

文章编号:1671-1637(2012)04-0120-07

实时监测无线传感器网络改进方法

雷涛,王松,惠飞,赵祥模

(长安大学 信息工程学院,陕西 西安 710064)

摘要:结合危险品运输监测应用,搭建了基于无线传感器网络的实时监测系统,并对其MAC层协议和物理层无线数据发送时序进行了改进和优化。改进了MAC层中的原始BEB算法,引入了支持优先级的GDCF算法。对MAC层中的RTS/CTS方式进行了有效性分析,并出于节能考虑,引入了睡眠技术。在物理层数据无线发送过程中,为缩短发送时间,减少碰撞可能性,对其时序进行了优化。在工程车辆上安装基于IRIS无线传感器的节点平台进行实际测试。测试结果表明:改进后的退避算法节点丢包率随网络节点数目增加变化不明显;去除RTS/CTS机制后,在采样间隔时间为50 ms时,网络丢包率由20%左右下降到了6%以内;一个工作周期内节省能量达到95%;无线数据发送时序优化达到了设计要求,满足了实际应用中实时监测无线传感网络的性能要求。

关键词:危险品运输;无线传感器网络;MAC协议;GDCF;RTS/CTS;物理层;发送时序

中图分类号:U491.16 **文献标志码:**A

Improvement method of WSNs for real-time monitoring

LEI Tao, WANG Song, HUI Fei, ZHAO Xiang-mo

(School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: A WSNs-based real-time monitoring system was built in view of the application in hazardous materials transportation monitoring. MAC layer protocol and physical layer transmission time sequence of the monitoring system were improved and optimized. Priority supported GDCF algorithm was introduced after improving the original BEB algorithm of MAC layer. Effectiveness analysis was made for the RTS/CTS mechanism of MAC layer. Sleep mode was introduced for energy saving. Time sequence was optimized to reduce data transmission time and collision probability in physical layer data transmission. Practical test was made by IRIS node platform installing on an engineering automobile. Test result shows that the drop rate using improved backoff algorithm has no significant change with the increase of network node number. The drop rate without RTS/CTS mechanism reduces from the original about 20% to less than 6% when the giving sampling interval time is 50 ms, and 95% energy is saved in every working period. Design goal is achieved in improved time sequence of wireless data transmission, and the performance requirements in real-time monitoring system of WSNs are satisfied in practical application. 3 tabs, 4 figs, 16 refs.

Key words: hazardous materials transportation; wireless sensor network; MAC protocol; GDCF; RTS/CTS; physical layer; transmission time sequence

Author resumes: LEI Tao(1981-), male, engineer, doctoral student, +86-29-82334763, leitao@

收稿日期:2012-03-23

基金项目:国家863计划项目(2009AA11Z203);中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2010ZY002)

作者简介:雷涛(1981-),男,陕西西安人,长安大学工程师,工学博士研究生,从事交通信息控制研究。

导师简介:赵祥模(1966-),男,重庆大足人,长安大学教授,工学博士。

chd.edu.cn; ZHAO Xiang-mo(1966-), male, professor, PhD, +86-29-82334356, xmzhao@chd.edu.cn.

0 引言

危险品运输过程中极易发生泄漏、爆炸、燃烧等恶性事故,造成人员伤亡、财产损失以及环境破坏。大量危险品运输事故的实际过程及结果表明,驾驶人不能对车辆以及危险品的状态做出正确判断是事故发生的主要原因。同时,在事故发生后,驾驶人可能已经陷入昏迷或弃车逃逸,未能在第一时间报警,延误了应急处理与疏散的时间。另外,应急救援部门不能及时获知车辆位置以及危险品的种类与状态,也会对事故处理造成延误,从而对环境与人民生命财产安全造成更大威胁^[1-2]。

危险品的运输安全问题一直以来都受到世界各国的高度重视,中外学者提出了一些车载监控预警系统,包括欧盟的 MITRA 项目^[3]、Zajicek 等在奥地利开展的 SHAFT 项目^[4]、夏涛等结合 GPS、GIS、GPRS 提出的危险品监控系统^[5]与姜海亮提出的采用模糊推理方法判断车辆安全性的危险品运输车辆监控系统^[6]。但是到目前为止,这些系统仅针对于局部应用,缺乏综合处理各种信息的能力,不能提供准确及时的监控预警信息,并且部署困难,易造成安全隐患。

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)是随着传感器技术、嵌入式计算技术、现代网络技术以及无线通信技术的发展而出现的新的信息获取平台。部署在监测区域内的传感器节点以自组织的方式组成无线网络,实时监测并采集监测区域内的环境与监测对象的信息。监测信息通过多跳的方式进行传输,可能会有多个节点对信息进行处理,最终到达根节点(Root),再通过其他网络发送至用户终端。

目前,无线传感器网络应用广泛。在军事领域,WSNs 的研究起源于 Warneke 等为美国国防部开发的“智能尘埃”系统,大量抛撒在战场的微型传感器在节点间以无线方式自组成网络,秘密监视战场情况^[7]。在环境监测领域,Mainwaring 等在大鸭岛上部署无线传感器网络系统,通过多种类型的传感器读取岛上的气候数据,并传送到基站的计算机与服务器进行分析与处理^[8]。在医疗领域,Shnayder 等在“智能医疗之家”医疗项目中,利用公寓中部署的无线传感器网络,24 h 采集居住人员的血压、脉

搏等各项生理指标^[9],采集到的数据已经被用于相关医学研究;Reza 等将传感器布置在病人身上,同时每个病人也被视为网络中的一个节点,将采集到的数据传送至医院内的中央节点^[10];Carullo 等将无线传感器网络用于冷链运输全过程监控,有效降低了成本与能量消耗^[11];Rodriguez-Sanchez 等开发了一套利用无线传感器网络监控并保护文化财产的解决方案^[12]。

将无线传感器网络应用在危险品运输车辆上,驾驶人与管理人员可以实时获知车辆与危险品的状态,避免事故发生。但是,与无线传感器网络的其他应用相比,危险品运输实时监测具有明显特点:首先,传感器节点只能布置在车辆结构以及危险品状态关键位置附近,因此,各传感器节点的相对位置确定且固定不变;其次,实时准确获取各传感器节点的感知数据是危险品运输实时监测的核心要求,并且危险品温度、压力以及车辆的速度、姿态等关键节点在时间历程上必须保证一致,因此,对网络的实时性与同步性提出较高要求;第三,网络中的部分节点可与持续供电模块相连接,因此,相比实时性与同步性的要求,能耗并不是考虑的首要问题。

可见,研究适用于危险品运输实时监测的无线传感网络系统,是亟待解决的首要问题。在之前的研究中,项目组已经设计了一种危险品运输实时监测框架系统,包括传感器节点、软件系统、网络拓扑结构与路由协议,但在能量有效性与信息传输效率方面还存在不足。本文主要对上述不足进行了优化:首先,介绍了节点硬件设计框架与节点在车辆上的部署设计;然后,对无线传感器网络媒体访问控制(Media Access Control, MAC)层协议与物理层数据发送机制进行了分析与改进,增强了系统的实时性与数据传输的有效性,并有效降低了系统功耗,延长了使用寿命;最后,对改进后的系统进行了性能测试与分析。

1 系统架构

危险品运输监测系统主要由数据采集与发送以及数据接收与处理 2 个子系统组成。数据采集与发送系统包括部署在危险品运输车辆关键位置的传感器与无线发送节点,主要负责采集车辆与危险品的关键状态信息,并发送给无线接收节点。数据接收

与处理系统包括安装在驾驶室内的无线接收节点与数据处理终端,主要负责接收传感器采集的数据,经分析处理后以图形化的方式显示出来,实现可视化操作与管理。

1.1 多接口传感器节点

由于待测的物理量众多,需要使用不同类型的传感器,而传感器接口各不相同,如果为每种类型的传感器都进行单独设计,不仅费时费力,也增加了成本。为此,开发了一种多接口传感器节点,由传感器接口、处理器模块、无线射频模块与电源模块组成。传感器接口部分集成了常见的传感器接口与程序下载调试接口,包括 I/O 接口、IIC 接口、RS232 接口、ADC 接口以及 JTAG 接口,负责连接不同类型的传感器,并将数据发送至处理器模块。处理器模块选用 ATMEGA1281 处理器芯片,负责整个节点的操作,处理采集与接收的数据,实现安全可靠的网络与通讯协议。无线射频模块选用 AT86RF230 射频芯片,负责与其他节点进行通信,交换控制信息并收发数据。节点的硬件连接见图 1。

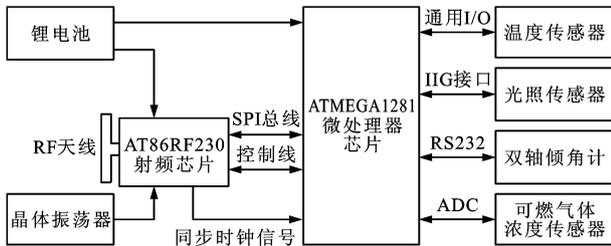


图 1 节点硬件连接

Fig. 1 Node hardware connection

1.2 节点部署与路由协议

危险品运输车辆结构复杂,传感器节点只有布置在关键位置才能准确有效地获取待测物理量信息,因此,首先需要确定传感器节点的部署位置,其次,节点部署位置确定后,采集到的信息可以按照固定路径传输,需要设计全新地网络拓扑结构与路由协议。

以危险品运输车辆中典型的油罐车为例,对其运输过程进行监测,主要用到温度传感器、光照传感器、可燃气体传感器、压力传感器与陀螺仪。罐体四周布置温度传感器 T,上表面布置光照传感器 L,进出口口及放油管道位置布置可燃气体传感器 Q(货物危险点),罐体与车辆连接位置布置压力传感器 P(结构易损点),车辆理论重心处布置双轴陀螺仪 S(车辆状态点)。节点部署位置见图 2。

在路由协议方面,考虑到传感器节点位置固定,不同类型传感器的采样频率与数据包大小不同的特

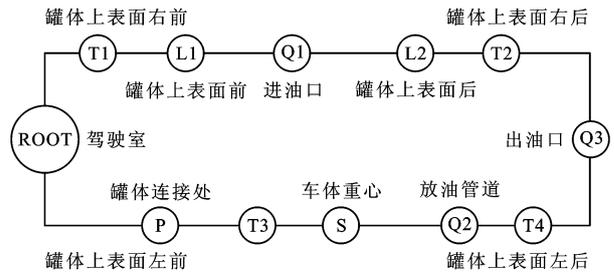


图 2 节点部署

Fig. 2 Node disposition

点,提出了一种静态分簇路由协议(Static-leach)^[13],将相同类型的传感器分配到一个静态簇,簇内节点按照剩余能量的多少轮流担任簇头节点,形成以簇为单位的树形静态拓扑结构。这种拓扑结构与路由协议可以形成能量均衡的簇结构,有效延长网络生存时间。簇内节点周期性采集数据,并发送往簇头节点;簇头节点负责接收簇内节点发送的数据,并处理后发送至根节点。为了进一步节省能量,节点大部分时间处于睡眠模式,根据采集到的数据情况修改采样频率,确保关键数据的时效性。

2 MAC 层协议的优化与改进

MAC 层协议掌管无线信道的使用方式,负责分配节点通信资源,对网络性能影响较大,是无线传感器网络通信的关键协议。无线传感器网络是与应用高度相关的网络,不存在一个广泛适用的 MAC 层协议,在实践中应该根据具体应用需要设计不同的 MAC 层协议。

根据危险品运输监测系统的特点,选择基于竞争的 CSMA/CA 机制,并根据具体应用进行相应改进。网络中不使用超帧结构,采用非时隙的 CSMA/CA 机制发送消息。CSMA/CA 协议的基本流程为 RTS—CTS—DATA—ACK。

定义 N 为当前传输中的退避次数,初始为 0,每退避一次增加 1。 B 为退避指数,决定节点进行空频道监测(Clear Channel Assessment, CCA)之前随机退避窗口的取值。当 N 大于退避次数的上限时,算法停止,并将传输失败的信息返回上层,由上层决定是否重传该数据帧。

2.1 CSMA/CA 机制中的退避算法改进

退避算法决定着 CSMA 协议的性能,CSMA/CA 协议一般采用二进制指数退避(Binary Exponential Backoff, BEB)算法,发生冲突时将竞争窗口的大小增加一倍,每次传输成功后将竞争窗口的大小重置为最小值。该算法在一次传输成功后就将

竞争窗口大小重置为最小值,总是有利于传输成功的节点短时间内再次竞争信道,产生不公平现象。当网络中节点数目较小,即很少发生碰撞时,节点竞争窗口始终为最小值,节点仍需等待较长时间才能再次发送数据。当网络中节点数目较多时,重置为最小值会导致新的碰撞发生。同时,本文中安装在车辆上各类传感器节点的重要性也有差异,与危险品运输安全有重大影响的监测参数,如可燃气体浓度传感器信息等,应优先传输,而对危险品运输安全影响不大的监测参数,如温度传感器信息、光照传感器信息等,应具有较低的优先级。

为解决以上问题,研究人员提出了多种改进算法,其中绝大部分是通过改进竞争窗口长度的更新方法来提高网络性能。常用的改进算法有乘性增加线性减小(Multiplicative Increase Linear Decrease, MILD)算法、慢速减小(Slow CW Decrease, SD)算法、线性/乘性增加线性减小(Linear/Multiplicative Increase Linear Decrease, LIMILD)算法等^[14]。本文引入了支持优先级的优化退避算法 GDCF,增加了对高优先级报文传输的服务质量支持,并对原 BEB 算法进行了优化。

GDCF 退避算法为基于慢退避概念的退避算法。慢退避概念的核心思想是在每次发送成功后,将竞争窗口按某种算法递减,而不是直接重置为最小值,可以使竞争窗口的变化比较平缓,降低碰撞概率与重传次数,提升系统的饱和吞吐量。

GDCF 退避算法的实现流程为:发生数据冲突时,与 BEB 算法相同,将竞争窗口长度增加一倍;数据发送成功时,检查连续成功发送计数器的值 i ,如果 i 大于等于规定的参数 a 时,才将竞争窗口的长度减小为一半,否则保持原来的长度。

GDCF 算法的关键是参数 a 的选取。通过测试,参数 a 对网络竞争节点的数目不敏感。当竞争节点数大于 10 时,参数 a 的最优值为 4~8。算法对优先级的支持则通过对接入任务赋予不同的 a 值实现。高优先级的任务赋予较小的 a 值,使其能够更快地获得信道,以减小接入延迟。

优化后的退避算法较原 BEB 算法有更高的吞吐量,降低了 MAC 层的丢包率,能够很容易地实现支持优先级任务的接入,同时不需要估计竞争节点的数目,或改变控制信息的帧结构等,易于实施,非常适合危险品运输监测。

2.2 CSMA/CA 机制中 RTS/CTS 方式的有效性分析
在无线传感器网络中,使用 RTS 与 CTS 的虚拟

载波监听技术的主要目的是解决网络中隐藏终端与暴露终端的问题^[15]。本文中任意两节点之间都可以互相监听到对方,几乎不存在上述问题,所以需要 RTS/CTS 方式的有效性进行分析。

在 RTS/CTS 机制中,每发送 1 个数据帧,需要附加发送 2 个控制帧,并多等待间隔时间 t ,即

$$t = \frac{R + C + 2P_H + 2S_H}{C_1} + \Delta$$

式中: P_H 为物理头,长度设定为 1 Byte; S_H 为同步头,长度设定为 5 Byte; R 与 C 分别为 RTS 帧与 CTS 帧,长度为 10~20 Byte; C_1 为射频发送速率,其值为 $250 \text{ kb} \cdot \text{s}^{-1}$; Δ 为节点收到 RTS 至发出 CTS 的间隔时间。

首先,如果数据包长度较小时采用 RTS/CTS 机制(例如,本系统的最大数据包长度为 128 Byte,而实际使用的包长一般为 50 Byte),将导致与数据负荷相比不可忽视的控制负载,使吞吐量下降,同时,随着 t 的积累作用,数据包的时延很可能进一步恶化。其次,本系统的无线网络规模较小,节点之间很难发生碰撞,并且每个节点都能监听到其他所有节点,因此,不存在隐藏节点。再次,当节点数较多时,碰撞概率会增大,但在本系统中,碰撞不是由隐藏节点引起的,而是由多个节点的随机回退时间同时到达 0 引起的,使用 RTS/CTS 机制基本不会降低碰撞概率。第四,RTS/CTS 机制是为了将数据之间的碰撞转化为代价较小的 RTS 与 RTS 之间的碰撞而开发的,但若 RTS/CTS 帧长相比数据帧长对网络已经产生了不可忽视的开销,反而会降低网络的吞吐量,因此,本文使用 RTS/CTS 控制机制,对网络的吞吐量与接入延迟都有负面影响,并且增大了节点的能耗,故将 RTS/CTS 机制予以去除以提高网络性能。

2.3 MAC 层睡眠机制

本文针对降低节点能耗,主要进行了 3 个层次的研究:第 1 层为外设的电源管理;第 2 层为微处理器的电源管理;第 3 层为无线模块的电源管理。外设的电源管理采用 TinyOS 系统提供的并行方式,可有效提高应用程序的能量利用率达 1.6%。微处理器的电源管理由 TinyOS 系统自动完成,在任务队列为空时,处理器自动进入休眠状态。无线模块的电源管理则是通过节点周期性的进入睡眠状态实现的。

在无线传感网络中,无线模块空闲监听的能耗与接收状态的能耗基本相同,接收状态 50%~

100%的能量白白浪费,非常不划算^[16]。例如,本文中的 AT86RF230 无线收发芯片,发射功率为 3 dBm 时的工作电流为 16.5 mA,接收数据时的工作电流为 15.5 mA,而睡眠状态时工作电流仅为 0.02 μA ,因此,本文在无线模块 MAC 层协议中引入睡眠机制。簇内节点周期性采集传感器数据,并发往簇头节点,之后进入睡眠状态以降低能耗,并且大部分时间均处于睡眠状态。簇头节点接收簇内节点发送的数据,经处理后发往汇聚节点。安装在驾驶室內的汇聚节点直接通过车载电源不间断地获取能量,可以持续打开无线通信模块以监听信道,从而正确及时地接收传感器网络中的数据,因此,不需要考虑汇聚节点的能耗问题。

2.4 物理层无线发送时序优化

信道接入成功后,要使用无线模块 AT86RF230 进行数据帧的发送与接收,其与微处理器模块 ATMEGA1281 的连接使用 IRQ、SLP_TR、RST 与 CLKM 4 个引脚以及 SPI 接口与处理器交换数据,并配置 ATMEGA1281 为主机,AT86RF230 为从机。SPI 接口主要由 SCLK、MISO、MOSI 与 SEL 4 个引脚构成,其中 SCLK 为 SPI 总线的公用时钟;MOSI、MISO 为主机、从机的输入输出标志,MOSI 为主机的输出,从机的输入,MISO 为主机的输入,从机的输出;SEL 为从机的标志管脚,在互相通信的 2 个 SPI 总线器件中,SEL 管脚的电平低的为从机,相反,电平高的为主机。AT86RF230 为 SPI 接口的从设备,接收来自处理器的时钟信号与片选信号,并在处理器的控制下执行输入输出操作。SPI 接口接收或发送数据时都与时钟下降沿对齐。IRQ 为 AT86RF230 的中断请求信号,AT86RF230 的各种工作状态中断信号由 IRQ 脚控制,这里接到 ATMEGA1281 的 ICP1 脚产生捕获中断,因为捕获中断可通过设置噪声消除方式来减少外界的干扰,从而提高中断的可靠性。SLP_TR 为芯片的状态控制信号,控制芯片在睡眠、发送、接收状态的转换,高电平有效。RST 为芯片的复位信号,低电平有效。CLKM 为 AT86RF230 的时钟信号输出。

一个数据帧的发送通常分为两个动作:数据由微处理器 ATMEGA1281 通过 SPI 总线传送到 AT86RF230 中的帧缓冲区中,然后帧缓冲区中的内容通过无线方式发送出去。

通常 AT86RF230 的数据帧下载与无线发送是连续进行的,即当数据下载完成之后,对 AT86RF230 的 TRX_STATE 寄存器写入发送命

令或触发引脚 SLP_TR,从而完成数据的发送任务。数据发送完成后,会触发发送完成中断。但是,无线发送必须在 SPI 数据传输完成后才可进行无线数据的发送。

实际上,AT86RF230 是硬件支持数据下载与无线发送并行执行的,即在数据下载之前就进行无线发送任务,这在时间要求苛刻的场合非常有用。研究发现,AT86RF230 在引脚 SLP_TR 的上升沿,首先发送 Preamble 与由 AT86RF230 硬件自动产生的 SFD 数据域,耗时 176 μs (包括功率放大器上电时间 16 μs 、Preamble 发送时间 128 μs 与 SFD 发送时间 32 μs)。如果微控制器可以在此时间内完成 SPI 的初始化,并开始传送数据到 AT86RF230,同时 SPI 的传输速率大于等于物理层的射频传输速率 250 $\text{kb} \cdot \text{s}^{-1}$,就能保证在无线发送过程中缓冲区一直有合法的数据存在,否则,就会发生错误中断。时序优化后的数据帧发送过程见图 3,图中①~⑥为执行顺序。

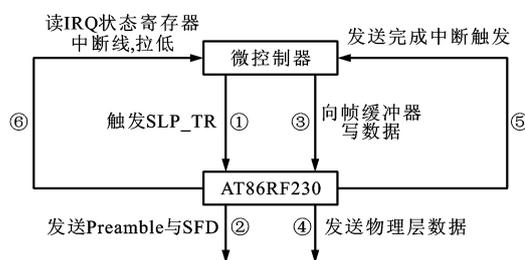


图 3 数据帧发送过程

Fig. 3 Transmission process of data frame

与普通的无线数据发送过程相比,在 SPI 速率同为 300 $\text{kb} \cdot \text{s}^{-1}$ 的情况下,发送数据长度为 128 Byte 时,每次发射过程节省了 3.413 ms,明显减少了一次数据发送时间,同时降低了碰撞发生的概率。

无线发送时序的优化可以实现的关键是:AT86RF230 必须在引脚 SLP_TR 上升沿的 176 μs 后立即开始从微控制器下载数据;SPI 总线的传输速率大于 250 $\text{kb} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

3 实例验证分析

由于危险品运输监控指标包括车辆状态、行驶状态与危险品状态^[2],突出实时性与可靠性,因此,测试的主要性能指标为丢包率与能量利用率。本文以 IRIS 无线传感器为节点平台,将传感器节点按照设计要求安装在与油罐车结构相似的工程车辆上,模拟危险品运输全过程,采集 MAC 层协议以及物理层无线数据发送时序优化前后的实际测试数据,

并进行对比分析。测试整个过程主要分为 4 部分: GDCF 退避算法的对比验证;RTS/CTS 机制的有效性对比验证;MAC 层睡眠机制的对比验证;物理层无线发送时序优化的验证分析。

3.1 GDCF 退避算法的对比验证

主要考察指标为数据丢包率,即可靠性问题。每个节点的数据包长度为 40 Byte,发送频率为 $2 \text{次} \cdot \text{s}^{-1}$,在 $60 \text{ m} \times 60 \text{ m}$ 的范围内,设置高优先级节点的连续成功发送参数 a_1 为 4,设置低优先级节点的连续成功发送参数 a_2 为 8,测量持续时间为 300 s。测试数据的统计结果见图 4。

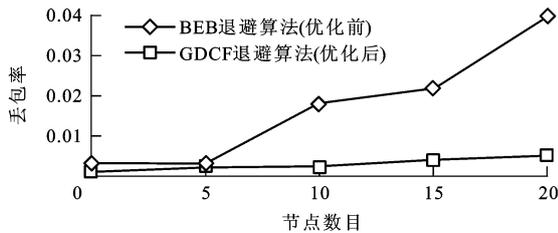


图 4 丢包率测试结果

Fig. 4 Test result of packet loss rates

由图 4 可看出:随着网络中节点数的增多,原有 BEB 退避算法的丢包率有逐渐上升的态势,优化后 GDCF 退避算法则一直维持较低的丢包率,增强了网络数据传输的可靠性。数据整理中也发现,高优先级数据的丢包率略小于低优先级数据的丢包率,但并不明显。若要再次降低低优先级数据的丢包率,可适当降低高优先级节点的 a 值或适当提高低优先级节点的 a 值,但要综合考虑各节点接入网络中的公平性。

3.2 RTS/CTS 机制的有效性对比验证

本测试中,有 6 个无线传感器节点向 1 个汇聚节点发送数据。数据包长度为 50 Byte,各个节点的采样时间间隔为 500 ms 时,MAC 层使用或不使用 RTS/CTS 方式,其网络丢包率都小于 0.5%。当缩短各节点的采样时间间隔至 50 ms 时,无 RTS/CTS 方式的协议网络丢包率小于有 RTS/CTS 方式,结果见表 1。从表 1 可知:当网络负荷较小时,两种方式的性能差别并不明显,但网络负荷较大时,有 RTS/CTS 方式的节点丢包率更大,降低网络的吞吐率,增加接入延迟。

3.3 MAC 层睡眠机制的对比验证

首先测量出每个节点从传感器数据采集至最终的无线数据发送一个周期所需要的时间,因此,在各个无线节点运行程序的传感器数据采集开始与无线数据发送完成处分别打上时间戳,获得整个周

期的运行时间,结果见表 2。

表 1 采样时间间隔为 50 ms 时的丢包率

Tab. 1 Packet loss rates at giving sampling interval time of 50 ms %

分节点	优化前丢包率 (有 RTS/CTS)	优化后丢包率 (无 RTS/CTS)
1	23.0	1.2
2	27.0	0.8
3	19.0	6.2
4	26.0	5.1
5	13.0	3.9
6	9.0	1.2

表 2 各阶段运行时间

Tab. 2 Running time of each stage

采样发送时间周期/ms	500
最大时钟漂移 T_a /ms	0.63
节点采样发送的实际工作时间 T_b /ms	20.98
节点休眠唤醒时间 T_c /ms	1.10
节点整体工作时间 $T_a + T_b + T_c$ /ms	22.71
节点休眠时间/ms	477.295
节点工作时间占空比/%	4.54

表 2 中 T_b 引入了大量的冗余时间,并考虑了最坏的情况,即较长的随机回退时间,但在此情况下,依然可清楚地看到在一个工作周期内,传感器节点大部分时间处于空闲状态。按照 AT86RF230 芯片的工作电流计算,一个周期内,使用睡眠机制为可节省能量为 95%

3.4 物理层无线发送时序优化的验证分析

无线数据发送时序的优化测试,在节点运行的 4 个位置打上时间戳:引脚 SLP_TR 上升沿时间为 T_1 ;SPI 写完数据包长度的时间为 T_2 ;SPI 写完数据包包头的时间为 T_3 ;SPI 写完整个数据包的时间为 T_4 。测试结果见表 3。

表 3 优化后的时间测试结果

Tab. 3 Time test result after optimization

数据有效载荷长度/Byte	4	28
$T_2 - T_1/\mu\text{s}$	11.9	11.9
$T_3 - T_2/\mu\text{s}$	27.1	27.1
$T_4 - T_3/\mu\text{s}$	33.6	105.3

由表 3 中可以看出:对于数据包包头及其之前的数据,因为其数据格式固定,故 SPI 写入时间也是固定的;包头之后的 SPI 写入时间则随着数据有效载荷长度的增加而增加。特别需要注意的是:在 SLP_TR 上升沿的 $11.9 \mu\text{s}$ 后,SPI 就开始向 AT86RF230 的帧缓冲区写数据;节点 SPI 实际写

速率为 $2\ 678\ \text{kb} \cdot \text{s}^{-1}$ 。两项数据均满足实现无线发送时序优化的必要条件,程序实现了对无线模块物理层数据发送时序的优化。

4 结 语

本文提出了一种用于实时监测的无线传感网络 MAC 层协议及物理层发送时序优化方法,对系统的主要架构进行了介绍,并对节点的 MAC 层协议以及物理层无线数据发送时序进行了深入分析与改进。实际对比验证结果表明,本文方案主效果良好,运行稳定,与原有监测方案相比,增强了系统的实时性,延长了系统的生存周期。

参 考 文 献 :

References :

- [1] 沈鸿飞,贾利民.路网环境下危险品运输的风险控制及应急保障机制研究[J].物流技术,2012,31(3):14-16,43.
SHEN Hong-fei, JIA Li-min. Emergency support and risk control in hazardous materials transportation within a traffic network[J]. Logistics Technology, 2012, 31(3): 14-16, 43. (in Chinese)
- [2] 陶存新.危险品运输预警应急指挥系统研究[D].武汉:武汉理工大学,2007.
TAO Cun-xin. Study on the early warning and emergency command system of dangerous goods transportation[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2007. (in Chinese)
- [3] PLANAS E, PASTOR E, PRESUTTO F, et al. Results of the MITRA project: monitoring and intervention for the transportation of dangerous goods[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 152(2): 516-526.
- [4] ZAJICEK J, SCHECHTNER K. Area wide hazardous goods monitoring on the TERN in Austria-project SHAFT[C]//IEEE. Proceedings of Intelligent Transportation Systems. Vienna: IEEE, 2005: 598-600.
- [5] 夏涛,何志标.危化品运输监控系统的设计与实现[J].电子测量技术,2011,34(5):85-89.
XIA Tao, HE Zhi-biao. Design and implementation of supervisory system for transportation of hazardous chemicals[J]. Electronic Measurement Technology, 2011, 34(5): 85-89. (in Chinese)
- [6] 姜海亮.危险品运输车监控系统及其安全性评价[D].长春:

吉林大学,2009.

JIANG Hai-liang. Monitoring system and safety evaluation of hazardous chemical tank truck[D]. Changchun: Jilin University, 2009. (in Chinese)

- [7] WARNEKE B, LAST M, LIEBOWITZ B, et al. Smart dust: communicating with a cubic-millimeter computer[J]. IEEE Computer Magazine, 2001, 34(1): 44-51.
- [8] MAINWARING A, POLASTRE J, SZEWCZYK R, et al. Wireless sensor networks for habitat monitoring[C]//RAGHAVENDRA C S, SIVA-LINGAM K M. Proceedings of the First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. Atlanta: ACM Press, 2002: 88-97.
- [9] SHNAYDER V, CHEN B R, LORINCZ K, et al. Sensor networks for medical care[R]. Boston: Harvard University, 2005.
- [10] DILMAGHANI R S, BOBARSHAD H, GHAVAMI M, et al. Wireless sensor networks for monitoring physiological signals of multiple patients[J]. IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, 2011, 5(4): 347-356.
- [11] CARULLO A, CORBELLINI S, PARVIS M, et al. A wireless sensor network for cold-chain monitoring [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2009, 58(5): 1405-1411.
- [12] RODRIGUEZ-SANCHEZ M C, BORROMEO S, HERNANDEZ-TAMAMES J A. Wireless sensor networks for conservation and monitoring cultural assets[J]. IEEE Sensors Journal, 2011, 11(6): 1382-1389.
- [13] 惠飞,赵祥模,杨飞.油罐车在途状态监测系统及其任务调度策略[J].长安大学学报:自然科学版,2011,31(4):87-94.
HUI Fei, ZHAO Xiang-mo, YANG Fei. Design of tanker sensor node based WSN and implement of TinyOS tasks scheduling [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2011, 31(4): 87-94. (in Chinese)
- [14] 那成亮.无线传感器网络 MAC 层退避算法及功耗算法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
NA Cheng-liang. Research on backoff and power control algorithms for wireless sensor networks MAC layer [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006. (in Chinese)
- [15] CHATZIMISIOS P, BOUCOUVALAS A C, VITSAS V. Effectiveness of RTS/CTS handshake in IEEE 802.11a wireless LANs[J]. Electronics Letters, 2004, 40(14): 915-916.
- [16] ESTRIN D. Wireless sensor networks tutorial part IV: sensor network protocols[R]. Oakland: University of California, 2002.