

基于 ARM-Linux 的便携式 γ 能谱仪^①

黄 凯, 周正东

(南京航空航天大学 核科学与工程系, 南京 210000)

摘 要: 运用最新嵌入式技术, 搭建 ARM-Linux 嵌入式开发平台, 构建一个可以进行多任务、实时性强、低功耗的便携式 γ 能谱仪. 首先完成了多道脉冲幅度分析器脉冲采集电路的设计, 然后编写了 A/D 转换驱动模块和多道脉冲幅度分析器接口驱动函数, 并利用 QT/E 库完成了能谱数据的处理和显示软件. 在此基础上, 利用 GPS 模块, 实现能谱仪的时间和空间定位.

关键词: 核探测; ARM; 多脉冲幅度分析仪; Linux; QT/E; GPS

Portable Gamma-ray Spectrometer Based on ARM-Linux

HUANG Kai, ZHOU Zheng-Dong

(Department of Nuclear Science and Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210000)

Abstract: Utilizing the latest embedded technology, we built an ARM-Linux embedded development platform and a portable γ ray spectrometer which can undertake multitasking and has powerful real-time performance, low power consumption. Firstly, a multi-channel pulse amplitude analyzer was designed, and then both the A/D transition driver module and multi-channel pulse amplitude analyzer interface drivers were developed. Finally using QT/E lib, a software that can analyse and process spectrum data was also developed. Base on the above development, localization of time and space was also integrated in the spectrometer with GPS module.

Key words: nuclear detection; ARM; multi-channel pulse amplitude analyzer; Linux; QT/E; GPS

人类在进行石油勘测和探索珍贵矿产过程中, 野外地表土壤和岩石中存在着大量无法预见的 γ 辐射, 野外 γ 射线能谱勘测正是由此出现的一种核地球物理方法^[1]. 福岛核电站事故以后, 我国公民开始重视居民生活区和建筑物内部装修的放射性污染检测^[2].

当前 γ 能谱仪多采用单片机作为核心控制器, 片外扩展大量数据 SRAM、程序 EROM 和地址译码锁存元件, 通过 RS-232 串口外接 PC 作为上位机. 采用汇编语言来编写固件程序, 而在 PC 上用直接驱动的编写方式进行一些必要的应用程序编写. 作为便携式能谱仪, 其对便携性、集成化、低功耗有很高的要求, 嵌入式技术的出现恰恰满足了这些要求, 其软硬件可裁剪, 拥有以往任何一款处理器的体系架构所无法比拟的优势.

GPS(Global Position System)作为一种卫星定位系统, 现已被全球大部分国家使用, 卫星定位系统慢慢

融入人们各项生产活动, 如测绘、户外数据采集、车辆导航, 旅游等. GPS 在核探测方面具有重要意义, 可以利用它对核信号进行定时定位, 便于核信号的后继分析.

1 系统选型及依据

32 位 ARM 微处理器已成为嵌入式智能仪器主流, 广泛应用于工业控制、无线通讯、消费类电子产品以及成像监控产品. 本系统采用的是飞凌公司生产的 OK6410 开发板^[3], 核心是三星公司的 S3C6410 芯片, 它基于 ARM11 内核(ARM1176JZF-S), 作为“准 64 位”微处理器, 其性能明显优于 ARM7、ARM9.

为了能控制丰富的芯片资源, 运行功能优化的能谱分析软件、管理大量硬件接口驱动以及核能谱数据, 将 Linux 操作系统移植到 ARM 上, 开源的 Linux 系统丰富的软件资源可减轻开发的任务; 为了让大量能谱

^① 收稿时间:2013-03-27;收到修改稿时间:2013-05-17

数据和复杂的应用程序有序管理, 需要将 Linux 对应的文件系统(YAFFS)进行移植; 为了得到采集到的 γ 射线能谱, 并对其进行软件分析, 基于 Linux 的嵌入式图形开发库(QT/E)^[4]可以让开发过程更直观、方便。

目前, 用于环境核探测的装置无法实现将测试到的大量数据和该测试地点的地理位置信息自动联系起来, 用人工的方法进行的简单定位, 不仅给操作加大了工作量, 而且还很容易造成误点、漏点和数据错误匹配的可能。如果核仪器本身自带 GPS 定位功能, 上面的问题就迎刃而解了。通过核仪器和 GPS 模块的嵌入式有机结合, 可有效分析出有利于形成矿产的区域, 在野外进行矿土资源的勘探; 若用于环境辐射的检测, 可以通过该系统方便得到核事故的污染分布, 实现辐射的监测。

2 能谱仪系统总体设计

该系统总体设计框图如图 1 所示。核探测元件^[5-7]使用能量分辨率适中的 NaI(Tl)闪烁晶体, 并与光电倍增管耦合^[8], 以保证在探测高能射线时的探测效率。核探测获取的电信号经过前置电路进行放大、整形后, 由 OK6410 开发板自带的 A/D 转换芯片对信号进行 A/D 转换, 转换完毕后的结果经处理后存储到片上存储器中, 当能谱数据经过处理后, 采用 QT/E 的图形用户界面库编写核数据分析软件, 并在 LCD 上显示能谱线, 通过 GPS 驱动程序的编写完成对野外能谱仪的时

间和空间的定位。

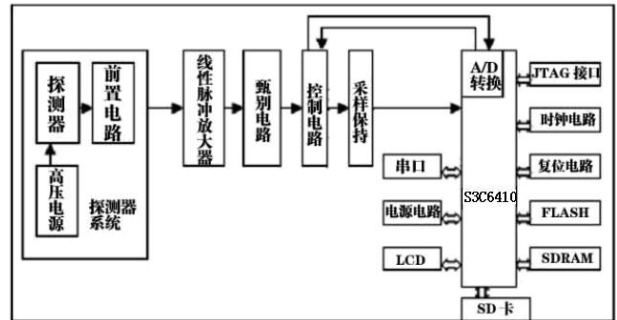


图 1 γ 能谱数据采集系统总体设计框图

3 硬件设计

多道脉冲幅度分析器由脉冲检测电路、过峰检测电路、控制电路、采样保持电路、模数转换电路、ARM 嵌入式系统组成, 控制核心为嵌入式系统。它的基本功能就是按输入脉冲的幅度分类计数。

模拟型峰值检测电路相对简单, 只有在脉冲信号到来的时候, 峰值检测电路给出过峰时间信息, 才启动 A/D 转换。一般, 从前置放大电路输出的脉冲信号峰顶宽度很窄, 不满足 A/D 转换时间要求, 所以要采用采样保持电路对脉冲峰值进行展宽, 使得 A/D 转换过程中峰值的稳定^[9]。

如图 2 所示为多道脉冲幅度分析器中的峰值检测和峰值保持电路, 其构成如下:

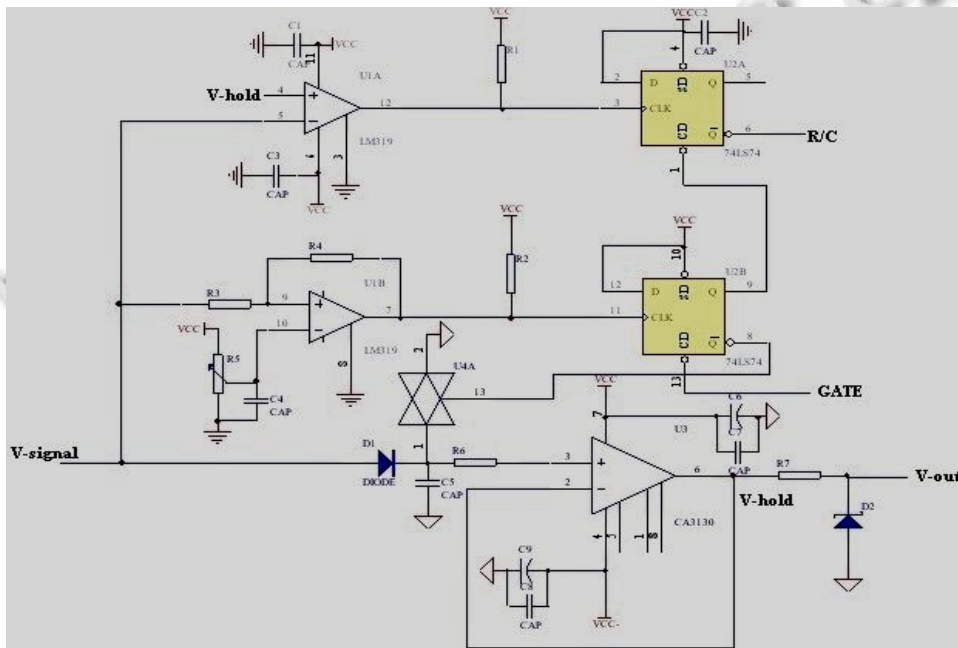


图 2 脉冲峰值检测及保持电路

脉冲检测电路:通过设定电压阈值,将前置放大器输出信号中幅度小于阈值的噪声去除.阈值大小一般在0.7~1V,通过可调电阻调节.核心元件是LM319比较器(U1B),使用施密特触发器可有效保证比较器输出电平的稳定.

过峰检测电路:主要是一个LM319比较器(U1A),通过比较脉冲信号和保持电压(V-hold)来完成过峰检测.

采样保持电路:由一个CA3130放大器、开关二极管1N4148、模拟开关CD4066和低泄漏保持电容等组成.CA3130的输入阻抗约为 $1.5 \times 10^{12} \Omega$,模拟开关CD4066断路时阻抗约 $10^9 \Omega$,可以认为电容在保持状态下没有回路可以放电.

控制电路:它的作用是响应脉冲检测电路输出的上升沿信号和过峰检测电路输出的上升沿信号,同时它还响应S3C6410的复位信号(GATE),控制模拟开关CD4066和输出A/D启动信号.

工作流程如下:将最终输出的V-out连接到S3C6410内置转换器的转换输入通道1,U2A的/Q与AD转换启动信号R/C相连,当检测到过峰信号时, $/Q=0$,启动A/D转换.系统完成AD转换后,STS状态线(STS=0,AD转换中;STS=1,A/D转换结束)向S3C6410申请外部中断,S3C6410进入中断服务程序进行AD转换数据的读取和存储.在中断服务程序中,嵌入式处理器先使GATE=0,即关闭控制电路,然后进行数据处理工作,最后退出中断前处理器再次使GATE=1,即打开控制电路,为下一次脉冲信号采集作准备.

4 软件设计

4.1 Linux操作平台的移植和搭建

实验PC采用的是ubuntu9.10,嵌入式开发一般采用交叉开发^[10]的模式,在所有操作前需要安装交叉编译器在宿主机(PC机)上,通过交叉工具链,最终编译出来的程序才能在目标机(ARM)上运行.

嵌入式系统中没有像BIOS的固件程序,系统的加载启动任务完全由Bootloader^[11]来完成.这里移植的是uboot1.1.6,进行配置和编译后,得到一个“u-boot.bin”的二进制文件,通过USB口烧写到Nandflash上.

嵌入式Linux系统由Linux内核^[12]与根文件系统两部分构成,最大的特点就是内核的定制.本系统移植的是linux-2.6.28的内核,进行内核配置工作时(用

“make menuconfig”命令),根据系统的需要,在内核配置菜单中选择哪些编译入内核,哪些以模块的形式存在.然后使用命令“make zImage”,得到内核映像文件“zImage”,烧写方法同上.

在开发测试阶段,采用NFS文件系统,方便程序的修改和测试,不用每一次修改都要重新编译内核.开发板启动内核后通过NFS挂载并运行它们,经过验证后再烧入单板,最后的成品再采用YAFFS2文件系统.

4.2 基于QT/E的γ能谱处理分析软件

在QT4之前,Qtopia是桌面环境,QT/E是基础类库,在编译Qtopia2.2.0之前需先移植一个基础类库,QT4开始出现qt-extended-4.4.3,它包含基础类库和Qtopia桌面环境.本系统采用的就是Qtopia4.4.3,将其移植到开发板上^[13].

采用QtCreator^[14]作为图形界面的集成开发环境.能谱原始数据通过多道幅度分析器后存储于系统空间内存中,能谱分析应用程序中将会打开设备文件将核数据拷贝到用户空间,并进行软件寻峰等操作.当采集结束后,谱数据在窗口坐标中以连线的形式显示,系统可进一步进行谱线平滑等处理.能谱处理软件包括以下功能模块:文件模块,采集模块,显示模块,分析模块以及帮助模块.

4.3 模块化驱动程序设计

Linux的内核是一个整体式内核,如果都这样做会造成很多不便,新添一个硬件,就需要重新编译内核.内核模块机制很好的解决了这个问题,模块是内核的一部分,作为设备驱动程序^[15],没有被编译到内核中.根据需要,模块可以被加载到运行中的内核,或从内核中卸载.

4.3.1 多道分析仪模块驱动

根据多道脉冲幅度分析器的原理,按照嵌入式Linux设备驱动开发流程进行模块驱动的设计:

(1) 如果驱动程序采用模块方式,则要实现模块初始化和清除函数.

//AD转换设备初始化函数,用来设置AD转换时钟频率,注册AD转换设备,申请AD转换中断.

```
static int _init adc_6410_init(void){ ... }
```

//AD转换设备卸载函数

```
static void _exit adc_6410_exit(void){ ... }
```

```
module_init(adc_6410_init);
```

```
module_exit(adc_6410_exit);
```

(2) 设计所需文件操作, 定义 `file_operations` 结构, 实现所需文件的系统调用, 不能简单通过 `read`、`write` 来实现, 所有类型操作都可以通过 VFS 的 `ioctl` 调用来执行, 具体来说就是在驱动程序中实现 `ioctl` 函数, 在其中添加响应 `case`, 通过 `cmd` 区分不同操作, 通过 `arg` 传递参数和结果. 主要包含以下个操作控制: AD 转换结果存放数据清零, AD 转换开始操作, 应用程序读取 AD 转换结果到用户空间, AD 转换结束操作.

(3) 实现中断服务函数, 并用 `request_irq` 向内核注册. 代码如下:

```
//AD 转换中断服务程序
static void buttons_irq(int irq,void *dev_id,struct
pt_regs *reg)
{ int a0=0;
  a0=ReadAdc(1);
//启动通道 1 进行 AD 转换
  chArr[a0]+=1;
//道址计数加一
  write_gpio_bit(GPIO_F2,0);
//甄别电路峰值保持电容放电
  write_gpio_bit(GPIO_F2,1);
//甄别电路峰值保持电容准备充电
  return;}

```

(4) 整个模块驱动函数最核心的部分是 AD 转换函数 `ReadAdc`, 具体代码如下:

```
static int ReadAdc(int ch)
{ .....
  ADCCON=(1<<14)|(preScaler<<6)|(ch<<3);
//设置转换通道
  ..... ADCCON|=0x1;
//开始 AD 转换
  while(ADCCON&0x1);
//等待 AD 转换是否开始
  while(!(ADCCON&0x8000));
//等待 AD 转换结束
  return((int)ADCDAT0&0x3ff);
//返回 AD 转换结果
}
```

4.3.2 GPS 模块驱动

GPS 信息接受模块设计^[16]:

(1) 数据接收: 系统获得 GPS 数据时主要用到的命令有: 修改和获取命令 `Aa`, 星历数据获取命令 `Bi`, 位置和状态数据获取命令 `Ea`, 卫星载波数据获取命令 `Eg`. 在采集任务中, 主要完成这些命令的发送和数据接受.

(2) 串口驱动设计及使用: 系统对 GPS 模块的访问是通过串口进行的, 串口发送和接收数据都是通过中断方式.

(3) 信息提取: 每种命令都以二进制数据串的格式返回 GPS 信息, 要取得的基本位置和状态数据在 `EA` 中.

将 GPS 模块串口与开发板 `COM1` 相连, 将程序映像直接下载到板子上运行即可, 程序运行后 ARM 串口收到了 GPS 模块发送到开发板的原始观测数据, 测量时间越长, 跟踪捕获卫星数目越多, 只要捕获 4 颗以上, 观测数据就有效, 通过分析可以实现对位置的时间和空间确定.

5 实验结果分析

5.1 γ 射线谱的绘制

在实验室, 分别用 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 辐射源进行伽马射线能谱测试(1024 道), 得到它们所对应的伽马射线能谱图, 分别如图 3 和图 4.

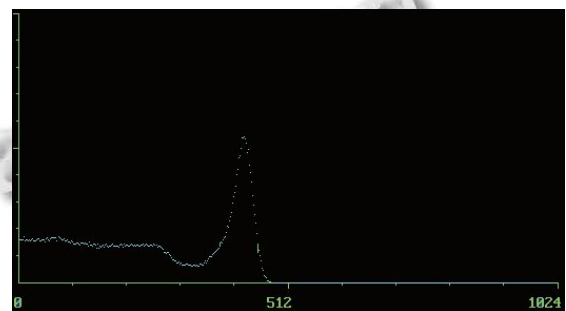


图 3 ^{137}Cs 能谱线(x 轴-道址, y 轴-计数)

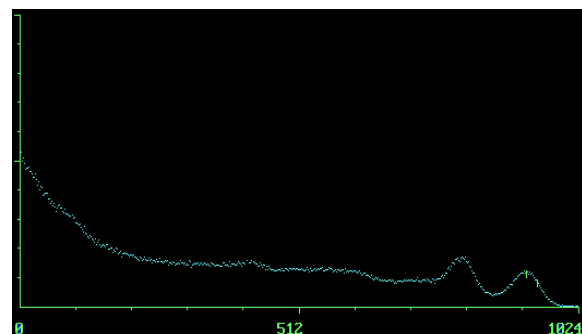


图 4 ^{60}Co 能谱线(x 轴-道址, y 轴-计数)

¹³⁷Cs 和 ⁶⁰Co 的采集时间分别为 300s 和 500s, 因为 300s 时 Cs 开始稳定, 而 Co 需要大概 500s 才能稳定. 通过软件自动寻峰, 最后实验测得 ¹³⁷Cs 的峰位对应道址为 424.8, 同样, 测得 ⁶⁰Co 的左峰位对应道址为 817.5, 右峰位对应道址为 929.2.

5.2 能量分辨率及功耗测试

能量分辨率是 γ 能谱数据采集系统一个重要技术指标. 在室温下, 对 ¹³⁷Cs(特征峰能量为 0.661MeV)放射源进行了 3 次能谱的测试, 得到特征峰位和对应的半高宽. 由半高宽和特征峰位的比值得到测量到的实际能量分辨率, 约为 10.1%. 具体测试结果如下表 1 所示. 本能谱仪涉及工作电压有 $\pm 5V$, $\pm 12V$, 实际测试各部分电流, 总功耗约为 2W.

表 1 能量分辨率的测试

半高宽(chn)	42.9	43.1	42.9
特征峰位(chn)	424.7	424.9	424.8
能量分辨率	10.1%	10.1%	10.1%

5.3 系统的线性测试

因为 S3C6410 中 ADC 的模拟输入范围为 0~3.3V, 所以这里脉冲信号发生器输出的一组脉冲幅度范围在 0.6~3.3V. 先将这组脉冲信号通过数据采集电路、ADC, 然后把其模/数转换结果通过串口传输到 PC 中, 在 Ubuntu 下新建一个终端, 则可以实时地显示这组脉冲信号的 A/D 结果(即道址). 根据测试结果, 得到表 2 所示的各脉冲幅度与其对应的道址.

表 2 各脉冲幅度与其对应道址

脉冲幅值 (V)	道址
0.60	182
0.64	186
0.71	209
0.76	237
0.83	254
0.94	275
1.12	345
1.52	451
2.04	635
2.43	758
2.82	867

由上表数据可计算得到“脉冲幅值”与“道址”的相关系数大约为 0.9995, 这表明系统的线性良好.

5.4 GPS 模块测试结果

为保证 GPS 模块和串口通信的正常工作, 可先进行 PC、开发板和 GPS 模块的交叉串口通信测试. 先将 PC 的串口与开发板串口 0 相连, 再把开发板与 GPS 模块串口 1 相连. 其中, PC 与开发板的串口设置为: 波特率 115200, 8 位的数据位, 1 位的停止位, 且无奇偶校验. 在开发板上运行交叉编译后得到的可执行 GPS 测试程序, 大概 2min 后, 在 PC 上的串口终端窗口中可以看到正常的 GPS 数据, 捕获其中三个数据语句, 如下:

```
$GPGGA,092506.000,3156.3388,N,11847.2323,E,1,08,1.0,8.9,M,.,,0000*35
$GPRMC,092506.000,A,3256.3388,N,11847.2323,E,0.00,0.0,261012,.,*38
$GPVTG,0.0,T,M,0.0,N,0.0,K*50
```

按下“c”键程序即停止运行, 测试结果说明该系统的 GPS 模块和串口通信工作正常, 已经捕获到 8 颗卫星, 接收数据有效. GPS 模块采集的数据只通过串口传送给开发板, 通过分析提取相关 GPS 信息参数后, LCD 液晶屏显示当前装置的 GPS 信息——定位时间为: “time: 09.25.06”, 经度显示为: “longitude: E118.47”, 纬度为“latitude: N32.56”, 这表示能谱仪当前位置为北纬 32 度 56 分, 东经 118 度 47 分, 当前的 UTC 时间为 09 点 25 分 6 秒.

6 结束语

以上是基于 ARM11 的具有 GPS 模块的能谱仪的开发, 将当前智能仪器的嵌入式发展概念引入核探测领域, 尤其作为野外便携式能谱仪, 使其更加集成化、微型化和智能化. 选用的 OK6410 开发板具有丰富的外接资源, 这也可以用来不断拓展核仪器的功能. Linux 操作系统的移植, 有效管理外接资源模块, 同时让多任务和多进程编程成为可能, 开源的特性大大降低了软件开发难度. 鉴于系统设计领域多, 难度大, γ 能谱复杂分析算法还有待完善.

参考文献

- 1 方方.野外地面伽玛射线全谱测量研究[博士学位论文].成都:成都理工大学, 2001.
- 2 黄苏芳,秦会斌.地磁场测量信号处理系统的应用研究.电子与封装,2008,8(1):37-48.
- 3 飞凌嵌入式公司.OK6410 开发板硬件手册 v2.1,2010.

(下转第 73 页)

省局目录服务的同步. 对于每种资源都定义了可以执行的权限, ACL 表里记录了用户对每个资源的访问权限. 用户在访问系统的时候要提供凭证, 该凭证可以是传统口令, 也可以是数字证书. 认证系统通过 ACL 检查对某种资源的访问权限. 对资源的所有操作需要通过审计子系统记录安全审计信息. 所有应用系统都通过该模块获得认证和全局的权限信息, 并对其行为进行审计. 用户/密码验证、严格的权限控制系统等安全保证措施, 做到了系统数据不被非法用户篡改, 确保非法用户不能随意闯入系统.

3 结语

基于 J2EE 的福建省气象局综合管理信息系统, 实现高可用性、安全性、可扩展性和可靠性, 实现了一个计算模型和运行环境的多层体系结构的复杂系统. 首先在技术上它实现了多种技术的, 多种不同应用程

序的功能集合, 在行政上实现了福建气象部门电子政务的大统一、信息共享大集中、政务管理流程规范化、网上办公科学化、行政事务电子化、行政事务反馈快速化、评审体系可量化, 在管理上实现了对政务工作、事务的宏观管理, 与评价体系的客观化, 真正实现了福建电子政务的飞跃式发展, 为政务系统进一步整合气象业务数据提供了很好的借鉴.

参考文献

- 1 梁智学. 基于 MVC 模式的 Struts 框架电子政务系统的设计与实现[博士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- 2 刘勇, 李腊元. 基于 J2EE 的企业级系统的研究与应用. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2004, 28(1): 26-29.
- 3 王卫平, 王松涛, 王名著. 一种基于 J2EE、Spring 和 Hibernate 的轻量级 EAI 架构. 计算机系统应用, 2005, 14(11): 38-41.
- 4 徐广毅, 张晓林, 崔迎炜, 杨欣昕, 吴小伟. 嵌入式 Linux 系统中 GUI 系统的研究与移植. 单片机与嵌入式系统应用, 2004.
- 5 Cibin F, Lanzoni M, Benini L, Ricco B. Linux-based data acquisition and processing on palmtop computer. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, n6, 2006.
- 6 赖万昌. 核辐射探测器与核电子学. 成都: 成都理工大学, 1998.
- 7 Soldner SA, Narvett AJ, Covalt DE, Szeles C. Characterization of the charge transport uniformity of CdZnTe crystals for large-volume nuclear detector applications. IEEE Transactions on Nuclear Science, October, 2004, 51(5).
- 8 郝魁红, 王化祥, 马敏, 何永勃, 郝贵和. CdZnTe 探测器在便携式探测仪中的设计应用研究. 仪器仪表学报, 2007, 28, 1.
- 9 周蓉生. 核方法原理及应用. 北京: 地质出版社, 1994.
- 10 飞凌嵌入式公司. OK6410 开发板 LINUX2.6 用户手册 v1.1, 2010.
- 11 孙天泽, 袁文菊, 张海峰. 嵌入式设计及 Linux 驱动开发指南. 北京: 电子工业出版社, 2005.9.
- 12 董志国, 李式巨. 嵌入式 Linux 设备驱动程序开发. 计算机工程与设计, 2006, 27(20): 3737-3740.
- 13 飞凌嵌入式公司. OK6410 QT 移植百科全书, 2010.
- 14 袁鹏飞. 24 小时学通 Qt 编程. 北京: 人民邮电出版社, 2000.
- 15 宋宝华. Linux 设备驱动开发详解. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- 16 方方, 姜赞成, 丁卫撑. GPS 系统在核仪器中的嵌入设计. 核电子学与探测技术, 2009, 29: 1.

(上接第 78 页)