

文章编号:1671-6833(2016)02-0058-04

基于物联网的声表面波传感器阵列检测系统研究

刘鑫璐¹,王 文¹,潘 勇²,邵晟宇²,穆 宁²

(1. 中国科学院 声学研究所,北京 100190;2. 防化研究院,北京 102205)

摘 要:针对目前日益突出的公共安全和生产安全问题的突发性和不确定性,提出了将声表面波传感器阵列与物联网技术相结合的毒害气体检测系统,并给出了毒害气体检测系统的设计方案,分别从物联网技术和声表面波技术两方面验证了系统的可行性,该系统采用了 ZigBee 通信技术和 GPS 定位手段,利用涂覆不同敏感膜的 4 通道声表面波传感器阵列及相应的数据处理算法,实现了对 H₂S、SO₂ 等毒害气体的检测和报警,组建了成熟的便于定位的传感器网络,系统经过实验验证达到了预期的设计目标。

关键词:声表面波;物联网;气体传感器阵列;ZigBee;GPS

中图分类号: TB52 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.201512003

0 引言

随着全球工业化步伐不断加快,日益扩大的工业生产产生的各种各样的毒害气体对人类的危害也愈加严重.特别是毒害气体的生产、运输和使用中存在较大的突发性和不确定性危险,威胁着生产者和居民的人身安全.此外随着人类健康和安全意识的不断提高,人们开始对室内外空气质量,车内空气污染等公共领域的安全越发关注,迫切需要能够监测、预警、应对公共和生产安全事件的科技手段^[1].

近些年便携式的气体传感设备不断发展,技术手段也各有特点,其中声表面波传感技术以其灵敏度高、成本低、体积小等优点在气体传感领域发展较为成熟,同时结合目前广泛应用的物联网技术,研究设计基于物联网的声表面波传感器阵列毒害气体检测系统,实现具有定位、采集、报警动能的在线检测网络,在生产和公共安全领域具有较大的应用和市场前景。

1 物联网相关技术

ZigBee 技术作为物联网中主要通信基础,是一种低复杂度、低功耗、低速率、低成本、网络容量大、节点体积小的双向无线通讯技术,凡是具有上

述特征或要求的场合都可应用.随着物联网行业的快速发展,对 ZigBee 技术的探索也越来越深入,特别是根据 ZigBee 网络的特点,发展出采用 ZigBee 的室内区域定位技术更是开拓了 ZigBee 的应用领域. ZigBee 目前已经广泛的应用到工业过程控制、设备遥感遥控、智能交通系统和医疗与健康监护等多个领域^[2].

随着 ZigBee 协议框架的发展,目前在 470 MHz 和 2.4 GHz 频段上拓展了 ZigBee 的应用条件,特别是在 470 MHz 频段上,有效传输距离可以到的 1 200 m,这对于 ZigBee 在户外环境的应用具有重要意义^[3].

此外物联网技术中的重要组成部分,全球定位系统 GPS 以其具有的全天候、高精度和自动测量的特点,作为先进的测量手段和新的生产力,已经融入了国民经济建设和社会发展等各个应用领域^[4-5].

2 声表面波气体传感技术

声表面波(SAW)气体传感器是 Wohltjen 于 1979 年提出来的^[6],其基本结构原理如图 1.

在一块压电基片上使用半导体工艺制作 2 个叉指换能器,分别为发射换能器和接收换能器,还有两个反射栅分别在叉指换能器两侧,形成双端

收稿日期:2015-12-01;修订日期:2016-01-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(11374254、11274340)

作者简介:刘鑫璐(1987—),中国科学院助理研究员,从事声表面波传感器系统应用研究.

引用本文:刘鑫璐,王文,潘勇,等.基于物联网的声表面波传感器阵列检测系统研究[J]. 郑州大学学报(工学版), 2016,37(2):58-61.

对声表面波谐振器,通过放大器的正反馈构成振荡回路,并将产生的频率信号输出^[7]。

由于声表面波器件本身对气体并不会产生敏感作用,需要在声表面波器件的两个叉指换能器之间涂覆具有气体选择性的聚合物薄膜涂层,通过这种聚合物涂层对待测气体的吸附作用,引起器件中声表面波传播速度变化,最终体现为声表面波振荡器的输出频率变化,以此来实现对于气体的检测^[8-9]。

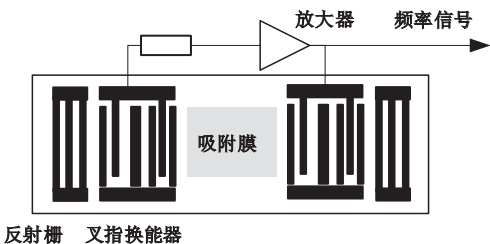


图 1 声表面波气体传感器原理图

Fig.1 Diagram of the surface acoustic wave gas sensor

随着传感技术的发展,单个气体传感器的应用具有一定局限性,不能满足复杂环境下的气体检测,为了摒除检测的局限性,发展起来的采用模式识别等数据处理方法的传感器阵列形式逐渐成熟,并成为解决复杂环境下气体检测的趋势。

3 系统设计

3.1 系统架构

系统将物联网技术中的 ZigBee 和 GPS 与声表面波气体传感器阵列结合,构建由主控中心和传感器终端组成的实时在线监测传感器网络,其系统结构如图 2 所示。

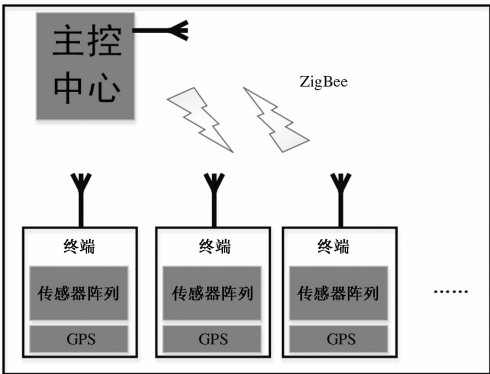


图 2 系统架构图

Fig.2 Diagram of system structure

在系统的主控中心中,主要完成对传感器终端的命令连接、传感器数据获取;对所有连接到主控中心的传感器终端进行实时监控,包括对各个

传感器终端的位置信息定位,传感器采集数据显示和检测结果报警。

在系统的传感器终端中,首先完成声表面波气体传感器的制备,然后采用振荡电路的形式产生传感器信号.利用处理器实现对传感器数据采集,以及包括数据预处理,数据处理方法的建立,气体识别等功能.即传感器终端可以脱离主控中心独立运行,集成的数据处理算法可以进行被测气体的识别,进行实时的被测物判别,并对超限浓度的被测气体进行报警.当主控中心请求连接时,终端附加定位信息,通过通信部分与系统主控中心进行数据交换。

3.2 主要功能设计

(1)声表面波气体传感器的制备.目前系统主要应用于环境气体的检测,大气中毒害气体主要是 SO₂、H₂S、NO₂ 等以及工业生产中遇到的 NH₃,故选择的气体敏感膜材料为 TEA、PECH、谷氨酸盐酸盐和 BSP。

表 1 中列出了敏感膜材料与其敏感气体的对应关系。

表 1 敏感膜材料与被测气体对应关系

Tab.1 Corresponding relationship between sensitive materials and unknown gas

敏感膜材料	BSP	谷氨酸盐酸盐	PECH	TEA
敏感气体	NO ₂	NH ₃	SO ₂	H ₂ S

利用 4 种敏感膜材料进行声表面波气体传感器的制备.为保证制备的传感器具有良好的性能一致性,通常采用膜材料旋涂的方式制做,即是将制作完成的声表面波器件晶元整体旋转抛洒涂覆,这样得到的传感器敏感膜厚度均匀,传感器器件性能一致性好,便于传感器更新替换。

(2)声表面波气体传感器终端硬件设计.传感器终端电路的构成原理图如图 3。

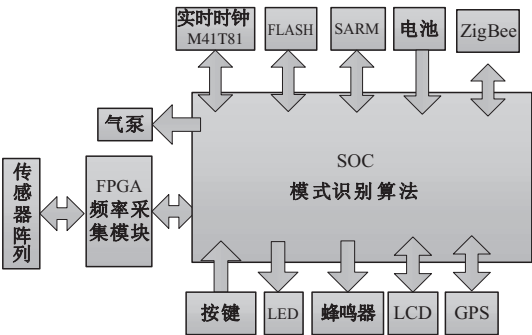


图 3 传感器终端结构框图

Fig.3 Diagram of sensor devices

传感器阵列是利用放大器和移向网络构建 5

路声表面波气体传感器振荡电路,其中 4 路为声表面波气体传感器,另 1 路为未涂覆敏感膜的空白声表面波器件,其作用是对传感器系统进行温度补偿,结构框图如图 4.

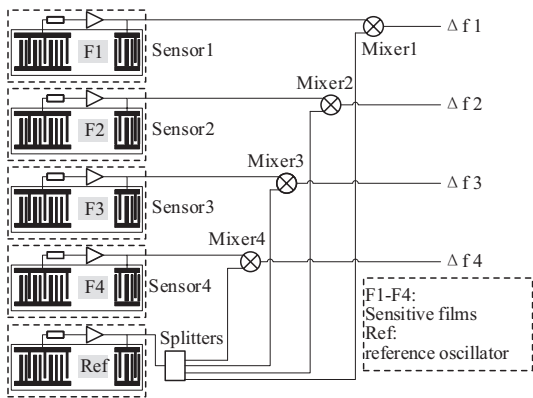


图 4 传感器阵列结构图

Fig.4 Diagram of sensor array

通过 FPGA 采集传感器阵列的信号并发送到 SoC, SoC 通过内部分数据处理算法对数据进行预处理、算法验证、判定完成对被测气体的识别,并根据设定的报警阈值进行报警.

当传感器终端收到主控中心的数据请求时,终端整合采集到的传感器数据和定位信息,上传到主控中心.

4 系统实现

系统中的声表面波气体传感器采用 300 MHz 的谐振器形式设计,涂覆 TEA、PECH、谷氨酸盐酸盐和 BSP4 种敏感膜,采用有源振荡器的电路结构,通过嵌入式处理器将传感器阵列的响应数据进行实时采集、处理和分析,并与主控中心进行通信.传感器终端经过集成采用内部自带的气泵进

行气体采集. 主控中心由带有 ZigBee 通信主节点的笔记本电脑及相应上位机软件构成. 系统整体实现如图 5.



图 5 系统实物图

Fig.5 Diagram of system

(1) 系统定位与通信测试. 系统中的传感器终端可独立运行监测,也可由一个主控中心对 5 台传感器终端进行控制,获取相应的传感器数据和位置信息.

系统在室外进行了 ZigBee 无线通信与 GPS 定位的功能验证,主控中心上对传感器终端的定位情况如下图 6,其中所有地图为谷歌离线地图. 由上可见,系统完全实现了主控中心对传感器终端的控制和传感器终端定位信息的上传.

(2) 系统气体实验测试. 在实验室条件下,对 5 台传感器终端分别进行 SO₂、H₂S、NO₂、NH₃ 气体的检测,气体浓度均为系统预期检出下限 5 mg/L,将每个传感器实时采集的频率结果汇总如下图 7. 表 2 中汇总了 5 台传感器终端对 4 种被测气体的响应值以及报警情况.

由此可见声表面波气体传感器可对低浓度的被测毒害气体有迅速而明显的频率响应,传感器系统具有较低的检出限,具有较强的实际应用价值.

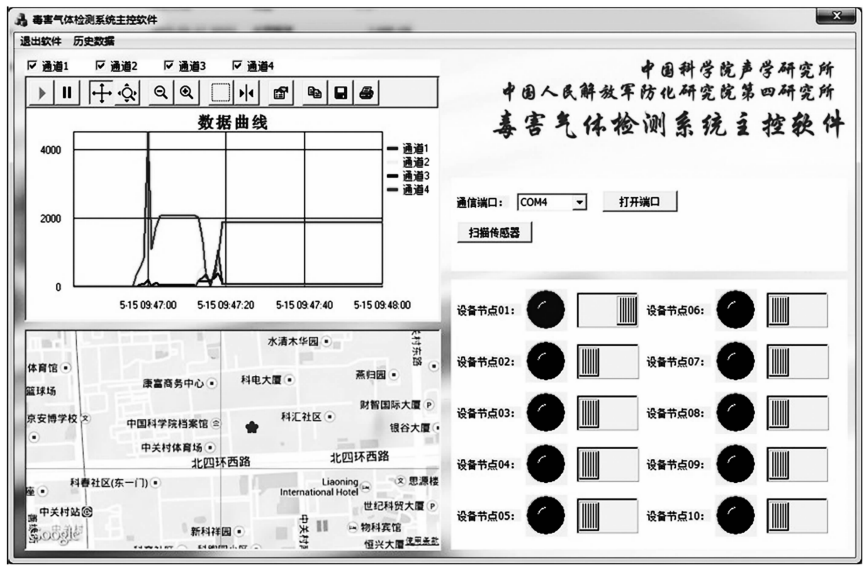


图 6 主控中心定位信息显示图

Fig.6 Diagram of location information on the control center

表 2 传感器终端的气体响应列表
Tab.2 List of gas response from the sensor terminal

终端气体	1#	2#	3#	4#	5#
H ₂ S	286 Hz	283 Hz	378 Hz	276 Hz	297 Hz
SO ₂	196 Hz	177 Hz	245 Hz	165 Hz	185 Hz
NH ₃	605 Hz	643 Hz	718 Hz	593 Hz	636 Hz
NO ₂	868 Hz	834 Hz	905 Hz	815 Hz	850 Hz
检测结果	报警	报警	报警	报警	报警

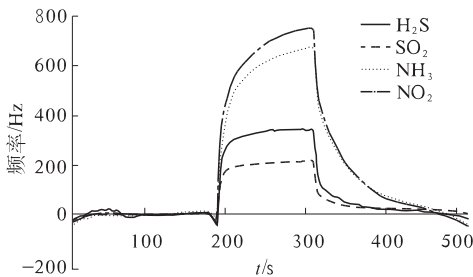


图 7 传感器响应结果
Fig.7 Result of sensor response

5 结论

采用物联网技术的声表面波传感器阵列毒害气体检测系统的设计与实现不仅使得声表面波气体传感器技术的应用领域得到了拓宽,也填补了物联网在复杂环境气体检测领域的空白,系统的试制成功对公共安全和生产安全领域环境在线实时检测具有重大意义。

参考文献:

[1] 施文.有毒有害气体检测仪器原理和应用[M].北

京:化学工业出版社,2009:1.

[2] 刘涛涛.基于 ZigBee 技术的设备状态监测与故障诊断系统设计[D].中北大学机械能与自动化学学院,2014.

[3] 高福友.无线网络前端设备社区安防系统研究[J].郑州大学学报(工学版),2011,32(4):120-124.

[4] 孙玉胜.浅析山区静态 GPS 控制网高程拟合问题[J].新疆有色金属,2011,34(5):23-24.

[5] 牟乃夏,钟士金,王复明,等. GPS 控制点在公路电子地图中的应用[J].郑州工业大学学报(自然科学版),2001,22(2):89-91.

[6] 邹小红,郭成海,史瑞雪.声表面波气体传感器的设计[J].化学传感器,2000,20(3):6-11.

[7] 肖鸣山,宋道仁.声表面波器件基础[M].山东科学技术出版社,1980:1.

[8] 骆国芳,吕晖,曹丙庆,等.声表面波气体传感器化学敏感膜研究进展[J].分析仪器,2007(3):1-5.

[9] 杨楷,李志刚,景玉鹏,等.声表面波气体传感器的研究进展[J].电子元件与材料,2008,27(9):26-30.

Design of the Poison Gas Detection System with IOP and Surface Acoustic Wave Sensor Array

LIU Xinlu¹, WANG Wen¹, PAN Yong², SHAO Shengyu², MU Ning²

(1. Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
2. Research Institute of Chemical Defense, Beijing 102205, China)

Abstract: In view of the increasingly prominent problem of sudden and uncertainty of the public security and production safety, toxic gas detection system with surface acoustic wave sensor array and Internet of things technology is proposed in this paper. It presents a design scheme of toxic gas detection system, and verifies the feasibility of the system respectively from the Internet of things technology and acoustic surface wave technology. The system realizes gas detection and alarm by using ZigBee, GPS, and the different sensitive coating film 4 channel surface acoustic wave sensor array and the corresponding data processing algorithm and so on. It has formed a mature facilitate localization of sensor network. Through the experiment the system achieves the expected goal.

Key words: surface acoustic wave; the Internet of things; gas sensor array; ZigBee; GPS