

文章编号:1007-2780(2014)01-0077-06

投射电容式触摸屏自适应检测系统的设计

童华梁,林志贤*,郭太良

(福州大学 物理与信息工程学院,福建 福州 350002)

摘要:为了减少投射电容式触摸屏互电容的检测数量,提出了一种自适应检测算法,并对该算法进行分析和验证。将整个投射电容式触摸屏抽象成一个网格,互电容为网格横纵的交错点。分析网格横纵 2 个方向变阈值的自适应扫描,并将其与逐行扫描法进行对比。设计出以 FPGA 为控制核心、外加检测电路的自适应检测系统对该算法进行验证。实验结果表明,对电极间距为 1 mm,驱动区为 71×54 的投射电容式触摸屏,在识别点数分别为 3、2、1 时,与采用传统的逐行扫描法相比,采用自适应检测法需要的检测次数分别相应地减少为 1/5.0、1/6.5、1/10.4,有效地缩短了触摸信息的检测时间,对投射电容式触摸屏在大尺寸方向的发展与应用有积极意义。

关键词:投射电容式;互电容;自适应检测

中图分类号:TN873;TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142901.0077

Design of adaptive detection system of projected-capacitive touch-screen

TONG Hua-liang, LIN Zhi-xian*, GUO Tai-liang

(College of Physics and Information Engineering of Fuzhou University,
Fuzhou 350002, China)

Abstract: In order to reduce the detection times of the mutual capacitance of projected-capacitive touch-screen, an adaptive detection algorithm is proposed, parsed and validated. First of all, the entire projected-capacitive touch-screen is abstracted into a grid, and each crossing point of the grid represents a mutual capacitance. Then an adaptive scanning method based on variable threshold in both directions is analyzed and contrasted with the progressive scanning method. Finally, an adaptive detection system is designed, which includes a FPGA as the center control unit and other detection circuit to verify the algorithm. Experimental results show that compared with traditional progressive scan method, the detection number of adaptive detection method needs correspondingly reduce for 1/5.0, 1/6.5, 1/10.4 respectively under the conditions that the identification points is from 3 to 1 and the projected-capacitive touch-screen which electrode spacing is 1 mm and the driving area is 71×54 . The detection time of touch information is effectively shorten, which is meaningful for projected-capacitive touch-screen's development in the direction of large-size application.

Key words: projected-capacitive; mutual capacitance; adaptive detection

收稿日期:2013-07-19;修订日期:2013-08-11.

基金项目:国家“863”重大专项(No. 2012AA03A301, No. 2013AA030601);国家自然科学基金(No. 61101169, No. 61106053);福建省自然科学基金(No. 2011J01347)

* 通信联系人, E-mail: lzx2005000@163.com

1 引言

在信息技术时代,触摸屏由于能够直接集成到显示屏幕上,使产品更加轻便智能,从而为消费者提供更加舒适、直观的用户界面,变得越来越受欢迎。在众多种类的触摸屏当中,投射电容式触摸屏由于其线性度、耐用性、灵敏度等都比较良好,而且能够支持多点触控,正受到越来越多的关注^[1-3]。

投射电容式触摸屏的感应区域上布置有多个按 X、Y 方向排列的电极,通过检测这些电极之间的互电容变化可以知道多个手指的触摸位置或动作^[4-6]。传统上采用交叉点逐行扫描的方法检测电容触摸屏的互电容^[7]。然而,随着消费类电子产品的发展,触摸屏的尺寸不断增加,其感应电极的密度越来越大,数量越来越多,如果依然采用传统的交叉点逐行扫描方法检测,则导致触摸屏每一帧所需的检测时间增多,降低了触摸屏的灵敏度^[8]。针对该情况,本文提出一种自适应的检测方法,可以在保证检测精度的条件下提高检测速度。

2 投射电容式触摸屏检测原理

投射电容式触摸屏的电极分为驱动电极与感应电极,驱动电极与感应电极之间存在交互电容。当手指触摸电容屏表面时,人的手指与触摸屏之

间会形成耦合电容,导致触摸点的电容值发生变化,相应的感应电极接收到的电荷减少,感应电压下降,犹如一块平原处产生低谷,如图 1 所示。通过检测电压的变化可以判定触摸动作的发生。

为了定位触摸动作发生的位置,需在驱动电极依次发射方波信号,在感应电极依次接收信号,它扫描的次数为 $N_R \times N_C$ (N_R 为 R 方向的电极数, N_C 为 C 方向的电极数)。由于发射和接收分时进行,故它可以消除“鬼点”,实现 2 点以上同时触摸^[9]。

3 自适应检测算法设计与分析

3.1 算法设计

由于在操控触摸屏时手指与触摸屏的接触面积之和远小于触摸屏的面积(尤其是在大尺寸触摸屏情况下),即触摸屏大部分的区域都是平原区,只有少数的点处于低谷区。因此在逐行扫描的过程中,大部分的时间都不会检测到电容的变化,只有少数区域才能检测到电容的变化。如果可以先粗略确定产生低谷的区域,排除掉平原区,然后在低谷区仔细搜索,确定接触点的轮廓,则可以大大加快搜索速度。

根据这种思想,本文提出一种自适应的检测算法,这种自适应算法先在平原区快速搜索,确定出低谷区后再仔细搜索低谷区,达到快速和精细的目的。这种检测算法的基本原理如下:

(1) 将整个触摸屏抽象成一个网格,网格的交叉部分为需要检测的互电容。

(2) 从原点位置 (C_1, R_1) 开始,先选取一个较大的步长 L (该步长为约为手指的宽度),沿着 C 方向进行搜索,如果检测到某点超出阈值则记录该点的位置和值,未超出则继续向前搜索。

(3) 变更起点, L 恢复原值,从位置 ($C_1, R_{1+N \times L}$) (N 为整数) 开始,检测的方式如同步骤 (2),直到 C 和 R 方向都检测完。

(4) 对于由 (2)、(3) 步确定的超出阈值的点,逐次将其取出,以当次取出的点为原点,将步长 L 减为原来的一半,沿着轴的 $R+$, $R-$, $C+$, $C-$ 的方向分别进行检测,检测到有接触则可认为这 $L/2$ 长度的点都有接触,以新的点为起点继续搜索,否则将 L 继续减半进行搜索,依次类推,直到 $L=1$ 。

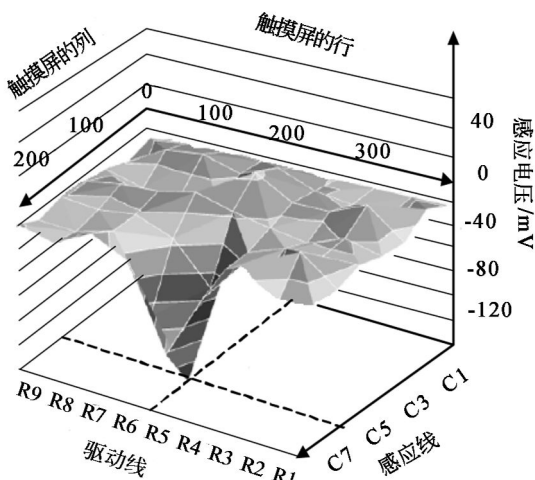


图 1 触摸时的感应电压图

Fig. 1 Induced voltage when touch the screen

3.2 算法分析

假设有一个 15×15 的投射电容式触摸屏,将其抽象成一个纵横交错的网格,如图 2 所示。

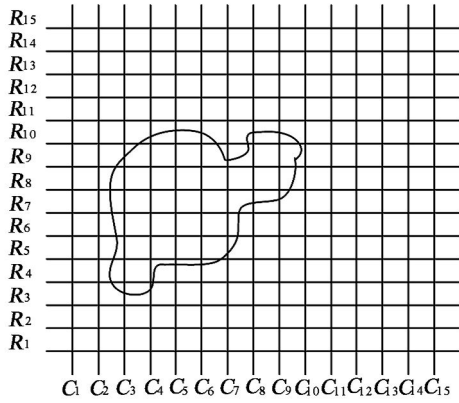


图 2 投射电容式触摸屏电极

Fig. 2 Electrode of projected capacitive touch screen

整个搜索过程如下:

先进行初步的定位搜索:

(1)以 (C_1, R_1) 为搜索起点,搜索步长 $L=4$,搜索方向沿 C 轴方向,依次检测点 (C_5, R_1) (C_9, R_1) (C_{13}, R_1) ,在检测完点 (C_{13}, R_1) 时加上步长 L ,发现超出 C 方向电极的范围,将步长减半后与之前的位置相加,检测点为 (C_{15}, R_1) ,这些点均没有发生接触,故无需记录,总共检测 5 次;

(2)分别以 (C_1, R_5) (C_1, R_9) (C_1, R_{13}) (C_1, R_{15}) 为搜索起点,搜索步长 $L=4$,搜索方向沿 C 轴正方向,依次检测点 (C_5, R_5) (C_9, R_5) (C_{13}, R_5) (C_{15}, R_5) , (C_5, R_9) (C_9, R_9) (C_{13}, R_9) (C_{15}, R_9) , (C_5, R_{13}) (C_9, R_{13}) (C_{13}, R_{13}) (C_{15}, R_{13}) , $C_5, R_{15})$ (C_9, R_{15}) (C_{13}, R_{15}) (C_{15}, R_{15}) ,这些点中有接触的为 (C_5, R_5) , (C_5, R_9) , (C_{13}, R_9) , (C_{13}, R_{13}) ,总共检测 20 次;

所以在以步长 $L=4$ 的扫描中,总共的检测次数为 25 次。

然后搜索其横向边缘点:

(1)以 (C_5, R_5) 为搜索起点,搜索步长 $L=2$,沿 $C-$ 方向搜索,搜索到 (C_3, R_5) (C_1, R_5) ,其中 (C_1, R_5) 由于已检测过不再进行检测,在 (C_3, R_5) 上发现有接触;将 L 减为 $L=1$ 继续以 (C_3, R_5) 为起点搜索,检测到 (C_4, R_5) 没有接触,记录横向边缘点 (C_3, R_5) ,总共检测 2 次;

(2)以 (C_5, R_5) 为搜索起点,搜索步长 $L=2$,

沿 $C+$ 方向搜索,搜索到 (C_7, R_5) ,检测到该点没有接触,将步长减为 $L=1$,以 (C_5, R_5) 为搜索起点继续搜索,检测到 (C_6, R_5) 有接触,记录横向边缘点 (C_6, R_5) ,总共检测 2 次;

(3)检测 (C_5, R_4) ,该点没有接触,则记录边缘点 (C_5, R_5) ,检测的次数为 1;

(4)检测 (C_5, R_6) ,该点有接触,继续第 1 步和第 2 步方法搜索和检测,检测点的顺序为 (C_3, R_6) (C_1, R_6) (C_2, R_6) (C_7, R_6) (C_9, R_6) (C_8, R_6) ,记录横向边缘点 (C_3, R_6) (C_7, R_6) ,总共检测 7 次;

(5)检测 (C_5, R_7) ,该点有接触,继续第 1 步和第 2 步方法搜索和检测,检测点的顺序依次为 (C_3, R_7) (C_1, R_7) (C_2, R_7) (C_7, R_7) (C_9, R_7) (C_8, R_7) ,记录横向边缘点 (C_3, R_7) (C_7, R_7) ,总共检测 7 次数;

(6)检测 (C_5, R_8) ,该点有接触,继续第 1 步和第 2 步方法搜索和检测,检测的顺序依次为 (C_3, R_8) (C_1, R_8) (C_2, R_8) (C_7, R_8) (C_9, R_8) (C_{11}, R_8) (C_{10}, R_8) ,记录横向边缘点 (C_3, R_8) (C_9, R_8) ,总共检测的次数为 8;

(7)检测 (C_5, R_9) ,该点有接触,继续第 1 步和第 2 步方法搜索和检测,检测的顺序依次为 (C_3, R_9) (C_1, R_9) (C_2, R_9) (C_7, R_9) (C_9, R_9) (C_{11}, R_9) (C_{10}, R_9) ,记录横向边缘点 (C_3, R_9) (C_9, R_9) ,总共检测的次数为 8;

(8)检测 (C_5, R_{10}) ,该点有接触,继续第 1 步和第 2 步方法检测,检测的顺序依次为 (C_3, R_{10}) (C_2, R_{10}) (C_7, R_{10}) (C_6, R_{10}) ,记录横向边缘点 (C_2, R_{10}) (C_6, R_{10}) ,总共检测的次数为 5;

(9)检测 (C_5, R_{11}) ,该点没有接触,记录边缘点 (C_5, R_{10}) ,检测的次数为 1;

在第一次的横向搜索中总共的检测次数为 $2+2+1+7+7+8+8+5+1=41$ 次;

依次取出横向边缘点,由于这些点的横向已经确认为边缘点,即这些点的左边或者右边至少且只有一边没有触摸,为确定触摸轮廓,再对这些横向边缘点进行纵向检测。

(1)以 (C_3, R_5) 为搜索起点,搜索步长 $L=2$,沿 $R-$ 方向进行搜索,检测到 (C_3, R_3) 为不接触点,将步长改为 $L=1$ 继续以 (C_3, R_5) 为搜索起点搜索,得到 (C_3, R_4) 为纵向边缘点,记录该纵向边缘点 (C_3, R_4) ,由于沿 $R+$ 方向的 (C_3, R_5) 已检测

过,故无需检测总共搜索 2 次;

(2) 由于除了 $(C_3, R_9)(C_4, R_{10})(C_6, R_{10})(C_9, R_8)(C_9, R_9)$ 这些横向边缘点外,其余在横向搜索时已经进行纵向搜索,所以分别以这些点为起点进行纵向搜索,对这些点进行纵向检测共需要 14 次,并且得到新的纵向边缘点 (C_9, R_{10}) ;

(3) 对得到的纵向搜索点 $(C_3, R_4)(C_9, R_{10})$ 再进行横向搜索,共需要检测 4 次,又得到新的横向搜索点 $(C_4, R_4)(C_8, R_{10})$;

(4) 对得到的横向搜索点 $(C_4, R_4)(C_8, R_{10})$ 再进行纵向搜索,共需要检测 8 次,没有得到新的横向搜索点,搜索完毕;

总共需检测 $2+14+4+8=28$ 次。

如果采用逐行扫描的方式,该触摸屏总共需要的检测次数为 $15 \times 15 = 225$ 次,而采用自适应检测方法则只需要 $25+41+28=94$ 次,提高近一倍多。通过以上分析可知,屏幕越大,触点越少,所提高的扫描速度越多。

4 实验设计与验证

4.1 程序设计

系统软件主要包括定位搜索,横向搜索和纵向搜索 3 部分。定位搜索使用横向搜索与纵向搜索,目的在于取得有触摸位置的点,缩小下一步要检测的范围;横向搜索确定 X 轴方向的边缘;纵向搜索确定 Y 轴方向的边缘;横向和纵向搜索共同确定触摸点的轮廓。程序流程如图 3 所示。

在定位搜索中,横向搜索的最后一步若超出电极范围,则将步长减半再相加,如若依旧超出,则横向搜索回到原点,步长加倍,纵向搜索的距离加一个步长,继续搜索。如果纵向搜索最后一步超出电极范围,步长减半,如若依旧超出,则定位搜索结束。在定位搜索后,根据所记录的点,首先进行横向搜索,对于已经搜索过的点自动跳过,超出范围则自动将步长减半直至减为 1。然后进行纵向搜索,搜索方向在纵轴,搜索原则和横向搜索一样。在横向和纵向搜索后均要判断是否有新的点需要进行另一方向的搜索,若任何一步搜索后没有发现新的点,则搜索完毕。

4.2 硬件设计

本系统采用 Altera 公司的 DE2 开发板作为核心控制板,其中的 FPGA 型号为 EP2C35F672,

对于大的触摸屏,由于存储的数据量比较大,需要外接一片 RAM 存储数据。硬件系统图如图 4 所示。

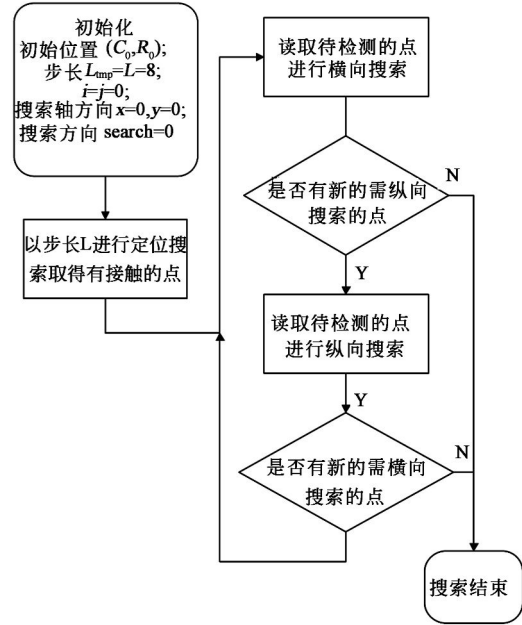


图 3 程序流程图

Fig. 3 Program flowchart

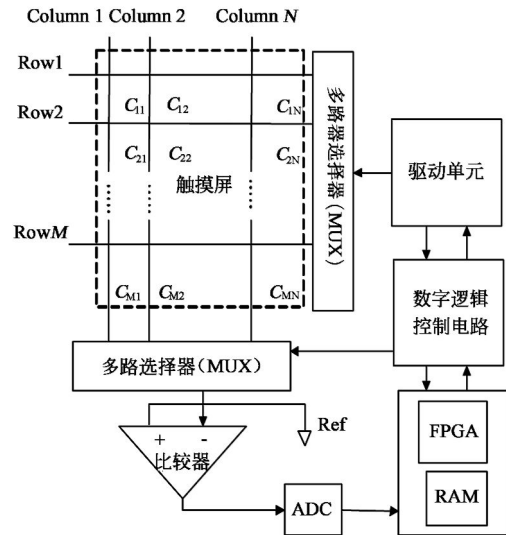


图 4 硬件系统图

Fig. 4 Diagram of hardware system

硬件系统工作流程:FPGA 根据情况将需驱动的电极信息发给数字控制逻辑电路,驱动单元在数字控制逻辑单元的控制下,选择驱动第 i 个驱动电极,FPGA 控制 MUX 选择需要读取的

感应电极,感应电极的电压与参考电压比较后输出,经过模数转换器 ADC 转换后被 FPGA 读取,如果该值超出阈值,则将该点的行列信息存储。投射电容式触摸屏自适应检测系统如图 5 所示。

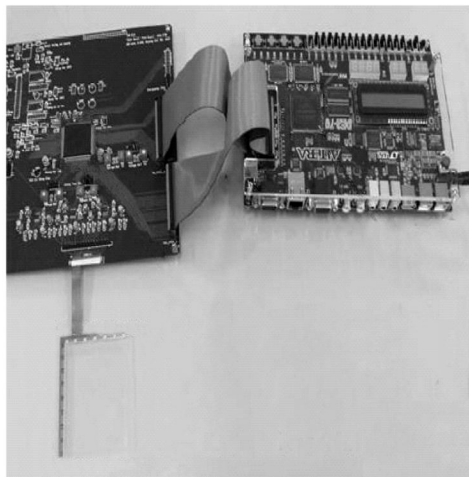


图 5 自适应检测系统

Fig. 5 Adaptive detection system

4.3 实验结果

实验采用 8.89 cm (3.5 in) 投射电容式触摸屏,电极间距为 1 mm,驱动区为 71×54 ,初始步长设为 8,逐次将 1~3 个小方块放在触摸屏上,采用该自适应检测系统进行检测,并对检测次数

进行统计,检测次数通过 DE2 板上的 LCD 显示出来,所测数据如表 1 所示。

表 1 检测结果

Tab. 1 Test results

小方块个数	逐行扫描检测次数	自适应法检测次数	提高倍数	识别的点数
3	3 834	756	5.0	3
2	3 834	589	6.5	2
1	3 834	367	10.4	1

通过表 1 可以得知,自适应算法可以有效提高检测效率,并且随着触摸点数的减少以及接触面积之和的减少,自适应算法的检测效率逐渐提高。

5 结 论

设计了自适应检测系统对投射电容式触摸屏的互电容进行检测,实验结果表明,对电极间距为 1 mm、驱动区为 71×54 的投射电容式触摸屏,在识别点数分别为 3、2、1 个时,与采用传统的逐行扫描法相比,检测时间相应地分别减少为 1/5.0、1/6.5、1/10.4,提高了检测效率。随着触摸屏技术的提高,触摸屏的电极密度和尺寸逐步增大^[10],这将对触摸屏的检测提出更高的要求,自适应检测方法对于大屏幕的投射电容式触摸屏的发展具有积极的意义。

参 考 文 献:

- [1] Wikipedia. Touchscreen. [EB/OL]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Touchscreen>.
- [2] 张雪峰. 触摸屏技术浅谈[J]. 现代物理知识, 2008, 16(3): 43-45.
ZHANG X F. Touch screen technology [J]. *Modern Physics*, 2008, 16(3): 43-45. (in Chinese)
- [3] Chitiz Mathema. Multi-Touch All-Point Touchscreens: The Future of User Interface Design. [EB/OL]. <http://china.cypress.com/rID=37962>.
- [4] 周自立. 电容式触摸屏的多点解决方案[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
ZHOU Z L. *Multi-touch solutions of capacitive touch panel* [D]. Guangzhou: Graduate University of South China University of Technology, 2012. (in Chinese)
- [5] 李兵兵, 黄子强. 电容式多点触摸屏的器件设计及算法实现[J]. 液晶与显示, 2011, 26(2): 216-219.
LI B B, HUANG Z Q. Device design and algorithm implementation of capacitive multi-touch screen [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(2): 216-219. (in Chinese)
- [6] 朱维安, 郑寿云, 陈莉. 电容触摸屏的坐标定位分析[J]. 电子测量技术, 2009, 32(5): 13-16.
ZHU W A, ZHENG S Y, CHEN L. Analysis on coordinate positioning of capacitive touch panel [J]. *Electronic Measurement Technology*, 2009, 32(5): 13-16. (in Chinese)
- [7] 翁小平. 触摸感应及其应用—基于 CapSense[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010: 175-177.
WENG X P. *Touch Sensing and its Application—Based CapSense* [M] Beijing: Beihang University Press, 2010: 175-177. (in Chinese)

-
- [8] 沈奕, 吕岳敏. 用于投射式电容触摸屏中的爬山搜索算法研究[J]. 液晶与显示, 2013, 28(1): 82-86.
SHEN Y, LV Y M. Mountain-climb searching algorithm used in projected capacity touch-screen [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28 (1): 82-86. (in Chinese)
- [9] ZHAN S W, WEI T C, LI B, *et al.* A touch sensor controller IC adopting differential measurement for projected capacitive touch panel systems [C]// *Proc. 2012 IEEE 12th International Conference on Computer and Information Technology*. Chengdu: IEEE Press, 2012: 477-481.
- [10] RUAN J Y, CHAO C P, CHEN W D. A multi-touch interface circuit for a large-sized capacitive touch panel [C]// *Proc. IEEE SENSORS 2010 Conference*, Kona, HI: IEEE Press, 2010: 309-314.

作者简介:童华梁(1987—),男,福建龙岩人,硕士研究生,研究方向:信息显示技术。E-mail: tonghualiang2007@163.com