

多用户遥科学系统的研究

刘凤晶 ,许滨 潘力均 张珩

(中国科学院力学研究所 ,北京 100080)

摘要 :该文对遥科学系统平台提出了一种结构化设计和控制方案。在多路遥现场信息和控制信共存时 ,对控制目标实现了实时地在线控制 ,同时协调处理多 PI 用户上行遥操作指令。控制效果可以通过对比实际控制对象和仿真对象的状态来验证。

关键词 :遥科学 ;遥操作 ;多有效载荷研究者

中图分类号 :TP393 文献标识码 :B

1 前言

遥科学作为一种特殊的操作模式已经成为空间科学与实验应用的重要途径。它使操作人员可以远离一些危险或艰难的工作环境对实验进行必要的干预和控制,如飞机操作与作业环境、太空微重力强辐射环境、弹药生产与仓储环境等等。这些环境不适合人的正常生存,或者人在其中生存和工作的支持费用过于昂贵。遥科学正是为解决这一难题而提出的。

美国、日本及欧洲的许多国家于八十年代中后期相继开展了遥科学系统的研究,并成功地进行了遥科学实验。德国 1993 年在进行 D-2 任务时,成功地将遥科学应用于几项实验。美国 NASA 的火星探路者计划中的 WITS 应用是将遥科学与互联网紧密结合起来。日本的 NASDA 使用 LIF 系统在微重力环境下进行材料扩散系数分析实验,同时发展必要的遥科学技术使该实验从地面得到支持可以在轨进行^[3]。

我国在国家高技术计划航天领域专家委员会支持下,于九十年代中期开始进行遥科学系统研究,经过几年科研人员的不懈努力,先后突破了遥科学技术中的一些关键技术,构建了遥科学系统设计模型,在此基础上,建立了遥科学实验演示与验证系统^{[1][2]}。

然而,对于多用户多任务的遥科学系统方面的研究相对较少。该文针对多用户遥科学系统提出了一种结构化设计和控制方案。在多路遥现场信息和控制信息共存、多用户操作的情况下,对控制目标实现了实时地在线控制。

2 遥科学系统的结构化设计和控制方案

遥科学系统一般由实验对象、遥科学公用操作平台以及实验用户三部分。如图 1 所示。

2.1 多用户遥科学系统结构模型

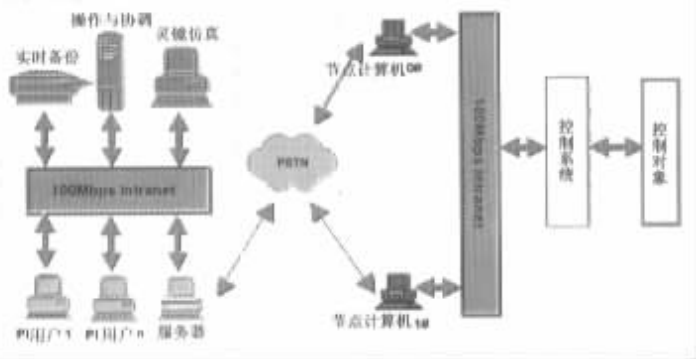


图 1 遥科学公用操作平台系统结构图

系统结构可抽象为图 2 所示的框图描述。

其中 $\alpha(t)$ 为实验对象, $G(t)$ 为仿真子系统, $H(t)$ 为协调与操作终端, $P(t)$ 为 PI 用户分系统。
 $U_{pi}(t), Dn(t), Pk(t), A(t)$ 表示信息流。

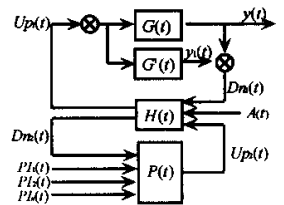


图 2 遥科学系统结构框图

基于结构化的设计思想,在多用户遥科学系统中,每一特定功能实体可作为一个独立模块单独设计,各分系统间的通信以信息流的形式描述。

$H(t)$ 为一多输入多输出的系统,表示为物理结构中的协调与操作终端,它是系统的核心部分,接收多路信息,包括:从遥现场下行的信息 $Dn(t)$ 、仿真模块 $G(t)$ 的结果输出 $y(t)$ 、协调专家的操作指令 $A(t)$ 以及多 PI 用户的上行控制指令 $U_{pi}(t)$ 。 $H(t)$ 的输出信息包括:上行控制实验对象 $\alpha(t)$ 的指令 $U_{pi}(t)$ 和发送给 PI 的下行信息 $Dn(t)$ 。 $H(t)$ 的多输入多输出特点构成了控制此系统的难点。

协调与操作终端 $H(t)$ 和 PI 用户分系统 $P(t)$ 构成一个闭环系统,PI 用户对实验的监控信息,由协调与操作终端分发下行。而 PI 用户的所有上行信息均经过协调与操作终端

过滤,然后上行控制实验对象,这一环节对保证系统正常运行非常重要,因为当不同的用户对控制对象输入的期望值不同时,必然会使控制指令不一致,这时协调与操作终端则发挥重要的协调作用。

协调与操作终端 $H(t)$ 与实验对象 $G(t)$ 又构成了另一闭环系统,协调与操作终端对协调专家的控制指令的响应输出 $U_p(t)$ 同时控制实验对象和仿真对象,达到实时监控的目的。

2.2 系统的控制与协调策略

多用户遥科学系统为双闭环结构,协调操作人员通过遥科学公用操作平台与实验对象闭环在一个环路中。在这个闭环中,操作人员通过从遥现场下行的实验对象的状态信息做为决策依据,上行控制指令控制实验对象运动到目标位置。同时,协调操作人员又与 PI 用户通过遥科学公用操作平台形成另一个闭环系统,所有 PI 的上行指令需经过遥科学公用平台过滤,即由协调操作人员利用仿真模块进行灵境仿真,判断指令合理后发送上行。从遥现场下行的信息也要通过遥科学公用平台过滤,由协调操作人员按登录的 PI 用户权限分发下行信息。而第一个闭环的正常运行是保证第二个闭环正常运行的前提。对此多用户遥科学系统的控制与协调

策略如下:

- 1) 启动:由 $A(t)$ 设置整个系统的初始状态;
- 2) 上行参量:由协调专家上行指令 $A(t)$ 控制远端实验对象,控制指令分别分发给远程的实验对象 $G(t)$ 和仿真子系统 $G'(t)$;
- 3) 下行信息: $y(t)$ 为从遥现场下行的信息,包括图象信息和数据信息,下行到协调与操作终端 $H(t)$;
- 4) 决策: $y_1(t)$ 为仿真对象的输出, $y_1(t) - y(t) = Dn_1(t)$ 为实际控制目标与理想控制目标的偏差,作为决策依据输入协调与操作终端;
- 5) 信息的分发:协调专家对于所有登录的 PI 用户按照其不同权限可以有选择的将部分信息 $Dn_2(t)$ 透明化,分发给 PI 用户 $H(t)$;
- 6) PI 在线参与实验: $PI(t)$ 为 PI 用户的上行操作指令,经过协调与操作终端过滤然后上行。

3 实例

该文采用五自由度空间机器人地面模拟系统(如图 3 所示)作为实验对象进行演示研究和有关性能的验证。五自由度空间机器人的信息交互方式如图 4 所示。

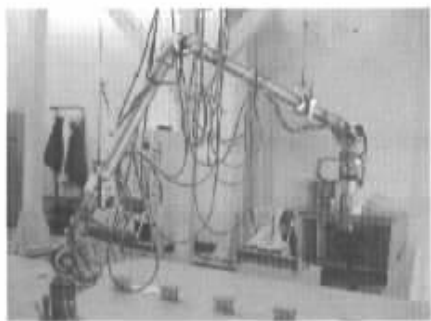


图3 五自由度空间机器人实物图

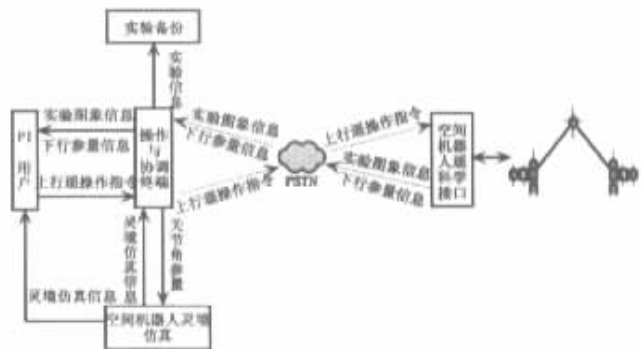


图4 机器人信息交互方式

实验对象和遥科学公用操作平台之间的信息交互是基于 PSTN 网,遥科学公用操作平台包括协调与操作中心和多 PI 用户分系统。协调与操作中心可以同时处理多 PI 用户同时登录,在该实验中协调与操作中心兼有实验的数据备份及灵境仿真功能。

由协调专家按用户的权限分发。

4) 协调各 PI 用户的上行指令:PI 用户获得遥现场的空间机器人状态信息后,可以上行控制实验对象,所有用户的上行指令首先发送到协调与操作终端,由协调专家决策,然后上行。协调专家的决策依据可以根据仿真结果和专家系统的知识。对多 PI 上行指令的决策管理是使系统正常工作的重要环节。

5) 实验信息的备份:在协调操作终端所进行的任一步骤及信息的交互,都由信息备份系统进行实时备份。

在该实验中构成实时控制此系统的难点,有以下几方面因素:

- 1) 信息传输的时延;
- 2) 系统响应的时延;
- 3) 大容量信息;

该实验的控制信息流程:

1) 获得空间机器人的下行信息:空间机器人的下行信息包括五个关节角,五个关节角速度,机器人当前位置坐标,空间机器人的系统状态,两路视频信息。遥现场的信息通过 PSTN 网下行到操作与协调终端。

2) 控制空间机器人:协调专家根据下行的遥现场信息,通过仿真模块分析指令的合理性,然后上行控制空间机器人运动到目标状态。

3) 下行信息的分发:操作与协调终端获得的遥现场信息

4) 处理多 PI 用户在线参与实验;

在该系统中相应有如考虑:

1) 网络负载能力是产生信息传输时延的主要因素, 节点转换也可造成发送出指令和接收到指令的时间差。针对目标要求可以搭建不同带宽的网络系统来满足实验的要求, 在该实验中从空间机器人运行的特点、实验成本和应用普及性考虑, 采用 PSTN 网可以很好地完成实验。

2) 计算机处理速度、大容量信息是产生系统响应时延的原因。各种延迟给操作人员加入了没有预料到的干扰, 这种干扰不仅对操作人员是不可忽视的, 而且可能使整个系统运行不稳定。在该实验中采用 Step - by - Step 的控制方式, 保证操作的平稳性。

3) 为实现 Step - by - Step 控制, 每次上行一条控制指令, 首先用仿真模块进行仿真。仿真模块由航天科技集团北京控制工程研究所提供嵌入到整个遥科学支持系统, 用以形成逼真的仿真模型。

仿真模型的建立在遥科学操作系统具有重要的作用。在操作人员不熟悉控制对象时, 可利用仿真模型进行有效的训练。降低了运行原系统的经济代价和不安全因素。在遥操作系统正常运行时, 灵境仿真子系统可以为操作人员提供决策和判断依据, 操作人员的每一次上行指令必须通过该子系统进行合理化判断, 然后再发送上行控制实验目标, 同时控制仿真模型, 达到实时监控的目的。并采用预测显示技术, 用仿真预测真实目标的下一步的控制方案, 使操作人员可以连续规划。

4) 当 PI 用户登录操作与协调终端后, 在操作与协调终端会产生一个注册表, 来标明每个 PI 的权限, 在实验过程中, 协调专家可以随时修改注册表。PI 的权限分为三种:

- ① 下行数据信息 & 下行真实图象信息;
 - ② 无下行数据信息 & 下行仿真图象信息;
 - ③ 无下行数据信息 & 下行真实图象信息;
- 注册表的建立有利于对多 PI 用户分发信息。

在操作与协调中心建立多线程管理机制, 完成大容量信息的处理, 主要的线程为:

- 1) 接收遥现场的下行数据及图象信息;
- 2) 刷新数据及图象显示窗口;
- 3) 将需要发送给 PI 用户的数据压入发送队列;
- 4) 定时查询发送队列是否为空, 不为空则启动发送线程;
- 5) 接收来自 PI 用户的上行操作指令, 进行仿真判断, 如果指令合理则发送上行;
- 6) 实验实时备份;
- 7) 响应协调操作人员对界面的操作;

在多用户遥科学系统中, 由于结构的复杂性和功能完备性, 即面临大容量信息的实时传输及由远距离传送带来的迟

延问题。在该实验中, 我们利用预测仿真技术克服由于信息的远距离传送带来的延迟问题, 并建立完善的多线程管理机制实现对大容量信息的有序管理。为使多用户在线参与实验, 建立了用户索引表和用户信息数据库, 协调多用户的下行信息及上行控制参量, 使系统在正常运行的前提下完成预定任务。

4 结束语

本文讨论了多用户遥科学控制系统的结构, 及各分系统的主要功能, 通过系统的结构化设计及模块的功能化使系统能够稳定安全地运行。通过实际的控制对象 - 五自由度机器人地面模拟系统验证了多用户遥科学系统的性能, 系统的各项指标均得到了满意的结果。

5 致谢

本系统的实验对象 - 五自由度机器人及图 3 机器人实物图片系航天科技集团北京控制工程研究所提供, 在此表示诚挚的谢意。感谢该所梁斌博士、李成博士等专家在此系统的研制过程中给予的大力支持和帮助, 使得我们的研究工作得以顺利进行!

参考文献:

[1] 张珩, 李庚田. 遥科学的概念、应用与发展 [J]. 中国航天, 1997, 11 : 16 - 20.

[2] 潘力均, 张珩, 许滨. 大容量信息实时传输技术的研究 [J]. 中国空间科学技术, 2000, 20 : 61 - 64.

[3] Paul G. Backes, Kam. S. Tos. Internet - Based Operations for the Mars Polar Lander Mission [D]. Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation San Francisco, CA, April, 2000, 2025 - 2032.

作者简介



刘凤焜(1975 -), 女(汉族), 辽宁朝阳人, 中国科学院力学研究所硕士生, 主要从事遥科学机械臂控制系统的研究。

许 滨(1962 -), 男(汉族), 安徽人, 中国科学院力学研究所副研究员, 主要从事航天领域的遥科学技术、微小卫星技术、智能结构及结构动力学、振动与噪声控制等方面的研究。

潘力均(1970 -), 男(汉族), 黑龙江人, 中国科学院力学研究所助理研究员, 主要从事高速数据实时存储与分包处理、遥科学实验中的可视化的研究。

张 珩(1961 -), 男(汉族), 吉林人, 中国科学院力学研究所研究员, 主要从事航天领域遥科学技术、微小卫星技术、自动控制及电子工程技术等方面的研究。

- [2] H L Jones. Failure detection in linear systems[M]. Rep. T - 608 , Charles Stark Draper - Lab. , Cambridge , MA , Aug. 1976 .
- [3] Walter H Chung and Jason L Speyer. A game theoretic fault detection filter[J]. IEEE Trans. Automat. Contr. , Feb 1998 , AC - 43 :143 - 156 .
- [4] F Yang and W Richard. Observer for linear systems with unknown input[J]. IEEE Trans. Automat. Contr. , 1988 , AC - 33 :677 - 681 .
- [5] 缙林峰. 航空发动机数控系统传感器与执行机构的故障检测 [D]. 西北工业大学硕士学位论文 , 2000 - 3 .



作者简介

缙林峰(1975.2 -) ,男(汉族) ,河南南阳人 ,硕士 ,助教 ,所在专业 :航空宇航推进理论与工程 ,专业方向 :发动机数控系统建模仿真、故障检测与容错控制。

王镛根(1941.6 -) ,男(汉族) ,上海人 ,本科毕业 ,教授 ,研究方向 :航空发动机数控系统建模与故障检测。

庞大海(1971.8 -) ,男(汉族) ,陕西西安人 ,硕士 ,工程师 ,研究方向 :航空发动机建模。

Robust Design of Fault Detection Filter

GOU Lin - feng , WANG Yong - gen , PANG Da - hai

(Northwestern Polytechnical University 7th Department , Xi ' an Shanxi 710072 , China)

ABSTRACT : This paper realizes disturbance de - coupled with model error and system uncertainty by using a combination of full - order non-linear unknown input observer and fault detection filter . Simulation results show that the fault detection filter with disturbance de - coupled can easily detect and isolate sensor and actuator ' s hard and soft failures , enhanced its robustness to fault detection .

KEYWORDS : Unknown Input Observer ; Disturbance De - coupled ; Fault detection filter ; Aero - engine

(上接第 104 页)

The Computer Simulation of the Fish - paste Cutting Machine ' s Blade Optimizing Curve

Chen Hui - ping¹ , Zhao Zhan - xi²

(1. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics , Nanjing Jiangsu 210016 , China ;

2. Hohai University , Changzhou Jiangsu 213022 , China)

ABSTRACT : The blade is an important part of the cutting machine , so the shape and the sharpness of the blade will make an important and direct effect on the cutting rate of meat . Now most of the cutting machine ' s blade are arc - shaped . Because the cutting angle is different at the different point of the arc - shaped blade during the cutting , the cutting rate of meat is decreased and the cutting time is prolonged . These factors affect the quality of the fish - paste . In this paper , we analyzed the motion pattern and set up the mathematical model of the cutting machine ' s blade optimizing curve . The Optimizing design curve of the cutting machine ' s blade is simulated by the computer in MATLAB .

KEYWORDS : Computer Simulation ; Optimizing Design ; Cutting Machine

(上接第 107 页)

LIU Feng - jing , XU Bin , PAN Li - jun , ZHANG Heng

(Institute of Mechanics , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100080 , China)

ABSTRACT : A structured design and control strategy for platforms of telepresence system is presented in this paper . Although coexistence of telepresence dataflow from multiple channels and information of controls , real - time online controls to objectives are performed successfully and teleoperating commands uploaded from multiple Payload Investigators are processed coordinately as well . Effects of control can be validated by comparing conditions of actual objectives and simulation models .

KEYWORDS : Telepresence ; Teleoperation ; Multiple payload investigators

(上接第 110 页)

ABSTRACT : On the basis of illustrating necessary of optimum design , this paper introduces optimum design principle , and builds state equation of pure lag system and constitute modal of control system . In order to study boiler steam manage system , the paper introduces the dynamic characteristics of the steam manage system and put up system emulation on known object function and PID controller . Experimental emulation proves the design of the system has been significantly optimized .

KEYWORDS : Optimum design ; Simulation ; Controller