

基于单 DSP 的 VoIP 模拟电话适配器研究与实现

朱晓东^{1,2}, 武 蓓^{1,2}, 邓 峰², 曾学文², 王劲林²

(1. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 2. 中国科学院声学所 DSP 中心, 北京 100080)

摘要: 提出和实现了一种新颖的基于单个通用数字信号处理器(DSP)的VoIP模拟电话适配器方案。DSP的I/O和存储资源非常有限, 通常适于运算密集型应用, 不适宜控制密集型应用^[5]。该系统高效利用单DSP的I/O和片内外存储器资源, 采用μC/OS-II嵌入式实时操作系统, 支持SIP和TCP-UDP/IP协议, 通过LAN或者宽带接入, 使普通电话机成为Internet终端, 实现IP电话。该系统软硬件结构紧凑高效, 运行稳定, 成本低, 具有广阔的应用前景。

关键词: 模拟电话适配器; IP 电话; 数字信号处理器; μC/OS-II

Research and Implementation of VoIP ATA Based on Single DSP

ZHU Xiaodong^{1,2}, WU Bei^{1,2}, DENG Feng², ZENG Xuwen², WANG Jinlin²

(1. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039;

2. DSP Center, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

【Abstract】 This paper presents a VoIP ATA solution based on a single digital signal processor (DSP). DSPs are suitable for arithmetic-intensive application and unsuitable for control-intensive application because of the limitation of I/O and memory resources. This solution is based on a 16-bit fixed-point DSP and μC/OS-II embedded real-time operating system. It makes good use of the limited resources, supports SIP and TCP-UDP/IP protocol. It can connect the analog telephone to Internet and realize the VoIP application. This system has a great future for its high efficiency and low cost.

【Key words】 Analog telephone adapter (ATA); Voice over Internet protocol (VoIP); Digital signal processor (DSP); μC/OS-II

1 概述

随着计算机网络和话音编码技术的发展, 基于包交换网络的 IP 电话(VoIP)通信已经兴起。VoIP 不仅能够节约带宽和成本, 还能够提供功能更为强大、使用更为灵活的电话服务。虽然数据通信仍是互联网的主要业务, 占用绝大部分带宽, 但 VoIP 等新兴业务将为互联网创造更大的价值。

IP 电话主要有 3 种使用方式: (1) 在 PC 上安装 VoIP 终端软硬件设备, 接通计算机网络, 拨打电话。这就要依赖 PC, 不便于随时使用; (2) 通过 VoIP 网关, 例如使用 IP 电话卡, 但没有充分发挥 VoIP 节约带宽、降低成本的优势; (3) 直接使用 IP 电话终端设备, 通过 LAN 或 xDSL 等计算机网络接入方式, 进行通话。

IP 电话终端, 大致可以分为分立和集成两种形式。分立, 就是普通电话机通过 RJ11 接口, 连接 VoIP 模拟电话适配器(ATA), 再由适配器接入计算机网; 集成, 就是将电话机与 ATA 集合到同一设备——IP 电话机, 如图 1 所示。二者形式不同, 但原理相同。

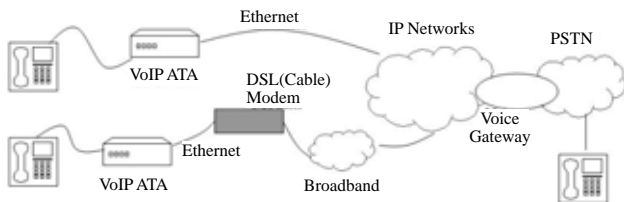


图 1 VoIP ATA 使用示意图

目前, VoIP ATA 系统普遍采用 CPU/MCU+DSP, 外围辅

以各种存储和接口设备的设计^[2], 也有采用双 DSP 或者带有多媒体信号处理指令增强的 CPU。在 CPU/MCU+DSP 的设计里, CPU/MCU 负责控制和通信等数字信号处理以外的功能, DSP 负责语音数字信号处理。这种设计系统复杂, 成本较高, 浪费处理器资源, 需要双处理器协同工作, 程序繁琐, 而且存在功耗和稳定性问题。本文介绍的基于单 DSP 的 VoIP ATA 系统原理与实现方案, 能够解决上述缺陷, 具有较好的应用前景。

2 系统设计原理

本系统以单 DSP 为核心, 通过对 DSP 资源的有效利用, 实现功能完备、性能优异、成本低的 VoIP ATA 系统。

2.1 软件模块

VoIP 应用首先要求支持软交换和终端之间的控制协议。本系统采用会话初始协议 SIP。SIP 是一种对等网络信令协议, 采用类似于 HTTP 的请求/应答机制, 而且采用文本格式, 易于理解。它负责建立、维护和终止多媒体会话, 能够提供终端 SIP 标识映射机制, 具有良好的移动能力。SIP 协议结构灵活, 便于功能扩展, 可以在多种网络和传输协议上运行, 适用于各种智能终端设备^[1], 被认为是软交换与终端之间控制协议的趋势。

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2005AA103320)

作者简介: 朱晓东(1978-), 男, 博士生, 主研方向: 数字音视频广播, 计算机网络实时通信; 武 蓓, 博士生; 邓 峰, 副研究员; 曾学文, 研究员; 王劲林, 研究员、博导

收稿日期: 2006-03-05 **E-mail:** zhuxd@dsp.ac.cn

本系统采用G.729A/B、G.723.1、G.711a/u 3种IP电话标准编码，同时支持话音动态检测(Voice Activity Detection, VAD)、舒适噪声生成(Comfort Noise Generation, CNG)、回声消除(G168)、PLC(Packet Lost Compensation)^[3]。

本系统中，DSP 不仅负责语音数字信号处理工作，还负责系统控制、网络通信等功能。这就涉及到处理器资源分配的问题，有两种方法解决：一种是利用实时操作系统，在任务之间根据优先级实时分配处理器资源，适合实时性要求较高的应用；另一种是超循环系统，或称前后台系统，程序按照预先设计的顺序循环做不同工作。针对 VoIP 应用的实时性要求，本系统采用实时操作系统。

在上述基础之上，要实现网络通话，必须支持 RTP/UDP/IP、DHCP 协议；为应对使用 NAT 的情况，本系统使用 STUN 方式穿越 NAT；对于 SIP，要求有 DNS 功能；针对 ADSL 接入方式，要支持 PPPoE。此类产品通常要支持计算机设备以 Web 方式访问，这又增加了对 HTTP、TCP 功能的需求。

2.2 系统外围接口

计算机局域网，使用最为普遍的，仍是以太网。而且，虽然很多家庭和企业使用 xDSL 或 Cable 等接入方式，但接入设备——调制解调器，在用户设备侧仍使用 10/100BASE-T 以太网接口。本系统采用 10Base-T 接口，就完全可以满足单路 IP 电话的带宽需求和系统成本控制。

ATA 还需要用户线接口模块接通普通电话机。该模块负责为电话机供电，收发话音模拟信号，采集用户输入信息，监控话机的工作状态。

作为一个嵌入式系统，必须有调试接口，最好还具有简便易用的软件维护接口。这些要根据处理器选型来设计。

3 硬件设计

3.1 DSP 选型

本系统核心采用 LSI403LP 通用 DSP(如图 2 所示)。该 DSP 是一款 16 位定点处理器，系统时钟频率可以达到 150MHz，处理器最高速率达 600MIPS，带有 48kWords(48K*16bit)的片内 RAM。LSI403LP 片内具有分离的指令和数据总线，但只有一套外部存储器接口总线，根据指令、数据、外设 3 个片选信号来分别访问外部指令、数据存储器和类存储器外设，而且外部总线通信速度相对内部总线慢很多，是系统工作效率的一个瓶颈。

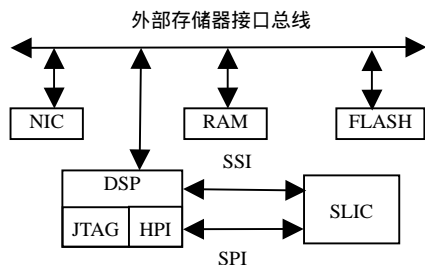


图 2 系统硬件结构

本系统中 DSP 片内 RAM 分 32kW 和 16kW 两部分使用，分别用于指令和数据存储空间。外部存储器采用容量为 256kW 的 FLASH 和 ASRAM，数据总线宽度都是 16 位。FLASH 除用于保存系统程序和数据，也用于系统运行时的外部指令空间。ASRAM 则完全用作数据空间。

除 JTAG 接口，LSI403LP 还有主控接口(Host Processor

Interface, HPI)，且支持从 HPI 启动，这对实际应用很有意义。

3.2 以太网接口设计

本系统的以太网接口控制器(Network Interface Controller: NIC)选用 RTL8019AS。该 NIC 支持 ISA 总线，可以直接按照存储器方式访问，这样能够简化硬件设计，LSI403LP 的外部总线接口可以直接接通 RTL8019AS。RTL8019AS 是一款十分成熟的 NIC，支持 10BASE-T，软件与 NE2000 兼容，具有 16KB 片上 SRAM 作为网络数据包的缓存，能够弥补 DSP 在存储空间上的不足。

系统的外部存储器总线上有 FLASH、ASRAM、NIC 3 个外设，可以使用 DSP 的指令、数据、外设 3 路片选信号分别访问，不需其它复杂的逻辑转换设备。

3.3 模拟电话机接口设计

本系统采用 Si3210 来实现系统对模拟电话机的接口。Si3210 将用户线接口电路(SLIC)、编解码器和电池生成功能集成到单一的低压 CMOS 集成电路，能提供完全的模拟电话接口功能，实现单路电话通信，系统只需为其提供 3.3V 供电，非常适于客户端设备应用。其控制接口是一套四线 SPI(Serial Peripheral Interface)。DSP 利用 4 个 PIO 信号模拟逻辑时序，控制 Si3210。

Si3210 和 LSI403LP 都使用同步串行接口(Synchronous Serial Interface, SSI)传输语音数据，可以直接相连，支持全双工通信。处理器的两条 DMA 通道连接在内存和 SSI 之间，分别负责数据收发，在 SSI 总线上建立起连续且同步的帧同步信号和位时钟信号，这是 Si3210 正常工作所必需的。

4 软件设计

4.1 软件架构与存储空间使用

软件系统根据嵌入式系统原理和 VoIP ATA 应用需求进行设计，系统架构如图 3。

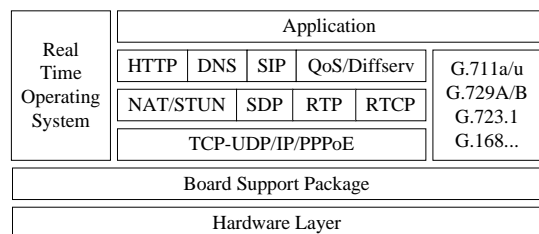


图 3 系统软件结构

本系统采用 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式实时操作系统。它是一款开源操作系统，具有执行效率高、占用空间小、实时性和可扩展性等优点，支持 8 位、16 位、32 位、64 位处理器^[4]。在本系统中，它只占用 4kW 指令空间和 2kW 数据空间，负责任务和时钟管理。操作系统运行于 DSP 之上，利用 DSP 的计时器中断来维护系统时钟，利用软中断实现任务切换。 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 使用可剥夺型内核，最高优先级任务何时能得到处理器控制权可预知，这对 IP 电话这种实时应用非常重要。

软件系统最底层是 BSP，包括 NIC、SLIC、FLASH 的驱动和访问 DSP 寄存器的 API，这些是系统稳定高效运行的重要基础。上层包括计算机网络和软交换协议处理程序(HTTP server、DNS、RTP、RTCP、TCP-UDP/IP、PPPoE、SIP、SDP 等)、语音编解码程序(支持 G.711a/u、G.729A/B、G.723.1、G.168、PLC、VAD、CNG)和用户应用程序。除语音编解码程序，其它程序通常运行在 CPU/MCU 上，而本系统运行环境基于 DSP。二者的一个明显区别是处理器的最小字宽，CPU

和 MCU 能够访问的最小字宽通常是 8 位,而 LSI403LP 与很多 16 位定点 DSP 一样,可访问最小字宽为 16 位。因此程序设计过程中,要注意使用正确的数据结构和数据类型,注意数据空间的使用效率。

LSI403LP 采用改进的哈佛结构,即片内的指令与数据总线分离,但片外只有一套存储器接口总线,由指令和数据空间共享。而且,LSI403LP 的指令和数据空间都被分成 4 页(Page0~3),每页 64kW,地址范围都是 0x0~0xFFFF,所以不能同时访问这 4 页空间。程序运行时,DSP 取指范围只能在指令空间的第 0 页。本系统把 32kW 指令空间设置在片内 RAM,其余在 FLASH。LSI403LP 对片内 RAM 取指只要一个系统时钟周期,总线宽度是 64 位;而普通 FLASH 访问周期大于 10 个时钟周期,总线宽度只有 16 位。片和片外程序,执行效率相差数倍。要发挥处理器的速度,提高系统整体效率,就必须合理分配片内外存储器的使用。对于速度要求高,或者频繁执行的程序,如语音处理算法、实时操作系统及任务、NIC 驱动,就使用片内指令空间;对速度要求低,或者较少执行的程序,如初始化程序、SIP 协议栈程序,就使用片外指令空间。

另外,仅 64kW 指令空间,很难满足一个功能完备的 IP 电话终端软件系统的空间需求。本方案采用一种简便实用的方法——空间复用,来克服这个缺陷。在第 0 页指令空间指定 16kW 片内 RAM,作为一块复用空间。系统中不会同时运行的 G.711a/u 及 PLC、G.729A/B、G.723.1 编解码程序以及只在系统启动过程中执行的初始化程序时分复用这块空间。这些程序保存到存储器的其它位置,但编译连接器仍然按照它们处于复用空间地址范围内来编译其它程序。启动过程中,这块复用空间载入初始化程序。系统运行过程中,如果进行通话,则根据软交换协定的语音编码,把对应编解码程序按照连接表指定地址载入该复用空间,然后即可继续执行其它程序,进行通话。

数据空间也存在与指令空间相同的问题,仍可采用上述分配和复用策略来解决。本系统绝大部分数据都在运行过程中始终有效,且所需存储空间大小可预知,所以,本系统未集成 μ COS-II 的内存管理模块,内存分配保持静态。如此减小了程序代码量,避免频繁的内存分配、回收,不会产生内存泄漏。

4.2 用户任务设计

针对 VoIP 应用,本系统设计了 4 个用户任务,按优先级从低到高,分别是:SIP 通信任务,负责 SIP 信令的收发处理;主控任务,负责监控系统工作状态;语音处理任务,负责远端语音数据的接收、解码、播放和本地语音数据的采集、编码、发送;网络数据接收任务,负责在网络链路层上接收数据,并按协议解析,之后将有效负载转交上层处理。

以一次正常的主叫过程为例(如图 4)解释系统工作流程。主控任务监测 SLIC 接口,发现用户摘机,接收用户输入号码,通知 SIP 任务,开始呼叫过程;SIP 任务与对方建立会话连接后通知主控,呼叫成功,可以开始通话;主控根据 SIP 协商结果,通知语音处理任务按照协定的语音编码格式、对端 IP 地址和端口号,开始收发和解码语音数据。通话结束时,如果是本地先挂机,主控就会立即发现,通知语音处理任务,结束本次工作,再通知 SIP 通信任务,解除与对方的会话连接;如果是对方先挂机,SIP 任务从网络收到对端挂

机通话结束的消息,就通知主控任务通话结束,主控任务控制 SLIC 发出忙音,通知用户挂机,再通知语音处理任务结束本次通话,接着用户挂机,系统恢复到通话前的状态。

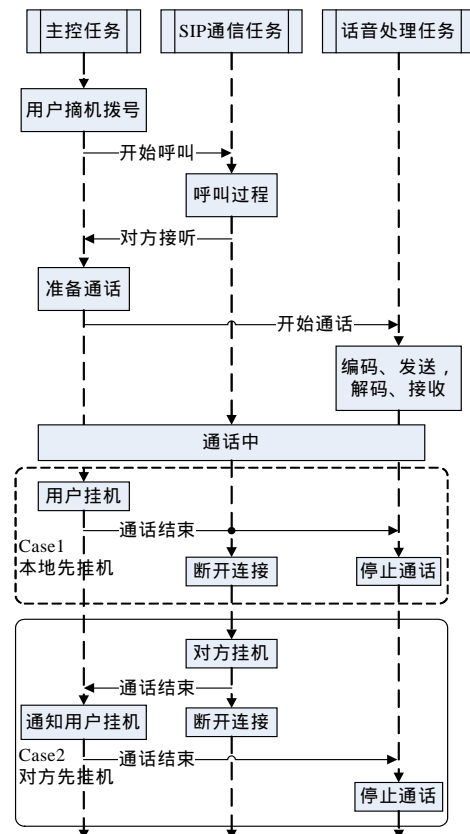


图 4 主叫通话过程

5 结束语

本文阐述了基于单 DSP 的 VoIP ATA 设计原理和具体实现,并且已经进行了实践检验。使用华为 SoftX3000 软交换服务器和 Interaction SIP 服务器,在局域网环境下,依照本方案设计的终端与其它终端进行了主叫、被叫、长时间通话等测试。本系统工作稳定、响应迅速,而且语音质量主观评测较好。本系统只使用一个通用 DSP,实际只需要 4MB FLASH 和 1MB RAM 的外部存储器,以太网接口、用户线接口及硬件平台上设备间连接设计简洁。系统功耗小,成本低,非常实用。

IP 电话将是下一代互联网的重要应用,也将成为人们的主要通信工具。这种单 DSP ATA 系统会凭借其独特优势,得到广泛推广和应用。

参考文献

- 1 李静林,杨放春. 下一代网络中软交换互通协议的比较与适用性分析[J]. 北京邮电大学学报, 2004, 27(1).
- 2 袁占亭,张秋余,孙为. 基于 VoIP 的电话终端设备的研究与设计[J]. 微计算机信息, 2003, 19(9).
- 3 Goode B. Voice over Internet Protocol(VoIP)[J]. Proceedings of the IEEE, 2002, 90(9): 1495-1517.
- 4 Labrosse J.J. MicroC/OS-II, The Real-time Kernel[M]. 2nd ed. 邵贝贝,译. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- 5 岳虹,沈立,戴葵,等. DSP 处理器和通用处理器的比较[J]. 计算机科学, 2005, 32(3).