

有害动物智能声防系统中音频控制子系统的研制*

蔺 通,赵 伟,黄松岭

(清华大学 电机系 电力系统国家重点实验室,北京 100084)

摘 要: 在简要介绍农作物有害动物智能化声防系统原理基础上,阐述了基于“单片机+硬件解码”和“ARM 微处理器+软件解码”两种方案设计实现的该声防系统中的音频控制子系统,并对实现方案的技术性能及研发成本等进行了比较。

关键词: 声防;音频;解码;单片机;ARM 微处理器

中图分类号: TP277;S44 文献标识码: A

Development of audio control subsystem for bio-acoustic frightening system against agriculture predators

LIN Tong, ZHAO Wei, HUANG Song Ling

(Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, State Key Lab. of Power System, Beijing 100084, China)

Abstract: A brief introduction was given about the bio-acoustic frightening system against agriculture predators, then the specific realization process of audio control subsystem is shown, which includes two different kinds of design, one is “SCM+hardware decode”, the other is “ARM MPU+software decode”. Technical performance and R&D costs between different designs are compared.

Key words: bio-acoustic frightening; audio; decode; MCU; ARM MPU

农作物除受到气象灾害和常规病虫害影响外,田鼠、麻雀、野兔、野鸡、野猪等动物的危害也十分巨大。直接利用有害动物天敌的叫声或其受到捕捉时发出的惨叫声对农作物有害动物进行驱赶(以下简称声防),能避免投放化学药物对水土环境造成污染和可能对人畜的误伤,且相对于超声波驱赶、喷水恐吓等其他驱赶手段更易于实现,驱赶效果更好。国内现有的商品化声防装置普遍存在控制模式简单、声防音质不好、存储器容量小、声防音频文件不便于升级扩展等缺点。应用嵌入式技术改进和提高声防装置多方面性能已成为声防技术发展的趋势之一。笔者所在课题组提出一种农业有害动物智能声防系统,并确保该系统设计的可靠性和性能最优,在其音频控制子系统的构建上采用两种设计方案,实现了带大容量可热插拔存储器、高保真音频输出和多模式播放的音频控制,并且对基于不同硬件平台的嵌入式解决方案的性能、实现难度及成本等进行了对比。

1 智能声防系统原理

如图 1 所示,智能声防系统的结构分为 3 层,底层



图 1 有害动物智能声防系统结构示意图

是带有热释电传感器的探测节点,负责探测有害动物在农田中出没的位置;中间层为执行器节点,负责存储、播放声防音频文件;上层是总控制器,负责监控整个系统的运行。系统的各层之间以无线方式进行通信。总控制器定时采集环境信息(如温度、光照),结合农田地理位

* 基金项目:“十一五”国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2007AA06Z223)

作模式、间隔时间范围、声防目标文件、音量大小等。

音频控制子系统构建方案 1 的软件,从功能上主要分为随机数生成、SD 卡驱动、FAT 文件管理、串口通信以及解码控制等 5 部分。

随机数生成子程序通过调用库函数 rand(), 在间隔时间变量确定的范围内生成一个随机数并执行延时。

SD 卡驱动实现在 SPI 方式下以扇区 (512 B) 为单位对 SD 卡上数据的读写。

由于存储器上一般使用 FAT 文件格式存放和管理文件, FAT 文件管理子程序可实现对存储器上文件目录、数据存放位置的管理, 以及在 SD 卡驱动下读取指定文件的数据。

串口通信子程序实现串口初始化和以字节为单位的数据收发, 并在此基础上实现以帧为单位且带有数据校验的串口通信。在本方案的串口协议中, 1 帧数据包括 8 个字节。其中, 第 1 字节是约定起始标志; 第 2 字节为发送者地址; 第 3 字节是消息种类 (如“更新声防目标”、“改变音量大小”等); 第 4~7 字节是消息参数; 第 8 字节为前 7 个字节的和, 用于校验数据传输的正确性, 以保证通信的可靠性。

解码控制子程序是音频控制子系统软件的重要部分, 由于单片机上集成了 MP3 硬件解码器, 用户无需关心解码的具体过程, 只要设置好解码器参数并及时将数据送入解码缓冲区即可。MP3 音频文件内容分 3 部分, 首、尾 2 部分用于记录音频文件名称、制作者等信息; 中间部分以帧为单位存放压缩音频数据, 帧头中包含有音频文件的文件类型、采样率、比特率、声道数等信息。在播放指定的 MP3 音频文件时, 单片机先通过 FAT 文件管理子程序读取指定文件一个扇区的数据, 并以此设置好硬件解码器相关参数; 然后, 将音频数据依次写入解码器缓冲区, 解码器自动对 MP3 数据解码, 并将解码后的数据送入 DAC。为实现连续播放, 解码控制子程序需要保证在解码数据缓冲区空闲时及时写入待解码的数据。

3 方案 2 的构建及实现

3.1 方案二的硬件结构及实现

方案 2 为音频控制子系统的“ARM 微处理器+软件解码”构建, 该方案的硬件结构如图 4 所示。ARM 微处理器选用了三星公司生产的 S3C2440 芯片, 并扩展了 64 MB FLASH, 用于存储引导程序和操作系统内核等, 同时, 还扩展了 64 MB SDRAM 作为程序的运行空间。S3C2440 基于 ARM920T 内核, 工作频率达 400 MHz, 集成有 SD、USB Host、LCD、音频、视频等丰富的外设接口, 并提供有 130 个 I/O 口, 是一款高性能、低功耗微处理器芯片^[3]。无线通信模块通过 RS-232 串口与微处理器相连。由于 S3C2440 上的 USB HOST 接口只支持 USB1.1 协议, 考虑到兼容性, 该方案中仍选择 SD 卡作为存储器, 并以 SD 方式对其进行读写。S3C2440 集成有 LCD 和触摸屏控制器, 可根据需要选择相应的人机交互设备,

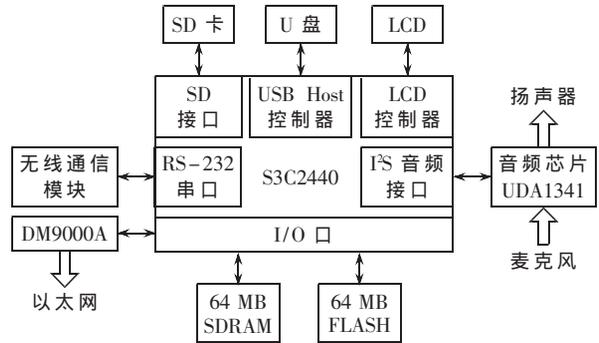


图 4 方案 2 的硬件原理结构

例如点阵式 LCD。S3C2440 通过 I²S 音频接口与具有 A/D 和 D/A 功能的低功耗音频处理芯片 UDA1341 相连, 实现音频信号的采集和输出。该系统经以太网控制芯片 DM9000A 接入以太网, 用于与微机相连进行开发调试。为提高系统硬件的电磁兼容性能及可扩展性, 硬件设计上采用了核心板+扩展板的模块化结构。核心板上包括 S3C2440、FLASH 和 SDRAM 芯片, 其借助插针与扩展板相连。扩展板集成了各种外围芯片和接口, 可据实际需求更改设计方案, 方便系统硬件的扩展升级。

3.2 方案 2 的软件设计

方案 2 的软件结构分为 3 层, 见图 5。软件开发平台采用了嵌入式 Linux 操作系统。Linux 是一种稳定、高效、免费的开源操作系统, 不仅支持多种体系结构和大量硬件设备, 而且其内核可据实际需求裁剪。

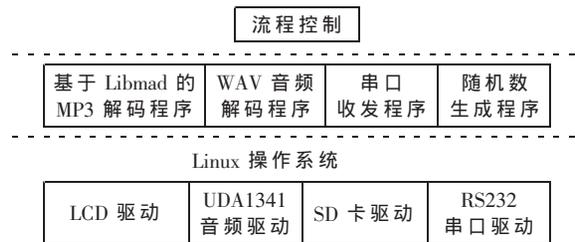


图 5 方案 2 的软件结构

Linux 环境下, 应用程序对硬件设备的访问, 需依靠运行在内核中的驱动程序作桥梁——软件底层的驱动层提供了系统中所有硬件设备的操作接口, 包括 RS-232 串口驱动、SD 方式的 SD 卡驱动、兼容 UDA1341 音频芯片的 OSS (Open Sound System) 音频驱动及 LCD 驱动等; 且几乎所有驱动程序均由 Linux 直接提供, 无需研发者自己编写。

软件的中间层是应用程序层, 包括音频解码子程序、串口通信子程序、随机数生成子程序等。在嵌入式 Linux 环境下, 有更丰富的系统函数和开源软件作支持, 使应用程序的实现更容易。例如, 其中的 MP3 解码子程序采用音频解码库 libmad 提供的高级 API 编写。libmad 是一个开源的高精度 MPEG 音频解码库, 它支持 MPEG-1 标准中 Layer I、Layer II 和 Layer III (即 MP3) 格式的音频解码, 且解码过程使用定点计算, 非常适合没有浮点运算

支持的平台(如 ARM 平台)。使用 libmad 提供的高级 API, 很容易实现 MP3 数据的解码, 其过程只需打开对应的音频设备文件, 并将 SD 卡上待解码的音频文件映射到内存中, 然后调用 libmad 的解码函数即可。在方案 1 的实现上, 研发者需自己编程实现的 FAT 文件格式处理、音频参数提取和设置、解码数据读写控制等功能, 在本方案中均是由操作系统驱动程序以及 libmad 解码库中的库函数自动完成的。另外, 在 OSS 音频驱动和 SD 卡驱动的支持下, 可方便地实现对 WAV 音频文件播放子程序的编制。WAV 音频文件由于直接存储了 PCM 编码的音频数据, 虽文件较大, 但没有压缩失真, 其音质也优于 MP3。

软件的上层是流程控制层。由于方案 2 与方案 1 所实现的功能基本相同, 故其软件的流程并无本质差异, 具体功能仍可参见图 3。嵌入式 Linux 具备多任务管理功能, 即能以分时复用方式“同时”处理多个进程, 并提供有多种进程间的通信协调机制, 例如信号机制等。信号机制用于多任务间的通信, 其实质是在软件层次上对中断机制的一种模拟。与方案 1 不同的是, 在嵌入式 Linux 环境中, 使用信号机制能方便地实现中断控制。在程序中设置为当串口收到数据时, 向系统进程发出信号, 系统进程收到信号后转向执行事先指定的处理程序, 从而实现中断控制。

4 两种实现方案的实验测试和对比

按上述两方案构建了实现农作物有害动物智能化声防系统用的音频控制子系统。实验测试结果表明, 以两种方案研发的音频控制子系统均达到了预期目标, 能准确、可靠地与无线通信模块通信, 在总控制器控制下实时调整各种工作参数。音频控制子系统在触发、随机 2 种工作模式下, 均能准确、清晰地播放当前声防目标对应的音频文件。采用可热插拔的 SD 卡确保了声防音频文件更新方便。而且基于所采用的 FAT16 文件格式, 该子系统能支持最高容量为 2 GB 的 SD 卡, 实现了大容量音频文件的可靠存储。

由于采用不同的硬件平台而构建, 2 种音频控制子系统实现方案在功能、开发难度以及构建成本等方面有所不同。

在功能方面, 方案 1 能对比特率在 192 kb/s 及以下的 MP3 文件做流畅的解码播放, 但播放更高比特率的文件时, 受 AT89C51SND1 处理速度以及现有程序的数据读写效率限制, 不能保证写入解码缓冲区数据的连续性, 从而导致输出声音有间断。而且由于硬件解码的限制, 不能对其他格式的音频文件进行解码播放。方案 2 由于采用软件解码, 且所选用微处理器 S3C2440 的主频达 400 MHz, 理论上只要移植对应的解码子程序, 便可对任何格式的音频文件进行解码播放。对方案 2 的测试发现, 其确实能对任意比特率的 MP3、WAV 格式的音频文件进行解码播放。而且方案 2 中, 系统完全有能力在完成音频解码任务之同时, 还处理更多复杂的任务(MP3

解码程序只占用了 S3C2440 处理能力的 7%左右), 具有很强的扩展性。例如, 音频控制子系统可在探测器节点发现有有害动物后进行声音采集或视频采集, 并运行语音识别子程序或经视觉检测对探测到的有害动物种类进行判断, 从而使整个声防系统的声防目标更准确, 达到更好的声防效果。另外, 由于嵌入式操作系统对硬件的屏蔽性, 实现方案 2 的软件很容易在其他硬件平台上移植。

在软件开发过程中, 方案 1 需要关注每个硬件设备的操作细节, 其软件的编程量较大。而方案 2 由于所选用的 Linux 操作系统直接提供硬件驱动程序, 且也有大量开源软件资源可供应用程序编程所利用, 故其软件的开发相对容易。但方案 2 需移植嵌入式操作系统作为软件开发平台, 包括建立 BootLoader 引导程序, 配置、编译并移植操作系统内核和文件系统等, 这与采用向单片机直接烧写程序的方案 1 相比, 开发难度稍大。在软件调试方面, 方案 1 中单片机程序的每次变更都需重新写入 ROM。而方案 2 可利用 Linux 的网络功能, 将微机上的编程目录以 NFS 方式挂载在嵌入式 Linux 文件系统中, 从而实现在微机端编写、修改程序, 在嵌入式 Linux 系统上直接“远程”运行修改后的程序, 调试较为方便。

从构建成本上比较, 方案 1 的硬件成本更低一些。但随着制造工艺的不断进步, 32 bit 微处理器的成本会进一步降低, 再考虑外围器件的成本, 以方案 2 构建音频控制子系统的性价比, 与基于方案 1 构建的相比已有优势。

数字化、智能化是农业现代化发展的必然趋势。为确保可靠性和性能最优, 本文利用嵌入式技术、采用两种技术方案研发实现了农作物有害动物智能化声防系统中起重要作用的音频控制子系统。实验测试发现, “单片机+硬件解码”构建方案能基本满足功能需求, 但其系统性能和升级扩展能力受到硬件限制; 而“ARM 微处理器+软件解码”构建方案能完全满足功能需求, 而且具有很强的扩展性和可移植性。

参考文献

- [1] 杨水清, 张剑, 施云飞, 等. ARM 嵌入式 Linux 系统开发技术详解[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [2] 杨心怀, 周洁. 便携式 MP3 播放器的设计[J]. 电子技术应用, 2003(2): 55-57.
- [3] Samsung Electronics. S3C2440A 32 Bit CMOS Microcontroller User's Manual[Z]. 2004.
- [4] Atmel Co. Ltd. AT8XC51SND1C Datasheet[Z]. 2005.

(收稿日期: 2009-09-04)

作者简介:

简通, 男, 1984年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 智能测量仪器研制。

赵伟, 男, 1956年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 现代电磁测量技术及仪器。

黄松岭, 男, 1970年生, 副教授, 主要研究方向: 无损检测及其评估。