

嵌入式无线传感器网络节点设计与通信研究

高英明¹, 金仁成¹, 王立鼎^{*1,2}, 王宏斌², 刘瑞瑞²

(1. 大连理工大学 机械工程学院, 辽宁 大连 116024;

2. 大连理工大学 精密与特种加工教育部重点实验室, 辽宁 大连 116024)

摘要: 针对无线传感器网络技术的发展趋势, 采用 32 位 ARM 核微控制器 LPC2138 设计并制作了一款无线传感器网络节点, 节点的通信单元采用了射频芯片 IA4420. 在解决了 SPI 接口时序判别和连接方式等问题后, 给出了 IA4420 的一种基于外部中断的数据收/发方法, 实现了节点间的通信功能. 比较了 IA4420 与符合 IEEE802.15.4 标准的射频芯片 CC2420, IA4420 易于设计并且不受现有通信标准的制约, 通信协议可由用户自行定义, 便于实际检验通信协议的优劣. 进行了基于射频芯片 IA4420 接收信号强度指示实验, 实验结果显示 IA4420 的 RSSI 功能可比较可靠地用于连接质量指示, 但用于定位是不可靠的.

关键词: 无线传感器网络; 传感器网络节点; LPC2138; IA4420

中图分类号: TN92 **文献标志码:** A

0 引言

近年来, 受到普遍关注的无线传感器网络为人们展示了一种全新的信息获取前景, 它的实现使信息的获取更加方便、快捷和廉价. 传感器网络节点是无线传感器网络的基本功能单元, 具有微小、廉价、电池供电、无线通信和自组织等特性, 这使得无线传感器网络与现有的无线网络系统相比有着本质的不同, 它是无线通信技术的又一次革命. 无线传感器网络布置方便, 可以通过飞机或火箭撒播的方式进行大面积反复布置, 这也使得它具有极强的生存能力. 用于战场可对敌方进行监控或为己方提供预警和导航信息, 因此它的概念一经提出, 就受到了军方的高度重视. 除此之外, 无线传感器网络在生产和生活领域也有十分广阔的应用空间^[1,2].

由于技术原因, 采用通用器件构建板级小型无线传感器网络节点仍然是无线传感器网络研究领域采用的主要形式. 伯克利大学采用 8 位 AVR

微控制器和 TR1000 射频芯片开发了 Mica Mote^[3] 节点, 之后采用鲁棒性更好的 CC1000 射频芯片开发了 Mica2 Mote 节点. 欧洲的 EYES 项目采用 16 位微控制器 MSP-430F149 和射频芯片 TR1000 开发了一种节点. 麻省理工大学的 μ AMPS 项目^[4]开发的无线传感器网络节点采用了 32 位 Strong ARM 微控制器 SA-1100 和蓝牙射频芯片 LMX3162. 伯克利承担的 Smart Dust^[5] 项目进行传感器节点微型化与单片化研究, 其成果“Spec”节点大小如一片阿斯匹林, 集成了传感器与发射器, 代表了未来的方向. PicRadio 项目则专注于解决对传感器网络节点的低成本和低功耗要求, 为未来大规模无线传感器网络应用扫清障碍.

目前无线传感器网络领域大都采用 8 位或 16 位微控制器构建传感器网络节点, 这类节点主要应用在小规模传感器网络. 随着网络规模的扩大(网络节点成千上万), 8 位或 16 位微控制器同时对信息路由、目标定位、能量管理、时钟同步等

功能进行处理会很吃力,因此节点需要处理能力更强的微控制器作为处理单元.随着微电子技术的进步,32 位微控制器的成本、功耗不断下降,使其在无线传感器网络的大规模应用成为可能.本文采用 32 位微控制器 LPC2138 和射频芯片 IA4420 开发无线传感器网络节点.

1 IA 4420 功能

1.1 IA4420 简介

无线传感器网络节点通常由 4 个基本功能单元组成,分别是供电单元、处理单元、数据采集单元和无线通信单元.目前作为一种向未来单片化传感器网络节点的过渡,这些单元被分别制作在几块小尺寸 PCB 上.射频通信单元是无线传感器网络节点重要的功能单元,同时也是主要的耗能单元.集成化射频芯片的出现简化了射频通信系统的设计,减小了系统的物理尺寸,降低了系统功耗.其中 INTEGRATION 公司工作于 ISM 频段的射频收发芯片 IA4420 的性能比较突出. IA4420 可称得上最容易设计的射频芯片,它几乎集成了所有的射频收发电路和数字调理电路,外围器件极少,只需要一个 10 MHz 的晶体并且对其精度要求不高.采用 FSK 调制方式,抗干扰能力强,接收信号强度指示和定时唤醒功能一定程度上满足了无线传感网络对节点定位^[6]和能量管理的要求.本文采用 32 位 ARM7TDMI-S 核的微控制器 LPC2138^[7]和射频芯片 IA4420 制作的节点,如图 1 所示.

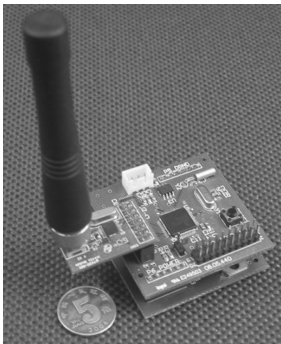


图 1 使用 IA4420 的传感器节点
Fig.1 Sensor node of WSN using IA4420

1.2 IA4420 与 CC2420 的比较

目前,无线传感器网络并无标准制定,但面向无线域网的 IEEE802. 15. 4 标准接近无线传感器网络的要求,并有可能成为未来无线传感器网络的标准.由于无线传感器网络应用前景广阔,潜在的市场巨大,采用 IEEE802. 15. 4 标准的 ZigBee 联盟应运而生,并迅速发展壮大,其成员几乎包括了世界所有主要的芯片制造厂商. ZigBee 联盟的一些厂商已经相继推出了符合 IEEE 802. 15. 4 标准的射频芯片,并初步为用户提供网络层和应用层的解决方案. ZigBee 联盟不时发布新的规范,使得 ZigBee 技术日渐完善.

CC2420 是由 Chipcon 公司推出的业界首款符合 IEEE802. 15. 4 标准的射频芯片.用户的软件开发工作可建立在由 Microchip 提供的开发环境和协议之上,这使得采用 CC2420 可以相对快速地实现具有一定网络规模和特定拓扑结构的无线网络系统.然而 ZigBee 的系统集成特性需要将应用软件的开发和网络传输、射频技术和底层软硬件控制技术结合在一起,使得应用 ZigBee 技术真正解决几个领域的实际问题不是一件容易的事情. ZigBee 也不是适用于所有情况的万能良药.

IA4420 没有专用的协议封装机制,除了进行同步收发时发送方必须先发送 2~3 个 0xAA 作为前导,发送 0x2D、0xD4 用于同步模式确认外,其收发数据的内容和格式完全由用户自己定义(如图 2).这使得 IA4420 能够用于网络协议的研究,实际检验无线传感器网络的通信协议性能的优劣,正是出于这种考虑,本文选择了 IA4420. 但 IA4420 也有缺陷,如没有单独的校验机制和侦听功能,只有通过额外的编程工作弥补.

1	2	3	4	5	6...n
0xAA	0xAA	0xAA	0x2D	0xD4	用户定义

图 2 IA4420 通信帧的一般格式
Fig.2 General frame structure of IA4420

2 IA4420 应用

掌握类似于 IA4420 这种可编程射频芯片要

注意以下几个问题：要了解一些射频电路的基本构成及工作原理,以便为读懂数据手册做准备.①掌握 SPI 接口的使用,主要是时钟相位与时钟极性的判别,以便正确设置主机的 SPI 控制寄存器.②了解控制指令的使用,设置芯片使其进入期望的工作状态.③理解 IA4420 数据收发的过程,由此进行编程工作.

2.1 IA4420 的 SPI 接口

若要主设备(LPC2138)与从设备(IA4420)通过 SPI 接口通信,首先要设置主设备的 SPI 接口控制寄存器使主/从设备的时钟极性、数据位传送顺序一致. IA4420 的 SPI 接口时钟与 LPC2138 的第一种 SPI 接口时钟相符. IA4420 的片选有效时,在每个时钟脉冲的上升沿,指令会以高位在前的方式逐位写入 IA4420(如图 3). IA4420 共有 15 条控制指令,除了读状态指令的最高位为 0 外其他指令的最高位皆为 1,并且除最高位外读状态指令的其他位的内容可任意指定. 其余 14 条控制指令的高 8 位为指令标识符,低 8 位为指令的具体内容,用于配置 IA4420 或向其 TX FIFO 写入发射内容. LPC2138 的 SPI 接口为 8 位,为了向 IA4420 写入 16 位控制指令可在其片选信号保持为低电平的同时先写入指令的高 8 位,再写入指令的低 8 位.

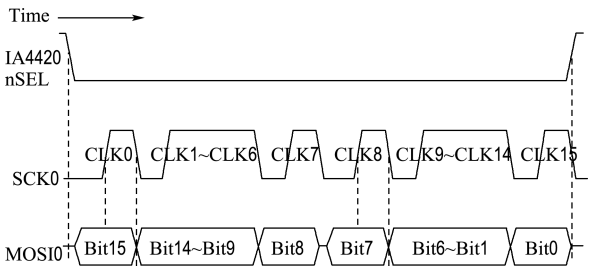


图 3 LPC2138 向 IA4420 写指令的 SPI 接口时序

Fig. 3 Timing of LPC2138 writing command to IA4420

根据 IA4420 的特点,本文给出快速判别是否已经正确设置主机 SPI 时序的方法. 若对于识别 IA4420 的 SPI 时序没有把握,则可从 LPC2138 的 SPI 时序中任选一种,向 IA4420 写

入内容为 8201h 的“能量管理指令”,它的作用是关闭 IA4420 的时钟输出. 如果主机的 SPI 时钟设置正确,指令执行后 IA4420 的 CLK 引脚输出电压会由上电时的 0.6 V 变为 0 V,若不为 0 V 再从余下的 3 种时钟任选一种进行试验,直到满足结果为止. 这样做也可检验 IA4420 是否损坏.

2.2 引脚连接

引脚连接对应关系如图 4 所示. 除 LPC2138 和 IA4420 各自的 3 个 SPI 引脚相互对应外,其他引脚则要根据是否方便 PCB 布线的原则选用. 本文采用 LPC2138 的 P0. 16 作为接收 IA4420 发出的外部中断请求输入引脚;P0. 7、P0. 31、P0. 30 皆被配置为通用 I/O 的输出口,分别用于片选 IA4420、选择 IA4420 的 RX FIFO 和复位 IA4420.

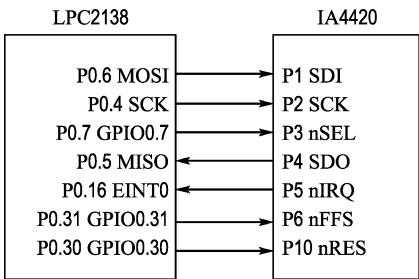


图 4 LPC2138 与 IA4420 的引脚连接

Fig. 4 Pin connection between LPC2138 and IA4420

2.3 数据的收/发

本文利用 IA4420 的第 5 引脚(nIRQ)向微控制器产生的中断请求,结合“读状态指令”实现了射频芯片 IA4420 的无线通信功能. 通过“设置指令”使能接收缓冲寄存器(RX FIFO)或发射数据寄存器(TX DATA)后使用“能量管理指令”打开接收器或发射器,当接收到的数据进入 RX FIFO 或 TX DATA 准备好接收下一字节数据时 IA4420 的 nIRQ 引脚会向微控制器发出中断请求. 由于 IA4420 有多种事件能产生 nIRQ 外部中断请求,在进行写 TX DATA 之前要先对产生中断的事件进行判断. 如图 5 所示,进入中断程序后,首先读取 IA4420 的状态寄存器确定产生中断的事件,如果是 TX DATA 准备好接收数据,

则通过“写发射寄存器指令”将待发数据写入 TX DATA. 数据接收流程与发射流程相似. 如果使用“读 FIFO 指令”接收数据, 无论 IA4420 作为发射器还是接收器, nFFS 引脚应始终保持高电平, 作为接收器若不使用“读 FIFO 指令”取数据则只需在取数据时置低, 取完数据后还应该置高.

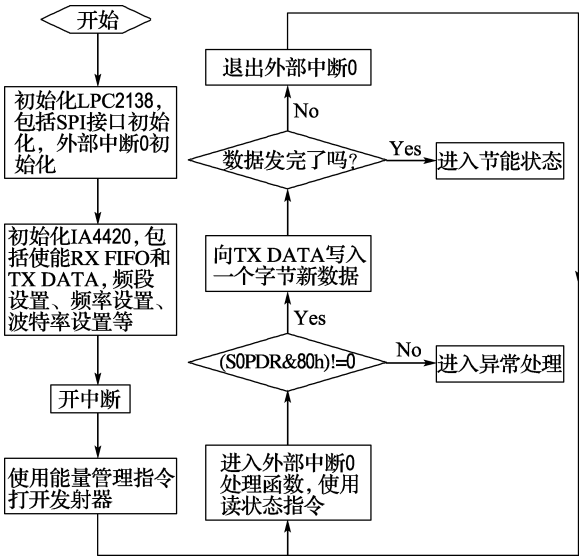


图 5 IA4420 数据发送流程图

Fig. 5 Transmitting flow chart of IA4420

3 RSSI 实验

RSSI(received signal strength indicator)指示收到的射频信号强弱, 能对连接质量进行评估, 甚至用于对节点定位, 理想环境下其值会随着通信距离的增加而减小. RSSI 定位相对于其他方法的主要缺点是误差比较大, 这是由于 RSSI 值对干扰较为敏感, 信道的快速衰落和无线信号传输环境的迅速变化都会对其产生很大影响. 另外便宜的射频芯片通常没有经过校准, 在不同的接收端即使相同的信号强度也可能导致不同的 RSSI 值. 再有就是由于射频信号遇到障碍物后引起传播路径的改变, 导致“多径衰落”使得估计距离比实际要长, 这是一个结构性问题, 不可能通过重复测量来消除.

本文利用 IA4420 的模拟 RSSI 输出和 LPC2138 的 A/D 转换器实现了这一功能, 在室

内环境进行了 RSSI 的输出电压随通信距离变化的实验. 实验重复进行了 4 次, 通信距离分别为 240、480、600 和 720 cm. 结果如图 6 所示, 曲线 B、C、D 和 E 代表了这 4 次实验. 从中可以看出: ①通信距离为 240 cm 时结果比较稳定. ②除曲线 C 外 RSSI 确有随通信距离的增加而衰减的趋势, 并且曲线 D 与理想环境下相似, 因此 IA4420 的 RSSI 能较可靠地评估连接质量. ③RSSI 值(电压)与距离的关系不易通过简单的曲线拟合得到数学表达形式, 随着通信距离的增大 RSSI 有时先减后增, 有时缓慢变化, 有时快速变化. 因此应用 IA4420 的 RSSI 功能进行定位是不可靠的.

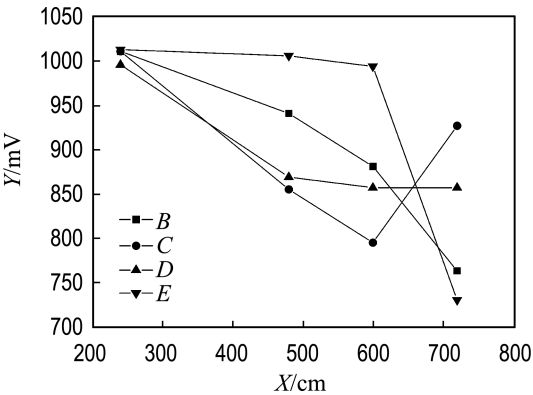


图 6 IA4420 的 RSSI 实验结果

Fig. 6 RSSI experiment results of IA4420

4 结 语

无线传感器网络应用形式多样, 不同的应用有各自的特点, 网络的设计要根据不同的应用特点进行, 这样才会使网络的性能达到最优. 本文为了研究某种面向特殊应用的无线传感器网络的一些基本问题, 采用 ARM 微控制器与射频芯片 IA4420 制作了一种新型传感器节点. 目前本文已经实现了基于 IA4420 的通信功能和 RSSI 功能, 即将针对该网络的特征进行 MAC 协议的研究, 该协议重点考虑节能问题并争取在射频芯片 IA4420 上将其实现.

参考文献:

[1] MAINWARING A, POLASTRE J, SZWECZYK R,

et al. Wireless sensor networks for habitat monitoring [C] // **Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications**. Atlanta:ACM Press, 2002:88-97

[2] BAUER P, SICHITIU M, ISTEPANIAN R, *et al.* The mobile patient: wireless distributed sensor networks for patient monitoring and care [C] // **Proceedings of 2000 IEEE EMBUS International Conference on Information Technology Applications in Biomedicine**. Arlington:IEEE Press, 2000:17-21

[3] HILL J L, CULLER D E. Mica: a wireless platform for deeply embedded networks [J]. **IEEE Micro**, 2002, **22**(6):12-24

[4] CHANDRAKASAN A, MIN R, BHARDWAJ M, *et al.* Power aware wireless microsensor systems [C] // **Proceedings of the 32nd European Solid-state Device Research Conference**. Firenze:IEEE Press, 2002: 47-54

[5] WARNEKE B, LAST M, LIEBOWITZ B, *et al.* Smart dust: communicating with a cubic-millimeter computer [J]. **IEEE Computer**, 2001, **34**(1):44-51

[6] 陈维克,李文锋,首 珩,等. 基于RSSI的无线传感器网络加权质心定位算法[J]. 武汉理工大学学报, 2006, **30**(2):265-268

[7] 周立功,张 华. 深入浅出 ARM7:上册[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005

**Study of embedded wireless sensor node design
and communicating realization**

GAO Ying-ming¹, JIN Ren-cheng¹, WANG Li-ding^{*1,2}, WANG Hong-bin², LIU Rui-rui²

(1. School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
2. Key Laboratory for Precision and Non-traditional Machining Technology of Ministry of Education,
Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: A novel wireless sensor node is developed using 32 bits microcontroller LPC2138 as processing unit, considering technology direction of wireless sensor networks. Radio frequency chip IA4420 and CC2420 compatible with IEEE802. 15. 4 are introduced. Compared with CC2420, IA4420 is not restricted to any communication standard which gives users more space to explore completely new protocol; application circuit design of IA4420 is simpler than CC2420, even any other radio chip, so it is chosen as communication unit of the sensor node. After solving SPI (serial peripheric interface) timing issue and connection between LPC2138 and IA4420, the method of transmitting and receiving data through IA4420 is presented in detail. Experiments for evaluating RSSI (received signal strength indicator) provided by IA4420 are performed. Results indicate that RSSI output of IA4420 can be used as good link quality estimator, but is not good for node location.

Key words: wireless sensor networks; sensor node; LPC2138; IA4420