

基于 VxWorks 的水声扩频通信系统

Realization of an underwater acoustic spread – spectrum communication system based on VxWorks

黄晓萍 桑恩方 吴春香 (哈尔滨工程大学水声工程学院 哈尔滨 150001)

摘要:通信声纳的小型化以及通信任务的实时处理是水声通信发展的趋势,特别是在军事水声通信中。本文介绍了在 PC104 平台下,基于嵌入式实时操作系统 VxWorks 的水声扩频通信系统的实现。它能够实时地协调数据采集、发射信号、对接收信号进行处理、串口通信多个任务;且整个系统规模甚小。

关键词:Vxworks 扩频 水声通信 串口 嵌入式

1 引言

随着数字信息技术和网络技术的高速发展,人类正步入一个崭新的后 PC 时代。这个时代的主要特点是嵌入式系统无处不在,并正向科研生产及人类生活的各个方面渗透。嵌入式系统已成为目前蓬勃发展的行业之一,嵌入式软件设计正日益成为业界的热门话题,专家预言嵌入式系统的明天如同 PC 机的今天^[1]。

VxWorks 作为一个运行在目标机上的高性能、可裁减的嵌入式实时操作系统 (RTOS – Real Time Operation System),自 20 世纪 80 年代问世以来,以其良好的可靠性和卓越的实时性被广泛地应用在通信、军事、航空、航天等高精尖技术及实时性要求极高的领域。尤以其成功应用于火星探测车等高科技产品而声名鹊起。自 1996 年登陆中国以来,VxWorks 逐渐进入了国内通信、工业控制、医疗设备等嵌入式实时应用领域,在国内拥有了较多的用户。特别是最近两年 VxWorks 操作系统越来越多地占据了国内嵌入式应用市场^[1]。

2 嵌入式系统的特点

所谓嵌入式系统是指应用系统不是以计算机系统为主,而是把计算机系统作为应用系统的一个重要组成部分,嵌入到应用系统中。对用户来说,计算机系统是不可见的,其程序的执行也是不可改变的。用户所见的只是一个应用系统,如工厂生产线、测控系统等^[2]。

嵌入式系统不同于一般的系统,它具有其它应用

所不具有的一些特点:

- 体积小。适合智能化设备、仪器仪表、信息家电等应用场合。
- 良好的性能价格比。
- 实时性比较强。嵌入式系统,一般作为应用的关键部分,时间特性要求非常严格。
- 软件开发环境特殊。由于受自身资源和空间的限制,嵌入式系统的软件开发一般采用主机——目标机开发模型。

3 VxWorks 和 Tornado II

VxWorks 是美国 Wind River System 公司于 1983 年推出的一个嵌入式实时操作系统。其主要组成部分为:实时操作系统内核(wind),I/O 系统,文件系统,板级支持包(BSP),网络工具,目标代理和实例库^[3]。

Tornado II 是 VxWorks 软件的开发系统,包括下述三个部分^[4]:

- VxWorks
运行在目标机上的高性能、可裁减的实时操作系统。
 - Tornado IDE
运行在主机上的一个集成开发环境。
 - 连接主机和目标机的多种通信方式
主机和目标机间的通信方式包括以太网、串口线,ICE 或 ROM 仿真器等四种。
- 其中,Tornado IDE 的主要组成部分如下:

- 源代码编辑器;
- 工程管理工具;
- C/C++ 编译器和 make 工具;
- 目标系统浏览器 Browser;
- 图形化调试器 CrossWind;
- VxWorks 目标机仿真器 VxSim;
- 软件逻辑分析仪 WindView;
- 改变 Tornado GUI 外观的配置选项。

软件开发时, VxWorks 运行在目标机上, Tornado II 运行在主机上。主机和目标机通过以太网或串口连接。

4 水声扩频通信原理

首先给出设计的水声扩频通信系统框图。

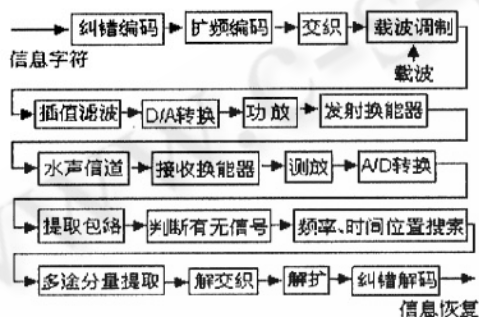


图 1 水声扩频通信系统的实现框图

本系统采用的是 m 序列直接扩频编解码方式, 因为扩频编码具有抗干扰性强、误码率低、隐蔽性好、对各种窄带通信系统的干扰很小、可以实现码分多址、抗多途干扰、能精确地定时和测距等优点^[5]; 采用 Reed-Solomon (RS) 纠错编解码方式, 因为 RS 码是一类具有很强纠错能力的多进制 BCH 码, 它能有效的纠正突发错误和随机错误, 因此, 比较适合用于水声信道中数据传输的纠错控制; 交织的目的是将在信道上发送的相连续的各个比特广泛地分散在待纠错译码的数据序列内, 从而, 经过解交织之后, 信道中各个突发连续差错就被分散在待纠错译码的数据序列之内, 即被分散在多个接收码字上, 使得后面的纠错译码算法能够纠正错误; 插值是为了将数字信号的采样频率提升到设定的采样频率。

为了对抗水声信道中严重的多途干扰和多普勒频偏问题, 系统在接收信号的处理部分采取了有效的措

施——多途分量的提取和载波频率搜索, 从而大大的降低了由两者引起的误码率。载波频率搜索先采用大的频率大步长搜索, 在粗搜索确定的频率位置左右的频率范围内再进行小步长频率搜索, 最终确定接收信号的载波频率。多途时延的提取是利用 RAKE 接收机的原理。

系统参数设置: 采样频率 27kHz, 载波频率 9kHz, 每个扩频切片用 8 个正弦波 BPSK 调制, 则通信带宽为 2.25kHz, 有三种扩频增益 255/8、511/8、1023/8, 则通信速率约为 8~35 bps。

若系统采用快速相关算法, 则扩频编码部分应包括: 产生生成矩阵 G 、构造按字符二进制数升序排列的编码矩阵 A 、对 A 按一定规律进行重置得到相应的沃尔什-哈达码矩阵 H 。要发送的字符有对应的 ASCII 码值, 按其 ASCII 码值从 A 中选择对应的扩频序列, 载波调制以后发送出去。接收部分先解调, 由解调后的序列作重置, 与矩阵 H 作快速变换, 实现解扩, 由快速变换后得到的序列的最大值的位置恢复出最初的信息字符。

设待发送信号为 $b(t)$, 其对应的扩频信号为 $c(t)$, 载波 $A \cos(2\pi f_c t)$ 。因为 $c(t)$ 取值为 1 或 -1, 对其进行 BPSK 调制, 1 对应相移 0, -1 对应相移 π , 实际上等效为抑制载波双边振幅调制:

$$f(t) = c(t) \times A \cos(2\pi f_c t) \quad (1)$$

在接收端, 假设完全同步的情况下, 对每个切片用同样的载波进行解调, 再经过低通滤波 (相乘积分), 因为一个切片宽度是载波周期的整数倍, 所以可恢复出扩频序列, 扩频序列的第 i 个值推导如下:

$$\begin{aligned} & \int_{(i-1)T_{chip}}^{iT_{chip}} f(t) \times A \cos(2\pi f_c t) dt \\ &= \frac{A^2}{2} \int_{(i-1)T_{chip}}^{iT_{chip}} c(t) dt \\ &= \pm \frac{A^2 T_{chip}}{2} \quad (2) \end{aligned}$$

当上式积分值为正时, 表示扩频序列的第 i 个值为 1, 否则为 -1, 待扩频序列全部恢复后, 先重置, 再与沃尔什-哈达码矩阵作快速变换, 由快速变换后得到的序列的最大值的位置恢复出最初的信息字符。

各子图说明:

图 2. a 是信息序列 (10101010) 的时域波形, 图 2. b 是其频谱图;

图 2. c 是信息序列扩频后的时域波形,图 2. d 是对应的频谱图。由图可见,扩频后,带宽变宽了;

图 2. e 是载波调制后的时域波形,图 2. f 是对应的频谱图。由图可见,基带信号的频谱被搬移到载波频率 9kHz 处;

图 2. g 是解调后的时域波形,图 2. h 是其频谱图。由于再次与载波相乘,因此出现了直流分量和二倍载频分量;

图 2. i 是波形 2. g 经过低通滤波后的频谱图。二倍载频分量已被滤除,由此,就可恢复出基带信号。

图 2. j 是恢复出的扩频序列与沃尔什-哈达玛矩阵作快速相关后的结果,由最大值的位置就可解出原始信息。

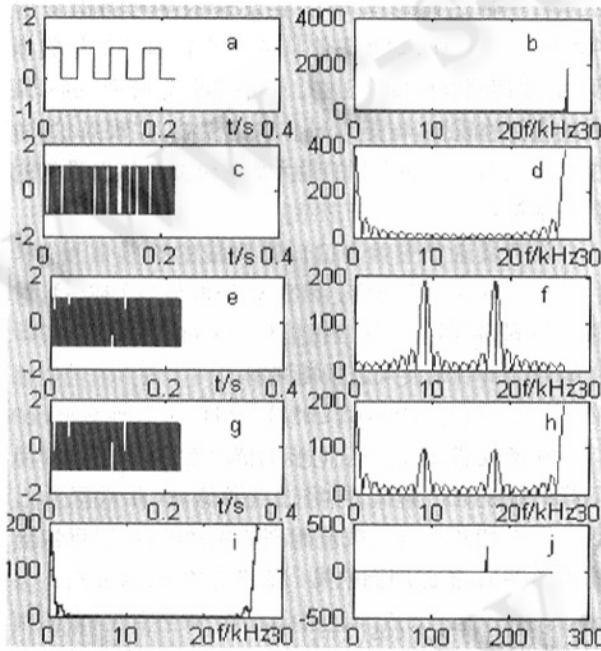


图 2 信号的时、频域波形

5 VxWorks 下通信系统的实现

本系统基于 PCI04 平台,采用嵌入式结构设计,并在嵌入式实时操作系统 VxWorks 下实现高速度数字通信。

系统以扩频技术为基础,结合特殊的水下应用环境,进行必要的集成改造,组成新型的基于 PCI04 硬件平台和 VxWorks 操作系统的数字通信系统。系统硬件部分主要由核心声卡 es1869、PCI04 系统处理机、串行

接口等设备构成,软件部分包括声卡驱动、扩频通信的信号发射和接收处理、串口通信等。

5.1 声卡 es1869 的驱动

声卡 es1869 是作为 A/D 和 D/A 使用的,来实现通信中数据的实时采集和发射。其驱动程序的编写流程如下:

① 声卡设备的创建 (audioDevCreate): 为声卡分配内存并初始化,初始化必要的设备描述结构 SND_DEV,执行设备硬件的初始化。

② 声卡设备的打开 (audioOpen): 创建 DMA 缓冲区,重启 DSP,为声卡录音放音创建 DMA。

③ 声卡的读即录音 (audioRead) 为 A/D: 这里主要是为录音做一些初始化,包括使能 FIFO,采样率寄存器 A1,分频器寄存器 A2,传输计数寄存器 A4/A5,工作方式选择寄存器 B9,使能/选择 DMA 通道和 IRQ 通道寄存器 B1、B2 等等。

④ 声卡的写即放音 (audioWrite) 即为 D/A: 这里主要是为放音做一些初始化,包括使能 FIFO,采样率寄存器 A1,分频器寄存器 A2,传输计数寄存器 A4/A5,工作方式选择寄存器 B9,使能/选择 DMA 通道和 IRQ 通道寄存器 B1、B2 等等。

特别要注意在录音放音时要注意传输计数寄存器 A4/A5 的设置,以二进制补码的形式写,否则声卡中断位置就会出错,录放的数据就会出错。

⑤ 声卡设备的删除 (audioDevDelete): 停止录音或是放音,释放声卡所占用的资源等。

⑥ 声卡中断管理函数 (audioInterrupt): 主要是开中断,允许接收或是发送,释放信号量等。

⑦ 接口函数缩写: 主要缩写的是 read 和 write,也即程序中用到的 record 和 play 函数。

5.2 串口驱动和串口通信

5.2.1 串口驱动

由于本身 VxWorks 有自带的串口驱动,并且在系统钟只用到两个串口即 COM1 和 COM2,所以只要配置系统中的串口即可使用,具体如下:

(1) 在配置文件 configAll. h 或 config. h 中加入两个宏定义:

```
#define INCLUDE_TTY_DEV //配置串口驱动程序#
define NUM_TTY 2 //配置串口数目,系统只用到 2 个串口;
```

(2) VxWorks 实时操作系统微内核启动时将再跟任务 `usrRoot()` 中调用串口设备驱动程序初始化函数 `ttyDrv()` 以及创建 VxWorks 系统串口设备函数 `tty-DevCreate()`, 建立能够被 VxWorks 系统是别的串口设备文件;

(3) 通过以上两个步骤, 用户可以在自己编写的应用程序中通过调用 `open()`、`read()`、`write()`、`close()` 等函数调用串口设备文件来实现对串口设备的控制。

5.2.2 串口通信

要实现串口通信, 即要实现串口的读写功能, 首先要对串口进行配置, 包括以下几个方面:

(1) 串口工作模式。VxWorks 实时操作系统提供两种串口工作模式: `LINE_MODE` 和 `RAM_MODE`。`LINE_MODE` 可用来模拟一个终端, 当缓冲区满或遇到回车时才将数据从串口送出。此外它还对一些字符进行转义, 例如 `ctrl + S` 被解释为暂停输出, 超级终端就用这种方式。

`RAW_MODE` 模式下不对字符做任何解释, 一旦有字符送入串口缓冲, 串口读取程序就可直接获取串口缓冲中的数据, 用来传输数据。因此在串口通信应用中主要采用 `RAW_MODE` 串口工作模式进行数据通信传输, 本系统中也同样采用 `RAW_MODE` 工作模式。

(2) 串口参数选择。VxWorks 实时操作系统通过 I/O 控制函数 `ioctl()` 对串口参数进行选择。串口控制功能字如表 1 所示。

表 1 串口控制功能字

功能字	功能
<code>FIODBAUDRATE</code>	设置串口波特率
<code>FIOCANCEL</code>	取消读写操作
<code>FIOFLUSH</code>	清空输入缓冲和输出缓冲
<code>FIOGETNAME</code>	得到文件设备名
<code>FIOGETOPTIONS</code>	返回当前的设备选项字
<code>FIOSETOPTIONS</code>	设置设备选项字
<code>FIONREAD</code>	得到输入缓冲中未读取的字节数
<code>FIONWRITE</code>	得到输出缓冲中的字节数

(3) 串口数据读写监测。VxWorks 实时操作系统可通过 `select()` 函数使串口读写任务一直处于阻塞状

态, 直到串口设备文件准备好。通过 `select()` 宏实现对串口数据读写的监测, 即当在串口上有数据来时或串口设备准备好可以发送数据时, VxWorks 实时操作系统通过 `select()` 宏通知串口数据读写任务。VxWorks 提供的 `select()` 函数有关宏定义如下表 2。

表 2 `select()` 宏

宏	功能
<code>FD_ZERO</code>	所有位置零
<code>FD_SET</code>	置相应文件描述符的位
<code>FD_CLR</code>	清除指定的位
<code>FD_ISSET</code>	若指定的位置 1 则返回 1, 否则返回 0

以上这些函数提供了对串口的控制, 使得嵌入式实时操作系统 VxWorks 具有复杂的异步串口处理能力。

5.3 程序运行机制

为了使整个水下扩频通信系统在 VxWorks 下运行无需人为干预, 能够根据串口命令在发射和接收之间灵活切换, 必须设计一个合理、可靠的程序运行机制。

程序一开始执行, 便发起三个任务, 按优先级从高到低排为: 串口循环搜索待发送数据、声卡采集数据、接收程序; 一旦串口检测到字符, 接收完毕后, 停止接收和声卡录音任务, 发起发射任务, 将待发送字符传给发射程序, 声卡发射完毕后, 又重新发起声卡录音和接收两个任务。串口任务始终在执行。声卡采集完设定长度的数据后, 接收任务中要实时地对这些数据进行处理, 在处理的同时, 声卡继续采集数据, 因此, 设定一个信号量来使两者同步。

VxWorks 操作系统提供的多任务机制, 以及对任务的控制的优先级抢占机制, 使得上述功能能够很灵活的被实现。

6 结束语

本文介绍了基于 VxWorks 的水声扩频通信系统的实现, 对于通信中的多个任务, 利用 VxWorks 操作系统提供的对任务的优先级抢占机制, 灵活地实现了各个任务间的相互切换。PC104 高度的兼容性、小巧的体积使得整个通信系统易于扩展、嵌入到其他的大系统中。

(下转第 14 页)

对 VxWorks 系统下的扩频通信进行了电调试、水池调试、松花湖实验、青岛海试,并实现了两个用户之间的半双工通信。在发射功率 $\leq 30\text{w}$,传输距离为 7 ~ 25km,接收信噪比 0dB 左右,实现了误码率 10⁻⁶ ~ 10⁻¹⁰ 的数据传输。湖试和海试证明了此水声扩频通信系统的很强的抗干扰能力、克服多途效应能力、抗多普勒频移能力、低信噪比下低误码率数据传输能力以及实时数据处理能力,再加上 VxWorks 良好的可靠性和卓越的实时性,因此,此通信系统在军事水声通信中有着很好的应用前景。

目前,这套基于 VxWorks 的水声扩频通信系统以优越的性能,已经应用于某型水下智能机器人的一个子系统——水声数据通信及应急指令传输系统中。

参考文献

- 1 骊山微电子公司,陈养平、贺占庄,基于 VxWorks 的实时多任务软件设计[J]. 微电子学与计算机,2002,第 10 期:63-65。
- 2 孔祥营、柏桂枝,嵌入式实时操作系统 VxWorks 及其开发环境 Tornado[M],北京 中国电力出版社,2002。
- 3 陈智育、温彦军、陈琪编著,VxWorks 程序开发实践[M],人民邮电出版社,2004:1-3 页。
- 4 Wind River 著,王金刚、王达心、王永升等译,Tornado 用户指南[M],清华大学出版社,2004:1-3 页。
- 5 查光明、熊贤祚编著,扩频通信[M],西安电子科技大学出版社,2002。