

# 基于 MSP430 的 FSK 调制解调器

方彦军, 孙 军, 朱小平  
(武汉大学, 湖北武汉 430072)

**摘要:**提出了一种基于 TI MSP430 单片机的 FSK 调制解调器设计方案。根据 FSK 调制解调的原理与方法, 选用 MSP430F147 单片机, 设计了 CCITT V2.1 协议下的 300 波特调制解调器, 并给出了实现调制解调器的硬件电路和程序流程图。实践证明: 该设计方案结构简单、可靠性高、抗干扰能力强, 有较高的性价比。

**关键词:** 频移键控; MSP430; 调制; 解调

**中图分类号:** TN919 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-1841(2008)07-0060-02

## FSK Modulator-Demodulator Based on MSP430

FANG Yan-jun, SUN Jun, ZHU Xiao-ping  
(Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** The realization of FSK modulator-demodulator based on MSP430 was proposed. According to the principle and method of FSK modulator-demodulator, MSP430F147 was selected. 300 bit/s modulator-demodulator based on CCITT V2.1 was realized, and the hardware circuit and the program flow chart were presented. The practical operation shows that it has the following advantages simple structure, high reliability, strong anti-interference and high performance-price ratio.

**Key words:** FSK; MSP430; modulator; demodulator

### 0 引言

FSK (Frequency-shift keying, 频移键控), 即用数字信号去调制载波的频率, 是信息传输中使用得较早的一种调制方式。它的主要优点是: 实现较容易, 抗噪声与抗衰减的性能较好, 在中低速数据传输中得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>。FSK 信号由频率调制器产生不同的频率, 逻辑 0 用一种特定频率的波来表示, 而逻辑 1 用另一种不同频率的波来表示。专用 FSK 调制解调芯片, 如 Motorola 公司的 300 bit 单片 FSK 调制解调器芯片 MC145442 和 MC145443 等, 电路比较复杂, 灵活性不高, 且难以应用于线路干扰强的场合。

### 1 FSK 调制解调方法

#### 1.1 FSK 调制方法

FSK 信号的产生通常有两种方式: 频率选择法和载波调频法<sup>[2]</sup>。由于频率选择法产生的 FSK 信号为两个彼此独立的载波振荡器输出信号之和, 在二进制码元状态转换时刻, FSK 信号的相位通常是不连续的, 这就不利于已调信号功率谱旁瓣分量的收敛。载波调频法是在一个直接调频器中产生 FSK 信号, 即用数字基带矩形脉冲控制一个振荡器的某些参数, 直接改变振荡频率, 输出不同频率的信号, 这时的已调信号出自同一个振荡器, 信号相位在载频变化时始终是连续的, 这将有利于已调信号功率旁瓣分量的收敛, 使信号功率更集中于信号带宽内。因此, 该方案采用载波调频法。

#### 1.2 FSK 解调方法

数字调频信号的解调方法一般分为两大类: 相干检测法和非相干检测法。非相干检测法又包括包络检波法、过零检测法、差分检测法、鉴频法等<sup>[3]</sup>。相干检测, 即相干解调, 必须要

恢复出相干载波, 利用该相干载波作用于已调制信号, 得到最初的数字基带信号, 而该相干载波是和原来在发送端调制该基带信号的载波信号是同频率同相位的, 与之相对应的非相干解调, 不需要恢复出相干载波, 所以比相干解调方式要简单。

选择解调方法的主要依据有: 发送 FSK 信号的形式和参数、解调器的抗干扰性能要求、硬件成本。从抗干扰性能看, 相干检测法是最优的, 但从 FSK 信号中取相干载波比较困难, 所以该方案选择鉴频法。即接收的 FSK 信号先经过前置滤波器滤去部分干扰, 然后利用 MSP430 单片机内部的比较器和定时器完成鉴频过程, 并以一定的波特率送入 USART 模块完成串并数据转换。

### 2 FSK 调制解调的具体实现

#### 2.1 TI MSP430F147 单片机介绍

MSP430 是具有超低功耗特点的 16 位单片机, 该方案选用 MSP430F147, 其功耗电流已达到了 mA 级。它是 16 位 CPU 和高效的 RISC 指令系统, 具有 16 个快速响应中断, 能及时处理各种紧急事件。具有 12 位的 A/D 转换器、两路 USART 通信串口, 可用于 UART 和 SPI 模式, 片内有精密硬件乘法器、2 个 16 位定时器、1 个比较器、6 个并行口 P1 ~ P6、48 条 I/O 口线<sup>[4]</sup>。芯片内部具有 64 K Flash ROM, 1 K RAM, 且具有一个 JTAG 接口用于程序调试和下载。

2 个 16 位定时器 (Timer\_A 和 Timer\_B) 具有捕获/比较功能, 大量的捕获/比较寄存器, 可用于事件计数、时序发生、PWM 等<sup>[4]</sup>。因此, MSP430 系列单片机非常合适实现 FSK 调制解调器。

#### 2.2 调制的实现

如图 1 所示, MSP430F147 的 USART0 模块作为用户应用程序和调制的接口, 配置为 UART 模式, 波特率为 300 bit/s。当

一字节数据写入 U0TXBUF 寄存器时,USART0 模块通过 UTXD0 引脚输出一串由一个起始位、一个停止位和 8 个数据位(低位在前)组成的比特流<sup>[5]</sup>。

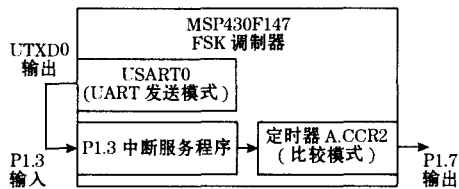


图 1 FSK 调制电路框图

UTXD0 脚连接到 MSP430F147 的 P1.3 脚,定时器 Timer\_A 的 CCR2 捕获/比较模块设置成比较模式,用于产生 PWM 信号,根据 UTXD0 脚输出的信号高低周期性的改变 CCR2 寄存器的值,达到调制的效果,并通过 P1.7 引脚输出 FSK 信号到其他设备。

周期性的写入 CCR2 寄存器用于产生所需频率的数值,如下式:

$$\text{HalfPeriodValue} = \frac{\text{Timer A. CLK}}{2 \times \text{SignalFrequency}}$$

数字 I/O P1.3 脚设置成输入模式,并打开中断,每次 UTXD0 信号翻转都会触发中断,进入中断服务程序(ISR),如图 2 所示。

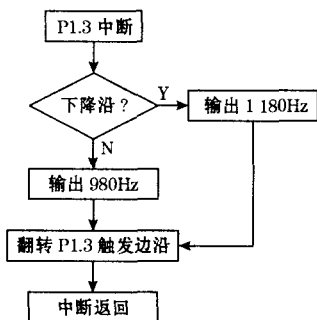


图 2 P1.3 中断程序流程图

如图 2 所示,在中断服务程序中,通过查询 P1IES 寄存器的第 3 位,中断服务程序就可以确定引发中断的是上升沿还是下降沿,从而更新产生 PWM 波的变量。从 P1.7 引脚输出的方波经过一个低通滤波器即为所需的 FSK 调制信号。图 3 为 FSK 调制波形图。

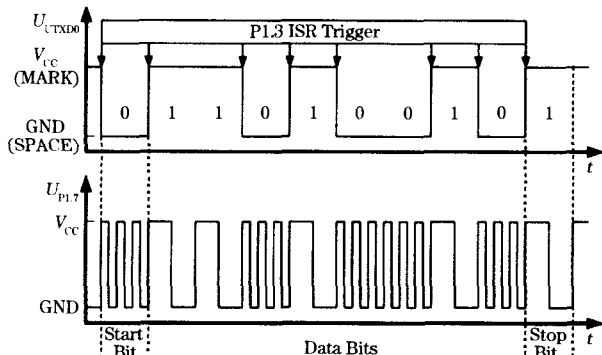


图 3 FSK 调制波形图

### 2.3 解调的实现

解调正好与调制的过程相反,如图 4 所示,收到的 FSK 信

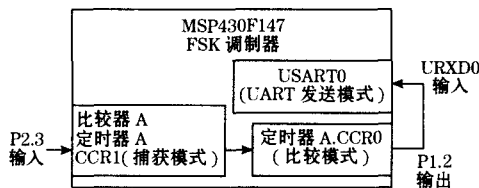


图 4 FSK 解调电路框图

号经过滤波后通过 P2.3 (CA0) 引脚输入到比较器 A 模块,和片内一个基准电压  $V_{CC}/2$  进行比较。定时器 Timer\_A 的 CCR1 捕获/比较模块设置为捕获模式,并设置捕获的输入信号为比较器 A 模块的输出,通过两次捕获就可测量出输入信号的周期宽度。这样比较器\_A 模块在每次收到低电平信号时触发捕获事件,在捕获事件中读出 CCR1 的捕获值。此值再和周期值进行比较,从而确定收到的 FSK 信号为 0 还是 1。此时的周期值为:

$$\text{PeriodValue} = \frac{\text{Timer A. CLK}}{\text{SignalFrequency}}$$

当起始位('0')被探测到时,定时器 Timer\_A 的 CCR0 捕获/比较模块以比较模式每 1/300 s 产生一次中断。

如图 5 所示,每次中断服务程序执行时,一个多数表决机制被用来决定收到的一位是'1'还是'0'。多数表决机制由两个全局变量 Ones 和 Zeros 来实现的,由它们的大小来决定 P1.2 脚的状态,Ones 和 Zeros 在 CCR1 的捕获中断服务程序中改变。依照比较的结果,清零或置位数字 I/O 口 P1.2,然后清零 Ones 和 Zeros 为下一位的接收作准备。全局变量 BitCounter 用来控制接收数据位数,当接收到 8 字节数据时,关闭 Timer\_A 的 CCR0 中断,并产生一个停止位以 300 bit/s 的速度从 P1.2 脚送出。P1.2 脚连接到 USART0 模块的 URXD0 脚,然后 USART 模块以 UART 模式接收比特流并为应用程序提供一个接口,相应的接收中断可以用来处理接收的字节数据。图 6 所示为 FSK 解调波形图。

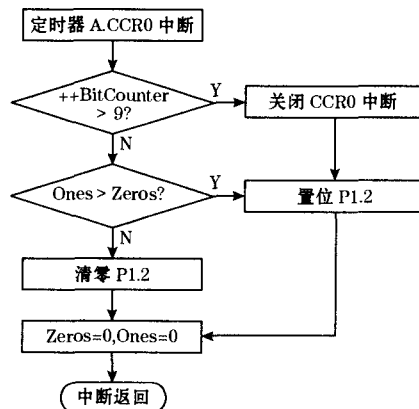


图 5 CCR0 中断程序流程图

### 3 结束语

该调制解调器已在某水情遥测仪与 FM 调频电台的通讯中使用。实践证明:基于 MSP430 的 FSK 调制解调器结构简单,可靠性强,具有较强的抗干扰能力,易于在某些数据采集装置、监控设备上实现,几乎不增加硬件成本,性价比高。

(下转第 64 页)

格式见表1、表2。它们之间的网络建立流程如图5(a)所示。在网络建立过程中,基站主动广播连接命令,在终端设备成功接收到信息,并且通过CRC校验和密钥验证之后,向基站返回确认帧,并向基站返回自己的ID号码,同时保存该终端设备所加入的基站ID号码,从而该终端设备加入到该网络。此后该终端设备的 Zigbee 通信传输模块被置于低功耗工作模式,以达到降低功耗的目的。但是需要周期性的唤醒以主动向基站上报数据信息,或向基站上报其他中断信息。同时,基站模块处于接收模式工作状态,等候终端设备的响应连接请求命令。通过加入相应的 CRC 校验和密钥验证,从而有效地控制其他网络中 Zigbee 物理射频以及其他终端设备和基站的非法连接请求,确保基站和终端设备之间通信的安全可靠。

表1 终端设备到基站的数据帧

数据模式	目标地址	数据长度	数据信息	CRC 校验码
1 Byte	基站 ID 号	1 Byte	终端 ID 号	数据方向
			数据	1 Byte

表2 基站到终端设备的数据帧

数据模式	目标地址	数据长度	数据信息	CRC 校验码
1 Byte	终端 ID 号	1 Byte	基站 ID 号	数据方向
			响应信息	1 Byte

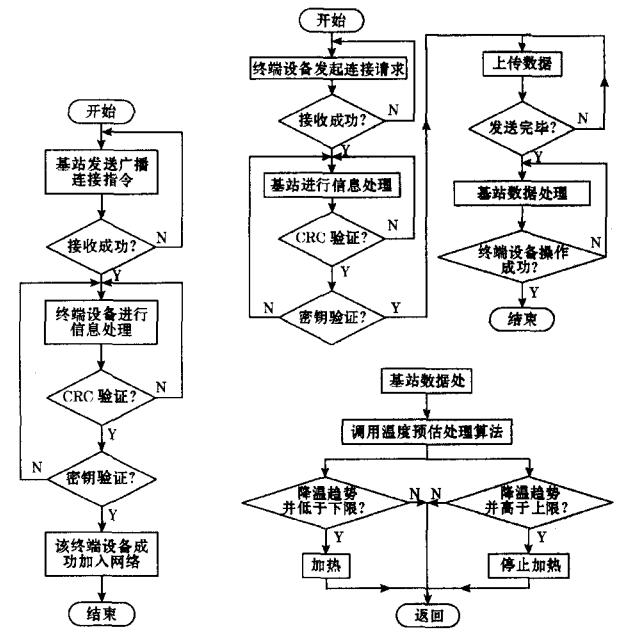
3.2 数据信息处理

信息处理过程是在终端设备的检测电路检测到其所监控的对像发生变化时,由终端设备中的 Zigbee 通信传输模块对信息进行简单处理后,主动发起连接,将处理后的信息传送给基站,以期得到基站信息应答的一个通信过程。通信流程如图5(b)所示。实际工作中的应用测试表明,该无线传感器网络的终端设备95%以上的时间处于低功耗状态,而 Zigbee 模块在低功耗模式下其电流为十几  $\mu\text{A}$ ;而在其他工作模式下,Zigbee 模块的电流小于 15 mA。因此,采用基于信息变化触发的方式可以大大地降低功耗,这就极大地延长了终端设备的电池使用寿命。

4 结束语

在长庆油田某工作站的远程监控系统改造过程中,采用了此技术,提高了数据传输的抗干扰性,同时又减少了现场布线带来的各种问题。试验证明:以无线射频芯片 MC13213 为核

心,基于 Zigbee 技术的油田远程智能监控系统,数据传送可靠,提高油井管理的自动化。



(a) 网络建立流程图

(b) 信息处理流程图

图5 网络建立及信息处理流程图

参考文献:

- [1] 刘秋丽,蒋耘晨,杨明. Zigbee 技术无线传感器网络在天然气联合站中的应用. 仪表技术与传感器,2007(1):20-21.
- [2] 黄智伟. 无线数字收发电路设计. 北京:电子工业出版社,2003.
- [3] MC1321x datasheet [EB/OL]. [2007-11-16]. http://www.freescale.com.
- [4] IEEE Standard for information technology-802.15.4. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc,2003.
- [5] WOODING R W, GERRIOR M. 避免 2.4 GHz ISM 频段各种类型无线设备干扰的技术. 电子工程专辑,2005(4).
- [6] 罗光春. VC++6.0 从入门到精通. 成都:电子科技大学出版社,2001.

作者简介:王淑云(1958—),副教授,研究方向为电子测量技术与计算机测控. E-mail:pgfan@nwpu.edu.cn

(上接第 61 页)

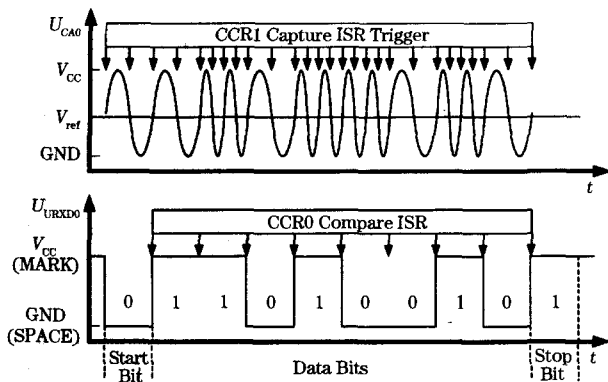


图6 FSK 解调波形图

参考文献:

- [1] 王宏宇,徐峰,王鹏. 基于 FPGA 和单片机技术的 FSK 信号监测. 仪表技术与传感器,2001(10):12-15.
- [2] 欧阳长月. 数字通讯. 北京:北京航空航天大学出版社,1990:5-103.
- [3] 李文海,毛京丽,石方文. 数字通信原理. 北京:人民邮电出版社,2002:47-68.
- [4] 胡大可. MSP430 系列 Flash 型超低功耗 16 位单片机. 北京:北京航空航天大学出版社,2001:10-149.
- [5] 胡大可. MSP430 系列单片机 C 语言程序设计与开发. 北京:北京航空航天大学出版社,2003:36-70.

作者简介:方彦军(1957—),教授、博士生导师,从事过程检测与控制方面的教学与研究工作. E-mail:yjfang@whu.edu.cn