

文章编号:1671 - 251X(2009)01 - 0009 - 04

基于 WSN 的煤矿井下人员定位系统 防碰撞算法的研究

李凡甲, 徐 钊, 颜丙磊, 田传耕

(中国矿业大学信电学院, 江苏 徐州 221008)

摘要:文章根据煤矿井下人员定位跟踪系统的实际要求,对无线传感器网络非同步状态的多传感器节点在低功耗要求下的碰撞问题进行了实验研究,通过单片机编程分别对先听后发法、时间片调度法以及连续漏读筛选法进行了设计及实现。实验结果表明,连续漏读筛选法比较简单实用,能够在保证功耗的要求下很好地解决碰撞问题。

关键词:煤矿井下; 人员定位; 无线传感器网络; 防碰撞算法; 连续漏读筛选法; 低功耗

中图分类号:TD76/655.3 **文献标识码:**A

Research of Anti-collision Algorithm for Personnel Position System of Coal Mine Underground Based on WSN

LI Fan-jia, XU Zhao, YAN Bing-lei, TIAN Chuan-geng

(School of Information and Electrical Engineering of CUMT., Xuzhou 221008, China)

Abstract: According to actual requirements of personnel position system of coal mine underground, the paper studied collision problem of multi-sensor nodes of asynchronous status of wireless sensor networks under low-power. It gave design and implementation of first listening later sending algorithm, time slice scheduling algorithm and consecutive misreading filter algorithm by single-chip microcomputer programming. The experiment result showed that the consecutive misreading filter algorithm was simple and practical, and could solve the collision problem efficiently under low-power.

收稿日期:2008 - 07 - 26

作者简介:李凡甲(1984 -),男,中国矿业大学信电学院在读硕士生,研究方向为通信与信息系统。E-mail: lifanjia@163.com

5 结语

煤矿地理空间数据管理是煤矿 GIS 应用研究的基础,而煤矿地理空间数据的动态性决定了不能采用常规方法对其进行建模。本文提出的煤矿地理空间数据一体化管理的数据模型及其数据结构是根据我国煤矿地理信息系统的具体情况而设计的,对实际开发工作具有一定的指导意义。

参考文献:

[1] 毛善君. 煤矿地理信息系统数据模型研究[J]. 测绘学报, 1998, 27, (4): 67 ~ 72.

- [2] 吴立新,殷作如,邓智毅. 论 21 世纪的矿山——数字矿山[J]. 煤炭学报, 2000, 25 (4): 337 ~ 342.
- [3] 张海荣,毛善君,许友志. 煤矿地测综合管理系统研究[J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28 (5): 429 ~ 432.
- [4] 毛善君,刘桥喜,马蔼乃,等.“数字煤矿”框架体系及其应用研究[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19 (4): 56 ~ 59.
- [5] 毛善君. 灰色地理信息系统——动态修正地质空间数据的理论和技术[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2002, 38 (4): 556 ~ 562.
- [6] 杨可明,吴立新,陈书琳,等. 煤矿矿图的 GIS 管理、更新与共享[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19 (2): 42 ~ 43, 51.

Key words: coal mine, personnel position, wireless sensor networks, anti-collision algorithm, consecutive misreading filter algorithm, low-power

0 引言

无线传感器网络 (WSN, wireless sensor networks)^[1~3] 通常由大量的节点组成,各传感器节点需在短时间内将数据传输至汇聚节点。在多种应用场景中,无线传感器网络往往只有一个汇聚节点,因此,数据传输呈现出一种“多对一”的汇聚传输模式。在汇聚传输过程中,无线数据碰撞问题尤为明显,同时在实际应用中,还有诸如低功耗等方面的要求。以笔者参与的“煤矿井下人员定位跟踪系统”项目为例,80 个传感器节点的数据以 9 m/s 的速度同时通过汇聚节点的圆形无线传输区域的直径,要求尽量减少因碰撞而造成的漏读,使汇聚节点的漏读率不大于 10^{-4} 。同时,传感器节点由 500 mA·h 的钮扣电池供电,要求能工作半年以上。

为解决碰撞问题,人们提出了很多防碰撞算法,如 ALOHA、时隙 ALOHA、动态时隙 ALOHA 等。但这些防碰撞算法都是采用随机发射数据的原理,不能够保证系统的可靠性,而且在多标签情况下,碰撞的几率也会增加。二进制搜索、动态二进制搜索等相关算法虽然能解决碰撞问题,却大大提高了功耗,同样不能满足系统要求。

本文基于煤矿井下人员定位跟踪系统,对 3 种无线传感器网络非同步状态的多传感器节点在低功耗要求下的防碰撞算法——先听后发法、时间片调度法和连续漏读筛选法进行了研究。实验结果表明,连续漏读筛选法比较简单实用。

1 实验测试平台

本实验基于煤矿井下人员定位跟踪系统。系统的无线收发部分包括 112 个无线模块,其硬件结构主要包括兼容 IEEE 802.15.4 规范的高性能 ZigBee 无线射频芯片 CC2420 和采用纳瓦技术的低功耗单片机 PIC18F4620。为降低功耗,单片机采用内部 8 MHz 的 INTOSC 直接驱动器件时钟。CC2420 采用圆极化贴片陶瓷天线,在输出功率为 -10 dB·m 的情况下,无障碍环境中的通信距离可达 30 m 以上。根据系统要求,在 80 个传感器节点同时进入汇聚节点的通信范围后,汇聚节点能检测到所有传感器节点所需的时长 t 最多为

$$t/s = \frac{30 \times 2}{9} = 6.67 \quad (1)$$

系统的 32 个无线模块烧写读卡器程序,为网络的汇聚节点;80 个无线模块烧写标签程序,为网络的传感器节点。读卡器接收各标签发射的 16 位地址,并通过串口连接主机,显示收到的各标签的地址、标签的个数、漏读率。地址范围为 1~80,同时将 80 个标签标记为 1~80 号,卡号具有系统唯一性。由于系统的 32 个读卡器采用 CAN 总线连接,不涉及碰撞问题,所以本实验仅采用 1 个读卡器。

2 3 种算法设计及测试分析

2.1 先听后发法的实验设计及实现

由于 CC2420 兼容 IEEE 802.15.4,所以可以采用载波侦听多路访问/冲突避免 (CSMA/CA, Carrier Sense Multi-Access/Collision Avoidance) 技术解决碰撞问题^[4]。首先需要监听信道一定的时间,如果发现信道是空的,则进行数据发射;如果信道已经被占用,则该节点推迟数据发射。具体实现流程如图 1 所示。图 1 中,SRXON 和 STXONCCA 是单片机通过 SPI 总线发给 CC2420 的命令,STXONCCA 的作用是检测信道为空则发射数据,即实现 CSMA/CA。

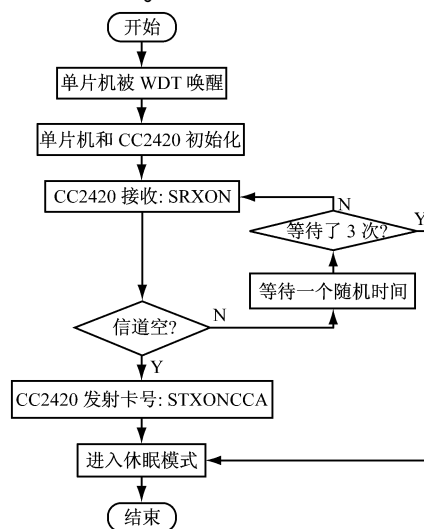


图 1 先听后发法的实现流程图

为降低功耗,设置 CC2420 发射完数据后单片机进入休眠模式,然后由看门狗定时器 WDT 唤醒,进行下一次数据发射。PIC18F4620 可以设置的 WDT 溢出周期为 1 s、2 s、4 s、8 s 等,根据系统要求,将 WDT 溢出周期设置为 4 s。由于定时器寄存器 TMR1L 的值在 0~255 范围内不断变化,所以计算随机时间长度所需的随机数即为当前 TMR1L 的

值。随机数循环减 1 直到为零的时间即为随机时间。实验结果如表 1 所示。

表 1 读卡器每 6 s 收到的标签数量表

6 s 单位时间	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标签数量	78	80	77	79	78	79	77	79	77	78

实验结果表明,CSMA/CA 仅能尽量躲避碰撞,而并不能完全避免碰撞,原因是当 2 个或 2 个以上传感器节点检测出信道为空时,若同时发射数据就会发生碰撞。对于有较多传感器节点的系统,这种现象尤为明显。并且,CSMA/CA 的这种退避重传机制也降低了数据传输的实时性^[5]。

2.2 时间片调度法的实验设计及实现

先听后发法失败的根本原因是传感器节点和汇聚节点都无从得知是否产生了碰撞,而采用应答机制可以解决这个问题。具体方法:标签发射地址后,CC2420 由发射模式转为接收模式,若收到读卡器发射过来的应答信息,则表示发射成功,单片机立即转为休眠模式;若在规定时间内没有收到应答信息,则再次启动发射,直到发射成功或超过规定的最大发射次数 3 次。该算法可有效解决漏读率的问题。

具体到煤矿井下人员定位跟踪系统,以 8 h 工作时间计算,则标签每天有 16 h 不在读卡器工作范围内,那么标签每次需要发射 3 次。标签每次发射消耗电流为 20 mA,时间为 2.5 ms;接收消耗电流为 28.7 mA,时间为 2.5 ms;休眠模式下消耗电流为 50 μA,如果仅按标签不工作时的功耗计算,则 500 mA·h 电池的使用时间 t_1 约为

$$t_1 / \text{d} = \frac{500}{24 \times \left[\frac{3 \times 2.5 \times (20 + 28.7)}{4 \times 1\,000} + \frac{50}{1\,000} \right]} = 147 \tag{2}$$

由式(2)可知,该算法并不能满足系统要求。另外,标签和读卡器 1 对 1 的发射信息与应答信息也加大了碰撞的概率。针对这种情况,提出了由读卡器为每个标签划分时间片的算法。算法设计如下:

将 4 s 分为 256 个时间区间,对应最多 256 个标签,每区间内分 256 个校正级。读卡器开启 1 个

步长为 64 μs 的 16 位定时器,则定时器周期 T 为 4.2 s。读卡器收到 1 个标签信息后,将定时器当前值加在标签地址之后发送给标签。标签根据收到的定时器值调整发射时间,使自己仅在规定的时间内隔内发送信息。标签的调整方法:设标签号低字节为 N ,标签设置 1 个步长为 64 μs 的 16 位定时器,标签收到的读卡器定时器当前值高字节为 MH ,低字节为 ML 。调整目标就是使 $N = MH$,并将发射时刻调整到时区中间($ML = 128$)。时区调整值 $TH = |N - MH|$,时区内校正值 $TL = |128 - ML|$ 。调整算法:

(1) 若 $N < MH$ 、 $ML > 128$,表明标签目前发射时刻超过规定时刻,那么将 TL 预置到定时器低字节, TH 预置到定时器高字节,启动定时器,待其中断后先发射,然后进入休眠;若 $N < MH$ 、 $ML < 128$,将 $128 + ML$ 预置到定时器低字节, $TH - 1$ 预置到定时器高字节,启动定时器,待其中断后先发射,然后进入休眠;

(2) 若 $N \geq MH$ 、 $ML < 128$,表明标签目前发射时刻超前(或等于)规定时刻,那么将 TL 预置到定时器低字节, $256 - TH$ 预置到定时器高字节,启动定时器,中断后立即进入休眠;若 $N \geq MH$ 、 $ML > 128$,将 $256 - TL$ 预置到定时器低字节, $255 - TH$ 预置到定时器高字节,启动定时器,待其中断后立即进入休眠。

在全部标签进入读卡器范围的前几个 4.2 s 内会发生碰撞,而在标签经过调整进入自己应当在的时隙后,理论上碰撞可以完全避免,从而满足了系统漏读率的要求。在不需要工作的 16 h 中,标签不需要因为没有收到读卡器信息而重发,从而满足了功耗的要求。这是该算法的意义所在。但是该算法要求单片机的 WDT 和定时器定时准确,且不能存在很大的个体差异性。PIC18F4620 的 WDT 周期测试结果如表 2 所示,测试方法:将 10 Ω 电阻与标签串联,通过示波器计算电阻上电压变化的周期,即为 WDT 周期。定时器(以定时器 1 为例)测试结果如表 3 所示,测试方法与 WDT 周期测试方法类似。

表 2 WDT 周期测试结果表

理论周期	7 号	43 号	55 号	76 号	80 号
16 ms	15.12 ~ 15.14	15.12 ~ 15.14	15.04 ~ 15.06	15.02 ~ 15.04	15.50 ~ 15.52
1 000 ms	956 ~ 958	958 ~ 960	952 ~ 954	950 ~ 952	982 ~ 984
2 s	1.912 ~ 1.914	1.922 ~ 1.924	1.902 ~ 1.904	1.898 ~ 1.900	1.960 ~ 1.962
4 s	3.82 ~ 3.83	3.83 ~ 3.84	3.805 ~ 3.815	3.795 ~ 3.805	3.925 ~ 3.935

表 3 定时器 1 测试结果表

理论值	7 号	43 号	55 号	76 号	201 号
65.536 ms	66.10 ~ 66.20	66.29 ~ 66.30	66.10 ~ 66.20	66.20 ~ 66.30	66.30 ~ 66.40

由表 2 和表 3 可知,划时间片的算法并不可行。表 4 所示实验结果也验证了这一点。

表 4 读卡器每 6 s 收到的标签数量表

6 s 单位时间	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标签数量	76	79	73	78	77	75	78	79	78	76

2.3 连续漏读筛选法的实验设计及实现

由表 2 知,PIC18F4620 的 WDT 周期具有较大的个体差异性,而且对于单个单片机,其 WDT 周期并不固定,这使得标签相邻 2 次发射产生的碰撞不具相关性。因此,本文提出连续漏读筛选法。该算法实现如下:将 WDT 周期设为 2 s,单片机被唤醒后立即启动发射,发射完毕即转入休眠。那么在 6 s 内每个标签可发射 3 次,读卡器以 6 s 为周期对收到的标签号进行筛选,去掉重复的卡号。设发射 1 次的漏读率为 P_L ,那么发射 3 次的漏读率 P_L 为

$$P_L = P_L^3 \quad (3)$$

这样就大大减小了漏读率。发射周期为 2 s,发射 1 次的实验结果如表 5 所示。

表 5 发射周期为 2 s 时读卡器每 6 s 收到的标签数量表

6 s 单位时间	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标签数量	78	77	77	79	77	78	77	77	76	78

由表 5 可知,发射 1 次的漏读率为 3.75% ~ 1.25%,则发射 3 次的漏读率理论上为 0.5×10^{-4} ~ 0.02×10^{-4} ,可以达到系统要求。

经过连续 12 h 的测试,应收到标签 576 000 个,实收到 575 999 个,漏读率为 1.7×10^{-6} ,达到了系统要求。500 mA · h 电池的使用时间 t_2 约为

$$t_2 / d = \frac{500}{24 \times \left(\frac{2.5 \times 20}{2 \times 1000} + \frac{50}{1000} \right)} = 277 \quad (4)$$

由式(4)可知,功耗也达到了要求。

3 结语

本文根据煤矿井下人员定位跟踪系统的实际需求,对 3 种解决无线传感器网络非同步状态下的多传感器节点在低功耗要求下的防碰撞算法进行了实验研究。其中,先听后发法使用了 CSMA/CA 技术,时间片调度法使用了划时间片方法。实验结果表明,在传感器节点只发射 1 次的情况下,以上 2 种算法都不能保证足够小的漏读率。本文提出的连续漏读筛选法将单片机 WDT 周期进行划分,使标签在 1 个完整的周期内连续发送 3 次,从而在保证功耗的情况下使漏读率达到了系统要求。

本文得出的数据结果均是在实验室环境下测出的,由于煤矿井下地质条件与实验室不同,因此,该课题还需到现场环境中作进一步的测试。

参考文献:

- [1] 任丰泉,黄海宁,林 闯.无线传感器网络[J].软件学报,2003,14(7):1 282 ~ 1 291.
- [2] 孙利民,李建中,陈 渝,等.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [3] 于海斌,曾 鹏,王忠锋,等.分布式无线传感器网络通信协议研究[J].通信学报,2004,25(10):102 ~ 110.
- [4] IEEE Standards Association. IEEE 802. 15. 4 [EB/OL]. [2008 - 02 - 26]. <http://standards.ieee.org/getieee802/802.15.html>.
- [5] RAY S, CARRUTHERS J B, STAROBINSKI D. RTS/CTS-Induced Congestion in Ad Hoc Wireless LANs[C]//Proc. IEEE Real Time and Embedded Technology and Applications Symposium, 2005, San Francisco:415 ~ 425.

西门子自动化系统解决方案合作伙伴项目全面启动

西门子自动化系统解决方案合作伙伴峰会于 2008 年 11 月 10 日在北京隆重举行,首批 16 家西门子 SPP(Solution Partner Program,解决方案合作伙伴项目)成员正式授牌。

自动化系统解决方案合作伙伴项目旨在加强西门子与全球优秀系统集成商在战略层面上的合作。西门子 SPP 合作伙伴优选了全球范围内具有领先技术和流程工艺的系统集成商,提供与时俱进的自动化和驱动技术,提高设备的生

产效率和优化系统配置,将西门子长期积累的集成经验、流程和操作知识结合到系统集成的日常工作当中,使系统集成商为用户提供更新的体验、更高的价值和更好的服务。同时,西门子为所有的 SPP 成员提供培训、交流和认证合作支持,从而增强西门子整个价值链的竞争力,彻底从标准产品供应商转变成完整解决方案提供商。

(赵海英)