

基于Nios[®] II/s的 通用无线传感网络节点的设计

独 创 性 声 明

本人声明所呈交的论文是本人在老师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。

签名： 母杰 导师签名： 张翼德

日期： 2008-4-22

母杰 黄叶子 何太平 指导老师：张翼德
(国家抗干扰重点实验室)

Abstract: Wireless Sensor Network (WSN) is a network technology to realize territorial information collection with general applicability, which is typically based on wireless network communication. The paper took advantage of Nios®II processor, chips of AD7787 and cc2510, adopted innovative 3D IP address distribution as well as traditional technology of wireless network and MAC protocol, to realize a WSN model with some kind of universal property. To get improvement in the energy sources of nodes, we conceived of a bi-model power supply system using both micro-battery and the solar battery with solar charging.

Keywords : Wireless Sensor Network; IP Address 3D—Distribution; Solar Energy; Nios®II processor 802.11

摘要 :无线传感器网络是一项基于无线网络通信，在普适环境下可实现区域性信息采集的网络技术。本文基于Nios II系列32位RISC嵌入式处理器Nios®II CPU, 24位并行模/数转换芯片AD7787, 射频芯片cc2510,采用创新的三维IP地址分配法，结合传统无线网络技术和MAC协议，设计了一个通用性较强的无线传感器网络模型。同时利用太阳能和节点自身携带微型电池协同供电，太阳能充电的双模式供电法，在无线传感网络的能源问题上作出了改进。

关键词 :无线传感网络 IP地址三维分配法 太阳能 Nios®II processor 802.11

1. 引言

无线传感网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 是部署在监测区域内大量廉价微型传感器结点组成的, 通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织网络系统^[1], 其目的是协作地感知, 采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息, 并发送给观测者。该技术起源于 20 世纪 90 年代的美国, 经过十年的发展, 无线传感网络技术集成了传感器技术, 微机电系统, 现代网络和无线通信等技术, 跨越了计算机、半导体、嵌入式、网络、通信、光学、微机械、化学、生物、航天、医学、农业等众多领域, 相关技术已取得了长足的进步^[2-4]。美国商业周刊和MIT技术评论在预测未来技术发展的报告中, 分别将无线传感网络列为 21 世纪最具有影响的 21 项技术和改变世界的十大技术之一。

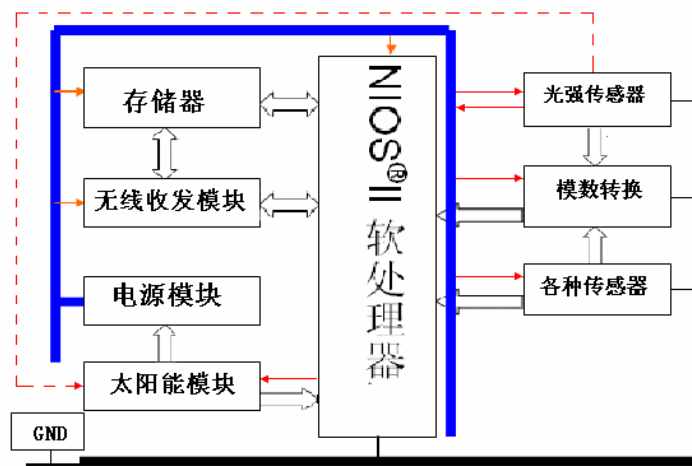
无线传感器节点通过飞机大量抛撒或人工固定布置在任意地点, 即便在恶劣的温度条件下, 也能迅速组成自组织网络, 同时传递出信息量丰富的信息。此过程中, 无线网络传感节点的研究就显得至关重要。随着科学技术的进一步发展以及人类对高质高效社会的进一步追求, 在原有基础上, 以现代高新技术为依托, 人们对无线传感网络技术的研究不断深入, 研究成果也层出不穷。

本文的项目从工程技术和基础理论两个层面出发, 重点对单个传感器进行了基本设计, 从整体上建立一个对环境具有普适性的通用无线传感网络模型。特别在节点 IP 地址分配方法和能源供应问题上作出了改进。

2. 系统构成

整个系统主要由传感器, Nios[®]II 处理器, 并行模/数转换芯片, 射频模块, 能源模块以及外围部件构成。由传感器监测区域内信息并采集数据, 并交由 AC/DC 进行数据转换; 处理器负责传感节点的总体操作, 处理本身采集的数据以及由其他节点发来的数据或控制信

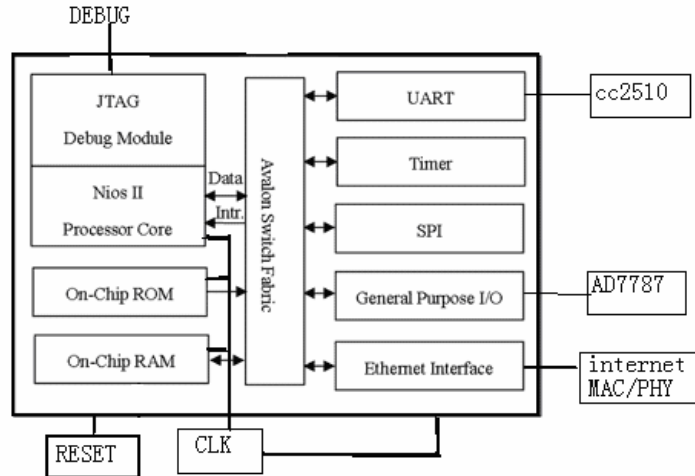
息；射频模块负责该节点与其他节点之间的无线通信，相互交换由汇聚节点或其他上层发来的控制信息和收发所采集的数据；拟用太阳能电池阵列与节点本身所携带的微型电池供电。



图一 无线传感节点系统框架图

2.1 Nios®II 处理器

Nios II系列32位RISC嵌入式处理器Nios II 嵌入式CPU支持32位指令集、32位数据线宽度、32个通用寄存器、32个外部中断源、2GB寻址空间，包含高达256个用户自定义的 CPU定制指令。其可选的片上 JTAG 调试模块是基于边界测试的调试逻辑，支持硬件断点、数据触发和片外片内的调试跟踪，具有的完全可定制特性、性能、较低的产品和实施成本、易用性、适应性和不会过时。由于处理器是软核形式，具有很大的灵活性，可以在多种系统设置组合中进行选择，达到性能、特性和成本目标。相比于市场的同类产品它具有非常多的优势。图二为Nios II的标准内核设计框图



图二 Nios II 标准内核设计框图

●高灵活性

Nios II 开发包含有一套通用外设和接口库，可以自己定制外设，使用 SOPC Builder，可以在 Altera FPGA 中，组合实现现有处理器无法达到的嵌入式处理器配置，每次都能得到所需的结果。

●丰富的外设、存储器 and 接口。

功能接口包含：外部三态桥接外部SRAM接口, UARTLCD接口, 用户逻辑接口,JTAG UARTC ,并行I/O,S8900 10Base-T接口, 系统ID,EPCS串行闪存控制器片内ROM, 直接存储器通道(DMA),紧凑闪存接口(CFI), 串行外设接口(SPI),SDR SDRAM ,片内RAM,LAN 91C111 10/100 ,有源串行存储器接口,以太网接口PCI,PCI DDR SDRAM CAN RNGUSB DDR2 SDRAM DES 16550 UARTRSA SHA-1 I2C10/100/1000 Ethernet MAC 浮点单元

●高速的数据处理能力

Nios II/s (快速) 拥有 5 级流水线，动态支路预测，可设置指令及数据缓冲，动态支路预测，Nios II 处理器定制指令扩展了 CPU 指令集，提高对时间要求严格的软件运行速度，从而能够大大提高系统性能。采用定制指令可以实现传统处理器无法达到的最佳系统性能。Nios II 系列处理器支持多达 256 条的定制指令，加速通常由软件实现的逻辑和复杂数学算

法支持固定和可变周期操作，其向导功能将用户逻辑做为定制指令输入系统，自动生成便于在开发人员代码中使用的软件宏功能。

●Avalon 交换架构

Avalon 交换架构的同时多主机体系结构提高了系统带宽，消除了带宽瓶颈（图 4）。采用 Avalon 交换架构，每个总线主机均有自己的专用互联，总线主机只需抢占共享从机，而不是总线本身。每当系统加入模块或者外设接入优先权改变时，SOPC Builder 利用最少的 FPGA 资源，产生新的最佳 Avalon 交换架构。Avalon 交换架构支持多种系统体系结构，如单主机/多主机系统，可实现数据在外设与性能最佳数据通道之间的无缝传输。

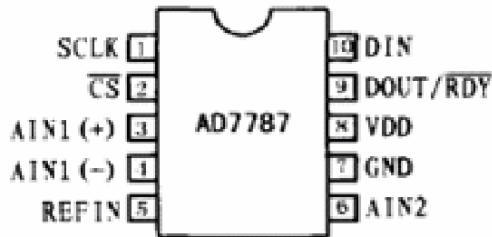
2.2 24 位并行模/数转换芯片 AD7787

AD7787是ADI公司推出的适用于低频测量的低功耗、低噪声、双通道、24位 $\Sigma-\Delta$ 模数转换器。它利用片内时钟电路工作，因而无需用户提供时钟源。AD7787的数据输出速率可由软件设置，这一特性使其转换速率可在9.5Hz~120Hz之间变化。该芯片采用10脚MSOP封装（图三），非常适合用于需要高分辨率、低功耗的便携式仪器、温度测量、传感器测量、称重仪等。

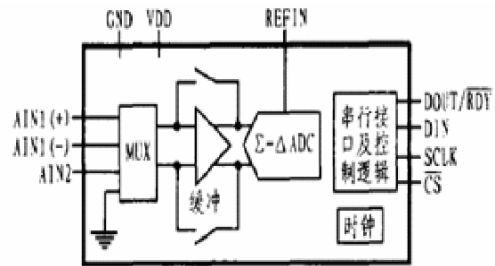
AD7787的主要特点如下：

- 可在2.5V、~5.25V电压范围内工作。正常模式下的最大工作电流为75 μ A，掉电模式下为1A；09.5Hz转换速率下的RMS噪声为1.1V；
- 22位有效分辨率时的峰峰值分辨率为19.5位；
- 内部非线性度：3.5ppm；
- 具有50Hz和60Hz同步抑制功能；
- 具有内部时钟振荡器和VDD监控通道；

- 内含轨至轨输入缓冲器；
- 带有三线制串行接EI，与SPI、QSPI、MI . CROWIRE及DSP兼容；
- 工作温度范围为-40~+105°C。



图三 AD7788 的引脚排列



图四 AD7787 的内部结构框架图

AD7787 内部（图四）集成了一个 $\Sigma-\Delta$ 调制器、一个缓冲器和一个片内数字滤波器。

数字滤波器的主要功能是提供正常模式抑制。在 16.6kHz 默认转换速率条件下，它能提供 50Hz 和 60Hz 的同步抑制。AD7787 采用内部时钟电路工作，因而无需外接时钟源。时钟频率以 2、4、8 因子分频后应用于调制器和滤波器，从而可降低芯片的功耗。当采用 5V 单电源供电、缓冲器使能且时钟以最大速率工作时，AD7787 的功耗电流最大仅为 160uA。

2.3 射频芯片 cc2510

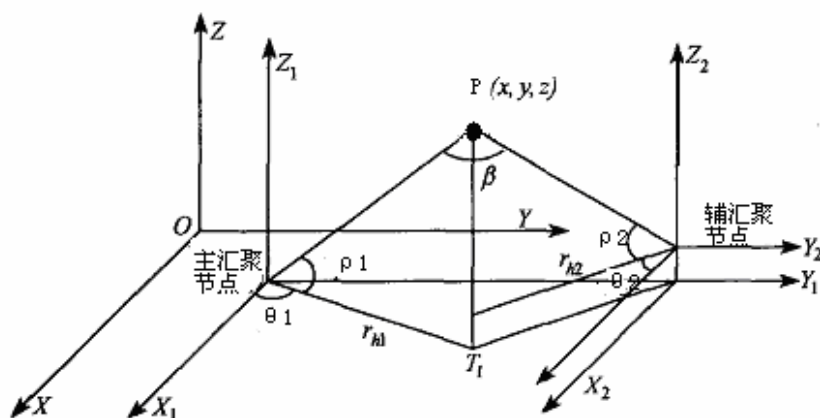
CC2510 是 Chipcon 公司推出的一款 2.4GHz 射频芯片，该器件成本低，包含 UHF RF 收发器和高性能低功耗 8051 微控制器，集成了 32 KB 在系统可编程 Flash 和外设内嵌 4 KBSHAM。CC2510 功能强大，拥有 128 位 AES 安全协处理器和 DMA 功能；系统时钟是 16MHz 片内 RC 振荡器或 26 MHz 晶体振荡器，实时时钟采用低功耗 32.768 kHz 晶体振荡器或内部 34 kHz RC 振荡器；具有高灵敏度(10 kb/s 下为-100 dBm)和较高的接收灵敏度和阻塞功能，支持 2-FSK, GFSK 和 MSK 等调制方式；支持数字 RSSI/LQI，工作电压 2.0

V~3.6V；具有 21 个通用 I/O 接口、两个 UART/SPI 接口和可编程看门狗计时器，片内有 1 个 16 位定时器和 3 个 8 位定时器，真正的随机号码发生器，支持硬件调试，有两个数据指针。

3. 设计思想

3.1 节点的定位

在普通的IP网络中，IP地址都是直接分配给每个接入网络的节点，IP地址分配采用手动分配或动态分配(比如：DHCP)。在一个大范围的传感器网络中，采用手动分配IP的方法显然不可行，而采用动态分配IP的方法在通信方面开销又太大^[6]，同时文献[6]给出了一种三维基于笛卡尔坐标系的IP分配方法，但本身实行起来不好操作，而且由于无线电波距离有限，精度不是很理想。本文设计了一种全新的IP地址三维的分配方法，节点用球坐标表示，通过三角定位法^[8]将汇聚节点（一个主汇聚节点与一个辅助汇聚节点）和目标均看作三维空间的点，那么由方位角、俯仰角可以确定一条源自汇聚节点经过目标的视线(line of sight, LOS)，计算出与主汇聚节点与汇聚点之间的距离（图五）按照IP:(127.r.p.θ)就可以唯一节点了。



图五 IP地址的三维分配及三角定位示意图

此处涉及了一个转换问题，将 θ 的 0° -- 360° 转换为0-255，即将 360° 划分为256等份，以次近似来确定位置，而 ρ 的0——180转换为0——255，即将 180° 分为256等份，其范围为0—255. 设汇聚节点的有效传输距离为 r ，在此把0— r 划分为256等份，即精确度大到了 $r/256$ 。所以IP空间为127.0.0.0——127.255.255.255 可以有 2^{24} 个节点,充分利用处理器2GB的寻址空间，大大的提高了可以容纳节点的数量。

3.2 节点的供能

由于在无线传感网络中传感器节点数目往往比较庞大，且分布广，环境复杂，若由人工定期为节点更换电池不仅会消耗巨大的人力物力，在有些工程实践环境下甚至是不可实现的。本项目拟用太阳能与电池共同来提供电源。所采用的太阳能电池采用光—电直接转换方式。

太阳能电池是一种由于光生伏特效应而将太阳光能直接转化为电能的器件，是一个半导体光电二极管，当太阳光照到光电二极管上时，光电二极管就会把太阳的光能变成电能，产生电流。当许多个电池串联或并联起来就可以成为有比较大的输出功率的太阳能电池方阵了。太阳能电池是一种大有前途的新型电源，具有永久性、清洁性和灵活性三大优点.太阳能电池寿命长，只要太阳存在，太阳能电池就可以一次投资而长期使用；与火力发电、核能发电相比，太阳能电池不会引起环境污染；太阳能电池可以大中小并举，大到百万千瓦的中型电站，小到只供一户用的太阳能电池组，这是其它电源无法比拟的。

当太阳能十分充足的时候，由太阳能为节点提供能量。并同时为电池进行充电并储存在电池内。自带电源为在无光的情况下使用，利用太阳能所存储的电能为节点供电。

采用此太阳能的优点在于：小巧便捷，安装方便，功率强大，持续性强，环保节能。

3.3 工作原理

- 链路层 MAC 协议

汇聚节点接收传感器采集的信息，进行处理或者转发。通信协议采用的是无线局域网 802.11 标准，MAC 子层基于分布协调功能 (Distributed Coordination Function ,DFC) ,使用 CSMA/CA 控制协议,并以物理信道侦听与虚拟信道相结合方式，使载波侦听更为有效。采用此标准，从而与以太网有很好的兼容性。

本设计采用IEEE的 802.11 标准的MAC帧格式 (如表一) [5]

FC	Dur/id	Addr1	Addr2	Addr3	sc	Addr4	帧 体	FCS
----	--------	-------	-------	-------	----	-------	-----	-----

表一 802.11 标准的 MAC 帧格式

FC:帧控制字段。

Dur/id：持续时间字段。

Addr1-Addr4:地址字段，随帧类型不同而最多可达 4 个地址段。

SC：序列控制字段。

帧体：MAC 帧中封装的内容，可以是 MSDU 及 WEP 控制信息等

FCS:帧校验序列，根据 CRC-32 多项式的生成

尽管在 802.11 MAC 协议基础上，出现了针对传感器网络的节省能量的需求而提出了 S-MAC 传感器网络 MAC 协议，以及在 S-MAC 协议的基础之上提出的 T-MAC 协议。但是

S-MAC 协议假设通常情况下传感器网络的数据传输量少，采用周期性侦听/睡眠的低占空比工作方式，其周期长度受限于延迟要求和缓存大小，活动时间主要依赖于消息速率。由于消息速率的时变性，当负载动态较小时，节点处于空闲侦听的时间大大增加。T-MAC 协议虽然针对 S-MAC 协议进行了改进，根据当前的网络通信情况，通过提前结束活动周期来减少空闲侦听，但是带来了“早睡”问题。T-MAC 协议的适用场合以及对网络动态拓扑的适应性都需要进一步的研究。因此，在本文项目实现上，仍然采用传统的 802.11 MAC 协议，并在其基础上，考虑建立可供配置的子协议，以实现多种协议的自适应选取以及协议参数的自适应选择，形成支持任务协调控制的无线传感器网络分布自治系统。

- **网络层 IP 协议**

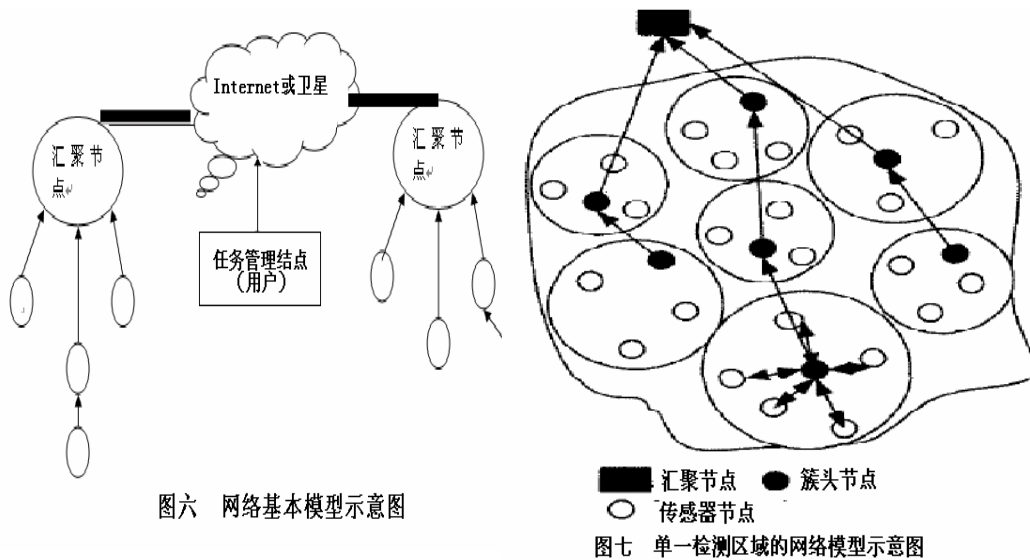
本项目仍采用基本的在 IEEE 802.11 标准中定义的 WLAN 使用的参考模型。网络协议栈划分为物理层，数据链路层，网络层，传输层，应用层。由于无线传感器资源的不确定性，为达到任务合理分配，资源的有效控制和优化，在网络协议栈中还需引入移动管理平台和监测管理平台。

移动管理平台能够定时检测到节点的移动，并提供相关的认证关联服务，及时调整监测区域内网络的相应配比；监测管理平台能在监测区域内对节点任务进行平衡合理的调整，适时调整调度监测任务。这些平台的引入，可以使传感器节点更高效地协同工作，平衡负荷，在不稳定的网络节点分布中相对稳定地交互数据，共享资源。

- **网络总体工作原理**

无线传感网络节点数以万计，节点之间松散耦合，构成了一个高复杂性的系统（图六）。由于传感器节点的位置不能预先精确设定，节点之间的相互邻居关系预先也不能相互告知，

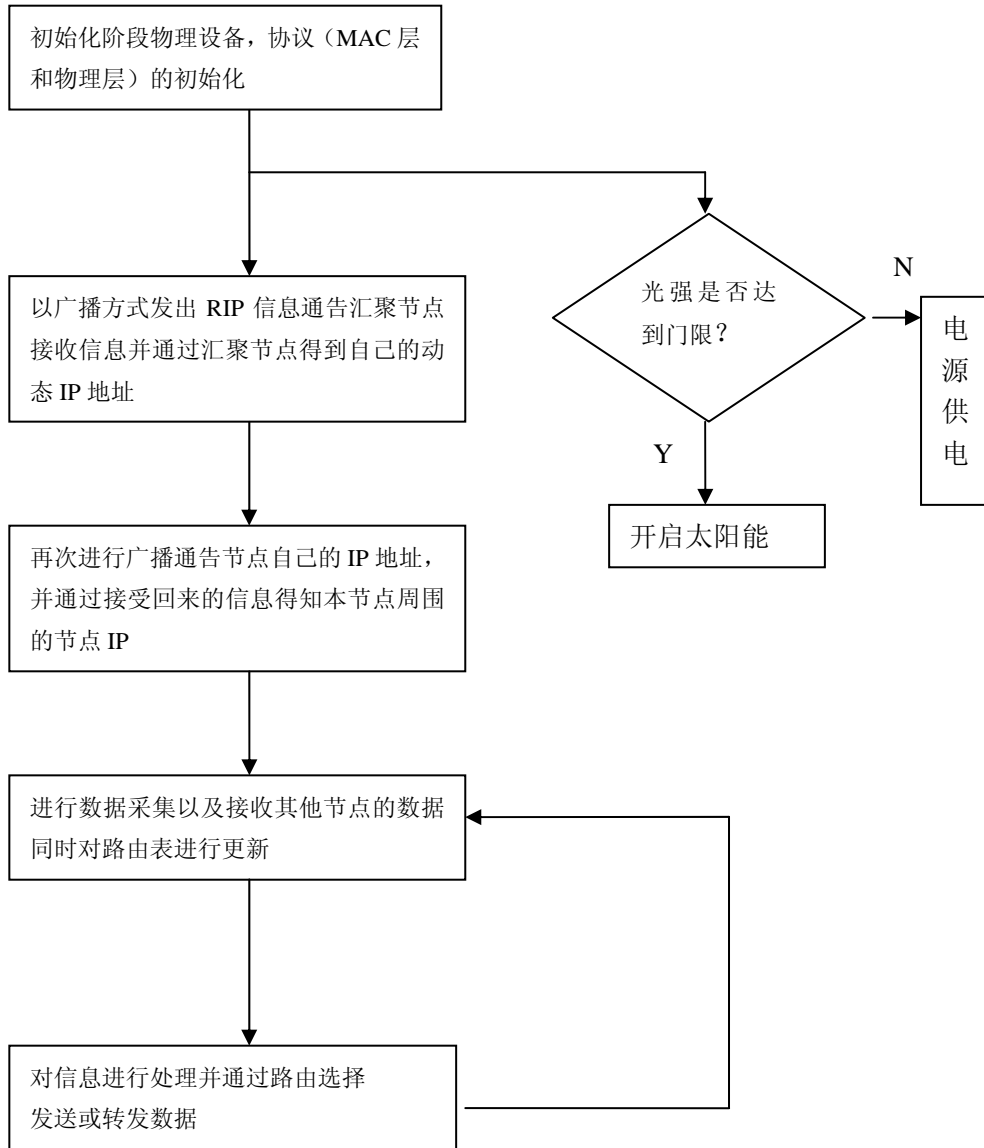
这就要求传感器节点具有强大的自组织能力,通过拓扑控制机制和网络协议,自动形成转发监测数据的多跳无线网络系统。从网络功能上看,每个节点除了进行本地信息和数据处理外,还要对其他节点转发来的数据进行存储,管理和融合等多项处理,同时相互协同完成一些特殊的任务。因此,节点是无线传感网络建模的重点。



同一观测区域内的节点之间进行无线通信(图七)。各传感器节点采集外部环境信息,或该节点接收到由其他节点发来的数据,由其本身的处理器进行存储转发处理,并交由相应簇头节点处理,形成由簇头节点为中心的子网络。簇头节点把跟它关联的传感器节点的信息融合后,根据汇聚节点发来的控制信息,针对实现的不同功能,采取相应的路由算法,最终将采集到的数据发送到汇聚节点进行汇总处理。引入簇头节点的优点是可以将一定数量的节点发来的数据信息融合后,再一次性交由汇聚节点,降低了整个系统收发信息的代价,提高了系统的效率,同时降低系统功耗,节约能源。

汇聚节点知道其附近的所有节点的IP(即位置),汇聚节点通过汇聚接入更大的汇聚节点,汇聚节点与远汇聚节点之间的通信,通过INTERNET即802.3协议完成,由于有相同网络层与链路层,所以彼此兼容。

3.4 程序设计流程图 (图六)



图六 程序设计流程图

4. 系统性能特点

基于 Nios II 系列 32 位 RISC 嵌入式 Nios®II 处理器的无线传感网络, 采用全新的三维 IP 地址分配方法, 将节点编号与节点位置绑定, 动态分配 IP 地址, 有利于汇聚节点对收到数据的节点来源能更好的定位。另外, 由于传感器节点的体积微小, 通常只有携带能量十分有限的电池, 故本文考虑加入太阳能进行协同供电, 并可由太阳能对节点携带电池进行充电,

从能源上提高了节点的寿命和稳定性。

5 结语

在 IT 技术大行其道的 21 世纪，作为当今 IT 热点之一的无线传感网络的应用已渗透到人类生产生活的各个方面，可以说是风靡全球。无论是在军事上还是民用上，无线传感网络都占据着越来越重要的地位。伴随无线自组织网络的发展以及各种新的能源解决方案提出与使用，无线传感网络必将得到更广泛的应用。但是，我们更应该认识到，相对于其他网络技术，无线传感网络技术的探索和研究才刚刚起步，它的很多方面还有待进一步完善。要想让无线传感网络发展成为一个更为健全的领域，无论硬件设计，软件设计，通信协议，还是实际应用实践，都还有一段很长的路要走。

参考文献

- [1] Chong C Y, Kumar S P . Sensor networks . Evolution , opportunities and challenges[J] . Proceedings of the IEEE , 2008 , 91(8) : 1247—1256 .
- [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] Ye W , Heidemann J , Estrin D . An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks[J] . IEEE Info Com , 2002 , 3(6) : 1567—1576 .
- [4] CHANG C—K , HUAN G J . Video surveillance for hazardous conditions using sensor networks[c] , / Proceedings of the IEEE International Conference on Networking , Sensing and Control . Taipei , Taiwan . NJ : IEEE Press , 2004 : 1 008—1 013 .
- [5] 雷维理，马立香等 《局域网与城域网》 . 成都：电子科技大学 2007.
- [6] 邱 贇，张 颖 TCP / IP在无线传感器网中的应用研究

[7]景占莱等 三角定位测量参数选择研究