

基于数据手套的人机交互环境设计

曾芬芳 梁柏林 刘 镇 王建华

(华东船舶工业学院计算机系, 镇江 212003)

摘要 在对手结构和手关节运动深入分析的基础上,建立了基于约束的、以关节为节点的“父、子物体”链接的虚拟手模型,绘制了虚拟手.通过对数据手套及接口的分析与设计,根据手运动类型的约束条件及图形变换原理,实现了基于数据手套的手势合成、碰撞检测和碰撞处理的三维交互操作环境.在该虚拟环境中,虚拟手可以进行飞行、抓取、释放物体等各类运动与操作.

关键词 虚拟现实 手模型 数据手套 人机交互

中图分类号: TP391.9 文献标识码: B 文章编号: 1006-8961(2000)02-0153-05

An Interactive Environment Design Based on Digital Glove

ZENG Fen-fang, LIANG Bai-lin, LIU Zhen, WANG Jian-hua

(Computer Department, East-China Shipbuilding Institute, Zhenjiang 212003)

Abstract In this paper, a restriction-based virtual hand model that uses a “father and son” link with the joints as nodes has been established based on the analysis of hand structure and joint motions. And then a virtual hand has also been drawn. By analyzing and designing the digital glove and interface, a digital glove-based 3D interactive operation environment used for gesture synthesis, collision detection and collision treatment is realized according to the motion type restriction condition and graphic transformation. In this environment, the virtual hand can conduct different motions and operations such as moving, grasping and releasing etc.

Keywords Virtual reality, Hand model, Digital glove, Interaction

0 引言

虚拟现实技术作为一种新型人机接口技术,为使用者提供了与虚拟环境之间进行自然交互的手段.这是人们最渴望的人机接口技术,因而产生了对基于数据手套的手运动模型的分析与研究.1991年, Hans Rijkema 和 Michael Girard 研究了用于机器人基于知识的手动作^[1].1994年, Ramon Mas Sanso 和 Daniel Thalmann 研制了一种用合成手动作的控制与抓取系统,它是基于物理约束的手抓取过程^[2].1995年, Lee Jintae 和 Kunii Toisyasu L 研究了用立体图象数据来自动分析三维手势^[3],用摄

像机拍摄手的运动图象,使用轮廓提取边界特征进行识别的方法,成功地提取了27个交互作用手的参数,实现了三维手势的重构.1997年,加拿大多伦多大学的 S. Sidney Fels 开发的 Glove-Talk,是一种用神经网络识别手势的系统^[4].这些研究为虚拟现实交互技术和机器人研究的发展作出了贡献.

在虚拟现实环境中,手的交互操作一般是通过数据手套,把用户手的状态信息输入到计算机,用一个虚拟手跟随用户手运动,在虚拟环境中穿行、抓取、释放物体.我们在对手结构和关节运动进行深入分析的基础上建立了手模型,并在 Windows NT、VC++ 语言、虚拟现实工具函数库 WTK 环境中,实现了一个在虚拟环境中基于数据手套的人机交互操作环境.

1 手模型分析

手是人类最灵活的器官之一,要在虚拟世界中模拟手的动作,必须先计算机中(程序中)用某种方法把手表示出来. 对手特征的描述称为手模型. 在虚拟世界中模拟出来的手称为虚拟手,而虚拟手和手指的姿态及运动能为高层次的手势理解提供丰富的信息.

1.1 手的结构及运动分析

人手是一个多肢节系统,由 27 块骨骼组成,也可看成是由 4 个相邻手指、一个大拇指和手掌组成,而每个手指又由指段和关节组成. 因此手是一种由关节相连的结构,随着关节运动,手的形状在不断变化. 这种变化可以通过指段和关节的状态空间位置的变化来描述^[5,6].

如图 1 所示,每一个手指(II ~ V)具有 4 个自由度,其中手指的基部(MP)有两个自由度,弯曲和旋转,手指的中间关节处(PIP)和末端关节处(DIP)分别各有一个自由度,主要是弯曲运动. 大拇指除了与其他 4 个手指一样,具有 4 个自由度外,还有一个外展运动,所以大拇指具有 5 个自由度(拇指和手掌之间的一节也可不考虑). 另外,手掌还有前后左右运动二个自由度,所以手运动总共具有 23 个自由度,即状态空间为 23 维.

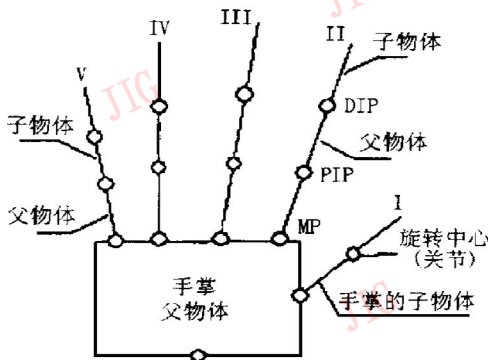


图 1

由于手的某一部分的运动是由它绕其关节的旋转运动而产生,因此,该运动可用沿关节 3 个坐标轴的旋转变换表示成 $Q_{\beta}^{\alpha}(y)$, 其中 α 表示旋转轴, β 表示关节, y 表示手指.

由于所定义的手势应具有准确的含义,而且能通过图形变换矩阵计算,并合成手势后,显示在屏幕上. 因此在手模型中需对其运动类型及所涉及的关节加入如下约束:

约束 1 每个手指的 MP, PIP, DIP 关节以及手

指“中轴”始终处于某一平面. 除大拇指的 MP 关节可能有弯曲、伸展或侧向运动外, PIP 和 DIP 只能在同一平面上作弯曲、伸展运动.

约束 2 每个指段的旋转运动是绕着它后面与它相连的一个关节(可看作一个点)而转动,且转动角度只能在 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 的范围内.

约束 3 DIP 和 PIP 之间的弯曲角度具有线性关系(拇指除外),其相关性表示为

$$\theta_{DIP} = (2/3)\theta_{PIP}$$

1.2 手模型数据结构

从上述的分析可知,除大拇指外,每个手指都具有 4 个自由度,从而可以建立一条链,以协调手指的机构及运动. 整个手可以以手掌为基础,链接 5 个手指(I ~ V),在指段(MP)上链接指段(PIP),再链接指段(DIP),这样,每条链可以获取 4 个参数,从而 5 个手指以手掌为根节点构成一个树型结构,树中的每一个节点代表一个关节,关节通过指段具有相互关联的运动特性^[6,7].

2 数据手套与手势合成

数据手套是虚拟现实系统中广泛使用的传感设备,用户通过数据手套对应的虚拟手,与虚拟世界进行各种交互操作,如发出命令、抓取物体,如果手套有力反馈,还能让用户感觉到物体的重量和材质等.

2.1 数据手套及接口

数据手套的种类很多,性能差别也很大. 比较简单的数据手套只有几个传感器,能测量手指的曲率、手的转动和摆动. 而复杂的数据手套有 26 个传感器,能测量手不同姿势,有的还具有力反馈和触觉反馈的功能. 本文所实现系统的数据手套是 5DT 公司的 5th Glove.

在虚拟现实系统中,5th Glove 手套通过串行口与计算机主机相连. 5th Glove 数据手套的每个手指上有一个传感器,用于测量手指的平均屈伸度(即手指中部关节的屈伸度). 在手腕部位还有一个 2 轴倾斜传感器,可以测量手的转动(绕 Z 轴旋转)和倾斜(绕 X 轴旋转)两个角度. 它们的取值范围是 $0 \sim 255$, 即最小屈伸度为 0(手指伸直时),最大屈伸度为 255(手指弯曲时),当手掌与地面平行时为 128. 5th Glove 具有命令、报告数据、连续数据、模拟鼠标等工作方式,根据它的命令和数据格式,就可以在程序中通过对串行口的读写,与数据手套进行交互.

2.2 虚拟手的生成

在国外, 虚拟手动作有一些是利用 FFD、DFFD 等物体变形技术来进行处理^[8,9]. 为了利用 WTK 的有关功能函数, 我们采用了传统的图形变换方法来实现手动作, 因为它可以根据数据手套发送来的屈伸角度, 通过指段的一系列状态变换矩阵(平移、旋转、比例变换等)运算, 计算出手势的空间位置和当前状态.

(1) 虚拟手生成

我们在系统中绘制了两个虚拟手: 一个是用 WTK 编程生成的比较简单的手(见图 2), 将手分为 15 个部分(手掌和 14 个指段); 另一个是用 3DS MAX 软件做的比较复杂的手(见图 3), 将手分为 16 个部分(手掌和 15 个指段). 它们的每部分可近似地看成是一个不变形的物体, 各指段为一个图形元. 这两个虚拟手在系统中都可以进行操作, 不过后者操作速度较慢.

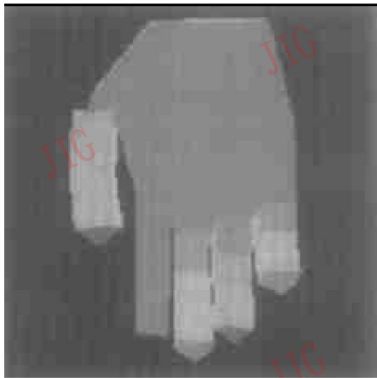


图 2



图 3

(2) 虚拟手的手势合成

通过数据手套获取手指变化(如弯曲等)角度, 经图形变换矩阵计算出各指段的空间状态, 从而与手掌有机地组织在一起, 以表示具有一定意义的手动作, 称为手势的合成^[10]. 根据手模型数据结构及约束条件 1, 各手指的运动都是相对于手掌的, 手指

只能绕着手掌转动, 而手掌带动各手指同时运动, 当手指相对于手掌不动时, 手掌的各种运动(平移和旋转)都使手指发生同样的运动.

根据 WTK 的定义, 我们把被链接的物体(基础)称为父物体, 把链接到父物体上的物体称为子物体(见图 1), 但父物体和子物体是相对而言的, 而指尖 DIP 只有父物体, 没有子物体. 根据约束 2, 父物体运动时, 使子物体一起运动, 而子物体的运动对父物体没有影响. 在初始化虚拟手模型时, 对每个物体均定义一个旋转中心, 每个物体绕着自己的旋转中心转动.

数据手套被用来控制虚拟手, 则虚拟手的动作应与用户的手(戴着手套的手)动作一致. 如 2.1 节所述, 5th Glove 数据手套返回的数据是每个手指的平均屈伸度, 也可以说是手指中部关节的屈伸度. 根据约束条件 3, 前一关节和后一关节的弯曲度是中间关节弯曲度的 $2/3$, 因此据其可确定某一个指段的旋转角度, 然后使它绕着自己的旋转中心(关节点)旋转对应角度, 而且在转动父物体的同时, 子物体也跟着旋转. 图 4 所示为手的动作示例.



图 4

3 基于数据手套的交互操作

3.1 虚拟手的飞行

由于 5th Glove 上没有位置跟踪器, 不能从数据手套的输入数据中得到手在三维空间中的位置信息, 因此无法使虚拟手随着手的移动而移动. 可以在手套上附加上一个位置跟踪器(如 6DOF)来弥补 5th Glove 的不足. 而在我们的模拟环境中, 是通过数据手套的手势来控制虚拟手的移动(飞行).

5th Glove 有命令、报告数据、连续数据、模拟鼠标等工作方式. 我们采用命令方式定义了 1 指、2 指和 3 指等手势来控制虚拟手的飞行. 1 指手势控制

人的视点和虚拟手一起前进、后退和左、右转动. 虚拟手运动的方向根据手倾斜的方向确定, 如: 手向前倾(食指高于手掌位置)是前进, 手向后倾(食指低于手掌位置)是后退, 向左、右转可依此类推; 2 指手势只控制虚拟手的上下左右移动(视点不动), 虚拟手运动的方向也是根据手倾斜方向确定; 3 指手势控制人的视点和虚拟手一起的上下左右移动, 运动的方向还是根据手倾斜的方向确定. 虚拟手运动速度与手倾斜角度成正比, 即手越倾斜, 运动得越快.

3.2 虚拟手的交互操作

人手跟其它物体一样, 在运动过程中(如平移、转动)也会跟其它物体发生碰撞, 所以要进行碰撞检测. 手碰到物体有很多目的, 如要推动物体、抓取物体等^[11]. 在我们的系统中, 虚拟手的交互操作主要实现了碰撞检测和抓取、释放物体等功能(见图5).

手的碰撞检测和抓取本文不再详细叙述.

分析, 以关节为节点, 利用“父、子物体”链接构造了一个虚拟手模型, 并在此模型的基础上实现了手的各种运动和手的抓取交互操作环境, 系统运行效果良好. 因而本系统是一个有效、简单的虚拟环境模拟系统, 并具有一定的实验价值和实用价值.

参考文献

- 1 Hans Rijkema, Michael Girard. Computer animation of knowledge based human grasping. *Computer Graphics*, 1991, 25(4): 339~ 348.
- 2 Ramon Mas Sanso, Daniel Thalmann. A hand control and automatic grasping system for synthetic actors. In: *Eurographics '94*, 1994, C167~ C176.
- 3 Lee J, Kunii T L. Model-based analysis of hand posture. *Computer Graphics and Applications*, 1995, 5(5): 77~ 86.
- 4 S Sidney Fels. *Glove-Talk II: Mapping hand gestures to speech using neural networks*—— An approach to building adaptive interfaces. *Research Report*, 1994.
- 5 Jean-Paul Gourret, Nadia Magnenat Thalmann, Daniel Thalmann. Simulation of object and human skin deformations in a grasping task. *Computer Graphics*, 1989, 23(3): 21~ 30.
- 6 曾芬芳, 王建华, 别小川等. 基于神经网络的手势识别. *机器人*, 1999, (1): 40~ 44.
- 7 曾芬芳. *虚拟现实技术*. 上海: 上海交通大学出版社, 1997.
- 8 Laurent Moccozet, Nadia Magnenat Thalmann. Multilevel deformation model applied to hand simulation for virtual actors. <http://miralabwww.unige.ch/ARTICLES/VSM97B.htm>, 1997.
- 9 Laurent Moccozet, Nadia Magnenat Thalmann. Multilevel deformation model applied to hand simulation for virtual actors. <http://miralabwww.unige.ch/ARTICLES/VSM97>
- 10 Nadia Magnenat Thalmann, Stephane Carion, Martin Courcheane et al. Virtual clothes, hair and skin for beautiful top models. <http://miralabwww.unige.ch/ARTICLES/CGI96.html>
- 11 Nadia Magnenat Thalmann, Daniel Thalmann. Synthetic actors in real world animating virtual actors in real environments. <http://miralabwww.unige.ch/ARTICLES/ACMMS97.html>

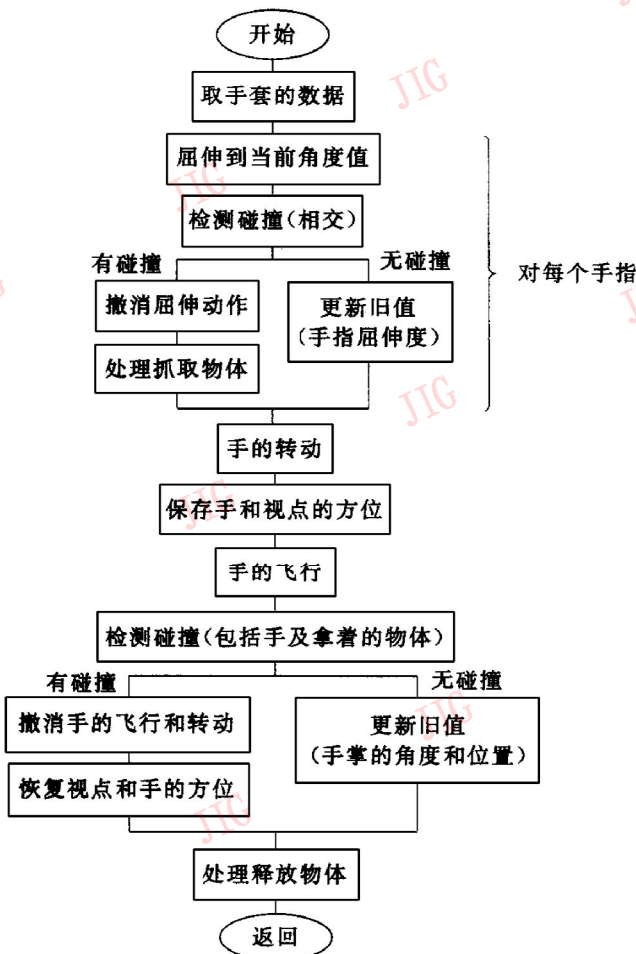


图 5

4 结 论

本文以 5th Glove 数据手套为例, 对它的接口及人机交互操作进行了详细讨论. 通过对手结构的



曾芬芳 教授, 1965年毕业于上海交通大学船舶电气自动化专业, 1985~1987年意大利 PAVIA 大学访问学者, 现就职于华东船舶工业学院计算机系. 研究方向为虚拟现实、计算机图形学和计算机辅助设计. 正式出版著作 7 本, 发表论文近 40 篇.

梁柏林 1998年华东船舶工业学院计算机及应用专业毕业, 现就职于 704 研究所.



刘 镇 副教授, 1995 年毕业于西安交通大学, 获硕士学位, 现就职于华东船舶工业学院电子与信息系, 主要从事计算机网络和多媒体技术的教学和科研工作.



王建华 教授, 1982 年毕业于哈尔滨理工大学, 获工学硕士学位, 现就职于华东船舶工业学院. 主要研究方向为神经网络和模式识别. 正式出版著作 3 本, 发表论文 50 余篇.

历届图灵奖获得者

- 1966 A. J. Perlis 因在新一代编程技术和编译架构方面的贡献而获奖
- 1967 Maurice V. Wilkes 因设计出第一台具有内置存储程序的计算机而获奖
- 1968 Richard W. Hamming 因在计数方法、自动编码系统、检测及纠正错码方面的贡献被授予图灵奖
- 1969 Marvin Minsky(资料空缺)
- 1970 J. H. Wilkinson 因在利用数值分析方法来促进高速数字计算机的应用方面的研究而获奖
- 1971 John McCarthy 因对人工智能的贡献被授予图灵奖
- 1972 Edsger W. Dijkstra 因在编程语言方面的出众表现而获奖
- 1973 Charles W. Bachman 因在数据库方面的杰出贡献而获奖
- 1974 Donald E. Knuth 因设计和完成 TEX(一种创新的具有很高排版质量的文档制作工具) 而被授予该奖
- 1975 Allen Newell 和 Herbert A. Simon 因在人工智能、人类心理识别和列表处理等方面进行的基础研究而获奖
- 1976 Michael O. Robin 和 Dana S. Scott 因他们的论文“有限自动机与它们的决策问题”中所提出的非决定性机器这一很有价值的概念而获奖
- 1977 John Backus 因对可用的高级编程系统设计有深远和重大的影响而获奖
- 1978 Robert W. Floyd 因其在软件编程的算法方面的深远影响, 并开创了包括剖析理论、编程语言的语义、自动程序检验、自动程序合成和算法分析在内的多项计算机子学科而被授予该奖
- 1979 Kenneth E. Iverson 因对程序设计语言理论、交互式系统及 APL 的贡献被授予该奖
- 1980 C. Anthony R. hoare 因对程序设计语言的定义和设计所做的贡献而获奖
- 1981 Edgar F. Codd 因在数据库管理系统的理论和实践方面的贡献而获奖
- 1982 Steven A. Cook 因奠定了 NP-Completeness 理论的基础而获奖
- 1983 Ken Thompson 和 Dennis M. Ritchie 因在通用操作系统理论方面的突出贡献, 特别是对 UNIX 操作系统的推广的贡献而获奖
- 1984 Niklaus Wirth 因开发了 EULER、ALGOL-W、MODULA 和 PASCAL 一系列崭新的计算语言而获奖
- 1985 Richard M. Karp 因对算法理论的贡献而获奖
- 1986 John E. Hopcroft 因在算法及数据结构的设计和分析中所取得的决定性成果而获奖
- 1987 John Cocks 因在面向对象的编程语言和相关的编程技巧方面的贡献而获奖
- 1988 Ivan E. Sutherland 因在计算机图形学方面的贡献而获奖
- 1989 William V. Kahan 因在数值分析方面的贡献而获奖
- 1990 Fernando J. Corbato 因在开发大型多功能、可实现时间和资源共享的计算系统, 如 CTSS 和 Multics 方面的贡献而获奖
- 1991 Robin Milner 因在可计算的函数逻辑(LCF)、ML 和并行理论(CCS)这三个方面的贡献而获奖
- 1992 Butler Lampson 因在个人分布式计算机系统方面的贡献而获奖
- 1993 Juris Hartmanis 和 Richard E. Stearns 因奠定了计算复杂性理论的基础而获奖
- 1994 Raj Reddy 和 Edward Feigenbaum 因对大型人工智能系统的开拓性研究而获奖
- 1995 Manuel Blum 因奠定了计算复杂性理论的基础和在密码术及程序校验方面的贡献而获奖
- 1996 Amir Pnueli 因在中引入临时逻辑和对程序及系统检验的贡献而获奖
- 1997 Douglas Engelbart 因提出交互计算概念并创造出实现这一概念的重要技术而获奖
- 1998 James Gray 因在数据库和事务处理方面的突出贡献而获奖