

文章编号: 2095—0411 (2012) 04—0063—05

# 基于 nRF905 无线通信的 MAC 协议研究<sup>\*</sup>

计 芳, 张小鸣

(常州大学 信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164)

**摘要:** 为了提高特殊狭窄空间设备通信的可靠性, 开发了一种基于 nRF905 的短距离无线数据通信系统。该系统的基本节点由 nRF905、STC 单片机、DS1302 等硬件组成。系统设计了包含独立时间窗和竞争时间窗的时钟同步时间调度表, 各节点按时间调度表分时发送和部分竞争发送。竞争时间窗中多个节点的竞争采用随机数退避算法和帧间隔优先级的方法来减小节点发生碰撞的几率。实验结果表明, 该系统数据传输效率高、实时性好、可扩展性强, 可广泛应用于各种短距离无线数据通信中。

**关键词:** nRF905; 无线通信; 时间调度表; 竞争

**中图分类号:** TN 925

**文献标识码:** A

## Research on the Wireless Communication System Based on nRF905

Ji Fang, ZHANG Xiao-ming

(School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** In order to improve the reliability of communication of the equipment in special narrow space, a kind of short-range wireless data communication system based on nRF905 has been developed. The basic node of the system consists of nRF905, STC series SCM, DS1302 and so on. A clock synchronization time dispatch table is designed which contains separate time windows and competition time windows. Individual nodes have two transmitting modes according to the time dispatch table which are time-sharing sending and partly competition sending. For multiple nodes of competition in competition time windows, a random number wince algorithm and frame interval priority method are used to reduce the probability of node collision. The results show that the system has high data transfer efficiency, high real time and high extensibility, and it can be widely used in a variety of short-range wireless data communication.

**Key words:** nRF905; wireless communication; time dispatch list; competition

短距离无线通信应用广泛, 但是无线通信环境噪声大、信号干扰大, 基于 nRF905 的无线通信模块引入自动重发、高抗干扰 GFSK (高斯频移键控) 调制和 16 位 CRC 循环冗余码校验机制等, 确保了数据传输的可靠性<sup>[1-2]</sup>。文献 [3] 提出了 RTS—CTS—DATA—ACK (请求发送—清除发送—数据发送—确认发送) 握手机制, 实现了自组织

网络和多跳数传, 网络吞吐率达到无线传感器网络的要求, 但是没有彻底解决节点竞争产生冲突碰撞的问题。文献 [4] 针对点对点通信要求, 构建了小型的无线通信网络, 设计了系统的网络拓扑结构、MAC (介质访问控制)、隐藏节点策略、差重传机制以及无线数据帧格式, 但没有采用时分多址的方式, 造成节点通信发生碰撞的几率较大。针对

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2012—11—05

作者简介: 计芳 (1987—), 女, 江苏苏州人, 硕士生; 通讯联系人: 张小鸣。

MAC 协议存在数据碰撞造成效率低等问题，划分时间周期使各节点分时发送就避免数据通信发生碰撞<sup>[5-8]</sup>。时间周期表为每个节点分配独立的时间段用于发送或接收数据，但忽略了紧急信息传递的实时性问题<sup>[9-11]</sup>。因此，在时间周期表中加入仲裁窗并利用随机数退避算法和帧间隔优先级来处理紧急信息显得尤为重要。

介绍基于 nRF905 的无线通信系统的硬件框图、时间周期表数据结构以及载波监听避让算法的软件设计方法。设计 3 种帧格式，实现了点对点的可靠通信。实验表明该系统比传统的无线通信方式具有较高的传输效率和实时性。

### 1 无线通信系统的硬件结构

每个节点的硬件结构主要由控制器模块，时钟模块，电源模块，存储模块，串口及射频模块组成。其中控制器模块采用 STC89C54RC/RD 及其最小应用系统，时钟模块选用的是 DALLAS 公司推出的涓流充电时钟芯片 DS1302。

无线射频收发芯片选用 nRF905。nRF905 是挪威 Nordic 公司推出的单片无线收发一体的芯片，工作电压为 1.9—3.6V，可通过编程工作于 433/868/915MHz 3 个 ISM 频段，最大传输速度可达到 100kbps，发射功率最大可达 10dBm，接收灵敏度最大为一 100dBm。nRF905 可自动处理字头和生成 CRC（循环冗余码校验）。nRF905 采用串行外围设备接口 SPI（Serial Peripheral Interface）与单片机连接，单片机工作在 SPI 的主机模式，nRF905 工作在从机模式。nRF905 利用 SPI 口实现与 MCU 进行双向通讯。节点还设计了 RS-232 接口实现与 PC 机的通信，以及 MCU 的存储电路和时钟控制模块。根据不同的应用需求，射频收发模块可选择高增益天线。节点硬件结构框图如图 1 所示。

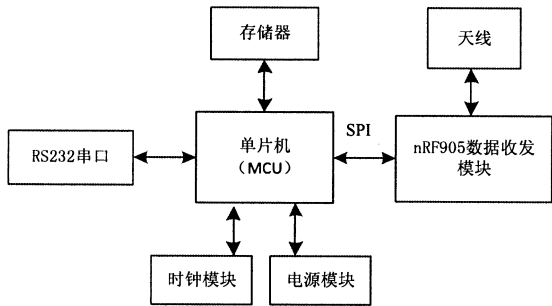


图 1 nRF905 节点硬件结构框图

Fig. 1 nRF905 node hardware structure diagram

发送节点通过将 TRX\_CE 与 TX\_EN 置 1，使发送节点的 nRF905 模块向外发送数据。接收节点通过将 TRX\_CE 置 1，TX\_EN 置 0 来接收从发送节点传来的数据。

### 2 点对点通信流程

#### 2.1 时间周期表

时间周期表由多个基本周期组成，每个基本周期有 3 个节点的独立发送窗和一个仲裁窗组成。所有节点统一时钟，将消息的传输分配在特定的时间窗口内完成。系统运行时，首先主节点发送统一时钟时间与其他节点统一校时。然后按照各节点所分配的时间窗顺序发送数据。在基本周期中各节点发送数据结束后加入一个仲裁窗，仲裁窗用来传递节点的紧急信息。时间周期表如图 2 所示。

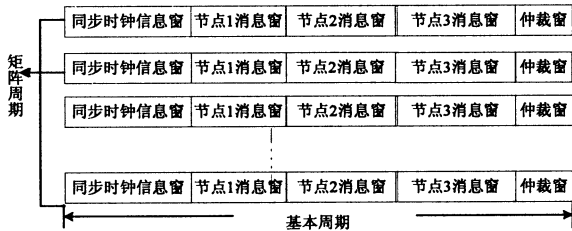


图 2 时间周期表

Fig. 2 Time periodic table

#### 2.2 仲裁避让算法

如果仲裁窗中没有需要发送紧急信息的节点则在消耗完仲裁窗的时间后进入下一个基本周期。如果仲裁窗中出现两个或两个以上节点要发送紧急信息，则根据随机数退避算法选择一个节点发送紧急信息。仲裁窗只允许在此之前排队的节点竞争，在仲裁窗持续期间加入的节点竞争一律不予理睬。

在仲裁窗之前已经排队竞争的多个节点无法分出优先级谁高谁低，只能都发 RTS（一种短命令帧），然后各自在等 CTS（一种短应答帧）。如果发送发生碰撞，则谁也收不到 CTS。这时各竞争节点都知道发生碰撞了，再通过每个节点延迟一个随机退避时间区分出节点发送信息的优先级。此退避时间随时间递减，节点必须等到其退避时间减为 0 时才能传送信息。退避时间为：

$$A = \text{Random}(W_{\min}, W_{\max}) \times \text{SlotTime}$$

式中：A 为退避时间；SlotTime 为传播时延，取决于物理层实现，是发射机开启时间、媒体传播时延和信道检测的响应时间项之和；W 为“仲裁窗

口”参数, 取值为 SlotTime 的整数倍,  $W$  的最小值  $W_{\min}$  和最大值  $W_{\max}$  可事先选定; Random 是随机数。

在退避状态下, 只有当节点检测到信道空闲时退避时间才开始递减。当某一节点的随机退避时间减为 0 时则该节点发送信息, 信道转为忙碌状态, 此时其他节点就必须暂停递减的工作, 待下次再进入仲裁窗时才继续递减。这一做法使得当多个节点延迟并进入随机退避状态后, 退避时间值最小的节点将在竞争中获胜, 从而获得信道使用权, 在竞争中失败的站点则延迟至下一个基本周期的仲裁窗中与其他节点竞争。

为了防止节点发送信息过程中其他节点抢占信道, 引入了 IEEE 802.11 中的长帧间间隔 DIFS (Distributed Inter Frame Spacing) 和短帧间间隔 SIFS (Short Inter Frame Space) 的概念。短帧间间隔 (SIFS) 的优先级高于长帧间间隔 (DIFS)。对于 802.11b 网络, SIFS 和时隙 (SlotTime) 分别为  $10\mu\text{s}$  和  $20\mu\text{s}$ 。考虑到信号的传播和处理延迟, 通常将时隙 (SlotTime) 选择为  $20\mu\text{s}$ , DIFS 等于 SIFS 加 2 个时隙, 即为  $50\mu\text{s}$ 。SIFS 是节点从发送状态切换到接收状态并能正确解码所需要的时间, 或者从接收状态转为发送状态所需要的时间, 在 SIFS 过期后可能发送的数据包包括 CTS (Clear To Send)、DATA、ACK 帧。节点在开始发送数据之前需要监测信道是否空闲。如果信道已

经空闲, 则节点仍需等待 DIFS 段时间才开始发送数据; 而如果在 DIFS 时间段内任一时刻信道被监测为忙, 则节点推迟它的数据发送。因此使用优先级不同的帧间间隔, 就使节点在数据通信冲突时等待 DIFS 来避让当前信道的通信过程, 保证了一次数据传输的可靠性和完整性, 具体过程如图 3 所示。

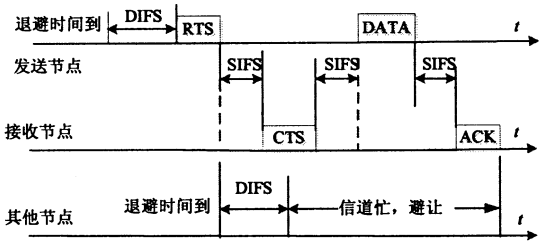


图 3 仲裁避让原理图

Fig. 3 Arbitration avoidance principle diagram

### 2.3 数据通信帧结构

为了完成点对点的可靠通信, 本系统在时间周期表中加入 4 种帧结构: 广播帧、数据帧、控制帧、间隔帧, 间隔帧规定节点发送和接收之间的时间间隔, 有长间隔帧 (DIFS) 和短间隔帧 (SIFS)。前 3 种帧格式如图 4 所示。其中, AAH 是帧先导字节; ID 为标识号; Len 为数据长度, 指 Len 域后的所有数据字节数; FFH 为结束字节。

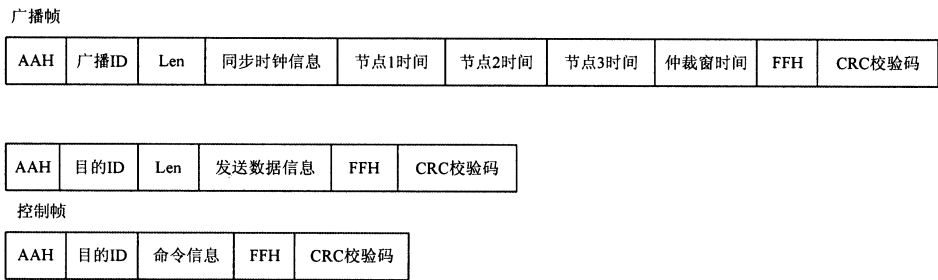


图 4 数据通信帧结构格式

Fig. 4 Time of the periodic table of the frame structure format

本系统中 nRF905 自动将数据帧格式补齐, 加入包头, 并产生 16 位 CRC 校验再填入包尾。如果数据传输出错, 数据会因为 CRC 校验出错而被 nRF905 自动丢弃, 在这种情况下, 采集节点在向基站发送数据后无法收到基站的数据确认命令 ACK。

广播帧用于时间周期表中同步时钟信息的发送。广播 ID 是主机节点发送给节点的特殊的 ID, 网络中每个节点都可以接收到广播帧的信息。数据

帧是时间周期表中独占节点发送的信息, 主要传送节点数据信息。控制帧是节点发送的命令信息, RTS、CTS、ACK 及帧间隔都为控制帧。

### 2.4 点对点通信流程

在无线通信过程中可能会出现当前使用的信道上有节点在发送信息, 其他节点也准备进入信道的情况, 这样就会造成冲突, 破坏当前正在发送的信息, 为此采用 CSMA (Carrier Sense Multiple Ac-

cess) 即载波侦听多路访问的方法来减少了发生冲突的可能。CSMA 就是在发送数据帧前先进行载波侦听, 以确认当前使用的信道上是否有其它站点正在发送数据, 如果侦听到其它站点在发送, 就暂时不发送数据。nRF905 具有专门的用于载波监测的引脚 CD, 当空气中有同频率的载波存在时, CD 脚将输出高电平, 为实现载波侦听提供了非常良好的支持。

A、B 两个节点进行数据通信, A 节点要将数据发送给 B 节点则 A 节点先通过竞争的方法获得无线信道的使用权, 然后向 B 节点发送一个 RTS (Request To Send) 控制帧, 请求与 B 节点建立通信连接。B 节点接收到 A 节点的 RTS 请求后, 在通过竞争的方式获得信道使用权后, 向 A 节点发送 CTS 控制帧。当 A 节点在接收到 B 节点发给自己的 CTS 控制帧后, 认为与 B 节点的通信连接已经建立, 开始向 B 节点发送数据信息; 若节点 A 在向节点 B 发送 RTS 请求后没有收到 B 节点的 CTS 命令, 该节点就认为通信发生了冲突并重新发送 RTS 请求命令。B 节点在收到 A 节点发来的数据并确认数据正确后, 向节点 A 发送 ACK 数据确认帧。节点 A 在收到 ACK 后完成当前与节点 B 的数据通信。若节点 A 未收到 ACK 则系统采用数据重发机制, 若重发 3 次仍然无法收到基站的 ACK, 则放弃本次通信, 并在相对较长的时间后再次进行通信。仲裁窗退避过程流程图如图 5 所示。节点通信过程流程图如图 6 所示。

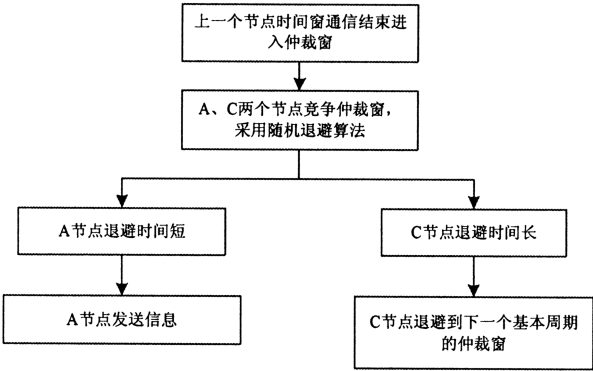


图 5 仲裁窗退避过程流程图

Fig. 5 Arbitration window wince process flow diagram

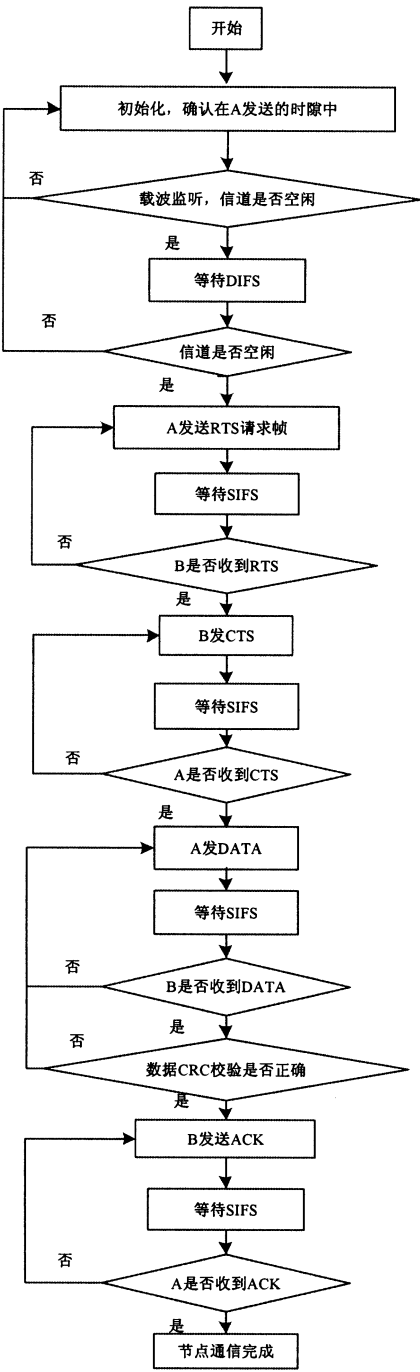


图 6 节点通信过程流程图

Fig. 6 Node communication process flow diagram

3 系统的调试及结果

对无线通信系统软硬件进行了调试, 点对点通信实验结果如图 7 所示, nRF905 的 RF 配置寄存器配置频段为 433MHz, 输出功率为 10db, 地址宽度设置为 4 字节, 接收发送有效数据长度为 32 字节, 接收地址为 0x0c, 16 位 CRC 校验允许, 32 位数据为 01-32。

1# 模块, 仅用来发送数据, 433M 频段

00        频点                *数据采用十六进制*

4c        发射功率 (接收模式时无意义)

44        机地址长度 4 字节, 目的机地址长度 4 字节

32        接收模式时的数据长度 (发送模式时无意义)

32        发送模式时的数据长度

0c 0c 0c 0c        本机地址 (发送模式时无意义)

58        晶振相关, CRC 校验模式

数据发送区↴

数据接收机地址:0c 0c 0c 0c

01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32

在上面的文本框中输入要发送的数据, 字节数要数据长度的设置相一致!

发送数据

(a) 点对点通信发送实验调试界面

2# 模块, 仅用来接收数据, 433M 频段

0        频点                *数据采用十六进制*

4c        发射功率 (接收模式时无意义)

44        机地址长度 4 字节, 目的机地址长度 4 字节

32        接收模式时的数据长度

32        发送模式时的数据长度 (接收模式时无意义)

0c 0c 0c 0c        本机地址

58        晶振相关, CRC 校验模式

数据接收区↴

01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32

清除显示

(b) 点对点通信接收实验调试界面

图 7 点对点通信实验调试界面

Fig. 7 Point to point communication debugging interface

4 结 论

该系统完整的实现了基于 nRF905 的无线通

信, 给出了系统的硬件结构和实现点对点通信的具体帧结构以及详细的数据通信过程。通过定时发布同步时钟和静态时间调度表的制定结合帧间隔的优先级顺序实现了多节点通信, 提高了实时数据传输的效率。

参考文献:

[1] 李治龙, 曾碧. nRF905 模块和 SPI 接口的点对点无线通信系统 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2006 (10): 20-22.

[2] 李志强, 李忠伟. 基于 nRF905 的无线串行通信系统设计 [J]. 无线互联科技, 2010 (10): 20-21.

[3] 杨海粟, 吴长奇, 刘立芳. 基于 nRF905 的无线传感器网络节点的设计与实现 [J]. 微型机与应用, 2010, 29 (15): 55-57.

[4] 高潮, 曹世超, 郭永彩. 基于射频技术的无线监测系统 [J]. 激光杂志, 2009 (5): 20-21.

[5] Zhang He-nan, Feng Dong-qin. A timeslot assignment scheme for cluster-tree based wireless sensor network [J]. High Technology Letters, 2010, 16 (4): 395-400.

[6] 陈洋, 刘彦呈, 肖德宏. 基于 nRF905 的无线传感器网络监测系统的设计 [J]. 数字技术与应用, 2010 (4): 19-20.

[7] 高章飞, 朱善安. 基于 MSP430 和 nRF905 的多点无线通讯模块 [J]. 电子器件, 2006, 29 (1): 264-289.

[8] 张小鸣, 龙仕玉. 基于 DSP 他励直流电机模糊 PID 控制器仿真研究 [J]. 常州大学学报: 自然科学版, 2012, 24 (1): 82-85.

[9] 岳洋, 黄明. 基于 nrf9E5 设计实现的无线数据采集监控系统 [J]. 电子测量技术, 2009, 32 (10): 129-132.

[10] LIU Xin, DAI Qiong-hai, WU Qiu-feng. Time allocation scheme in IEEE 802. 15. 3 TDMA mechanism [J]. Journal of Zhejiang University Science A, 2006 (7): 159-164.

[11] Shu T, Krunz M. Energy-efficient power/rate control and scheduling in hybrid TDMA/CDMA wireless sensor networks [J]. Computer Networks, 2009, 53: 1395-1408.