

虚拟现实的技术 及其应用

曾建超 俞志和 编著

Virtual
Reality



清华大学出版社

73968
597.1

虚拟现实的技术及其应用

曾建超 俞志和 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

在计算机及相关领域内,虚拟现实(Virtual Reality)是近年来的流行话题。但是,究竟什么是 VR? 为什么 VR 会引起人们如此的热情? 更重要的是,VR 在哪些方面能帮助我们人类,以及如何应用 VR 呢? 本书由浅入深地介绍了 VR 的概念,VR 在视觉显示、听觉及触觉与力觉等方面的技术与设备,以及 VR 的应用领域及系统。本书也对一些典型的 VR 应用系统以及系统设计中的若干问题进行了讨论分析。作者希望本书能在促进我国 VR 的研究及发展,推动 VR 的应用方面起到一些作用。本书可以作为计算机应用领域中的科技工作者、大学生及研究生的参考资料。而且,本书对其他领域的科技工作者更有效地应用计算机,也能提供一些启发。

本书还附有中、英文索引以便查找 VR 方面的术语及有关内容。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

虚拟现实的技术及其应用/曾建超,俞志和编著. —北京:清华大学出版社,1996
ISBN 7-302-02079-5

I. 虚… I. ①曾… ②俞… II. 虚拟存取-应用 IV. TP333

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 02058 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

印刷者:北京宏飞印刷厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:9 字数:208 千字

版 次:1996 年 3 月第 1 版 1996 年 3 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-02079-5/TP·967

印 数:0001—5000

定 价:10.00 元

序

虚拟现实：一种极具应用前景的技术

——为《虚拟现实的技术及其应用》一书代序

当前，“虚拟现实”(Virtual Reality)是计算机相关技术中的流行话题。似乎每个人都在谈论 VR，但是，VR 的一些基本概念还不大清楚，甚至专家们的定义也各不相同。那么，究竟什么是 VR？为什么 VR 会引起人们如此的热情？更重要的是，VR 在哪些方面能帮助我们(人类)，以及如何应用 VR 去帮助解决一些科学技术的问题呢？

本文的前半部分将试图搞清一些概念，包括分析 VR 热产生的原因，讨论人们对 VR 的不同定义，以及人与 VR 的关系等；后半部将探讨 VR 应用中的一些较具体的问题。当然，VR 在很多应用上有用武之地，例如遥操作，科学数据可视化，设计或结构可视化，空间考察，通过计算机的协同工作，教育，训练，以及娱乐等。要在本文内讨论这么多的应用方面是不可能的。所以，除了进行一些原则性的探讨外，我们将简单地讨论一下基于模型以及基于传感信息的 VR。我们强调模型、强调传感信息的目的是要纠正正在 VR 中的一些可能偏向，希望 VR 在工程应用上，特别在遥操作方面能沿着正确的方向发展。

一、为什么出现 VR 热？

为了避免学究式的讨论，我们且不谈 VR 的定义究竟是什么。在大部分人心目中，VR 可能就是戴上三维立体显示跟踪头盔(包括立体声耳机)，戴上数据手套，甚至穿上数据衣的大“游戏机”。计算机把你放到一个人造的环境之中，无论从哪种感觉(视、听、触)来体会，好像都是真的，但一切实际上都是假的。且不谈这其中对目前 VR 的过高幻想，那么，为什么现在几乎人人都谈 VR 呢？我们认为，VR 热的出现和其它技术一样，是基于“需要”及“可能”这两方面的。

计算机技术的迅速发展，使 VR 成为可能。我们能够在相当低的价格下，使用具有相当强功能的计算机。与此相对应的还有软件系统的进步，使得我们能够产生实时的动态图象和以大量数据为基础的声音。这就使得人与计算机相互交流方式有了很大的改进。人们不再限于用文字、符号或数字与计算机交流，“声、文、图”并用的交互方式(或称为“多媒体”)已经相当普遍。

在这里，我们想从什么是当前发展计算机应用的关键这一角度来谈谈对 VR 的需求。事实上，需求也就是可能的应用方向。

我们知道，信息技术是社会生产力发展的“龙头”，而计算机的应用是现代信息技术的核心。计算机应用的本质就是用计算机来代替人工，说到底是要完全代替，这就需要计算机具有与人类相同的高度智能。目前来看，虽然计算机有极强的信息处理功能，但在可见的将来，计算机也不能具备足够的与人类相比的智能。所以，在很多计算机应用的场合下，

特别是对信息的理解和决策需要人的参与。也就是说,我们需要利用人-机交互来弥补计算机智能的不足。提供完善的人-机交互手段已成为当前发展计算机应用的关键。一个典型的例子是自主机器人。人工(计算机)智能发展的困境使我们不得不在目前把研究重点从全自主机器人的研制转向有 VR 技术辅助的遥控机器人。另一个例子是,在科学计算的可视化及信息管理的可视化方面,当前的困难是面对数量呈指数增长的各种数据和信息,目前的计算机处理和理解能力显得无能为力。摆脱这种困难的一种可能的出路是引入人类高度发展的形象思维能力,也就是用计算机来处理信息,并以人们一目了然的方式表现出来。最后的理解和决策还是由人来完成。

由于人类大部分活动是社会的、群体的,高效的信息交流和协同工作可以说是社会发展的推动力。所以,像电子邮件、计算机协同工作以及计算机视频会议等都受到人们的重视。而在这种人与人之间通过计算机的交流中,用虚拟现实技术建立的“面对面”的环境将扮演重要角色。

二、VR 的定义

无论我们把 Virtual Reality 称为“虚拟现实”、“灵境”、“幻境”,或者别的什么名称,比较啃书本一点,我们总得首先搞清这两个英文词的意思。“reality”是“真实”、“实在”的意思,比较容易理解。“virtual”在中国译文出版社的新英汉词典中有两条物理学上的词义:“虚的”、“有效的”。这个意思在 Webster's 词典中解释为“being in essence or effect, but not in fact”。把这两个词连起来,用比较罗嗦的话来讲,就是“在效果上是实在的、与真实相同的东西,但不是真实的。”

现在用的“虚拟现实”中的“虚拟”来自软件工程。我们还记得,计算机科学家们使用“virtual memory”(虚拟内存)意指计算机运行的内存仿佛超出了存在的实际的硬件限制。“virtual”(虚拟)也被广泛地应用在计算机领域的很多其它方面,包括虚拟邮件、虚拟工作站、在计算机网络上的虚拟工作小组、虚拟飞机座舱、虚拟环境以及虚拟世界等。

1989 年,美国 VPL Research 公司的创始人 Jaron Lanier 创造了“virtual reality”这个名词,意指“计算机产生的三维交互环境,在使用中用户是‘投入’到这个环境中去的”。根据他创造的这个名词的意思,VR 的一种定义是:VR 就是让用户在人工合成的环境里获得“进入角色”的体验。这涉及到三维立体显示跟踪头盔,还包括立体声耳机、数据手套以及数据衣等。当然,更广义的定义也很多,甚至有一种说法是:VR 是任何非真实的、但假冒得非常像的计算机系统。

我们认为,VR 的比较合适的定义是:VR 是人-机(计算机)交互工具,这种工具的创造或设计是基于人与周围真实世界的交互方式的。这里,交互是通过多种传感信息来进行的,除了视觉、听觉外,还可以包括触觉、力觉等。注意,我们并不认为 VR 只是模拟人与真实世界的交互方式。VR 基于真实,但可以(也应该)超越真实。有人说,VR 是用人们熟悉的交互方式与计算机进行交流。但是,什么是“熟悉的”方式,是否“熟悉”的方法就最有利,都值得探讨。我们下面还要谈到这个问题。从科学技术应用的角度来讲,我们对 VR 的定义可能还应该加一句:VR 这种工具和其它工具一样,应有利于增强我们的工作能力。

三、VR 的艺术魅力

VR 是一门综合技术,但又是一种艺术。如果你有用计算机进行多媒体创作的经验,就可以体会到,在很多应用场合艺术的成份往往超过技术。所以,从技术的角度来讲,与需要任何其它技术或工具一样,人们需要 VR 是为了增强自身的能力或弥补自身的不足。而从艺术的角度来讲,VR 也有其艺术上的魅力。我们不缺乏这方面的例子,像交互式的虚拟音乐会、游戏机 Virtuality SU1000(或 SD1000)以及动画等。由于 VR 技术与艺术的结合,它比一般单纯的技术或工具更吸引人。

人们喜欢 VR,可能是因为 VR 和其它文艺作品一样,能够进行教育或传授知识技能而不受真实世界的某些限制。我们的生命有限,不可能事事去实践。我们的经历是不能重复或重新(颠倒次序)安排的。比如,一个老人可能还想再体会一下年青时参加足球世界杯的经历。也许,他还可以改变程序,让他的队由败变胜?一个弱孩子可能想用 VR 来体会超人的经历?真实世界对我们的另一个限制是,我们的身体是脆弱的。VR 可以允许我们经历危险场合而没有实际的危险。这里,利用 VR 的飞行员训练就是一个极好的例子。另外,我们在精神上、在人与人之间的关系上有时也很脆弱。有人可能愿意与机器、计算机打交道,而不愿意与人直接交往。显然,VR 在这方面也可以帮助我们。

VR 的吸引力,不仅在于它是高技术,它能提高我们的工作效率或帮助我们去完成以前做不到的事情;它的艺术魅力也是不可忽视的。从这方面来讲,虚拟的世界不需要十分逼真,在某些情况下应该给想象力留有余地。有些不太真实的事情或表现方法能够唤起我们的想象力和形象化思维。例如,有人将股票市场的信息用不同颜色的小片来表示,某种股票小片的闪烁表示有可能通过买进卖出而获利。也有人将股票表示成田间的小麦等。这些艺术上的创造可能有助于我们进行三维和二维空间的交叉思维。

四、三维立体显示是否有效?

在 VR 中,三维立体显示似乎是最吸引人的了。那么是不是三维立体显示总能帮助我们的工作呢?这个问题大概不能简单地用是或否来回答,因为虚拟现实的应用领域是多种多样的。然而,应该首先肯定,立体显示在帮助人们理解数据方面是很有用的。例如,三维立体显示在分子链接或遥操作方面都有很大的帮助。有报道说,美国和英国都在推广利用 VR(特别是三维立体显示)来进行新的化学物质或药品的研制。但是,对于有些领域,三维立体显示是不适宜的。例如,如果对一个文字处理程序或一个简单的数据库也应用立体虚拟环境,实际上可能会引起混乱。一般说来,对表示空间物体特征的数据进行分析和交互可以受益于三维立体显示。

五、VR 不应该是单纯地“设身处地”

现在有一种比较普遍的误解,认为 VR 就是简单地让用户“虚拟地设身处地”。这里的“设身处地”就是指以观察者为中心的体验。以汽车驾驶为例,在以观察者为中心的体验中,我们就像坐在汽车上一样,看到的场景变化是由汽车与周围环境的相对运动所引起的。这不同于所谓的“局外观察”,就像在路边旁观别人的驾驶一样。强调“设身处地”,从

把 VR 作为仿真模拟技术,或从娱乐或游戏的角度来讲,可能是无可非议的。但从更广泛的科学技术或工程应用、例如从 VR 辅助的操作的角度来看,这种说法则值得探讨,因为只是“设身处地”并不一定就能有效地解决问题。试考察一个用 VR 技术辅助的机械手遥控操作的问题。首先,我们应该“设身处地”于何处呢?设想我们要创造一个让操作员如同亲临现场的环境,使操作员能够看到或者摸到他所需要的所有细节。建立这样的环境不是简单地把视点与机械手上的某一点固定在一起,并随着机械手的运动产生一系列视图就行了。这样的“设身处地”可能对指导遥控操作与事无补,因为在操作过程中,有不同的最佳观察位置。在接近操作对象以前,最关心的是躲避障碍物;在操作对象附近时,最重要的是看到操作部位,最佳的观察位置随机械手的位置而变化。因此,我们可能更需要的是基于模型的 VR。我们应该基于这个机械手及其环境的模型去创造一个对操作者更有利的虚拟环境。这个虚拟的环境可以与真实的环境看来很不相同,但操作员可以方便地获得所有的信息,容易完成预期的工作。

所以,我们认为,在很多工程的应用中,基于模型的 VR 往往会比单纯地“设身处地”效果会好一些。当然,模型可以是已知的,事先建立好的,例如分子结构的模型等。模型也可以(在很多情况下也必须)根据传感器获得的信息来建立或调整,我们将在下面讨论这个问题。

六、基于传感信息的 VR

除了仿真和游戏以外,在一般应用情况下,虚拟环境是通过对现实环境实际建模来产生的。这时,虚拟环境的产生在很多情况下必须基于传感信息,这就是所谓的基于传感信息的 VR。我们还用机械手遥控操作的例子,这里所指的基于传感信息的 VR 是利用主动的观察来获得数据,再由这些数据产生环境(包括机械手)的 CAD 模型。当然产生模型的数据可以从各种传感器得来的,但是利用非接触的视觉技术(包括多个摄像机或激光扫描仪)应该说是一个较为普遍适用的方法。当获得建立模型所需的所有数据后,我们可能更需要的是艺术才能来设计虚拟环境。

我们提倡基于传感信息 VR 的另一个关键观点是:基于传感信息的 VR 与真实世界的映射在一般的情况下可以保持一致。这里说的一致是指映射的一致而不一定是表现上的一致。例如,机械手与工件的距离是 1m,在虚拟环境中表现为 10cm。如果经过若干步操作后,机械手与工件的距离又是 1m,这个距离在虚拟环境中应该仍然接近 10cm。这对于遥控操作是极为关键的。我们必须利用获得的数据不断地更新模型或状态。完全基于事先建立的模型的 VR 可以作为学习、训练用,对于只需要可视化的应用也是可以的,但对于实时遥控操作这类应用则不行。由于模型与实际之间存在误差,而这种误差的积累是有潜在危险的。基于传感信息的 VR 可以利用现场信息来纠正这种误差或将误差限制在一定的范围之内。人在虚拟环境中发出控制信息,经计算机转换成控制命令去指挥在真实空间的机器人。然而,真实空间的信息必须反馈回去。这里的信息往往不仅是现场的图象,信息的融合、理解往往是必要的。传感信息还应该经过计算机转换成调整虚拟环境的命令。忽视 VR 中的传感信息的获取和处理以及对虚拟环境的调整是不明智的。在这方面还有很多工作要做,包括传感器的设置、数据的融合以及模型的产生和调整等。

七、小结

综合上面的分析和讨论,我们可以发现,VR 是由多种媒体构成的三维信息空间,它的基本特征包括交互性和临场感(immersion)。应当注意,目前 VR 系统的临场感与现实相距甚远,就是在可预见的未来,两者的差别也不可能完全消失。VR 的多媒体信息延伸了通常所指的计算机多媒体信息,除了声、文、图以外,还包括触觉、力觉信息等。VR 在信息输入输出手段方面也有所发展,包括利用三维球、三维鼠标、数据手套以及数据衣(data suit)等。

VR 的应用前景是非常广阔的,但是在应用 VR 中,不清楚的概念还很多,至少可以说 VR 的应用不是简单地把用户(操作者)置入一个虚拟的(与真实完全相同的或尽量相同的)环境中所能奏效的。我们必须了解 VR 可能的应用领域,分析待完成任务的性质,根据人类感知行为的特点,研究利用 VR 技术的最佳途径及技术关键。

八、关于《虚拟现实的技术及其应用》一书

目前国内还缺少有关 VR 的科技专业书刊。当 VR 的研究在我国方兴未艾之际,希望本书的出版能推动 VR 在我国的研究。作者在参考了大量国内外资料的基础上,结合自己的研究工作,写出了这本具有一定深度的书。它可以作为科技工作者的参考资料,也可以供对 VR 感兴趣的大学生、研究生和教师参考。祝愿这本书能成为一个良好的开端,使我国的 VR 研究更上一个层次,以推动 VR 的广泛应用,为我国的现代化建设服务。

清华大学计算机科学与技术系 徐光佑

1995 年 8 月于北京清华园

前 言

人类总有许多许多的梦想。自古以来,人类有过上天飞翔的梦想、有过遨游海底的梦想、有过奔月的梦想、更有过不出家门知天下事的梦想……。然而,梦想是与科学技术的发展水平密切相关的,所有技术上无法实现但人类又十分向往的事情就是梦想。随着科学技术的不断进步,许多梦想逐步变为现实,但与此同时,又会有许多更高层次的梦想出现,这样周而复始,形成了技术的发展滞后于梦想实现的固定格局。一门崭新技术的诞生和发展,使这种格局受到了严重的挑战,人类不再受固于这种格局,可以尽情地体验自己的梦想,实现自己长年向往的心愿。这门技术就是虚拟现实,英文称之为 Virtual Reality,简称 VR。

虚拟现实是在计算机图形学、计算机仿真技术、人-机接口技术、多媒体技术以及传感技术的基础上发展起来的一门交叉技术。虽然与该技术相关的研究早在 60 年代初就已开始,但是直到 80 年代末到 90 年代初,它才开始作为一门较完整的体系而受到人们的极大关注。和其它许多新兴交叉学科一样,虚拟现实尚没有统一的定义,这一点也许更有利于新兴学科的发展、唤起人们的研究兴趣。概括地说,虚拟现实是人们通过计算机对复杂数据进行可视化、操作以及交互的一种全新的方式,与传统的人-机界面如键盘、鼠标器、图形用户界面以及流行的 Windows 等相比,虚拟现实在技术思想上有了质的飞跃。传统的人-机界面将用户和计算机视为两个独立的实体,将界面视为信息交换的媒介,用户将要求或指令输入到计算机内,计算机将信息或动作反馈出来。这好比在图书馆借书,读者递给管理员一张书条,管理员据此找出相应的图书。而虚拟现实则将用户和计算机视为一个整体,通过各种直观的工具将信息进行可视化,用户直接置身于这种三维信息空间中自由地操作各种信息,由此控制计算机。这好比读者直接进到书库自由选择所需的图书一样。

1990 年在美国 Dallas 召开的 SIGGRAPH 国际会议上,首次将虚拟现实用以下三种基本技术进行了概括:

- (1) 三维计算机图形学技术。
- (2) 采用多种功能传感器的交互式接口装置。
- (3) 高清晰度显示装置。

虚拟现实是一门实用性技术,它的系统工作环境包括头盔式显示装置、数据手套、数据衣以及其它传感装置。由于该工作环境非常直观形象,所以甚至有人将虚拟现实简单理解为戴头盔和数据手套,这无疑是一种误解,它只注意了表面形式而没有理解虚拟现实的深刻内涵。

“虚拟现实”一词中的“现实”是泛指在物理意义上或在功能意义上存在的世界上的任何事物或环境,它可以是实际上可实现的,也可以是实际上难以实现的或根本无法实现的;“虚拟”一词是指用计算机生成的意思。因此,“虚拟现实”一词是指用计算机生成的一种特殊环境,人可以通过使用各种特殊装置将自己“投射”到这个环境中去操作、控制环

境,实现特殊的目的,即人是这种环境的主宰者。

虚拟现实有四个方面的基本用途。首先是造型,即将各种复杂的数据进行三维化、可视化,使人更易于理解、操作或修改等。其次是通信,这里包含两种意义,一种是帮助克服由于语言、文化障碍而产生的交流困难;另一种是实现遥远通信,通过网络形成虚拟环境,使相距遥远的人们如同坐在同一地方那样容易交流。第三是操作,这里也有三种意义,一种是利用造型结果,使人们易于控制和理解复杂的数据;二是实现遥控;三是实现帮助残疾人生活的控制系统。第四是娱乐,即交互式游戏、以用户为中心的游戏系统等。

虚拟现实在军事、教育、航天、航空以及娱乐等领域有着极其广阔的应用前景,因此,在美国、日本等发达国家受到高度重视,并已研制出一些实际应用系统。由于虚拟现实技术可以解决许多至今无法解决的困难问题,所以由此带来的影响将是极其深刻的。可以预计,随着虚拟现实技术的进一步完善,它将带来一场世界性的技术革命。

由于我国在虚拟现实方面的研究可以说刚刚起步,存在许多急待解决的问题。我们编写此书的目的就是为了借鉴国外在研究上的经验,促进我国在该领域的研究和应用。我们不必盲从国外的做法,而是在深入研究的基础上形成我国的风格,根据我国的国情,选择适合我国发展的应用背景,集中力量,重点突破。本书重点介绍虚拟现实的技术思想和应用情况,并较多地介绍一些现有的系统,也有目的地介绍一些硬件装置,力图反映国际上的最新研究成果。

本书的主要内容取自作者在清华大学计算机系为研究生开设的《虚拟现实技术导论》课程讲义。在此基础上,将两年的课程内容重新组合安排和改写,并根据国际上的最新发展增写了部分内容。俞志和负责本书的第二章以及第四章部分内容的编写,其余章节由曾建超负责编写整理,全书由曾建超和俞志和共同校对。徐光佑教授为本书写了序言,并审核了全书。在本书的编写过程中,得到了许多同志的帮助和关心。俞思聪同志为本书编写了部分内容,清华大学计算机系的研究生邓文、冯迅同学也为本书的初稿编写了部分内容。打浪清一教授、王鼎兴教授、石定机教授为本书提供了部分参考资料。清华大学计算机系信息教研组的部分教师参加了本书内容的讨论工作。何雪梅小姐为本书初稿的录入做了大量工作。在此,一并表示衷心地感谢。我们还要特别感谢我们的家人,他们为支持本书的编写工作付出了很多辛勤的努力,没有他们的支持,本书是很难完成的。

由于我们对虚拟现实技术的理解还不深入,书中难免会有不当之处,敬请读者不吝赐教。

作者 曾建超 俞志和

1995年8月于北京清华园

目 录

序	V
前言	XI
第一章 虚拟现实概述	1
1.1 前言	1
1.2 虚拟现实的概念	2
1.3 VR 系统的构成	4
1.4 VR 的研究内容	6
1.5 VR 技术的应用	6
第二章 虚拟现实运用的主要技术与设备	9
2.1 概述	9
2.1.1 实时三维计算机图形技术	9
2.1.2 广角(宽视野)的立体显示	10
2.1.3 用户(头、眼)的跟踪	10
2.1.4 手及手势、人体姿势的跟踪	10
2.1.5 立体声	11
2.1.6 触觉(力)反馈	11
2.1.7 语音输入输出	11
2.2 视觉显示技术及设备	11
2.2.1 立体视觉	11
2.2.2 视觉显示设备	13
2.2.3 显示方法及效果	17
2.3 听觉技术	18
2.3.1 声音方向的确定	19
2.3.2 录制三维声音	20
2.3.3 虚拟声音的产生	21
2.4 触觉与力觉	22
2.4.1 触摸感觉到些什么?	22
2.4.2 触觉与运动感觉的关联	23
2.4.3 虚拟触觉的重要性及复杂性	23
2.4.4 触觉和力反馈的装置	24
2.4.5 力反馈的效果	27
2.5 虚拟现实系统的输入	27
2.5.1 数据手套	27

• I •

43539

2.5.2	鼠标的演变	31
2.5.3	身体姿势的识别	33
2.5.4	语音输入	34
2.6	虚拟现实系统的编程	35
2.6.1	虚拟现实编辑器	35
2.6.2	建模工具	37
2.6.3	事件序列	37
2.6.4	实时分布式虚拟现实系统	37
第三章	虚拟现实的应用领域	39
3.1	用于遥控机器人的遥现技术	39
3.1.1	遥控机器人	39
3.1.2	几个典型的遥控机器人系统	40
3.1.3	用机器人进行遥控手术	41
3.1.4	遥控宇宙空间站	42
3.1.5	虚拟电视会议	43
3.2	仿真技术	44
3.2.1	飞行仿真虚拟现实系统	44
3.2.2	与虚拟生物对话	46
3.2.3	产品的虚拟设计	48
3.2.4	虚拟厨房模拟体验系统	48
3.3	对象可视化技术	49
3.3.1	虚拟风洞	49
3.3.2	虚拟物理实验室	50
3.3.3	虚拟电力控制室	50
3.4	艺术与娱乐:虚拟演播室	50
3.4.1	理想的虚拟演播室	50
3.4.2	用虚拟道具改变节目的制作方式	51
3.4.3	如何制作更现实的图象	51
3.4.4	电子道具的实际应用	52
3.5	虚拟网络系统与军事训练	53
3.5.1	虚拟网络系统	53
3.5.2	联网军事训练系统 SIMNET	54
第四章	虚拟现实应用系统分析	57
4.1	机器人遥控虚拟现实系统 VERDEX	57
4.1.1	引言	57
4.1.2	VERDEX 计划	59
4.1.3	多用户交互	64
4.1.4	计算的发展:从 Vision 系统到 SuperVision 和台式系统	64

4.1.5	虚拟现实的标准	65
4.1.6	未来:纳米临场感?	66
4.1.7	结论	66
4.2	头盔立体显示的光学计算模型	66
4.2.1	前言	67
4.2.2	误差来源分析	68
4.2.3	HMD 的镜片模型	70
4.2.4	计算 EyePhone 的模型参数	73
4.2.5	结论	76
4.3	飞行仿真虚拟现实系统	77
4.3.1	引言	77
4.3.2	飞行仿真	77
4.3.3	投入	78
4.3.4	实时图象生成	78
4.3.5	实时交互	79
4.3.6	力反馈	79
4.3.7	运行病	79
4.3.8	虚拟世界建模	80
4.3.9	前景	80
4.4	虚拟环境中的自然约束	80
4.4.1	引言	80
4.4.2	系统及问题的综述	81
4.4.3	约束介绍	81
4.4.4	系统描述	82
4.4.5	对操作中各约束使用的观察	83
4.4.6	实验结果的讨论	84
4.4.7	结束的实现与速度	84
第五章	虚拟现实系统设计中的若干问题	86
5.1	视觉耦合系统中的关键问题	86
5.1.1	视觉耦合系统(VCS)	86
5.1.2	头动跟踪器	87
5.1.3	头盔显示(HMD)	88
5.1.4	图象/图形生成器	89
5.1.5	小结	90
5.2	虚拟现实系统的用户心理分析	91
5.2.1	导言	91
5.2.2	有关“投入”(Immersion)的争论	91
5.2.3	任务性能准则	94

5.2.4 系统性能准则.....	96
5.2.5 结论.....	99
5.3 虚拟现实中的认知问题.....	99
5.3.1 导言.....	99
5.3.2 任务分析	102
5.3.3 学习中的三项原则	110
5.3.4 工作量与负担	111
5.3.5 结论	112
参考文献.....	113
附录.....	116
1. 词汇注释	116
2. 关键词索引	120

第一章 虚拟现实概述

1.1 前言

虚拟现实(Virtual Reality,简称VR)是继多媒体以后另一个在计算机界引起广泛关注的研究热点。从表面上看,这些技术之间有许多相似之处:它们都是声、文、图并茂,容易被人们所接受;都可用于娱乐、教育等各方面。但是虚拟现实又要求使用立体眼镜、数据手套等高级设备,更为复杂和昂贵。正因为如此,人们对虚拟现实的認識也就不尽相同。有的认为虚拟现实和现有的一些技术(如计算机图形技术等)没有多少区别;有的认为虚拟现实只是一种游戏,没有什么用处;有的认为虚拟现实离我们太远,好似天方夜谭。那么虚拟现实技术到底是干什么的?它有什么特点?到底能否实现?为什么要研究它呢?为了回答这些问题,我们必须对计算机应用的现状进行分析,即在当前的技术水平下,计算机能为我们做什么事情以及我们是如何使用计算机的。

80年代的计算机能处理文本、图形等数据,可用于管理市场动向、人事档案信息等,因此主要是作为办公室自动化的工具。90年代多媒体技术的出现使计算机具有了综合处理声音、文字、图象等多种媒体信息的能力,使计算机有可能以人们所习惯的声音和图象等手段进行信息交流。因此人们可以通过计算机以及计算机网络进行信息交流,这时计算机就成为人们交流信息的媒介。但是目前的计算机技术还不能处理知识,也就是说计算机还缺乏理解和推理的能力。所以虽然计算机的广泛应用减轻了人的负担,但是在绝大多数情况下计算机系统还只是起着辅助作用,最终的理解和决策要由人来完成。例如,计算机集成制造系统(CIMS)通过计算机技术极大地提高了企业的生产管理水乎,但本质上讲它是一个人的系统和计算机系统共栖的复杂环境。有研究表明,集成制造自动化系统的实施中,70%的障碍来自人的因素,其中包括人-机系统体系结构和人-机交互等。此外,计算机的广泛应用使各个领域每天都在产生大量的数据和信息,例如地球人造卫星获取的地球表面数据,使人们能每隔16到20天就可以更新一次地球表面的数字地图。除了科学计算或测量以外,现代化企业的管理和市场分析也在产生大量的数据。这些大量的数据只有经过处理和理解才能成为有用的信息,但是目前的计算机技术还不能自动地理解。研究表明,人具有很强的在三维空间中进行形象思维的能力,如果把这些计算机收集或产生的数据转换成可视化的直观对象(如形状、符号等),就可以借助人的形象思维能力来快速地理解这些数据,得到有用的信息。例如,复杂的地面坐标数据难以为人所理解,但如果把它们转换成表示高度的地形地图,人就可以一目了然地从中找到有用的信息,如可通行的道路等,这就转换成如何使用户与三维空间中的可视化对象进行交互操作的问题。

从以上分析可看到,计算机的应用增强和扩大了人的认识和改造世界的能力,提供了前所未有的信息服务。但是计算机并不能代替人的角色,计算机要发挥更大的作用,其关键是以更自然和有效的方式与人进行信息交流,也就是要以人所习惯的方式与计算机进

行通信。人们之间通信的特点可归结如下。

(1) 它是利用视觉、听觉、触觉、力觉、嗅觉等多种感觉,在多种媒体空间中的通信,其中最重要的是视觉和听觉。视觉不但是人类最主要的信息获取手段,而且还是一种思维手段,这就是形象思维。

(2) 它是实时交互的通信,除了要求信息的实时交流以外,手势对导引对方的注意力、说明讨论的对象也起很重要的作用。

计算机的应用离不开人的智能,人-机交互技术是发展计算机应用的关键,虚拟现实就是探讨理想的人-计算机通信方式的技术。

1.2 虚拟现实的概念

从本质上说,虚拟现实就是一种先进的计算机用户接口,它通过给用户同时提供诸如视、听、触等各种直观而又自然的实时感知交互手段、最大限度地方便用户的操作,从而减轻用户的负担、提高整个系统的工作效率。根据 VR 所应用的对象的不同,VR 的作用可以表现为不同的形式,例如将某种概念设计或构思可视化和可操作化;实现逼真的遥现场效果;达到任意复杂环境下的廉价模拟训练目的等。

虚拟现实的定义可以归纳如下:虚拟现实是利用计算机生成一种模拟环境(如飞机驾驶舱、操作现场等),通过多种传感设备使用户“投入”到该环境中,实现用户与该环境直接进行自然交互的技术。这里所谓模拟环境就是用计算机生成的具有表面色彩的立体图形,它可以是某一特定现实世界的真实体现,也可以是纯粹构想的世界。传感设备包括立体头盔(Head Mounted Display)、数据手套(Data Glove)、数据衣(Data Suit)等穿戴于用户身上的装置和设置于现实环境中的传感装置(不直接戴在身上)。自然交互是指用日常使用的方式对环境内的物体进行操作(如用手拿东西、行走等)并得到实时立体反馈。

与 VR 相类似的一个概念是人工现实(Artificial Reality,简称 AR),它是可以更方便地与用可视化技术建立的三维空间中的物体进行交互的技术。这个空间是人造的,但是物体的控制方法就像物体是在现实空间中一样,所以就称为人工现实。例如,可用 AR 技术来漫游用可视化技术建立的大脑结构。另一个相关概念是遥现技术(Telepresence),它是一种基于 VR 的遥控制、遥操作或遥显示技术。

虚拟现实技术具有以下四个重要特征:

(1) 多感知性(Multi-Sensory)

所谓多感知就是说除了一般计算机技术所具有的视觉感知之外,还有听觉感知、力觉感知、触觉感知、运动感知、甚至应该包括味觉感知、嗅觉感知等。理想的虚拟现实技术应该具有人所具有的感知功能。由于相关技术,特别是传感技术的限制,目前虚拟现实技术所具有的感知功能仅限于视觉、听觉、力觉、触觉、运动等几种,无论从感知范围还是从感知的精确程度都无法与人相比拟。

(2) 存在感(Presence)

又称为临场感(Immersion),它是指用户感到作为主角存在于模拟环境中的真实程度。理想的模拟环境应该达到使用户难以分辨真假的程度(例如可视场景应随着视点的变

化而变化),甚至比真的还“真”,如实现比现实更逼真的照明和音响效果等。

(3) 交互性(Interaction)

交互性是指用户对模拟环境内物体的可操作程度和从环境得到反馈的自然程度(包括实时性)。例如,用户可以用手去直接抓取模拟环境中的物体,这时手有握着东西的感觉,并可以感觉物体的重量(其实这时手里并没有实物),视场中被抓的物体也立刻随着手的移动而移动。

(4) 自主性(Autonomy)

是指虚拟环境中物体依据物理定律动作的程度。例如,当受到力的推动时,物体会向力的方向移动、或翻倒、或从桌面落到地面等。

根据 VR 的概念及其上述四个特征,我们不难将 VR 与相关技术区分开来,例如仿真技术,计算机图形技术以及多媒体技术等。

仿真(Simulation)是一门利用计算机软件模拟实际环境进行科学实验的技术,从模拟实际环境这一特点看,仿真技术与 VR 技术有着一定的相似性。但是,首先在多感知方面,仿真技术原则上以视觉和听觉为主要感知,很少用到其他感知(如触觉、力觉等);在存在感方面,仿真基本上将用户视为“旁观者”,可视场景既不随用户的视点变化,用户也没有身临其境之感;在交互性方面,仿真一般不强调交互的实时性。

计算机图形技术(Computer Graphics;CG)是一门实时图形生成与显示的技术,它具有良好的实时交互性和一定的自主性。但是,在多感知和存在感方面与 VR 有较大差距。CG 主要依赖于视觉和听觉感知,虽然生成的图形可以具有三维立体数据,但由于感知手段的限制,用户并不能感到自己和生成的图形世界融合在一起,比如场景不能随自己的视线改变而改变等。

多媒体技术(Multimedia)是利用计算机综合组织、处理和操作多种媒体信息(如视频、音频、图象、文字等)的技术。虽然具有多种媒体,但是在感知范围上仍没有 VR 广泛,例如多媒体并不包括触觉、力觉等感知。另外,多媒体处理的对象主要是二维的,因此在存在感和交互性方面与 VR 有着本质的区别。

尽管 VR 与上述相关技术有较大差异,但是 VR 又与它们密切相关。VR 是在众多的相关技术基础上发展起来的,但它又不是相关技术的简单组合。从技术上看,VR 与各相关技术有着或多或少的相似之处,但是在思维方式上 VR 已经有了质的飞跃。由于 VR 是一门系统性技术,因此它不能像某一单项技术那样只从一个方面考虑问题,它需要将所有组成部分作为一个整体,去追求系统整体性能的最优。

VR 技术当前受到重视的原因可归纳如下。

(1) 相关技术日趋成熟,为 VR 的研究提供了基础,如:

- 实时三维图形生成与显示技术。
- 三维声音定位与合成技术。
- 传感器技术:视觉、触觉、力觉传感器等。
- 识别定位技术:语音、三维景物、表情、手势等。
- 环境建模技术:视觉建模、行为建模、CAD 技术等。

(2) 各种传感设备以及计算机价格不断降低,使实现 VR 的应用成为可能。