成部分,由于其起源和发展中融入了中国的文化内涵和哲学思想,成为最能体现中国传统思想文化的拳术。太极拳在国内有着广泛的群众基础,伴随中国改革开放的不断推进,太极拳在国外也已不断推广和普及,深受国内外武术爱好者的喜爱。

(2) 太极拳运动对环境的要求不高,在面积不大的空间即可完成整套动作,这为数字化采集工作带来了极大的便利,同时由于技术动作的特点是“刚柔相济,快慢相间”,也将大大提高动作捕捉的精度和准确度。

(3) 科技的发展改变了人们认识事物的传统方式,人们更希望愉快地学习,动作捕捉技术的成熟与应用,使人们与计算机的交互有了新的选择,传统的教授和学习太极拳的方式已很难再满足人们的需求。

二、本书有什么内容?

本书试图介绍新的交互技术和方法,为体育技术动作的学习和研究提出新的思路和解决方案。全书共分5章。第一章是对太极拳的起源及发展的介绍,旨在说明太极拳数字化保护是目前太极拳发展的必然趋势;第二章是对人体模型建模技术、骨骼绑定技术和运动控制方法进行理论介绍,使读者对人体运动仿真技术的研究内容和方向有所认识;第三章是在经过大量文献资料查阅的基础上,综合各方观点对太极拳技术动作从影响关节和生物力学两个方面进行动作分析;第四章是对本研究成果之一的软件平台所需开发技术进行介绍,包括展示平台所需的主要开发引擎 Unity 3D、人体模型的搭建以及蒙皮绑定工具 3ds Max 和人机互动所需的 Kinect 设备及其开发技术等方面的介绍;第五章是对本课题设计平台的创建过程,以及模型创建和太极拳数字化采集过程进行详细说明,并将本平台核心程序代码进行了说明。

三、致谢

本书的研究工作得到了武汉体育学院青年教师科研基金的资助。在此笔者要感谢同仁们的帮助和支持;感谢中国地质大学出版社为本书出版付出的辛勤劳动。书中有部分内容参考了有关单位或个人的研究成果,均已在参考文献中列出,在此一并致谢。

由于本书追求的目标是介绍当前较新的技术和方法,这给撰写本书增加了难度,鉴于笔者水平有限,虽几经改稿,书中错误和不足之处在所难免,欢迎广大读者不吝赐教。

周 彤

2016 年 10 月

目录

第一章 太极拳教学发展现状	(1)
第一节 太极拳运动发展简史	(1)
第二节 太极拳运动特点	(2)
第三节 太极拳的发展瓶颈	(3)
第四节 展望未来	(3)
第二章 人体运动仿真技术现状	(6)
第一节 人体运动仿真的应用领域	(6)
第二节 计算机模拟人体运动的关键技术	(6)
一、人体模型构建技术	(6)
二、骨骼与皮肤绑定技术	(8)
三、运动控制方法	(10)
四、运动捕捉技术	(12)
第三章 太极拳动作分析	(13)
第一节 受影响关节分析	(13)
一、太极拳的基本动作	(13)
二、以二十四式太极拳作为代表性的研究对象	(14)
三、二十四式太极拳动作中各主要关节部位的活跃情况	(14)
第二节 生物力学角度分析	(17)

第四章 开发平台应用技术介绍	(20)
第一节 Unity3D	(20)
第二节 3ds Max 建模技术	(20)
一、基础建模	(20)
二、高级建模	(21)
第三节 Kinect 开发技术	(22)
一、Kinect 设备硬件结构	(22)
二、Kinect for Windows SDK 简介	(23)
三、Kinect 骨骼追踪技术	(24)
第五章 平台设计与实现	(32)
第一节 平台设计	(32)
一、设计思想	(32)
二、设计目标与原则	(32)
三、系统的总体结构	(32)
四、技术路线	(34)
五、接口设计	(34)
第二节 平台实现	(39)
一、专业太极拳运动数据的采集	(39)
二、人体模型的建立	(41)
三、脚本编写	(58)
四、太极拳学习-反馈功能模块实现	(192)
参考文献	(200)

第一章 太极拳教学发展现状

第一节 太极拳运动发展简史

1.起源

太极拳是我国优秀文化之一,是中华武术的一大瑰宝。“太极”二字是我国古代哲学的一个基本概念,是对事物生成发展的一种状态表达,在“太极”之前的状态即为“无极”,无极即混沌一气,太极即在“一气”的基础上发展出了“阴阳二气”,即事物的对立状态。众所周知,太极拳是一种刚柔并进、动静结合的拳术。长期以来,关于它的起源有很多版本,归纳起来有以下两种说法。

(1)“张三丰创太极拳说”。在李兆生的《中国太极拳统真大典卷一》中提出:太极功是武当派的张三丰创造的一种动功,按其风格分析,太极拳是属于武当派的内家拳。

(2)20世纪30年代初由唐豪提出的“陈王廷创太极拳说”。在程峰的《太极拳起源问题的再探讨》中,以河南博爱唐村千载寺的碑文资料和新近发现的康熙五十五年所修的唐村《李氏家谱》为依据,河南博爱唐村千载寺应为太极拳的发源地,唐十力和和尚应为太极拳的鼻祖,李仲、李信和陈王廷同为太极拳的创始人。

第一种说法带有很强的主观色彩和历史背景;第二种说法是从技术角度分析太极拳技术动作而得出的结论,具有一定的学术价值,并且唐豪通过对太极拳研究发现,明代戚继光《纪效新书》中“拳经三十二势”拳法对明清陈家沟和赵堡等地拳法及太极拳技术产生与发展具有重要的影响。

不可否认的是,当前盛行的陈氏太极拳是结合“太极”“阴阳”“五行”等中国古代哲学理论,由河南温县陈家沟的陈氏家族第九世陈王廷总结自己多年“披坚执锐”的实践经验,并吸收和借鉴了明代戚继光和程冲斗等著名武术家创立的武术套路而形成,并在此基础上不断推陈出新、发扬光大。

2.发展

自明末清初,陈氏第九世传人陈王廷创建太极拳后,18世纪20~60年代,为了适应不同学习对象和不同的保健需要,相继出现了陈有本在老架基础上编成的陈氏新架太极拳,陈有本的弟子陈青萍又在此基础上创编的赵堡架和忽雷架。随后,河南省陈家沟陈氏拳械的第一位外姓传人杨露禅删改陈氏老架,创编成架式宽舒、动作圆润的“绵拳”架,并于1881年由李亦编定为《太极拳谱》。

此后,由杨露禅编传的“绵拳架”,经其子杨健候和其孙杨澄甫修润定型为后世广为流传

的杨式太极拳套路。河北省武清(今属天津)人李瑞东以从王兰亭学得的“杨式”搬拦锤、肘底锤、撇身锤、指裆锤、栽锤等五锤为基础,编成“太极五星椎”(今被称为李式太极拳)。民国初年,李亦之徒郝为真在北京传授武禹襄创编的武式太极拳。河北完县人孙禄堂得郝为真的传授,并在此基础上融会形意拳和八卦掌技法,创编成孙式太极拳。河北大兴人吴鉴泉将其父吴全佑的杨式拳架作了删难就简、突出轻柔的整理,创编成吴式太极拳。1928年,陈长兴的曾孙陈发科到北京传授陈式老架太极拳。当时,年近古稀的和兆元长孙和庆喜开门授徒,其弟子郑伯英和郑悟清迁居西安致力传拳,为“和式太极拳”在西北的传播打下基础。太极拳苑出现了分支迅速、流派繁衍的景象。

太极拳作为一种民族传统文化,具有一定的动态性和可变性,受到社会政治、经济、文化等各方面的影响。面对以市场经济为中心的改革大潮,武术同许多体育项目一样也遇到如何转型、如何适应、如何生存的问题。

竞技太极拳是太极拳发展的重要方向。改革开放以来,随着太极拳比赛在各种全国性的武术观摩交流评奖的竞赛活动中出现,在全国挖掘整理了许多太极拳流派,使之迅速得到了不同程度的普及和发展。又相继创编了陈氏、杨氏、吴氏、孙氏、武氏太极拳竞赛套路,为适应国际比赛又创编了四十二式太极拳和四十二式太极剑竞赛套路,还对太极推手进行研究整理,并出版了《太极推手竞赛规则》,极大地丰富了太极拳竞赛的内容,为太极拳的进一步普及、推广及竞赛创造了条件,太极拳竞赛随之兴盛起来。

太极拳是文化拳,它是凝聚着东方文化智慧的结晶,它融健身、防身、修身、养性、娱乐为一体,主张内外兼修,养性和健身并举。作为中国传统文化的杰出代表,在历经了三百余年的演变发展后,它已不是一项单纯意义上的体育运动。21世纪是人类注重自我保健的世纪,而自我保健,是心态健康和身体健康的统一。要想实现这两个健康的有机统一,首选的当属太极拳运动。为什么要首选它?这是由它的文化内涵和特殊的功能所决定的。

第二节 太极拳运动特点

1. 体松心静

体松心静是太极拳的重要特点之一。体松是指练拳时,在维持动作姿势的基础上,尽量使身体肌肉处于放松状态,要求动作自然舒展,不用僵力,腿部在运动时经常是半弯曲的,肌肉必须用力,但在两腿交替支撑体重时,负重腿仍然要放松。心静是指要排除一切杂念,注意力集中。

2. 缓慢柔和

缓慢柔和也是太极拳的重要特点之一。一套太极拳一般要求在5~10分钟内完成。缓慢还包含连贯,各拳式之间不得停顿,应做到连绵不断。缓慢的前提是放松,在此基础上使两臂动作姿势及运动路线都保持弧形。

3. 动作、呼吸和意念相配合

练太极拳到一定程度要把动作、呼吸和意念配合起来,这样才能表现出太极拳的特点,才能取得较好的锻炼效果。一方面是动作与呼吸的配合,太极拳的技术动作是由起落开合动作

组成的,要求起(向上)的动作要吸气,落的动作要呼气;开(两臂张开)时为吸,合时为呼。无论哪种呼气方式都应求其自然。另一方面是动作与意念的配合,在练拳时首先要排除杂念,把注意力集中到动作的运动过程中,以意识引导动作,做到“意领身随”。

第三节 太极拳的发展瓶颈

1. 太极拳人才流失严重,拳师匮乏,资质参差不齐

在陈家沟被誉为“四大金刚”的拳师中,陈小旺定居澳大利亚,陈正雷工作在郑州,朱天才在新加坡,王西安在温县教拳。还有近千名拳师散布于国内外,各自为战,小打小闹,仅满足于养家糊口。特别是在国外教拳,每小时可收入 100 美元的学费,高收入诱惑着许多拳师把未来的发展定位于国外。即便是在世界各地授拳的拳师,也都各自为政;缘于门户间隔,互相之间缺乏协作。在目前普及的太极拳中,有很多的指导员或教练员,没有经过系统的专业训练和培训,使得太极拳练习者得不到正规的指导,动作不规范、技术不正确,等等,造成在练习过程中很多不应有的伤病屡屡发生。太极拳专业人才的匮乏和奇缺不仅影响其普及的质量、规模和速度,而且还严重影响了太极拳所蕴藏理论体系价值的发掘。

2. 基础设施建设相对落后,配套工程的规模较小、档次和起点较低

国家已经授予焦作“太极圣地”“中华武术太极拳发源地”的称号,可以作为太极拳发展的核心圣地,但陈家沟以及太极拳相关场馆的规划开发与其“世界级品牌”的地位还不匹配,相当一部分太极拳学校的规模和档次无法满足太极拳产业快速发展的需要。部分太极拳商标、产品等还局限于少数太极大师家族式的经营,虽然有一定的号召力,但距离产业化相去甚远。

3. 太极拳产品品牌繁杂,相关产业没有集团化、规模化

现有的太极拳相关产品品牌分散、孤立,各个流派的太极拳馆和生产厂家各自为战,多是以个人名义出现,形不成规模,缺乏高知名度的国际化大品牌,无法满足世界范围内对太极文化和相关产品的需求。

4. 缺乏有组织的引导和管理,缺少权威认证,国际发展受限

尽管目前世界上已经有 100 多个国家成立了太极拳组织,但其自发性、随意性强,且相当一部分缺乏正规的引导和管理。在外国建立起陈氏太极拳组织后,能否在普及的基础上提高太极拳的运动水平,还缺少权威的太极拳协会或组织的认证和机制上的管理,在很大程度上限制了太极拳更快地国际化。

第四节 展望未来

太极拳同其他拳种一样,是融技击防卫、健身养生、艺术审美于一体的价值功能多元的统一体,而且由于太极拳在发展过程中结合导引术的内容,其健身养生效果可能优于其他任何一个拳种。

1. 太极拳分化发展之一: 健身养生类太极拳

太极拳具有多种价值功能,人们既可以通过太极拳来增强防卫能力,又可以通过太极拳来健身养生,还可以用于表演,进行艺术审美。这是一个价值选择的问题,太极拳不会因为某些人仅仅选择其某方面功能而改变了其技击防卫之术的性质。太极拳与其他拳种相比,最明显的外在形式特点是具有以慢练为主的套路运动形式,而这种练习形式很适合普通大众特别是中老年人健身养生,所以,以老年群体为主的普通大众选择了太极拳的健身养生功能。太极拳技术体系中以慢练为特点的套路运动在 20 世纪武术的城市化发展进程中,在普通民众中得到了膨胀式发展。

如果说最初人们通过太极拳进行健身养生仅仅是价值选择问题,那时的太极拳套路还保持着原貌,仍然是太极拳技击防卫技术体系中的一个环节,那么当绝大多数习练者都以健身养生为目的,而对太极拳的技击不求甚解,并按其一知半解的理解再进行代代传授时,太极拳套路技术肯定会发生变化,其技术肯定会扭曲变形,特别是根据健身养生需要,对其进行有目的的改造以后。当太极拳套路已经发展成目前的老年拳时,就已由技击术领域跨入健身术领域。浙江大学教育学院王健教授、美国总统体质与竞技体育委员会科学顾问朱为模教授在他们的学术报告中都曾介绍:美国对太极拳健身的研究将超越中国,他们正以高度量化的实验数据,研究太极拳的哪些动作可以锻炼身体的哪些部位和哪种机能,从而更加科学合理地编排太极拳套路。这些经过有目的的改造之后专门以健身养生标准编排的太极拳,已经与原生态的太极拳套路大相径庭,它们已经由技击术质变为健身术。

2. 太极拳分化发展之二: 艺术表现类太极拳

对于一般大众而言,从艺术审美角度来看,除了以刚柔相济、快慢相间为特色的陈式太极拳套路以外,其他以一味的松、柔、慢为运动特点的太极拳套路存在先天性的外在审美不足。

以前的武术比赛,竞技武术套路裁判最头疼的就是太极拳比赛,即使安排两个运动员同时上场演练,也很累人,以致国际级武术裁判温力教授提出“太极拳不宜继续作为竞技武术比赛项目”的结论(崔周等,2012)。对于武术内行的裁判都如此,更何况对于一般大众。武术套路赛场上本来就少得可怜的观众在太极拳比赛时都纷纷离场,正说明了其审美严重不足的缺陷。究其原因,中国传统文化的主旨是以“刚健”为主导的刚柔相济。张岱年等总结了中国文化基本思想的四要素:刚健有为、和与中、崇德利用、天人协调,并指出这些以刚健有为的思想为纲(王若冰等,2014)。李泽厚在《美的历程》中也提到儒家美学列在首位的是“阳刚”之美,一味松、柔、慢显然不符合中国人的审美观。如果从提高整体协调能力、形成完整劲力或从健身养生角度出发,进行松柔练习确实是很好的途径,但是,从外在的艺术审美的角度来看,长拳太快,南拳太刚,杨式太极拳套路太慢、太柔,只有“如长江大海,滔滔不绝”,以“快慢相间,刚柔相济”见长的初始形态的太极拳,最能体现中国文化特色,最符合中国人的审美要求。

为改变以往太极拳竞赛出现的不良局面,21 世纪的太极拳套路竞赛进行了深化改革。目前的竞技太极拳套路大多以陈式太极拳为蓝本进行艺术创作,并植入了腾空飞脚、外摆莲、旋风脚等速度快的腾空动作,或融入了形意、八卦等拳种的内容,从而使现在的太极拳竞赛套路发展成为一种刚柔相济、快慢相间的运动。这类新内容放在体育领域是难美表现型项目,放在艺术领域就是人体运动艺术。因此,这种改革符合了人们的审美需要,既得到了广大观众的认可,也得到了武术界专家的肯定。2007 年春晚节目《行云流水》演播后,很多体育专业同事感

叹“太极拳原来这么美呀!”在他们印象中大学里武术普修课学的二十四式太极拳是所有体育运动中最枯燥无味的内容,而《行云流水》所展示的太极拳与之形成鲜明对比,感叹由此而发。对这种新生太极拳的赞美绝非个例,在本课题调研过程中还有大批太极拳健身的习练者对此赞不绝口,认为这是太极拳表演的最高境界。郭志禹教授甚至将其称为“太极拳的新文化现象”,并将其发明创造因素提炼总结为“跳跃难度古不见,直落直起稳如钉;运劲刚柔快且匀,难落缓起势又承;诸动肘靠多攻防,各式荟萃融一炉;音配拳套势谐韵,陈式风格适少年”四方面(朱晓东等,2009),这是从专业角度很有战略眼光和深邃思想见地的陈述。

以21世纪新生竞技太极拳套路的形成为起点,一个新的太极拳分支已经初步形成。如果说这类太极拳仍属于技击术范畴,显然不合适,因为人们已经根据艺术审美的需要对其进行了有目的的改造,而且这类太极拳基本上失去了技击防卫的功能。经过一个从量变到质变的发展过程,这类太极拳迟早将跨入艺术范畴,成为人体运动艺术的新奇葩。

3. 太极拳分化发展之三: 技击防卫类太极拳

曾有学者产生疑问:原生态的太极拳就属于技击防卫之术,还何谈现代化分化?之所以提出技击防卫类太极拳的现代化分化,是因为原生态的太极拳已经不适合当今大多数习武者对太极拳技击防卫的实际需求。原生态的太极拳虽然具有“以静制动,以柔克刚,以弱胜强,以小博大,以老搏壮”等逆向思维特点的高级技击思想,但是,“太极十年磨一剑”“太极十年不出功”的特点又令很多习武者望而却步。源于西方的现代文化是一种“快餐式”文化,本来快节奏的现代生活已经使当代人整日为生活疲于奔波,承受着巨大的精神压力,在这种状况下,有多少意欲学习技击防卫者还有时间去“十年磨一剑”?韩国的跆拳道在对外推广过程中正是摒弃了很多陈旧内容,形成了由几种简洁腿法组成的“快餐式”技术,才逐渐风靡世界,并占领了中国市场,将中国武术“踢”出都市时尚。太极拳技击要想满足绝大多数现代人的需求,也必须精简内容,从丰富多彩的技法中提炼出最核心的技术,形成一个简洁明了的现代太极拳技击防卫技术体系,唯此,才能得到大面积推广普及。

现代太极推手比赛的运动员很多没有练习太极拳套路的基础,虽然其技法难以上升到更高的层次,但是这种省略了很多内容的“快餐式”技法,却是太极拳技击现代化发展的一个新尝试,如果将其推广开来,也许能满足大多数习武者对太极拳技击的实际需求。太极推手已经开始了现代化发展的尝试,太极散手呢?传统的太极拳技术体系中不乏对付拳腿等击打型进攻技法的技术,只有这类技法才更能真正体现太极拳“以柔克刚”的特点,应该将这些典型的技法挖掘提炼出来,形成一个适应现代人需要的简洁明了的太极拳技击防卫技术体系,从而形成太极拳现代化发展的另一个新分支。

第二章 人体运动仿真技术现状

人体运动仿真是计算机科学、生物力学和机器人学等学科交叉研究领域,其目的是在计算机中建立人体模型并模拟真实自然条件下的人体运动。本章首先介绍人体运动仿真的起源与典型应用,之后着重介绍计算机模拟人体运动所需的关键技术。

第一节 人体运动仿真的应用领域

在生物力学领域,科学家通过对人体运动的量化分析,使建立人体仿真模型成为可能。科学家们利用基于惯性和光学的运动捕捉设备对人体动作进行较为精准的定量分析。

在机器人领域,科学家在生物力学领域的研究基础上设计物理控制器,并将物理控制器的运动行为和稳定性同真实人体运动进行比较分析,设计出高效、稳定的类机器人控制系统。

在计算机科学领域,科学家们以人体运动生物力学、机器人学的已有研究成果为基础,研究通过计算机在虚拟环境中模拟逼真人体各个部位的运动。

第二节 计算机模拟人体运动的关键技术

一、人体模型构建技术

人体是一个极为复杂的生物体,因此在人体运动仿真研究中需要将人体作某种程度的抽象。这种抽象既要尽可能反映人体的真实情况,又要易于实现。三维人体的建模方法很多,有实体建模、曲面建模、线框建模和基于物理建模。

1. 实体建模

实体建模可对三维人体的实心部分进行表达,从而使得三维人体得到无二义性描述,并且实体建模方法提供了人体几乎所有的几何和拓扑信息。

实体造型是采用实体建模的方法对人体建模。目前,实体建模系统中对人体的表达方式主要有3种。

(1) 基于体素分解的表达方法。该方法能描述模型内部属性,如密度、材料等。体素化(Voxelization)是将物体的表面几何形式表示转换成最接近该物体的体素表示形式,产生体素数据集(Volume Datasets),其不仅包含模型的表面信息,而且能描述模型内部属性。体素(Voxel)可以理解为二维像素在三维空间的推广,它们是一组分布在正交网格中心的立方体单元。体素表达法可将复杂的人体层层分解,分解后的复杂人体可表示成一棵八叉树。

该方法简单易行,但对人体的表达只是近似,因而很难反映出人体的宏观几何特征,并且由于体素间的集合运算涉及大量面与面之间的交贯运算,难免出现奇异的情况,有时由于计算精度有限而带来的几何数据误差,还会造成体素之间拓扑关系的紊乱,从而使运算不能进行下去。因此在实际应用中会受到很大的限制。

(2) 构造实体几何。它是以立方体、球体、圆柱体、椎体、楔形体等基本体为基本元素,通过交、并、差等布尔运算表达复杂人体外形,该表达方法可以用一棵二叉树描述。这些几何形体具有完整的几何信息,是真实而且唯一的三维实体。

构造几何表达方法可以清晰地表达复杂人体的构造过程,直观地描述人体的宏观几何特点。但是该表达方法存在着多种构造人体的表达方案,表示的人体模型也不够逼真,很难表示人体的动态特性。同样,由于存在集合运算,因此其计算量大,计算稳定性差。

(3) 多面体建模。它是从构造多面体开始,对多面体的任意一个面、棱边、顶点进行局部修改,从而构造一个与实体外形相似的多面体(即基本立体),然后通过类似于磨光的处理,自动产生自由曲面的控制顶点,并拼接成所需的形状。它是一种根据设计者的构思来进行局部处理并生成人体模型的方法。用多面体建模可以灵活地进行人体形状设计。

2. 曲面建模

点曲线以及点曲面是曲面建模法中的基础元素,通过它们来构建物体的主要或大部分曲面,经过过渡、链接断裂、切分等修改变形方式,最终建立起所需的对象模型。

NURBS 建模的曲线并不依靠表面光滑的手段。该方法可以通过参数赋值或者手工绘制获得建模对象的边缘曲线,所以模型曲面曲率以及弧度等各方面在很大程度上可以保障其精确性。并且,由于使用曲面来进行建模,有效地减少了模型的固有面数,使得计算得到了精简,同时也达到了模型在建立后优化程度就很高的目的。

1971 年法国 Rneuat 汽车公司的 Bezier 正式发表了一种通过控制多边形来定义曲线的方法,这种方法使设计人员只需移动控制顶点就可以方便地修改曲线的形状,而且形状的变化完全在预料之中,因而得到了广泛的应用,最初的三维人体模型就采用了 Bezier 曲面模型,但是 Bezier 方法不具有局部特性,在设计复杂的人体曲面的过程中,存在着拼接方面的困难。为了解决 Bezier 方法局部修改的问题,Gordon 和 Riesenfeld 对 Bezier 方法进行了改进,用 B 样条函数代替 Bernstein 基函数,B 样条方法不但继承了 Bezier 方法的优点,而且还具有独特的局部特性,使得设计者能方便地对 B 样条曲线曲面进行修改。

使用曲面模型的方法对人体建模时,曲面模型能提供三维人体的表面信息,并进行隐藏线消除和真实感三维人体模型显示。但曲面模型方法也存在着缺陷,由于没有明确定义三维人体的实心部分,因此曲面建模方法不能进行剖面操作。

3. 线框建模

客观物可以被看作是三维空间中线段的集合,而三维物体的形状可以用其轮廓边来进行描述。对于平面立体,可由轮廓边直接构成;对于曲面立体,则可用一些线框围成。线框建模是采用点、直线、圆弧、样条曲线等构造三维物体的图形表示技术。它是计算机图形学 CAD/CAM 领域中最早用来表示形体的模型,并且至今仍在广泛应用。线框建模只用点、线的信息表示一个形体,数据量少,定义过程简单,符合人们打样的习惯。很多复杂的形体设计往往先用样条勾画出基本轮廓,然后逐步细化。线框建模的数据存储量少,对其编辑、修改非常快。使

用线框建模的方法对人体建模时,它是将人体轮廓用线框图形和关节表示,由于包含的信息有限,因此该建模方法在对人体建模时不能够无二义性地表达三维人体,也无法实现三维人体模型的自动消隐及真实感人体模型显示,与曲面建模方法一样无法进行剖面操作。

4. 基于物理的建模技术

由于人体模型庞大的自由度与复杂的运动链结构,人体模型的运动控制技术与机器人系统相比难度要高得多。基于物理的建模技术是考虑物体的物理属性如质量、弹性以及摩擦力,当物体与环境发生接触或受到外力作用时,综合利用运动学、动力学、机器人学、物理学和生物力学等前沿学科技术,基于物理的人体运动建模与仿真技术能逼真模拟各种物理现象。通过物理的建模技术建立的人体模型能处理各种复杂运动学模型,能生成逼真自然的人体运动,这是传统的人体运动建模与仿真技术所无法比拟的。

二、骨骼与皮肤绑定技术

骨骼与皮肤绑定技术主要解决的问题是使用运动数据驱动人体模型,得到骨骼动画。由于模型变形不当会产生失真,提高模型变形真实感和动画实时性就是绑定技术的目标,而骨骼与皮肤绑定技术的核心就是蒙皮算法。

蒙皮算法按大类可分为刚性绑定算法和柔性绑定算法,其中刚性绑定算法是最早出现的骨骼皮肤绑定算法,刚性绑定算法的计算和绑定比较简单,皮肤和顶点分别是一对一控制的,但缺点就是因为模型的整个皮肤网格由许多个分段的皮肤网格构成,由于各个皮肤网格之间缺乏自然的连接,皮肤变形时关节的连接处会不平滑,产生穿透和断裂等问题,使模型运动时真实感不强,为了解决这一问题,引入了柔性绑定思想,即由多个关节位置来确定最终的皮肤点的位置。

1. 刚性绑定算法

动画数据中不再像顶点动画中由每帧的皮肤点数据组成,而是由骨骼、分段皮肤网格和骨骼运动数据组成。由于用骨骼承载运动,对动画的控制不再是皮肤点信息,而是转化为对底层的骨骼数据、骨骼皮肤关系及绑定算法的控制,控制层次得到提高。

刚性绑定的公式为:

$$V' = M_i L_i V$$

其中, V 表示顶点变换前世界坐标系下的坐标。 V 经过矩阵 L_i 转换成从皮肤顶点初始位置到相关联的那个关节初始位置的位移矢量,再经过骨骼的绝对转换矩阵 M_i ,得到世界坐标系下皮肤顶点的新位置 V' 。

2. 线性混合蒙皮算法

线性混合蒙皮算法的主要内容是将皮肤顶点进行线性混合计算,得到新顶点的位置。该算法简单易实现,对硬件要求不高,是目前应用最多的蒙皮算法。不过由于该算法是简单的线性计算,未充分考虑现实情况下皮下脂肪对人体的影响,因而无法很好地保持皮肤的体积,在关节旋转较大的地方容易出现皮肤塌陷和“裹糖纸”现象。由于线性混合蒙皮算法的广泛应用,有许多研究集中于如何改进或克服该算法中的皮肤失真现象。

3. 点绑定算法

为了解决刚性绑定在关节处的失真问题,就产生了点绑定(Vertex Blending)算法。从直