



Portable Nuclear Isotope Identifier System Design

Ceheng Shu

College of Nuclear Technology and Automation Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu, China

Email: 1733747086@qq.com

How to cite this paper: Shu, C.H. (2023) Portable Nuclear Isotope Identifier System Design. *Open Access Library Journal*, 10: e10761.

<https://doi.org/10.4236/oalib.1110761>

Received: September 17, 2023

Accepted: October 22, 2023

Published: October 25, 2023

Copyright © 2023 by author(s) and Open Access Library Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

With the increasing applications of radioactivity measurements in the nuclear industry, this paper focuses on the rapid identification, ease of operation, and low power consumption of portable nuclear isotope identifiers. Leveraging the excellent performance, ease of software portability, and open-source nature of embedded Linux systems, this research addresses key aspects such as spectrum data filtering, peak finding, false peak detection, and multi-isotope recognition. This system ensures portability while enabling long-duration measurements and accurate identification of radioactive isotopes under various measurement conditions.

Subject Areas

Nuclear Physics

Keywords

Portable Nuclear Isotope Identifier, γ Spectrum Measurement, Embedded Devices

1. 概述

随着核能应用的增加和核材料的广泛使用，对于核材料的安全管理和辐射监测变得尤为重要。传统上，核素测量和识别通常需要使用大型和昂贵的设备，只能在实验室或专门的设施中进行。这限制了核材料的现场快速检测能力。便携式核素识别仪对核材料的迅速检测和识别的能力使得其在面对随着核材料带来的潜在风险和核恐怖主义的威胁时提高安全性，能确保在不安全或可疑环境中能够及时检测和识别潜在的核材料。其快速部署和操作方便等特点能在核事故、核泄漏或其他放射性事件[1]发生时能实现快速响应和现场测量。

为了提高在测量场合的实时性与准确性同时提高核素识别仪的易用性，本文通过引入嵌入式 Linux 系统与恩智浦 i.MX6ULL 低功耗嵌入式平台，同时使用 SiPM (硅光电倍增管)代替传统的 PMT (光电倍增管)，在充分保证了核素识别仪系统的识别准确率的同时延长了仪器续航同时降低了仪器的重量。

2. 便携式核素识别仪硬件设计

便携式核素识别仪系统可分为硬件系统与软件系统两个方面[2]。硬件系统部分由探测器，放大甄别电路，嵌入式硬件系统和电源组成，组成框图如图 1 所示。



图 1. 核素识别仪硬件系统

2.1. 探测器

探测器由 NaI 晶体与 SiPM (硅光电倍增管)组成。NaI 晶体是一种常用的闪烁体材料，由钠碘化物(NaI)制成。它在放射性核素测量和探测中广泛应用。NaI 晶体具有良好的闪烁性能，即当它暴露于辐射源时，可以发出可见光的闪烁。这种闪烁是由辐射粒子与晶体中的原子发生相互作用而产生的。闪烁光信号可以通过光电倍增管或其他光电转换装置进行转换和放大，以便进行测量和分析。其主要特点包括高闪烁效率、宽能量响应范围、快速时间响应、相对低成本。SiPM (硅光电倍增管)是一种光电转换器件，用于检测和放大闪烁体产生的光信号。它是一种基于硅材料的光电二极管阵列，具有高增益、高灵敏度和单光子分辨能力的特点。SiPM 由许多微小的光电二极管(也称为光电子单元或像素)组成，每个像素都有一个光电二极管和一个电子增益器。当光子击中光电二极管时，它会产生一对电子和空穴，并形成一电荷脉冲。

这个电荷脉冲会通过增益器被放大，从而产生一个可测量的电压脉冲信号。

本文使用 1 英寸的 NaI 晶体(图 2)与 3×3 的 SiPM 阵列(图 3)，SiPM 的型号为 NDL 的 EQR15 有效探测面积为 $6.14 \text{ mm} \times 6.14 \text{ mm}$ ，在保证核素识别仪的探测效率的同时降低探测器重量。



图 2. NaI 探测器

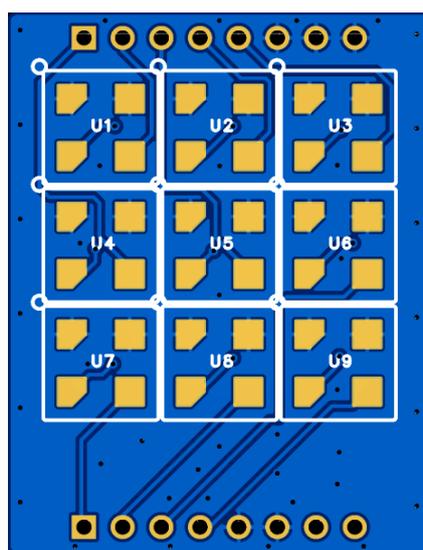


图 3. SiPM 阵列底板示意图

2.2. 放大甄别电路

放大甄别电路主要由放大器与数字多道脉冲幅度分析器两个部分组成，放大器是一种用于增强信号强度的设备其作用是提高 SiPM 产生的电信号的强度，使其能够更好地适应后续电路的处理要求，并减少信号在传输过程中的噪声和失真。数字多道脉冲幅度分析器是一种用于测量和分析数字脉冲信号幅度的设备，数字多道具有高速、高精度和多通道并行处理的优势。它能

够快速处理大量信号，并提供高分辨率的能谱测量，当核脉冲信号进入数字多道脉冲幅度分析器时，会首先对信号进行采样，然后对采样得到的数据进行梯形成型，最后对得到的梯形成型数据分析得到脉冲幅度，在根据得到的脉冲幅度得出能谱。

本文选择 AD8065 (图 4) 作为前置放大器的集成运算放大器，AD8065 是一种电压反馈型放大器，提供 FET 输入，性能出色、易于使用，使用 SGM3204 (图 5) 为放大器提供 -5 V 电源，其较小的纹波能提高系统整体的信噪比。

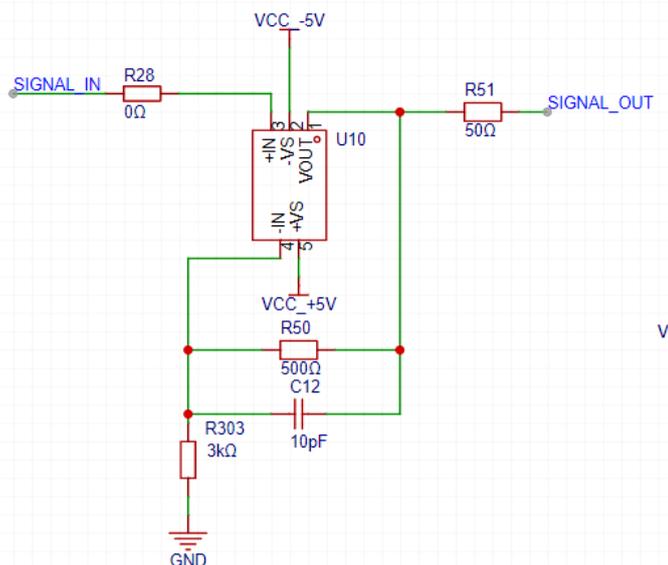


图 4. 前置放大电路

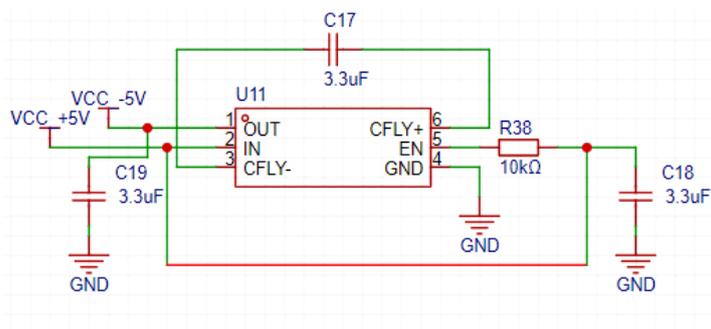


图 5. -5 V 电源电路

2.3. 嵌入式硬件系统

嵌入式硬件系统(图 6)采用基于 Arm Cortex-A7 内核的恩智浦 i.MX6ULL 核心板为主控，主频为 800 MHz，内存为 512 MB，其具有低功耗高性能且低成本的优点；使用 Micro SD Card 作为系统存储，可以存储上万条能谱数据，能够满足辐射测量中对数据存储的要求；使用 5 寸电容触摸屏显示测量数据并进行 UI 交互，屏幕通过 RGB 接口与主控连接，使用户交互美观、方便快捷。

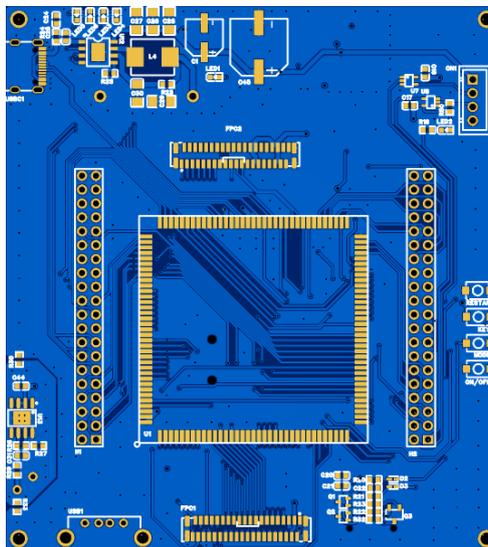


图 6. 嵌入式系统整体电路示意图

2.4. 电源

系统电源包括电池，电源管理系统，5 V 低纹波电源系统。电池使用 3 节 18650 电池并联而成，电压为 3.7 V 容量为 9000 mAh，可以使测量系统连续工作 12 个小时以上，满足对便携式核素识别仪长续航的要求；电源管理系统使用英集芯的 IP5306 芯片作为电源管理系统的控制核心，IP5306 (图 7) 是一款集成升压转换器、锂电池充电管理、电池电量指示的多功能电源管理 SOC，此系统负责对嵌入式硬件系统，放大甄别电路中的数字多道脉冲幅度分析器供电；5 V 低纹波电源系统使用德州仪器的 TPS7A7001 (图 8) 作为稳压电源，TPS7A7001 是一款高性能、正电压、低压降(LDO)稳压器，5 V 低纹波电源系统输出的电压相较于 IP5306 芯片输出的电压更加稳定，负责对系统中对电源质量敏感的放大器与 SiPM (硅光电倍增管) 偏置电源供电，使用纹波电源可以显著提高探测的能量分辨率从而提高探测器的核素识别精度。

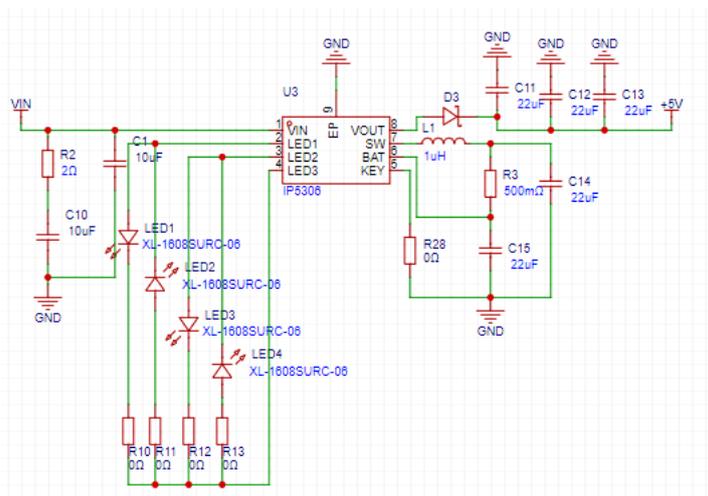


图 7. IP5306 电源管理芯片电路

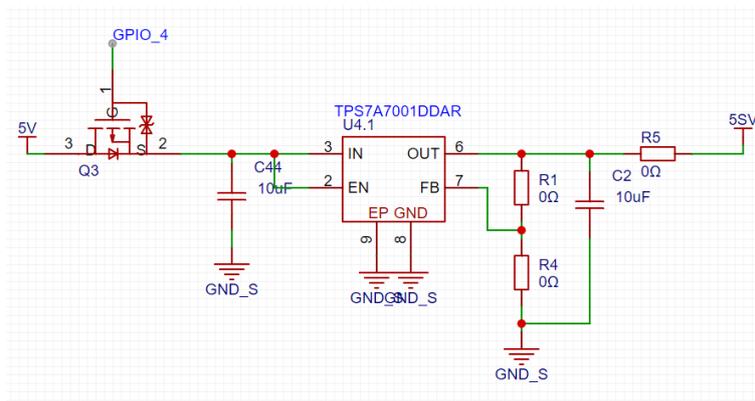


图 8. TPS7A7001 低纹波电源电路

3. 便携式核素识别仪软件设计

软件系统由嵌入式 linux 系统，硬件驱动，测量软件(硬件控制，数据处理，UI 交互)组成其组成框图如图 9 所示。



图 9. 核素识别仪软件系统

3.1. 嵌入式 linux 系统

嵌入式 Linux 系统是一种基于 Linux 操作系统的嵌入式计算平台，用于在资源受限的嵌入式设备上运行。其特点有：轻量级和定制化：嵌入式 Linux 系统经过精简和优化，只包含必要的组件和功能，以适应资源受限的嵌入式设备。开发人员可以根据具体需求进行定制，选择需要的内核模块、设备驱动和用户空间工具；支持多种处理器架构：Linux 内核广泛支持多种处理器架构，如 ARM、MIPS、PowerPC 等，因此嵌入式 Linux 系统可以在不同的处理器平台上运行；开放源代码和生态系统：Linux 操作系统是开放源代码的，拥有庞大的开发者社区和丰富的软件生态系统。开发人员可以利用开源社区提供的工具、库和应用程序进行开发，从而节省时间和资源；多任务和多进

程支持：嵌入式 Linux 系统支持多任务和多进程运行，可以同时执行多个应用程序和服务。它提供了任务调度、内存管理和进程间通信等机制，使多个任务能够共享系统资源并相互隔离；强大的网络和通信能力：嵌入式 Linux 系统提供了丰富的网络协议栈和通信功能，包括 TCP/IP、HTTP、FTP、串口通信等，使设备能够进行网络连接、远程管理和数据交互；可扩展性和灵活性：嵌入式 Linux 系统可以通过添加和配置内核模块、设备驱动和应用程序来实现功能扩展和定制化。它可以适应不同的应用需求，例如物联网设备、嵌入式控制系统、嵌入式媒体播放器等。

3.2. 硬件驱动

硬件驱动包括 I2C, SPI, UART 与 GPIO 驱动。I2C 驱动负责与仪器中的 SHT30 温湿度传感器通信，实时获取探测器的温度与湿度数据；SPI 驱动负责与 TPC116S1 芯片通信,TPC116S1 是一款 DAC 芯片作用是稳定 SiPM(硅光电倍增管)的偏置电源电压；UART 驱动负责与数字多道脉冲幅度分析器通信，将数字多道脉冲幅度分析器获取到的数据读取到嵌入式 linux 系统中进行分析；GPIO 驱动负责控制 5 V 低纹波电源系统的开关，在系统待机时减小系统的功耗。

3.3. 测量软件

测量软件(图 10)由硬件控制，数据处理，UI 交互三个部分组成[3]。硬件控制部分主要负责系统的整体控制与每个模块和硬件之间的通信；数据处理模块主要负责核数据的处理，包括核素识别相关、稳谱与剂量计算相关算法，还要负责相关数据保存功能；UI 交互模块主要负责读取用户输入、输出计算结果与历史信息。其中 UI 交互分为主界面、数据与日志、设置三个主要界面。

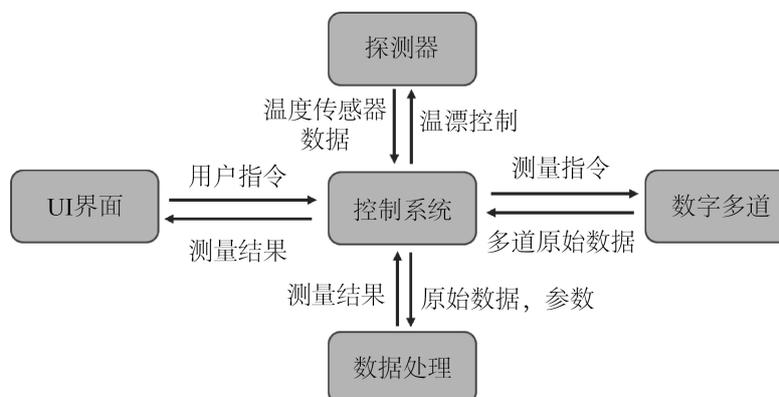


图 10. 测量软件逻辑结构

主界面(图 11)分为能谱、核素识别、综合数据三个子界面，主要提供能谱展示、核素识别结果展示、辐射测量结果展示与测量控制的功能。

数据与日志界面(图 12)分为历史数据与系统日志两个子界面，主要负责展示历史测量数据与系统日志。

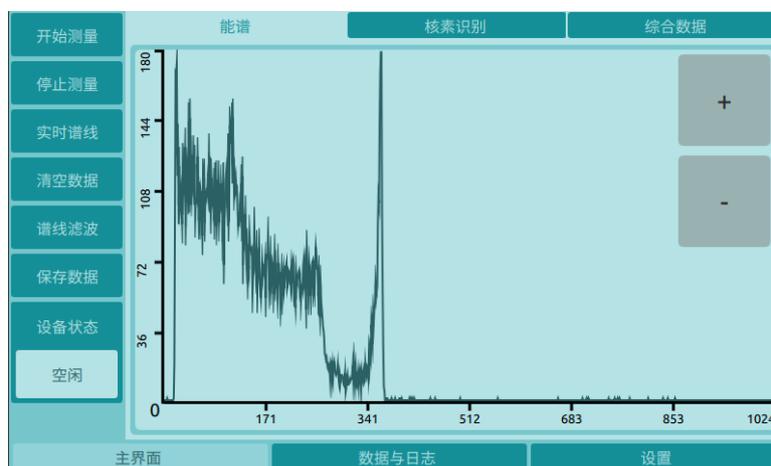


图 11. 主界面

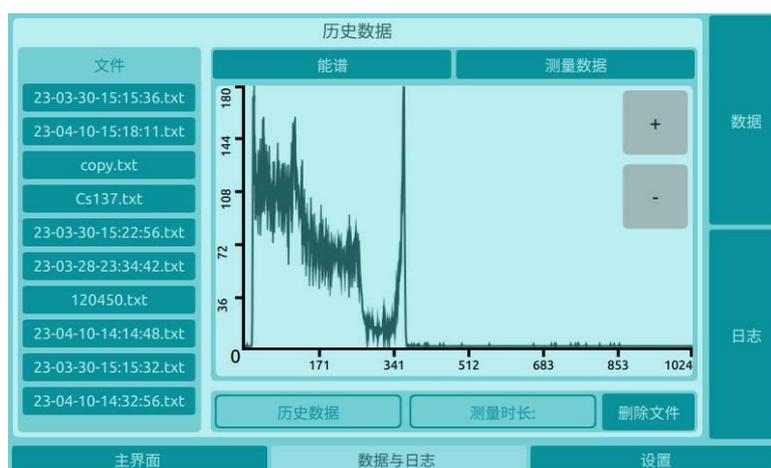


图 12. 系统与日志界面

设置界面(图 13)分为常规设置、高级设置两个子界面, 常规设置界面负责设置能谱参数与核素识别参数, 高级设置负责调整谱仪参数。



图 13. 设置界面

3.4. 核素识别算法

核素识别算法是一类用于将从辐射探测器获得的能谱数据转化为核素信息的计算方法。这些算法利用能谱中不同核素的能量特征，以及核素之间的相对强度差异，从而对辐射源中的核素进行鉴别和识别[4]。本文采用两种核素识别算法进行计算(图 14)，特征峰匹配：这是最基本的核素识别方法之一。它通过识别能谱中的能量峰(尖锐的能量峰值)，并根据这些峰的位置和强度来判断可能存在的核素。每个核素的能量峰都有其特定的位置，可以与已知核素的能谱库进行比对来进行识别。常用的寻峰方法有寻峰算法有比较法、导数法、高斯拟合法和对称零面积法等；模糊逻辑：与特征峰匹配类似先通过相关寻峰算法提取能谱中的能量峰，再利用峰的宽度与半高宽刻度值进行对比区分单峰，重峰与干扰峰的情况。在核素识别环节,从核素出发使用最显著特征峰进行初步筛选，根据特征峰数量对核素进行分类识别，并借助模糊隶属函数计算核素置信度。

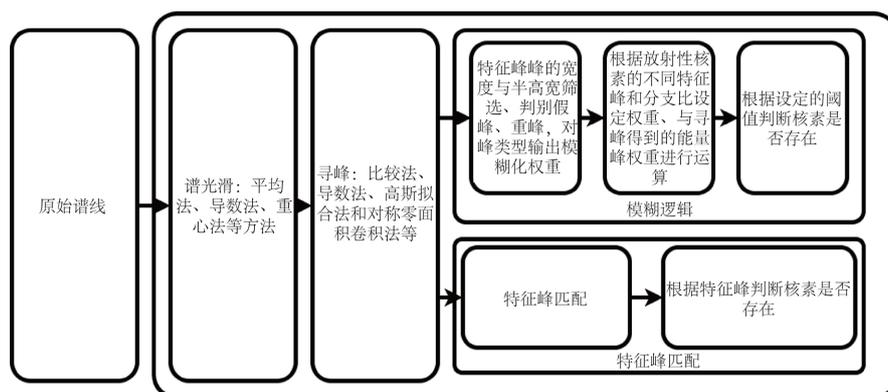


图 14. 核素识别方法

4. 结论

本文通过 Cs137, Co60, Am241 三种典型放射源对核素识别系统进行测试(图 15)，结果表明该系统运行稳定，能有效的识别放射性核素，在面对多核素混合(图 16)的情况下时系统也能保证核素识别的准确率。

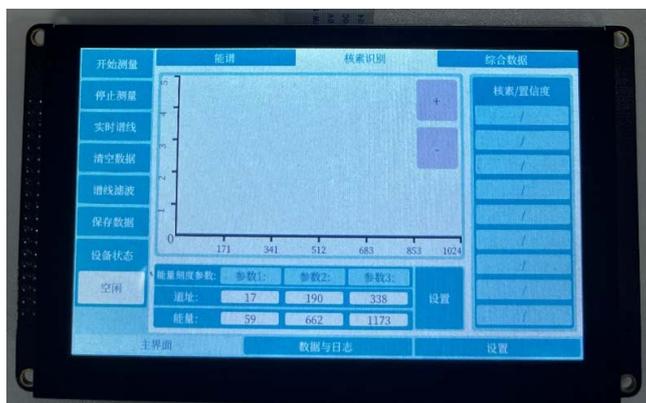


图 15. 系统运行测试

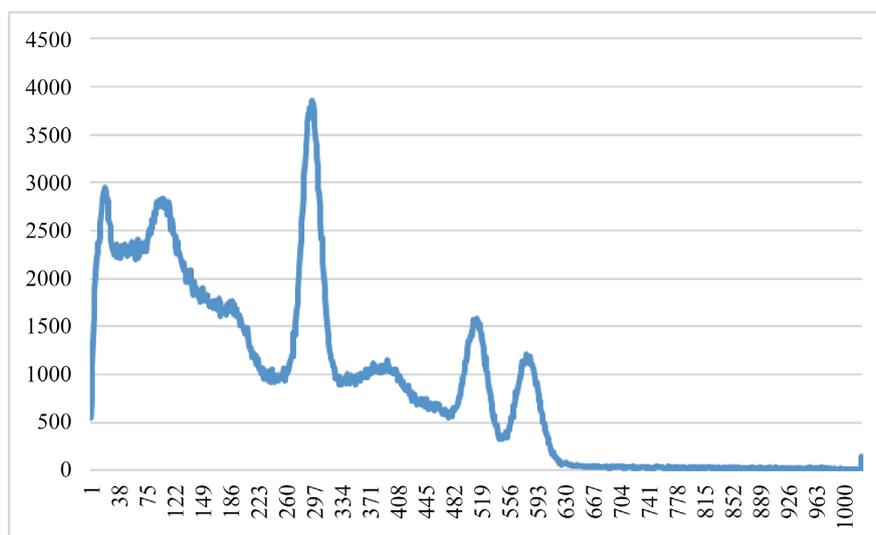


图 16. Cs137、Co60 混合能谱

本文针对便携式核素识别仪详细介绍了其总体设计，对于硬件与软件的各个模块的功能与需求进行了详尽的探讨，就核素识别这一主要功能在硬件与软件两个方向进行研究，保证了核素识别的测量准确性与便携性。

基金项目

四川省科技计划项目(项目编号：2023YFG0347)。

Conflicts of Interest

The author declares no conflicts of interest.

References

- [1] 王百荣, 问斯莹, 吴泽乾, 等. 空气中人工 γ 放射性核素在线预警监测[J]. 核电子学与探测技术, 2018, 38(4): 592-595.
- [2] 闫海霞, 赵孝文, 姚钢, 等. 混合核素识别通讯系统的硬件组成及软件设计[J]. 自动化技术与应用, 2020, 39(10): 46-49.
- [3] 李林航, 曹平, 袁建辉, 等. 深海原位核探测谱仪软件设计[J]. 电子测量技术, 2022, 45(16): 1-7. <https://doi.org/10.19651/j.cnki.emt.2208961>
- [4] 贺楠, 吕会议, 王波, 等. 基于人工神经网络的核素识别方法[J]. 兵工自动化, 2022, 41(3): 91-96.

Appendix (Abstract and Keywords in Chinese)

便携式核素识别仪的系统设计

摘要: 随着核工业的发展放射性测量的应用日渐广泛,为了使放射性测量更加方便快捷,本文针对便携式核素识别仪的快速识别、操作方便、低功耗等特点,基于嵌入式 Linux 系统的性能优异,软件移植容易,代码开放等特点为基础,在能谱数据的滤波、寻峰,假峰识别,多核素识别等关键点进行的研究。使得该系统在保证便携性的同时可以实现长时间的测量,在多种放射性测量条件下也能准确识别放射性核素。

关键词: 便携式核素识别仪, γ 能谱测量, 嵌入式