

文章编号:1007-2780(2015)01-0077-06

高分辨率多点触控红外触摸屏设计

吕 熒¹, 邓春健^{1,2 *}, 李文生^{1,2}

(1. 电子科技大学 中山学院, 广东 中山 528400;
2. 电子科技大学 计算机科学与工程学院, 四川 成都 610054)

摘要: 红外触摸屏是大尺寸触摸屏的首选方案,但是实际应用中红外触摸屏普遍存在分辨率不高、响应速度较慢的不足,而且生产环节存在加工组装复杂的弊端。针对以上不足,提出了一种红外屏设计方案。硬件部分设计了二维选通红外扫描电路、接收电路和滤波电路,实现了发射与接收电路的模块化,为加工组装提供了便利。软件部分首先提出了脉冲式红外扫描方式,并给出了基于 STM32F205 片内 Timer 和 ADC 的脉冲扫描实现方法,提高了红外屏的扫描速度;然后介绍了细分扫描的设计思路,并通过二次细分扫描在不增加硬件成本的基础上提高了红外屏触点的定位精度。最后介绍了支持多点触摸的 HID 报告描述符的实现方法,实现了红外屏免驱安装。实际证明,该设计方案降低了加工制造复杂度,实现了红外屏即插即用,有效地提高了红外触摸屏的分辨率和响应速度。

关 键 词: 红外触摸屏;二维选通电路;脉冲扫描;多点触控

中图分类号: TP334 **文献标识码:** A **doi:** 10. 3788/YJYXS20153001. 0077

Design of high resolution infrared multi-touch screen

LV Yi¹, DENG Chun-jian^{1,2 *}, LI Wen-sheng^{1,2}

(1. *University of Electronic Science and Technology of China, Zhongshan Institute, Zhongshan 528402, China;*
2. *University of Electronic Science and Technology of China, School of Computer Science & Engineering, Chengdu 610054, China*)

Abstract: Infrared Touch Screen is the first option for big size touch screen, however, in actual application, there are some general deficiencies like insufficient resolution, low response speed and complicated fabrication and assembling process in mass production. To improve these defects, a design scheme of infrared screen is proposed. In hardware section, the two-dimension strobe infrared scanning circuit, receiving circuit and filtering circuit are incorporated to modularize the transmitting and receiving circuits and facilitate the fabrication and assembling process. In software section, a pulse infrared scanning method is proposed first and the approaches to the pulse scanning based on Timer and ADC built in STM32F205 is also defined, by which the scanning speed of infrared screen is improved. Then the design idea of rescanning is introduced to improve the positioning accuracy of touching point

收稿日期:2014-05-26; 修订日期:2014-06-27.
基金项目:国家自然科学基金项目(No. 61302115); 广东省自然科学基金(No. S2013010015764); 广东省高等学校优秀青年教师培养计划(Yq2013204); 中山市产学研项目(No. 2013C2FC0019)(No. 2013C2FC0014)
* 通信联系人, E-mail: dengcj80@126. com

on infrared screen by rescanning without cost increase in hardware. At last, the approaches to HID report descriptor which supports multiple points touching is described to realize the driver-free installation of infrared screen. The actual application proves that the design lessens the fabrication complexity and fulfill the plug-and-play function and effectively improved the definition and response speed of infrared touch screen.

Key words: infrared touch screen; two-dimension strobe circuit; pulse scanning; multi-touch

1 引言

在电阻式、电容式、红外式和表面声波式等众多触控交互技术中,红外式触控技术以其透光率高、防刮性能好、尺寸易扩展、寿命长等优势成为大尺寸触摸屏的首选方案。大尺寸红外式触摸屏在电子白板、博彩设备以及游戏游艺等行业应用非常广泛,特别是随着大屏幕 LED 全彩显示屏产业的快速发展,非标大尺寸全彩展示系统逐步受到市场的青睐,红外触摸屏作为大尺寸展示系统的配套产品,将迎来更加广阔的市场前景^[1]。然而,在实际应用中,红外式触摸屏产品普遍存在分辨率不高、扫描速度慢、触点抖动等缺陷。传统的红外触摸屏采用只选通共轴的一组发射-接收管的扫描方式,分辨率由红外管的数量决定,而增加红外管的数量又会提高红外屏的成本和加工组装难度。此外传统红外屏采用脉冲调制驱动方式,在接收端对信号进行滤波、积分,导致系统响应较慢,无法适用于高速触控的应用场合。

本文针对现有产品的以上不足,采用一对多的选通扫描方式,在不增加硬件成本的基础上提高了系统分辨率;采用单脉冲扫描方式,省去接收端的积分环节,实现对红外屏的快速扫描,并通过二次细分扫描方式,在提高分辨率的同时提高了系统响应速度。此外通过将发送和接收电路模块化,为加工制造不同尺寸的触摸屏提供了便利;采用 USB 接口,模拟 HID 设备实现了触摸屏即插即用,增强了便利性。

2 红外屏工作原理及系统结构概述

2.1 红外屏工作原理

红外触摸屏由紧密排列在其边框内的红外发射管和红外接收管组成。发射管与接收管数量相同,分别分布于触摸屏的两个边,并采用共轴相向

方式排列。其工作原理是当红外光受到触点的阻挡,接收管接收信号的强度会发生变化,控制器对共轴相向的发射管和接收管进行扫描,通过判断接收管的信号变化便可以计算出触点的位置,最后将坐标位置信息发送给显示主机^[2]。

2.2 系统结构概述

系统总体结构如图 1 所示,包括嵌入式处理器、二维选通扫描电路、红外接收电路、带通滤波以及校准数据存储等模块。处理器采用了 STM32F205RBT6,工作主频为 120 MHz,片内集成 128K Flash,64K SRAM,多个具有输入捕获和输出比较通道的多功能定时器,高性能 ADC 以及多种通讯接口。

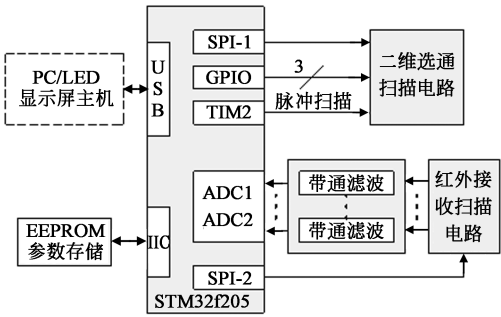


图 1 系统总体结构示意图
Fig. 1 Schematic diagram of the system

本系统中红外发射管扫描电路采用了二维选通扫描方式,大大简化了扫描电路的结构,并且为不同尺寸红外触摸屏的加工和装配提供了便利。通过定时器产生高速脉冲实现对红外管的扫描。红外信号接收电路包括接收扫描电路和信号调理电路,红外接收扫描电路一次可选 8 只接收管,信号调理电路对信号进行滤波和放大,处理器的 ADC1 和 ADC2 并行工作在 SCAN 模式,各负责采集四路信号,每路信号采集用时 0.5 μ s,从而保证了在 2 μ s 内完成 8 路信号的采集。EEPROM 参数存储单元用于存储出厂校准参数,通过软件

校准的方法简化了电路设计,增强了环境适应能力。红外屏与 PC 机或是 LED 显示屏主机采用 USB 接口相连,红外屏模拟为 HID 外设,实现免驱动安装,即插即用。

3 系统硬件设计

本系统硬件部分包括:二维红外扫描电路、红外接收电路、带通滤波电路、EEPROM 存储模块以及 MCU 最小系统等部分。

3.1 二维选通红外扫描电路

红外扫描电路由串转并芯片 74HC595 和译码器 74HC138 构成,电路示意图如图 2 所示。74HC595 的输出管脚低电平时,PMOS 管导通,8 个红外发射管阳极得电,通过译码器输出便可以选通其中一个发射管。这样的二维选通电路采用两个 IC 便可以驱动 64 只发射管,简化了驱动电路,并可以通过 74HC595 芯片的级联可以实现不同尺寸红外屏的扩展^[3-4],采用模块化的接口,极大地方便了红外屏的加工和组装。

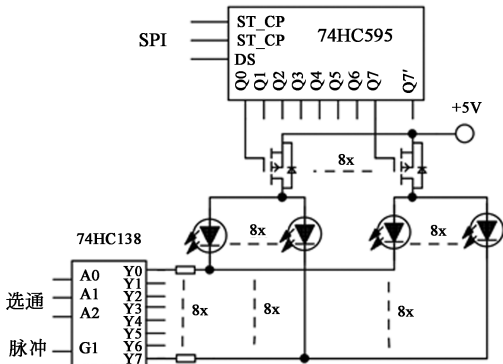


图 2 二维选通红外扫描电路

Fig. 2 Circuit of two-dimensional infrared scanning

本系统中红外发射管的扫描方式采用脉冲扫描,即在发射管上施加高速脉冲,并在脉冲高电平期间检测相应的红外接收管。这种高速脉冲扫描方式既区别与直流选通也区别于通常意义上的脉冲调制方式,具有发射距离远,发射效率高,抗干扰能力强的优点,同时也更加节能。它相比直流选通方式可以有效避免接收管饱和,同时较脉冲调制方式省去了接收电路中的积分电路,提高了扫描速度和可靠性。这种方式的不足之处是需要高速 ADC 在脉冲高电平期间完成信号的采集,

本系统巧妙利用了 STM32F205 片内的高速 ADC,转换时间 $0.5\ \mu\text{s}$,由定时器触发启动 AD 转换,ADC1 和 ADC2 并行工作,分别采集 4 个通道,使 8 个通道的信号采集可以在 $2\ \mu\text{s}$ 内完成。

3.2 红外接收电路

红外接收电路如图 3 所示,同样采用 74HC595 选通红外接收管,通过 595 芯片的级联,实现了接收电路的模块化,极大地便利了不同尺寸红外触摸屏的加工和装配。74HC595 的每一个输出 IO 选通 8 只接收管,同一时刻只能有一个 IO 输出低电平,即同一时刻只可以选通 8 只接收管,并通过 8 通道带通滤波放大电路对接收信号进行信号调理。为了增大驱动能力,采用 PMOS 管 Si2301 作为电子开关,当 595 芯片输出低电平时,PMOS 管道通,与之相连的 8 只接收管被选通。接收管负载电阻选用 $68\ \Omega$,保证了即使在强环境光下信号仍不会饱和,同时接收信号也有足够大的幅值,便于信号的调理和测量。

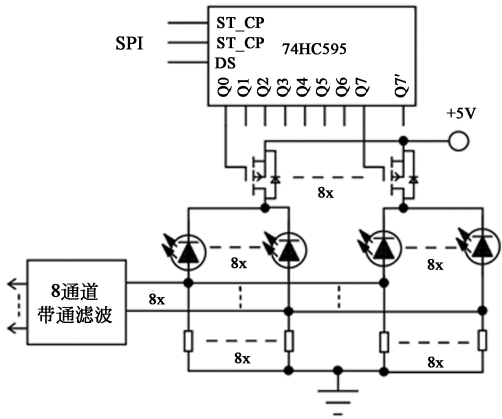


图 3 红外接收电路

Fig. 3 Circuit of infrared reciever

3.3 带通滤波放大电路

红外接收信号由于环境光线的影响存在比较严重的直流偏置和高频噪声^[5],本系统采用了有源带通滤波电路实现红外接收信号滤波和放大。滤波放大功能由低噪声轨至轨运算放大器 TLC2274 构成的 2 阶 Butterworth 带通滤波电路实现,中心频率 $100\ \text{kHz}$,通频带为 $20\ \text{kHz}$,用于滤除红外接收信号中的高频干扰噪声和直流偏置;本设计中红外接收信号的幅值为 $90\ \text{mV}$,该电路带内增益为 20 倍,从而保证了滤波放大后的信号有较大的幅度并留有一定的余量。滤波电路

采用 Sallen Key 电路形式,电路结构及参数如图 4 所示,系统中采用 2 片 TLC2274 构成 8 通道带通滤波放大电路。

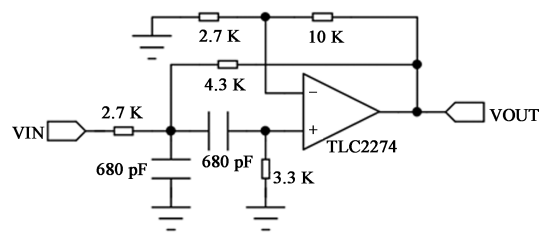


图 4 带通滤波电路
Fig. 4 Band-pass filter circuit

4 系统软件设计

本系统采用二次扫描的方法,保证红外触摸屏响应速度的同时提高了识别精度,提高了分辨率。二次扫描的流程如图 5 所示,其工作原理是:首先对 X 轴每个发射管用高速脉冲扫描一次,判别该发射管所对应的区域是否存在触点,并记录触点与该发射管中心线的偏差,当完成对 X 轴所有发射管的扫描后,首先判别是否有触点存在;如果存在则实施细分扫描,测量触点在两支特定发射管单独作用下在接收管上的投影位置,并依

此提高 X 坐标的测量精度,并估算 Y 轴坐标。然后执行 Y 轴扫描,扫秒方法和 X 轴类似,得到触点的 Y 轴坐标,通过比较实测 Y 轴坐标和估算 Y 轴坐标来剔除红外触摸屏多点触摸是出现的假触摸点,最后完成触点坐标的上报。

4.1 脉冲扫描方式工作原理与实现方法

由于直流扫描的方式存在能耗高、红外信号衰减大的不足,目前红外屏普遍使用脉冲调制方式驱动红外发射管,然后再接收端对脉冲信号进行滤波、放大并积分,最后通过判别积分电压的大小判断红外管被阻挡的情况。积分电路温度稳定性较差,并且降低了系统的响应速度。脉冲扫描方式直接在发射端脉冲高电平期间对接收信号进行测量,无需对信号进行积分,只需要一个脉冲便可完成一个发射管的扫描。脉冲扫描方法对系统 ADC 性能要求较高,需要与扫描脉冲同步进行采集,并需要在较短的时间内完成多个通道信号的采集。

本系统充分利用了 STM32F205 处理器的高性能定时器和具有自动触发功能的 ADC,实现了对红外管的高速脉冲扫描与同步信号采集。对红外发射管施加周期为 10 μs 的扫描脉冲,在扫描脉冲高电平期间同步采集该发射管所对应区域 24 路接收信号的电平,据此来判断该区域是否有触点存在。本系统的红外接收电路只能同时采集 8 路红外接收信号,因而需要对每个发射管扫描 3 个脉冲,每个脉冲高电平期间采集 8 路接收信号。扫描方法如图 6 所示,由定时器 TIM2 的比较匹配通道 1(CH1)产生周期为 10 μs 的方波信号,高电平持续时间为 5 μs,施加于发射电路中 74HC138 的使能端 G1,TIM2 的通道 2(CH2)的比较匹配信号高电平持续时间为 1.5 μs。当 CH2 发生比较匹配时自动触发 ADC1 和 ADC2 启动转换。ADC1 和 ADC2 都工作在 SCAN 模式,分别采集 4 路接收信号,采集 4 路信号用时 2 μs,并在 ADC 转换完成中断服务程序中保存 AD 值并切换下一组接收通道,为下一次转换做好准备。为了实现对每个红外管施加 3 个扫描脉冲,本设计采用 TIM1 对 TIM2 CH1 的输出信号进行计数,比较匹配值为 3,当计数到 3 个脉冲时,会触发 TIM1 比较匹配中断,在中断服务程序中完成对 24 路接收信号的分析,判断该区域是否存在触点,并切换下一个发射管的选通电路。

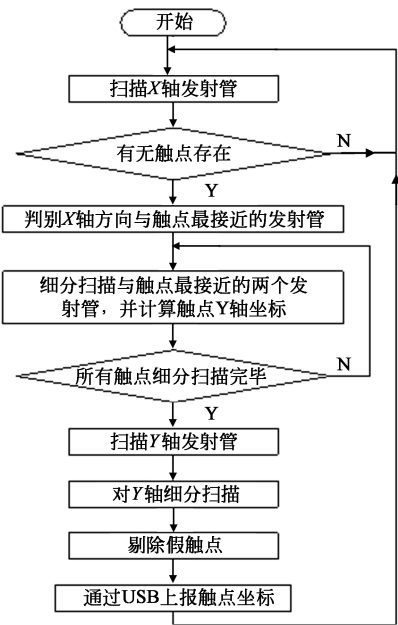


图 5 系统软件工作流程图
Fig. 5 System flow chart

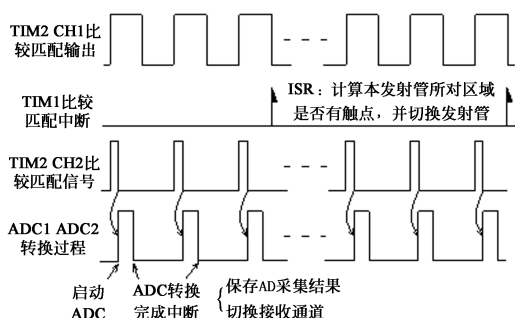


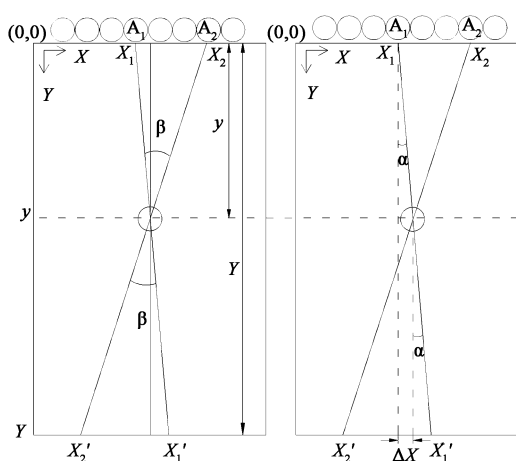
图 6 脉冲扫描方法示意图

Fig. 6 Schematic diagram of pulse-scanning method

4.2 细分扫描设计

细分扫描具有两个功能:一方面可以提高红外触摸屏的分辨率,提高定位精度,避免实际使用中在某些位置触点坐标来回跳动的弊端;另一方面通过对 X 轴的细分扫描可以初步判别触点的 Y 轴坐标,与实测的触点 Y 轴坐标相比较便可以剔除多点触摸下的假触摸点。

首次扫描时,采用差值量化偏移定位算法^[6]判别出触点在接收端的投影位置,据此求出:(1)在 X 轴方向上与触点最近的发射管的序号,记作 A_1 ;(2)在接收端有投影且与 A_1 偏差最大的发射管序号,记做 A_2 。然后对 A_1 和 A_2 单独扫描,采集接受管的信号,并通过二次曲线拟合的方法分别得触点的投影 x'_1 和 x'_2 。



(a) Y 坐标计算 (b) X 轴偏移量计算

(a) Y-axis calculation (b) X-axis offset calculation

图 7 细分扫描示意图

Fig. 7 Schematic diagram of high resolution scanning

细分扫描分为两步:首先计算触点的 Y 轴坐标,然后根据 Y 轴坐标计算触点在的 X 轴上相对

于 x_1 的偏移量,如图 7 所示。

如图 7(a)所示,由发射管 A_1 和 A_2 的序号和发射管的直径可以计算出其 X 轴坐标 x_1 和 x_2 ,结合触点在接收端的投影坐标 x'_1 和 x'_2 ,由公式(1)可以求出触点的 Y 轴坐标 y ,其中 Y 为 Y 轴总长度。

$$\frac{y}{Y-y} = \frac{|x_2 - x_1|}{|x'_2 - x'_1|}. \quad (1)$$

如图 7(b)所示,根据发射管 X 轴坐标 x_1 ,触点投影坐标 x'_1 和触点 Y 轴坐标 y ,由公式(2)求出触点 X 轴左边偏移量 Δx ,最终得到触点的 X 轴坐标 $x_1 + \Delta x$ 。

$$\tan \alpha = \frac{|x'_1 - x_1| - \Delta x}{Y - y} = \frac{|x'_1 - x_1|}{Y}. \quad (2)$$

通过细分扫描使触点 X 轴坐标更加精准,同时也初步确定了 Y 轴坐标,在后续 Y 轴扫描得到触点 Y 轴坐标后可以通过比较 Y 轴坐标来剔除多点触摸时的假触点。

4.3 HID 报告描述符设计

为了提高红外触摸屏使用便利性,本系统采用 USB 接口,并且模拟成 HID 外设,实现免驱安装,即插即用。

标准的鼠标报告描述符使用的是相对坐标,而红外触摸屏返回的是绝对坐标值,因而需要将报告描述符中 Input 条目的属性修改为绝对坐标,并将坐标数据长度改为 2 字节,逻辑最大值设置为 4 096。为了使红外触摸屏既能够支持单点触摸又支持多点触摸,本系统设计了两个报告描述符,分别适用于单点触摸和多点触摸两种工作模式,此外设计一个“特性报告”,将其用途特性定义为“设备配置”,用于向操作系统报告改特性,并由操作系统设定其工作模式。

5 结 论

本文针对目前红外屏应用存在的分辨率不高、响应速度慢的不足提出了一种高分辨率多点触控红外触摸屏的设计方案。首先介绍了系统的硬件结构,给出了二维选通扫描电路和接收信号调理电路,然后给出了基于 STM32F205 处理器片内定时器和 ADC 的红外屏脉冲扫描实现方法,并研究了二次细分扫描的工作原理和触点坐标计算方法,最后给出了 HID 报告描述符的设计

方法。实际应用表明,该方案在不增加硬件成本的基础上大大提高了分辨率,有效避免了触点抖动的弊端,同时缩短了扫描时间,使整个红外屏的

扫描时间缩短至 15 ms 以内,提高了系统的响应速度。

参 考 文 献:

[1] Wei Z Z, Liu W, He Q, *et al.* The design of infrared touch screen based on MCU [C]. 2011 *IEEE International conference on Information and Automation (ICIA)*, Shenzhen, China, 2011; 485-489.

[2] Kyusam L, Kyung-Soo J, Chul-Sang, *et al.* A fast and energy efficient single-chip touch controller for tablet touch application [J]. *IEEE Journal of Display Technology*, 2013, 9(7): 520-526.

[3] 朱博,董义鹏,金峰. 载人航天器仪表系统红外触摸屏硬件电路设计[J]. 现代电子技术, 2013, 36(18): 39-43.
Zhu B, Dong Y P, Jin F. Hardware circuit design of infrared touch screen on instrument system of manned spacecraft [J]. *Modern Electronic Technique*, 2013, 36(18): 39-43.

[4] 李钧. 一种新型红外多点触摸识别算法[J]. 计算机与现代化, 2012, (9): 178-180.
Li J. A new infrared multi-touch recognition algorithm [J]. *Computer and Modernization* 2012, (9): 178-180.

[5] 汤世洪,刘成安,陈泉根. 基于 FPGA 的高分辨率红外触摸屏的设计[J]. 电子设计工程, 2011, 19(22): 163-166.
Tang S H, Liu C A, Chen Q G. The design of touch-screen with high resolution infrared based on FPGA [J]. *Electronic Design Engineering*, 2011, 19(22): 163-166. (in Chinese)

[6] 董冠涛. 红外线感应电子白板的设计与实现[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
Dong G T. D [J]. Design and realization of electronic whiteboard based on infrared ray [D]. Changchun: Jilin University, 2009. (in Chinese)

作者简介: 吕焱(1981—),男,山西大同人,博士研究生,讲师,主要从事嵌入式系统、物联网相关的研究。E-mail: lvyi913001@163.com