

基于超声波技术的隐蔽锂电池智能检测与预警装置研究

范奕晗 林心淇 王若菡 蒋弘跃 康淋硕

深圳市龙华中学 广东 深圳 518106

【摘要】：电动自行车数量快速增多，锂电池违规带到电梯、楼道等封闭空间引发的火灾事故，渐渐成了城市公共安全的重大隐患。鉴于现有检测技术在隐蔽性、实时性还有环境适应性上存在欠缺，本文设计了一种基于超声波技术的隐蔽锂电池智能检测与预警装置。该装置借助多探头超声波阵列收集回波信号，再结合飞行时间、回波幅度特征达成对锂电池的非接触识别。并且利用微控制器处理数据，通过声光报警、远程通信模块达成实时预警。实验结果显示，该系统在复杂环境里有较高识别准确率和较低误报率，能有效识别大型锂电池目标并及时发出警示。研究结果表明，基于超声波技术的隐蔽检测装置具备结构简单、成本低、安装便捷、检测可靠等长处，在公共场所锂电池安全管理领域有广阔应用前景。

【关键词】：超声波检测；锂电池识别；智能预警装置；非接触检测；公共安全

DOI:10.12417/3083-5526.25.08.006

引言

近些年来，电动自行车在城市交通里的普及率持续上升，然而与之相伴的锂电池安全问题越来越显著。部分用户把锂电池带进电梯或者楼道充电，一旦出现热失控事故，很容易造成严重的人员伤亡、财产损失。所以，强化对锂电池进入公共封闭空间的监管非常关键。当下常见的检测方式主要有人工检查、视觉识别、金属探测等技术，不过这些方法在实际运用中存在不少局限，像容易受到光照影响、识别准确率不稳定、隐蔽性不够等情况。针对这些不足之处，本文给出一种依据超声波回波特征的隐蔽式锂电池检测方案，借助多探头协同检测、信号融合算法达成对锂电池目标的可靠识别，并且通过报警系统实现实时安全预警，进而为公共场所安全管理给予技术支撑。

1 超声波检测技术原理与系统结构

1.1 超声波检测技术原理

超声波属于频率高于人耳可听范围的机械波，在空气或者固体介质里传播时，碰到障碍物会产生反射回波。测量超声波从发射直至接收的时间差，就能算出目标物体与传感器间的距离。而且不同材料对超声波的反射特性有差别，像金属或者刚性结构一般会产生较强的回波信号。锂电池包通常有金属外壳、内部结构，所以在超声波检测时会形成明显的回波特征。借助这一特性，通过分析回波信号的飞行时间、幅度变化能够实现锂电池目标的识别。

1.2 系统总体结构设计

本研究设计的检测装置主要包括外壳结构、超声波探头阵列、控制模块、报警模块。外壳采用金属结构设计，通过外观伪装能让设备隐蔽安装在电梯入口或者楼道墙面，不会影响周边环境美观。超声波探头阵列的作用是发射、接收超声波信号，借助多方向检测提高识别可靠性。控制模块处理回波数据并做识别判断，报警模块在检测到锂电池时发出声光提示或者触发

外部安全系统。

1.3 系统工作流程

在系统运行时段内，控制模块会以周期性的方式驱动超声波探头发射脉冲信号。一旦目标进入到检测区域范围，探头就会接收到反射回来的回波，接着把该信号传送到控制模块里做处理。系统会先去计算回波飞行的时间，以此来确定目标的距离，与此同时还会对回波幅度特征加以分析。要是检测结果符合预设的阈值条件，系统就会判定目标是锂电池，并且马上启动报警装置去提醒管理人员。

2 关键硬件模块设计

2.1 超声波探头阵列设计

此系统采用多探头阵列结构，在装置表面布置多个超声波收发一体探头，其目的在于提高检测范围、识别准确率。探头工作频率大概是 40 kHz，在空气中能够稳定传播，而且具备较好的反射检测能力。把探头分别朝着不同方向布置，能够达成对检测区域的全面覆盖，进而减少检测盲区。要是多个探头同时检测到强回波信号，可进一步提高系统判断的可靠性。

2.2 控制模块设计

控制模块将 ESP32 微控制器当作核心，承担着系统信号采集、数据处理、逻辑判断的工作。ESP32 具备比较强的数据处理能力、丰富的通信接口，能够同时对多个探头的回波数据加以处理。系统借助定时器来控制探头发射超声波信号，利用高速采样模块记录回波信号的变化情况，之后通过算法展开实时分析。

2.3 报警与通信模块设计

一旦系统察觉到锂电池进入了预先设定的禁入区域，装置会即刻开启报警模块，为现场人员给予安全提示。报警模块借助多种途径发出警示信号，以便管理人员能够及时察觉潜在的安全风险。蜂鸣器能够生成明显的声音提示，在人员活动比较频繁的环境里具备不错的提醒效果。LED 指示灯以持续闪烁的

方式来强化视觉提示,让现场工作人员能够快速留意到异常情形。声光报警联合运用,能够在不同的环境状况下维持良好的警示效果。系统还预留了继电器接口,可与外部报警设备相连,进而使报警范围得以进一步拓展。通过外接声光报警器或者安防系统,能够在更大的范围内传递安全警示信息,以此提高整体的安全防护能力。无线通信模块的添加,让系统能够把报警信息实时发送至管理平台,管理人员可通过该平台对报警事件进行查看和记录。

3 智能识别算法与系统实现

3.1 距离计算与回波分析算法

在超声波检测系统里回波飞行时间是确定目标距离的关键依据。超声波在空气中的传播速度约是 340 m/s,探头发射出脉冲信号后,声波碰到物体表面会产生反射然后返回传感器。系统测量声波从发射到接收经历的时间差,就能算出目标距离,基本关系为距离 = (声速 × 飞行时间) / 2。通过实时计算回波飞行时间,系统可判断目标有没有进入设定的检测区域。但是在实际环境中仅靠距离信息很难准确识别锂电池目标。像人体、箱包或者其他物体也有可能进入检测范围,所以要进一步分析回波信号的幅度特征。因为锂电池一般有金属外壳或者结构比较刚性,它对超声波信号的反射强度比柔性物体高很多。所以系统分析回波幅度并设置合适阈值来区分不同类型目标。当回波幅度显著高于背景信号水平,就能认为检测区域有反射特性较强的物体,进而提高识别准确度。

3.2 多探头协同识别算法

本研究采用多探头协同识别算法提高检测系统可靠性。此系统在装置外壳表面布置多个超声波探头,各探头朝向不同方向,形成覆盖整个检测区域的探测网络。目标进入检测范围后,不同方向探头会接收到同一物体的回波信号。综合分析多个探头采集的数据,可提高系统识别准确率。算法设计上,系统设置双重判定条件,一是目标距离小于设定检测阈值,二是回波幅度达到预设强度标准。至少两个探头同时满足上述条件时,系统判定检测到锂电池目标。这种多探头联合判断方式能防止单个探头因偶然干扰或反射异常导致误判,从而提高整体检测可靠性。

3.3 信号滤波与抗干扰处理

在实际的应用环境当中,检测系统有可能会受到多种因素的作用,像是环境噪声、空气流动、复杂结构所产生的反射干扰等。为了提高系统的稳定性,本研究在算法设计的时候引入了数字滤波与多帧确认机制。首先,借助背景扣除算法来建立环境回波基线,把稳定的背景信号从检测数据里去去除掉,以此突出目标物体产生的回波特征。其次,系统会对连续多次的检测结果进行统计分析,只有在多个连续检测周期都满足判定条件的时候,才会确认目标存在。通过这种多帧确认策略,能够

减少偶然干扰导致的误报问题。系统还运用动态阈值调整算法,依据环境变化自动修正检测参数,让系统可以在不同的环境条件下维持稳定运行。

4 系统实验测试与性能分析

4.1 实验环境与测试方法

本研究搭建了能模拟电梯入口环境的实验平台,用这个平台去验证所提检测装置在实际环境里的可行性。此实验平台有电梯门口区域模拟结构、超声波检测装置、数据采集系统。检测装置安装在墙面或者门框处,距离地面大概 1.2 米,这样能确保覆盖人员携带物品进入电梯的主要通道。实验的时候设定了多种测试情形,像携带锂电池进入、没携带电池、普通行李通过、人体单独进入等状况。通过反复实验收集了大量检测数据,还对系统识别结果进行统计分析。在不同光照条件、不同人员数量、不同环境噪声情形下进行测试,进而评估系统在复杂环境下的稳定性与适应能力。

4.2 检测结果分析

通过对实验数据展开统计分析能够知道,当携带锂电池进入检测区域之时,多个探头能够同时检测到比较明显的回波信号变化,并且这种变化符合距离与幅度阈值的相关条件。系统能够在较短的时间内完成识别工作进而触发报警装置,这表明检测算法的识别效率是比较高的。当普通物体或者人体通过检测区域时,由于其结构特征与锂电池存在差异,回波幅度通常会低于系统设定的阈值,或者只有单个探头检测到信号出现变化,所以不会触发报警。实验结果表明,系统在多数情形下能够正确区分锂电池与其他物体,这说明所设计的识别算法具备良好的目标识别能力。在复杂环境测试当中,比如弱光环境或者强光环境下,系统的检测性能基本上不会受到影响,这意味着超声波检测技术的环境适应能力比较强。与视觉识别技术相比较而言,该方法不需要依赖光照条件,所以更加适合在公共场所实现长期稳定运行。

4.3 系统性能评价

通过综合实验结果能够发现,所设计的检测装置具备较高识别准确率、较低误报率。系统响应时间比较短,从目标进入检测区域直至触发报警一般只需短短几秒钟,能够充分满足实时安全预警的需求。多探头阵列结构与复合识别算法提高系统抗干扰能力,使其可以在复杂环境里稳定运行。该装置结构设计比较简单,安装过程便捷,无需对现有建筑结构加以改造,具有较强工程应用可行性。从成本方面来看,系统主要由超声波传感器、微控制器、报警模块组成,整体成本不高,适合在居民楼、电梯入口等场所进行大规模布置。

5 装置应用价值与发展前景

5.1 公共安全防护价值

电动自行车数量持续增多,锂电池违规进入电梯或者楼道

充电的情况屡屡出现,此种行为很容易引发严重火灾事故。在电梯入口或者公共通道安装隐蔽式检测装置,当锂电池进入禁入区域时能及时发出警报,以此提醒相关人员采取措施。这种主动预警方式可有效减少潜在安全隐患,提高居民生活环境的安全性。该检测装置有着隐蔽安装的特性,不容易被人为破坏或者规避,能够长期稳定运行。这对加强公共场所安全管理意义重大,还可为社区消防安全管理提供技术支持。

5.2 智能城市安全管理应用

在智慧城市建设的背景之下,各种各样的安全监测设备正慢慢朝着智能化、网络化的方向不断发展。此装置能够借助无线通信模块与城市安全管理平台相连接,达成报警信息的远程传输、集中管理。一旦系统检测到锂电池进入禁入区域,相关信息能够实时发送至管理平台或者物业管理系统,进而实现快速响应与处理。把检测设备接入城市安全网络,还能够对检测数据展开长期统计分析,以此识别高风险区域并制定针对性的安全管理措施。这种依靠数据驱动的管理方式能够进一步提高城市公共安全管理水平。

5.3 技术发展与应用扩展

未来,借助超声波技术的检测装置能够与更多先进技术相

结合来实现升级。举例来说,将机器学习算法引入其中用以分析回波数据,能够使系统识别精度得到进一步提高。把多种传感技术进行融合,像红外传感器或者重量传感器,能够达成更为准确的目标识别。而且,这项技术还能够拓展应用至停车场、地下车库、商场入口等公共区域,对有可能存在安全风险的物品展开检测。伴随智能制造和物联网技术的发展,检测装置还能够达成远程监控与智能维护,进而使系统可靠性、应用价值获得进一步提高。

结论

公共场所中锂电池存在安全隐患,本文设计了一种基于超声波技术的隐蔽锂电池智能检测与预警装置。电动设备和便携式储能产品广泛使用,公共空间里锂电池数量增多,管理不当易引发火灾等安全风险。该装置用多探头超声波阵列建立检测区域,对目标物体声波扫描,用回波信号特征分析算法处理检测数据,实现对锂电池目标非接触识别。系统识别疑似锂电池目标后,通过内置报警模块发出预警信号,让管理人员及时采取安全处置措施。多探头阵列结构能扩大检测范围、提高识别精度,让装置在复杂环境有较好稳定性。实验结果显示,该系统不同环境条件下检测准确率高、误报率低,能满足公共场所安全检测需求。

参考文献:

- [1] 李强. 超声波检测技术在工业检测中的应用研究[J]. 传感器技术,2021.
- [2] 王志远. 基于 RFID 与传感技术的智能安全监测系统[J]. 自动化技术与应用,2022.
- [3] 张明. 电动自行车锂电池安全检测技术研究[J]. 消防科学与技术,2023.