

数据手套的研究现状

齐曼 张珩 (中国科学院力学研究所,北京)

摘要 本文就最新的人机交互工具—数据手套在实现原理与应用方面的研究现状进行了综述。文中还就其与虚拟现实的关系进行了讨论。评述认为,基于手套式的测量结构可能影响人手运动姿态的自然特征;人手软组织的存在,也将对其在测量的精度与反演计算的复杂度方面构成影响;此外,力感觉反馈问题亦有待于深入研究。

关键词 数据手套 虚拟现实 力反馈

1 背景回顾

几乎所有人都承认计算机技术的进步对于人类与自然的关系产生了史无前例的影响。现在看来,也许这一影响的最直接反映是人们以往能够更清醒地意识到面向所憧憬的目标必须竭力逾越一个伴生的障碍—人机交互问题。事实上,从长期以来这方面研究进展的缓慢程度足可见解决这一问题的艰巨性。但随着近年来数据手套设计概念的出现,却在很大程度上为这一领域的发展注入了新的活力。

准确地说,数据手套的前身应当是手套式传感器系统。这方面最早期的产品称为 SayreGlove^[1],它由 R. Sayre 等人开发而成,目标是应用于系统的三维控制场合。A. D. Little 等人开发的 Dextrous Hand Master 是一个复杂的外骨架结构^[2],其测量精度很高,主要用于机器人操作控制。

与前述的技术相比,在数据手套研究领域的重要进展是在八十年代初期。这与 T. Zimmerman 等人关于光弯曲传感手套的发明专利密不可分。它明确地撇弃了早期笨重的外骨架装置(exoskeleton)的设计概念,进而开发了一个基于可弯曲的塑料管系统,并将塑管附于手套之上以传导激励光源的光线。这样,手指弯曲则可由光强变化加以反映。基于这种构想所成型的产品很快应用到医学修复领域^[3]。

1987年,J. Lanier 通过创造性地提出虚拟现实(Virtual Reality)术语并将数据手套(DataGlove)确定为主要的人机交互工具而使之倍受瞩目^[4]。经过进一步的改进设计,J. Lanier 所在的 VPL 公司于九十年代初将使用光纤的实现技术通过“光纤弯曲感受器”及“计算机数据输入及操作装置和方法”等几项专利展示给世人。就此确立了 VPL 在这一领域的技术领先地位。由于光纤技术的采用,使得这种数据手套明显的具有其它方式所不具备的优点,即紧凑、轻便与舒适。相比之下,由 Mattle 公司推出的 PowerGlove^[5]因采用应变结构而造成挠性过差。

有关数据手套技术的另一分支是手部的绝对空间定位问题^{[6][7]}。为确定手部在空间的六个自由度方位,则必须在手套上加装位置跟踪系统。VPL 的 DataGlove 利用电磁脉冲方法实现这一目的。其优点在于它的定位精度高,体积小。但这种方式显然不适于金属壁环境,而且测量处理的延时较大,易受外界干

齐曼,1991年本科毕业于太原工业大学计算机系,1994年毕业于华北工业学院自动控制系,工学硕士,现为中国科学院力学研究所博士研究生。

张珩,工学博士,现为中国科学院力学研究所副研究员。

本文收稿日期:1996 04 16

扰。为减小处理延时,PowerGlove 则采用超声波方法。但它所带来的新问题是这种方式明显的使有效工作范围受到限制。红外技术是另一有效的选择方式。利用配重杆的机械结构也是曾经设计过的方法。相比之下,它的有效工作范围更为狭小,结构笨重,且成本相对较高。

2 实现原理

数据手套设计实现的关键在于手掌各有效部位的弯曲测量及其整体姿态的反演。完成反演在理论上主要取决于人体手部姿态的运动模型的建立。这方面的工作可见文^{[8]-[10]}。借助于不同的测量形式将导致各异的实现结构,但本质上仍然是解决传感器读数与手部姿态的定量对应关系。

考虑一个数据手套的弯曲测量问题。不妨定义由手部各弯曲角组成的向量为 $\underline{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$, 而由相应的 n 个传感器的读数组成的向量为 $\underline{r} = (r_1, r_2, \dots, r_n)$ 。则 $\underline{\theta}$ 与 \underline{r} 之间必然存在强耦合的映射关系, 即 $\underline{f}(\cdot): \underline{\theta} \rightarrow \underline{r}$ 。显然, 手部姿态的测量问题即是根据 \underline{r} 而找到对应的 $\underline{\theta}$ 。这一过程意味着应当找出 $\underline{f}(\cdot)$ 的逆映射, 即 $\underline{f}^{-1}(\cdot): \underline{r} \rightarrow \underline{\theta}$ 。实际上, 由于不同的使用者手部尺寸的不同, 手套亦不可能完整的与之匹配。鉴此, 相应的映射标定过程必不可少^[11]。这一标定的实现一般可简单的运用最小二乘法进行。

由于人手的独特的软组织存在, 使之在事实上不同于普通的刚性杆接链。这会导致当某一角度 θ_i 变化时, 不仅 r_i 产生响应, 非耦合项 $r_j, j \neq i$ 亦同时变化。因此, 对逆映射函数 $\underline{f}^{-1}(\cdot)$ 的解耦将同样十分必要。这方面的工作可参见^[12]。

数据手套测量数据的生成在模式上与常规数字化传感器无异。它同样是通过模/数转换器将传感器模拟量转换为数字量并送往计算机的 I/O 接口(如 RS-232C 串行接口)而实现。但相对而言, 数据手套的传感器数目较多, 且相应的标定及解耦计算亦很复杂。这对于计算机的实时处理构成压力。因此, 目前还不能说数据手套已发展到成熟阶段。

3 应用现状

由于数据手套的直接目的在于实时获得人手的动作姿态, 因此其应用的广泛性是显而易见的。诸如医学修复, 手语翻译, 仿形操作系统等。尤其重要的是, 数据手套作为主要部件在近年来最为活跃的领域—虚拟现实技术中发挥了巨大的作用^{[13]-[15]}。这些应用领域有模拟技术, 空间科学与技术, 可视化科学研究, 技术训练, 娱乐等。

为未来宇宙探险应用, 美国 NASA Ames 研究中心开发了运用数据手套完成了虚拟宇宙探险训练系统的开发; 将数据手套用于机器人远程仿形操作, 可以说是相当富有想象力的步骤。

日本松下电工利用数据手套研制出虚拟厨房仿真体验系统, 使之用于工程的概念设计领域。NEC 等利用数据手套开发原型 Prototype 装置已获得良好收效。它作为崭新的机器环境为工程师在 CAD 基础上对设计的零件原型进行虚拟装配展示了诱人的前景。这将强有力地提高产品的开发与研究的水平。

利用其与抽象或虚构的物体交互进行科学实验是数据手套应用的一个重要的侧面。如美国 IBM 研究所、NASA 及日本东京电力公司正在研究的可视化数据控制问题; 美国加州大学劳伦斯伯克利实验室关于可视化的化学物质的分馏实验设计等。

在人体外科手术的研究与训练方面数据手套已成功地得到实际应用。

4 数据手套与虚拟现实的关系

无论从哪一角度来看, 数据手套目前最令人感兴趣的应用都是在虚拟现实领域。尽管数据手套的奠基

者最初的目的并非为虚拟现实而设计,但却因为虚拟现实的出现使之找到了最为恰当的应用。令人感兴趣的一点是,虚拟现实概念是由最著名的数据手套技术厂商 VPL 公司所提出。现今,数据手套已成为虚拟现实领域中最为重要的关键技术之一^[16]。

由于在虚拟现实中的诱人应用,使得对数据手套的研究与开发更为深入。为获得更加逼真的感觉,数据手套已不仅用于手部姿态测量,它同时还作为人的某些感觉(力觉及触觉)的生成(即力或触觉反馈)部件而用于虚拟现实环境之中^{[17][18]}。但实际上,手感觉反馈的产生较之测量是一个更为复杂技术问题。目前研究的焦点均集中于分布式微动力源的实现技术方面,解决方法主要有四种^[19],即:

(1) 采用螺线圈绕在人的手指上,当有电流通过时,因电磁感应产生触压;

(2) 采用压电晶体,这种晶体被电流激励会产生振动,进而产生推压力;

(3) 采用新的能随温度而改变形状的“记忆金属”(Memory Metal),当用电流对它加热时,这种小金属片就会向人的皮肤产生推力;

(4) 采用分布于手套上特定位置的小气泡,通过空气泡膨胀使手部产生触感。

值得一提的是,由 R. J. Feldmann(The National Institute of Health, USA)设计的“操纵弦”(Joystick)则独有特点。它采用一种坚硬的 T 形杆,并在其三个末端连接三条拉紧的引线,这些引线又依次固接于伺服电机反馈系统上。当操作者手握操纵弦时,伺服系统产生可控制的反馈力。

5 评述

回顾数据手套的研究历程,我们必须看到这项技术仍处于十分稚嫩的时期。鉴于我们的时代技术手段的局限性,数据手套与人类在操作上的准确度与和谐性方面仍的很大差距。

首先,我们知道数据手套的最主要的技术目标就是能够使人手在大脑指挥下的自然动作数据加以表达。但这种接触式测量在结构上由于套体的存在而使人手的运动一至少在一定程度上一偏离原有的自然性。

其次,在手感反馈方面的研究还相当缓慢。事实上,触感觉反馈往往与力觉反馈相伴。因而要独立的产生力学反馈则相当困难。举例说来,要利用机器反馈人手握一只网球与一只台球的的细微的感觉几乎是不现实的。因此对感觉反馈的机理还有待于进一步深入研究。目前,在虚拟现实的触觉研究中常常通过多学科交叉综合进行,即根据生物力学、心理物理学、神经生物学的经验及被控虚拟对象的特征而对力反馈加以建模。

由于人手软组织的存在,也在很大程度上影响着接触式测量的精度。这首先表现在无法更好的控制传感器的安装误差。此外,软组织所造成的传感器读数的强耦合现象亦使解耦过程变得较为复杂。它们所导致的测量精度的下降还将明显的影响到手感觉的反馈。

最后,就目前应用的产品来看,数据手套的使用在寿命、可靠性、空间跟踪精度方面还显得欠佳。其性能/价格比相对其它计算机外设而言亦较为昂贵。

尽管尚待开展许多更具突破性的研究,但作为一项崭新的人机交互技术,数据手套为人类从自然世界(Real World)进入到数据空间(DataSpace)提供了可能性。这必将极大地改观人类在进一步认识与改造自然方面的实现方式。近年来这一技术所取得的长足进步无论对于某些基础研究、技能训练乃至工程设计在模式上都产生了巨大的影响。数据手套中各种天才的设计思想的出现与发展,不断地鼓舞着众多的研究者们,因而使之成为当今很多领域的支撑技术。诸如机器人仿形操作等。特别令人关注的是它在虚拟现实技术中所发挥的关键作用。可以说,这也是虚拟现实技术自提出起就能在很短的时间内获得应用与进展的主要因素之一。

(下转第8页)

式中的 j 是段数, θ_1, j, j_0 是 j 段流体 1 的入口和出口温度。显然 θ_1, j_0 也是 $j+1$ 段流体 1 的入口温度, θ_1, j 也是 $j-1$ 段流体 1 的出口温度。 θ_2, j_0 也类似。故可通过边界条件的这种耦合关系, 求解微分方程。主要问题是集中后的变量 θ_1, j 和 θ_2, j 怎样取法。一般可按距离的矩形近似, 取入口或出口温度; 也可按梯形近似, 取其平均值。

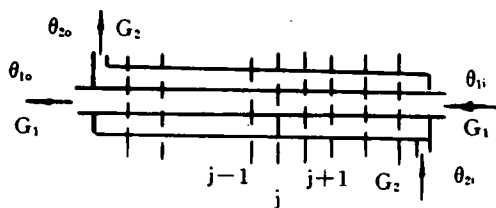


图 11 · 并流热交换器

4.3 精确仿真

可按空间或时间域中连续、离散或变换分类, 有九种仿真方法。仅介绍比较实用的几种方法:

4.3.1 离散空间 / 连续时间 (DSCT)

系统的空间域被划分为一定数量的小空间。在小空间边界上, 将空间微分算子由差分算子近似。差分算子只使用特定点及附近边界点上的值, 按照给定的边界条件, 可得到一组相互耦合的在时域上的 ODE。它的解在各小区间边界点上近似于 PDE 的解。这种方法适合于用模拟机仿真, 方程组在模拟机上平行地求出。因此, 速度快, 适合于在线仿真, 也可利用 ODE 的近似计算程序, 在数字机上仿真, 但速度相对较慢。

4.3.2 连续空间 / 离散时间 (CSDT)

时间微分算子由差分算子近似, 从而形成了空间域的 ODE 的边值问题, 其解为 PDE 的解在相应时间上的近似值, 由于空间变量连续, 故这种方法适应于具有参数随空间位置变化的问题, 在模拟机上仿真需要机器有模拟记忆, 故比较适合于用混合机, 速度快。如用数字机仿真, 情况如同 DSCT 仿真问题。

4.3.3 离散空间 / 离散时间 (DSDT)

这是一种出现较早的但很重要应用很广的全数字仿真方法。其特点是程序编制简单清楚, 适应性强, 易于在仿真过程中对模型作大量修改和调整, 故特别适合于离线仿真, 用于控制系统计算机辅助设计。但运算速度要慢些, 需要有较大存贮量。(未完, 下篇待续)

(上接第 60 页)

参考文献

- 1 DeFanti, T. A. and E. J. Sandin, Final Report to the National Endowment of the Arts, US NEA R60-34-163, University of Illinois at Chicago Circle, Chicago, Ill., 1977.
- 2 Sturman, D. J. and D. Zeltzer, A Survey of Glove Based Input, IEEE CGA, January, 1994.
- 3 Zimmerman, T. G. et al, A Hand Gesture Interface Device, Proc. Human Factors in Computer and Graphics Interface, ACM Press, N. Y., April, 1987.
- 4 Foley, J. D, Interfaces for Advanced Computing, Scientific American, Vol. 257, No. 4, 1987.
- 5 Eglowstein, H., Reach Out and Touch Your Data, Byte, July, 1990.
- 6 曾建超等, 虚拟现实技术的发展现状与趋势, 国防科工委仿真专业组 VR 技术讨论会, 北京, 1994 年 11 月。7~19(本刊略)

Overview of Data Glove Study

Qi Man Zhang Heng

Institute of Mechanics, Academia Sinica, Beijing 100080

ABSTRACT Dataglove is the latest human computer interactive tool. This paper reviews the recent studies on its principle and applications and also discusses its relationship with virtual reality. As a comment, the authors state that glove based measure structure may affect natural characteristics of hand and the flab of hand also has effect on the accuracy, complexity of measure and inversional calculation. In addition, force feedback needs more profound studies.

KEYWORDS Dataglove Virtual reality Force feedback