

# 基于 MSP430F1611 的无线传感器网络终端的设计与实现

陈根潮,石江宏,金晓坤

(厦门大学 福建 厦门 361005)

**摘要:**无线传感器网络是目前国内研究的热点,介绍了一种基于 MSP430F1611 单片机和 CC1100 射频芯片的无线传感器网络终端的软硬件设计与实现。无线传感器网络能够自动组网、自动采集信息、自动将采集的信息传输给汇聚节点。通过低功耗设计,使得网络寿命可达 1~2 年。

**关键词:**无线传感网;MSP430F1611;CC1100;低功耗

**中图分类号:** TN915.1

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1004-373X(2007)07-043-03

## Design and Implement of Wireless Sensor Network Terminal Based on MSP430F1611

CHEN Genchao, SHI Jianghong, JIN Xiaokun

(Xiamen University, Xiamen, 361005, China)

**Abstract:** Wireless Sensor Network (WSN) is a hot spot in research in China now. A kind of hardware and software design and implement of WSN terminal based on MSP430F1611 and CC1100 are introduced in this paper. WSN can self-networking, collecting and transmitting the information to the convergence node automatically. The battery can work as long as two year based on the low power design.

**Keywords:** wireless sensor network; MSP430F1611; CC1100; low power cost

无线传感器网络是随机分布的集成有传感器、数据处理单元和通信单元的微小节点,通过自组织的方式构成的无线网络。他借助于节点中内置的传感器测量周边环境中的热、红外、声纳、雷达和地震波信号,从而探测包括温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分、移动物体的大小、速度和方向等物质现象。

### 1 系统框架介绍

无线传感器网络系统框架如图 1 所示。

无线传感器网络主要负责探测一定区域内的各种情况,包括温度、湿度、噪声等,他主要由 3 部分组成:

(1) 汇聚节点:汇聚节点是无线传感器网络的中心节点,负责网络的发起,拓扑的形成与维护,网络数据的汇集与处理,与后台监控系统的通信与信息交互。

(2) 传感器终端节点:传感器终端节点主要负责网络的形成,数据的采集,并将数据通过多跳传输到汇聚节点。汇聚节点是传感器终端节点中能力较强的一种。

(3) 后台监控设备:后台监控设备负责数据的处理,网络拓扑的控制,网络的监护工作。

系统由一定数量的传感器网络终端节点、一个汇聚节点以及后台监控系统组成。为了探测一定区域,无线传感器网络需要在该区域内布置一定数量的传感器网络终端以达到对整个区域的覆盖,并且需要一个汇聚节点完成对

来自传感器终端数据的汇聚并且上传给后台监控系统,由后台监控系统完成数据的处理与控制。

传感器终端节点与汇聚节点能够自动形成一个自组织网、多跳的网络。传感器终端节点周期性或者触发式地采集数据,并将数据及时地通过自适应的路由,多跳中继后传输给汇聚节点。汇聚节点将汇集的数据转发给后台监控系统。后台监控系统通过对数据的处理与判断,下达对传感器终端节点的控制。

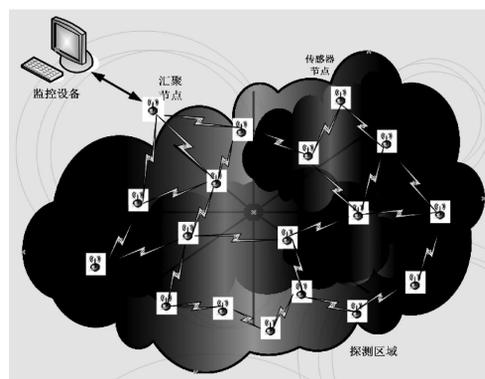


图 1 无线传感网示意图

### 2 无线传感器终端节点的硬件设计

#### 2.1 无线传感器网络终端节点的组成

无线传感器网络终端的结构如图 2 所示,由主控芯片 MSP430F1611 单片机、射频芯片 CC1100、RTC 芯片 DS1337、串口电压转换芯片 MAX3232 以及电源、各种传感器、各种控制器组成。

收稿日期:2006-09-13

基金项目:福建省重点科技计划项目(2005H041)

系统以低功耗为设计目标,所以硬件设计上均采用了同类产品中功耗最低或者较低的产品。

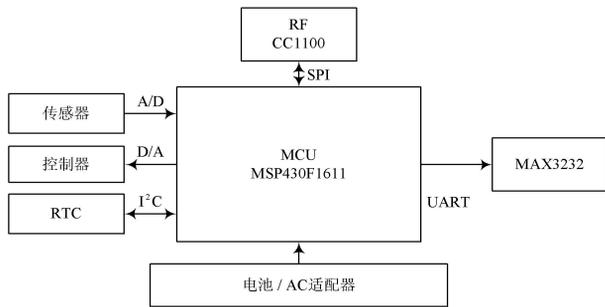


图2 无线传感器终端组成

## 2.2 主控模块介绍

主控芯片 MSP430F1611 单片机主要完成无线传感器网络中的组网协议、后台监控系统的下位机程序、传感器数据的采集、对控制器的控制、以及对实时时钟的操作以记录事件发生的时间。

MSP430F1611 是 Texas Instruments(德州仪器)公司推荐出高集成度、高精度的单芯片系统,是目前工业界中具有最低功耗的 16 位 RISC 混合信号处理器。具有极低的工作电压,在 1.8 ~ 3.6 V 之间均可正常工作;极小的功耗,在活动模式时,工作电流仅需 280  $\mu\text{A}$ ,在休眠模式下只需要 1.6  $\mu\text{A}$ ,在关闭状态仅仅需要 0.1  $\mu\text{A}$ 。MSP430F1611 具有丰富的外设,具有 8 路 12 位的 A/D, 2 路 12 位的 D/A 转换器,大大简化了系统的硬件设计,并提高了系统的性价比。MSP430 单片机内部具有 3 个时钟信号,包括 1 个高频时钟,1 个低频时钟和 1 个 DCO。灵活的时钟选择使得系统可以在最合理的时钟下进行工作,大大降低了系统的功耗,方便了系统的设计。MSP430 还有着丰富的外围接口,包括标准串口, SPI 接口, I<sup>2</sup>C 接口,方便连接多种设备。MSP30F1611 内部具有 10 kB 的 RAM 和 44 kB 的 FLASH,充足的存储空间,可以保证协议的正常运行,方便协议的设计与实现。另外 MSP430 具有中断唤醒功能,可以通过中断使单片机从休眠模式转为活动模式,非常适合于无线传感器网络的设计要求。

本系统采用了 2 个时钟,一个为 4 915 2 MHz 的高频时钟,用于活动状态下的信息高速处理,以及串口波特率的时钟源。另一个为 32 768 Hz 的低频时钟,用于内部定时器的时钟源,并且同时提供给实时时钟模块作为基准时钟。当系统处于活动状态时,采用高频时钟作为主时钟,可以缩短消息处理时间,减小数据包的延时。单片机处理完消息后转入低功耗状态,高步时钟关闭,此时低频时钟仍旧工作,并且提供给定时器作为定时时钟源,以保证不会因为进入低功耗而且定时器停止。采用两个时钟协调工作可以使单片机的功耗降得更低,使单片机在绝大部分时间内均处于低功耗模式下,大大降低了单片机以及系统的功耗。

## 2.3 射频模块介绍

射频芯片也采用了 Texas Instruments(德州仪器)公司的 CC1100 射频芯片,采用了 Chipcon 的 SmartRF04 技术和 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS 工艺,是一款多通道的 RF 收发器。CC1100 可以工作在 915 MHz, 868 MHz, 433 MHz, 315 MHz 四个波段。CC1100 工作电压范围宽,在 1.8 ~ 3.6 V 之间均可正常工作,完全可以采用电池供电。功耗极低,发送模式时,仅需 20 mA(视发射功率而定),接收状态时仅需 15 mA,同时有很高的接收灵敏度(-110 dBm/1.2 kb/s)。输出功率多级可调,可以选择多种调试方式,并且具有许多有用的功能:数据的自动组包与拆包、独立的发送/接收 FIFO、空闲信道评估功能、自动唤醒功能、RSSI 功能、自动的前向纠错(FEC)、交织以及白化功能。这些功能非常适用于无线传感器网络。

射频芯片与单片机采用了 SPI 接口连接,所有操作均通过 SPI 接口进行。系统工作在 433 MHz 的频率上,采用 FSK 调制方式,数据速率为 100 kb/s,信道间隔为 200 kHz。采用自动组拆包功能进行数据的发送和接收,节省了单片机的操作。

## 2.4 其他模块

传感器和控制器均可以采用多种模块,并且输入输出方式模拟和数字均可。若为数字模式,则可以用 MSP430F1611 直接控制,若为模拟方式,则可以采用 MSP430F1611 自带的 ADC 和 DAC 进行控制。

实时时钟模块采用了 MAXIM 公司的 DS1337。DS1337 有很宽的电压工作范围,可以工作在 1.8 ~ 5.5 V 之间,并且具有很低的功耗,在休眠模式下仅需要 1.5  $\mu\text{A}$ 。RTC 模块用于记录数据采集的时间,以便后台监控系统能够依靠采集时间对数据进行处理。

MAX3232 用于 RS 232 的电平转换,实现单片机与监控系统的通信。只有汇聚节点才需要 MAX3232,因为只有汇聚节点才会与后台监控系统相连。

## 3 无线传感器网络终端节点软件设计

无线传感器网络是一个多路的自组织无线网络,可以实现自动组网,自动路由查找,自动数据采集与传输,所以软件设计上必须能够实现多跳自组织的功能。另外,传感器节点必须要求极低的功耗,而低功耗除了硬件设计上的低功耗外,更重要的是软件设计的低功耗。

### 3.1 无线传感器网络终端软件的状态转换

无线传感器网络终端在开机后首先进行硬件的自检,如果自检失败,则进行硬件故障提示,而且自动关机。在自检通过后,进一步判断工作模式,如果节点是汇聚节点,则运行汇聚节点的工作模式,否则运行一般节点的工作模式。其示意图如图 3 所示。

汇聚节点在自检通过后便进入了汇聚节点工作模式,

也就是业务模式。汇聚节点一般是通过市电供电,不考虑功耗问题,故汇聚节点的射频模块始终处于活动状态,不进行休眠。汇聚节点在业务状态时要处理新节点的入网申请,网络的拓扑维护,数据的汇集与处理。

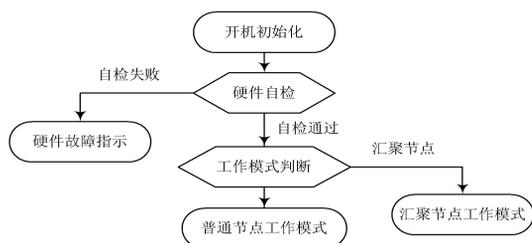


图 3 节点开机运行模式

普通节点的状态转换图如图 4 所示。节点在自检通过后进入接入状态,如果接入失败则进入等待状态。处于等待状态的节点关闭射频收发器以节省功耗,当等待定时器溢出时,节点再次回到接入状态进行新的接入尝试。如果节点接入成功便转入业务状态。处于业务状态的节点,完成数据的采集与传输,对邻节点数据的中继转发,新节点入网的接入确认等操作。节点为了实现低功耗,必须在业务状态(活动状态)与休眠状态之间进行轮换。节点被汇聚节点勒令退网后进入退网状态。

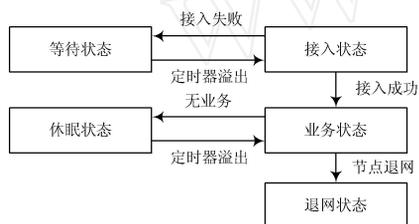


图 4 节点状态转换图

### 3.2 随机入网机制

接入过程如图 5 所示。新节点在进入接入状态后,首先广播时标申请信令。如果周围存在已入网节点,则向新节点回复时标帧。新节点在接收到周围节点回复的时标帧后,通过一定的机制从邻节点中选择一个较优的节点作为父节点,并向其发送接入请求。父节点在接收到新节点的接入请求后回复接入确认。通过 4 次的信息交互,新节点便可成功接入网络。

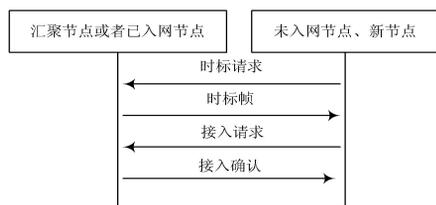


图 5 接入信息交互过程

### 3.3 数据的交互

普通节点与父节点之间采用基于收方主动的数据交互方式,具体的信息交互过程如图 6 所示。

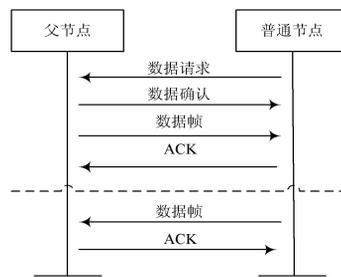


图 6 数据交互过程

当普通节点有数据要发送给父节点时,直接通过数据帧将数据发送给父节点,父节点在接收到数据帧后回复 ACK 以完成此次数据交互。当普通节点想从父节点接收数据时,普通节点向父节点发送数据请求帧,向父节点查询是否有数据要发送给自己。父节点在接收到数据请求帧后会回复数据确认帧给普通节点,以表明后继是否有数据帧要发送给普通节点。如果数据确认帧中表明父节点有数据要发送,则普通节点的射频收发器必须仍旧处于接收状态以便接收父节点的数据帧。在接收完数据帧后,普通节点向父节点回复 ACK 以完成此次的数据交互。

为了使传感器网络更加地可靠,延长整个网络的电池工作寿命,可以使网络中某几个节点采用市电供电,这样在组网时,软件会自动识别出市电供电的节点,并且在拓扑形成时会尽量以这几个节点为骨干形成网络。对于采用市电供电的节点,在软件设计上可以使这几个节点一直处于活动状态,而不进入休眠状态,其在网络中的作用相关于簇头。在这种拓扑结构下,采用收方主动的数据交互方式的优点在于:当普通节点有数据发送时才需要打开射频收发器,并可以在完成数据交互后立刻关闭射频收发器。普通节点还可以通过周期性地向父节点查询接收数据,在查询完毕后又可以立刻转入休眠状态。这样,由于进入活动模式的时间很短,一般一次活动只有几十 ms,而休眠时间可以设计的相对较长,一次休眠可以为 1 min 或者几十秒,所以活动时间的占空比很小,使得普通节点的功耗可以非常低,延长了电池的工作寿命。

### 3.4 系统消息处理

无线传感器网络终端节点在正常工作时,需要处理不同的消息。这些消息有 3 个来源:

- (1) 通过 SPI 接口来自射频 CC1100 的数据;
- (2) 通过串口来自后台监控的数据;
- (3) 单片机内部的定时器溢出事件。

单片机在接收到这些射频数据,后台命令或者定时器溢出事件后,将他们封装成统一的消息,而后放入消息队列,等待协议状态机的统一处理。无线传感器网络的软件核心为协议状态机,他是一个有限状态机结构,用于实现整个网络的组网,接入,数据传输,数据中继与路由发现等工作。消息处理过程如图 7 所示。(下转第 49 页)

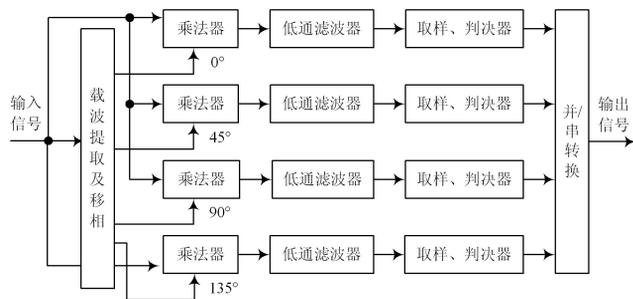


图 9 第五组信号的解调算法

#### 4 结 语

自软件无线电的概念被提出来以后,发展非常迅速,应用越来越广泛,软件无线电电台是其应用的重要方面。本文借助软件无线电的分层结构思想,设计了一种无线电电台系统结构,建立了计算机仿真平台,进行了计算机仿真,实验结果能够达到预期效果,软件无线电的一些思想和技术得到有力的验证。

#### 参 考 文 献

[1] Mitola J. Software Radios Survey, Critical Evaluation and Future Directions [C]. National Telesystems Conference (NTC - 92), 1992:13/15 - 13/23.  
 [2] Srikathyayani Srikanteswara, James Neel, Jeffrey H Reed, et al. Soft Radio Implementations for 3G and Future High

Data Rate Systems [J]. IEEE Communications Magazine, 2001:3 370 - 3 374.  
 [3] Mitola J. Software Radios Survey, Critical Evaluation and Future Directions. IEEE AES Systems Magazine, 1993:25 - 36.  
 [4] Srikathyayani Srikanteswara, Jeffrey H Reed, Peter Athanas, et al. A Soft Radio Architecture for Reconfigurable Platforms[J]. IEEE Communications Magazine, 2000:140 - 147  
 [5] Raymond J Lackey, Donald W Upmal. Speakeasy: The Military Software Radio [J]. IEEE Communications Magazine, 1995(5):56 - 61.  
 [6] Peter G Cook, Bonser. Architectural Overview of the Speakeasy System[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(4):650 - 661.  
 [7] Thierry Turetli, Hans J Bentzen, David Tennenhouse. Toward the Software Realization of a GSM Base Station[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(4):603 - 612.  
 [8] Thierry Turetli, David Tennenhouse. Complexity of a Software GSM Base Station [J]. IEEE Communications Magazine, 1999, (2):113 - 117.  
 [9] 陈启兴, 刘化海. 基于软件无线电的通信抗干扰装置的一种实用结构[J]. 舰船电子对抗, 2003, 26(3):24 - 25.  
 [10] 陈启兴, 周国忠. 面向解调的调制类型自动识别[J]. 光电工程, 2005(12).  
 [11] 陈启兴. 干扰环境下调制类型特征提取与自动识别[D]. 成都:西南交通大学, 2003.

作者简介 陈启兴 男,1968 年出生,博士研究生。主要从事软件无线电技术和信号处理方面的研究。

(上接第 45 页)

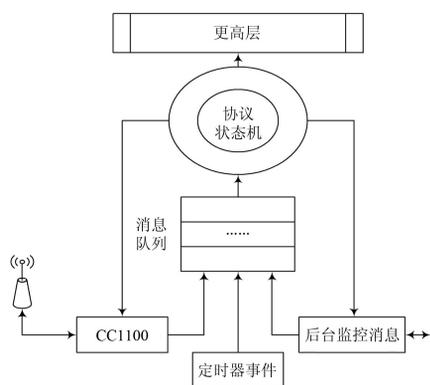


图 7 系统消息处理

#### 4 结 语

本文从硬件设计和软件设计两方面介绍了一种基于

MSP430F1611 和 CC1100 的无线传感器网络终端的设计方案,对各个模块进行了比较详细的介绍,对软件设计中的一些要点进行了分析。该方案已经通过实践证明可以实现自动组网,自动采集,自动路由查找等功能,并能具有极低的功耗,具有很高的实用价值。

#### 参 考 文 献

[1] IEEE 802.15.4 - 2003[S].  
 [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] 陈林星, 曾曦, 曹毅. 移动 Ad Hoc 网络——自组织分组无线网络技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.  
 [4] TSC - ZigBee - Specification 2005[S].  
 [5] 郑全全. 无线自组织网技术实用教程[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.

作者简介 陈根潮 男,1982 年出生,福建龙岩人,硕士研究生。主要研究方向为无线通信。  
 石江宏 男,1968 年出生,福建福州人,讲师。主要研究方向为无线通信。  
 金晓坤 女,1982 年出生,江苏徐州人,硕士研究生。主要研究方向为无线通信。