

面向 Wi-Fi 音频应用的嵌入式 Linux 音频驱动设计

陈 熹¹,程 鹏¹,梁作坤²,吴 斌¹

(1. 中国科学院微电子研究所 北京 100029; 2. 锐凌微南京电子科技有限公司 江苏 南京 210042)

摘要: 搭载 Wi-Fi 的音频设备是物联网和智能家庭应用中的一大热点,音频驱动则是该系统的一个设计难点。本文针对 Wi-Fi 片上系统(SoC)AR9331 和音频芯片 WM8904 组成的硬件平台,设计了基于 ALSA 架构的嵌入式 Linux 音频驱动程序,采用模块化的程序架构提高了驱动的可移植性,通过适配 PCM 接口减少了驱动代码量,设计环形 DMA 缓冲区提高了系统的实时性能。实际应用表明,该音频系统性能稳定,最高支持"96 kHz/24-bit/双声道"音频播放,具有良好的实时性。

关键词: 嵌入式 Linux; 音频驱动; ALSA; DMA

中图分类号: TN875

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2016)21-0095-03

Design of embedded Linux audio driver aimed at Wi-Fi audio application

CHEN Xi¹, CHENG Peng¹, LIANG Zuo-kun², WU Bin¹

(1. Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China;

2. Ralinwi Nanjing Electronic Technology Co. Ltd, Nanjing 210042, China)

Abstract: Audio devices integrated with Wi-Fi module is a hot spot in the field of Internet of Things and smart home, while audio driver is a difficulty. This hardware system is composed of Wi-Fi System on Chip (SoC) AR9331 and audio chip WM8904. An embedded Linux audio driver based on Advanced Linux Sound Architecture (ALSA) was designed. A modular programming architecture was adopted to enhance the portability of the driver. The amount of code was reduced via accessing Pulse-code modulation (PCM) interface. A DMA ring buffer technology was designed to improve the real time processing of this system. Practical application showed that the audio driver ran stably on the platform and supported up to "96KHz/24-bit/Stereo" audio playback with good performance of real time.

Key words: embedded linux; audio driver; ALSA; DMA

随着电子技术和通信技术的发展,无线设备正在融入人们的生活,智能手机、平板电脑、车载导航、智能家居等产品大大改变了人们的生活方式^[1],而 Wi-Fi 以其带宽大、距离远、成本低等特点成为了智能设备的标配^[2]。音频系统丰富了人们与智能设备的交互,还能提供娱乐功能,搭载 Wi-Fi 的音频设备抛弃了数据线,具有很大的应用前景。音频系统的一大特征是实时性,而影响实时性的技术难点是音频驱动^[3],因此设计良好的音频驱动具有重大意义。

国内对嵌入式系统的音频驱动已有部分研究,文献[4-7]研究了 Linux 系统下基于 IIS 控制器的音频驱动,但缺乏良好的可移植性,文献[8-10]研究了 ARM 平台下基于高级 Linux 声音架构(Advanced Linux Sound Architecture, ALSA)的音频驱动设计,然而目前针对内置 Wi-Fi 片上系统(System on a Chip, SoC)的音频驱动研究还很少。

文中面向 Wi-Fi 音频应用,选用 Qualcomm 公司的无线 SoC AR9331 和 Cirrus Logic 公司的音频芯片 WM8904 组成

硬件平台,设计并实现了基于 ALSA 架构的嵌入式 Linux 音频驱动程序,实验证明,该方案具有很大的应用价值。

1 系统硬件架构

AR9331 通过 IIS 总线与 WM8904 进行音频数据交互, IIS 有 3 个主要信号^[4]:

1) 位时钟(BCLK)。对应数字音频信号每一位数据的时钟,频率=声道数×采样频率×位宽。

2) 声道选择时钟(LRCLK)。用于切换左右声道的时钟,其频率等于音频采样率。

3) 串行数据(SD)。用二进制补码表示的音频数据,提供分时复用功能。本文用于 IIS 数据输出。

此外,还使用了用于时钟同步的主时钟(MCLK),以及用于 IIS 数据输入的串行输入(SDI)。IIS 总线只能处理音频数据,因此还需要 IIC 总线传输控制信号^[6],配置 WM8904 的寄存器,实现音量调节、音频格式设置等功能。WM8904 提供标准的两线控制接口,AR9331 则使用 GPIO 模拟 IIC 总线。图 1

收稿日期:2016-03-17

稿件编号:201603219

基金项目:国家发改委 2013 年移动互联网及第四代移动通信(TD-LTE)产业化专项

作者简介:陈 熹(1990—),男,江苏南通人,硕士研究生。研究方向:嵌入式系统设计、Linux 驱动开发。

是 AR9331 与 WM8904 的引脚具体连接方式,除了 IIS 和 IIC 总线的连接,WM8904 还外接麦克风插孔、耳机插孔和音箱插孔,用于音频的输入和输出。

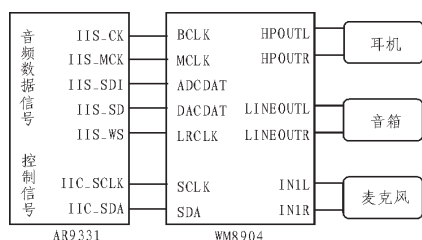


图1 引脚连接框图

2 Linux 音频驱动架构

Linux 2.6 内核开始,ALSA 成为了默认的音频驱动架构,针对原有的开放声音系统(Open Sound System, OSS)架构^[7]做出不少改进,图2是 ALSA 音频系统的架构^[8],分为两层:用户空间中的应用软件以及内核空间中的驱动软件。ALSA 最大的优势是提供了硬件无关的程序库,应用软件直接调用程序库 API,无需像 OSS 应用那样访问硬件相关的接口^[9],因此具有良好的可移植性。内核空间又包含 ALSA 内核 API 与 ALSA 内核驱动,内核 API 负责连接应用库与内核驱动,包含 PCM 以及控制设备等重要接口,内核驱动则负责与硬件设备进行交互,并实现最大程度的硬件功能抽象。ALSA 对 OSS 应用提供了内核态模拟和用户态模拟两种方式,具备良好的兼容性。

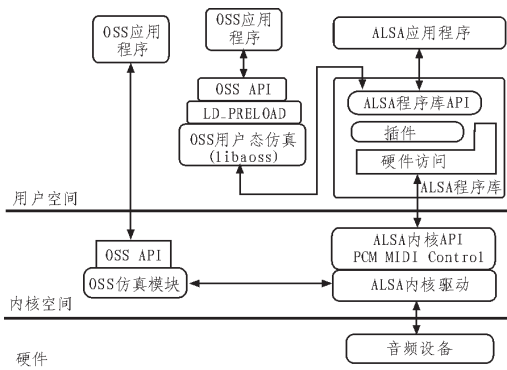


图2 ALSA 音频系统架构

ALSA 驱动的主要功能是在 CPU 和音频芯片之间传输 PCM 音频数据。为了缩短驱动开发周期,ALSA 内核 API 抽象出了功能强大的 PCM 中间层^[10],驱动只需完成与 DMA 传输相关的底层接口函数,即可实现 PCM 层对硬件的访问。在进行音频播放和录制的过程中,驱动会开辟一个或多个 PCM 音频流,音频数据就通过 PCM 流进行传输。

3 基于 AR9331 及 WM8904 的 ALSA 音频驱动设计

3.1 ALSA 驱动模块 probe() 基本流程

文中将 ALSA 驱动整体上导出为一个内核驱动模块 ar9331_wm8904_alsa.ko,装载该模块时,系统会自动进入探针函数 probe(),执行 ALSA 驱动的初始化^[11]。图3给是 probe() 函数的基本流程,最关键的步骤是创建和注册声卡对象,作为整个音频系统资源的封装。

函数的基本流程,最关键的步骤是创建和注册声卡对象,作为整个音频系统资源的封装。



图3 probe() 函数基本流程

3.2 PCM 接口设计

PCM 中间层是 ALSA 内核 API 中的一个模块,用于完成音频数据流的传输,使用 PCM 接口可以有效减少驱动代码量。驱动通过创建 PCM 设备实现与内核 API 的交互,用户进程请求对 PCM 设备文件进行操作时,ALSA 系统开辟 PCM 数据流,随后调用驱动注册的 PCM 操作函数完成相关操作^[12]。

3.2.1 PCM 操作函数

PCM 接口中最重要的结构是 PCM 操作函数集 snd_pcm_ops,其包含了 AR9331 的 IIS 接口设置、AR9331 的 DMA 内存配置和 WM8904 的 IIS 接口设置等操作。为了提高驱动的可移植性,文中采用了模块化设计,图4是 PCM 接口设计的示意图,抽象出了与 AR9331、WM8904 相关的3个模块,移植驱动时只需更新相应模块中的函数,提高了驱动的可移植性。

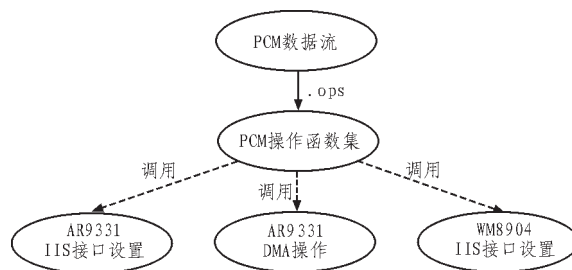


图4 PCM 接口模块化设计

PCM 操作函数集是通过 snd_pcm_set_ops() 与 PCM 流进行绑定的,表1是函数集中各函数的功能^[10]。

3.2.2 PCM 运行状态

图5给出了 PCM 流运行时,发生状态转移过程中各函数的调用关系。一个典型的 PCM 状态转移流程描述如下:从 CLOSED 状态开始,首先调用 open() 打开 PCM 流,进入 OPEN 状态;然后通过 hw_params() 设置 IIS 及 DMA 参数,进入 SETUP 状态;接着调用 prepare() 重置 IIS 和 DMA,进入 PREPARED 状态;随后接收到应用程序的 start 指令,进入

表 1 PCM 操作函数功能

函数	功能
open	注册 DMA 中断函数,分配运行时资源
close	注销 DMA 中断函数,释放资源
hw_params	设定硬件参数,配置 IIS 和 DMA 功能
hw_free	释放由 hw_params 分配的资源
prepare	重置 IIS 接口和 DMA 控制器状态
trigger	控制 DMA 传输,调度应用程序指令
pointer	返回 DMA 缓冲区指针当前位置
mmap	实现 DMA 内存映射

RUNNING 状态,执行 PCM 数据的传输;传输完毕后,收到 stop 指令返回 SETUP 状态;最后调用 hw_free() 和 close() 完成资源释放,重回 CLOSED 状态。

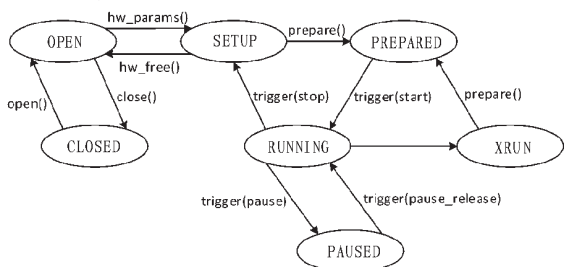


图 5 PCM 状态转移图

在 RUNNING 状态下有可能因为 CPU 负载过大等原因进入 XRUN 状态。例如使用“48 kHz/16-bit/双声道”的采样方式录音,音频芯片产生 1 536 kbps 的数据流,如果使用 16 kB 的缓冲区,那么应用程序有 0.01 s 处理缓冲区中的数据,如果不能及时处理完,缓冲区就会溢出而进入 OVERRUN 状态;播放时,也可能因为应用程序不能及时写入数据,导致缓冲区空了而进入 UNDERRUN 状态。减少进入 XRUN 状态的方法就是有效的利用内存,设计合理的 DMA 缓冲区,从而提高系统实时性^[6]。

3.3 环形 DMA 缓冲区

音频系统对实时性要求较高,在 DMA 传输模式下,CPU 可以在 DMA 控制器占据总线使用权时执行其他任务,因而能有效提高系统的工作效率^[4]。对于单缓冲区,数据读完后,需要写入新的数据,而在写缓冲区时,必须停止播放或录制(否则产生同时读写的错误),因此单缓冲区不能满足实时性^[9]。为此,文中使用了一种环形 DMA 缓冲区的内存管理策略^[12],将一段连续的 DMA 内存划分为若干个等长 buffer,每个 buffer 通过描述符进行访问,描述符包含 buffer 物理地址、大小、控制位以及下一个描述符的指针等信息,通过将描述符连接成环形链表实现了环形 DMA 缓冲区。图 6 是播放音频时 DMA 内存的读写过程,白色 buffer 表示可写,灰色 buffer 表示可读,当对 buffer 2 进行播放时,CPU 往 buffer 1 中填写数据,当 buffer 2 播放完毕之后,DMA 控制器产生一个传输完中断,将 buffer 2 置为可写,CPU 随后就会往 buffer 2 中填写数据,系统则继续对 buffer 3 进行播放,遇到缓冲区末尾则返回 buffer 0,依次类推,直到所有音频播放完毕。

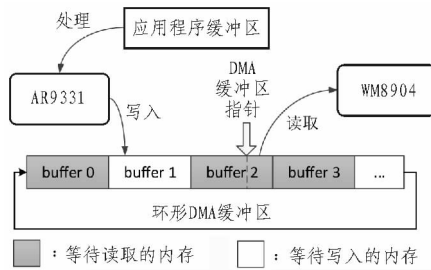


图 6 播放时 DMA 内存读写过程

4 应用测试

针对图 1 中的硬件平台,本文搭建了图 7 所示的应用系统,核心板型号为 TinyPlay1100,为了减少面积底板只使用线路输出外接音箱,平台搭载 OpenWrt 系统^[13],采用 Linux 3.10.49 内核,并移植了 ALSA 音频驱动。经过测试,系统最高支持“96 kHz/24-bit/双声道”高保真音频的播放,驱动运行稳定,音质良好,达到了实时性要求。

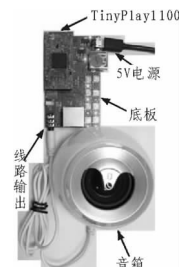


图 7 实际应用系统

文中还在此系统上开发了支持 DLNA^[14]以及 AirPlay^[15]协议的无线音频推送服务端程序,Android 和 iOS 设备可以在同一局域网内通过 Wi-Fi 向该系统推送音乐进行播放,图 8 是使用手机推送歌曲的效果图,方框标识了服务端设备名称。该系统具有良好的兼容性和可靠性,已在国产某 Wi-Fi 智能音箱解决方案中得到应用。

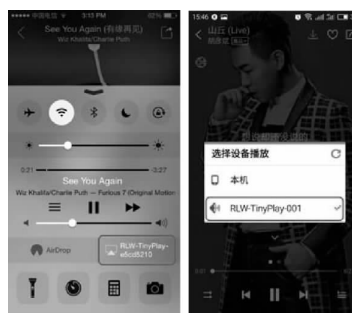


图 8 iOS(左)及 Android(右)音乐推送

5 结论

搭载 Wi-Fi 的音频设备是物联网和智能化时代的应用热点,高集成度的 Wi-Fi SoC 将得到广泛使用,作为该系统的一个关键技术点,音频驱动需要良好的设计。文中针对 Wi-Fi SoC AR9331 和低功耗音频芯片 WM8904 组成的硬件系统,设计并实现了基于 ALSA 架构的嵌入式 Linux 音频驱动,与

(下转第 100 页)

后,系统启动,当人体靠近热释电红外模块时,GPRS发送短信到预设手机,表明人体检测模块功能正常;然后,对是否能够检测到火灾进行了测试,当将点燃的布条靠近烟雾检测模块时,系统报警并且发送短信息,表明系统能够监测火灾信息;当使用打火机在燃气节点上释放气体时,产生燃气报警短信。因此,该系统的各个模块功能均正常。

4 结束语

文中设计的基于IPV6和GPRS技术的智能安防报警系统,能够智能防盗、防火、防煤气泄漏,保护了家庭住宅的安全。当房间内有非法入侵者或者发生火灾、可燃气体泄漏时,系统会发送信息或者呼叫主人手机。设计的创新点在于系统的智能化和自动化,实用性强,使用简单实用的传感器,易于实现。此系统为基于IPV6的智能家居系统的进一步发展提供了参考价值。

参考文献:

- [1] 唐虹,陈向阳.基于GPRS的远程智能报警系统设计[J].机电一体化,2008,13(1):80-82.
- [2] 丁波,钟星德.基于GPRS的烤箱温湿度远程无线报警系统设计[J].机电技术,2013(5):30-32.
- [3] 李昊然,陈晓钰.基于80C51的智能报警系统设计[J].计算机技术与发展,2012,22(5):226-228.
- [4] 王佳丹,姚崇高.基于IPV6家庭网关中智能报警系统的设计[J].计算机时代,2006(12):53-55.

- [5] 王佳丹.基于IPV6智能社区报警系统的研究[J].贵州大学学报,2007(3):120-124.
- [6] 潘海迪.基于IPV6的智能家居控制器和通信协议的研究与实现[J].新疆大学学报,2013(4):212-216.
- [7] 李俊斌,胡永忠.基于CC2530的ZigBee通信网络的应用设计[J].电子设计工程,2011(16):75-77.
- [8] 张毅刚,彭喜元.单片机原理及接口技术[M].北京:人民邮电出版社,2008.
- [9] 曾光宇.现代传感器技术与应用基础[M].北京:北京理工大学出版社,2001.
- [10] 高洪志.MCS-51单片机原理及应用技术教程[M].北京:人民邮电出版社,2009.
- [11] 赵新民.智能仪器原理及设计[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2008.
- [12] 秦曾煌.电子技术[M].6版北京:高等教育出版社,2004.
- [13] Jennifer L Reed, Thuy D Vo, Christophe H Schilling. An expanded genome-scale model of Escherichia coli K-12 (iJR904GSM/GPR)[D]. Department of Bioengineering, University of California, 2003.
- [14] Glenna S M Tong, Igor V Kurnikov, David N Beratan. Tunneling energy effects on GC oxidation in DNA [J]. The Journal of physical chemistry B, 2002(9):13387-13391.
- [15] Kalden R, Meirick I, Meyer M. Wireless internet access based on GPRS[J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(2):8-18.

(上接第97页)

文献[8-10]中基于ARM平台的系统相比,具有高集成度、低成本、低功耗的优势。测试证明,该驱动具有良好的实时性和稳定性,对于其他Wi-Fi SoC平台也具有较好的可移植性和参考价值,可以应用于Wi-Fi高保真音箱、智能家居等领域。

参考文献:

- [1] 严萍,张兴敢,柏业超,等.基于物联网技术的智能家居系统[J].南京大学学报:自然科学版,2012,48(1):26-32.
- [2] 盛仲麒.WIFI无线网络技术及安全性研究[J].电子设计工程,2012,20(16):1-3.
- [3] 孟祥岳,孔令通,张文明,等.嵌入式Linux系统下音频驱动程序的设计[J].电视技术,2013,37(S2):480-481.
- [4] 徐睿,李斐,王申康.基于IIS总线的嵌入式音频系统设计[J].电子技术应用,2004,30(4):7-9.
- [5] 霍燃,高丽萍,陈庆奎.嵌入式Linux系统下基于UDA1341芯片的音频驱动程序设计[J].计算机应用与软件,2012,29(4):16-19.
- [6] 秦贵和,徐云鹏,洪宇,等.基于ARMLinux的嵌入式音频系统设计[J].计算机工程与设计,2007,28(11):2611-2613.
- [7] 程杰,凌明.基于SEP4020的嵌入式Linux音频驱动程序设

- 计[J].微型机与应用,2009,28(20):5-8.
- [8] 周鹏,王承,汤银焕,等.基于ALSA的WM8976音频驱动的设计[J].武汉理工大学学报:信息与管理工程版,2011,33(4):517-520.
- [9] 刘哲峰.嵌入式Linux音频设备的驱动设计与研究[D].太原:太原理工大学,2010.
- [10] 孟浩,孟利民.基于ARM9和WM8731的音频编解码系统的设计与实现[C].第二届亚太地区信息论学术会议论文集,2011.
- [11] [美]科波特(Corbet, J.).Linux设备驱动程序[M].北京:中国电力出版社,2012.
- [12] 陈学松.深入Linux设备驱动程序内核机制[M].北京:电子工业出版社,2012.
- [13] 许倩.基于OpenWrt系统路由器的功能模块的开发[D].北京:中国石油大学(华东),2013.
- [14] 李欣,李轶婷.基于DLNA数字媒体适配器的设计[J].电子设计工程,2012,20(20):179-181.
- [15] 邱晨.基于Android的Airplay Server端应用设计与实现[D].厦门:厦门大学,2014.