

基于 MSP430 的无线传感器网络设计

■ 92493 部队 史永彬
■ 国防科技大学 叶湘滨

摘要

简要介绍无线传感器网络,给出基于 MSP430F1xx 系列单片机的无线传感器网络节点制作及组网设计方案;结合射频收发一体的 NORDIC 系列芯片和新型数字传感器,设计可组建无线网络的探测节点,实现对监测区域内相关物理信号的采集;给出组网设计中相关技术研究。通过实验表明,制作的传感器节点在数据采集和传输过程中有较高的可靠性。

关键词 无线传感器网络 传感器节点 MSP430 低功耗

引言

传感测试技术正朝着多功能化、微型化、智能化、网络化、无线化的方向发展。自组织无线传感器网络(Self Organizing Wireless Sensor Networks)作为新兴技术,是目前国外研究的热点,其在军事、环境、健康、家庭、商业、空间探索和灾难拯救等领域展现出广阔的应用前景。早在 2003 年美国自然科学基金委员会已经斥巨资来支持这方面的研究,并且出现了一些致力于无线传感器网络的公司,其中 Crossbow 公司已推出了 Mica 系列传感器网络产品。国内很多大学现已经开展相关领域的研究,但大部分工作仍处在自组织无线网络协议性能仿真和硬件节点小规模实验设计阶段。本文就国防科技大学传感器教研室开展可应用于环境监测方面无线传感器网络设计与实现进行介绍。

1 无线传感器网络硬件设计

无线传感器网络模型(如图 1 所示)是不同于传统无线网络的无基础设施网,通过在监测区域内随意布撒大量传感器节点(简称节点),由各节点自行协调并迅速组建通信网络,在能量利用率优先考虑原则下进行工作任务划分

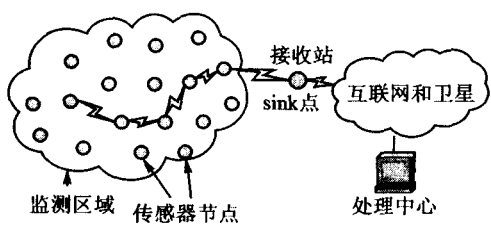


图 1 无线传感器网络模型

以获取监视区域信息。网络的自组织特性体现在当节点失效或新节点加入时网络能够自适应重新组建,以调整全局的探测精度,充分发挥资源优势,即网络中的各节点除具备数据采集功能外兼有数据转发实现多跳的路由功能。

1.1 节点组成

典型的无线传感器网络节点由数据采集、处理、传输和电源 4 个主要部分组成。传感探测单元由传感器进行监测区域内待测对象的信息采集;微控制单元实现数据的分析、处理和存储等功能;无线传输单元负责低功耗短距离节点间通信;供电单元选取小型化、高容量的电池,以确保节点的长寿命和微型化。具体节点设计如图 2 和图 3 所示。

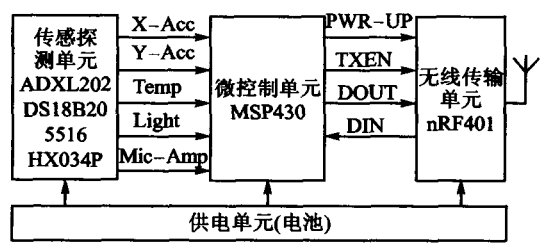


图 2 无线传感器网络节点结构

(1) 无线传输单元

无线收发模块选用挪威 Nordic 公司推出的 nRF401 芯片。nRF401 是工作在 ISM 频段 433.92 MHz/434.33 MHz 的单片无线收/发一体芯片,是包括了高频发射/接收、PLL 合成、FSK 调制/解调和双频道切换等单元的高集成度无线数传产品。其最高传输速率可达 20 Kb/s,接收灵敏度为 -105 dBm,最大发射功率为 10 dBm,较其他类别射频收发芯片外围电路设计简单。设计中工作频率

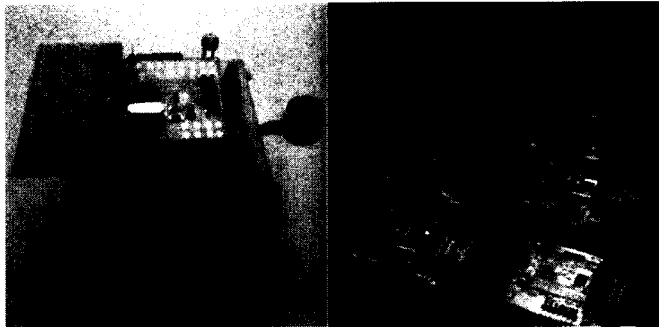


图3 无线传感器网络节点实物图片

锁定在 434.33 MHz, 微控制单元仅须提供四根口线: 收发状态切换 TXEN、待机与工作状态切换 PWR-UP 和数据通信接口线 DIN/DOU。射频信号输出设计采用环形差分输出天线。

(2) 微控制单元

TI 公司 MSP430 系列单片机是一种具有集成度高、功能丰富、功耗极低等技术特点的 16 位单片机。超低功耗的混合信号控制器、丰富的片内外设、节能考虑的多种工作模式和对 C 语言程序设计的支持, 使得 MSP430 系列单片机非常适合于应用在嵌入式系统中。设计中选用带有 Flash 存储器可进行在线编程的 MSP430x13x、MSP430x14x 系列单片机; 外围模块有看门狗、定时器 A/B、同步/异步串行通信接口、10/12 位 A/D 以及 6 个 8 位并行端口等多种组合形式。其实现功能如下:

- ◇ 操作无线收发芯片, 为 nRF401 提供工作状态控制线和两条单向串行传输数据线;
- ◇ 实现传感器的数据采集——加速度、温度、声音和感光强度探测;
- ◇ 本地数据处理——剔除冗余数据, 以减少网络传输的负载和对无线传输数据的封装与验证;
- ◇ 应答远控中心查询, 完成数据的转发与存储;
- ◇ 区域内节点的路由维护功能;
- ◇ 节点电源管理, 合理地设置待机状态, 以节省能量消耗, 延长节点使用寿命。

(3) 传感探测单元

根据实际需要选择合适传感器对监测区域内温度、湿度、振动、声音和光线等物理信号进行测试。实验设计选用了两种外围电路简单的数字式传感器、光敏器件和驻极体话筒, 分别对振动、温度、光强和声音进行探测。

◆ AD 公司的 ADXL202 是双轴向加速度传感器。其采用先进的 MEMS 技术, 在同一硅片中刻蚀了一个多晶硅编码微机械传感器, 集成精密的信号处理电路, 可测静态及动态加速度, 输出为周期的占空比调制 (DCM) 循环数字信号。测试范围为 $-2 \sim +2$ g, 测试带宽为 0.01 Hz

~ 5 kHz (外置单电容可调), 60 Hz 带宽下分辨率为 5 mg。该传感器可广泛应用于惯性导航、地震监测、车辆安全和电池供电设备的运动状态测试等领域。

◆ Maxim 公司的 DS18B20 是一线式数字温度传感器。测量结果可选用 9~12 位串行数据输出, 测量范围为 $-55 \sim 125$ °C, 在 $-10 \sim 85$ °C 测量准确度为 ± 0.5 °C。

◆ 光敏电阻 5516 是基于半导体光电效应工作的光导管, 对光强感应灵敏度相当高。当受到一定波长范围的光照时, 其阻值 (亮电阻) 急剧减小, 电流迅速增加, 通过参考电阻分压后进行 A/D 采样即可获得光敏电阻的阻值, 进而换算出光照强度。

◆ 驻极体话筒 HX034P 是电容式麦克风。输入信号为声音信号, 输出信号经 MAX4466 构成的前置放大电路后进行电压值 A/D 采样, 处理器的 A/D 采样频率可达 200 kHz, 可捕获到声音信号。

结合使用上述几种传感器和敏感器件的无线传感器网络节点, 能够实现温度、加速度 (震动) 的准确测量与探测; 光敏电阻有其自身的光谱特性和温度特性, 因此在实验中不作精确标定; 另外对声音信号的捕获和复现需要进行大量的数据处理, 从能量利用和传感器节点功能的精简角度考虑, 实验中对声光强弱的探测通过设定阈值来给出布尔型 (0 或 1) 输出。

(4) 供电单元

实现节点设计的微型化, 节点可采用输出电压 3.6 V 可充电锂离子纽扣电池 LIR2032 供电。该类电池自放电率小于 10%/月, 但额定容量较小, 限制了节点的生存期。若以两节普通 5 号 AA 电池供电, 则可维持更长的工作时间。在以网络形式工作状态下, 通过合理的设置节点发射机的接收、发射以及待机状态, 可有效地延长节点的使用寿命。针对节点供电单元不便于更换的无线传感器网络, 新的能源解决方法研究及网络系统的低功耗设计也是当前值得关注的课题。

1.2 sink 点 (数据汇集点) 设计

传感探测网络内的信息与外部网络或处理中心的连接需要通过 sink 点来实现。sink 点是无线传感器网络与有线设备连接的中转站, 负责发送上层命令 (如查询、分配 ID 地址等)、接收下层节点请求和数据, 具有数据融合、请求仲裁和路由选择等功能, 是无线传感器网络中重要的一部分。设计中 sink 点由上位 PC 机与无线通信适配单元组成, 如图 4 所示。

无线收发模块仍采用 nRF401 芯片配以环形差分天线。以 3 V 电压供电, TTL 与 RS232 电平转换单元选用 MAX3316 芯片。该芯片在 2.25~3.0 V 供电即可实现两通道双向电平转换, 可直接操作 nRF401 芯片串行数据线

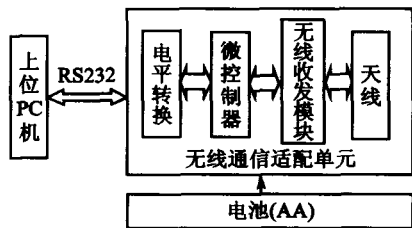


图4 无线传感器网络 sink 点模型

DIN/DOUT、控制线 TXEN。但实验结果表明,该设计中上位 PC 机通过 API 函数调用或串口控件方式来操作口线会产生较高的误码率,须涉及更底层的寄存器操作才能高效地实现数据提取。这无疑增加了设计的复杂性,故 sink 点在实际制作中选用具备 2 路 UART 通道的 MSP430F149 芯片作为无线与有线串行传输的连接与处理单元,实现数据初级的封装与分解,为上位机提供便携的接口方式。

2 软件设计流程

传感器节点的处理器 MSP430 系列单片机支持 C 语言程序设计,适用于 MSP430 系列的 C 语言与标准 C 语言兼容程度高,大大提高了软件设计开发的工作效率,增强了程序代码的可靠性、可读性和可移植性。图 5 为传感器节点的工作流程图。

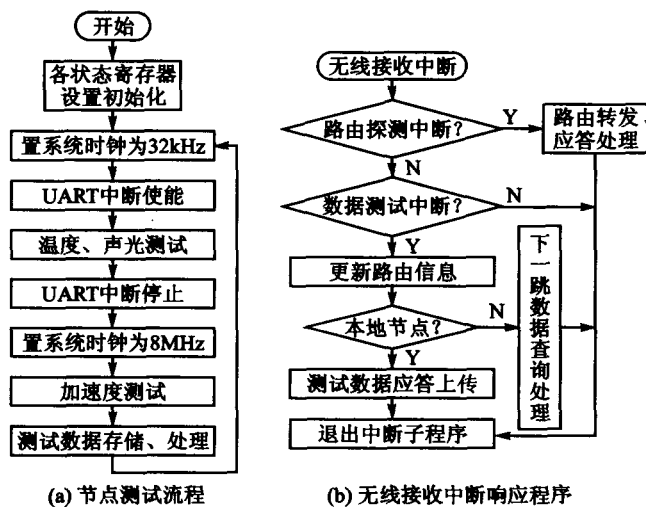


图5 无线传感器网络节点工作流程图

上位 PC 机作为控制中心必须具备网络唤醒、数据处理、路由维护功能,C++ Builder、Delphi 和微软的 Visual Basic 都是可选的快速开发工具。上层软件功能由 Delphi 实现,图 6 为无线传感器网络探测系统框图。

考虑到点对点通信的可靠性,数据在底层无线传输中需要增加必要的协议规范。设计中对有效数据进行打包,格式为:前导码、地址、有效数据载荷、校验码。针对

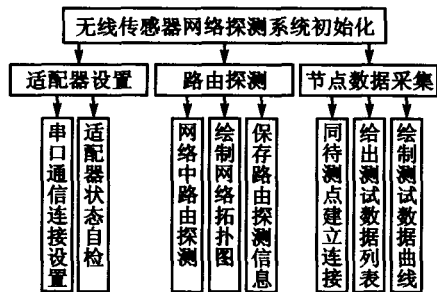


图6 无线传感器网络探测系统框图

nRF40x 系列芯片,按厂家建议在支持 UART 方式下使用 0x55FF(十六进制)作为“前导码”;“地址”作为不同应答点的标识;“有效数据载荷”则包含满足上层设计协议格式的数据包,该部分需根据应用要求尽量减小数据包长,以缩短该数据包在传输链路的生存期,数据包末尾增加“校验码”可以验证数据的有效性,CRC(循环冗余码)是一种简单易行的处理方法,数据封装与处理全部由微控制单元实现。

3 组网技术研究

对应 nRF401 使用的 434.33 MHz 频点,在组网设计中通信方式采用 TDMA(时分复用)方式:sink 点分时段对网络中节点进行查询,若节点有突发事件探测,则随机选择空闲时隙将数据上传。当信道处于阻塞状态则采用随机退避机制,等待信道处于空闲状态再进行数据传输,因此各节点在通信过程中必须避免长时间对信道的占用。

网络的可靠性和高效性关键是合理的通信协议设计,SPIN (Sensor Protocol for Information via Negotiation)是以数据为中心的自适应路由协议,通过协商机制来避免数据传输过程中的“内爆”和“重叠”问题,传感器各节点只有在相应的请求时,才有目的地发送数据信息。SPIN 协议中有 3 种类型的消息:ADV 广播数据发送、REQ 请求数据接收和 DATA 数据封装。

自组织无线传感器网的网络拓扑可分为 3 种:① 基于簇(Cluster)的分层结构。簇头就是分布式处理中心,收集簇成员数据并完成数据处理和融合,最后将数据由其他簇头多跳转发或直接传回 sink 点。② 基于网(Mesh)的平面结构。在这种结构下传感器网络连成一张网,临近节点直接通信;在个别链路和传感器节点发生失效时不会引起网络分立。③ 基于链(Chain)的线结构。在这种结构下传感器节点被串联在一条或多条链上,链尾与用户节点相连。由于链型结构更易于在网络初始化中实现,因此设计中采用该种网络拓扑。

实现超低功耗即可延长节点和网络的寿命。节点的能量消耗有 3 方面:传感器数据、微控制单元的数据存储与处理和无线模块数据接收/发射。其中能量



现场设备名	当前值	单位(值)	质量	时间戳	ZigBee接入点
ZigBee温度监控设备	18.473	°C	GOOD	21时42分2秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.473	°C	GOOD	21时42分4秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.376	°C	GOOD	21时42分6秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.376	°C	GOOD	21时42分8秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.423	°C	GOOD	21时42分10秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.423	°C	GOOD	21时42分12秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.363	°C	GOOD	21时42分14秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.363	°C	GOOD	21时42分16秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.440	°C	GOOD	21时42分18秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.440	°C	GOOD	21时42分20秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.469	°C	GOOD	21时42分22秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.469	°C	GOOD	21时42分24秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.469	°C	GOOD	21时42分26秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.396	°C	GOOD	21时42分28秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.396	°C	GOOD	21时42分30秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.440	°C	GOOD	21时42分32秒	128.128.2.72
ZigBee温度监控设备	18.440	°C	GOOD	21时42分34秒	128.128.2.72

图5 ZigBee 温度监控模块测试结果

行传输,而且工业设备通常置于很恶劣的环境(如高温、强烈震动等);同时功耗也是一个重要问题,若使用电池经常需要人为更换,其可用性就有待考虑。ZigBee 技术速率低,功耗低,成本低,架构简单,体积小,正好满足了工业现场的需求,同时安全性和可靠性也使它的市场应用前景非常乐观。

综合起来,ZigBee 无线温度监控模块和接入点设备的设计以及接入 EPA 网络通信的实现,证明了 ZigBee 接入 EPA 网络的可行性,ZigBee 接入 EPA 网络是对现有 EPA 无线接入方式的重要补充。

参考文献

- [1] IEEE Std 802.15.4-2003 Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). <http://www.ZigBee.org>.
- [2] Breezecom Ltd. BreezeNet Pro. 11 Wireless Network Serial Products. Israel, 2000.

7

消耗最大的是在射频信号发射过程中,因此必须合理地切换芯片收发,并设置节点休眠与唤醒状态,以最大限度降低能量消耗。

结 语

基于 MSP430 的无线传感器网络设计在小规模实验中表现出良好稳定的效果,可在特殊环境下实现监测区域内信号的采集传输与处理。伴随无线自组网网络技术的成熟和新的能量解决方案的提出,无线传感器网络的应用必将广泛深入环境监测、医疗保健、空间探索和灾害预测等各领域。

- [3] 周斌,李文印,兰淑梅,MPXY8020A 轮胎压力传感器的 SPI 接口技术. 仪表技术,2004(4):19-20.
- [4] 戴云洁. 耐压监控传感器 MPXY8020A. 国外电子电器,2004(8):67-68.
- [5] 韩旭东,曹建海. 基于 IEEE802.15.4 无线智能化传感器网络研究及其性能分析. 电工技术杂志,2004(9):62-66.
- [6] 用于工业测量与控制系统的 EPA(Ethernet for Plant Automation)系统结构和通信标准. 2004.
- [7] 顾其威,沈学旭,温明华. LLC 类型 3 操作及通信平台. 小型微型计算机系统,1995(6):23-26.
- [8] 康淑颖,柯霞,孙小蕾,等. 多媒体光纤综合网 LLC 层的研制. 光通信研究,2000(1):32-36.

刘双梅(硕士研究生),主要研究方向为无线通信技术;王康(讲师),研究方向为工业以太网及网络控制技术、无线控制网络及其应用;王平(博士、教授、博士生导师),研究方向为工业以太网及网络控制技术、无线控制网络及其应用、智能仪器仪表。

(收稿日期:2006-03-16)

参考文献

- [1] Akyildiz Ian F, Su Weilian, Yogesh Sankarasubramanian, et al. A Survey on Sensor Networks. IEEE Communications Magazine, 2002(8):102-114.
- [2] 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [3] 李国华,沈树群. 自组织无线传感器网络的研究. 数据通信,2004(4):1-4.
- [4] Nordic VLSI ASA Inc. nRF Radio protocol guidelines. 2002.
- [5] Nordic VLSI ASA Inc. 433MHz Single Chip RF Transceiver nRF401. 2002.

史永彬(硕士研究生),主要研究方向为无线传感器网络研究与设计工作;叶湘霖(教授),研究方向为测控技术和传感器技术等。

(收稿日期:2006-03-01)