

基于 802.11n 的 Ad-hoc 通信终端^①

段有楠, 丁志中, 牛 坤

(合肥工业大学 计算机与信息学院 通信工程系, 合肥 230009)

摘 要: 无线 Ad-hoc 网络不需要基础设施作为支撑, 各终端之间可以自动组网, 因此在军事、抢险和救灾等场景中有着广泛的应用前景. 然而, 目前市场上并没有满足宽带通信需求的 Ad-hoc 网络通信终端产品. 本文采用三星公司的 ARM9 芯片 S3C2440 作为主控制器, Ralink 公司的 RT3070 IEEE 802.11n 无线网卡作为空中接口模块, 研发了一款移动 Ad-hoc 网络通信终端, 可以实现文本、语音、视频的传输等功能.

关键词: Ad-hoc 网络; 802.11n; ARM; AMBE-2000

802.11n Ad-hoc Communication Terminal

DUAN You-Nan, DING Zhi-Zhong, NIU Kun

(Department of Communications Engineering, Colledge of Computer Science and Informatics, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Wireless Ad-hoc networks do not need any infrustrature, and the terminals can establish network by themselves. Therefore, they have broad prospective applications in military, disaster rescue and other scenes. However, in the market so far there are no such kinds of products that can meet the demand of broadband communications. This paper presents a new wireless Ad-hoc terminal prototype developed by the autors' research team. It uses Samsung S3C2440 ARM9 processor as main controller and Ralink RT3070 IEEE 802.11n wireless module as air interface. The device has the functionality of text, voice and video transmissions, as well as other functions.

Key words: Ad-hoc network; 802.11n; ARM; AMBE-2000

Ad-hoc 网络又称无线临时网络, 它依赖节点间的动态连接而形成. 在没有固定的基础设施作支撑的场景中, 具有自组织、分布性、动态性等特点的移动 Ad-hoc 网络, 能够实现快速部署和数据传输, 因而比传统无线接入方式更好地解决了复杂环境下的数据传输问题.

现有支持 Ad-hoc 组网的无线空中接口技术主要有 IEEE 802.15.1(Bluetooth)、IEEE 802.15.4(ZigBee)、IEEE 802.11 系列(WiFi). 在 Ad hoc 应用背景下, 这些技术有着各自的优缺点: 蓝牙可提供 1Mbps 的传输速率, 但其传输距离十分有限, 一般在 10 米左右, 即使是新的 4.0 标准也只能在低功耗模式下达到 100 米; ZigBee 在无线传感网络中应用广泛, 但其理论最高传输速率仅在 250Kbps, 难以完成多媒体信息的传输; WiFi 技术可提供极高的传输速率, 一般的单天线产品

即可达到 150Mbps, 然而现有的 WiFi 产品主要是针对有基础设施场景而设计. 因此, 市场上并未出现能够在复杂环境下实现 Ad-hoc 网络的终端产品. 国际顶级的军用设备制造商如 Rockwell Collins、英国 L-3 正在推出相应产品, 但其采用的技术处于保密状态. 而在学术界的相关研究中, 文献[1]提及的语音终端仍未突破 ZigBee 技术的速率瓶颈; 文献[2]设计的终端则不能传输影像信息. 可见, 此类终端的研发也处于不完备状态.

本课题选择 802.11n 作为物理层空中接口技术, 针对无中心节点设备的通信场景, 结合嵌入式 Linux 操作系统, 在 ARM 平台上设计并实现了一款具有文字、音视频等多媒体信息收发功能的手持无线通信终端. 该终端通过触屏进行人机交互, 使用相对独立的无线传输、语音编解码和摄像头等模块完成相应功能.

^① 收稿时间:2015-01-29;收到修改稿时间:2015-04-07

1 网络结构模型

Ad-hoc 网络是一种分散式的无线网络系统. 一个典型的 Ad-hoc 网络结构模型如图 1 所示, 其中实线表示两个节点可进行单跳通信, 虚线则表示需借助其他节点进行多跳通信(multihop). 网络中不存在固定的路由和接入设备. 在单跳通信中, 节点间可直接建立连接并传输数据. 而在多跳通信中, 由于每个节点的覆盖范围有限, 故需要一个或多个中间节点, 完成数据包的转发, 从而使相对较远的两个节点完成通信.

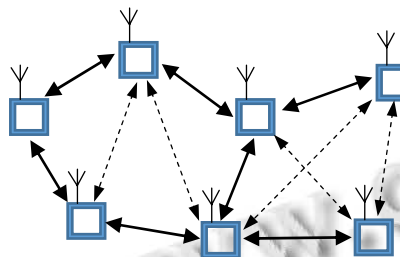


图 1 典型 Ad-hoc 网络结构模型

图 2 所示为本终端设备的协议栈模型. 其物理层及数据链路层遵照 802.11n 标准来实现, 而在网络层使用 IPv4 协议. TCP/IP 协议则完成数据的封包, 当应用层的软件发送文字和语音信息时, 传输层使用 UDP 方式封装数据帧并进行传输, 而当软件拍摄视频进行发送时, 传输层则以 TCP 方式进行支持.

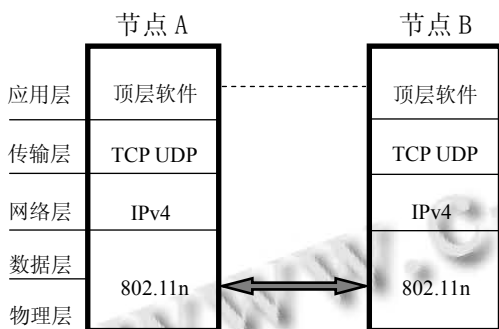


图 2 节点协议栈结构

2 系统总体设计

2.1 硬件系统设计

本系统选择 ARM9 平台作为主控单元, 使用三星 S3C2440 芯片作为中央处理器. 该处理器专为手持设备设计, 功耗低且主频达到 400MHz, 完全满足了使用需求. 并且作者对外围存储器 NAND FLASH 和闪存 SDRAM 进行扩展, 以满足软件系统的运行. 图 3 所示为系统的总体方框图.

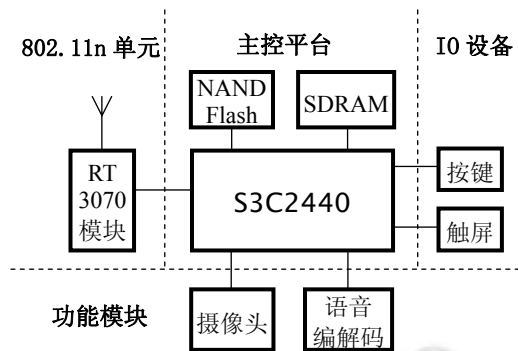


图 3 系统总体方框图

当系统工作时, 由主控单元调度周边各功能模块以实现相应的功能. 表 1 列出了主要部分器件的详细信息. 在硬件制板和布线过程中, 地址线要使用蛇形走线法, 以补偿相关信号线中延时较小的部分; 数据线则采用差分布线方式以减小干扰; 芯片的数字地和语音部分的模拟地要区分开, 单点共地. 另外, 所有芯片的晶振都加上外包地线和线上过孔, 以减小晶振对其他线路的干扰.

表 1 主要器件详细信息

元件和模块	描述
CPU	三星 s3c2440 处理器, 主频 400MHz
SDRAM	采用 2 片 EM63A165TS-6G 芯片, 扩展内存至 256M
NAND Flash	三星 K9F2G08U0B-PCB0 芯片, 提供 2G 存储空间
摄像头	OV9650 摄像头, 通过 CMOS 接口与 CPU 通信
语音编码模块	包括 AMBE2000 语音压缩芯片、AD/DA 芯片 AD73311 和放大器 LM386
802.11n 无线模块	采用雷凌 RT3070 芯片, 支持 Ad-hoc 模式
触摸屏	x35 索尼 3.5 英寸 LCD 显示屏, 分辨率为 240x320
USB 接口	USB host 工作模式, 连接 802.11n 无线模块
串口接口	RS232 接口, 用来下载程序

2.2 软件系统介绍

操作系统方面, 采用在嵌入式系统中广泛应用的 Linux 2.6.29 内核, 及 Trolltech 公司研发的 Qtopia 操作系统. 在 Linux 开发平台上进行内核裁减时, 配置好触屏、摄像头、USB 接口及网卡等相关驱动选项, 从而保证系统的正常工作.

针对系统硬件, 作者编写了一套应用程序, 命名为 MiANet. 程序采用嵌入式 C++ 编程技术, 在 Qt 框架

下完成开发. Qt 是综合性跨平台的 C++应用开发框架, 其良好的移植性为嵌入式开发提供了便利. 对于各个硬件模块, 分别编写代码调试, 最终通过 GUI 界面将所有部分进行融合. MiANet 具有文字发送、语音通话、影像传输等功能, 用户可通过触摸屏或按键进行操作, 还可以对软件进行相关设置.

3 Ad-hoc无线模块

无线模块不但要能够较好支持 Ad-hoc 功能, 还要方便与 CPU 通信. 作者调研发现, 802.11n 的芯片厂商主要有 Atheros、Ralink、Broadcom 等, 大部分产品的性能无法支持自组网和多跳通信, 能够完成 Ad-hoc 组网的只有少数几款芯片. 在这些产品中, 综合考虑性能、易用性及接口等方面, 本文最终选用 Ralink 公司的 RT3070 芯片. 该芯片使用 USB 接口, 支持 infrastructure 和 Ad-hoc 两种工作模式, 且厂家提供了 Linux 系统下的驱动. 因此, 将 RT3070 模块作为本设备的无线解决方案.

3.1 驱动移植技术

RT3070 的驱动是完全开源的, 使用者要根据系统内核版本的不同进行移植. 本系统使用的是 Linux 2.6.29 内核, 移植 RT3070 驱动步骤如下.

(1) 定制 Linux 内核. 进入 Networking support → Wireless, 勾选 Wireless extensions sysfs files; 进入 Networking options, 去除 The IPv6 protocol, 仅支持 IPv4 协议; 将 Ralink driver support 项设为动态加载, 并把 Ralink 相关项设为空, 以免驱动冲突.

(2) 从官网下载 RT3070 驱动源码, 在 Linux 开发环境中进行解压.

(3) 修改 Makefile 文件. 将 CHIPSET 一项的值设为 3070; 内核路径 LINUX_SRC 和交叉编译环境 CROSS_COMPILE 要根据开发环境作相应修改.

(4) 配置网络加密选项. 修改 config.mk 文件, 将 HAS_WPA_SUPPLICANT 的值改为 y; HAS_NATIVE_WPA_SUPPLICANT_SUPPORT 的值改为 y.

(5) 完成以上设置后, 执行 make 指令进行编译, 生成驱动文件 rt3070sta.ko, 将该文件和驱动中的 RT2870STA.dat 一并下载至终端设备.

至此驱动移植完成. 输入 insmod rt3070sta.ko, 即成功在设备上动态加载该驱动.

3.2 Ad-hoc 组网过程

RT3070 进行 Ad-hoc 组网通信的过程如下:

(1) 以一台终端为初始节点, 设定其工作状态为 Ad-hoc 模式, 并产生一个 Ad-hoc 小区. 不同小区之间以 16 进制的地址和 ESSID(扩展服务集标识符)为特征进行区别.

(2) 其他终端设备搜索附近的小区, 一旦搜索到该小区, 即进入接入流程.

(3) 开始接入小区, 设定终端的工作状态为 Ad-hoc 模式, 并将 ESSID 值同该小区设为一致, 之后广播新节点加入的信息.

(4) 其他终端收到广播, 确认新节点加入. 当所有节点均成功加入小区, 组网过程就完成了.

默认的 RT3070 工作模式为 infrastructure, 因此需要对其进行相应设置. 根据上文步骤, 使用 ifconfig 和 iwconfig 指令进行 Ad-hoc 组网. 其中, ifconfig 用来配置终端系统的网络接口, 而 iwconfig 完成无线网络的配置. 以组建 OPENADHOC 小区为例, 将这些 shell 语句编写成一个脚本文件, 主要代码及注释如下:

```
#####生成 Ad-hoc 小区
ifconfig ra0 inet 192.168.10.1 netmask 255.255.255.0 up
#配置 IP 地址和掩码, 启动模块
iwconfig ra0 mode ad-hoc #设置工作模式为 Ad-hoc
iwconfig ra0 essid OPENADHOC #设置 ESSID 为 OPENADHOC
#####加入 Ad-hoc 小区
ifconfig ra0 192.168.10.2 netmask 255.255.255.0 up
#设置 IP 地址与第一个节点在同一网段
iwlist ra0 scan #列出搜索到的无线小区
iwconfig ra0 mode ad-hoc #设置工作模式为 Ad-hoc
iwconfig ra0 essid OPENADHOC #加入 OPENADHOC
```

4 语音压缩模块

由于单个节点网络性能的限制, 有时信号强度较低, 无法保证高质量的数据传输. 本文设计了一个语音压缩模块, 以保证用户在信号较弱时仍能进行流畅的通话.

本模块选用 DVSI 公司的 AMBE-2000 语音压缩芯

片,它采用 FEC(前向纠错)编码技术对语音信号进行处理.语音信号的频率范围在 300~3400Hz,由香农采样定理知,经过 8KHz 抽样和 8 位的 PCM 编码后,数据速率在 64Kbps,再对数字信号进行卷积编码,处理后的信号速率约为 2~9.6 Kbps,压缩效果显著.

4.1 硬件电路设计

AMBE-2000 核心部分由独立的编码器和解码器组成,数据帧分为有帧(Framed)和无帧(Unframed)格式,两种方式下,数据帧的长度均为 24 个字,区别在于有帧的前 12 个字包含了帧头、状态、控制等信息,后 12 个字为语音数据,而无帧格式不包含控制信息,24 个字全为数据.帧格式的选择可通过设置 CHANN_SEL[0-1]两个引脚电平来完成,本文设置为主动有帧工作方式,此模式下可编程令其改变工作状态.相似地,芯片初始编码速率由 RATE_SEL[4-0]五个引脚来设置,通过编程也可进行改变.本方案设为适中的 4Kbps 码速率,电平值为 10001.

与 AMBE-2000 协同使用的是数模转换芯片 AD73311 和放大器 LM386. AD73311 是一款高性价比的 A/D 转换芯片,最大采样率可达到 64KHz. LM386 是应用广泛的音频集成功率放大器,其增益范围在 20~200 倍可调. AMBE-2000 与主控平台通过串口进行通信.图 4 所示为模块的工作流程图.

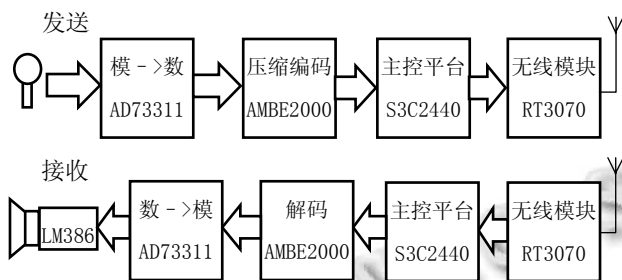


图 4 语音压缩模块工作流程图

4.2 软件工作流程

根据 AMBE-2000 芯片手册规定的工作流程,每隔 20ms 要读取一帧数据,读取操作的过程如下:

- (1) 等待 EPR 引脚变为低电平,读取第一帧数据;
- (2) 延迟等待略小于 20ms 的时间;
- (3) 在 CHAN_TX_STRB 引脚上发送帧同步信号,并从 CHAN_TX_DATA 读取数据;
- (4) 若读取到的数据不是 0x13EC,丢弃之,回到步骤(3)重新执行;

(5) 若读到的数据是 0x13EC,则根据设置好的码率继续读出剩余 23 个字,而无需再检测 CHAN_TX_STRB 信号.

写入操作同读取的过程基本一致,二者区别在于写使能引脚 CHAN_RX_STRB 的脉冲信号是由 CPU 的 GPIO 口编程产生的.

具体来说,驱动程序根据芯片手册的时序逻辑图,使用 s3c2410_gpio_setpin 函数对 GPIO 引脚的电平进行相应的置高和置低,从而产生读写时序及使能信号.语音帧长度为 24 个字,而每次帧同步信号置低时,需传输 1 个字的数据,由于发送和接收动作均以 1 字节为单位,因此每个字分作 2 次传输.对于单字节的传输方法为,自高至低使用位运算操作,依次取出每个比特位的值,是 1 的话就将数据线置高,是 0 就将数据线置低.数据线的高和低也使用 s3c2410_gpio_setpin 函数进行操作.

5 摄像模块

硬件方面,本课题选用 OV9650 CMOS 摄像头模块,该摄像头分辨率为 130 万像素,提供 640*480 和 1280*1024 两种分辨率,色彩 24 位,满足了使用需求. S3C2440 具有专门的 CMOS 接口,方便同模块进行连接.在 2.6.29 内核中,也包含了该模块的驱动.

摄像头模块自显示的软件流程图如图 5 所示.在进行视频发送时,发端读取一帧图像,使用 send 函数将图片发送至收端,由于一帧图像大小约为 200 至 300Kb,而套接字单次发送与接收长度只有几千字节,因此将一帧图像以每 Kb 为单位拆分并按顺序发送,在接收端相应的将图像还原出来,再转换为 BMP 格式绘制在屏幕相关区域.

6 实验结果

作者在 3 台终端设备上成功搭建了 Ad-hoc 网络,并进行任意 2 个节点间的通信测试.

使用 1KHz 的标准正弦波模拟语音信号,加在输入端.接收端的输出接示波器.波形如图 6 所示,上方为输入端,下方为输出端.延时约为 200us.

使用一台终端拍摄其周边情况,发送至另一终端.图 7 左侧为发送端采集摄像头数据并在本机上显示的画面,右侧为接收端屏幕上的画面.后者可以在屏幕上实时显示,延时约为 500us.显示的图像清晰度较高,

但刷新速率偏低,约为 800ms 每帧.

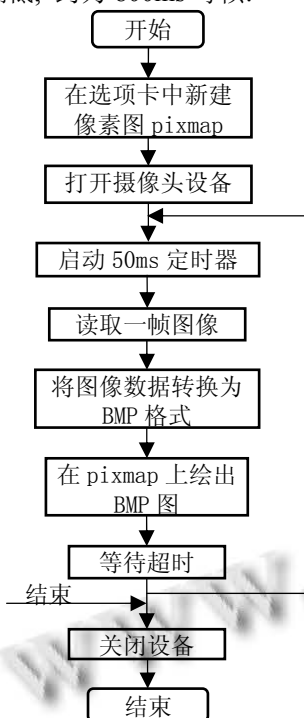


图 5 摄像模块软件流程图

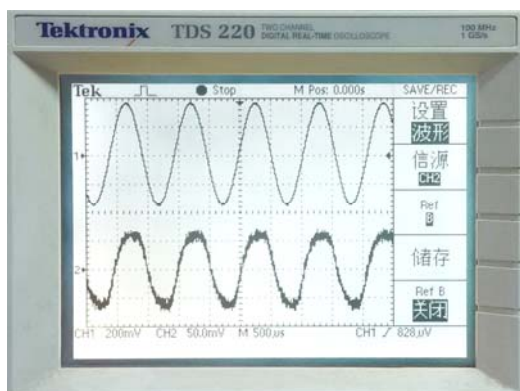


图 6 正弦波发送实验波形



图 7 图像传输实验画面

7 总结与展望

使用 WLAN 技术实现的 Ad-hoc 网络,不需要基础设施,以点对点和多跳方式完成通信,因此可在复杂环境中实现快速部署和数据传输. 本文设计并实现的 Ad-hoc 通信终端,以 802.11n 作为空中接口技术,具有稳定便携、功能易用、传输高速的特点. 实验结果表明,该终端能够比较可靠地传输文字、语音、图像等多媒体内容,在军事行动、抢险救灾等场景中有着广阔的应用前景.

参考文献

- 1 黄瑞,丁志中,牛坤.基于 802.15.4 无线 Ad hoc 语音终端的设计与实现.合肥工业大学学报(自然科学版),2014,37(10): 1216-1221.
- 2 王晓华,贾继洋.基于 ARM-Linux 的 Ad-hoc 组网.计算机系统应用,2014,23(7):84-88.
- 3 Bekmezci I, Sahingoz OK, Temel S. Flying Ad-hoc networks (FANETs): A survey. Ad Hoc Networks, 2013(11): 1254-1270.
- 4 彭永祥.无线 Ad hoc 网络路由技术若干关键问题研究[博士学位论文].成都:电子科技大学,2013.
- 5 刘旭东.基于 Android 的 ad hoc 网络结点间安全通信的研究与实现[硕士学位论文].北京:北京工业大学,2013.
- 6 IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks - Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput.
- 7 王云亮,王光林.基于 Socket 的 Linux 与 Windows 下 WiFi 模块间通信的实现.微型机与应用,2014,33(2):57-59.
- 8 张伟,刘斌,董群锋.基于 S3C2410 上 U-Boot 的移植与实现.计算机系统应用,2014,23(9):204-207.
- 9 宋敬彬.Linux 网络编程(第 2 版).北京:清华大学出版社,2014.