

A Multi-Touch GIS Interaction Gesture Recognition Method*

Bo Wan, Dongxue Zhao, Gengdai Liu, Xiu Wen

School of Computer Science and Technology, Xidian University, Xi'an
Email: wanbo@xidian.edu.cn

Received: Feb. 6th, 2013; revised: Feb. 25th, 2013; accepted: Mar. 11th, 2013

Copyright © 2013 Bo Wan et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: This paper describes a GIS (Geography Information System) system based on multi-touch technology. The system uses the Rear-DI technology to build touch platform, and transfers touch point data by TUIO (Table-Top User Interfaces Objects) protocol between the tracking module and GIS module. Some multi-touch gestures corresponding to common GIS operation and its state transition model are defined in the system. According to these definitions, a track-based gesture recognition method is given. This method can recognize the trajectory into correct interaction gestures and operate the GIS through MapX.

Keywords: Multi-Touch Technology; GIS; TUIO; Gesture Recognition

一种多点触摸 GIS 交互手势识别方法*

万波, 赵冬雪, 刘更代, 阚琬

西安电子科技大学计算机学院, 西安
Email: wanbo@xidian.edu.cn

收稿日期: 2013年2月6日; 修回日期: 2013年2月25日; 录用日期: 2013年3月11日

摘要: 本文描述了一个基于多点触摸技术的 GIS (Geography Information System)。该系统利用 Rear-DI 技术搭建触摸操作平台, 通过 TUIO (Table-Top User Interfaces Objects) 协议在触点追踪模块和 GIS 模块之间传递触点信息。系统定义了几种常用 GIS 操作对应的多点触摸手势及其状态转移模型。在此基础上给出了一种基于触点轨迹的手势识别方法。该方法能够将触点轨迹识别成有效的交互手势并通过 MapX 操作 GIS。

关键词: 多点触摸技术; GIS; TUIO; 手势识别

1. 引言

在多点触摸技术中, 基于计算机视觉和光学的多点触摸技术在反应速度和触摸精确度方面比基于电容、电阻、表面声波等技术具有一定优势。NUIGroup 给出了五项可以搭建稳定的基于计算机视觉和光学的多点触摸平台的技术^[1]: FTIR、Front and Rear-DI、LLP、LED-LP、DSI。微软的“Microsoft Surface”采

用的是 Rear-DI, 用了若干个投影仪、数码照相机及红外线感应器实现。Jefferson Y. Han^[2]推出的多点触摸感应器, 使用了 FTIR 技术, 适用于大型的互动显示设备, 如: 互动墙、互动桌面; Yue Shi^[3]等人开发的 uTable 平台也是采用红外光、照相机和投影仪搭建, 在此基础上他们同时开发了 JuTable, 应用于多人文件共享系统上。廖虎雄^[4]等人开发的触摸式指挥研讨系统, 也是采用红外光和照相机完成平台搭建, 应用于军事地理信息系统。

目前, 基于计算机视觉和光学的多点触摸技术已

*基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2011JQ8015), 西安市科技攻关项目(CXY1118(2)), 西安电子科技大学高校基本科研业务费(72114346)。

经在多种触摸识别系统中得到了应用，但是将多点触摸技术与 GIS 结合使用的应用很少，除了使用电阻或电容式触摸屏的小型移动设备外，绝大多数桌面 GIS 仍然使用鼠标和键盘进行操作。例如，徐承志^[5]等人在 ArcGIS 平台上设计的基于 GIS 系统的空间查询语言，曲艳红^[6]等人使用 MapGIS 技术开发的国土资源电子政务系统，王德文^[7]等人使用 MapX^[8,9]控件开发的地理信息系统，宋雪源^[8]等人开发的基于 MapX 的 GPS 位置信息实时标注系统等。

本文给出的多点触摸 GIS 采用了 Rear-DI 技术，系统由计算机、红外摄像头和投影仪构成，可通过手指直接操作 GIS，使用户体验更加直观。系统定义了 GIS 操作对应的多点触摸手势及其状态转移模型，通过一种基于触点轨迹的手势识别方法将触点轨迹识别成有效的交互手势，并通过 MapX 完成对 GIS 的操作。论文的贡献包括：

1) 开发了一个可通过手直接操作的 GIS，该系统相对于传统的 GIS 系统具有更好人机交互特性和用户体验。

2) 定义了 GIS 操作对应的多点触摸手势及其状态转移模型，在此基础上给出了一种基于触点轨迹的手势识别方法，该方法能快速准确的识别多点触摸操作手势。

2. 基于红外多点触摸技术的 GIS 平台概述

2.1. 基于红外多点触摸技术的 GIS 平台

该平台包括硬件和软件两个部分。硬件部分主要包括：850 nm 红外光发射管阵列、触摸屏(亚克力材质)、摄像头、计算机和投影仪。红外光发射管阵列提供红外光源，触摸屏用来显示 GIS 地图和接受用户触摸操作，摄像头用来捕获手指反射的红外光图像，计算机完成触点跟踪，手势识别以及手势操作对应 GIS 的地图点击、放大、缩小等功能，投影仪则用于显示最终处理结果。软件部分总要包括 GIS 模块和触点追踪模块。图 1 给出了基于多点触摸技术的 GIS 平台架构。

2.2. 基于红外多点触摸技术的 GIS 工作流程

红外光源从触摸屏下方照亮触摸平面，投影仪将 GIS 地图投影在触摸屏上，当有手指触摸到地图表

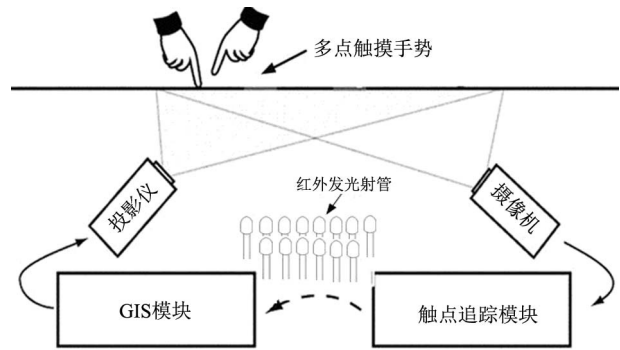


Figure 1. Architecture of multi-touch GIS
图 1. 基于红外多点触摸技术的 GIS 平台

面时，在触摸点处反射的光线多于背景反射的光线，这样便会产生阴影，阴影被摄像头捕捉并被触点追踪模块识别为触点，触点追踪模块把这些触点数据进行归一化处理转换成触点的坐标信息。触点坐标信息以可触摸的用户界面协议(Table-Top User Interfaces Objects, 简称 TUIO)^[9,10]格式通过 Socket 通信方式传给 GIS 模块，GIS 模块负责接收数据包，按照 TUIO 协议格式分析数据包相应字节信息，以得到触点的 id、x 坐标、y 坐标、x 方向上的速度、y 方向上的速度和触点的加速度。

GIS 模块中使用两个列表分别存储触摸平面上的当前所有触点信息和离开触摸平面的触点信息，同时依据触点的加速度变化情况，可得出触点的状态信息，包括出现、消失、停止、加速、减速等。若触点的状态是出现，则记录新触点信息；若是停止，则为静止触摸操作；若是消失，则销毁触点信息；如果是其他状态则需要更新触点信息，存储触点的新坐标。GIS 模块根据触点的状态和坐标集合分析触点运行轨迹形状，识别出触点手势，然后匹配手势对应的 GIS 操作，通过 MapX 完成相应的 GIS 操作，最后通过投影仪在触摸屏上显示手势对 GIS 地图的最终处理结果。

3. 多点触摸手势定义和状态转移模型

多点触摸交互手势按照手指在触摸屏上的运动状态可以分为静态手势和动态手势，静态手势指单个手型，而动态手势指手指动作，对应空间里的一条轨迹。按照触点个数的多少可以分为单点手势和多点手势，单点手势指一个触点，多点手势指有多个触点。定义多点触摸操作手势^[11,12]可以依据这两个特性进

行, 根据手指的具体动作可定义为单点和多点手势、触摸和移动手势, 同时需要将手势映射到 GIS 系统中的具体功能上, 表 1 给出了系统中定义的手势和对应的 GIS 操作。

根据表 1 可以建立如图 2 所示的状态转移模型。当系统从外界接受事件后, 可以从一个状态转移到另一个状态。初始状态为空状态, 即状态 0, 当有一手指接触屏幕时, 可进入单指触摸状态 1, 认为是模拟鼠标的单击操作; 按照接触屏幕的手指移动的形状, 可以分别进入状态 2、3, 静止重新返回状态 1; 在状态 1 的情况下, 当有另一只手接触屏幕时, 系统可进入两指触摸状态 4, 从状态 4 根据两指相对移动的变化方向分别进入状态 5、6, 两指静止重新返回状态 4。当有手指离开屏幕时, 系统将根据剩余的手指的状态进行转移, 当所有手指离开屏幕时, 回归状态 0。

Table 1. Multi-touch operation gesture
表 1. 多点触摸操作手势

状态	手势名称	手指动作	地图操作
0	空状态	无	无触摸状态
1	单指触摸	静态单指触摸	对象选取, 如显示图例、帮助等
2	单指平移	手指水平、竖直或倾斜沿直线运动	向不同方向移动地图
3	单指折线移动	手指沿着折线运动	计算地图上多个点之间的距离
4	两指触摸	静态二指触摸	计算地图上两点之间距离
5	两指分离	两指同时背离运动	地图按比例放大
6	两指靠拢	两指同时相向运动	地图按比例缩小

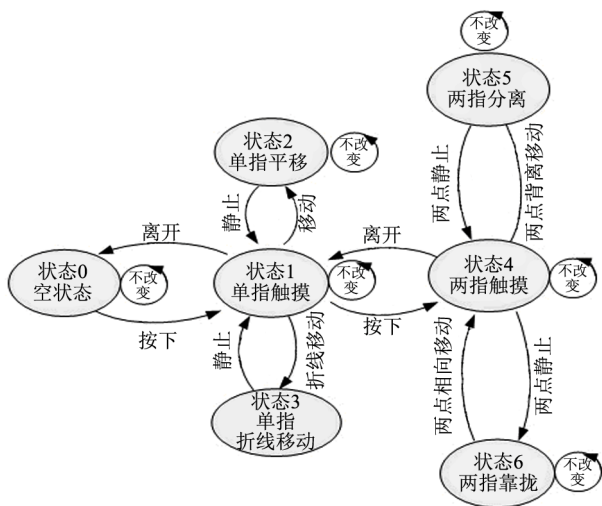


Figure 2. The state transition model of gesture
图 2. 触摸操作手势状态转移图

4. 基于触点轨迹的手势识别方法

在根据触摸手势的触点个数, 运动状态进行分类的基础上, 给出了一种基于触点运行轨迹的手势识别方法。该方法实时采集和处理触点位置坐标, 手势操作完成后(所有触点均离开触摸屏)输出触摸手势结果, 响应时间比较短, 无论是静态手势还是动态手势, 都能保证较高的正确识别率。手势识别方法的流程如图 3 所示。

在识别该算法中, 依据触点在触摸屏上停留的时间是否在有效时间范围内判断是否为有效触点(有效停留时间为 800~1200 ms^[11])。对于有效触点, 依据触点移动距离是否在阈值 s_1 范围内判断为动态手势和静态手势。即, 若触点移动距离小于 s_1 , 为静态手势; 否则为动态手势。

对于静态手势, 依据静止触点的个数判断手势。若是 1, 则为单指触摸手势; 若是 2, 则为两指触摸手势; 若多于 2, 则为无效触点。

对于动态手势, 依据触点间相对运动距离是否大于阈值 s_2 来判断是否有相对运动。若相对运动距离大于阈值 s_2 , 则为有相对运动; 否则为无相对运动。

若有相对运动, 依据触点间相对移动距离的变换情况, 判断为分离手势和靠拢手势。若相对距离变大则为分离手势; 否则为靠拢手势。

若无相对运动, 先将多个移动触点的运动轨迹模糊化处理为一个移动触点的运动轨迹。然后依据该有

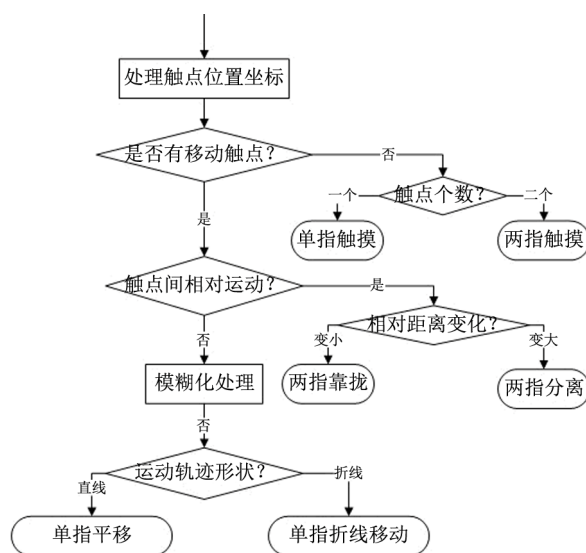


Figure 3. The flowchart of gesture recognition method
图 3. 手势识别方法流程图

Table 2. The results of recognition experimental
表 2. 实验结果

正 确 斜率 手 势 率 阈 值	单指触摸	单指平移	单指折线移动	两指触摸	两指分离	两指靠拢
$K_x = 0.01, K_y = 1$ $s_1 = 1, s_2 = 2$	52%	35%	25%	50%	48%	46%
$K_x = 0.10, K_y = 4$ $s_1 = 2, s_2 = 4$	90%	86%	82%	90%	90%	92%
$K_x = 0.15, K_y = 6$ $s_1 = 5, s_2 = 10$	99%	96%	95%	97%	98%	98%
$K_x = 0.2, K_y = 10$ $s_1 = 8, s_2 = 15$	99%	90%	94%	96%	97%	96%
$K_x = 0.3, K_y = 15$ $s_1 = 15, s_2 = 20$	99%	80%	95%	96%	82%	80%

效运动轨迹的形状判断手势。若轨迹是折线形状，则为单指折线移动手势；若轨迹是一条直线，则为单指平移手势，可根据直线斜率范围(x 轴的斜率范围是 $-K_x$ 到 K_x ; y 轴的斜率范围是 K_y 到 $+\infty$, 和 $-K_y$ 到 $-\infty$) 和触点移动方向判断为单指平移手势中的水平向右手势、水平向左手势、垂直向下手势、垂直向上手势、右下方手势、右上方手势、左下方手势和左上方手势。若移动触点的运行轨迹为其他形状，则为无效操作。

在手势识别过程中，还需要记录相应触点坐标，用来为点击操作、计算两点间距离提供准确位置数据。若为单指折线移动手势，还需要记录运行轨迹中折点的坐标，其余手势不需要记录。

5. 系统测试

在基于红外多点触摸技术平台的 GIS 中，对表 1 定义的单指触摸、单指平移、单指折线移动、两指触摸、两指分离、两指靠拢手势进行 500 次识别实验，结果如表 2 所示。

由表 2 中的数据可得出，手势识别的正确率与手势识别算法中的阈值大小(s)和斜率大小(k)的设置有很大关系，用户可根据客户端应用的精确度要求调整阈值大小和斜率范围，使正确率达到最高。本文中使用的 $K_x = 0.15$ 、 $K_y = 6$ 、 $s_1 = 5$ 、 $s_2 = 10$ 达到了比较高的识别正确率。

6. 结论

本文给出了一个基于红外多点触摸技术的 GIS。

该系统利用 Rear DI 技术搭建触摸操作平台，通过 TUIO 协议在触点追踪模块和 GIS 模块之间传递触点轨迹。在定义 GIS 操作对应的多点触摸手势及其状态转移模型基础上，提出了一种基于触点轨迹的手势识别方法。实验表明该方法在设定恰当的时间和距离阈值条件下能够将触点轨迹识别成有效的交互手势，并通过 MapX 完成对 GIS 的操作。此外，由于采用了多点触摸人机交互技术，该系统相对于传统的 GIS 系统具有更好人机交互特性和用户体验。

7. 致谢

本论文由陕西省自然科学基金项目(批准号: 2011JQ8015)，西安市科技攻关项目(批准号: CXY1118(2))和西安电子科技大学高校基本科研业务费(批准号: 72114346)联合支持。

参考文献 (References)

- [1] A. Teiche, A. K. Rai, C. Yanc et al., 著, 张海云, 刘得志, 张振邦, 译注. 多点触摸技术手册中文版[M], 2009. www.mt21.com
- [2] J. Y. Han. Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection. Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, Seattle, 2005: 115-118.
- [3] Y. Shi, C. Yu and Y. C. Shi. Finger Gesture Interaction on Large Tabletop for Sharing Digital Documents among Multiple Users. The 2008 First IEEE International Conference on Ubi-Media Computing, Lanzhou, 31 July-1 August 2008: 8-13.
- [4] 廖虎雄, 老松杨, 邵宏韬, 刘刚. 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.
- [5] 徐承志, 许承瑜, 钱铁云. 基于 GIS 系统的空间查询语言[J]. 计算机科学, 2010, 37(6): 206-210.
- [6] 曲艳红, 孙秀平, 勾鉴. 基于 MapGIS 开发的国土资源电子政

- 务系统[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(3): 156-158.
- [7] 王德文, 赵文清. 基于 MapX 的地理信息系统的设计与实现[J]. 微机发展, 2003, 13(5): 59-61.
- [8] 宋雪源, 李建文, 马国元, 孙助龙, 李军正. 基于 MapX 的 GPS 位置信息实时标注系统[J]. 海洋测绘, 2011, 31(1): 58-60.
- [9] TUIO 1.1 Protocol Specification [URL]. <http://tuio.org/>
- [10] M. Kaltenbrunner, T. Bovermann, R. Bencina and E. Costanza. TUIO: A protocol for table-top tangible user interfaces. Proceedings of the 6th International Workshop on Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation (GW 2005), Vannes, 2005.
- [11] 凌云翔, 张国华, 李锐, 叶挺. 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] 王鹏, 黄广连, 老松杨, 凌云翔. 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.