

面向车辆环境的 WSN 能效优化*

Research on WSN Energy Efficiency for Vehicle Environment

赵江湖¹ 苏晋升² 孙彦赞¹ 方勇¹

(1 上海先进通信与数据科学研究院,特种光纤与光接入网重点实验室,特种光纤与先进通信国际合作联合实验室,上海大学,上海 200444;2 泛亚汽车技术中心有限公司,上海 200444)

摘要:面向车辆环境的 WSN 组网可有效降低现有汽车有线连接的布线复杂度和提高车辆集成效率。车载有线网络升级为无线互联的过程中,模块节点的供电是个问题,为解决这个问题,节能必不可少,而且节能和环保也是绿色新能源汽车的发展趋势。为此,面向不同业务类型的传输速率需求,首先提出了基于 WSN 的车载多制式无线组网方案,实现车内数据的无线采集和传输;然后基于 Atmel 开发平台,提出了基于节点睡眠唤醒的节能机制;最后设计了多节点能耗测试方案,验证了所提节能机制的有效性。实验结果表明,所提节能机制可使网络节点具有较低的功耗,有效延长了节点的生命周期。

关键词:无线传感网络;能效优化;睡眠唤醒;Atmel

Abstract:Facing the transmission rate requirements of different business types,this paper firstly proposes a vehicle-mounted multi-mode wireless networking scheme based on WSN to realize wireless data collection and transmission inside the vehicle.Then,based on the Atmel development platform,the energy saving mechanism of node-based sleep awakening is proposed.Finally,a multi-node energy consumption test scheme is designed to verify the effectiveness of the proposed energy saving mechanism.The experimental results show that the proposed energy-saving mechanism can reduce the power consumption of network nodes and effectively prolong the life cycle of nodes.

Keywords:wireless sensor networks,energy efficiency optimization,sleep and wake up,Atmel

近年来随着人工智能、大数据、移动互联网、4G/5G 无线通信技术的飞速发展,汽车的智能化和网联化成为当前的研究热点。汽车的智能化和网联化使得汽车将集成更多的传感器和控制器等节点,使得车载节点间的有线通信线束和供电线路更加复杂。车辆内部网络基于无线通信技术的互联互通,即车载无线组网的研究成为近年来的研究热点^[1]。

基于无线传感网络(Wireless Sensor Networks,WSN)的车载无线组网,其节点可采用电池供电,从而可有效降低车载有线组网线束复杂度。但同时,无线传感器网络存在着严重的节点能量约束问题,即节点是能量受限的,从而低功耗成为传感器节点的最主要限制之一^[2]。传统网络的优化研究多以提供高质量(Quality of Service,QoS)为研究目标,但基于 WSN 的车载无线组网必须考虑节点的节能问题。节点的节能机制优化,可适当以较低吞吐量或者较高传输时延为代价的基础上^[3-4],减少节点能量消耗,从而延长网络寿命^[5]。

为此,本文在实现车载无线多制式组网的基础上,研究了基于 Atmel 平台的节点睡眠唤醒节能机制,使每个节点可根据自身的业务类型,调整自身睡眠工作状态,在节点无数据收发时进入低功耗睡眠模式,以减少能量消耗。

1 系统平台设计

1.1 系统架构设计

本文设计的车载无线组网系统如图 1 所示。系统包括了基于 ZigBee 技术的车载传感器节点,车载终端 APU(Accelerated Processing Units,APU)、云服务器与移动端 APP 构成的平台架构。车载终端连接外接传感器通过 ZigBee 技术进行数据的无线采集,而后车载终端 APU 将采集的数据通过冗余过

滤、数据压缩等处理,之后服务器与移动端 APP 进行双向身份认证,认证成功后采用密钥加密通信,继而实现移动终端对车辆相关信息的读取以及相应功能的控制。

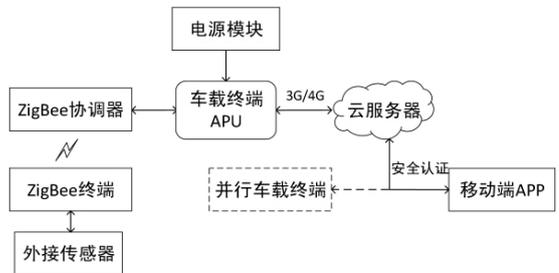


图 1 车载无线系统架构

1.1.1 车载终端

车载终端 APU 主要用于应用层开发,对采集的各项数据进行实时分析处理,同时考虑到视频模块、GPS 模块、3G/4G 等外接通信模块的兼容问题,车载系统在选择上需要有一定的数据处理能力及较强的拓展性,故而在设计选取了搭载 Android 系统的 APU 进行开发。

1.1.2 服务器设计

服务器基于 Windows 系统进行搭建,主要包括 PHP、Apache 和 MySQL 三个部分,并采用高性能 Web 框架 Yii 来实现。服务器的整体架构如图 2 所示。

服务器数据的存储选用常见的 MySQL 数据库,由数据表、用户表和用户认证表构成。数据表用于存储用户 ID 号、车辆数据及采集时间;用户表中存储用户名、密码和用户 ID 号;用户认证表中存储密钥和用户 ID 号。用户登录时,需要认证用户表,匹

* 上海汽车工业科技发展基金(1816)资助项目;国家自然科学基金资助(61501289,61673253)

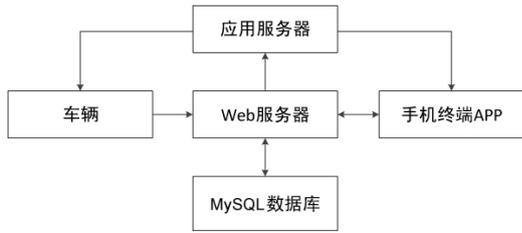


图2 服务器整体架构

配用户名和密码。认证通过后将会在用户认证表中写入用户 ID 号和一个随机产生的六位数密钥。用户需查询用户认证表匹配 ID 号与密钥值两者进行双认证。

1.1.3 移动端 APP

系统在完成车辆数据的采集、处理和加密等步骤后,还需要一个用户交互平台来为用户提供服务。本文采用 Android Studio 平台进行移动终端 APP 设计,将用户汽车信息及车身传感信息放到移动终端上,借助于移动设备以 APP 为载体向用户提供车载无线互联服务。

1.2 车载无线组网设计

考虑到系统能耗问题,对比 Wi-Fi、蓝牙和 ZigBee 三大主流无线技术,我们选取功耗最低的 ZigBee 进行车载无线的组网设计。考虑到协议栈代码的开源性以及节点能效优化的研究,选择 Atmel 公司的 SAM R21 Xplained Pro 开发板,其开发平台为 Atmel Studio 7.0。

车载无线组网采用中间路由器分布式多跳,边缘路由器星型组网的网络架构^[6]。其中,协调器处于整个网络的最中心部分,接收和处理来自车内各传感器的数据,然后转发至车载终端 APU。一个协调器与六个终端的实物图如图 3 所示,其中与车载终端 APU 用串口相连的为协调器,其它为终端设备。



图3 车载无线组网实物图

2 睡眠唤醒节能设计与实现

2.1 节点睡眠唤醒策略

车载无线网节点在通信过程中包含发送、接受、空闲和睡眠四种状态,节点空闲侦听能耗依然很大,若使其进入睡眠状态,节点的能耗可显著降低^[7]。睡眠唤醒机制的基本流程为:节点正常工作时,进行数据采集和邻居节点进行数据通信,工作一段时间之后进入睡眠状态,定时器事件触发节点从睡眠状态切换到工作状态,依次重复进行。睡眠唤醒总体流程如图 4 所示。

系统上电后,节点自动加入协调器组建的 PAN 网络中,终端节点完成数据上传后等待上一级发送的睡眠控制指令。路由节点和终端节点在完成任务后由协调器发送同步休眠指令,进行定时睡眠,等到睡眠时间到后节点再进行定时器唤醒,并加入网络进行周期性的工作。

2.2 节点睡眠唤醒算法

在整个睡眠周期中,路由节点和终端节点共有 4 种状态:启

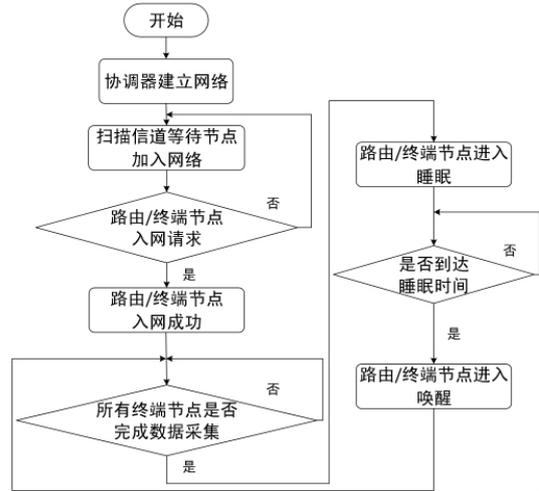


图4 节点睡眠唤醒流程图

动状态、监听状态、发送状态和睡眠状态。各状态之间的转换如图 5 所示。

节能算法具体如下:

1) 组网成功后节点

由启动状态进入到监听状态,监听有无数据发送,时长为 10ms。在监

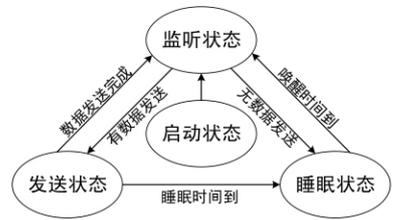


图5 节点状态转换

听的时候,终端节点如果收到任何传感器数据,则节点进入到数据发送状态。数据收发完成后节点将再次进入到监听状态。如果在监听 10ms 时间内,节点没有收发任何数据,就说明此时没有节点向它发送数据,则节点将进入到睡眠状态。

2)睡眠时长 1s 后节点自动唤醒,终端节点从睡眠状态转换到正常收发数据状态需要 500μs,在这 500μs 后节点继续进入到监听状态,如果监听到有数据接收或者发送,则节点进入数据发送状态,直到数据发送完成。

3)上述运行周期经若干次重复后,若节点从第一次监听到现在达到工作时长 1s 后,将直接进入睡眠状态,睡眠 1s 后再次进入到下一个工作阶段的监听状态。

2.3 节点睡眠唤醒的实现

SAM R21 的低功耗模式有 IDLE 0/IDLE 1/IDLE 2/STANDBY 四种,其中 STANDBY 模式内核电源关闭,功耗最低,理论功耗在 3μA 左右,因此实验采用此模式进行睡眠设置,如图 6 所示。睡眠唤醒机制的基本流程为:程序正在运行→设置并并且开启 RTC 中断→进入 STANDBY 模式→进行 RTC 中断→程序从头执行。

```

615 #if APP_ENDDVICE
616 case APP_STATE_PREPARE_TO_SLEEP:
617 {
618     if (!MK_Busy()) {
619         MK_SleepReq();
620         appState = APP_STATE_SLEEP;
621     }
622 }
623 break;
624 case APP_STATE_SLEEP:
625 {
626     //sm_sleep(APP_SENDING_INTERVAL / 1000);
627     appState = APP_STATE_WAKEUP;
628 }
629 break;
630 case APP_STATE_WAKEUP:
631 {
632     MK_MakeupReq();
633 }
634 }
635 /*
636 * #if (LED_COUNT > 0)
637 * = LED_On(LED_NETWORK);
638 * #endif*/

```

图6 睡眠唤醒设置

在成功设置低功耗模式后,系统需要周期性地运行程序,然

后进入低功耗,间隔一定时间继续运行程序。这时候就需要用到 RTC 时钟来定时唤醒低功耗模式。具体地,先将 sm_sleep 设置 RTC 定时唤醒时间,然后进入待机模式。其中 APP_SENDING_INTERVAL 是在 config.h 中定义的发送周期时间,默认是 2000,即 2s,修改这个时间常数就可以改变发送时间,此处改为我们睡眠唤醒时间 1s,即 1000。在设置好 RTC 的情况下,运行完主函数之后将调用周期唤醒函数,每过 1s,RTC 闹钟主动唤醒一次低功耗的 STANDBY 模式,记下当前系统时间,并进入低功耗,在 1s 后,唤醒节点进入工作状态,从头运行一遍函数,即为周期性睡眠唤醒运行。周期时间也可根据实际情况进行调整。

3 测试结果与分析

3.1 能耗测试方法

为了验证系统低功耗性能,实验采用测量节点供电电流的方式来计算节点的能耗,通过电池总容量与一个工作周期的能耗的比值来评估节点的使用寿命。具体地,将节点一个工作周期分为工作状态和睡眠状态两部分,分别对两种状态进行能耗测试。

对于睡眠状态低功耗的测试,我们采用高精度测试软件 Atmel Data Visualizer,它是独立于 Atmel Studio 的一个用于处理和可视化数据的程序,包含了功耗测试、示波器和数据采集等功能,其用于功耗测试的 power 模式可以很好地测试 SAM R21 Xplained pro 开发板的运行电流。节点处于睡眠状态时的测试结果如图 7 所示。

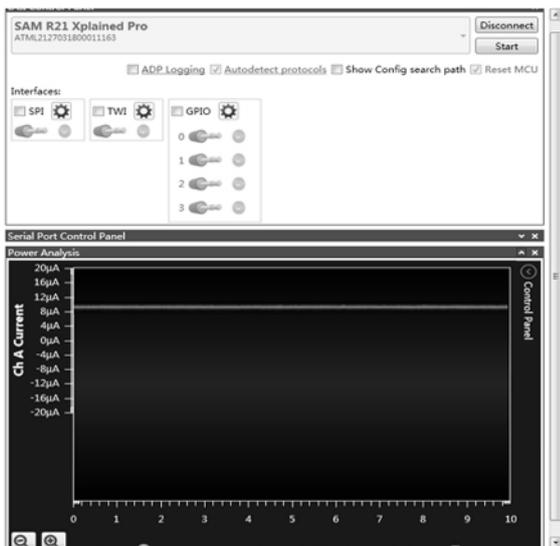


图 7 睡眠状态能耗测试

对于工作状态的测试以及睡眠状态的电压测试,我们采用数字万用表分别串联和并联在节点上进行测量。万用表测电流

时可通过 SAM R21 Xplained pro 预留的 J101 跳线接口进行测量,平时 J101 通过短路块连接,需要测试电流时将它取下,串联电流表即可做电流检测实验。对于工作状态,由于系统在进行数据收发的工作,电流值会有轻微跳动,等到数字稳定后进行多次测量求取平均值。测试结果如表 1 所示。

表 1 节点能耗测试统计表

| 测量次数 | 工作电压 (V) | 工作电流 (mA) | 睡眠电流 (μ A) |
|------|----------|-----------|-----------------|
| 1 | 3.84 | 20.0 | 9.2 |
| 2 | 3.86 | 19.5 | 9.2 |
| 3 | 3.91 | 19.8 | 9.2 |
| 4 | 3.92 | 19.0 | 9.2 |
| 5 | 3.98 | 20.1 | 9.2 |

3.2 能耗测试计算

由上表得平均电压 3.9V,工作电流平均值 19.7mA,睡眠电流平均值 9.2 μ A,由能量算式算得一个周期内的能耗 E 为:

$E = I_{work} \times t_1 + I_{sleep} \times t_2 = 19.7\text{mA} \times 1\text{s} + 0.0092\text{mA} \times 1\text{s} = A * s$, 则一小时能耗约为 0.00275mAh。实验采用两节容量为 1500mAh 新电池,考虑到电池电量因电压降低而降低且电池存在自放电现象,实际电量为 300mAh 左右,则节点寿命约为 12 年。

4 结束语

在今后研究中可尝试优化睡眠唤醒机制以进一步降低系统能耗,一是可以考虑根据协调器、路由节点和终端节点不同的网络作用制定不同的睡眠策略;二是可以根据车辆任务优先级的不同设定不同的睡眠策略,使得节点睡眠更加充分,系统节能更加高效。

参考文献

- [1]朱翠翠,王勇.基于蓝牙技术的车载无线电通讯技术应用[J].计算机产品与流通,2018,98(11)
- [2]程亚峰.基于 Sub-1G 技术的车灯性能检测系统研制[D].武汉:华中科技大学,2016
- [3]王瑞,李跃忠.基于 SX1278 的水表端无线抄表控制器[J].电子质量,2015(12):67-68,74
- [4]胡枫林,姚骏.低功耗无线温室环境监测仪的研究[J].工业控制计算机,2019,32(3)
- [5]Anurag Saini.Minimization of Energy Consumption in WSN using Hybrid WECRA Approach [J].Procedia Computer Science,2019,105(11)
- [6]刘云.WSN 中多跳网络能效和延迟控制优化研究[J].电子科技,2018(8):9-13,31
- [7]赵亚楠.基于休眠的 ZigBee 无线传感器网络节能路由协议研究与实现[D].重庆:重庆邮电大学,2017

[收稿日期:2020.3.17]

(上接第 36 页)

- [3]慕东东,汪思源,王文标.智能轨迹引导控制器(ITGC)的研究与应用[J].微型机与应用,2015,34(7):72-74,78
- [4]马平,赵倩.锅炉过热蒸汽温度动态预测 PID 控制算法[J].热力发电,2016,45(8):104-108
- [5]Libor Pekar,Radek Matušu. A Suboptimal Shifting Based Zero-pole Placement Method for Systems with Delays [J]. International Journal of Control,Automation and Systems,2018,16(2): 594-608
- [6]王春阳,辛瑞昊,史红伟.针对大滞后系统的滞后时间削弱自抗扰控制方法[J].吉林大学学报(工),2017,47(4):1231-1237
- [7]侯明冬,王印松.一类非线性大滞后系统自适应积分滑模控制[J].控制理论与应用,2019,36(7):1182-1188

- [8]C L Lai,P L Hsu.Design the Remote Control System with the Time-Delay Estimator and the Adaptive Smith Predictor.IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2010,6(1):73-80
- [9]赵志诚,徐娜,张井岗.多变量时滞非方系统的分数阶 Smith 预估控制[J].控制与决策,2019,34(6):1331-1337
- [10]陈增强,吴瑕,孙明玮,等.时滞系统的自抗扰广义预测控制的性能分析[J].中南大学学报(自然科学版),2018,49(8):1960-1970
- [11]吴龙庭,曹顺安,胡家元.时滞系统的 LM-Smith 神经网络控制器[J].计算机应用研究,2014,31(4):1115-1118
- [12]任晓奎,李锋,程琳.基于 PSO 模式搜索的跌倒检测算法研究[J].计算机应用研究,2020,37(4)

[收稿日期:2020.2.12]