

基于多点触摸的交互手势分析与设计 *

张国华, 衡祥安, 凌云翔, 老松杨

(国防科学技术大学 C4ISR 技术国防科技重点实验室, 长沙 410073)

摘 要: 提出了基于多点触摸的交互手势分析与设计方法。引入触摸手势元动作, 采用接触面类型和状态及运动方式描述触摸手势, 给出了简单触摸手势的统一描述框架, 并提出了交互手势与交互任务的映射规则, 将手势定义和手势意图联系起来。向交互设计者提供一种系统化和标准化的方法, 提高了交互手势设计的通用性。

关键词: 人机交互; 多点触摸; 元动作; 交互手势

中图分类号: TP11

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2010)05-1737-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.05.037

Interaction gesture analysis and design based on multi-touch surface

ZHANG Guo-hua, HENG Xiang-an, LING Yun-xiang, LAO Song-yang

(Key Laboratory of C4ISR Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: This paper proposed an approach of analysis and design for interaction gesture based on multi-touch. This approach introduced the meta-action of touch gesture. Made the touch gesture description using touch-style and touch-state/motion types, and presented the uniform description framework of simple touch gesture. It gave out that the mapping rules between interaction gesture and interaction task, which linked the gesture definition and the gesture meaning. The description of touch gesture gave the interaction designers a systematic and standard method to improve the generalization of interaction gesture design.

Key words: human-computer interaction; multi-touch; meta-action; interaction gesture

0 引言

传统的人机交互方式以图形化交互界面(GUI)为主要表现形式,在这种交互模式下,鼠标操作成为计算机操作的主要手段,但是鼠标操作是一种单手操作,并且是对人自然手势动作的一种人为的扭曲,致使无法将自然生活中所学习得到的双手操作技能充分应用于人机交互来降低交互过程中的认知负担,因此人们逐渐重视双手交互操作的相关研究。Buxton 等人^[1]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操作者的工作效率的结论。Guiard^[2]在 1987 年提出了手操作的运动链模型(kinematic chain model)。由于当时技术条件所限,没有支持同时多点输入的设备,这些研究都是双手操作不同的交互设备进行的。但是日常生活中,人在更多情况下会使用双手协同对同一事物进行操作,即使在计算机中,双手操作实质上也是对同一对象进行的。此外,双手使用不同的输入设备难免引起操作复杂、双手难以协调的问题,从而导致认知负担过重,无法将用户在自然生活中的直观感受和双手操作经验更好地应用于计算机操作。

随着技术的发展,特别是近几年,多点触摸交互技术为人机交互领域带来了新的突破^[3~6]。多点触摸交互技术能支持同时多点触摸输入,使得触摸手势输入和多人协作交互成为了可能,可以提高交互的智能性、协作性和自然性,也推动了人机

界面逐渐由图形用户界面(GUI)向自然用户界面(NUI)的转变。将双手手势动作定义成人们在日常生活中常用的自然动作并用来操作计算机,可以大大减少操作者的认知负担,降低学习操作的门槛。

触摸手势交互作为一种更自然的人机交互方式,它符合用户的认知,提高了交互的自然性,因此也有研究人员逐渐关注触摸手势交互^[7~9],但是很少有对触摸手势进行一般化的定义和设计,即使有也是基于某一特定平台或由任务出发确定交互手势。如果能够提出一种通用的手势分析与设计框架,使得交互设计者能够深入了解多点触摸平台中所有可能的手势,并能从中选择出对其有用的手势为应用系统服务,将大大提高交互手势的设计、识别和应用便利性及普适性。本文引入多点触摸手势元动作,从简单手势出发建立统一的交互手势定义与描述,并提出了交互手势与交互任务的映射规则,力图向交互设计者提供一种系统化和标准化的方法,可以针对不同的多点触摸平台和应用,方便快捷地设计交互手势。

1 基于多点触摸的手势元动作

基于多点触摸的双手交互与基于多传感器、计算机视觉的双手交互不同,后两者是三维手势交互,而触摸手势是一个二自由度的手势。因为无论多点触摸交互平台的工作机理和表现形式如何,从本质上讲都是一个平面的交互平台。基于多点触摸的手势动作,是双手触摸交互过程中根据单手或双手手指

收稿日期: 2009-10-26; 修回日期: 2009-11-26 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60875048); 中国博士后科学基金资助项目(20090451557); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20094307120015)

作者简介: 张国华(1976-),男,河南洛阳人,博士后,主要研究方向为人机交互、信息系统、电子技术(zghnudt@gmail.com); 衡祥安(1981-),男,江苏扬州人,博士研究生,主要研究方向为人机交互、指挥决策分析; 凌云翔(1972-),四川成都人,教授,博士,主要研究方向为智能指挥空间、指挥决策分析; 老松杨(1968-),广东南海人,教授,博导,博士,主要研究方向为多媒体技术、人机交互、指挥决策分析。

在触摸平台表面的触摸状态、触点位置或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,具有平面二自由度的触摸手势,实际上是由一组在空间上检测到的触点 P 和与之相关的一组时间参数 T 组合而成的。依据触摸点特征对手势动作进行分析,可以脱离对具体多点触摸平台的依赖,提高动作分析的普适性,使其可以适用于不同类型的硬件平台环境。

触摸手势元动作是指构成触摸手势的不可再分的动作。显然,触摸手势元动作一定是单个触摸点的动作行为。单个触摸点的状态可以使用四个属性构成的数据结构进行表示:

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

其中:PID = {1, 2, ...}, 表示在当前系统检测到的多个触摸点中本触摸点的序号,依据该序号,使得连续记录该点的相关位置和时间参数成为可能;Touch_State = {0, 1}, 表示触摸点相对于屏幕的状态,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,当 Touch_State = 0 即未接触屏幕时,显然坐标为 NULL,当 Touch_State = 1 即接触时,为系统检测处理后得到的坐标 $P(x, y)$;Time 表示触点状态或位置发生变化时的时间参数,可以通过检测系统时间得到。

通过 Touch_State 和 Point_Coordinate 的改变可以形成四个基本的元动作,即按下、驻留、抬起三个状态动作和移动一个运动动作,如表 1 所示。需要说明的是,由于移动是绝对的,对于驻留的判断标准并不是严格的坐标值不发生变化,而是触点坐标在可接受的阈值范围内没有移动(即用户感官上认为未发生变化)。

表 1 元动作说明

元动作	说明		类型
	是否接触屏幕	坐标是否变化	
按下	否→是	—	状态动作
驻留	是	否	状态动作
移动	是	是	运动动作
抬起	是→否	—	状态动作

四种元动作之间的状态转移可以用图 1 表示。图中圆圈中的数字代表触摸点的数目。触摸点由 0→1 代表按下动作,由 1→0 代表抬起动作,驻留和移动则依据位置参数和时间参数作出判断。其中,按下、驻留和抬起三个元动作是触点的状态动作,移动是触点的运动动作。

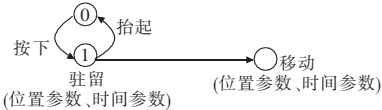


图 1 元动作的状态转移图

触摸手势动作实际上是手指在触摸平台表面所做的元动作组合的时序队列,即手势动作是元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元动作以一定的时间间隔阈值,先后顺序操作组合得到的。元动作的组合可以是状态动作之间的组合(如上例),也可以是运动动作之间的组合,还可以是状态动作与运动动作之间的组合。当然,触摸手势并不是元动作的任意组合,因为触摸手势是为人机交互服务的,因此组合而来的触摸手势必须符合人的认知习惯和操作习惯。

2 触摸交互手势描述

触摸交互手势的元动作是依据系统检测到的触摸点状态参数得到的,不具有系统意义,是从“机”的角度看触摸手势。

而从“人”的角度来看,根据人行为学原理,可以将二自由度的触摸交互手势分为简单手势和复杂手势两大类。其中简单手势是基于多点触摸的交互手势中具有系统意义的手势动作基本集,复杂手势可以由简单手势组合而成。本章将重点讨论简单手势的定义。首先明确简单手势定义的约束规则:简单手势仅指单手动作;简单手势集合中不包含重复动作;某个简单手势不包含其他简单手势。

可以从两个方面描述简单手势:a)手与屏幕的接触面类型;b)手在屏幕上根据元动作组合而来的状态与运动方式。根据手与屏幕的接触面类型,将接触面分为连续和离散接触面两类。连续接触面是指手与屏幕的接触面是连续的,中间没有空隙,如单指触摸、手掌触摸、拳头触摸等。虽然触摸接触面积上有区别,但本质上可以认为它们是单点触摸,因此此类接触面在运动的过程中,所有接触点的运动方式是一致的。离散接触面是指手与屏幕的接触面是不连续的,中间存在空隙,如双指触摸、三指触摸等,此类接触面是多点触摸。简单手势接触面划分示意如图 2 所示。



图 2 手与多点触摸交互平台接触面类型

手在屏幕上的状态及运动方式由元动作组合成,既包括基本的按下、驻留、移动、抬起动作,也包括由元动作组合而成的,符合人认知习惯与操作习惯的手势动作。对于连续接触面而言,手的运动方式是一致的,包括压下、驻留、抬起和向同一方向移动,即上面分析的元动作。对于离散接触面来说,手的运动方式要复杂得多,它既可能是每一个连续接触面做相同的运动,也可能是每一个连续接触单元做各自不同的运动。但是,这些运动均可以采用不同的元动作根据时间序列进行组合而得到,并且这些运动方式也不是无限制的,受到人的肌肉结构和行为习惯的制约。因此可以根据人的行为习惯将离散接触面的运动方式在元动作的基础上作合理组合,并遵循简单手势的约束规则,从而将其划分为:触摸状态转换;所有接触面向同一方向移动;部分连续接触面按下,其他连续接触面移动;接触面互相靠近、远离或相对旋转等,如表 2 所示。

表 2 简单手势描述

接触面类型	状态及运动方式
连续接触面	一指
	手掌
	部分手掌
	拳头
离散接触面	竖直的手掌
	二指
	三指
	四指
	五指
按下 驻留 移动 抬起	
触摸状态的转换; 同一方向移动;(A) 部分接触面按下,其他移动;(B) 互相靠近;(C) 互相远离;(D) 相对旋转;(E)	

在交互手势设计过程中,只需选择一种接触面类型和对应的状态或运动方式,按照简单手势的规则约束,便可组合出人们在交互过程中可能采用的简单触摸手势。比如如果选择二指触摸方式,除了所有手指同时按下、驻留、向同一方向移动和离开外,还包括一指压下一指点击、一指压下一指移动、两指互

相靠近或远离、两指相对旋转等。

根据简单交互手势的定义,可以用状态转移图对简单手势进行统一的描述,把不同的接触面类型和不同的运动方式定义为不同的状态,然后根据状态之间的转换来定义手势。不同接触面之间状态的转换,如图 3 所示,不同的接触类型和触摸点个数代表不同的状态, N 是手指的个数。

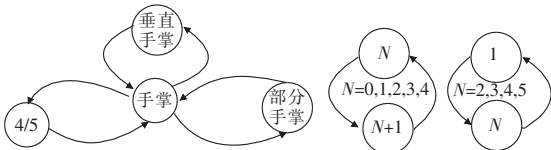


图 3 触摸状态转换

将由运动动作组合而来的运动方式用 A、B、C、D、E 表示,分别代表所有接触面向同一方向移动、部分连续接触面按下其他移动、接触面互相靠近、互相远离、相对旋转,如表 2 所示。这些运动方式可以根据触摸点的运动特征判断得出。进行运动特征判断时,可以根据不同的运动方式定义不同的参数,如速度(表示手势移动的快慢)、角度(表示手势移动的方向)、加速度(表示手势移动的趋势)等,这些参数都可以通过对触点的坐标和相关时间参数进行处理得到。在对触摸状态和运动方式进行分类之后,可以对简单手势进行统一的框架描述,如图 4 所示。对于连续接触面(一指、手掌、部分手掌、竖直手掌和拳头),只有表 2 中的运动方式 A;对于离散接触面(二、三、四、五指),则包含表 2 中的所有运动方式。

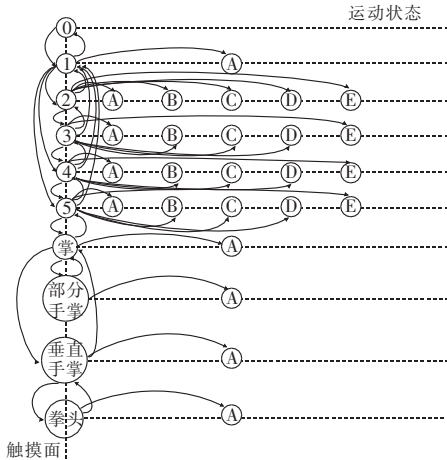


图 4 统一的简单手势定义框架

根据上述定义和描述,可以很方便地用实现通用的简单手势识别算法,使其可以用于不同的多点触摸交互平台和应用系统。

对于复杂手势而言,它是由简单手势组合而成的。一种组合方式是在空间上加入另外一只手,另一种组合方式是在时间上将多个简单手势叠加起来。在进行手势组合的过程中,仍然要考虑用户的习惯,如在空间上加入另一只手时,用户习惯于做双手对称的操作或者一只手固定另一只手做运动。两只手做不同的运动对用户来说很难适应,如一手画方,一手画圆,这并不符合人的认知习惯,因此自然触摸手势应不包括这些情况。

3 交互手势与交互任务的映射

触摸交互手势的定义只是说明交互手势是什么,但是却不能说明交互手势能够干什么(即手势意图)。为了完成交互手势设计,还必须明确交互手势具备什么样的交互功能,这是通过与具体交互任务的映射实现的。

交互任务是指用户在与计算机进行交互的过程中所要达到的目的,交互任务说明用户在交互过程中想要干什么,即交互动机。交互任务的产生与具体的交互平台无关,而与应用系统背景密切相关。当应用系统确定后,用户在交互过程中可能产生的所有交互任务也随之确定,如在照片浏览中,交互任务包括放大、缩小、旋转照片和对(一堆)照片的收拢、分发、移动等。

在从交互手势向交互任务进行映射的过程中,需要遵循以下原则(按照优先级顺序排列):

- a) 直觉性原则——所制定的映射关系必须符合用户直觉和认知。
- b) 无二义性原则——在制定映射关系时,应保证不管是对用户还是计算机而言,手势与任务的映射不会产生歧义。
- c) 简单直接原则——应尽量用最简单的方法或者少的步骤完成所有交互任务,是自然交互的必然要求。

直觉性原则保证了所制定的手势交互方式是以用户为中心的,这是人机交互设计中最重要原则。比如在照片操作中,能将双手分开映射为放大照片操作,但是如果将其映射为缩小照片操作,用户会感到不适应,因为它违反了用户在现实世界的认知。

为了满足直觉性原则,有时需要将同一手势映射到不同的交互任务。此时如果直接映射,将会产生二义性,即当做同一手势时,计算机不知该如何处理。此时,需要为同一手势映射到的不同交互任务设计不同的交互上下文,以此作为手势处理的依据。

同样,也存在将多个手势映射到一个交互任务,只要不与第一条原则冲突,都是被允许的,因为它增强了交互方式的兼容性,可以适应不同人群的交互习惯。图 5 是照片浏览中触摸手势与交互任务的映射实例。

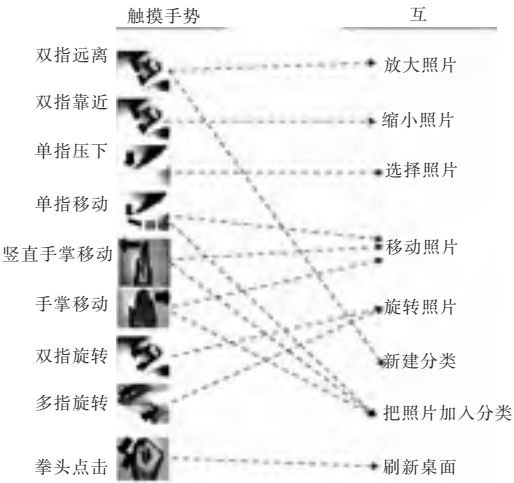


图 5 照片浏览中的映射关系定义

4 结束语

对基于多点触摸的交互手势进行分析,可以从状态动作和运动动作的角度将交互手势分解为四种元动作,利用接触面类型、状态和运动方式对触摸手势进行一般化的描述。通过该描述,设计人员可以很方便地选择一种接触面类型和对应的运动方式,组合出交互过程中采用的简单触摸手势,从而提高触摸交互手势设计的可重用性。在交互手势和交互任务映射规则的帮助下,快速有效地进行面向应用系统的自然触摸交互手势的设计。

血浆采集界面过程如图 7 所示,系统界面上部有表示八个工作阶段的状态图标,处于当前阶段的图标下文字标志为红色,不同阶段中间区域显示是不同的,图中为血浆采集阶段界面显示,在此阶段,89C51 会实时传送与采集有关的数据,并在 EM9000 上显示,当系统出现报警时,89C51 会送来报警状态帧,EM9000 解析后在中间区域显示,在状态图标下方是进度条,供操作员查看。周围为供操作员控制系统的操作按钮,点击它,EM9000 通过串口向 89C51 发送相应的控制命令。参数设置界面如图 8 所示,这里用户可以修改参数,首先向 89C51 发送参数接收命令 B215ccccE,89C51 随后传送八个参数给 EM9000,EM9000 将其显示出来,当用户通过软键盘修改参数后,点“存储”按钮时将参数以帧方式传送给 89C51,并传送一个命令帧 B212ccccE 表示长期有效,同时将参数保存在本地,供血浆采集时使用,传送完后系统自动关闭参数设置界面;当用户点“本次”按钮时,系统工作过程与点“存储”按钮基本相同,发送命令帧为 B213ccccE。系统自检界面如图 9 所示。首先,EM9000 向 89C51 发送自检命令帧 B216ccccE,89C51 接收到后,测试并传回检测状态帧,共计 15 个,如果测试未通过,会传送回错误帧,并报警,用户可以点“下一项”按钮,以检测下一个项目。

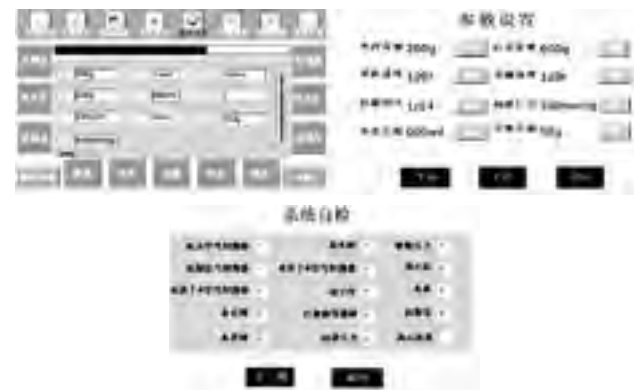


图 9 系统自检界面

3 结束语

基于串口构建了一个嵌入式监控的单采血浆机智能系统,该系统由于采用触摸屏技术和 Windows 界面技术,使得系统操作方便性大大提高;采用保留原单片机系统基本不变,将其作为下位机,增加高端嵌入式平台作为上位机,由此形成一个嵌

入监控系统结构,将传统计算机技术与现代计算机技术相结合,实现了优势互补;采用层次结构构建系统,使得系统结构清晰,降低了开发难度,提高了系统可靠性与稳定性;采用固定帧长技术降低了通信程序复杂性;基于正则语言的帧校验法,改变了传统通信过程中使用帧中加校验字段方法来校验帧,提高数据传送效率,可以节省通信资源;基于串口的带队列的自动重复请求协议,确保了通信可靠性与用户操作透明性;嵌入式监控协议将原来一个复杂的监控程序变成了简单的多分支程序,其结构变得非常清晰,程序的调试、功能的扩充和修改变得更加容易,也提高了系统可靠性。随着嵌入式技术的应用推广,本系统的设计思想具有一定的应用领域。

参考文献:

[1] 孙以泽,姚玉峰,林志安. 血浆单采仪的研究[J]. 仪器仪表学报, 2003,24(4):375.-379

[2] 鲁力,张波. 嵌入式 TCP/IP 协议的高速电网数据系统[J]. 仪器仪表学报,2009,30(2):405-409.

[3] 康海霞,高殿斌,杨满. 微细线材缠绕机的可视化控制[J]. 自动化仪表,2009,26(9):58-60,63.

[4] REFERENCE S. Dynamic control and embedded monitoring [EB/OL]. [2009-01-20]. <http://website. ec-nantes. fr/sirehna/document/control. pdf>.

[5] GOSWAMI A,BEZBORUAH T,SARMA K C. Design of an embedded system for monitoring and controlling temperature and light[J]. International Journal of Electronic Engineering Research, 2009, 1 (1):27-36.

[6] GOSWAMI A,BEZBORUAH T,SARMA K C. Design of an embedded system for monitoring and controlling temperature[C]//Proc of International Conference on Emerging Technologies and Applications in Engineering, Technology and Science. 2008;105.

[7] GOSWAMI A,BEZBORUAH T,SARMA K C. Design and implementation of an embedded system for monitoring and controlling the intensity of light [C]//Proc of the 2008 International Conference on Embedded Systems and Application. [S. l.]; ESACSREA Press, 2008: 117-123.

[8] 章琛曦,陈亚珠,陈耀武. 电梯嵌入式监控终端的设计与实现[J]. 自动化仪表,2005,26(1):44-46.

[9] 雷晓平,罗海天. 嵌入式 PC 为节点的分布式监控系统的实现[J]. 计算机应用研究,2004,21(5):131-132.

[10] ANDREW S. 计算机网络[M]. 潘爱民,译. 北京:清华大学出版社,2004:187.

[11] SIPSER M. 计算理论导引[M]. 张立昂,等译. 北京:机械工业出版社,2000:21.

[12] 汪兵,李存斌,陈鹏. EVC 高级编程及其应用开发[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005:223.

(上接第 1739 页)

参考文献:

[1] BUXTON W,MYERS B. A study in two-handed input[C]//Proc of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems. New York; ACM Press,1986:321-326.

[2] GUIARD Y. Asymmetric 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.

[3] DIETZ P,LEIGH D. DiamondTouch: a multi-user touch technology [C]//Proc of the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. New York; ACM Press, 2001:219-226.

[4] JEFFERSON Y H. Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection[C]//Proc of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. New York; ACM Press, 2005:315-319.

[5] Microsoft Corp. Microsoft surface[EB/OL]. [2008-02-05]. [http://](http://www.microsoft.com/surface/index.html)

www.microsoft.com/surface/index.html.

[6] 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.

[7] WU M,BALAKRISHNAN R. Multi-finger and whole hand gestural interaction techniques for multi-user tabletop displays[C]//Proc of the 16th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. New York; ACM Press,2003:193-202.

[8] WU M,SHEN C,RYALL K, et al. Gesture registration, relaxation, and reuse for multi-point direct-touch surfaces[C]//Proc of the 1st IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer System. Washington DC; IEEE Computer Society, 2006:183- 190.

[9] HENG Xiang-an, LAO Song-yang, LEE H, et al. A touch interaction model for tabletops and PDAs[C]//Proc of Workshop on Designing Multi-touch Interaction Techniques for Coupled Public and Private Displays. 2008:9-13.