

可穿戴计算机及其在先进舱外航天服中的应用

周晓晶^{1,2} 李潭秋¹ 夏林根¹ 林贵平²

(1.中国航天员科研训练中心 2.北京航空航天大学)

摘要 随着人类空间探索活动的日益扩大,出舱任务的复杂程度越来越高,对舱外航天服信息管理和信息显示能力提出了更高的要求。可穿戴计算机所具有的小型化、低功耗和可移动的特点,为构建新型舱外航天服信息系统提供了思路和可能。概要介绍可穿戴计算机技术,提出舱外航天服可穿戴计算机的系统设计约束,并对舱外航天服先进信息系统的研究进展进行综述。舱外航天服可穿戴计算机能够为航天员提供丰富、灵活的信息管理,提高复杂 EVA 作业的工作效率和安全性,具有很好的应用前景。

关键词 舱外航天服 可穿戴计算机 头盔显示器

中图分类号 V445.3 **文献标识码** A **文章编号** 1674-5825 (2009) 02-0010-06

1 引言

出舱活动(EVA)是高风险的航天活动,航天员在近地轨道或天体表面脱离母船,执行包括维修、装卸、更换和回收各种有效载荷、组装大型空间结构(如空间站)和科学试验等活动时,由于外空间环境极其恶劣,需要舱外航天服为航天员的生命安全和工作能力提供保障。随着人类空间探索活动的日益扩大,出舱任务的复杂程度越来越高,对舱外航天服信息管理和信息显示能力提出了更高的要求^[1]。特别是未来天体表面的探索活动,EVA 时间长、距离远,复杂任务还需要人和机器人(或月球车等)的交互,舱外航天服的信息显示和控制功能显得尤为重要。

目前,为了特定的任务,航天员需要完成大量的地面训练以熟悉和掌握出舱操作程序、行走路径和应急状态的处置。出舱活动过程的支持则主要依赖于出舱航天员与舱内航天员或地面任务支持中心的话音联络,舱外航天服为航天员提供的实时信息支持极为有限。从阿波罗任务开始,航天员通过固定在腕部的纸制清单获得关于操作程序、路径安排和排故程序等信息。20 世纪 80 年代航天飞机舱外机动套装(EMU)开始采用字符显示器,显示内容局限在参数显示和报警提示。20 世纪 80 年代中期,美国国家

航空航天局(NASA)就认识到改进现行信息显示系统的必要性,先后研制了四种头盔显示原型系统,还尝试使用过袖口电子清单,但因当时电子信息技术水平的制约,在体积、功耗、可操作性和可视性等方面不满足舱外航天服系统的特殊要求,目前在国际空间站上使用的 EMU 仍然沿用原有的信息显示模式。

可穿戴计算机是一种新型的移动计算机系统,它是计算机及其相关元器件不断向超微型化发展并与网络技术相结合的产物,它的出现将使人-机关系及使用计算机的方式发生重大变革,无论在军事、工业领域还是在民用方面都具有非常广泛的应用前景。可穿戴计算机所具有的小型化、低功耗和可移动的特点,为构建新型舱外航天服信息系统提供了思路和可能。近几年来,NASA 和欧洲航天局(ESA)在将可穿戴计算机技术应用于先进舱外航天服系统方面进行了有益的探索,我国也开展了相关的研究工作。本文对可穿戴计算机的相关概念及其在先进舱外航天服的应用情况做一综述。

2 可穿戴计算机技术简介

2.1 基本特征

可穿戴计算机是新一代个人移动计算系统和数字化产品,目前尚无规范和明确的定义。它打破了传

来稿日期:2009-05-14

作者简介:周晓晶(1970.12-),女,副研究员,主要从事舱外航天服工程研究。

统的交互模式,其主要部件根据需要分布在人体的各个部位,特别适合野外和移动场合下应用,其主要特征如下^[2]:

(1)可在移动状态下使用:可穿戴计算机提供了特殊的人机交互方式,可以随时使用者在移动时使用;

(2)可穿戴性:可穿戴计算机成为衣物的一部分,体现了紧密的人机结合与协同工作的新关系;

(3)使用时可以解放双手:可穿戴计算机采用单手操作或者采用语音控制等方式,尽量减少双手的占用率;

(4)工作可持续性:可穿戴计算机总是处在工作、待用和可存取状态,使用者随时可用;

(5)无线通讯能力:可穿戴计算机一般不是孤立地进行工作,而是作为网络节点通过无线数字传输实现网络互连;

(6)使用多样性:不同用途的可穿戴计算机在构成、功能、形态等方面不尽相同,设计者需要根据特定的用途和约束进行设计。

以上特征是可穿戴计算机区别于其它种类计算机的主要不同之处,随着技术发展和应用范围逐渐深入,这些特征将得到进一步的补充与完善。

2.2 发展历程

可穿戴计算机的发展可以追溯到 1961 年,Ed Thorp 和 Claude Shannon 研制了一种用于预测轮盘赌博的烟盒大小的模拟计算机,这被认为是第一个可穿戴计算机。真正意义上的可穿戴计算机是到 1980 年才出现的,加拿大的曼恩发明了基于苹果 II 计算机的身背式的个人成像系统,首次采用了可穿戴计算机的标志性组件——头部显示器(HMD)。90 年代中后期可穿戴计算机开始受到学术界、工业界和国防部门的广泛关注。美国的麻省理工学院媒体实验室在这方面的研究起步较早,德国的 Xybernaut 公司和美国的 IBM 均推出了商用的可穿戴计算机产品,美国军方自 1994 年就开始了单兵可穿戴计算机模块的研发。

2.3 基本构成

可穿戴计算机的配置一般包括微小型计算机、输入设备、输出设备和电源,其中微小型计算机是核心,通常采用集成度高、体积小、功耗低的嵌入式处理器,例如微控制器、数字信号处理器(DSP)和嵌入式微处理器。由于可穿戴计算机特殊的人机交互方式,需要新型的输入和输出设备,这也是嵌入式计算

机独具特色的方面。目前主要的输入装置包括特殊键盘和鼠标、语音输入和控制、用于摄像、手势语言输入的微型摄像头、用于感应环境因素变化和人体各种生物信号的传感器、数据手套和 GPS 定位系统等。可穿戴计算机最关键的装置是 HMD,它是实现可穿戴计算机先进人机交互的基础,HMD 有多种形式,如眼镜式的、头盔式的、支架式的等。移动电源则选用高效、轻型、可充电的化学电池。

2.4 工作方式

可穿戴计算机的基本工作方式是通过输入设备输入声音、图像、信息和各种控制信号,微小型计算机将各类信息压缩后通过无线网络传送到另一个节点或信号处理中心。通过无线网络获得的声音、视频、图形、文本信息传送到微小型计算机进行解压处理后分别送到显示器和耳机。这种工作方式特别适合需要远程信息交互的应用,例如军事侦查、作战指挥、仿真演习、复杂系统安装和检测、医疗监测、抢险救灾和搜集情报等。

2.5 关键技术

可穿戴计算机涉及的技术领域十分广泛,关键技术包括系统集成、小型化和低功耗的嵌入式计算机、以声控技术为主的语音识别和处理、无线网络连接、HMD 显示、特殊的人机交互、电子织物等新型电子材料等。

3 舱外航天服可穿戴计算机的设计约束

舱外航天服是高度集成和紧凑的能够独立工作的人机关系紧密的余压系统,为出舱航天员提供空间环境防护、有限的活动能力、操作触感和灵活性。因此资源占用小(包括重量、体积和功耗)、环境适应性强、可操作性好等特殊要求是设计舱外航天服可穿戴计算机必须要考虑的,这与其它应用领域有着明显不同。

舱外航天服系统还是安全性要求极高的系统,安全性要求对于任何一项设计都是排在首位的。舱外服内部纯氧环境对置于服内的电子产品安全性提出了特殊要求,另外服内狭小空间的限制使得增加任何一种装置都必须考虑是否可能造成航天员的物理损伤或产生明显不舒适。

舱外航天服系统外部空间环境极其恶劣,置于系统外部的电子设备必须耐受极端热真空环境和各

种不利空间环境的影响(在星座表面还有沙尘环境)。外部的显示器件应满足不同光照条件下的可视性要求并具有宽温度范围的适应性。采用服内显示,不仅可以利用太阳面窗遮挡强光,而且温度和压力环境适宜,但是狭小空间的结构匹配和显示舒适性是要面临的主要问题。

可穿戴计算机手动控制部件的设计应考虑航天员着加压手套的操作工效,由于出舱活动工作量大、活动能力有限,应尽可能地简化手的操作以减少物理的人机接口。

声控技术可以解放双手,但是不能影响正常的通话。

从系统集成的角度,可穿戴计算机系统的部组件外形应具有小轮廓,与人体赋形,采用模块化设计,安装接口简单,可根据需要进行功能模块组合。

4 国外先进舱外航天服可穿戴计算机的研究进展

舱外航天服可穿戴计算机的概念虽然是近十年才提出的,但是早在上世纪八十年代中期,NASA 就开始研究通过 HMD 的方式为出舱航天员提供文本、图形和视频信息以增强工作效能的可行性,并且采用声控的方式控制 HMD 的显示信息,达到解放双手、不影响航天员正常工作的目的。从 1987 年开始先后研制了四种 HMD,其中三种的图像源为 CRT,另一种为 LCD。虽然这些工作没有得到最终应用,但是为研究舱外航天服 HMD 的设计需求和系统集成方式提供了参考^[1]。

国际空间站 EVA 任务越来越复杂,未来的星座探索需要航天员更强的自主能力,对舱外航天服信息显示和控制系统提出了新的要求。随着电子信息技术向超小型化的飞跃发展,将可穿戴计算机应用在舱外航天服上实现多信息显示和交互,使得航天员态势感知、路径导航和操纵机器人变为可能。以下简要介绍近年来国外在这方面的研究进展。

2001 年 MIT 开展了舱外航天服可穿戴计算机的研究,开发了可穿戴计算机原型^[2]。核心控制模块采用 206MHz 的 StrongARMTM CPU,VGA 接口电路将模拟 VGA 信号转换成 320×240 分辨率的信号驱动由 MicroOptical 公司制造的 LCD 微显示器,通过将微显示系统安装在普通眼镜上实现近眼显示(如

图 1 所示),头部运动时也可以获得信息,但是头盔内部空间狭小,头部右转方向受限。为了不影响 EVA 正常通话,没有采用声控技术,而是由舱内航天员或地面控制中心进行遥控,采用了 IEEE802.11b 无线网络标准。此项工作还对系统集成性进行了探索,提出了将控制电路封装成能与液冷服后背上部和颈下部紧密贴合的方式,既不占用多余空间又便于穿脱。显示信息除了基本的参数和状态显示外还包括图形、文本和视频多种信息形式(如图 2 所示),用文本方式显示任务清单、以图形方式给出目标模型和工作路径,头盔上的摄像头获取的视频信息通过舱内转发回传给出舱航天员,当需要故障诊断的时候,提供与另一位出舱航天员以及舱内航天员的视频联络,进行协同排故,应急程序或新的操作程序可以由地面支持中心上传给出舱航天员实时显示。显然,这种做法提供了除语音通信之外的另一种交流方式,并且能够协同工作,提高了 EVA 航天员的工作效率和安全性,对地面事先不确定或偏离地面训练的情况提供了实时应对能力。



图 1 眼睛式 HMD

Hanmilton Sundstrand 公司对星座探索的舱外航天服信息接口技术进行了需求分析和设计考虑^[4]。星座探索地形复杂、活动范围大,还存在路径的变化,因此星座任务与轨道出舱最明显的不同是传输距离和过程的不确定性,航天员需要更大的自主性或半自主性。显示信息应能提供位置和态势感知、星座表面漫游和路线导航信息,通过无线网络实时传输视频、文本和图形信息实现协同、讨论,对应急情况进行排故和处置。用于测试的可穿戴计算机采用了

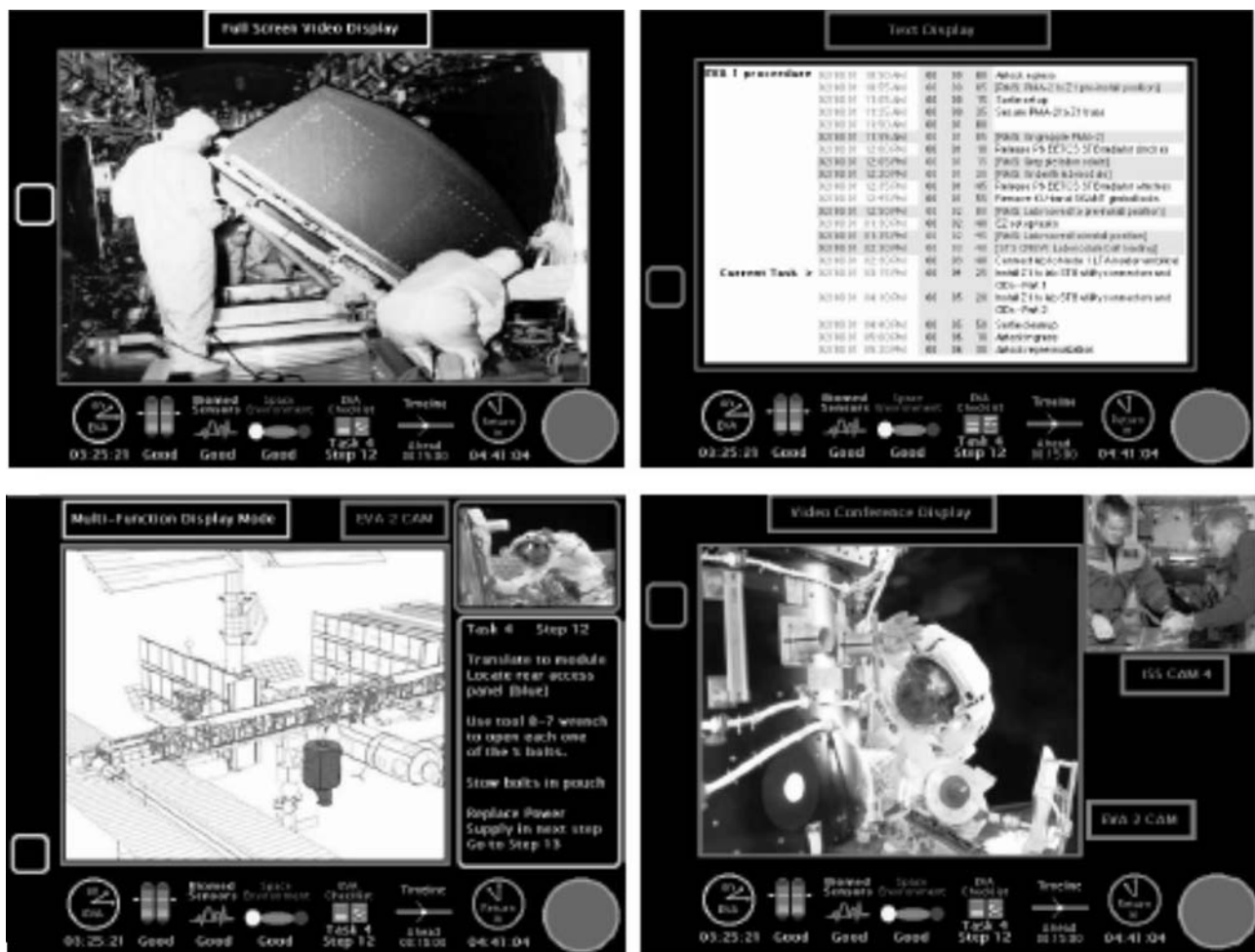


图 2 HMD 显示的信息显示图例

Xybernaut 公司 MA-IV, 300MHz, 提供了无线网络接口, 能够驱动高分辨率的彩色 LCD。HMD 采用了 Micro-Optical 公司 640×480 彩色 VGA 显示, 视场角 16° 的眼镜式微显示器。无线网络协议标准采用 IEEE802.11b。控制接口采用了声控、鼠标控制和通过无线局域网的遥控方式。跟踪系统采用了小型的 GPS 接收器。为适应加压手套的操作, 对鼠标系统进行了改造, 通过试验认为将鼠标板放在前臂或腕部较为可行。为了不干扰正常通话, 采用了两套送受话器接口。测试结果表明声音控制和语音识别软件需要更高性能的处理, 眼镜式 HMD 没有明显影响头部的运动, 无线局域网的性能还不健壮, 需要更高的带宽和更高的处理速度以支持典型的数据传输。

I-suit 的承制商 ILC Dover 公司与马里兰大学合作对未来星座探索人-机器人协同工作下的控制、显示模式进行了研发^[5]。NASA 组织的荒漠试验和技术研究(RATS)项目在 2004 年利用 I-suit 原型对其进行了测试和评价^[6], 这种新型的信息系统被称

为 InfoPak, 它由计算机、显示和控制部件组成。主要的显示接口是安装在头盔支架上的 HMD(如图 3 所示), 而不是采用佩戴的方式, 只有需要时才去观看, 并不影响正常的主视野, 但连续地观看 HMD 则会引起疲劳。显示信息主要有地图、漫游路径和地质采样分析过程等。被试者认为 HMD 显示比袖口清单或者通过语音方式传达信息更为有效。控制接口包括软

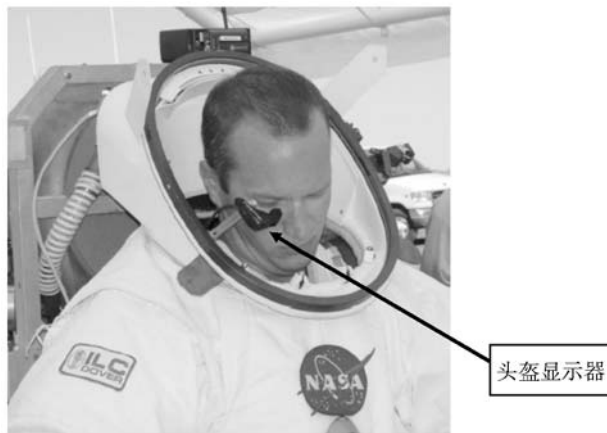


图 3 支架式 HMD

开关、手势控制、遥控杆和鼠标控制(如图 4 所示)。软开关是安装在腕部的电子织物控制板,包括向右、向左、上翻和下翻等选项,被试者感到力反馈不明显,而且操作费力。手势控制也暴露了同样的问题,反馈不够,容易疲劳。挂在胸前的遥控杆控制效果较好,但是未来的接口应该采用集成安装在服装上的方式。在躯干中部的鼠标滚球控制方式经试验表明不宜采用。根据 2004 年的试验经验,2005 年 RATS 对新的集成到舱外航天服上的信息系统 CAIpack 进行了测试,测试确认了在未来星座探索舱外航天服上采用先进信息系统的必要性,显示内容可以扩展到生理信息^[7]。

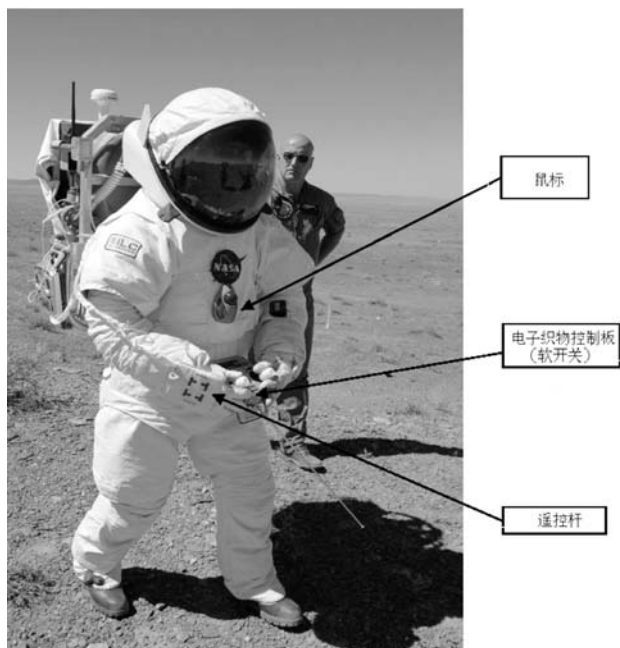


图 4 信息控制接口

ESA 在 2006 年完成了直接可视化显示工具(DVDT)的研究,目的是采用新技术实现舱外航天服紧凑和有效的信息管理和显示,可用于月球、火星探索和轨道 EVA^[8]。DVDT 的信息显示内容取决于每个具体任务,一般可包括生物医学数据、服装的遥测数据及报警,现有袖口清单的所有信息,提供漫游信息,接收实时指令,当需要两名航天员协同工作时提供另一名航天员的摄像信息。DVDT 的控制处理单元采用 DPA(DELL Axim X50v),具有 VGA 显示接口、无线网卡和声卡,用闪存存储各种传感器数据,通过 IEEE802.11b 实现与飞船无线网络连接,声音信号经语音识别软件处理实现 DVDT 的声控方式,而左袖口上的包括上翻、下翻、确认/选择和退出键

的简化键盘作为控制 DVDT 的候选方案。DVDT 的 HMD 采用高亮度、低功耗、自主发光的 OLED 微显示器件,分辨率 800×600,最大亮度为 400cd/m²,为了不影响观察外部视场采用了穿透型光学显示,光学系统主要技术指标为:视场 25°,出瞳直径 7mm,出瞳距离 30mm,质量小于 100g。DVDT 的组成框图见图 5。

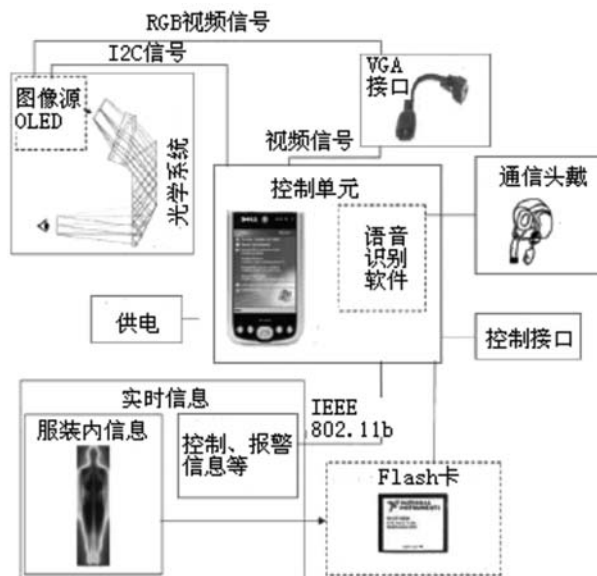


图 5 DVDT 组成框图

5 我国舱外航天服先进个人信息系统设计构想

我国第一代舱外航天服个人信息系统实现了多参数、多页面的综合显示,采用嵌入式计算机技术和 OLED 显示技术为 EVA 航天员提供了系统关键参数、报警状态、设备状态和时间等信息的显示,航天员能够实时监视到系统的运行状态,为首次 EVA 安全起到了重要的支持作用。

为了进一步扩大信息范围,增强航天员的信息管理和自主工作能力,中国航天员科研训练中心正在研究新的信息显示和控制接口,为航天员提供诸如电子手册和故障支持等在线信息,实现文本、图形和视频的显示。主要研究方向包括:

(1)HMD 显示,研究 HMD 光学系统设计、驱动及控制电路接口设计、舱外服系统 HMD 集成和测试技术;

(2)柔性显示,研究在服装前臂或腕部集成柔性显示器的可行性,探讨柔性显示器件的空间环境适

应能力;

(3) 折叠式显示器, 为适应特殊的空间光照环境, 研究可调节角度的显示器;

(4) 显示控制接口, 随着显示信息量的增大, 需要研究信息选择和控制方式, 采用简化的、易于操作的输入接口实现显示内容的切换。

构建先进个人信息系统涉及许多新技术和新材料, 在航天飞行应用之前需要开展大量的实验室研究和系统匹配试验。现已开发出具有 VGA 接口和 RS422 数据接口的 HMD 显示控制模块, 采用了 800×600 分辨率的 OLED 微显示器, 并根据头盔内部空间布局设计了易于赋形的光学系统 (如图 6 所示), 目前正在进行相关的测试和试验。

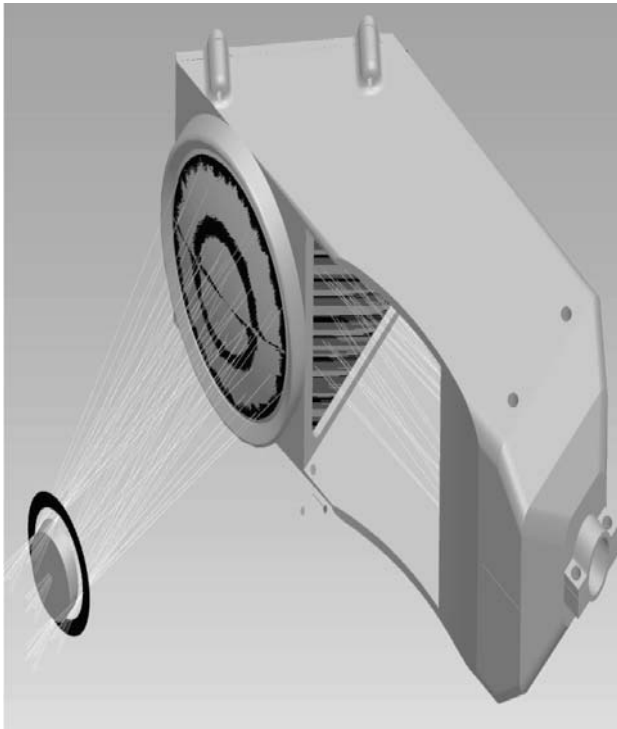


图 6 折衍投影光学系统

6 结束语

舱外航天服可穿戴计算机能够为航天员提供丰富、灵活的信息管理, 提高复杂 EVA 作业的工作效率和安全性, 但将其集成到舱外航天服系统并得到飞行应用还面临很大的挑战, 主要体现在以下几个方面:

(1) 未来系统需求尚不明确, 需要继续探讨针对

不同 EVA 任务应该为航天员提供什么信息, 如何以最佳方式将信息呈现给航天员, 并且灵活地适应不同需求, 减少任务成本;

(2) 可穿戴计算机不同控制方式的可行性还需进一步试验, 控制接口不应影响对现有系统产生影响, 不应增加过多的操作负荷;

(3) 将可穿戴部组件集成到原有系统后产生的新的人机接口和安装接口的工效特性还有待进一步评价。

目前, 舱外航天服可穿戴计算机的研究工作尚处于起步阶段, 在未来复杂航天任务需求的牵引下和先进电子信息技术的支持下, 新型舱外航天服信息系统的研发将更加深入, 具有很好的应用前景。◇

参 考 文 献

- [1] Hodgson E, Sidgreaves R, Braham S, et al. Requirements and potential for enhanced EVA information interfaces[R]. SAE Technical paper series No.2003-01-2413,2003.
- [2] Chen Dongyi. The evolution and trend of wearable computer[J]. Journal of Chongqing University(Natural Science edition),2000,23(3): 119-124.
- [3] Carr CE, Schwartz SJ, Rosenberg I. A wearable computer for support of astronaut extravehicular activity [R], IEEE Transactions on 6th Annual International Symposium of Wearable Computers,October, 2002.
- [4] Boucher MF, Hodgson E, Murray SK, et al. Investigation of EVA information interface technology in a Mars analog arctic field science Setting[R]. SAE Technical paper series No.2002-01-2312,2003.
- [5] Graziosi D, Ferl J, Splawn K, et al. Human and robotic enabling performance system Development and testing[R]. SAE Technical paper series No.2005-01-2969,2005.
- [6] Amy JR, Joseph JK, Barbara AJ, et al. Desert research and technology study 2004 filed trip report:EVA system results [R]. SAE Technical paper series No.2005-01-3015,2005.
- [7] Amy JR, Joseph JK, Barbara AJ, et al. Desert research and technology study 2005 report[R]. SAE Technical paper series No.2006-01-2138,2006.
- [8] J.Pereira do Carmo, P.R.Gordo, M.Martins, et al. Study of a direct visualization display tool for space applications[R], 6th International Conference on Space Optics,June,2006.

(下转第 60 页)