

超短波无线认知传感器网络节点的设计与实现

毛九平, 郑 霖, 刘争红

(桂林电子科技大学 省部共建认知无线电与信息处理重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘 要: 大范围稀疏无线传感器网络(WSN)采用超短波通信, 由于工作频道单一, 已无法满足网内通信的需求。为此, 提出一种自适应认知变频的无线传感器节点设备。设计处理器模块、无线通信模块、太阳能供电模块、传感器模块, 定义动态信道分配软件协议, 以实现信道认知功能的自适应变频通信。实验结果表明, 该设备可以进行远距离持续准确的无线通信, 并能完成自适应变频通信。

关键词: 无线传感器网络; ADF7021-N 芯片; 远距离通信; 信道感知; 自适应变频

中文引用格式: 毛九平, 郑 霖, 刘争红. 超短波无线认知传感器网络节点的设计与实现[J]. 计算机工程, 2017, 43(7): 80-85.

英文引用格式: Mao Jiuping, Zheng Lin, Liu Zhenghong. Design and Realization of Ultrashort Wave Wireless Cognitive Sensor Network Nodes[J]. Computer Engineering, 2017, 43(7): 80-85.

Design and Realization of Ultrashort Wave Wireless Cognitive Sensor Network Nodes

MAO Jiuping, ZHENG Lin, LIU Zhenghong

(Key Laboratory of Cognitive Radio and Information Processing Co-established by the Province and the Ministry, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004, China)

[Abstract] At present, the wide range of sparse Wireless Sensor Network (WSN) uses VHF communication, but the single channel resources cannot satisfy the requirement of communication among nodes in the network. For this purpose, this paper puts forward an adaptive cognitive frequency wireless sensor node device. It designs processor module, wireless communication module, solar energy power supply module, and sensor module, and defines the dynamic channel allocation protocol software, to realize the adaptive frequency communication of channel cognitive function. The experimental results show that the device can undertake continuous accurate wireless communication over a long distance, and complete the adaptive frequency communication.

[Key words] Wireless Sensor Network (WSN); ADF7021-N chip; long distance communication; channel perception; adaptive frequency

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.07.014

0 概述

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是由大量随机分布的、具有实时感知、无线通信和自组织能力的传感器节点组成, 承担着一定区域内的协同感知、采集环境或监测对象信息的功能。目前, 国内外许多科研人员已将 WSN 技术应用于节水灌溉、温室调控、农业气象信息和生态环境监测等方面, 并且取得了一定的进展^[1-3]。

无线认知传感器网络(Wireless Communication

and Sensor Network, WCSN)是将认知无线电(Cognitive Radio, CR)应用到无线传感器网络中, 赋予 WSN 节点频谱感知、自适应频谱分配等功能, 使其成为认知节点^[4-5]。文献[6]阐述了采用认知无线电的无线传感器网络能够感知频谱, 利用空闲频率, 以提高频谱利用率和通信有效性, 详细分析了基于无线传感器网络的关键技术的基础上, 提出了相应的解决方案。此外, 提出了一种新的传感器节点的硬件结构和节能设计策略并进行了讨论。文献[7]介绍了无线认知传感器网络的概念, 从无线认知传

基金项目: 国家自然科学基金(61362006); 广西自然科学基金(2014GXNSFBA118288); 省部共建认知无线电重点实验室课题(2013ZR08)。

作者简介: 毛九平(1990—), 男, 硕士研究生, 主研方向为超宽带通信、无线传感器网络; 郑 霖, 教授、博士; 刘争红, 讲师、硕士。

收稿日期: 2016-01-21 **修回日期:** 2016-03-02 **E-mail:** 463927830@qq.com

传感器网络的节点、频谱感知、频谱决策、频谱共享、频谱迁移、网络层、传输层、应用层等方面综述了现有的研究成果,讨论了目前存在的问题和需要进一步研究的方向。文献[8]提出了一种基于首要信道半双工的无线认知传感器网络广播协议,该协议通过单个收发机的收发状态转换和信道表的交换进行网络的初始化。经过网络初始化节点由首要信道形成拓扑,节点通过首要信道以半双工数据传送方式进行广播。仿真实验表明,与完全广播相比,该协议降低了广播延迟和开销。文献[9]引入认知方法增强节点的频谱感知能力,设计了基于低功耗高速率处理器的多射频接口认知增强无线传感器节点,提高了节点及其网络的吞吐量和频谱利用率,但其采用的多射频接口方式成本很高。文献[10]提出一种基于认知无线电技术的无线传感器监测系统,将其用于矿井的环境监测,其作用是在无线通信受到干扰时能自动协商跳转进入别的信道进行通信,提高系统抗干扰能力。文献[11]提出一种多频多跳 Ad-hoc 组网方法,将认知无线电思想在基于 ZigBee 技术的无线传感网中进行尝试,利用现代高级无线射频芯片对信道占用情况的能量检测功能,解决传统网络采用时分复用的方法时对信道的利用率不高的问题,但其并未予以实现。传统大范围环境下传感信息监测采用多点到点的架构,存在单点收发信机复杂、功耗高的问题,并未充分利用传感节点间网络化带来的能耗和复杂度上的优化。

综合分析,当前的 WSN 通信距离相对较短,采用同频工作方式,存在同频干扰,数据碰撞的概率大,影响通信质量,且超短波远距离通信传播范围很难控制,导致同频信道资源难以精确地实现多点间通信的空分复用,因此,采用频道认知的自适应选频是合理利用信道资源的有效途径。本文采用高性能的 STM32 处理器和在超短波频段具有一定频谱感知能力的 ADF7021-N 射频芯片,设计一种认知传感器网络通信节点。采用认知无线电技术,设计动态频谱管理协议,使节点完成简单的频谱感知和工作信道的自适应分配。

1 超短波认知无线电

认知无线电^[12]的提出是为当前无线频谱资源稀缺、频谱利用率低的问题提供一种新的解决思路。其主要思想是使无线通信设备通过频谱感知发现“频谱空穴”,并能自适应频谱分配合理利用发现的“空穴”,达到充分利用频谱资源的目的。

本文将认知无线电的方法引入无线传感器网络,使无线传感器节点带有简单的信道认知能力,并能自适应协商跳频。认知方法是通过能量接收信号

强度指示器 (Received Signal Strength Indicator, RSSI) 检测方式感知周围的信道信息,对采集的信道信息进行分析处理,通过判决选择最优的空闲信道,并能动态的进行信道协商分配完成通信过程。这种方法可以减少网络中相邻节点的通信干扰冲突,避免数据碰撞,有效利用网络中的空闲频谱资源^[13]。

常规的载波侦听多路访问 (Carrier Sense Multiple Access, CSMA) 协议是假设在相同干扰环境下,利用发送端做频谱检测,检测结果如果是信道空闲,表示其可向接收端无干扰地发送数据。但在大范围超短波无线传感器网络中,单节点通信覆盖范围较广,如果是在发送端做频谱检测,检测结果很难保证接收端也是无干扰状态,并且在数据采集网络的拓扑结构中,上层数据汇聚节点接收数据更频繁,发生数据碰撞的概率更大,所以,本文设计采用接收端做频谱检测的方法进行频谱感知,保证接收端能准确接收数据。另外,为减小发射端对邻近信号的干扰,设计中发送数据帧前的“信道请求/信道分配和确认”机制,类似于传统 RTS/CTS 机制,也应用于 MAC 层协议中。

2 WCSN 节点实现和协议设计

2.1 超短波 WCSN 节点协议栈框架设计

WCSN 节点设备总体框架如图 1 所示,包括超短波可变频电台硬件部分和通信协议软件部分。系统底层为超短波可变频电台硬件部分,其采用模块化设计;并由软件驱动接口;中间层为 MAC 层,完成自适应信道分配工作;上层为数据和网络层,主要负责数据的收发处理和路由选择。

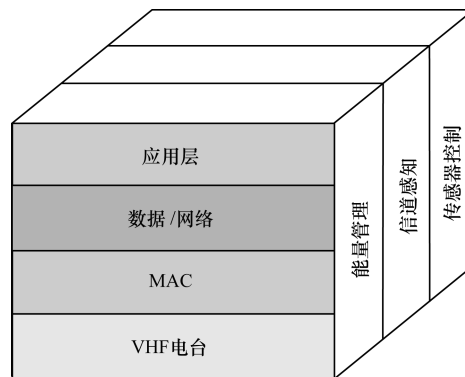


图 1 系统总体框架

系统框架设计了能量管理、信道感知和传感器控制管理面,能量管理面是使节点尽可能的低功耗状态工作,信道感知完成信道信息的采集,为自适应信道分配提供有效的信道信息,信道感知面部分采用能量检测的方式,通过扫描采集各信道的 RSSI 值作为信道判别依据。现有超短波公共频段范围是

30 MHz ~ 300 MHz, 本系统支持 80 MHz ~ 300 MHz 之间的超短波频段无线通信。传感器控制是控制管理传感器采集数据和数据的组帧。

2.2 节点硬件设计和实现

传感器节点采用模块化设计, 包括处理器模块、无线通信模块、太阳能供电模块、传感器 4 个部分。

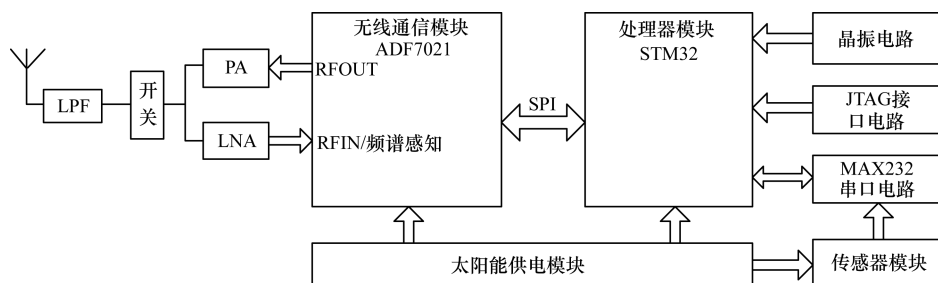


图2 节点硬件结构框图

无线通信模块负责完成与其他节点的无线通信, 交换控制信息及采集的数据^[14]。为满足大范围稀疏无线通信的目的, 需要无线信号具有较强的绕射能力, 所以本节点选择超短波工作频段。选用ADI公司的ADF7021-N射频芯片, 可在窄带、免执照ISM频段以及80 MHz至650 MHz频率范围的特许执照频段内工作, 能满足设计要求。ADF7021-N支持2FSK, 3FSK, 4FSK, MSK调制方式, 发射功率可从-16 dBm ~ +13 dBm之间分63个步幅编程可调, 最大数据速率可达24 Kb/s, 处理器通过SPI串行总线来控制ADF7021-N的工作^[15]。ADF7021-N支持多信道选择, 片内提供接收信号强度指示的回读, 能作为一种简单的频谱感知方式, 利用这些优势可实现通信信道的感知及自适应变频。芯片内部RSSI结构如图3所示。

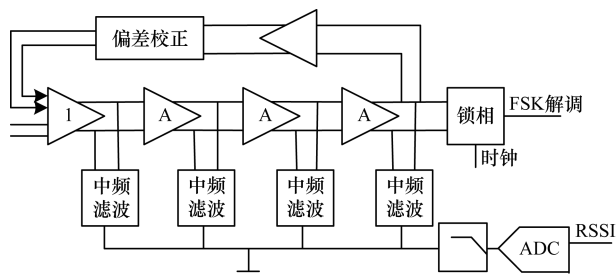


图3 RSSI结构框图

RSSI是接收信号强度指示, 接收机接收的信号经解调后, 通过一个80级Flash ADC进行转换后存放到相应寄存器, 回读寄存器值得到该信号强度, 该强度可转换成输入功率(dBm), 转换公式如下:

$$\text{输入信号功率} = -130 \text{ dBm} + (\text{回读值} + \text{增益模式校正}) \times 0.5$$

回读值是回读存放信号强度寄存器的位RV7

该节点以STM32单片机为控制核心, ADF7021-N芯片作为射频收发器, 其硬件结构框图如图2所示。传感器负责采集所需数据传送到处理器, 处理器模块将数据存储和处理后传递到无线通信模块调制输出到外接功放经天线发射出去。节点采用蓄电池和太阳能供电, 可长时间依靠能量自供应稳定工作。

至位RV1得到, 增益模式校正可依据回读的LNA增益和滤波器增益查表得到。通过比较输入信号功率值可以判断输入信号的强弱, 节点在某信道接收的信号功率值较大, 则表示有附近节点正使用此信道通信, 反之, 信号功率低于设定的阈值(当前设备取经验值-70 dBm), 则表示此信道当前无节点使用, 处于空闲状态。由此可见, RSSI值的回读为频谱感知提供了基本的硬件条件。

硬件实现如图4所示, 采用模块化布局, 左上部分为太阳能供电电源模块, 左下为处理器和射频模块, 右边部分为外部功放和LNA模块。选用三菱的RA08H1317放大器为ADF7021-N设计了外接发射功放, 接收端选用AVAGO的MGA62563设计了低噪声放大器, 增益达到22 dB, 提高了节点接收灵敏度, 从而使单个节点通信距离得到提高。

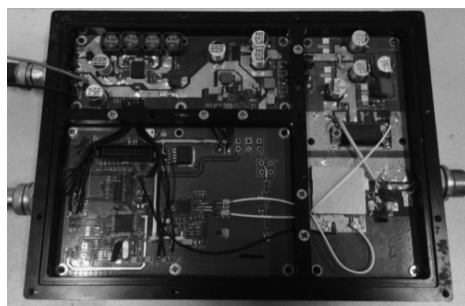


图4 超短波WCSN电台实现

传统无线传感器节点使用普通电池供电, 需要定期更换电池, 维护成本高。利用太阳能供电很好地解决了野外长时间无人监护的节点供电问题^[16-17]。太阳能供电模块主要由太阳能电池板、可充电蓄电池、充电控制器、稳压电路组成。其结构如图5所示。

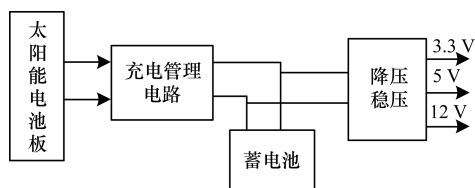


图 5 太阳能充电模块结构框图

2.3 自适应变频协议软件设计

2.3.1 超短波 MAC 层协议设计

根据硬件电路条件和功能,自行设计了系统软件协议栈框架及通信协议,实现传感器网络汇聚节点和传感器节点的数据传输,适用于大范围稀疏无线传感器网络应用场景。软件系统主要包括链路与

MAC 层、网络层 2 个部分。链路层与 MAC 层包括控制接口函数、射频芯片的配置、链路帧结构、链路层校验和动态信道分配。网络层包括路由控制和转发。

通信协议的设计分为汇聚节点和传感器节点两部分,实现点到点的通信。节点工作时序图如图 6 所示,节点上电初始化后,都是工作在公共信道 f_0 上,传感器节点在需要进行数据发送时,首先通过公共信道向汇聚节点发送连接请求 REQ,汇聚节点接收到请求后,进行信道感知及自适应信道分配处理,将优选信道号 f_x 存入应答包 ACK 中,通过公共信道回发给传感器节点,两节点均跳转进入优选信道 f_x ,在信道 f_x 上进行数据传输过程。

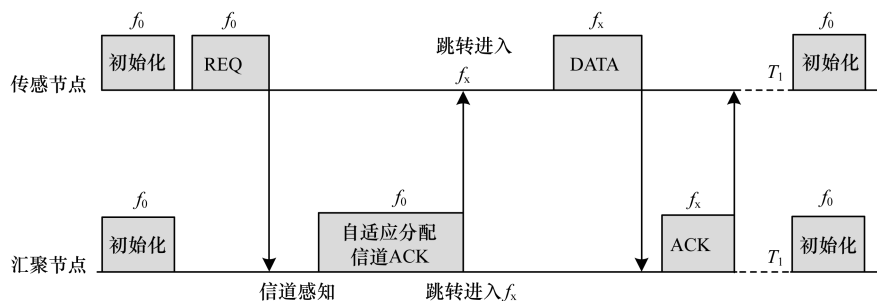


图 6 节点工作时序图

2.3.2 信道感知和自适应变频协议设计

当前大多数无线传感器节点采用同频的工作方式,这需要复杂的同步、路由算法的支持,同频工作方式会造成相邻节点无线信号的相互干扰,而且传统方式并没有发挥无线芯片可以支持多个不同频率信道的优势^[8]。自适应跳频协议分为频谱感知过程和自适应信道分配 2 个过程。系统设定了固定的公共信道,其他工作信道构建为信道池。公共信道是系统中汇聚节点用来进行信道分配的专用通信信道,是选取系统中受干扰最小,能长时间稳定通信的信道作为公共信道,本节点选取公共信道 $f_0 = 150.00 \text{ MHz}$ 。信道池中的信道是用来进行数据传送,本系统在 $145 \text{ MHz} \sim 155 \text{ MHz}$ 的频段间按 VHF 电台信道间隔选取多个通信信道。频谱感知过程是汇聚节点在公共信道接收到来自传感器节点的请求数据包后,逐一扫描信道池中的信道,每次扫描一个信道便连续多次采集当前信道下的 RSSI 值,将 RSSI 值进行叠加取均值处理,按此步骤采集信道池中每一个信道下的 RSSI 均值后,再将均值取绝对值进行大小的判决,绝对值最大的均值表示对应的信道当前空闲且状态最好,将其作为最优的工作信道传送数据。

传感器节点协议设计:首先,节点初始化后在公共信道状态,需要采集数据发送时,通过公共信道向汇聚节点发送 REQ 包后,转入接收状态,如果接收到来自汇聚节点的带信道号的 ACK 包,则更变自身信道为 ACK 包中的信道号,在此信道上发送传感器

数据。其次,发送数据后接收到应答 ACK 包,则进入定时。如果在定时时间 T_1 内节点继续发送了数据,则回到接收 ACK 包状态;如果定时时间 T_1 内无数据发送,则传感器节点将回到初始化状态等待下一次数据采集发送,其程序流程图如图 7 所示。

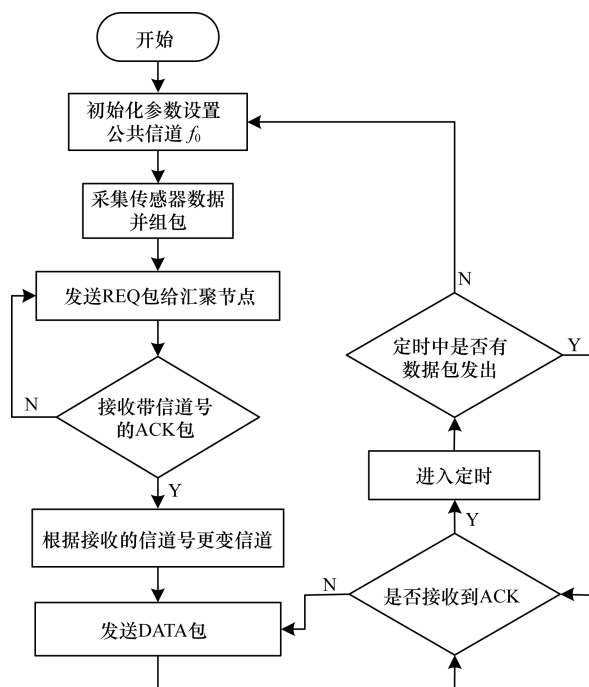


图 7 传感节点流程

汇聚节点协议设计:首先,节点初始化后在公共信道状态,等待传感器节点的请求 REQ 包,接收到 REQ 包后进入频谱感知过程,选出最优信道,向传感器节点发送带有此信道号的 ACK 包,然后将自身信道变更为最优信道等待接收数据。其次,汇聚节点接收到数据并发出 ACK 包后,进入定时,如果定时时间 T_1 内再次接收到数据,则回复 ACK 包后再进入定时;如果定时时间内没有再接收到数据,则回到初始化状态等待请求 REQ 包,其程序流程图如图 8 所示。定时时间根据数据包的大小、发送数据速率和连续发送数据的时间周期来设定,本节点测试时设定数据包长为 30 Byte,数据速率为 9.6 Kb/s,连续发送数据周期为 1 s 时,将定时时间 T_1 设定为 3 s。

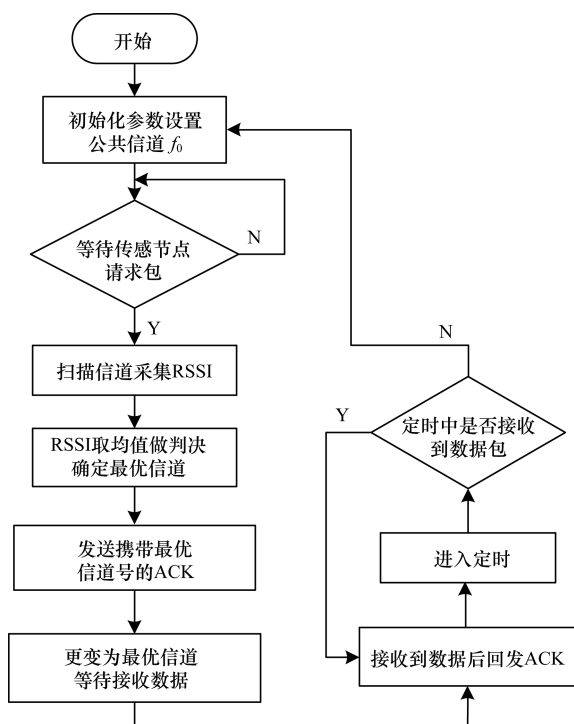


图 8 汇聚节点流程

3 WCSN 节点设备测试

3.1 太阳能供电测试

实验中以本文设计的节点为负载,设置数据采集周期为 15 min,进行供电测试。实验中对太阳能电池板和蓄电池电压进行了监测,监测间隔为 1 h。从傍晚到第 2 天清晨,太阳能电池板输出电压很小或无输出,节点由蓄电池供电,蓄电池电压会逐渐降低到最低的 12.25 V。白天太阳光足够强烈时,太阳能电池板输出的电能一部分为蓄电池供电,一部分给节点供电,中午时刻,太阳能电池板输出电

压达到最大值 14.93 V,同时蓄电池的电能也得到补充。

3.2 传输距离测试

节点的传输距离和功耗密切相关,无线发射功率增大时,节点传输距离才能增加。传输距离实验是在桂林电子科技大学校园及附近进行,该项测试是由 2 个节点拉开距离进行无线数据传输,记录在不同发射功率的条件下能够正确传输数据的最大通信距离,结果如表 1 所示。测试结果表明节点在外部发射功放和接收 LNA 的作用下通信距离随着发射功率的增加而增大,具有应用于大范围稀疏 WSN 应用场景的能力。测试是在有树木和建筑物遮挡,存在较大电磁干扰的环境下进行,如果在野外空旷环境下进行,将获得更远的传输距离。

表 1 不同发射功率条件下节点的最大传输距离

功率/dBm	距离/m
10	335
30	1 156
32	1 478
33	1 647

3.3 信道认知和协商跳频测试

本文系统自适应变频机制尚处于初级阶段,在电磁干扰相对小的室内用信号源、频谱分析仪和逻辑分析仪对其做了简单测试,测试条件是以中心频率 150.00 MHz 为公共信道,设置 148.00 MHz 和 152.00 MHz 通信信道。测试过程将汇聚节点和传感器节点拉开一段距离进行无线通信,节点上电初始化后,都处于公共信道 150.00 MHz,进行数据采集时,此时两节点经信道感知及分配后,实时频谱分析仪捕获到两节点在 148.00 MHz 的信道上进行数据传输,当传感节点再次采集数据前,在靠近汇聚节点处放置信号源,将信号源输出频率设置为 148.00 MHz 经天线向外辐射,作为测试的干扰源,此时发送数据经汇聚节点信道感知及分配后,实时频谱分析仪捕获到两节点变频到 152.00 MHz 的信道上进行数据传输,测试结果表明,节点实现了信道的感知及自适应协商变频的功能。测试过程中,使用逻辑分析仪分别对两节点的输入输出数字信号进行了监测,捕获到的数字信号和理论设定的数据值一致,表明测试中数据的传输是正确的,图 9 和图 10 为逻辑分析仪捕获到的数字信号。

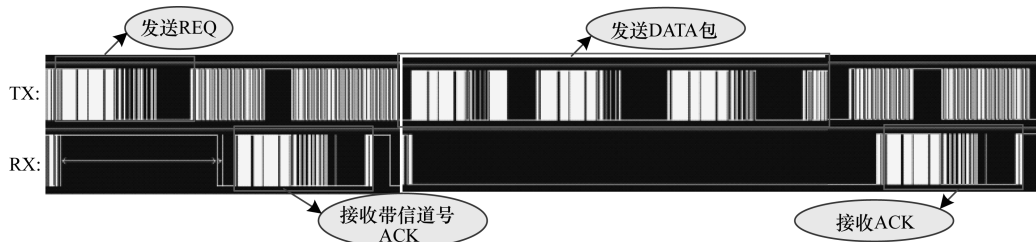


图9 传感器节点数字信号

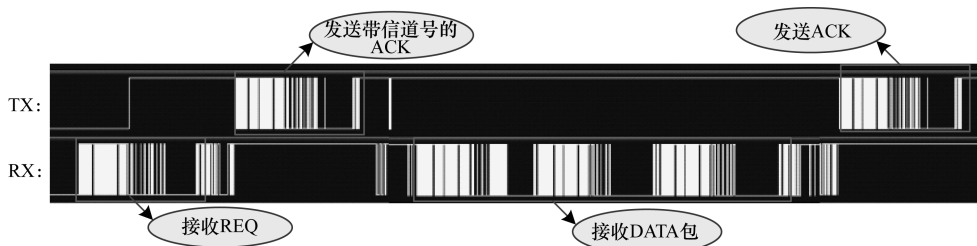


图10 汇聚节点数字信号

4 结束语

本文采用 STM32F103 低功耗、高性能单片机和 ADF7021-N 射频芯片设计与实现了一种超短波无线认知传感器网络节点。节点结构为模块化设计,具有低功耗、高性能、强抗干扰能力、易于维护的优势。基于可用的硬件资源,将认知无线电的思想应用到无线传感器网络通信中,实现了信道感知和自适应变频通信,减少电台之间的同频干扰和数据碰撞。测试结果表明,该节点能为大范围野外稀疏无线传感器网络应用场景提供一个性能较好的硬件设备。下一步将完善信道的认知方法,提高节点信道认知能力,使得节点能够在更短的时间内完成信道自适应分配过程。

参考文献

- [1] 肖克辉,肖德琴,罗锡文. 基于无线传感器网络的精细农业智能节水灌溉系统[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11):170-175.
- [2] Sabri N, Aljunid S A, Ahmad R B, et al. Wireless Sensor Actor Network Based on Fuzzy Inference System for Greenhouse Climate Control [J]. Journal of Applied Sciences, 2011, 17(11):3104-3116.
- [3] Chaudhar D D, Nayse S P, Waghmare L M. Application of Wireless Sensor Networks for Greenhouse Parameter Control in Precision Agriculture [J]. International Journal of Wireless & Mobile Networks, 2011, 1(3):140-149.
- [4] Akan O B, Karli O B, Ergul O. Cognitive Radio Sensor Networks[J]. IEEE Network, 2009, 23(4):34-40.
- [5] Kuo Chung-hsien, Chen Ting-shuo. PN-WSNA: An Approach for Reconfigurable Cognitive Sensor Network Implementations [J]. IEEE Sensors Journal, 2011, 11(2):319-334.
- [6] Jia Jianguang, He Zunwen, Kuang Jingming, et al. Analysis of Key Technologies for Cognitive Radio Based Wireless Sensor Networks [C]//Proceedings of International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2010:1-5.
- [7] 王永华,杨健,程良伦,等. 无线认知传感器网络的研究[J]. 计算机科学, 2011, 38(7):41-45.
- [8] 普健杰,曾凡仔. 基于首要信道的无线认知传感器网络多信道广播协议[J]. 通信学报, 2013, 34(7):81-86.
- [9] 刘智武,吴威. 认知增强型无线传感器节点设计[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(12):1963-1970.
- [10] 王泉夫,陈丽华,钟强,等. 认知无线电在矿井无线传感器网络系统中的应用[J]. 传感器与微系统, 2009, 28(8):113-115.
- [11] 张欣,贾明华. 认知无线电思想在 ZigBee 无线传感器网络中的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2009, 9(7):15-18.
- [12] Mitola J I, Maguire G Q. Cognitive Radio: Making Software Radios more Personal [J]. IEEE Personal Communications, 1999, 6(4):13-18.
- [13] 张莹,滕伟,韩维佳,等. 认知无线电频谱感知技术综述[J]. 无线电通信技术, 2015, 41(3):12-16.
- [14] 司敏山,高艺. 基于太阳能的温室无线传感器网络监测系统[J]. 无线通信技术, 2010, 19(2):57-62.
- [15] Analog Device Inc. High Performance Narrow-Band Transceiver IC [EB/OL]. (2010-11-21). <http://www.analog.com/static/imported-files/datasheets/ADF7021.pdf>.
- [16] 王小强,欧阳骏,纪爱国. 无线传感器网络节点太阳能供电系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012, 12(3):56-58, 61.
- [17] 张永梅,杨冲,马礼,等. 一种低功耗的无线传感器网络节点设计方法[J]. 计算机工程, 2012, 38(3):71-73.

编辑 刘冰 顾逸斐