

一个面向指挥所的多通道交互框架*

廖虎雄¹, 老松杨¹, 凌云翔¹, 邵宏韬²

(1. 国防科技大学 信息系统工程重点实验室, 湖南 长沙 410073;
2. 军事交通学院 科研部, 天津 300161)

摘要: 信息化条件下的指挥所建设、指挥行为和指挥艺术的转变是加快转变战斗力生成模式的重要组成部分。指挥所已经具备各种新型交互设备和交互手段, 但相互之间“各自为政”, 不能在统一的框架下协调使用, 导致大量设备和技术被搁置, 难以真正融入指挥控制体系。针对这一问题, 提出了面向指挥所的多通道交互框架。该框架详细描述了指挥空间多通道交互的软件体系结构, 阐述了其中的各个模型(指挥空间概念模型、层次模型、过程模型、组成模型、整合模型)及其相互关系, 同时对该框架所涉及的部分关键技术进行了深入探讨。通过一个综合案例, 对课题的研究成果进行了充分验证。

关键词: 指挥所; 指挥空间; 多通道交互框架; 组成模型

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-2486(2013)01-0155-08

A multimodal interaction framework for command post

LIAO Huxiong¹, LAO Songyang¹, LING Yunxiang¹, SHAO Hongtao²

(1. Science and Technology on Information Systems Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;
2. Department of Scientific Research of College of Military Transportation, Tianjin 300161, China)

Abstract: The construction of command post under informationization condition and the change of command behavior and command art are important parts of accelerating the transformation of combat effectiveness model. Command post already has a variety of new interactive devices and interactive tools, but between the “fragmented” sections, not in a unified framework of coordinated use. As a result, a lot of equipment and technology have to be shelved, and it is difficult to integrate into the command and control system. To solve this problem, a command post oriented multimodal interaction framework was put forward. The framework describes in detail the multimodal interactive command space software architecture, the architecture describes various models (command space conceptual model, hierarchical model, process model, component model, integration model) and their mutual relations, while the framework involves some key technical issues in depth. Finally, a comprehensive case studies on the subject were implemented which fully validate the research results.

Key words: command post; command space; multimodal interaction framework; constitution model

战争离不开决策, 决策离不开信息, 信息离不开交互。信息化条件下, 指挥所人机空间将以自然性、多通道性、协作性为主要发展方向, 力图通过手势、语音、表情之类的人类自然交互方式形成多通道、多模式的作业人员与指挥空间的交互对话, 旨在充分利用一个以上感觉和动作通道(如语音、手势等)的互补特性来捕捉用户的意图, 从而使指挥员能按其熟悉的操作技能进行人机通信, 使其能利用多个通道以自然、并行、协作的方式进行人机会话, 提高指挥决策的自然性和高效性^[1]。所谓“多通道交互”是指一种使用多种通道与计算机通信的人机交互方式。通道(modality)涵盖了用户表达意图、执行动作或感知反馈信息的各种通信方法, 如言语、手势、头动、

唇动、触觉、味觉等^[2]。

美军自1998年开始大力推进一项被称为未来指挥所(CPoF)的科研计划, 在其发布的《美军未来指挥所技术研究》报告中提出: “‘人一系统交互领域’是CPOF计划的重点。它包括可视化、多模式人机交互、对话管理和推理技术……, 语音识别和语言理解加上手势识别与理解和草图理解将成为指挥所用户与CPOF可视化环境进行交互的主要手段。CPOF用户将能够通过语音、手势等通道在屏幕表面勾画等方式输入信息。从而解脱指挥人员的繁杂操作, 并能提炼出及时、正确和完整的作战信息, 为指挥员辅助决策提供犹如身临其境的全效应通道和感知通道的启发式指挥控制环境。”^[3]。上述成效的取得有赖于适应现代

* 收稿日期: 2012-07-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61272336, 61005055); 国家863计划资助项目(2007AA01Z193)

作者简介: 廖虎雄(1979—), 男, 湖南沅江人, 讲师, 博士研究生, E-mail: liaohuxiong@163.com

化战争需要的新型指挥所人机交互技术的发展和新型指挥所的建设。指挥所多通道人机交互将研究范围限定在指挥所应用领域,研究内容集中在指挥所内综合利用语音、手势等新的交互通道和设备。课题通过研究指挥所指挥控制问题的本质,在当前已有的语音和基于触摸屏的手势交互技术基础上,采用体系结构的方法,提出一套适用于指挥所多通道协作交互的体系框架,作为研究和实验的指南,最后结合一个实际项目“××运输指挥与态势综合展现系统”对课题的研究进行应用验证。

1 相关工作

国际上,20世纪80年代后期以来,多通道人机交互成为崭新的研究领域,受到高度重视。北美、欧洲很多研究机构的研究内容涉及键盘、鼠标之外的语音、手势、手写和眼动等输入通道,使用户能利用多个通道以自然、并行、协作的方式进行人机会话,并且以具体系统为主。许多相关的研究计划纷纷启动。MIT 对此的研究计划名为 Oxygen。与此相似的有 Don Norman 的“*Invisible Computer*”^[4]、CMU 的 *Aura* 计划和欧盟的“*Disappearing Computer*”研究计划^[3]。围绕这些计划,国际上已开展了许多系列的研究项目。MIT 的人工智能实验室从 1996 年开始了名为 *Intelligent Room*^[5] 的研究项目,其目的在于探索先进的人机交互和协作技术,具体目标是建立一个智能房间,解释和增强其中发生的活动。MIT 的 Media Lab 的 SLS 研究小组的 GALAXY 项目在线提供语音界面,应用于航班查询、天气预报、城市地图等语音查询服务^[6]。卡内基-梅隆大学由 Alex Waibel 教授领导的交互系统实验室 ISL 从事着广泛的多通道研究,代表着当今世界的前沿技术。这个实验室的两个富于挑战性的兴趣是开发语音到语音的翻译系统和多通道界面^[2],同时也开展了诸如计算机视觉、手势识别等多项智能人机交互技术的研究。ESPRIT(欧洲信息战略规划委员会)的 *Amodeus-2* 研究内容包括用户和系统要求的统一表示和通道分类学,它的工作包括:用户的认知模型,系统行为的形式化描述,用户和系统整合的实际方法;MMI2 作为 ESPRIT 一个比较大的项目,由英国、法国和比利时共同承担,其目的是开发一个整合了自然语言(包括英语、法语、西班牙语)、图形、姿势和命令语言的局域网设计专家系统。此外,ESPRIT 还进行了其他关于多通道技术的研究项目,如 MIAMI、Grace

等,对多通道各个方面进行了深入的研究^[6]。美国 Applied Minds 公司开发出了集成 ArcInfo 软件的双手触摸交互系统 TouchTable^[9],并开始装备美军。TouchTable 提供了高级的双手操作和可视化的能力,用于讨论和共享地理信息系统数据,具有最直观的操作界面,能最大化地支持协作,为指挥决策提供了方便。其他研究还有 Stanford 的 *Interactive Workspace*, Georgia Tech 的 *Aware Home*, UIUC 的 *Active Space*, Microsoft Research 的 *EasyLiving*, IBM 的 *Blue Space*, 欧洲 GMD 的 *iLand* 等^[7-8]。

在国内,相关研究起步较晚,主要的工作集中在语音识别和手势识别方面。相关的研究有 863 计划项目所支持的智能人机接口研究,北京大学、杭州大学和中科院软件研究所共同承担的“多通道用户界面研究”;在手写汉字识别方面,中科院自动化研究所开发的“汉王笔”手写汉字识别系统,识别率可达 99.8%。在语音合成技术方面,我国已具有中国科学院声学研究所的 KX-PSOLA、联想佳音、清华大学的 TH SPEECH、中国科技大学的 KDTALK 等系统,以及音色和自然度更高的 KD863 及 KD2000 中文语音合成系统。这些技术的发展和运用使智能协作空间的出现和实际应用成为可能。清华大学计算机系实现了一个智能环境实验系统-智能教室(*SmartClassroom*)^[9-10]。在这个空间中教师可以摆脱键盘、鼠标、显示器的束缚,用语音、手势,甚至身体语言等传统的授课经验来与远程的学生协同交互。

国防科技大学指挥自动化理论与方法教研室在双手触摸手势研究方面取得了一定的成果,开发了智能交互通用指挥平台,实现了基于红外光感应多点定位的双手触摸式自然交互。并在平台上实现了支持多人协作交互的指挥研讨系统,支持语音和手势以及鼠标、键盘的多通道交互,并已运用到“××目标整编系统”、“××动态监控系统集成与应用系统”、“××情报展示与研讨系统”中,取得了良好的效果^[11-13]。课题基于该平台实现了面向指挥所的多通道交互指控系统原型,并进行了实验验证。

2 指挥所多通道交互的体系框架

指挥所多通道人机交互(CPMI)是针对指挥空间的作业任务而采用的一种新型交互手段,其范围限定为未来指挥所,内涵是指指挥所物理空间(物理域)、战场信息感知空间(信息域)、或者是指指挥决策空间(认知域),使用对象是指挥人

员,目标是通过自然、高效的交互方式降低认知负担、提高指挥效率。课题提出的指挥空间的概念,特指指挥所人机交互空间。指挥空间内的作业任务主要是各种文字、影像情报的处理和作战标图等指挥决策作业,以基于自然手势的双手触摸交互和语音交互技术为基础的人机交互方式能更好地推动指挥空间中信息处理和决策能力的提高。指挥所多通道交互框架由概念模型、层次模型、过程模型、组成模型和整合模型五部分组成。通过分析指挥空间的内涵、要素以及它们之间的联系,建立指挥空间概念模型是研究多通道系统在指挥所中进行应用的首要步骤;层次模型主要描述多通道系统不同研究层次之间的逻辑关系;过程模型主要描述多通道操作的信息流程和方法间的决策行为关系;组成模型主要描述建立一个指挥所多通道交互系统主要包含的模块、模块之间的关联以及协同工作的方式;整合模型主要研究指挥员如何通过操作多个通道来形成完整一致的语义即统一的指控命令的问题,也就是多通道融合的问题。

2.1 概念模型

2.1.1 指挥空间基本概念

课题中提及的指挥空间在广义上是指嵌入了计算、信息设备和各种交互装置的指挥所工作空间,具有自然便捷的交互接口,以支持指挥人员方便地获得计算机系统的服务。用户在指挥空间内的工作过程就是使用计算机系统的过程,也是人与计算机系统不间断的交互过程,在这个过程中计算机不再只是一个被动地执行操作命令的信息处理工具,而是协助指挥人员完成任务的帮手,交互的双方具有和谐一致的协作关系。这种交互中的和谐性主要体现在用户使用计算机系统的学习和操作负担将有效减少,交互完全是人的一种自发行为。自发意味着无约束、非强制和无须学习,自发交互就是人能够以第一类的自然数据(如语音、手势等)与计算机系统交互。当前对指挥空间的研究还处于起步阶段,尚未形成完整的理论体系,论文主要研究指挥所内基于双手触摸交互平台和语音操作的具体应用。因此,文中的指挥空间在狭义上特指指挥所内基于双手触摸和语音交互的人机空间,后续研究基于这个概念陆续展开,传统的鼠标、键盘等交互手段在指挥所中并非没有使用,而是因为使用率不高,不再强调。

2.1.2 指挥空间概念模型表示

指挥空间概念模型需要从领域本体角度对指挥空间中的人员、设备及指挥过程中的各种实际

作业活动进行概念化的抽象描述,探寻概念的各个方面及其约束的特征和属性,进而对各种研究对象及用户操作级方法研究具有指导意义,以便为新型指挥空间中自然和谐的对话实现提供理论支持和应用需求。指挥空间多通道交互涉及不同的指挥人员、指挥设备和资源,涉及许多的信息和知识模型。如何对指挥空间构成要素以及要素之间的关系在指挥所领域进行深入分析,形式化地描述各种要素以及它们之间的关系,建立指挥空间在概念层上的结构框架,如何对这些模型进行共享与集成,进而进行面向决策的多通道协作交互的生成与检验,是指挥所多通道人机交互研究的重要组成部分。本文提出一种基于本体的指挥空间概念模型的统一表示,利用本体一致、适于共享与集成的特点,建立指挥所多通道人机交互生成与检验的基础。

根据本体表示框架,对指挥空间组成本体的若干概念域进行阐述,包括:任务域,过程域等,如表1所示。

表1 指挥空间本体的概念域

Tab.1 Concept domain of the command space ontology

概念域	语义
任务域	描述指控活动计划的任务使命以及拟实现的计划效果,体现指挥员的指挥意图
过程域	描述指控过程的层次结构,一个指控过程包括一个或多个交互活动,每个交互活动由行动(原子活动)组成,包括过程结构的时序关系
时间域	包括绝对时间、相对时间,描述指控过程所在的时间点及持续时段
空间域	描述交互实体和资源的空间关系,包括位置以及空间半径
设备域	描述交互通道使用的设备
实体域	描述指控活动的参与者(人、席位或系统),实施指控行为的指挥单位等
资源域	描述交互活动所使用的资源,如地图、武器装备、车辆等
人员域	描述产生交互活动的指挥人员,包括性别、年龄、操作习惯等
信息域	描述指控活动过程之间的通信,如命令,包括信息产生者、产生时间、产生通道、信息类型、信息内容等
交互通道域	交互方式域,描述指挥员产生交互信息的方式,具有方式标识、交互动作、时间等属性
反馈方式域	描述机器对信息处理结果的展现方式,具有方式标识、反馈内容、展示时间等属性

例如,空间描述域刻画指挥空间交互活动、实体、资源的空间属性,包括位置、交互区域、交互半径,如图 1 所示。位置具有经度、维度、高程特征及 inside 属性,表示位置与区域之间的包含关系。针对空间的点、线、面、体等概念,可以使用地理信息本体的形式化框架进行构建。示例如下:

$Position(x) \wedge Area(y) \wedge inside(x, y) \rightarrow hasPosition(y, x)$

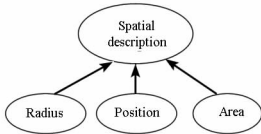


图 1 空间描述域

Fig. 1 The space description domain

2.2 层次模型

层次模型描述多通道系统不同层面之间的逻辑关系,其建立是基于这样一个阶段性的考虑:首先在单个交互设备/通道研究技术(底层控制模型)的基础上,对指挥员操作任务进行分析(任务模型、协同模型),建立任务与通道(通道模型)、任务与用户(界面模型、操作模型、认知模型)、任务状态与任务状态之间的映射或关联(状态模型),并将指挥员对系统的操作进行整合(整合模型)形成完整的语义命令提交应用执行并反馈(多通道输出)。

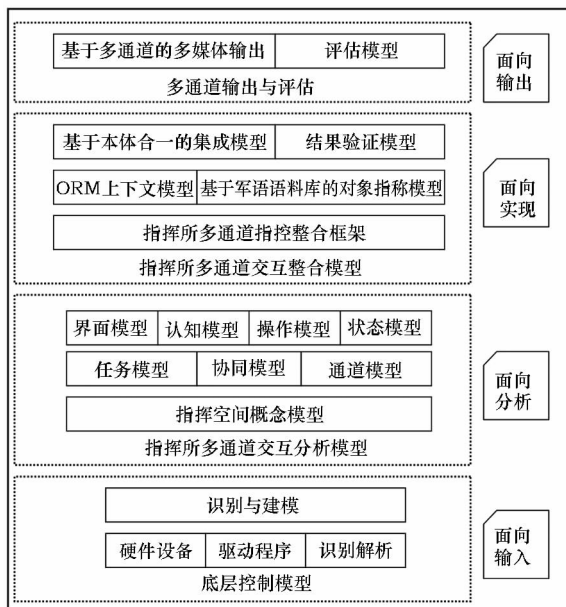


图 2 指挥所多通道系统层次模型

Fig. 2 The hierarchical model of CPMMI system

指挥所多通道人机交互框架包含四个层次:底层控制模型、分析模型、整合模型以及输出模型。如图 2 所示,这四个层次之间具有紧密的逻辑关系,

首先要有具体的交互设备/技术才能谈及多通道交互,即解决多通道交互的底层支持问题;其次,要对多通道系统的建立进行分析,解决多个通道、多个任务、多个用户统一表示的问题,即解决如何分析和组织协作交互的本质性问题;再次,在分析的基础上构建的多通道系统的有效使用是系统的核心目标,必然涉及用户操作的整合、命令的建立,即解决多通道交互的语义问题;最后,应用调用用户发布的命令,通过执行相应动作由输出通道反馈给用户,即解决多通道交互的语用问题。这四个层次是一体化的,虽有主次,但不可偏废。

2.3 过程模型

过程模型主要描述从用户的效应通道对系统实施动作到系统将输出反馈给用户的感知通道整个流程的各个过程。如图 3 所示,过程模型包括三大部分:预处理,主要负责对手势、语音等单个通道的信息预先处理;多通道集成,主要负责多个通道之间在意义的传达和提取上的协作,负责多个通道的信息整合成一个有效、合理、可执行的命令或命令列表;多媒体输出,又称为多通道输出,负责在多个层次上把需要传达给用户的多通道命令的执行结果向不同输出通道、信息表示和表现进行转换。

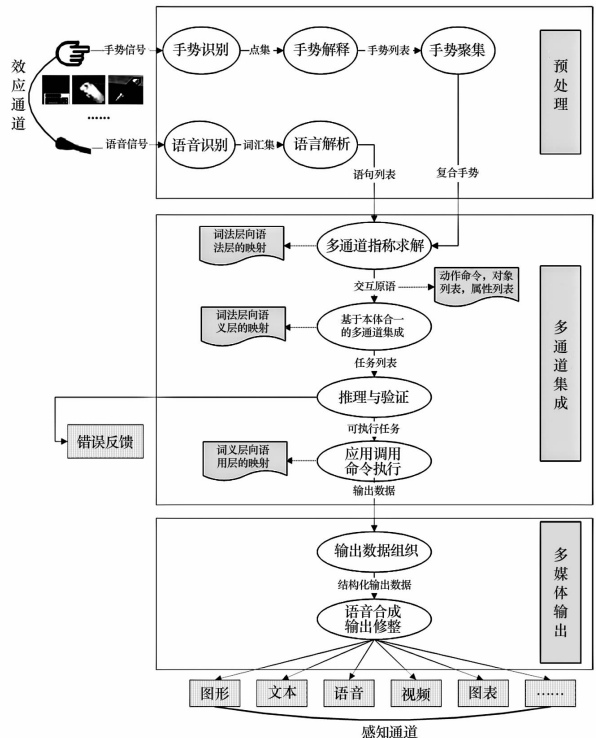


图 3 指挥所多通道系统交互过程模型

Fig. 3 The process model of CPMMI system

2.4 整合模型

指挥空间多通道交互命令的整合执行在上述各种技术与模型的支持下下进行,涉及手势识别、语音识别、手势聚合、本体构建与推理等技术,使用了认知模型、任务模型、上下文模型、言语行为模型等相关模型,并需要任务表、军语库、命令词典、任务模型等相关底层数据和模板的支持。图 4 演示了多通道命令从形成、发布、整合执行到后续行为的整个流程,每一步骤涉及一系列相关的模型、技术和算法,并具备一系列的相应过程,在具体实现时可依据实际情况自行实现或调整。

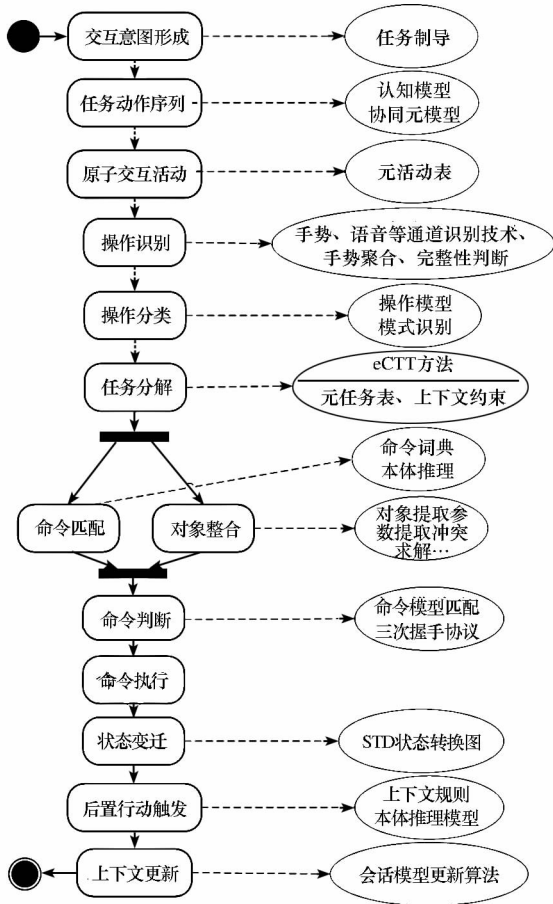


图 4 指挥所多通道系统整合模型

Fig. 4 The integration model of CPMMI system

2.5 组成模型

组成模型描述建立一个指挥所多通道交互系统主要包含的模块、模块之间的关联以及协同工作的方式。组成模型由 13 个模块组成,图 5 演示了各模块的主要单元,以及模块之间的逻辑关系和调用关系。组成模型是与具体的设备平台无关,它主要提供一个构建多通道系统的功能框架,用以指导系统的开发。根据组成模型,技术人员可以非常容易地构建一个多通道交互指挥控制

系统。

3 若干关键技术的解决与实现

指挥空间多通道交互涉及多种交互手段、模型和技术的综合运用,涉及单个通道的识别、通道的协作与整合、上下文的推理与使用、命令的构建与验证等多种技术。文章对其中三种关键技术进行了详细的论述。

3.1 基于触摸屏的自然手势交互

指挥空间多通道人机中指挥员在大尺寸触摸平台上通过手势结合语音发布各种作业命令和指控操作。基于触摸屏的自然手势交互技术包括三个方面的研究:(1)基于触摸屏的多点识别与定位技术,包括高分辨率红外探测与触摸定位以及基于光感应的多点触摸识别;(2)双手交互手势模型,包括双手自然交互动作定义、双手手势定义和分类、双手交互状态模型、以及统一的手势定义框架;(3)双手手势通用识别算法,主要功能是把识别的触摸点和轨迹通过一定的规则和约束映射为合理的手势,实现接近于指挥员自然操作的手势交互作业。

国防科技大学在基于触摸屏的双手自然手势交互研究方面取得了一定的成果,开发了智能交互通用指挥平台。该平台实现了上述三个方面的功能,文献[3,6,9,11-12]对此有详细的论述。

3.2 指挥空间协作研讨

多人协作模式主要有分时协作、分区协作、同时同区域协作。分时协作实现最为简单,同一时间内只有一个人操作,只要识别了人员身份和触摸手势就可以实现相应功能。但桌面协作存在多人同时操作的需求。通过研究指挥所中指挥员围绕真实桌面进行协作研讨时的场景,发现指挥人员将桌面不自觉地划分成若干个区域,在不同的区域中完成不同的任务。根据对桌面区域的占有和使用情况将桌面分区分为三类:私人区域、公共区域和存储区域。基于这种分区现象,基于手势的触摸屏协作桌面采取如图 6 所示的设计模式。

存储区存储协作标绘任务中的备用军标,协作研讨任务中当前不使用的情报资源,或保存暂时中断的任务现场。存储区的操作包括物件添加、删除以及物件的规划、铺展、查找和比较等,并具备批量添加和删除物件的功能。

私人区,又称私有区、个人区,是指指挥作业任务中进行情报个人查看或者协作研讨任务中执行个人活动的区域。私人区是指指挥员完成独立操作

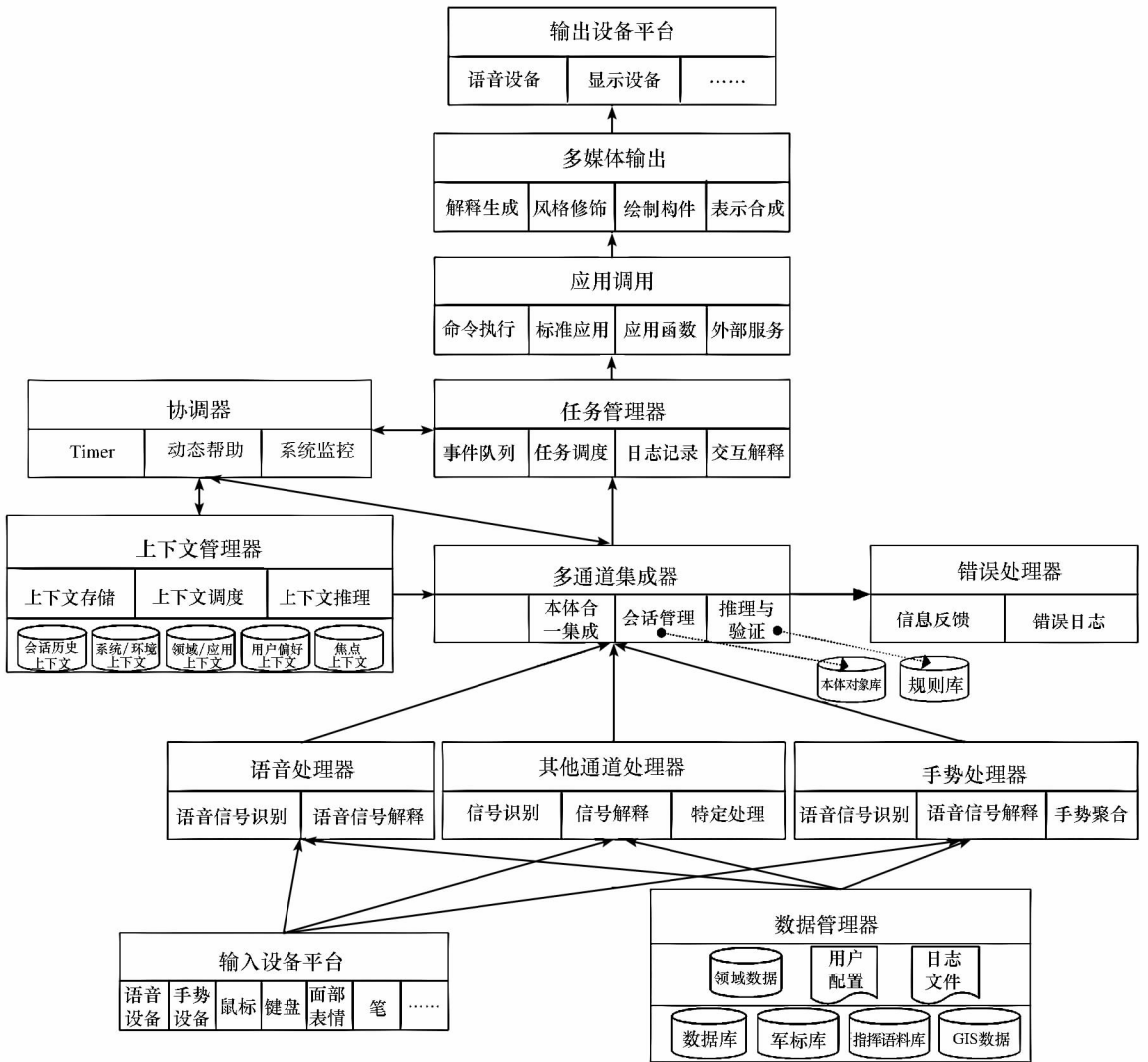


图 5 指挥所多通道系统组成模型

Fig. 5 The component model of CPMMI system

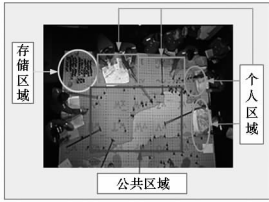
的区域,一般要求尽量小,从而实现多人独立操作的协调进行。其大小可以经常性地调整,也可以隐藏。私人区的可见性是进行独立任务时实现共同感知的关键,各协作人员在进行独立操作时,可以感知彼此的任务进程和资源使用情况。私人区的操作结果能够集成到公共区中去,实现独立任务的合成。

公共区用于共同查看、共同操作以及交流性动作,一般位于桌面的中心,是桌面协作系统中最主要的活动区域。公共区要满足可达条件—处于所有协同人员的手指可达范围内。公共区域完成的动作包括:对同一物件的共同操作,对不同物件的独立操作以及传递资源、讨论意见、辅助操作等交流性动作。不同人员的并行动作可能会引发冲突,冲突分为四类:物理层冲突、信息层冲突、认知层冲突和社会层冲突。物理层冲突指硬件层的身份识别冲突、触摸操作冲突等;信息层冲突指手势

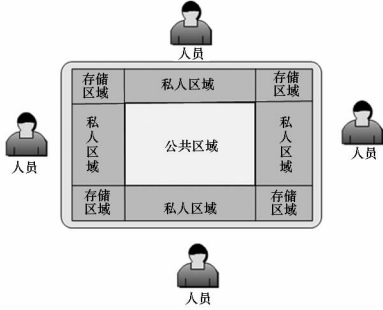
识别过程中产生的冲突;认知层冲突指具体的应用功能实现时的冲突;社会层冲突指具体的桌面协作实现机制中出现的冲突。冲突的解决主要有两种途径:一种是开发桌面协作系统的潜能,寻找合理的冲突消解机制,称为物件机制;二是对人员的操作行为作出限制,避免冲突的发生,称为人员机制。两种途径各有优劣,前者加入新的处理算法可能会降低系统响应速度,后者会增加用户操作的学习内容,增加认知难度。出于“以人为中心”的交互目标,课题在解决冲突时首先选择第一种途径,依据一定的界面设计规则、人员行为规则以及冲突求解算法来预防和解决各类冲突。

3.3 指挥空间上下文推理

语音与手势的融合是指挥所多通道系统中的主要研究内容,融合中的一个重要问题是歧义消除。上下文知识即会话模型有助于消减歧义并提高识别率。在指挥所中基于指挥业务的特殊性,



(a) 基于传统桌面的协作研讨区域划分



(b) 分区模式

图 6 分区协作模式

Fig. 6 The territory-based collaborative mechanism

主要以指挥员的指挥作业为主,涉及的上下文主要是业务上下文,课题对指挥空间上下文检测或者感知不做研究。

(1) 指挥空间上下文建模和表示

上下文建模和表示的主要问题是建立统一的上下文模型和表示。依据指挥空间概念模型所建立的概念域本体,提出基于本体对象的指挥空间 ORM(本体-关系模型)上下文模型,用于对指挥空间的上下文进行建模与表示。图 7 是基于本体-关系模型上下文建模的一个示例。

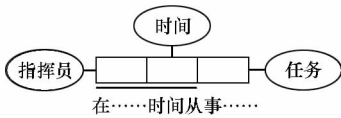


图 7 基于本体-关系模型上下文建模示例

Fig. 7 An example for ontology-relation based context model

(2) 指挥空间上下文推理

上下文推理,最能体现指挥空间上下文感知系统的智能化服务。如图 8 所示。本文通过 OWL + SWRL 的方法实现指挥空间的上下文推理。在语法层次上,OWL 是一种基于描述逻辑(DL)的语言,描述逻辑的重要特征是很强的表达能力和可判定性,并提供了很有用的推理服务。通过将 OWL 描述的本体和 SWRL/SWRL FOL 表示的规则统一转换为一阶谓词逻辑公式,利用现有的一些功能强大的 FOL 推理机实现推理。对于一阶逻辑的推理验证,采用 SWRL 编辑器与 Jess 引擎结合的方式进行。在基于本体和 FOL 规则的知识表示基础上,通过 SWRL2Jess 引擎,

将 OWL 表示的事实、SWRL 表示的规则转换为 FOL 规则,利用 FOL 推理引擎即可实现结合本体和规则进行推理。

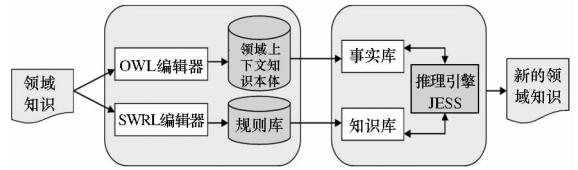


图 8 指挥空间上下文推理架构

Fig. 8 A framework for command-space context-reasoning

4 综合案例

“××动态监控系统”MTIDS 是国家“十一五”期间资助的重大支撑项目,它提供一个支持自然展现、高效指挥的技术平台,通过应用与验证该平台来指导某领域指挥所多通道协作交互的各个环节和策略的改进,系统地成功实施验证了基于双手触摸和语音交互的多通道协作交互技术在指挥空间中的有效性和高效性。系统由硬件平台和软件系统组成。硬件平台主要包括多台数据服务器、存储设备和支持触摸交互的 65 英寸高清平板电子沙盘以及语音识别设备。软件系统包含态势生成、态势展现和态势交互电子沙盘三个子模块。系统具有以下功能:

- 态势自动生成及图上二维信息展现、重点目标枢纽三维可视化;
- 决策预案的推演仿真和实时动态监控;
- 态势查看、军标标绘、态势标注;
- 支持手势、语音和协作研讨的交互电子沙盘。

课题利用多通道交互框架的研究成果,指导系统的设计与实现,解决了系统实现过程中遇到的问题,保证了指挥空间内“多人-系统”对话的自然、高效、流畅。图 9 给出了 MTIDS 系统示意图。

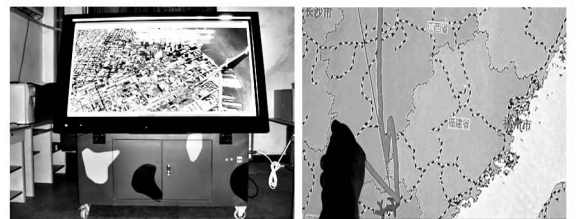


图 9 MTIDS 系统示意图

Fig. 9 The demonstration graph for MTIDS

5 结束语

提出了指挥空间多通道人机交互系统体系结

构,并在此基础上给出了主要关键技术的解决方法,最后以实例说明了该框架在多通道交互系统的设计和开发中的指导作用。下一步需要用该概念框架来指导设计和开发其他自适应的原型和应用系统,并进行更加严格而深入的比较实验,以及在这些实践中进一步检验和完善该框架。

参考文献 (References)

- [1] 董士海,王坚,戴国忠. 人机交互与多通道用户界面[M]. 北京:科学出版社,1999.
DONG Shihai, WANG Jian, DAI Guozhong. Human-computer interaction and multiModal user interface[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [2] 董士海,陈敏,等. 多通道用户界面的模型、方法与实例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 32(2-3): 231-239.
DONG Shihai, CHEN Min, et al. Models methods and an examples of mutilmodal user interface[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2001, 32(2-3): 231-239. (in Chinese)
- [3] 王鹏. 未来指挥所双手触摸式自然交互技术研究[D]. 长沙:国防科技大学,2007.
WANG Peng. Research on touch-based two-handed natural interaction technology in command post of the future[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2007. (in Chinese)
- [4] Norman D, et al. The invisible computer[M]. Cambridge, Mass: MIT Press, 1999.
- [5] Coen M, et al. The future of human-computer interaction or how I learned to stop worrying and love my intelligent room[J]. IEEE Intelligent Systems, 1999, 14(2): 8-10.
- [6] 叶挺. 基于任务分析的指挥空间多通道交互方法研究[D]. 长沙:国防科技大学,2009.
YE Ting. Multi-modal interaction research in command space based on task analysis[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2009. (in Chinese)
- [7] Johnson B, et al. The interactive workspaces project: Experiences with ubiquitous computing rooms[J]. IEEE Pervasive Computing, 2002, 1(2): 67-74.
- [8] Shi Y, et al. Smart remote classroom: Creating a revolutionary real-time interactive distance learning system[C]// Proceedings of the 1st International Conference on Web-Based Learning, Berlin: Springer, 2002: 130-141.
- [9] 王鹏,黄广连,等. 一种红外多点触摸式双手交互技术[J]. 小型微型计算机系统, 2009, 30(7): 1467-1472.
WANG Peng, HUANG Guanglian, et al. Infrared multi-touch two-handed interaction technology[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2009, 30(7): 1467-1472. (in Chinese)
- [10] 谷洪亮,史元春,等. 智能教室支持普适计算的无线网络方案的问题、挑战和解决探讨[J]. 小型微型计算机系统, 2005, 26(3): 367-370.
GU Hongliang, SHI Yuanchun, et al. Probe of the problem, challenge and solution of wireless network project supporting pervasive computing in smart-classroom[J]. Mini-micro Systems, 2005, 26(3): 367-370. (in Chinese)
- [11] 廖虎雄,老松杨,等. 基于触摸屏的双手交互指挥技术应用研究[J]. 国防科技大学学报, 2011, 33(4): 117-122.
LIAO Huxiong, LAO Songyang, et al. Application research on touch-based two-handed natural interaction command technology[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2011, 33(4): 117-122. (in Chinese)
- [12] 凌云翔,张国华,等. 基于多点触摸的自然手势识别方法研究[J]. 国防科技大学学报, 2010, 32(1): 127-132.
LING Yunxiang, ZHANG Guohua, et al. Research on natural gesture recognition method based on multi-touch[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2010, 32(1): 127-132. (in Chinese)
- [13] 张凤军,张弛,等. 桌面虚拟现实环境下的双手交互技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(11): 1698-1703.
ZHANG Fengjun, ZHANG Chi, et al. Two-handed interaction techniques in desktop VRs[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2006, 18(11): 1698-1703. (in Chinese)