

文章编号: 1001- 2486(2010) 05- 0153- 07

指挥控制中的多人多通道人机交互研究*

张国华, 老松杨, 凌云翔, 叶挺

(国防科技大学 信息系统工程重点实验室, 湖南 长沙 410073)

摘要: 指挥控制人机环境需要更加自然、高效并且支持协作的人机交互手段。在分析指挥控制中人机交互要素的基础上, 提出了多人多通道人机交互概念模型和系统模型。基于该模型设计实现了原型系统, 系统使用基于多点触摸的双手手势和语音两个通道实现态势和情报分析任务。通过实验和用户调查, 验证了系统可以提高交互的自然性和高效性, 对用户之间的协作工作效率也有改善, 说明指挥控制中的多人多通道人机交互是有效的。

关键词: 指挥控制; 人机交互; 多通道交互; 协作交互

中图分类号: TP11 **文献标识码:** A

Research on Multiple and Multimodal Interaction in C2

ZHANG Guo-hua, LAO Song-yang, LING Yun-xiang, YE Ting

(Science and Technology on Information Systems Engineering Laboratory, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: More natural, effective and collaborative human-computer interaction is the request of human-computer environment in C2. In this paper, the elements of human-computer interaction in C2 were analyzed, and the concept model and system model of multiple and multimodal HCI were proposed. Based on the models, a prototype system was designed to accomplish the tasks of situation or intelligence analysis by two interaction channels, which are speech and two-handed gesture based on multi-touch. The improvements of naturalness, efficient and collaboration for the prototype system were proved with experiment and questionnaire, and the results show that the multiple and multimodal interaction in C2 is effective.

Key words: C2(Command and Control); human-computer interaction; multimodal interaction; collaboration interaction

基于信息系统的体系作战能力建设的重要内容之一, 就是通过提供自然高效的指挥控制支持环境, 辅助指挥人员完成由信息优势到决策优势的转变。美军早在 1998 年由 DARPA 组织的未来指挥所 (CPoF) 研究计划^[1]中就指出, 未来新型指挥所应当是一个具有适应性、以决策为中心的可视化人机环境。钱学森于 1989 年提出了开放的复杂巨系统及方法论: 从定性到定量综合集成研讨厅^[2], 其实质是将专家体系(人)、统计数据和信息、信息技术三者结合起来, 构成一个高度智能化的人机系统。综合集成研讨厅方法论在指挥控制中得到了应用, 并在此基础上提出了用于指挥控制的综合集成研讨厅支撑环境^[3-4]。由此可见, 未来新型指挥控制支持环境必然是一个和谐的人机环境, 将人的心智模型(针对非结构化问题)和计算机的定量分析能力(针对结构化问题)结合, 为指挥决策提供支持, 其中人机交互起着桥梁的作用。信息化战争对指挥控制中的人机交互提出了更高的要求。首先, 要求人机交互自然高效, 提高指挥人员对战场态势的反应速度和质量。其次, 要求人机交互能够支持多人协作, 因为指挥决策是一组指挥人员通过协作互动达成一致态势认知, 从而进行决策的合作过程。

目前, 在指挥控制中心和指挥信息系统中得到应用的人机交互界面, 几乎全部都是基于图形用户界面, 以 WIMP(Windows, Icons, Menus, Pointer) 为主要表现形式。这种交互方式实质上属于单通道人机界面, 采用鼠标、键盘、平面显示器作为主要的输入输出设备, 形式单一, 不能充分利用用户的认知资源。

* 收稿日期: 2010- 05- 20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60875048); 高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(20094307120015); 中国博士后科学基金资助项目(20090451557)

作者简介: 张国华(1976—), 男, 讲师, 博士。

而且鼠标键盘作为串行的、精确的输入方式, 给人带来的认知负担很重。此外, 由于鼠标、键盘等传统的输入设备是时间多路(Time-multiplexed), 仅能在不同的时间上控制不同的功能, 无法自然有效地支持多人协作交互需求。多通道人机交互界面引入语音、手势、视线等新的交互通道, 使用户利用多个通道以自然、并行的方式进行人机对话, 充分利用非精确性输入捕捉用户的交互意图, 大大提高了人机交互的自然性和高效性。而多点触摸屏等空间多路(Space-multiplexed)交互设备的出现, 也为支持多人协作的人机交互提供了可能。将多通道交互的自然高效和多人交互的协作共享结合起来, 可以为指挥人员提供“以人为中心”的人机交互系统, 提高指挥控制的速度和质量。

针对指挥控制中人机交互的需求, 本文分析了指挥控制中的人机交互要素关系, 基于多人多通道人机交互概念模型和系统模型, 实现了使用多点触摸双手手势和语音两个通道、支持多人协作完成态势和情报分析任务的原型系统, 并进行了实验验证。

1 指挥控制人机交互要素

在指挥控制人机交互中, 用户是指令人员, 系统是指令设备, 两者之间的交互涉及四个方面的内容: 输入方式、输出方式、交互信息和交互状态。其中, 用户、系统、输入、输出和交互信息是 Abowd 和 Beale 提出的人机交互框架基本模型^[5]中的交互要素, 而通过对交互状态进行感知和记录, 形成交互上下文, 自动进行推理、决策和计算, 可以提高交互的智能性, 实现高效交互的目的。由于指挥控制过程是多人协作交互的过程, 指挥人员之间的协作关系也成为交互要素之一。以上指挥人员、指挥设备、输入方式、输出方式、交互信息、交互状态和协作关系等七项构成了指挥控制中的人机交互要素, 它们之间的关系如图 1 所示。

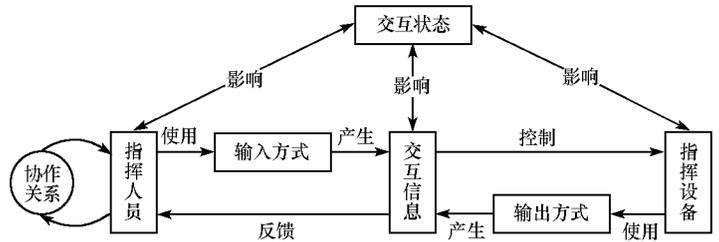


图 1 指挥控制人机交互要素及其关系

Fig. 1 Elements and its relationship of human-computer interaction in C2

指挥人员和指挥设备的任何动作都将影响交互状态, 而交互状态又为两者对交互信息的理解提供帮助, 将交互状态记录下来可以作为上下文使用。指挥人员通过输入方式产生交互信息, 从而控制指挥设备。指挥设备通过输出方式产生交互信息, 反馈给指挥人员。指挥人员之间受协作关系的约束。

2 指挥控制多人多通道人机交互模型

2.1 概念模型

如图 1 所示, 交互信息是指挥控制人机交互要素及交互过程的交汇点。自然高效的人机交互要求指挥人员产生的应该是尽可能自然的信息, 利用已有的日常技能与计算机进行交互, 降低认知负荷。而指挥设备对人的交互操作所反馈的机器信息, 也应该能够充分利用人的多个感觉通道, 提高效率和自然性。人机之间应当建立无约束、非强制和无须学习的交互过程, 这意味着用户能够以自然方式(如语音、手势等)与机器交互。

根据自然、高效、协作的交互要求, 给出指挥控制中的多人多通道人机交互的概念模型, 如图 2 所示。多个指挥人员利用各自的手势、语音等自然语言进行信息的输入, 通过多通道整合后形成各自的交互任务操作。由于是多人协作交互, 因此需要在远程或本地通信通道的支持下, 完成多人的交互信息输入。为了使多人的交互不产生冲突, 保证协作效果的最大化, 需要有协作机制管理。此外在多人交互条件下, 交互通道在完成协作管理之后仍可能是多通道的, 通过进行二级通道整合, 实现多人多通道交互到指挥控制应用实例操作之间的映射。指挥控制应用实例则通过多媒体信息对指挥人员做出信息反馈。整个交互过程中的状态形成交互上下文, 反过来为交互过程所使用。

2.2 系统模型

基于对概念模型的分析, 可以将多人多通道交互具体化, 形成系统模型, 如图 3 所示。物理硬件层

和对应的识别模块是交互的基础, 实现指挥人员的多通道输入。原语信息是对多通道输入的原子操作进行识别后得到的, 是用户交互语义的最小逻辑单位, 向上组成各种复杂的交互语义信息。多通道整合模块对来自不同通道的信息流进行融合。由于不同的通道输入在物理上没有协作关系, 但在语义上存在一定的配合, 多通道整合找出它们之间的互补关系, 在任务管理模块的支持下形成系统所能执行的具体任务。协作管理模块根据指挥人员的协作关系和协作任务分配模式, 合理对系统资源权限进行管理, 消除多人交互操作冲突, 达到协作效果最大化。指挥控制应用系统对输入做出对应的反应, 通过图像等生成系统反馈给指挥人员。上下文管理模块记录交互状态, 通过自动推理辅助交互过程, 减轻人的负担。交互任务分析将用户对功能上抽象的要求转化为对系统实现的具体要求, 形成任务文法库、知识库等供交互过程使用。

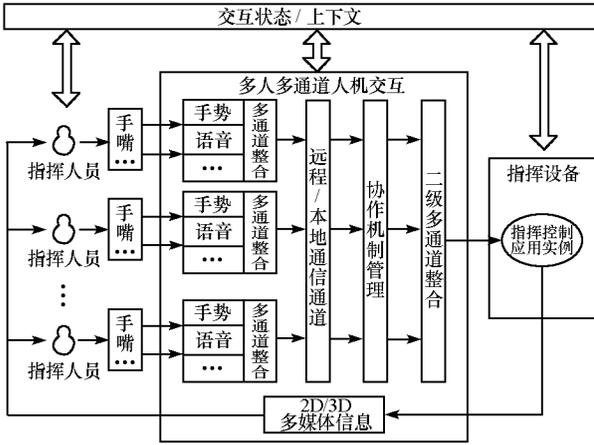


图 2 概念模型
Fig. 2 Concept model

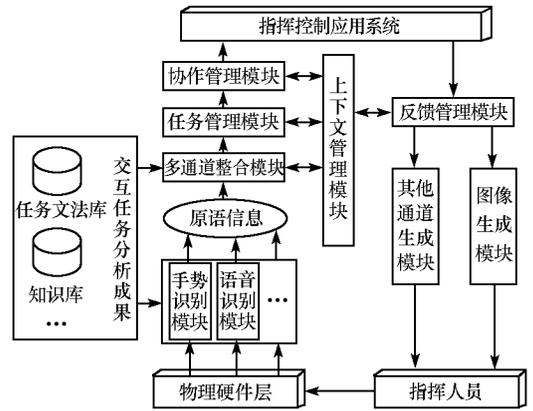


图 3 系统模型
Fig. 3 System model

3 主要技术

实现多人多通道交互的关键是多通道输入、多通道整合和多人协作管理, 有这三个部分的支持就可以完成交互流程。此外, 面向决策的多人多通道人机交互的主要应用是态势和情报分析, 其操作对象是态势图和相关情报资料。根据指挥控制环境的要求和操作对象的特点, 多通道输入采用手势和语音, 协作采用本地集中式(co-located) 协作, 而指挥控制多人多通道人机交互的主要技术则围绕以上要求来实现。

3.1 基于多点触摸的自然手势交互

多点触摸(Multi+Touch) 技术识别多触摸点的同时输入, 可以支持双手自然手势交互和本地的多人协作交互。此外, 基于多点触摸的自然手势与基于多传感器、计算机视觉的三维自然手势不同, 实现起来更加简单, 而且往往是在显示设备上直接使用手势交互, 利于在指挥控制环境中应用。

基于多点触摸的手势动作, 是根据单手或双手手指在触摸平台表面的触摸状态、触点位置及触点相对位移特征加以区分的有特定含义的触摸动作。因此, 触摸手势实际上是由一组在触摸平面上检测到的触点和与之相关的时间参数组合而成。单个触摸点的状态可以使用以下数据结构表示:

$$Point = \{PID, Touch_State, Point_Coordinate, Time\}$$

其中: $PID = \{1, 2, \dots\}$, 表示在当前系统检测到的多个触摸点中某触摸点的序号, 依据该序号, 可以连续记录该点的位置和时间参数; $Touch_State = \{0, 1\}$, 表示触摸点相对于触摸平面的状态, $Touch_State = 0$ 表示未接触, $Touch_State = 1$ 表示接触; $Point_Coordinate = P(x, y)$, 表示触摸点的坐标; $Time$ 表示触点状态或位置发生变化时的时间参数。

通过 $Touch_State$ 和 $Point_Coordinate$ 的改变可以形成 4 个基本的动作, 即按下、驻留、抬起 3 个状态动作和移动 1 个运动动作。触摸手势动作是手指在触摸平台表面所做的基本动作组合的时序列,

即手势动作是基本动作对象按照时间顺序排列组合而成的。例如, 点击动作就是由单触摸点的按下和抬起两个基本动作以一定的时间间隔阈值, 先后顺序操作组合得到的。

通过对触点的坐标和相关时间参数进行处理, 可以得到速度 v (表示手势移动的快慢)、角度 Φ (表示手势移动的方向)、加速度 a (表示手势移动的趋势) 和触点距离 d 等触摸点的运动特征参数, 触摸手势可以根据运动特征参数判断得出^[9]。在实际交互中, 应根据人的自然操作习惯定义双手交互动作。

3.2 多通道整合策略

指挥控制中的人机交互过程, 可以看作是指挥人员和指挥设备两个信息加工处理装置通过信息传递协同运作, 完成一定的任务的过程, 因此多通道整合采用基于任务模板最优匹配的整合策略^[7]。根据任务模板中原子操作涉及的数据内容, 可以分为确定型原子操作和未确定型原子操作两类。确定型原子操作指该原子操作的数据是确定的, 不需要其它信息就能进行准确的操作。未确定型原子操作指该原子操作的数据是不确定的, 需要在其它信息的辅助下才能准确操作。以多点触摸自然手势和语音双通道交互为例, 由于触摸手势交互原子操作中的数据是确定的坐标, 因此在系统中涉及的手势原子操作都是确定型原子操作。语音原子操作如表 1 所示, 其中模糊指代的语音都是未确定型原子操作, 需要和其它原子操作一起才能获取它们指代的具体位置或对象。

表 1 语音通道原子操作
Tab. 1 Atomic operation in speech channel

操作	描述
$s: Act$	表示动作的语音
$s: Attri$	表示对象属性的语音
$s: Obj$	表示对象的语音
$s: U$	位置指代
$s: U: P$	模糊指代的语音
$s: U: O$	对象指代

用 \odot 表示原子操作间的数据整合, g_{ij} 表示第 i 个用户的第 j 个手指形成的手势触摸原子操作; $|g_i|$ 表示第 i 个用户在屏幕上手指的个数; s_i 表示第 i 个用户的语音原子操作; $|s_i: U: O|$ 表示第 i 个用户发出的语音原子操作指代的对象数目。根据这些原子操作, 给出不同原子操作间的整合规则:

规则 1 当一个用户发出一个位置指代语音原子操作时, 如果该用户有且只有一个手指触摸到屏幕, 则用该触摸点的坐标表示两者的整合结果。即

$$\begin{aligned} \text{if } |g_i| = 1, \text{ then } s_i: U: P \odot g_i &= g_i. Position \\ \text{if } |g_i| \neq 1, \text{ then } s_i: U: P \odot g_i &= Null \end{aligned}$$

规则 2 当一个用户发出一个对象指代语音原子操作时, 如果指代对象个数和用户触摸点个数均为 1, 则处于触摸点位置的对象就是整合的结果; 如果指代对象个数和用户触摸点个数均大于 1, 则处于触摸点位置的对象集合就是整合的结果; 其它情况下均不能整合。即

$$\begin{aligned} \text{if } |g_i| = 1, |s_i: U: O| = 1, \text{ then } s_i: U: P \odot g_i &= GetObject(g_i. Position) \\ \text{if } |g_i| \neq 1, |s_i: U: O| = 1, \text{ then } s_i: U: O \odot g_i &= Null \\ \text{if } |g_i| = 1, |s_i: U: O| \neq 1, \text{ then } s_i: U: O \odot g_i &= Null \\ \text{if } |g_i| > 1, |s_i: U: O| > 1, \text{ then } s_i: U: O \odot g_i &= \bigcup_{j=1}^n GetObject(g_{ij}. Position) \end{aligned}$$

规则 3 同一个用户的位置指代语音原子操作无法与该用户的其它语音原子操作进行整合, 整合的结果为空($Null$)。即

$$s_i: U: P \odot (s_i: Attri | s_i: Obj) = Null$$

规则 4 同一个用户的对象指代语音原子操作与该用户其它语音操作整合的结果是具有不同属性的对象的交集。即

$$s_i: U: O \odot \left(s_i: Attri \mid s_i: Obj \right) = \bigcap_{i=1}^n GetObject \left(s_i: Attri \mid s_i: Obj \right)$$

通过以上规则可以实现位置或对象指代的双通道整合。当位置或对象获得正确指代之后,如果表示动作的语音 $s: Act$ 与手势操作不一致时,通过交互上下文对冲突进行判别。如果仍无法判别,则通过系统外部反馈给用户,由用户自行选择哪个操作是正确的。

3.3 多人协作机制管理

协作机制管理是多人协作交互顺畅的基础,指挥控制中的多人协作交互模式一般来说有4种:串行模式、并行模式、串并混合模式、穿插模式。以两人协作研讨为例,交互模式如图4所示。

用CSP模型^[8]将这四种任务分配模式进行描述,设进程 $USER1_MTC$ 、 $USER2_MTC$ 分别为用户1、用户2与系统的交互过程,则这4种任务分配模式的CSP描述为

- (1) 串行模式: $USER1_MTC; USER2_MTC$
- (2) 并行模式: $USER1_MTC \parallel USER2_MTC$
- (3) 串并混合模式: $USER1_MTC \parallel USER2_MTC;$
 $USER1_MTC; USER2_MTC$
- (4) 穿插模式: $USER1_MTC \parallel \parallel USER2_MTC$

由于态势和情报分析是指挥控制中多人多通道交互的主要操作,针对这类操作的特点分两种情况考虑:

情况1 当多人协作交互的操作对象为同一态势图或情报时,任务分配只能采用串行模式。因为多个用户同时对同一个活动对象进行操作,系统将不知该响应哪一个用户的交互事件,导致不可预知的错误;

情况2 当多人协作交互操作的是相对独立的对象时,任务分配可以选择上述任意四种模式之一。

协作控制主要是针对情况1进行的。此时将系统控制权看成一种“资源”,任意时刻该资源最多只能被一个用户所获取。多用户协作交互时,采用“服务等待”策略来解决控制权冲突,即用户对系统进行操作时,首先向系统提出操作申请,若系统控制权被占用,则该请求进入等待序列,直到前一个用户完成操作释放系统控制权后方可进行操作。

4 案例与实验

4.1 案例与实验设置

根据对指挥控制多人多通道人机交互模型的分析,实现了交互原型系统,应用于指挥控制中的态势和情报分析研讨任务。该系统基于“双手触摸交互触控平台”^[9]实现,支持多点触摸,可以实现自然手势输入和多人协作交互。系统采用自然语音和双手触摸手势两个交互通道。其中,语音通道使用语音识别软件 MS Speech SDK 5.1,采用关键词提取技术,即将用户声音数据流中的关键词语识别提取为字符串,作为交互操作的命令。双手触摸手势通道采用与“双手触摸交互触控平台”配套的 SenciTouch 光感应识别来完成。系统通过定义的触摸手势既可完成独立的任务,也可以与语音通道配合完成态势和情报分析研讨任务,主要操作包括态势图和图片情报的查看与标注。为了检验原型系统多人多通道交互的易用性和协作性,设置以下案例场景:

为完成某军事任务,需要通过多种运输方式将部队输送到集结地域。××日××时刻,情报系统收到其它情报单位发送过来的运输沿途的卫星图片和其它情报信息。按照处理流程,参谋A对发送过来的情报信息进行分类整理。整理时,参谋A发现其中一张卫星图片显示某支运输部队前方将经过的山区由于连续大暴雨天气造成了地形的变化,因此,参谋A将该卫星图片放大并加上标注后转给参谋B

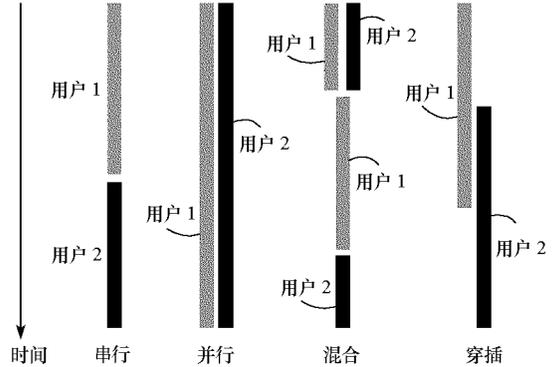


图4 协作任务分配模式

Fig. 4 Assignment model of collaborative task

观看。参谋 B 为了对情况有更进一步的了解,在资料库中调取了该地区的历史卫星图片进行对比,并将不同之处标注出来。两个参谋研讨后认为需要将该情况上报,由指挥员进行决策。

在该场景中,针对图像情报的交互操作主要涉及图片的缩放、旋转、比对、分发、分类以及随意标注等,具有较强的代表性,每个交互操作及其所采用的交互通道如表 2。实验采用多人多通道交互原型系统和局域网互联的单人单机鼠标键盘系统作对比。

(1) 多通道操作实验

实验分别选择 5 名对相关交互操作熟悉的用户、5 名一般熟悉用户和 5 名陌生用户,先后完成如表 2 所述的六种交互操作。其中,熟悉、一般熟悉和陌生均是针对鼠标、键盘操作而言。实验开始前,为每位用户介绍基本操作,并给他们一段时间对多通道和鼠标、键盘两种交互方式进行熟悉。实验开始后,每人对每种交互操作使用两种交互方式各执行 10 次,取 10 次操作所花时间的平均值作为该用户的操作时间,然后将每组 5 名用户的操作时间取平均作为该组的操作时间。实验结束后,通过问卷对用户进行调查。

(2) 协作交互实验

协作交互实验是让 2 名用户分别在两个系统上分工合作完成所有交互操作内容。实验选择 5 组对相关交互操作熟悉的用户,让每一组完成对情报图片的所有交互操作,记录总时间,并进行用户调查。

表 2 实验交互操作描述

Tab. 2 Description of interaction operation in experiment

交互操作	描述	通道数	交互通道分工
缩放	将指定图片放大约两倍大小,再缩小至原图大小	单通道	手势完成所有操作
旋转	将指定图片顺时针旋转 90°,再逆时针旋转 90°	双通道	手势指定图片;语音指定“旋转”“顺(逆)时针”“90°”
比对	将两张图片拖曳至关注区域居中,进行比较	双通道	手势拖曳图片至关注区域;语音指定“居中”操作
分发	将图片发送到指定位置	双通道	手势指定图片;语音指定“发送”操作及发送位置
分类	对 4 类共 20 张图片进行分类	单通道	手势完成所有操作
随意标注	在图片上任意标绘一个矩形、一个圆、一个三角形	单通道	手势完成所有操作

4.2 实验结果与分析

在多通道操作实验中,图 5 是三组用户使用鼠标、键盘完成六种操作所需要的时间,图 6 是采用多通道系统通过语音和触摸手势方式完成交互操作所需要的时间。分析交互过程及图 5 中的数据可以发现,由于鼠标、键盘是精确和非直接操作的交互方式,对于从未或很少使用计算机操作图片的陌生用户而言,操作中大部分的时间花费在使用鼠标对图片进行控制上,而没有将注意力集中于如何完成任务,因此完成交互操作的时间明显比熟练用户和一般用户长。陌生用户完成六种交互操作比熟练用户平均多 2.3s。而对比图 6 的结果,多通道交互方式在不同熟练程度的人群中差异较小,并且完成交互操作的时间明显少于使用鼠标、键盘完成交互操作的时间,说明多通道交互在交互的自然性和高效性方面明显优于鼠标、键盘交互。

通过问卷调查,得到三组共 15 位用户对多通道交互自然性的评价,如表 3 所示。总体上用户认可多通道交互的自然性。但是,对鼠标、键盘操作熟练的用户对多通道交互的自然性认同程度不如其他两类用户。通过调查分析主要有两个原因:(1) 语音识别率有时候偏低,需要不时重复,时间一长会产生挫败感,而且计算机对用户自然语音的理解还存在不足;(2) 由于长期使用鼠标、键盘进行操作,换到多通道模式下反而不习惯用语音和计算机进行交流,说明鼠标、键盘对人的操作习惯影响巨大。因此,使用多通道人机交互方式不仅需要技术手段上进一步加强,也需要用户改变交互观念和交互习惯。

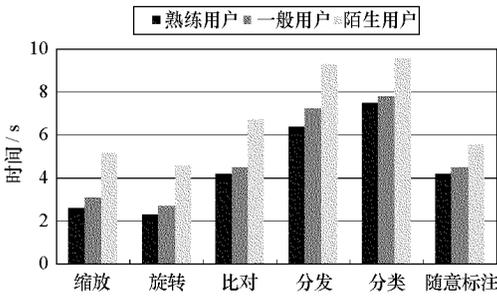


图 5 使用鼠标键盘交互操作的时间

Fig. 5 Time of interaction operation by mouse and keyboard

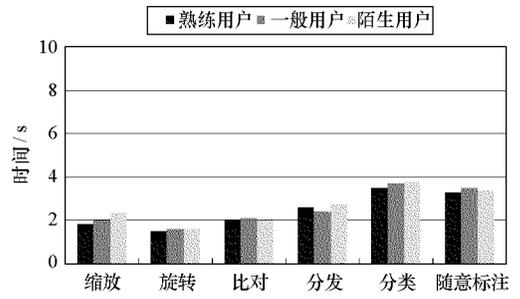


图 6 使用多通道交互操作的时间

Fig. 6 Time of interaction operation by multimodal

表 3 多通道交互自然性的调查结果

Tab. 3 Questionnaire results of multimodal interaction

组别	不好用	一般	好用	很好用
熟练用户	1	3	1	
一般用户		2	3	
陌生用户			3	2

图 7 是协作交互实验中, 5 组用户分别采用两个交互系统完成所有实验操作所需的时间。利用多人多通道系统花费的时间明显少于鼠标、键盘系统, 平均节省了 25. 4s。一方面是由于多通道交互的自然高效。另外一个重要方面是, 原型系统支持多人在同一平台上进行协作, 此时协作人员相互之间是面对面交流, 可以有效提高协作交互参与者之间的群体感知能力, 增强指挥人员的自觉协作性。例如参谋 A 很容易意识到参谋 B 所作的操作, 以及为什么执行当前的操作, 而自然采用最合适的交互去配合对方, 提高协作的效率。通过用户问卷调查, 80% 的用户认为多人多通道系统在协作性上明显优于鼠标、键盘系统, 使得工作效率得到了极大的提高。

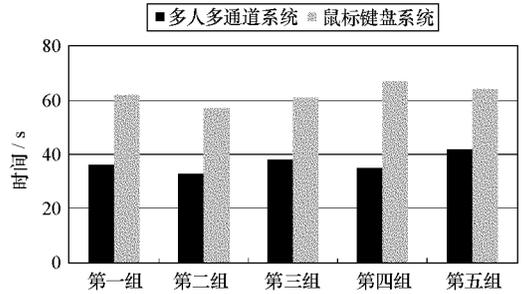


图 7 协作完成整个交互操作的时间

Fig. 7 Time of interaction operation by collaboration

5 结论

本文讨论了指挥控制人机环境中的人机交互问题, 通过分析指挥控制中人机交互要素及其相互之间的关系, 提出了应用于 C2 的多人多通道人机交互模型, 实现了多人多通道的交互原型系统, 使用基于多点触摸的双手手势和语音两个通道实现态势和情报分析任务。多人多通道交互可以有效满足指挥控制中人机交互的自然高效以及支持多人协作的要求, 实验和用户问卷调查的结果证实了这种交互方式的有效性。

参考文献:

- [1] 肖晓军, 等. 美国防部 CKISR 系统研究现状与展望[J]. 装备参考, 2003, (20): 5- 8.
- [2] 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志, 1990, 13(1): 3- 10.
- [3] 金鑫, 李元左. 综合集成法在联合作战中的应用[J]. 装备指挥技术学院学报, 2005, 16(6): 57- 60.
- [4] 司光亚. 战略决策综合集成研讨与模拟环境研究与实现[J]. 系统工程, 2000, 18(5): 79- 80.
- [5] Abowd G D, Beale R. Users, System and Interface: A Unifying Framework for Interacion[C]//Proceedings of HCF 91: People and Computers VI, 1991: 73- 87.
- [6] 凌云翔, 张国华, 李锐, 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.
- [7] 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.
- [8] Hoare C A R. Communicating Sequential Processes[M]. UK. UK Prentice Hall International Ltd, 1985.
- [9] 老松杨, 黄广连, 张国华, 等. 双手触摸交互触控平台[J]. 中国科技成果, 2009, 10(11): 58- 60.