

Blackfin 平台上软件传真 modem 的设计与实现^①

邢志岩^{1,2} 孙建伟¹ 杨海波¹ (1.中国科学院沈阳计算技术研究所 网络与通信实验室 辽宁沈阳 110171; 2.中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要: 在传统语音网关中集成传真功能是 IP 语音通信发展的必然趋势。分析了 IP 传真技术的研究和发展现状,在对传统语音网关的硬件平台不做任何改变的前提下,通过添加一个软件传真模块使其具备存储转发传真的功能,给出了该模块在 Blackfin+uClinux 语音网关上的设计与实现。经过测试,该语音网关能够成功收发传真,并且性能良好。

关键词: IP 传真;软件 DDS;T.30;T.4;Blackfin532;嵌入式语音网关

Design and Implementation of Software Fax Modem Based on Blackfin

XING Zhi-Yan^{1,2}, SUN Jian-Wei¹, YANG Hai-Bo¹ (1.Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110171, China; 2.Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: It is an inevitable trend that the fax function is integrated into the traditional IP voice gateway. This paper analyzes the IP fax technology and development situation and proposes a project that adds a software fax module to the gateway without any change of the hardware, so that the gateway can be able to store and forward faxes. The paper gives the fax module's design and implementation based on Blackfin+uClinux platform. After testing, the voice gateway can successfully send and receive faxes.

Keywords: IP Fax; software DDS; T.30; T.4; blackfin532; embedded voice gateway

1 引言

随着世界范围内 Internet 网络基础设施的高速发展,基于 IP 技术的各种应用迅速发展,其中 IP 传真就是近年来兴起的实用技术。IP 传真与传统传真相比,除了同样简单方便以外,还具备以下优点:①功能大大加强,适用面更广。②低廉的价格。

目前通过 IP 网络传送 3 类传真业务的主要方式有:存储转发方式和实时传真方式。存储转发方式是指发送方首先将传真数据发送到本地传真网关,然后该传真网关通过 IP 网络传送给远端传真网关,最后远端

传真网关将传真发送到特定的接收终端。它对 DSP 能力要求不高,但是由于没有冗余机制,纠错机制,并且带宽需求大,对网络质量和带宽要求较高。实时传真方式是指发送和接收传真终端进行实时对话、交换数据和传真报文。它对网络的丢包率具有很好的鲁棒性,但是对 DSP 能力需求较大,对 TI 芯片来说,一路 T38 编码所占用的资源,是存储转发方式编码的 1.8 倍^[1]。另外,实时 IP 传真方式需要发送双方都要有支持 T38 的网关,无法实现直接与传真机的通信,从而限制了其应用。

^① 收稿时间:2009-12-23;收到修改稿时间:2010-01-18

无论采用哪种方式,要实现 IP 传真都需要传真调制解调功能的支持。传真调制解调功能既可以通过调制解调芯片^[2],也可以用调制解调软件模块来实现。软件模块与硬件芯片相比具有以下优势:更高的性价比;在应用过程中,可通过更新软件模块来适应不断发展的调制体制,具有很大的灵活性和可扩展性^[3]。

本文给出了一种在 VoIP 网络和 PSTN 网络间存储转发传真的实现方案,应用场景如图 1。在 Blackfin+uClinux 语音网关原有的硬件和软件平台基础上,添加了一个软件传真模块,使它能够在传真机与计算机之间,传真机与传真机之间互发传真。文章介绍了 Blackfin+uClinux 语音网关的硬件和软件体系结构,详细描述了传真模块的结构设计和实现方法,以及在 Blackfin 532 定点 DSP 平台上传真调制解调算法的实现过程,最后给出了在该平台上的测试结果。

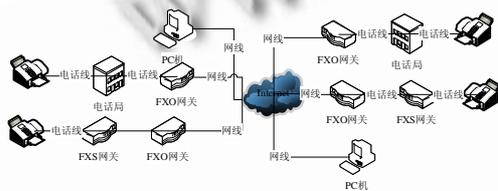


图 1 方案应用场景

2 传真呼叫规程

目前广泛使用的 3 类传真终端都遵循国际电信联盟 (ITU) T.4 建议^[4],对原始文件的影像逐行扫描,生成数字编码后再利用压缩算法进行压缩后进行传输。3 类数字传真终端支持的调制解调标准有 V.21、V.27ter、V.17、V.29 等。

根据 ITU T.30 标准^[5],传真呼叫的过程可以分为独立而又衔接的 5 个阶段:

1) 阶段 A: 呼叫建立,包括人工和自动两种。这里我们采用自动方式,主叫端周期性地发送持续 0.5s 停 3s 的单音信号 CNG,被叫端检测到 CNG 后发送单音信号 CED,持续时间为 2.6~4s。

2) 阶段 B: 报文前处理阶段,它包括两大部分:标识部分和命令部分。标识部分包括机类标识、可以接收的证实、用户标识。命令部分包括机类命令、对相/训练等。

3) 阶段 C: 报文中过程及报文传输,它可分为报文控制过程 C1 和报文传输过程 C2。阶段 C1 用来控

制传输报文中的全部信号;阶段 C2 用来发送或接收传真报文。

4) 阶段 D: 报文后过程,它是报文传完后的信息变换过程,包括报文结束信号、多页信号、传真过程结束信号等。

5) 阶段 E: 呼叫释放,释放的内容包括:传真报文正常结束、双方联络超过规程时间、某一方发出过程中断命令等。

3 在 BF532 上实现传真模块

3.1 系统硬件结构

系统硬件结构框图如图 2 所示,以主芯片 ADSP-BF532 为核心^[6],外扩 4M NORFLASH、16M SDRAM 及时钟电路,复位电路等构成系统主电路。网关使用两片以太网控制芯片 DM9000A,提供 2 个 10M/100M 以太网接口。系统提供了四个 FXO (Foreign Exchange Office) 接口,它们之间以菊花链的方式链接在 BF532 上。此外系统还提供了电源及显示各个接口运行状态的 LED 指示灯。

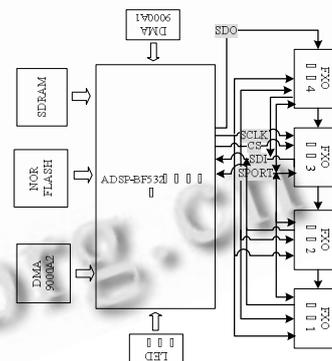


图 2 系统硬件结构图

本系统的 FXO 口利用 Silicon Laboratories 公司提供的解决方案,使用 Si3050 和 Si3019 芯片组成一个 FXO 接口。将 Si3050 的 SPI 接口与 BF532 的 SPI 相连,将 Si3050 的 PCM Highway 与 BF532 的 SPORT 相连。BF532 利用 SPI 总线对 Si3050 的内部寄存器进行读写操作,BF532 通过 SPORT 接口对声音数据(PCM 码)进行收发。

3.2 系统软件结构

嵌入式操作系统采用 uClinux,包括硬件驱动、File 模块、NET 模块等。驱动层包括 FXO 驱动、串口驱动、网卡驱动等。File 模块是文件系统模块,NET

模块是网络模块，实现了 TCP/IP 协议栈，用于提供网路语音通信的能力。

应用层软件由系统应用层协议栈 SIP 和各个功能模块组成。其中语音处理模块实现对语音包的处理；电话信令网关模块实现信令的转换功能；网络管理模块实现对语音网关的配置和维护。

本文通过在应用软件层上添加一个传真模块，实现语音网关对传真功能的支持，如图 3 所示。该模块包括两个子模块：编解码模块和调制解调模块。其中编码模块按照 T.4 的标准对 TIFF 图像进行编解码，调制解调模块完成调制解调的工作。



图 3 系统软件结构图

3.2.1 编解码模块

一张符合传真标准的 A4 纸，如果直接传输扫描后的二值图像，则每页传真将会产生 4147200 个待发送的比特数据，因此，需要对原始的采样数据进行压缩。信源编码的目的就是提高信息传输的有效性，在无失真的情况下减少传输信息量，达到数据压缩的目的。

编码的过程：编解码模块利用 Libtiff 库，获取 TIFF 图像的每一行，并按照 T.4 标准^[4]对其进行编码，将生成的码字传送给调制解调模块。编解码模块支持两种编码方法：一维改进的霍夫曼编码^[4,7]和二维编码^[4]。

解码是编码的逆过程。

3.2.2 调制解调模块

调制解调模块实现对 V.21,V.17,V.29,V.27ter 等调制解调算法的支持，完成对传真控制信号和传真报文的调制解调。

按照分层的思想将调制解调模块分为 Modem 抽象层、调制解调层和 HDLC 层，如图 4 所示。Modem 抽象层对整个调制解调模块进行了封装，仅提供两个接口 fax_tx()和 fax_rx()。fax_tx()对待发送的信号进

行调制，fax_rx()用来对接收信号进行解调。调制解调层中的传真控制部分用于控制信号的调制解调，传真报文部分用于传送训练及传真报文的调制解调。HDLC 层负责把所有二进制码传真控制信号都采用 HDLC 帧结构进行传输，按照字节型填充 HDLC 的各个字段，同时计算 FCS 校验值。

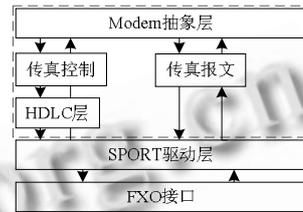


图 4 Modem 模块结构图

调制解调模块调用 SPORT 驱动层，通过 FXO 硬件接口完成语音信号的收发。为了提高性能，SPORT 的通信方式采用 DMA 方式。

3.3 传真模块的实现

3.3.1 编解码模块的实现

```

struct t4_t
{
    TIFF *tiff_file; //TIFF 图像指针
    int x_resolution; //列与列之间像素数
    int y_resolution; //行与行之间的像素数
    int image_width; //图像的宽度
    int image_length; //图像的长度
    int encoding; //编码的方式
    uint8_t *row_buf; //当前行的缓冲区
    .....
}
    
```

编解码模块通过定义一个 struct t4_t 来存储编解码工作所需的有效信息，包括打开的 TIFF 图像的指针、编码方式、图像属性信息、当前行指针等。编解码是一个双向的工作，由于篇幅原因，这里只详细描述编码工作的流程。首先调用 LIBTIFF 库提供的函数打开待编码的 TIFF 图像，获取它的部分属性信息来填充 t4_t 结构。根据编码方式将 t4_t 结构传递给对应的编码函数，编码函数对 TIFF 图像按行编码，最后将编码后得到的码字传送给调制解调模块。

3.3.2 调制解调模块的实现

系统所采用的处理器 ADSP-BF532 是一款定点

处理器，基于对调制解调效率的考虑，采用以空间换取时间的思想，在调制解调层利用软件 DDS 技术实现调制解调算法。

DDS 的基本原理^[9]是利用采样定理，通过查表法产生波形。对于正弦信号，它的输入可以用下式来描述：

$$S_{out}(t) = A \sin vt = A \sin(2\pi f_{out}t) \quad (1)$$

对时间进行离散化处理，以时钟周期 T_{clk} ，频率为 f_{clk} 对其进行采样，则有：

$$S_{out}(nT_{clk}) = A \sin(2\pi f_{out}nT_{clk}) \quad (2)$$

假设用于累加的相位增量量化值为 B_{Δ} ，有：

$$B_{\Delta} = 2\pi f_{out}T_{clk} \quad (3)$$

所以有：

$$f_{out} = B_{\Delta} / 2\pi \cdot f_{clk} \quad (4)$$

因此，在采样频率 f_{clk} 一定的情况下，输出频率取决于两次采样之间的相位增量 B_{Δ} 。因此，通过控制相位增量即可控制合成信号的频率。

软件 DDS 的过程如图 5 所示。系统通过建立一个长度为 N 的 `sine_table[]` 数组来表示正弦查找表。正弦表的长度和采样频率决定了输出频率的分辨率，因此 N 值取决于需要合成的频率和采样的频率。在初始化阶段将 `sine_table[]` 数组读入 SDRAM，在调制解调阶段调用 `lookup_table()` 函数，由输入的频率控制字 `current_phase_rate` 参数，与相位累加变量 `phase_acc` 得到一个偏移量 `offset`，`sine_table[]` 数组中下标为 `offset` 的元素就是要输出的相位值。

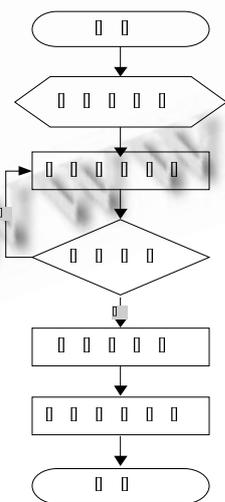


图 5 软件 DDS 的过程

在 Modem 抽象层定义了一个传真通道描述字

`struct fax_t`，包含传真工作实例的所有信息。其中，`t30` 是 T.30 协议[5]的描述字，定义了两个终端之间的传真呼叫规程。在传真通信过程中通过改变 `tx_handler()` 的值完成传真控制信号上下文和传真报文上下文之间的切换，空闲时把其定义为一个发送空信号的函数。在 `fax_tx()` 中循环调用 `tx_handler()` 即可完成传真的发送。接收过程类似。`struct fax_t` 定义如下：

```

struct fax_t
{
    t30_t t30; //T.30 协议描述字
    void *rx_handler(); //当前接收信号处理函数
    void *tx_handler(); //当前发送信号处理函数
    void *next_tx_handler(); //下一发送信号处理函数
    void *gen_cng_ced(); //产生单音信号
    hdlc_tx_t hdlctx; //HDLC 发送上下文
    hdlc_rx_t hdlcrx; //HDLC 接收上下文
    v21_tx_t v21tx; //v21 发送上下文
    v21_rx_t v21rx; //v21 接收上下文
    .....
}
    
```

4 系统测试

4.1 测试平台

测试平台如图 6 所示。装有文本转 TIFF 程序的 PC 机通过网线与 FXO 语音网关相连，用 FXS 语音网关来模拟公共电话局的交换机，用电话线连接 FXO 语音网关和 FXS 语音网关，利用 FXS 语音网关来转发传真，该平台能够很好的模拟应用场景。

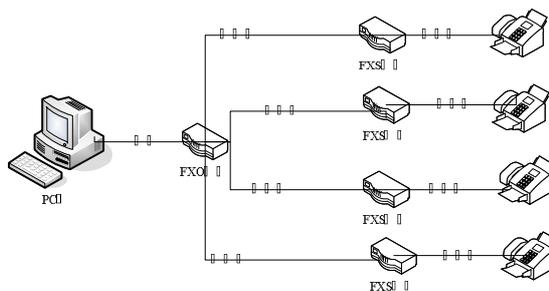


图 6 测试平台结构

4.2 测试方法

4.2.1 功能测试

通过如图 6 所示的测试平台的测试,该系统能够成功发送接收传真。而且接收到的传真图像能够满足我们的要求,可以得出结论:传真模块的功能是成功的。

4.2.2 性能测试

对模块进行并发性测试,本网关提供了 4 个 FXO 口,因此分别进行了 1 路,2 路并发,3 路并发,4 路并发测试,测试结果如表 1 所示:

表 1 并发测试数据

路数	1	2	3	4
成功率	98%	97%	97%	96%

以各种不同的传输速率(bps)进行 5000 次的传真呼叫测试,测试结果如表 2 所示:

表 2 速率测试数据

速率	4800	9600	12000	14400
成功率	98%	98%	96%	95%

按照信噪比的量化值不同我们把图像分为三个级别:模糊、一般、清晰。使用各种不同清晰度的 TIFF 图像进行 1 路测试,测试结果如表 3 所示:

表 3 清晰度测试数据

清晰度	模糊	一般	清晰
成功率	93%	96%	98%

三组测试结果显示出了本系统具有较好的性能。

5 结论

本文设计实现了一个基于传统 IP 语音网关的传真

模块,使网关无需进行硬件升级或换代便可实现存储转发传真的功能。这种实现方案对处理器性能的要求低,便于对已有的语音网关进行软件升级。同时,该模块中的调制解调子模块也可以应用到实时传真中。

在模块实现过程中,基于文中所使用的 Blackfin 定点处理器,采用软件 DDS 技术弥补了 Blackfin 定点处理器在浮点运算效率上的不足。系统通过反复测试和验证,各项性能指标都达到了预期目标。目前该实现已经应用到 SIPSYS 的蓝蜻蜓蓝蜻蜓 IAD-080 语音网关中,在实际的应用中取得了良好的效果。

参考文献

- 1 陈楚华,史林.IP 传真的分析与改进.计算机与信息技术,2006,5:21-24.
- 2 高长艳,郑喜凤,刘维亚.CMX869 在高速低功耗调制解调器中的应用.仪表技术与传感器,2006,1:38-40.
- 3 杨小牛,楼才义,徐建良.软件无线电原理及应用.北京:电子工业出版社,2001.179-196.
- 4 ITU-T Rec.T.4,Standardization of Gorp3 Facsimile Terminals For Document Transmission, 1996.
- 5 ITU-T Rec.T.30,Procedures for document facsimile transmission in the general switched telephone network,2005.
- 6 Analog Devices,Inc.ADSP-BF531/ BF532/ BF533 DataSheet.Analog Devices,Inc.2008.
- 7 程燕飞.高速传真系统中的关键技术研究[硕士学位论文].大连:大连理工大学,2006.
- 8 罗建,丁宗杰,闫冰.基于 DSP 的软件 DDS 及其在 FSK 调制中的应用.无线通信技术,2009,(1):59-62.