

文章编号: 1001-2486(2011)04-0117-06

基于触摸屏的双手交互指挥技术应用研究*

廖虎雄¹, 老松杨¹, 邵宏韬², 刘 钢¹

(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:在未来指挥所中为降低指挥员认知负担、提升指挥效率,采用新型的双手交互指挥技术把指挥员的日常操作技能自然地映射到人机对话中,提高交互带宽。研究基于红外光感应的多点触摸手指识别与定位技术,分析双手触摸式自然交互技术及双手触摸式自然操作的状态模型,建立双手交互通用流程并设计实现了触摸式指挥研讨系统,把这些研究成果应用于一个指挥研讨操作案例,充分验证了这种交互方法的有效性。

关键词:未来指挥所;多点触摸;手指识别与定位;双手交互

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Application Research on Touch-based Two-handed Natural Interaction Command Technology

LIAO Hu-xiong¹, LAO Song-yang¹, SHAO Hong-tao², LIU Gang¹

(1. Science and Technology on Information Systems Engineering Laboratory, National Univ. of Defence Technology, Changsha 410073, China;

2. Department of Scientific Research of College of Military Transportation, Tianjin 300161, China)

Abstract: In CPOF, two-handed interaction which can increase the communication bandwidth applies commanders' common skills to the interaction with computers for releasing their cognitive burden and improving command efficiency. The research proposed studied key technology of infrared multi-touch recognition and position, analyzed the method of two-handed-touch-based interaction and its' state model, and discussed the model of two-hand interaction process. Finally, a touch-based two-handed command and discussion system was designed, and the result proved the validity of the interaction methods.

Key words: CPOF; multi-touch; finger recognition and position; two-handed interaction

多模态人机交互技术具有自然直观的人机交互能力、强大的协作支持能力等特点。双手触摸智能交互技术同多模态融合的输入/输出方式、多重感知信息融合技术等共同成为未来指挥所研究的重要内容^[1-2]。Buxton 和 Myers 在 1986 年进行了两组实验,分别完成定位/缩放、导航/选择的任务,得出了双手并行操作程度的合理增加能提高工作效率的结论^[3]。Guiard 于 1987 年提出了手操作的运动链模型^[4]。Kurtenbach、Hinckley 等也对双手输入进行了多方面的实验^[5],得出了一些实验结论。Bier 等研制了使用双手交互进行虚拟物体操作的 ToolGlass and Magic 系统^[6]。美国 Applied Minds 公司开出了集成 ArcInfo 软件的双手触摸交互系统 TouchTable,并已装备美军,它提供了高级的双手操作输入方式和可视化的能力,用于讨论和共享地理信息数据,能最大化地支持协

作指挥。微软公司推出了一款使用 5 个摄像装置的平面触摸式电脑 Surface,只需触摸其屏幕或拖动手指就可以操作这台电脑^[2]。在国内,中科院等研究机构对双手交互进行了研究,提出了适用于典型桌面设备组合的双手交互技术^[7,12]。国内的一些院校进行了基于数据手套的手势交互^[8]。

本文研究红外多点识别与定位技术以实现高精度的触摸屏输入,分析双手自然交互动作定义和互状态模型,研究双手交互认知流程,并通过实例验证了这种交互技术在指挥决策中的优势。

1 红外多点识别与定位技术

1.1 高分辨率红外探测与触摸定位

基于红外光感应多点识别的触摸屏由固定于屏幕外框左右两侧的两个红外线发射器与由电荷耦合器件 CCD 作为光探测器件构成的红外线接

* 收稿日期:2010-12-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60875048);国家 863 计划资助项目(2007AA01Z193)

作者简介:廖虎雄(1979—),男,讲师,博士生。

收器以及环绕屏幕边缘的回归反射材料组成^[1]。当手指、笔或其他指点触摸设备进入红外光场时会产生遮挡效应,从而在 CCD 的接收光带上出现了手指阴影和形状。如图 1 所示,发光二极管和 CCD 照相机以分层的形式集成为光传感器,上层是发光二极管,下层是 CCD 照相机。通常发光二极管的发射视角为 40°左右,系统采用四个发光二极管完成直角区域的全区域照射,它们相邻二者夹角为 30°左右。回归反射带是带状光学材料,表面分布了密集的回归反射颗粒,内表面是由光滑反射面构成的三个直二面角。红外光线进入回归反射颗粒后,经两次反射后沿原方向返回,由光传感器上的 CCD 照相机捕捉。

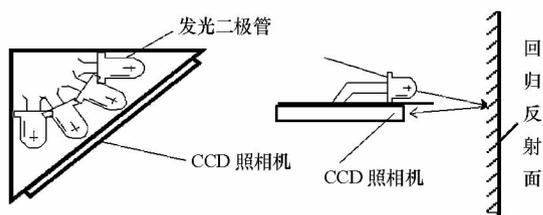


图 1 光传感器
Fig.1 Infrared sensor

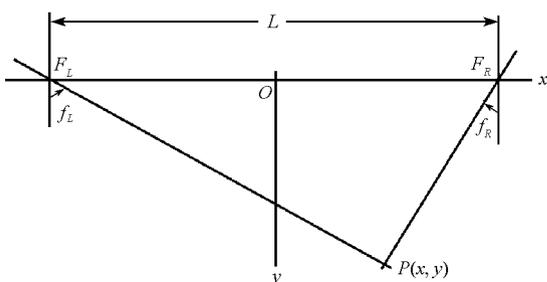


图 2 光感应识别技术

Fig.2 Finger recognition and position based on infrared

如图 2 所示,在光线回归反射后,红外光接收传感器获取手指的遮挡信息,利用三角定位算法进行触摸点的识别和定位。根据图上的参数可以将触摸点的位置计算公式定义为^[1-2]

$$\begin{cases} x = \frac{L(\tan f_L - \tan f_R)}{2(\tan f_L + \tan f_R)} \\ y = \frac{L}{\tan f_L + \tan f_R} \end{cases} \quad (1)$$

其中 L 是设计时的定长, f_L, f_R 的获取以及触摸定位的详细资料在文献[1-2]中进行了全面的论述。

1.2 光感应多点触摸识别

如图 3 所示,进行多点识别时,光感应触摸装置根据左右传感器拍摄到的手指的阴影来计算手指的坐标。当手指的位置为图中的位置 1、2 或者

3、4 时,左右传感器看到的手指阴影的位置是相同的,即探测结果完全相同,从而造成所谓的“诡点”现象。对于这种情况,本文采用分时和分区域相结合的方法,使得能够准确识别多个点。图 4 给出了系统消除两个点的“诡点”的处理流程。

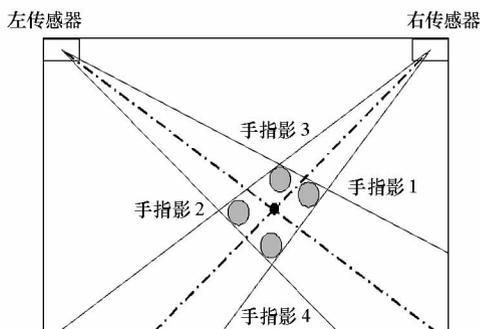


图 3 两点识别时的“诡点”现象
Fig.3 Mistaken recognition of two-finger

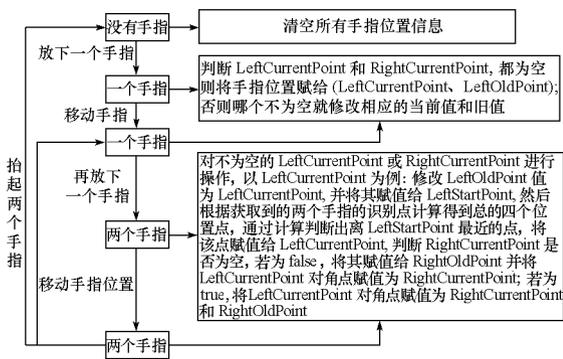


图 4 消除“诡点”的处理流程
Fig.4 The process to eliminate mistaken recognition of two-finger

2 双手触摸交互及模型研究

2.1 双手自然交互动作定义

双手对触摸屏的操作按照单双手的方式可分为单手操作和双手操作,按照双手在屏幕上的运动状态可以分为静止操作和移动操作。根据触摸识别技术的现状和实际研究的需要,通过对触摸手势操作的详细分类进行总结,形成了图 5 所示的树状结构图^[2,11]。其中双手掌相对位移、双手掌多指相对位移和双手单指相对位移又可再细分为变距和变角两种类型。

定义并设计实现了若干双手自然触摸操作。如图 6 所示,使用单个浅灰色小圆代表一个手指触摸点,深色的大圆代表单手掌触摸,三个手指触摸代表多指触摸。单手静止动作没有显式的操作反馈,用来控制模式的切换或状态的改变,如单手指选中某一对象静止后弹出操作菜单。单手移动

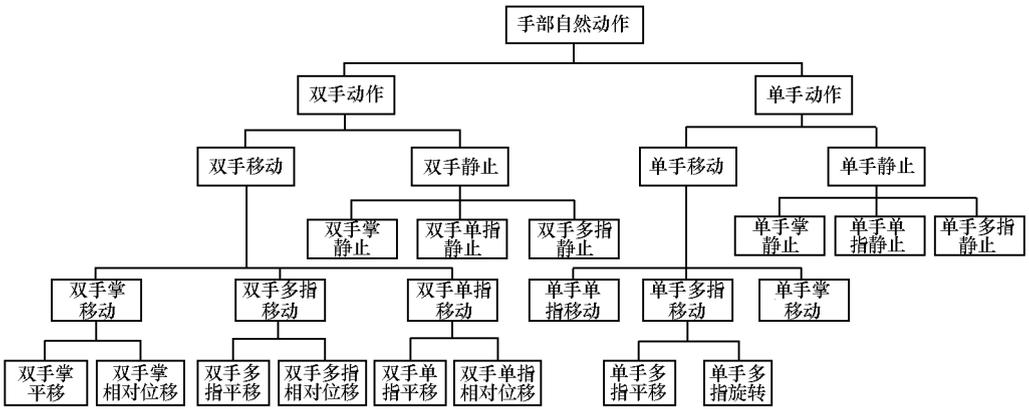


图 5 触摸手势树状分类结构图

Fig.5 The tree diagram of touch gesture classification

可细分为单指移动、多指移动以及单手掌移动。单指移动是指单个手指紧贴屏幕平面移动(图 7(a)), 可用来绘图或做态势图的漫游操作。多指移动符合指挥员拖动的习惯, 也可用来漫游态势图(图 7(c))。使用单个手掌在平面上移动常常是对平面上的非特定物体进行操作, 适用于作绘图中的面擦除(图 7(b))。图 7(d)所示的是单手以拇指为中心旋转的图示。双手自然操作也分为静止操作和运动操作。双手的运动操作分为双手平移即双手平动以及双手的相对运动。忽略不同的接触关系, 可以将双手的相对运动分为变距和变角两种运动。按变距和变角的方向性的不同再细分为双手合拢、双手分开、顺时针旋转、逆时针旋转四种操作(图 8)。

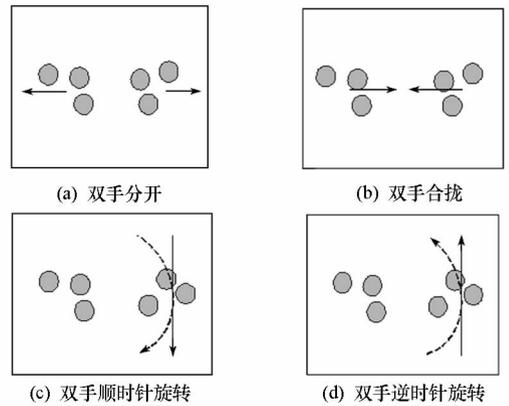


图 8 双手相对运动

Fig.8 Two-handed gesture

2.2 双手触摸式交互状态模型

三状态模型(Three-State Model)是 Buxton 提出用来描述计算机输入设备属性变化的状态转移模型, 它通过定义输入设备不同的状态以及状态之间的转移事件对交互设备进行建模^[9]。

定义 1 状态是图的节点, 代表触摸手势交互系统所能达到的状态, 用圆圈表示。

定义 2 转移弧用于描述状态间的转换过程和条件, 用带文字描述的有向弧表示。

定义 3 用户的交互操作转换在状态转移网络中表现为从任务的起始状态, 经过一系列可能的中间状态, 达到任务结束状态的状态转移序列。

对于指挥空间的操作对象而言, 需要关心的信息有三种: 点、线、面, 以此为依据对一个对象最多需要 3 个手指控制点, 根据每个点状态的不同定义了如表 1 所示的双手操作状态集合和含义^[2]。

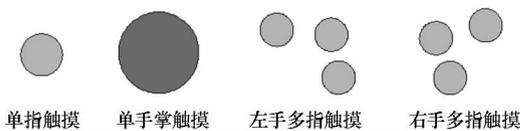


图 6 触摸操作图示

Fig.6 The symbol of touch gesture

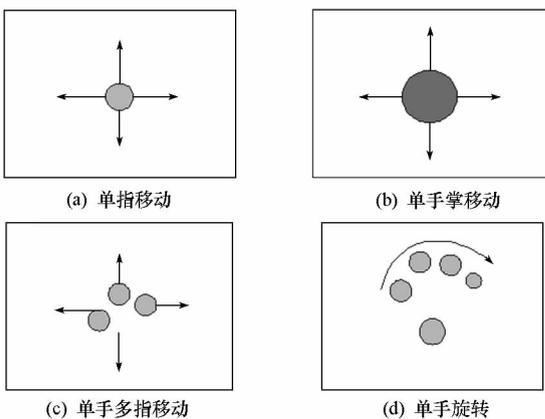


图 7 单手运动趋势

Fig.7 Single-handed gesture

3.1 双手触摸式指挥研讨系统结构

指挥研讨系统结构如图 11 所示,分为硬件层、通用程序层和应用层。通用程序层由多点定位与识别驱动程序、双手交互识别通用层和应用系统支撑软件三个模块构成;应用层在应用系统支撑软件的基础上可以与不同的指挥作业应用相结合,包括军事应用支撑层(如军事地理信息系统)及指挥研讨应用系统层。在规则控制的基础上,多个指挥员通过触摸式协作支持界面利用双手操作完成系统的交互与指挥控制,完成系统应用功能的使用。

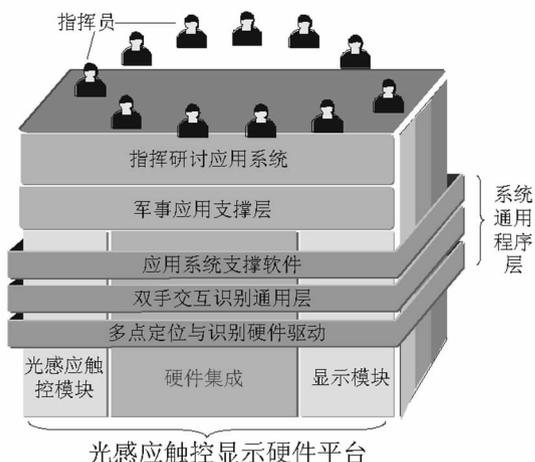


图 11 指挥研讨系统总体结构

Fig.11 Architecture of the command and discussion system

3.2 触摸式协作支持界面

传统的 WIMP 界面使用面向单用户使用的矩形方式单向显示,不支持协作。如图 12 所示,系统设计实现了在不同坐标系下的触摸式协作支持界面 FloatMenu,用于指挥研讨操作,以支持触摸模式环境下的多人协作研讨操作。FloatMenu 提供了上下左右四个方位的可旋转坐标系,可以满足四个方位的指挥员操作。以下坐标系统为基准,在其他三个方位的坐标系下 FloatMenu 的显示坐标可以通过变换进行确定,例如在右坐标系下,坐标的变换关系由下式确定:

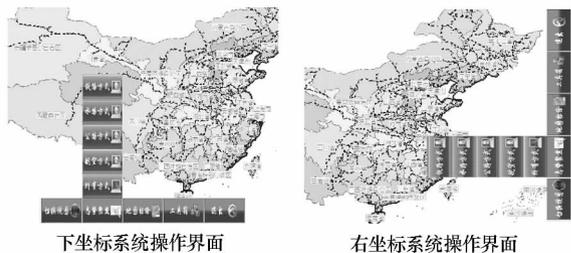


图 12 不同坐标系的操作界面

Fig.12 UI based on various coordinations

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & Resol_x / Resol_y \\ Resol_y / Resol_x & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ Resol_y \end{pmatrix} \quad (2)$$

其中 (x, y) 为逻辑坐标, (x', y') 为显示的设备坐标, $Resol_x$ 、 $Resol_y$ 分别为水平和垂直分辨率。同理,在左坐标系和上坐标系中坐标的变换关系分别为

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -Resol_x / Resol_y \\ Resol_y / Resol_x & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Resol_x \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Resol_x \\ Resol_y \end{pmatrix} \quad (4)$$

在这样的坐标系变换下,FloatMenu 可以灵活地控制其出现的方位,不同的研究者通过在自己私有区域激活当前方位的 FloatMenu 实现协同操作。

3.3 双手指指挥研讨操作

交互设计中要解决的首要问题是怎样建立所执行任务自由度(DOF)与用户效应器系统自由度的映射^[13]。为解决这个问题,参照运动链模型^[3],在双手触摸式指挥研讨系统设计中假定指挥员为右手手的条件下,建立如下的指挥员行为原则:

- (1)右手相对于左手进行工作,即左手为右手提供了参照框架。
- (2)右手具有更精细的空间和时间等级,即右手比左手有更小的活动振幅和更短的运动周期。
- (3)一项动作往往是从左手开始,而以右手结束。

在指挥员的绘制操作中,线段、椭圆和矩形都需要指定两组坐标值 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 。使用双手触摸,可以一次性控制四个自由度,同时确定两个坐标点的坐标值。指挥员可以使用单个手指进行军标绘制(图 13(a))。矩形是由左上角和右下角两点确定的,指挥员同时用两个手在图上移动两点以对矩形进行微调(图 13(d))。在圆的绘制过程中,左手确定圆心的位置,右手指定圆周上的点,调整两个点的位置以确定整个圆的位置和大小(图 13(c))。在研讨系统中,单手掌在平面上移动是对面上物体绘制内容进行面擦除图(13(b))。

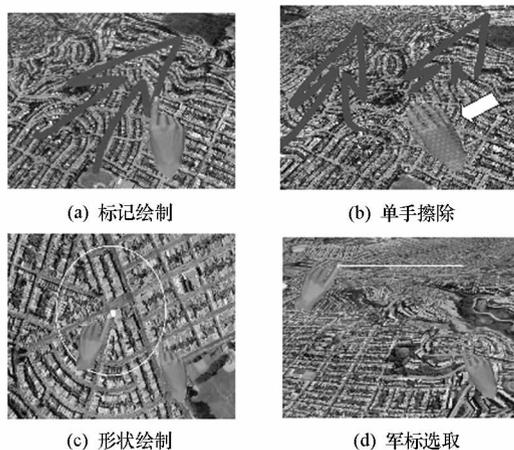


图 13 标记绘制操作
Fig. 13 Marking Operation

4 结论

从红外光感应多点识别与定位的关键技术出发,探讨了双手触摸式自然交互技术,并对双手触摸式交互流程进行了建模分析,这一过程充分利用了人的认知习惯和行为方法。案例的使用表明:使用本文所述的交互方法能够自然高效地操作系统和协作指挥,并且在使用过程中能够无心智障碍地利用多通道方式进行人机交互,降低了指挥员在作战态势理解和指挥决策过程中的认知负担,有利于指挥员间的协同工作,并发挥指挥员的指挥艺术和操作技能,有效提高协作指挥效率。

下一步需要重点研究触摸的形状、位置、运动轨迹等特征信息,发现更符合指挥员操作习惯的动作,并建立这些动作的典型军事应用。同时需要对协作指挥过程进行深化研究,建立基于双手交互方式的多人协同操作机制和任务分解机制,更大幅度地提高多指挥员协作指挥的效率。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Buxton W, Myers B. A Study in Two-handed Input[C]//Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Boston, Massachusetts, United States, 1986:321-326.
- [4] Guiard Y. A Symmetric Division of Labor in Human Skilled Bimanual Action: The Kinematic Chain as a Model[J]. The Journal of Motor Behavior, 1987, 19(4):486-517.
- [5] Hinckley K, Czerwinski M, Sinclair M. Interaction and Modeling Techniques for Desktop Two-handed Input[C]//Proceedings of the 11th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, San Francisco, California, USA, 1998:49-58.
- [6] Eric A B, Stone M C, Pier K, et al. Toolglass and Magic Lenses: The See-through Interface [C]//Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, Anaheim, CA, 1993:73-80.
- [7] 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.
- [8] 田艺.基于数据手套的双手手势交互[D].杭州:浙江大学,2006.
- [9] Buxton W. A Three-state Model of Graphical Input [C]//Proc. INTERACT'90, 1990: 449-456.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Casalta D, Guiard Y, et al. Evaluating Two-handed Input Techniques: Rectangle Editing and Navigation[C]//CHI'99 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, Pittsburgh, Pennsylvania, 1999: 236-237.