

Multipoint Wireless Communication Module on MSP430 and nRF905

GAO Zhang-fei, ZHU Shan-an

(Institute of Electrical Engineering, Zhejiang University Hangzhou 310027, China)

Abstract: Ad hoc network is more and more popular for its acentric, self-organizing and highly flexible characteristics. An Ad hoc network is realized by adding MAC protocol based on wireless point to point transceiver for addressing and avoiding of data conflict. The module takes MSP430 as center chip while nRF905 as transceiver, which has lots of channels. First the hardware driver is put forward, then MAC protocol is given in the paper. The protocol makes use of multiple channels while data can be communicated simultaneously in different channels which enhances efficiency. Adopting hopping method when error occurs, which ensures veracity and improves robusticity.

Keywords: Ad hoc network; MSP430; nRF905; SPI; hopping
EEACC: 0250

基于 MSP430 和 nRF905 的多点无线通讯模块

高章飞, 朱善安

(浙江大学 电气学院, 杭州 310027)

摘要: Ad hoc 网络由于具有无中心、自组织、机动性高等特点, 越来越受到重视。为实现 Ad hoc 网络, 在无线点对点通讯模块的基础上, 加入了 MAC 协议, 以实现网络中寻址及避免数据冲突等功能。模块采用 MSP430 作为主控芯片, 采用具有多信道的 nRF905 作为收发芯片。文中给出了硬件驱动和多点传输数据的 MAC 协议。该协议充分利用了多信道特点, 各信道同时传输数据互不干扰, 提高了传输效率; 利用跳频机制保证了数据的准确性, 增加了系统的鲁棒性。

关键词: Ad hoc 网络; MSP430; nRF905; SPI; 跳频机制

中图分类号: TN914; TN915

文献标识码: A

文章编号: 1005-9490(2006)01-0264-04

本文介绍的无线通讯模块, 采用通用的低功耗单片机 MSP430 作为主芯片, nRF905 作为无线收发模块, 利用 SPI 口实现双向通讯, SPI 支持高速数据传输, 从而满足了射频带宽的要求。nRF905 提供了强大的跳频机制以及大量的频道支持, 可以在许多特殊的场合, 而且即使利用无增益的 PCB 天线其传输距离也可达 200m, 如果需要更远距离的传输, 也可以改成带增益的天线, 传输距离即可扩大到 1 千米以上, 可满足不同客户的需求。

1 系统硬件实现

无线通讯模块的实现框图如图 1 所示, 除了

MSP430 和 nRF905 外, 系统还留有 MAX232 接口可以实现与 PC 的机通讯, MAX485 接口满足一些通用仪器仪表的要求, 并提供了按键和液晶等人机交互界面。

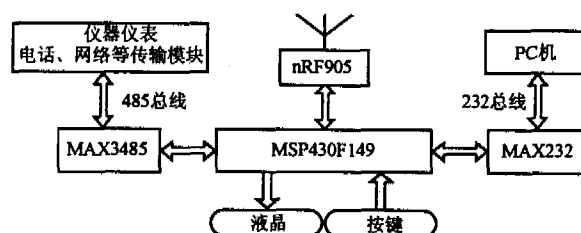


图 1 系统的硬件结构

收稿日期: 2005-07-06

作者简介: 高章飞(1981-), 男, 安徽芜湖人, 硕士研究生, 研究方向为嵌入式开发, gaozhangfei@sohu.com

2 驱动实现

2.1 MSP430 的 SPI 驱动

MSP430 用标准 SPI 口和 nRF905 进行通讯,标准接口包括两根数据线: MOSI(主发从收)和 MISO(从发主收),还有时钟线 CLK,主机用 CLK 与从机时钟同步。

如图 2 所示,SPI 可以理解成双工方式,因为在发送数据的同时也可以接受数据^[2]。SPI 分成主模式和从模式,从模式完全被动,数据的发送和接受都由主机掌握。实际上参与工作的都有四个寄存器,主机将数据写入发送缓存 UTXBUF,数据并行存入发送移位寄存器。数据一旦写入 UTXBUF,立即从 MOSI 线移位到从机的接受移位缓存,而从机移位缓存中的数据又将其发送移位寄存器中数据,通过 MISO 移位到主机的接受移位寄存器,再并行读入接受缓存中。所以利用 SPI 同时进行读写操作。

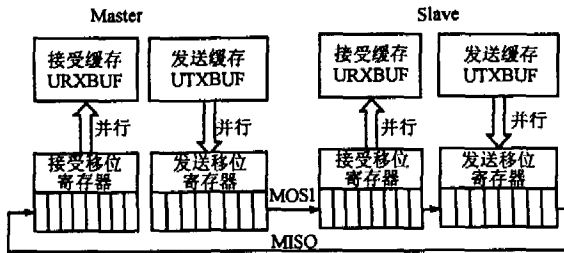


图 2 430SPI 示意图

2.2 nRF905 的驱动

nRF905 共有 32 个引脚,其中有 10 个引脚尤其需要我们注意:和主 MCU 通讯的 SPI 接口的四个引脚,数据线 MOSI、MISO,时钟线 SCK、使能线 CSN,其中 CSN 可以接到一个 IO 口控制芯片工作,而其它三个脚则接到主 MCU 的 SPI 接口上;主 MCU 的控制线有三个引脚,控制低功耗的 PWR_UP,控制正常工作的 TX_EN,选择发送还是接受方式的 TRX_CE,这几个引脚都接到主 MCU 的通用 IO 口;nRF905 的反馈线有三根,检测到频道正被使用的 CD(carrier detected),通知接受地址正确的 AM(address matched),告诉 MCU 数据接受正确的 DR(data received),这几个引脚需要接到主 MCU 的中断引脚上,当接收数据正确时以中断方式通知主 MCU^[1]。

nRF905 与 MSP430 接口如图 3 所示,其中 MOSI、MISO、SCK 分别与主机 SPI 口对应,CSN、TRX_CE、PWR_UP、TX_EN 接通用 IO 口,而 CD、AM、DR 接中断口,430 的 P2 口都是复用的中断口,这样收到数据可以用中断及时通知 430。

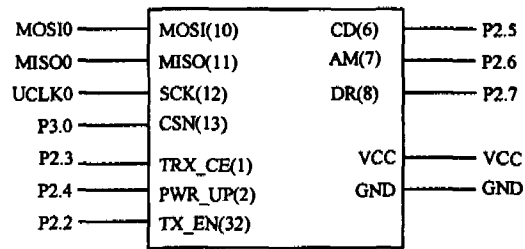


图 3 硬件接口

2.2.1 寄存器操作

(1) 寄存器介绍

对 nRF905 操作主要是对其寄存器进行操作,主要有四个寄存器,即配置寄存器、发送地址寄存器、发送数据寄存器和接受数据寄存器,每次发送数据时将对方地址写入发送地址寄存器中,将不超过 32 byte 的数据写入发送数据寄存器即可,而各节点地址在配置寄存器设置,接受的数据则自动放入接受数据寄存器中。

(2) 操作寄存器

nRF905 控制信号线 CSN 的下降沿使能寄存器,如果希望对某个寄存器进行操作的时候,首先需要将 CSN 引脚置低。905 提供了特殊的命令字来支持对寄存器的操作,比如写配置寄存器的命令字为(WC)0000 XXXX,读配置寄存器的命令字为(RC)0001XXXX,其中 XXXX 为起始地址。当操作某个寄存器时,先写入该寄存器的命令字,即可对其进行操作。

2.2.2 设置频道和频段

nRF905 最吸引人的一个特点就是提供跳频支持,以及拥有大量的频道可使用。nRF905 可以在 433/868/915 频段进行通讯,其实 868 和 915 属于同一频段,即主要分两大频段,而每一频段又有 2⁹ 个频道可以使用,但实际上针对不同的天线,只有一个频段可以让芯片发挥最好的功能,所以一种天线有 2⁹ 频道使用。当在某个频道上遇到干扰时,可以跳频来继续通讯,确保数据完整性。配置寄存器提供了 CH_NO 和 HFREQ_PLL 来设置频道,公式为:

$$f = (422.4 + (CH_NO/10)) \times (1 + HFREQ_PLL) \text{MHZ}$$

nRF905 提供了一个专门的命令字来支持快速跳频,这样在通讯过程中可以迅速实现跳频,从而在不影响通讯速度的情况下,完成通讯。

2.2.3 发送数据流程

设置好配置寄存器后,就可以发送数据了,我们先给出具体的时序图,再解释具体流程。

时序图如下:

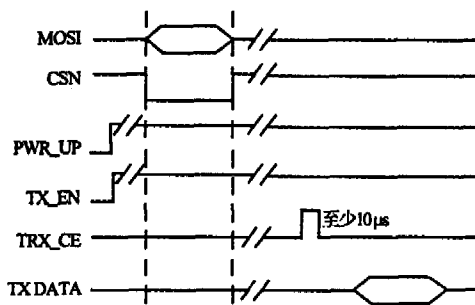


图 4 发送时序图

①主 MCU 将 PWR_UP 置高,使 905 进入工作模式,再将 TX_EN 置高进入发送数据模式。②将发送地址通过 SPI 口写入发送地址寄存器 TX_ADDRESS,再将数据写入发送数据寄存器 TX_PAYLOAD,SPI 口的速度由主 MCU 设置。③主 MCU 置高 TRX_CE,905 自动将数据帧格式补齐,加入包头 Preamble,并根据寄存器设置计算 CRC 校验填入包尾,然后 905 将整个数据以 100 bit/s 的速度,采用曼彻斯特编码,以 GFSK 形式发送出去,发送完毕,DR 会置高,通知主 MCU 可以继续下次发送。④如果配置成自动重发模式,nRF905 会自动重发,直到 TRX_CE 置低。⑤发送完后可以将 TRX_CE 置低,这样就进入 standby 模式,实际操作时可以直接将 TRX_CE 产生脉冲,持续时间不少于 10 µs,就可以发送完数据。

发送数据流程图如图 5 所示:

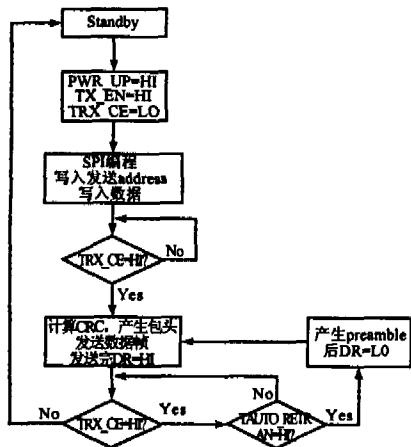


图 5 发送数据流程图

2.2.4 接受数据流程

下面我们讨论如何接受数据,同样先给出时序图如图 6,再解释流程。

①主 MCU 将 TX_EN 置高、TRX_CE 置低,过 650 µs 后,则进入接受模式。②nRF905 监控频道使用状况,如果发现频道被占用,则将 CD 置高,可以利用该特性采取一些冲突避免检测机制,发送数据前如果检测到 CD 信号,则可以随机延迟一段时

间再发送数据,该特性可以有效地避免数据冲突。③当接收到的数据发送地址和自己地址匹配时,则 AM 置高,通知该数据是发给自己的。④对数据的 CRC 进行校验,如果正确,则去除包头和 CRC 段,将数据保存在接受数据寄存器 RX_PAYLOAD,同时 DR 信号置高,通知主 MCU 读取数据。⑤主 MCU 将 TRX_CE 置低,进入 standby(省电)模式再通过 SPI 口将数据读出来,当数据都读完后,nRF905 将 AM 和 DR 重新置低,为下次接受数据做准备。

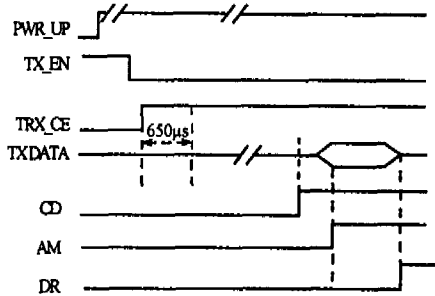


图 6 接收数据时序图

接受数据流程图如图 7 所示。

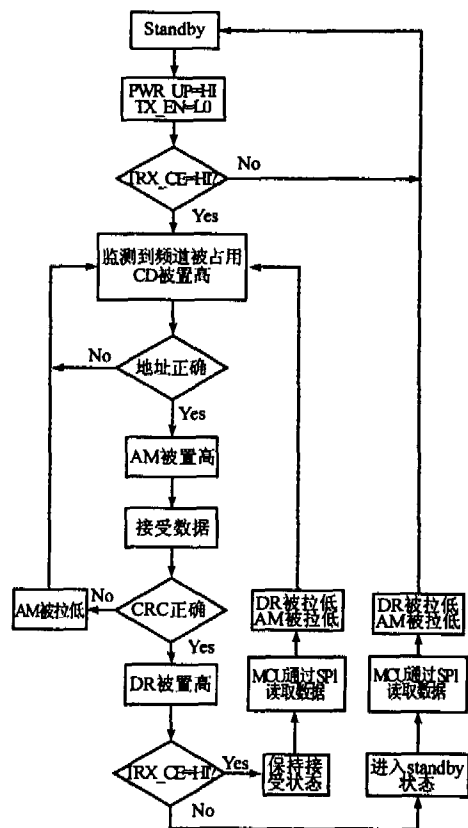


图 7 接受数据流程图

如果需要将驱动移植到其它平台如 ARM 上,只要将接口重新定义,SPI 读写函数做相应的调整,移植起来非常简单。

3 MAC 算法实现

既然 nRF905 提供了这么多频道和跳频机制,如何充分利用这些特性,使通讯更加稳定呢?下面实现的是基于 Ad Hoc 网络的 MAC 协议。

3.1 MAC 协议框架

如图 8 所示,频道被分成两类,控制频道和数据频道。而数据频道又被分成若干组,每组均有一个主数据频道和两个备用数据频道。正常通讯的时候,采用主数据频道,如果误码率高达一定程度,可以跳至备用数据频道继续通讯。

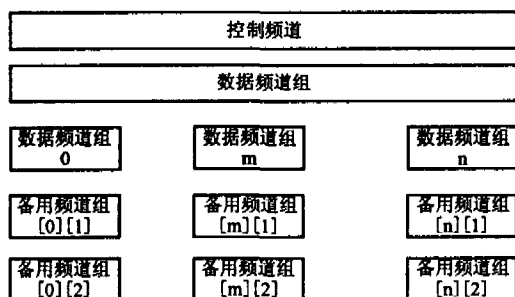


图 8 协议架构

通常,各节点在控制频道处于接受状态,采用广播地址。Ad Hoc 网络中各节点均以自己为中心,故各节点均维护着自己的“控制频道状态表”BroadStatus 和“频道列表”Hoplist,两者分别记录了控制频道和数据频道的使用状况。

结构分别如下所示:

```
struct
{
    控制频道使用标志 broad
    控制频道使用时间 broadtime
} BroadStatus;
struct
{
    频道列表 hoplist;
    频道使用时间 hoptime[n];
    频道占用地址 hopaddress[n][2];
} Hoplist
```

3.2 控制频道

控制频道用于各节点交换路由信息、握手信息等。由于握手信息和路由信息相对大块的数据信息而言很小,所以各节点占用控制频道的时间相对较少,这在很大程度上避免了控制频道上的数据冲突。

但是由于控制频道为所有节点所共用,必须采用冲突避免协议,本文采用了 IEEE802.11b 的 CSMA/CA 机制,即每次发送数据都要等到频道空闲,

再用“二进制指数退避算法^[4]”随机延时一段时间,当延时时间到再发送数据,这样就有效地避免了同频道下的数据冲突^[3]。

同时考虑到隐藏节点、暴露节点等问题^[5],我们采用了 RTS/CTS/BROAD 机制,如果节点 A 需要发送数据到节点 B,则先发送 RTS 并携带自己的数据频道列表信息,节点 B 收到 RTS 后,对比自己的频道列表选择一个共用的空闲频道返回 RTS,并跳入该频道等待数据的到来。节点 A 收到 CTS 后再携带使用频道信息发送 BROAD,然后跳入数据频道开始与节点 B 进行数据通讯。而其他节点收到 CTS、BROAD 后及时登记频道列表信息,方便下次数据传输时直接查询,该信息会随着系统晶振不断更新,这样各节点所维护的频道都是当前频道使用的状况^[6]。

3.3 数据频道

与共用的控制频道不同,当双方节点都处于数据频道时相当于建立了专用通道,此时不用采取 CSMA/CA 机制,我们采用确认机制、重发机制和跳频机制来确保数据准确无误的传输。通讯流程基本采用 DATA+ACK 形式,即发送完 DATA 等待 ACK,接收到 DATA 则发送 ACK 确认。如果 ACK 不正确或没收到 ACK 则重发,如果该频道不能使用则进行跳频。跳频需要双方协调进行,具有一定的复杂性,这里具体解释一下跳频机制。

图 9 为发送端跳频示意图,当发送端受干扰,即发送端可以发送数据,但接受不到数据,当误码率高达上限时,发送端发送 CHG 并携带将跳至的频道值 hop,然后跳入备用数据频道 hop 中,再发送 CHECK,等待握手信息。而接受端收到 CHG 后,从中提取出 hop 信息,再跳至该 hop,当接受到 CHECK 时,再发送验证信息 CHECK。自此,收发双方握手完毕,接着在新的频道中继续通讯。

图 10 为接受端跳频示意图,当接受端受干扰或者收发双方都收到干扰,这时接受端收不到来自发送方的控制信息 CHG,只能完全依靠误码率信息,此时同步尤为重要。由于双方误码率同时增加,当依次达到上限时,可以依次跳入备用频道继续通讯。由于存在重发和延时机,双方并不需要同时跳入备用频道,系统具有一定的容错性。

每个数据频道组有两个备用频道,如果三个频道都不能使用,则此次通讯就失败了。但是通常一定时间内干扰只在某个频段存在,只要将三个数据频道拉开一段频距,即可有效地抵制干扰。

(下转第 289 页)

```

BIT_DATA=0; //置初值
BIT_COUNT=0 //置初值
Int [M-1,0] DATA//声明数组
While (BIT_COUNT<M)
{ //M 为序列号的长度
REQUEST(BIT_DATA);
//要求符合条件的标签应答
Wait...; //等待标签返回
If(发生碰撞)
DATA[BIT_COUNT]=1;
//发生碰撞后选择标签
Else
DATA[BIT_COUNT]=DATA;
//DATA 为标签返回的数据
BIT_DATA= DATA[BIT_COUNT];
//形成下一次发送的参数
BIT_COUNT++;
//计数器的值增加
}
UNSELECT; //发完的标签进入“无声”状态
ACTIVE; //激活其他标签
    
```

算法的硬件实现也非常简单,利用一组寄存器来取代数组就可以实现,因此具有较高的应用价值。

4 结束语

类二进制搜索算法利用独特的序列号来识别标签,不需要特殊的编码和准确的同步来实现 RFID 系统反碰撞的功能,大大降低了系统设计实现的复杂性。而且利用该算法能够快速有效地识别阅读器作用范围内的标签,识别的时间开销在标签序列号长度确定的情况下跟标签的数量呈线性关系。这些对于 RFID 系统的反碰撞技术具有极其重要的现实意义。

参考文献:

- [1] Klaus Finkenzeller. RFID-Handbook Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards Identification[M]. (2nd Edition), 2003.
- [2] Richard Kalinowski, Michel Latteux, David Simpwt. An adaptive anti-collision protocol for smart labels. 2001.
- [3] Sanjay E Sarma, Stephen A Weis, Danile W Engels[Z]. RFID Systems and Security and Privacy Implications [Z], Auto-ID Center.
- [4] Draft protocol specification for a 900 MHz Class 0 Radio Frequency Identification Tag[Z], Auto-ID Center, 2003.

(上接第 267 页)

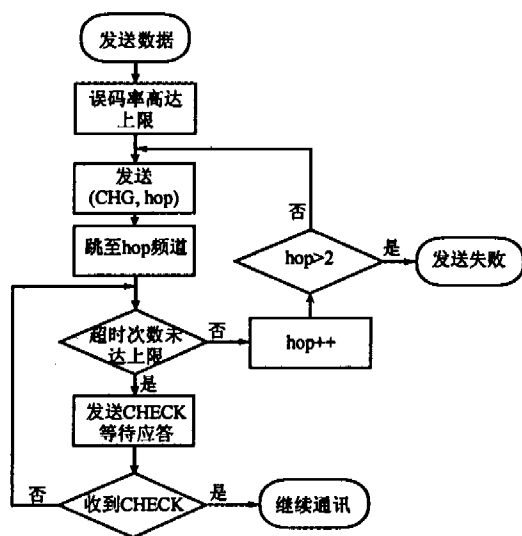


图 9 发送端跳频

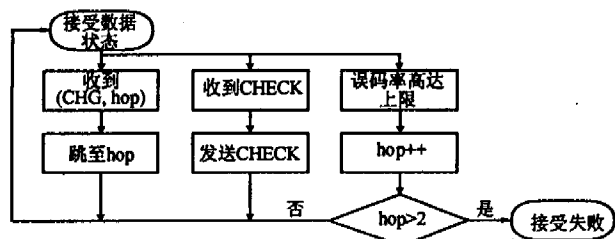


图 10 接收端跳频

4 总结

文中无线多点收发模块在 MSP430 和 nRF905 的基础上,实现了物理层驱动和基于 Ad Hoc 网络的 MAC 层协议,但没有提供网络层路由协议。物理层点对点通讯确保了数据传输的可靠性。MAC 协议确保同时传输数据时避免冲突。

在测试中,我们网络层采用鱼眼算法,用 15 个节点动态组网并互传信息,在该体制下信息可以同时发送相互之间没有干扰。

该模块可以很好的运用在一些抄表系统、遥控系统、以及机器人控制中。

参考文献:

- [1] Single chip 433/868/915 MHz. Transceiver nRF905 datasheet [S].
- [2] 胡大可编著. FLASH 型超低功耗 16 位单片机[M]. 北京航空航天大学出版社.
- [3] IEEE standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S]. ISO/IEC 8802-11,1999 (E), Aug. 1999.
- [4] Hai Tao Wu, Shi Duan Cheng etc, IEEE 802. 11 Distributed Coordination Function, Enhancement and Analysis, Journal of Computer Science and Technology, 2002, 18, (5), 113-116.
- [5] 杨吉云, 王铮, 金纯, IEEE802. 11b 的媒体访问机制[J], 重庆大学学报, 2002. 10, 25, (10), 113-116.
- [6] 王海涛, 宋丽华, Ad hoc 网络中 MAC 协议的研究[J], 中国数据通信, 2002. 1, 82-86.