

基于 MSP430 和 ZigBee 的玻璃破碎检测器

熊平波 叶哲江

(昆明理工大学 信息与自动化学院 昆明 650000)

摘要: 系统提出了基于 MSP430 和 ZigBee 的远程玻璃破碎检测报警方法。为了设计一种高精度低成本的玻璃破碎检测系统,设计算法以典型玻璃破裂信号的特征分析结果为基础,通过板载蜂鸣器和 ZigBee 来远程传输玻璃破裂警报。玻璃破裂检测器的处理程序主要分为两个阶段,第 1 阶段主要对麦克风所采集到的信号进行滤波和特征提取,第 2 阶段通过对第 1 阶段的特征进行判断比较,达到检测玻璃破碎的功能。通过对典型的玻璃破碎信号进行仿真分析和实际实验,实验统计结果表明,系统对玻璃的检测的准确率达到 95% 以上,相比现有的玻璃破碎检测器准确率有了很大提高。

关键词: 玻璃破碎检测;MSP430;ZigBee;峰值功率;过零率

中图分类号: TN709 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4010

Glass breakage detector based on MSP430 and ZigBee

Xiong Pingbo Ye Zhejiang

(School of Information and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650000, China)

Abstract: The system proposed a remote glass breakage detection and alarm method based on MSP430 and ZigBee. In order to design a high-precision and low-cost glass breakage detection system, the design algorithm is based on the characteristic analysis results of typical glass breakage signals. Remotely transmit glass break alarms via onboard buzzer and ZigBee. The processing procedure of the glass rupture detector is mainly divided into two stages. The first stage mainly filters and extracts the signals collected by the microphone, and the second stage judges and compares the characteristics of the first stage to detect the broken glass. through the simulation analysis and actual experiment of the typical broken glass broken signal, the experimental statistics show that the accuracy of the system detection of the glass reaches more than 95%, which is much better than the existing glass broken detector.

Keywords: glass breakage detection; MSP430; ZigBee; peak power; zero crossing rate

0 引言

现代建筑物中大量采用玻璃作为建筑材料,但玻璃容易破碎,给建筑物安全性带来极大隐患。玻璃破碎检测器可以帮助确保建筑物和家庭的安全。这是一种简单通过玻璃门窗的破碎发现非法进入的检测方法。目前国内外主要用于检测玻璃破碎的方法有沿着窗户边沿贴铝箔,通过检测电路通断判断是否有玻璃破碎,通过压力传感器检测法,最新的有超声检测法,这些检测办法有的安装麻烦,有的成本高,由于没有采用有效的算法,大多数都有误判率高的缺陷^[1]。门窗使用的玻璃类型多种多样。这需要根据玻璃类型制定多种解决方案。本研究所设计的检测器通过分析玻璃破碎过程中产生的声音特征信号,如平均功率、峰值功率、过零率等变化,根据玻璃破碎的典型特征来判断是否有玻璃破碎。该

方法具有普适性好、检测成功率高、误检率低的特点。另外系统采用了 TI 的 MSP 最新型号单片机和 ZigBee 技术,可以多模块组网检测,功耗和成本也相对低廉易于推广。最终实验结果也表明本系统对玻璃破碎的检出率可以达到 90% 以上,误报率在 1% 以下,具备现代检测设备准确率高、智能化的特点^[2],满足对玻璃破碎检测的指标要求。

1 系统方案设计

系统的总体设计如框图 1 所示,系统主要由 MSP430 最小系统、ZigBee 最小系统^[3-4]、电压转换、电池管理系统和音频信号采集系统等组成。玻璃的典型破碎信号频率在 10 kHz 以下,所以系统采用了松下的 WM-61A 音频传感器,系统所采用的 MSP430FR2311 单片机内部带有两个运算放大器,音频传感器所采集的信号直接进入单片机,通过

OA0 进行 $\text{Gain} = -7$ 信号放大处理, 放大后的信号通过 OA1 进行滤波处理, 单片机主要对放大器处理过后的信号进行信号平均功率检测, 信号峰值检测, 信号过零率检测, 通过对这些特征信号的检测来判断是否有玻璃破碎^[5], 当系统检测到有玻璃破碎信号时, 通过单片机唤醒休眠模式的 ZigBee 模块来发送报警信号给远程的信号监测端。系统采用单节 3 A 电池进行供电, 为了保证整个系统能够长时间运行, 系统采用了间歇式工作方式^[6]。

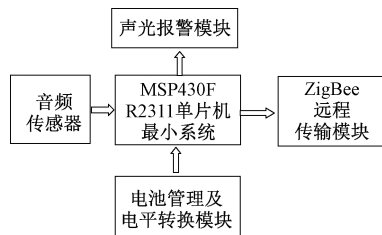


图 1 系统框图

2 硬件设计

硬件系统主要由单片机最小系统、电源管理系统、声光

报警系统和 ZigBee 组成, 其中 ZigBee 采用市面已集成好的电路模块通过串口与单片机进行通信^[7-9]。

2.1 单片机最小系统设计

德州仪器公司生产的 MSP430 系列的超低功耗微控制器外设非常丰富, 其特点是针对不同的应用有专门不同的外设。这为系统设计和产品成本控制提供了极大方便。MSP430FR2311 具有 5 个低功耗模式可以被用来优化功耗, 以实现便携式测量应用中延长设备的使用时间。该设备具有一个强大的 16 位 RISC 精简结构 CPU, 它内部的数字控制振荡器 (digital controlled oscillator, DCO) 从休眠模式到工作模式只需要 $1 \mu\text{s}$ 。MSP430FR2311 内部集成有 10 位 A/D 转换器, 具有数据传输控制器 (data transmission controller, DTC) 和 2 个通用运算放大器在 MSP 中^[10], 其最小系统如图 2 所示。

2.2 电源管理系统设计

TPS6120X 系列器件为由单电池、2 个电池或 3 个电池 9 碱性、镍镉或镍氢电池或 1 个电池 Li Ion 或聚合物电池供电的产品提供电源解决方案。可能的输出电流取决于输入输出电压比。Boost 变换器是基于同步整流的滞环控制

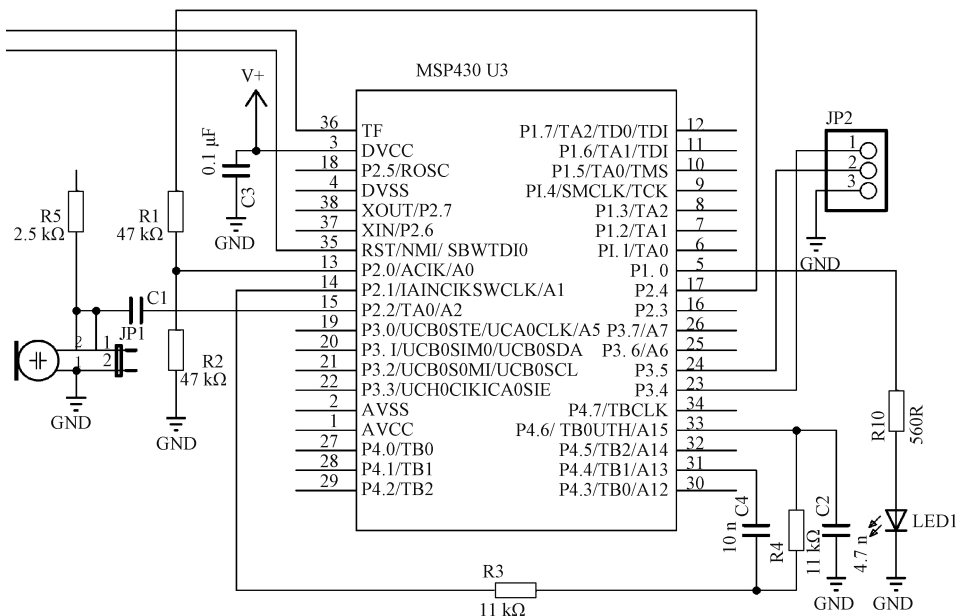


图 2 单片机最小系统

器拓扑结构, 以最小静态电流获得最大效率^[11]。可调版本的输出电压可由外部电阻分压器编程, 或内部设置为固定输出电压。该转换器可以关闭由一个特色启用引脚。关闭时, 电池消耗最小化。该装置提供 10 引脚 SOC-70 封装, 体积 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$, 以便于电路布局尺寸^[12]。电源管理系统部分电路如图 3 所示。

2.3 声光报警电路设计

为了发出响亮的蜂鸣声系统采用了需要 12 V 电压驱动的压电陶瓷扬声器, 因为系统采用 2 节 5 A 电池供电, 总

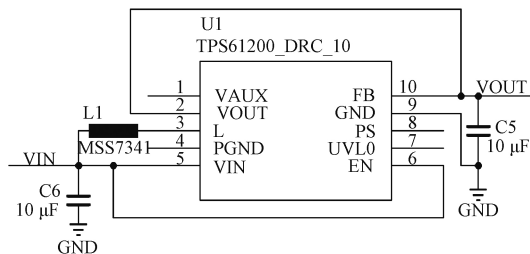


图 3 电源管理电路

电压为3 V,所以给系统加上了一个以TPS61040为核心的升压电路。声光报警电路如图4所示。

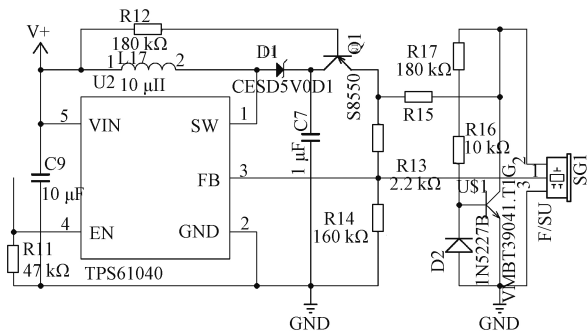


图4 声光报警电路

3 系统软件设计

玻璃破碎检测器中使用的软件主体软件流程如图5所示。当没有活动时在外部麦克风检测到,设备进入活动检测。如果检测到显著的声音信号在麦克风上,装置进入砰击检测。在确认有效响声后,设备进入玻璃破损检测,否则设备返回活动检测。玻璃破碎后分析,如果检测到玻璃破裂,ZigBee和LED被打开大约3 s,设备返回活动检测。如果未确认玻璃破碎,设备返回活动检测模式。检测过程主要分为两个阶段^[13]。

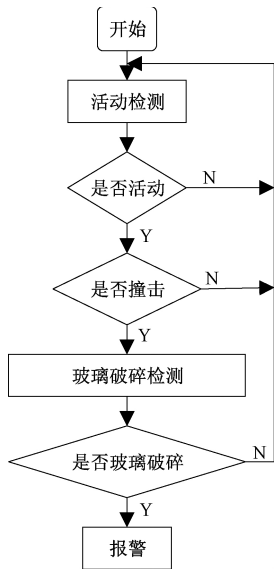


图5 总体流程

3.1 第1阶段信号处理

第1阶段的检测过程为一旦检测到声音事件,就对每个样本都进行第1阶段的处理。为了保证系统检测的实时性,程序设计为每60 ms 1个检测周期,每个周期采样2 000个信号样本。为了降低输入信号中的噪声,首先进行信号平均。单片机所带的AD转换器为10 Bit,设转换最

大值为 T ,所以最大AD值为 $T=1\ 024$,为了将信号归一化到 $[-1,1]$ 范围内,程序处理时需要先对 T 进行处理,得到归一化信号 $P(n)$ 。

$$P(n) = \frac{T - 512}{512} \quad (1)$$

平均信号是用当前输入样本和前3个样本的简单累加求平均。设计算后的信号为 $S(n)$,则计算表达式为:

$$S(n) = \frac{\sum_{k=n-3}^{n-1} p(k)}{4} \quad (2)$$

这个过程可以在峰值检测和过零时获得准确的结果。过零点数和峰值功率将作为检测玻璃破碎的算法的重要部分。具体的仿真结果图将在结论部分给出详细说明。

3.2 第2阶段的信号处理

第2阶段的处理主要是对第1阶段的处理后得到的特征信号进行判断是否有玻璃破碎^[14]。系统的程序流程如图6所示。

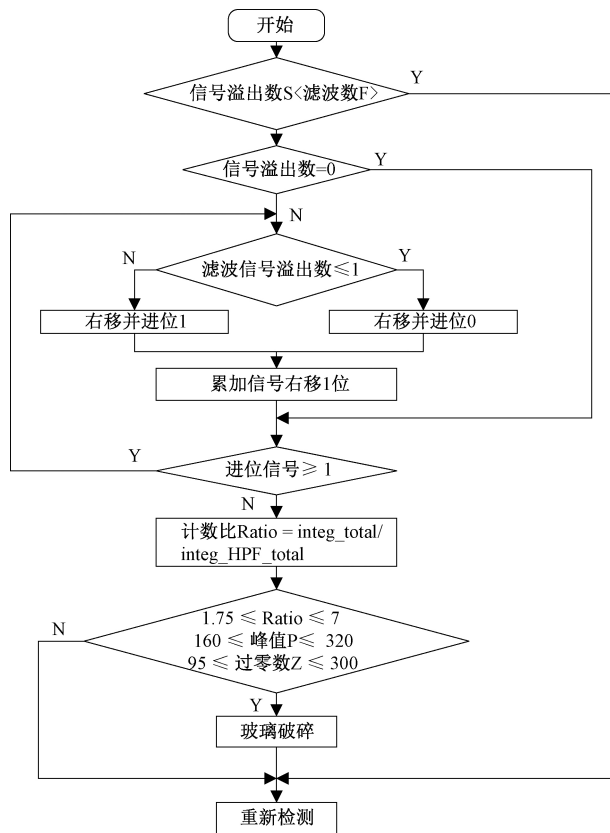


图6 信号处理

为了判断有可能的玻璃破碎活动,第2阶段在信号处理的开始部分加入了一个比例计算部分,因为玻璃破碎时信号比较尖锐,比例计算的具体过程是利用第1阶段信号处理过程中总的信号的大于0的信号的统计值 S ,比上一个简单的数字低通滤波器处理后的大于0的统计值 F_s ,即:

$R = S/F_s$ (3)

通过对大量的玻璃破碎音频信号进行分析,实验得出判断一种玻璃破碎的典型特征信号范围为:

$$\begin{cases} 1.75 \leq \text{信号比 } R \leq 7; \\ 160 \leq \text{峰值功率 } P \leq 320; \\ 95 \leq \text{过零数 } Z \leq 300 \end{cases} \quad (4)$$

4 系统测试与结果分析

4.1 系统实物

系统实物如图 7 所示,系统主要采用信号处理底板和 ZigBee 最小模块叠加设计,整个系统体积小,便于安装在玻璃的角落上,不影响建筑整体的美观^[15]。

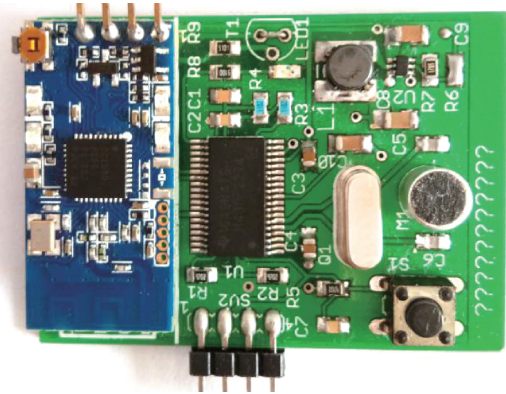


图 7 系统实物

4.2 检测方案

为了检测本系统的性能,实验采取了如图 8 所示的实验装置。图 8 中声源采用扬声器发出不同的玻璃破碎声音信号,玻璃破碎检测系统采集到声音信号后对其处理,经过多次不同的实验后采集到的实验数据如表 1 所示。

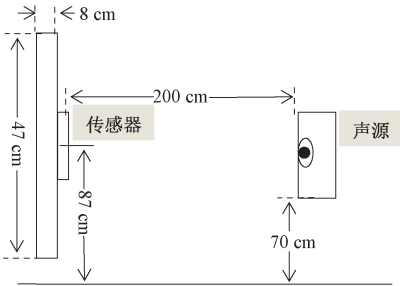


图 8 测量装置

4.3 信号分析仿真结果

为了说明本实验的可靠性与先进性,实验的检测结果分析分为 2 部分:第 1 部分为玻璃破碎的特征信号具体分析过程,第 2 部分为实际的玻璃破碎检测报告。下面将对这两部分的实验结果加以分析说明。

1)检测结果

为了实验数据的可视化分析,玻璃破碎特征信号的实验验证过程采用 MATLAB 作为工具来仿真单片机内部程序,图 9 所示为一个实际的玻璃破碎信号,整个数据的采样点数为 70 891,图 10 和 11 截取的采样点中 37 000~39 000 之间的 2 000 个采样点,图 12 所示为截取的是 38 200~38 450 间的 250 个采样点。整个采样过程针对单片机中的 60 ms 采样数据。因为平均信号的包络(峰值信号)是与硬件电路的增益、采样位数相关,只能通过多次实验的经验值得到,这里未做具体分析。

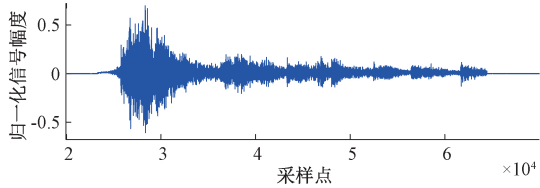


图 9 典型玻璃破碎信号

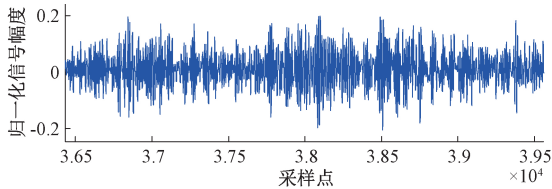


图 10 具体采样信号

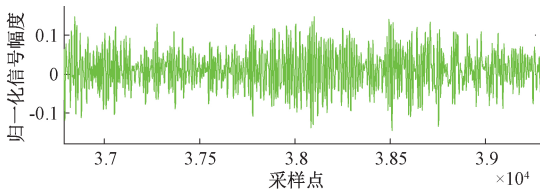


图 11 采样信号平均化

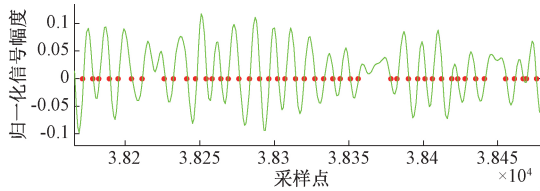


图 12 平均信号过零点

通过对采样样本数据的仿真分析,过零数 Z 的次数是 $8 \times 35 = 280$ 、满足 3.2 节中 Z 的取值范围,信号比 R 是通过 3.2 节的方法计算得到在本次仿真结果中其值为 $R = S/F_s = 2.34$ 。通过 3.2 节的经验范围,本实验的结果可以准确的用来判断玻璃破碎,说明了算法的先进性。

2)实际检测结果

鉴于实验的准确可靠性,本次实验采用了 5 种不同的

玻璃破碎声源,实验所得结果如表 1 所示。

表 1 测量结果统计

实验次数	准确	错误	准确率
1 000 次	956 次	44 次	95.6%

通过两个阶段的数据分析可以得出本系统的检测准确率可达 93% 以上,但还是存在误检检测不到的情况发生,为了进一步提高检测准确率,检测器的经验数值应该通过更多的实验数据获取,这也需要大量不同的玻璃破碎声源样本。

5 结 论

本系统功能完善结构简单,与传统的一些玻璃检测算法相比,设计算法简单有效、检出率高、误报率低。系统所提出的检测算法没有采用语音信号识别中一些复杂的特征提取和模板匹配算法,系统所采用的算法专门针对玻璃破碎时的特征,通过大量的实验,得出了一组比较准确的特征值范围。算法的实现过程也专门针对单片机级别的处理器设计。算法可以在 MSP430 等低功耗单片机中实时运行,整个系统所需要的电子元器件较少,制作成本较低,易于安装。在现代的家庭及商业安防中具有非常实用的意义。

参考文献

[1] 朱细敏,龚文杨.家用玻璃破碎报警器的电路设计与安装[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2011,29(1):71-72,75.

[2] 周亮,王振环,孙东辰,等.现代精密测量技术现状及发展[J].仪器仪表学报,2017,38(8):1869-1878.

[3] 范晓春,邹卫文,韩峰,等.基于 ZigBee 技术的室内安防报警系统的设计和实现[J].电子技术,2013,42(11):16-18,10.

[4] 刘敏,单志勇.基于 ZigBee 的小区无线安防系统设

计[J].电子测量技术,2012,35(11):28-31.

[5] 张晔,尹亮,祁欣.体外心脏震波产生和触发系统的设计[J].现代仪器与医疗,2015,21(1):5-8.

[6] 田雷,徐科军,沈子文,等.基于气体超声波流量计的间歇激励和信号处理[J].电子测量与仪器学报,2017,31(11):1774-1781.

[7] 林若波.家庭防盗报警电路设计[J].现代电子技术,2001(8):27-28.

[8] 徐倩,谭子尤,胡力,等.基于单片机控制的红外线报警系统设计[J].怀化学院学报(自然科学),2008(3):60-62.

[9] 王芳,林蔚,王长清,等.住宅防盗防火智能电话报警系统设计[J].河南师范大学学报(自然科学版),2004(3):121-123.

[10] 杨平,王威.MSP430 系列超低功耗单片机及应用[J].国外电子测量技术,2008,27(12):48-50.

[11] 魏智.结构新颖的升/降压型电荷泵[J].国外电子元器件,2000(4):44-45.

[12] 刘志英,郭晓澎,周晓旭,等.嵌入式设备电源管理系统设计[J].电子测量技术,2016,39(5):105-109.

[13] 查智,卢海洋.嵌入式系统在探测型水下电视系统中的应用[J].四川兵工学报,2012,33(6):92-94.

[14] 熊强强,裴慧琴,奚建平,等.一种智能无线多点温度监控系统的设计与实现[J].国外电子测量技术,2017,36(5):55-58.

[15] 周卫宏.传感器在消防及防盗报警系统中的应用[J].机械工程师,2008(10):126-127.

作者简介

熊平波,硕士,主要研究方向嵌入式系统开发、数字信号处理等。
E-mail:2364824167@qq.com

叶哲江(通信作者),副教授,主要研究方向为嵌入式系统开发、水声信号处理。
E-mail:546819613@qq.com