

具有自适应通信能力的无线传感网节点设计

付耀先, 何洪路, 刘海涛

中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海200050

2008-03-10

摘要: 具有自适应通信能力的无线传感网节点的系统设计方案, 实现了具有环境适应性、灵活高效、小体积低功耗的传感节点。

关键词: 无线传感网 自适应通信

无线传感器网络(WSN)是由大量无处不在的、具有通信与计算能力的微小传感器节点密集布设在无人值守的监控区域而构成的能够根据环境自主完成指定任务的智能自治测控网络系统, 可广泛应用于航天、航空、国防、电力、能源、环境、医疗、灾难预警、空间探索等领域。2003年, MIT技术评论在预测未来技术发展的报告中, 将其列为改变世界的十大新技术之一。一般情况下, WSN节点采用随机散布的方式, 且存在着功耗受限、通信能力受限、计算能力受限、存储能力受限等问题, 因此对设计提出了较高要求。

WSN的应用环境多样, 存在所接前端探测器不相同、布设环境不一样的可能。特别在随机布设时, 各个节点所处的位置及相隔的距离无法预先确定。探测器的不同及对数据处理方式不同, 产生的数据量可能不同。同时, 布设的环境可能为城区、郊区、山地等不同环境。要在多变的传输需求和环境下实现良好的通信, 传感网节点必须具有良好的环境适应性, 即可以通过调整自身的通信参数满足不同传输要求。因此需要WSN节点具有相当的灵活性。

目前在WSN节点的设计上, 大多将信息处理模块与通信模块隔离开来, 分别采用不同的硬件进行处理, 通信模块基本采用现有成熟产品。这样设计的系统, 缺乏整体考虑, 难以在体积功耗上进行最小化的设计, 且由于通信模块固定, 不能同时适应具有不同传输数据量、不同传输速率和不同误码率要求的系统。而这些条件是WSN中是应满足的常见要求。

本文给出基于整体性能优化、具有相当灵活性、能够满足自适应通信要求的WSN节点实现方案, 并就能耗与通信的适应性进行分析。

1 工作环境与通信体制

在考虑传感器节点的通信方式前, 需要首先考虑传感器的布设环境。传感器节点间一般通过无线方式进行信息交互; 传感器节点的布设环境多为近地环境, 直达的视距信号较少, 多为衍射或折射后到达的信号, 存在较多的多径干扰; 传感网的布设具有不定性, 节点间距离不一定相等; 传感器节点间的信息交互量较少。同时, 由于传感器节点大规模散布, 需要减少对其他系统的干扰并提高自身抗干扰能力, 并具备信息安全保密功能。

由于直达的视距信号较少, 需要采用能有效利用多径方式实现通信。扩频通信体制能很好地适应多径传输环境, 且可通过扩频增益的更改调整自身通信灵敏度, 在距离近时能提高传输速率减小信息碰撞, 在距离远时能通过有效提高灵敏度的方式来实现和其他节点的通信及自适应通信, 同时考虑到信息保密安全的问题, 采用直接序列扩频通信体制作为WSN的主要通信方式。由于信息交互量较小, 且系统无中心节点, 所以适合采用异步通信体制。

由于WSN的应用环境不定, 电磁环境中可能存在固定频点干扰, 因此设计的系统要求能在多个频点上跳转工作, 对存在干扰的频点可实现干扰避免。

系统采用扩频通信方式时, 发射信号为:

$$S(t) = N(t)D_1(T)\cos(2\pi ft) + N(t)D_2(T)\sin(2\pi ft) \quad (1)$$

其中: $N(t)$ 为伪随机码, $D_1(T)$ 和 $D_2(T)$ 为待传送数据, $\cos(2\pi ft)$ 和 $\sin(2\pi ft)$ 为调制载波信号。 t 为时间单元, T 为码元持续时间, f 为载波频率。

为满足自适应通信需求, 在系统设计中, 要求 T 和 f 可调。

当 $T=Mt$ 时, 扩频增益为 $A=10\lg_{10}M$; 当 $T=t$ 时, 扩频增益为0, 此时数据传输速率最高; 当 $T=13t$ 时, 扩频增益为11.1394dB, 当 $T=1023t$ 时, 扩频增益为30.1030dB。

设在 $T=t$ 时系统灵敏度为 $SNR=-SdB$, 则当 $T=Mt$ 时, 系统灵敏度为 $SNR=-(S+A)dB$ 。

f 的变化带来传播损耗的变化, 频率越低, 传播损耗越小, 绕射性越好。当需要进行远距离传输或接收端无法建立联系时, 可以将发射频率降到最小。

2 系统设计

在进行系统设计时充分考虑到系统的硬件体积功耗, 实现硬件功能软件化及复用, 同时尽量降低设计复杂度。本设计中的WSN节点可实现传感探测信息处理、协议控制、处理后的信息发送及接收等功能, 其硬件平台组成如图1所示。该硬件平台采用DSP作为主要的信息处理平台及系统运作控制器, DSP软件存储于FLASH中(包括协议控制模块、信息处理模块和通信处理模块等), 通过DSP启动相应的硬件电路及调用不同的软件模块来实现系统功能。

Nios II 嵌入式处理器 设计大赛2007

优秀作品 > 立即下载



- 德州仪器诚邀公众大胆畅想...
- Altera中国大学生电...

热点专题

- 中国电子学会Xilinx杯开放源码硬件创新大赛
- 赛灵思公司Virtex-5系列FPGA
- 3G知识
- IPTV
- 触摸屏技术
- RoHS

杂志精华

- 基于CC2430的无线传感器...
- 无线传感器网络应用系统综述
- 无线传感器网络在野外测量中的...
- 基于竞争的无线传感器网络
- 用于矿井环境监测的无线传感器...
- 具有自适应通信能力的无线传感...
- 基于传感器网络技术的深孔测径...
- 基于无线传感器网络的家庭安防...
- 基于ATmega128L与C...
- 无线传感器网络中移动节点设备...

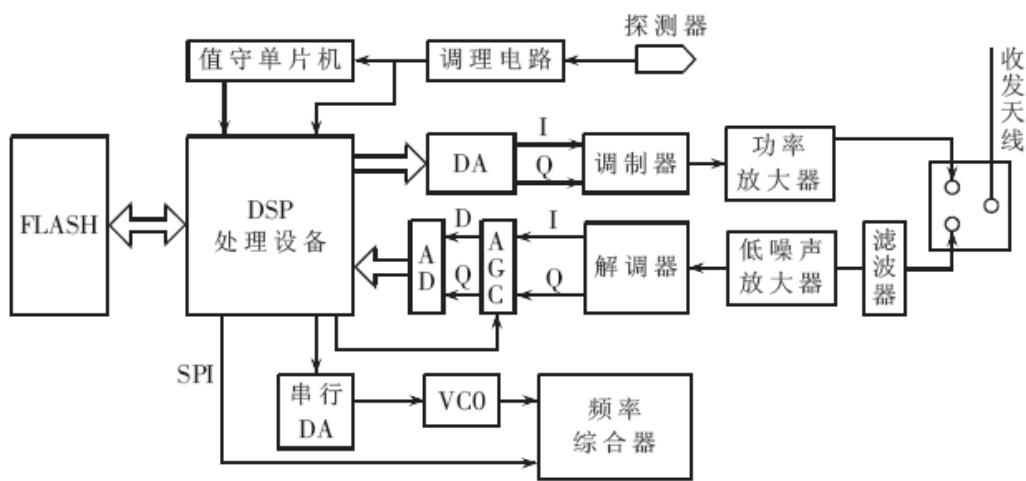


图1 系统硬件结构

协议控制模块为主运行模块，根据约定的流程实现硬件电路的调用控制、参数更改及信息处理和通信处理软件模块的协调调用、参数更改，使软硬件配合实现整个系统功能。

信息处理模块和探测器、调理电路及值守单片机组成信息处理单元，完成传感信息的探测、模式识别分析、融合处理及目标报警等功能。探测器将探测到的模拟信息通过调理电路的信号放大，模数转换后送至单片机进行预处理；单片机进行初步的处理分析，发现信号后给DSP中断；DSP收到中断后启动相应的处理程序进行进一步的信号处理分析，对目标的有无及目标种类进行确切分析。分析确认目标后给协议控制模块中断信号，以提示报警。

通信处理模块和外围的射频电路及相应的辅佐器件组成通信单元，包括发射和接收两大部分。系统采用零中频方案，将频率较高的处理放在模拟器件中完成，可以降低AD、DA采样频率，减少数字运算工作量，达到节省功耗的目的。在射频模块中采用一次上变频和一次下变频的处理，可以减少系统复杂度，节省硬件体积。在收发切换上采用电子开关进行时分双工，收时不发，发时不收，可以有效减小系统体积，且和协议配合实现通信功能时可节省功耗。射频的频率合成器可对收发频率进行设置，实现多个频点的信息收发。需要注意的是，由于该系统前端滤波处理抑制度不够，故可能存在较多的大信号干扰，这对AD器件的转换精度提出了较高的要求，同时为达到较好的效果，需要在DSP内进行数字滤波。DSP可对AGC和VCO进行控制，实现对信号幅度及本地载波频率相位的调整。

系统将整个时间段划分为目标探测时间段、发射时间段和接收时间段。各个节点处于发射和接收态的时间不同，具体时间根据协议约定结果进行设置。通常，处于信息中转的节点在其他节点处于发射态时需处于接收态，且大多数时间处于接收态，同时可以根据系统布置的密度和需要进行接收及发射的时间设置。

各个节点收发时间的交错可减少系统冲突的概率。设传感网中8个节点均与Sink节点通信，则Sink节点和其他节点的状态设置如图2所示。

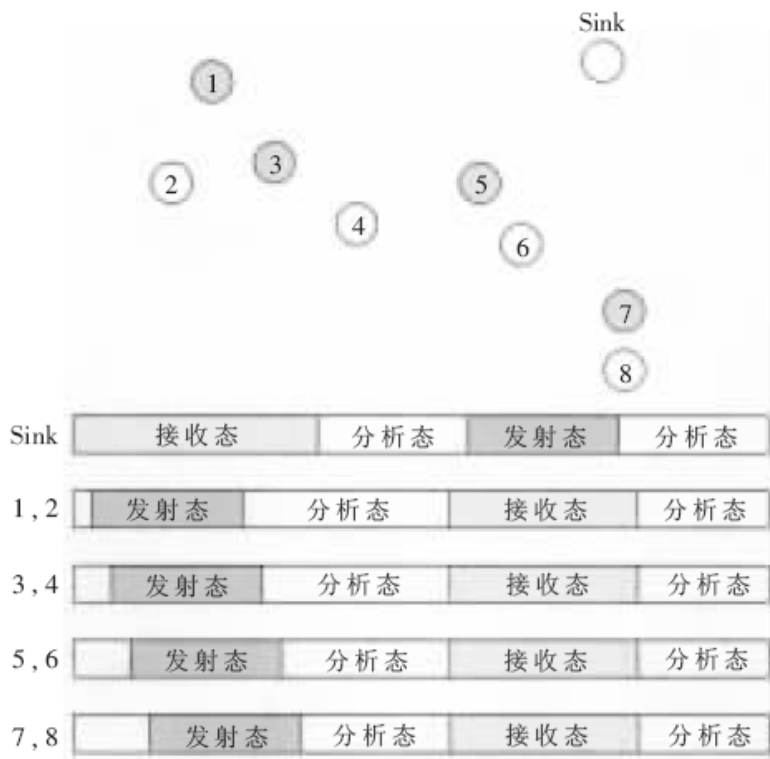


图2 节点布设示意与状态转换时间

当Sink节点处于发射态时，所有节点均处于接收态；反之，当所有节点处于发射态时，Sink节点处于接收态。根据系统设定，将节点划分为不同的簇，不同簇间节点的发射时间可以互相交错，其提前或滞后时间为一个常见信息帧的发送时间。这样在一簇节点仅有一个信息上传时，基本可以实现时分，从而减少信息冲突。

系统工作状态如图3所示。

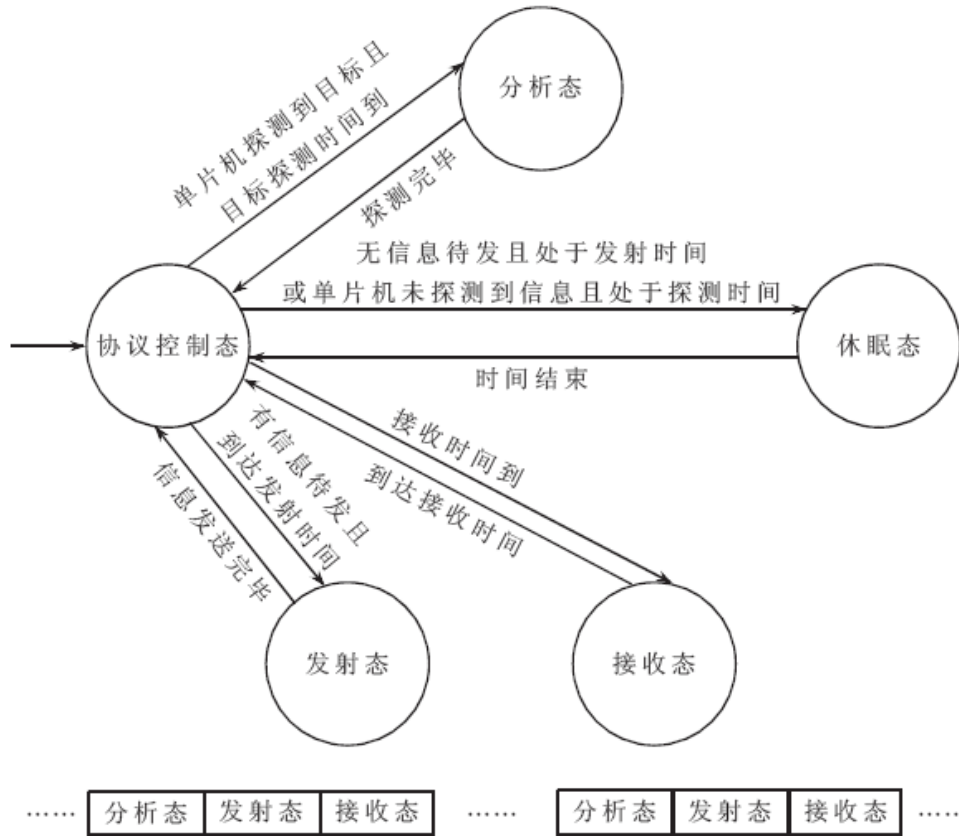


图3 状态转换示意图

系统开机后，首先进入协议控制态，协议控制态根据约定流程进行状态转换，并将单片机探测目标中断优先级设置到最高，一旦该中断触发，即通过硬件DMA将数据信号送入RAM中存储，等待处理。当发射时间片到时，协议控制模块检测是否有信号待发送。如无，则进入休眠态；如有，则进入发射状态，发射完后返回协议控制态；如仍处于发射时间段，协议控制模块控制转入休眠态。当接收时间片到，系统进入接收态，随时进行信号的接收，直至接收时间片结束为止。当进入目标探测时间片时，对存储的数据进行处理，分析是否存在信号，并将分析结果上报给协议控制模块。

主要的自适应通信模块处于DSP中，其软件功能实现如图4所示。

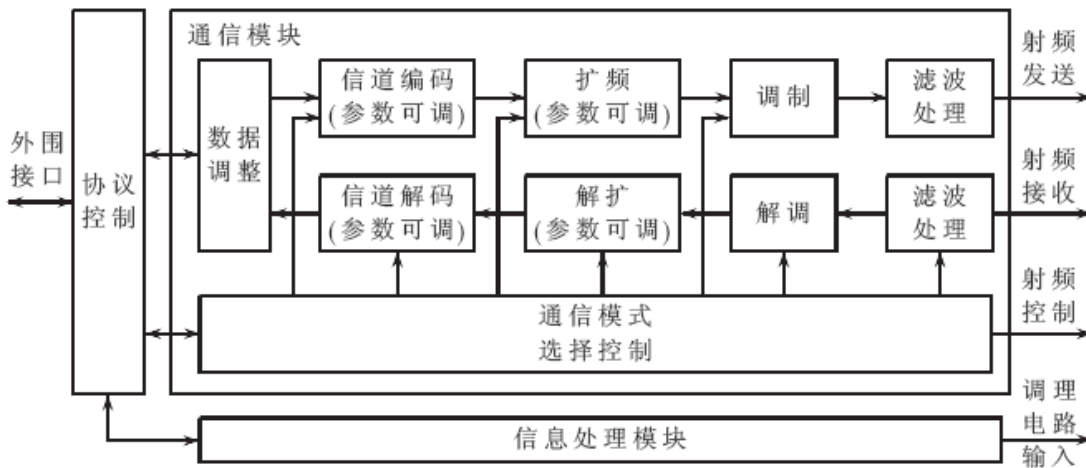


图4 软件功能示意图

通信模块采用直接序列扩频方式，可通过扩频增益的更改来获得不同的灵敏度，以满足不同数据速率及传输距离的要求。扩频码为0~1 023位的Gol d码，扩频增益存在30dB的差别，更高的扩频增益意味着更高的灵敏度和更远的传输距离。

信道编解码模块参数可调整，根据系统接收效果设置不同的参数。当对信息误码率要求不高、而对信息的传输速率要求较高时，可视传输信道情况适当降低信道编解码的纠错能力，反之则可提高。

调制方式采用QPSK/OQPSK。发射滤波处理为对信号进行成型滤波，接收滤波处理为相应的匹配滤波。

3 主芯片器件性能及能量管理

选用Blackfin n533作为主要的数字处理器件。Blackfin系列DSP是美国模拟器件公司（简称ADI）基于微信号体系结构的DSP，是专为满足嵌入式音频、视频和通信应用的计算要求和功耗约束条件而设计的16到32 位嵌入式处理器。它将一个32 位RISC型指令集和双16位乘法累加(MAC)信号处理功能与通用型微控制器所具有的易用性组合在一起，能够同时满足信号处理和微控制应用的需求，从而极大地简化了硬件和软件设计。其处理速度快（ADSP-BF533处理速度可达750MHz）、功耗低的特点更适合WSN应用。

同时，Blackfin 处理器基于一种选通时钟内核设计，可按照逐条指令选择切断功能单元的电源。通过内部的动态电源管理模块对工作频率和电压进行独立控制，以满足正在执行的算法性能要求。这些转换可以在一个 RTOS(实时操作系统)或用户固定的控制之下连续出现。大多数 Blackfin 处理器都提供了片上内核稳压电路，并可在低至0.8V的电压条件下工作，因而特别适合于需要

低功耗的便携式应用。

降低工作频率后，能量节省因子可表示为：

$$\frac{f_{\text{CCLKRED}}}{f_{\text{CCLKNOM}}} \times \left[\frac{V_{\text{DDINTRED}}}{V_{\text{DDINTNOM}}} \right]^2 \times \left[\frac{T_{\text{RED}}}{T_{\text{NOM}}} \right] \quad (2)$$

f_{CCLKRED} 为降频后的时钟频率， f_{CCLKNOM} 为正常状态下的时钟频率， V_{DDINTRED} 为降频工作后的电压， V_{DDINTNOM} 为正常状态下的电压， T_{RED} 为降频后工作时间， T_{NOM} 为正常状态下的工作时间。

Blackfin处理器支持的转换状态如表1所示。

Blackfin533在各种不同状态下的功耗如表2所示。其中， I_{DDTYP} 为典型应用情况下的电流， I_{DSSLEEP} 为休眠状态下的情况，

$I_{\text{DDDEEPSLEEP}}$ 为深度休眠状态下的情况， $I_{\text{DDHIBERNATE}}$ 为关掉电源管理后的电流（ $V_{\text{DDEXT}}=3.65\text{V}$ ， $V_{\text{DDINT}}=0\text{V}$ ）， I_{DDRTC} 为 $V_{\text{DDRTC}}=3.3\text{V}$ 时测得的电流。

电压标志含义如表3所示。

表 1 Blackfin 支持的状态

Mode	PLL	PLL Bypassed	Core Clock (CCLK)	System Clock (SCLK)	Core Power
Full-On	Enabled	No	Enabled	Enabled	On
Active	Enabled/Disabled	Yes	Enabled	Enabled	On
Sleep	Enabled		Disabled	Enabled	On
Deep Sleep	Disabled		Disabled	Disabled	On
Hibernate	Disabled		Disabled	Disabled	Off

表 2 Blackfin533 在不同状态下的功率消耗

Parameter	Test Conditions ²				Unit
	$f_{\text{CCLK}}=50\text{MHz}$ $V_{\text{DDINT}}=0.8\text{V}$	$f_{\text{CCLK}}=400\text{MHz}$ $V_{\text{DDINT}}=1.14\text{V}$	$f_{\text{CCLK}}=500\text{MHz}$ $V_{\text{DDINT}}=1.2\text{V}$	$f_{\text{CCLK}}=600\text{MHz}$ $V_{\text{DDINT}}=1.2\text{V}$	
I_{DDTYP}^3	26	150	190	220	mA
I_{DSSLEEP}^4	16	35	37	37	mA
$I_{\text{DDDEEPSLEEP}}^4$	14	29	31	31	mA
$I_{\text{DDHIBERNATE}}^5$	50				μA
I_{DDRTC}^6	30				μA

表 3 能量域

Power Domain	VDD Range
All internal logic ,except RTC	VDDINT
RTC internal logic and crystal I/O	VDDRTC
All other I/O	VDDEXT

4 系统性能分析

下面从自适应通信和传输距离的关系及能耗两个方面来分析系统的性能。

(1) 系统路径损耗与传输距离/传输频率的关系

系统仿真参数设置为：

最大扩频增益：30dB

射频频率变化范围：200MHz-2GHz

发射机天线高度：5m

接收机天线高度：2m

最高速率时系统灵敏度：80dB

具有代表性的传播为自由空间传播和近地传播。首先观察在自由空间传播中的情况。

设原有系统的灵敏度为-80dB，传输频率为400MHz，在增加30dB的扩频增益后，在自由空间中传输距离可增加近20km。且频率越高，这种增长的趋势越明显。

以Hata模型为例说明在其他环境下的对比情况。Hata模型是根据Okumura曲线图所作的经验公式，频率范围为150MHz-1500MHz，以市区传播模型损耗为标准，其他地区在此基础上进行修正，适用于半径超过1km的大区域移动系统。

设系统工作频点为400MHz，则在不同环境下，系统的损耗与传输距离关系如图5所示。在城区环境下，系统的损耗较大，传输距离较近，30dB的增益仅能提升3km的距离。但如果增大发射功率，仍可获得较好的效果。

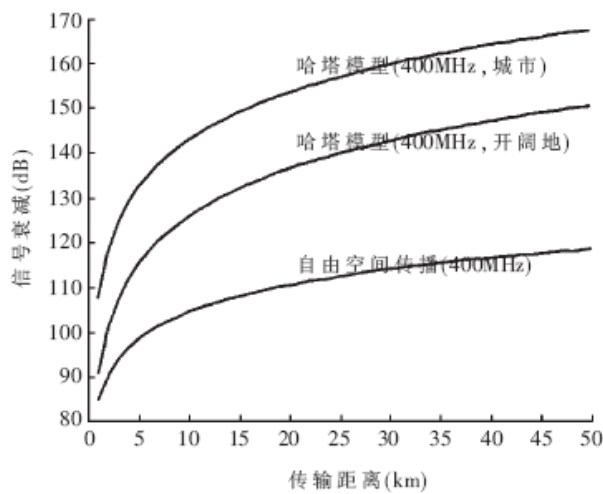


图 5 不同环境下系统损耗与传输距离关系

(2) 系统能耗分析

各个状态符号的含义如表4。各部分能耗设定如表5所示。

协议控制态下系统功耗为: $D_w+C_w+T_w$

发射态下系统功耗为: $D_w+S_w+C_w+T_w$

接收态下系统功耗为: $D_w+R_w+C_w+T_w$

分析态下系统功耗为: $D_w+C_w+T_w$

休眠态下系统功耗为: $D_s+C_w+T_w$

系统总功耗为:

$$P=(D_w)X\%+(D_w+S_w)(S\%SZ\%)+(D_w+R_w)R\%+(D_w)A\%AZ\%+(D_s)[S\%(1-SZ\%)+A\%(1-AZ\%)]+C_w+T_w$$

表 4 状态符号含义

符号	意义
$X\%$	协议态时间片所占时间
$S\%$	发送态时间片所占时间
$A\%$	分析态时间片所占时间
$R\%$	接收态时间片所占时间
$SZ\%$	发送时间片内存在待发送信息的时间占发送时间片的百分比
$AZ\%$	分析时间片内存在目标信号的时间占分析时间片的百分比

表 5 能耗设定

器件	工作态	休眠态	关断状态
DSP	D_w	D_s	0
探测器值守模块	T_w	T_s	0
通信发射模块(射频)	S_w	S_s	0
通信接收模块(射频)	R_w	R_s	0
时钟模块	C_w	C_s	0

本文所述的WSN节点在相同的硬件平台上通过软件方式实现多种通信模式，获得不同的系统灵敏度，具有灵活的适应性，且具有干扰检测避免的功能，适合各种复杂环境下的通信，还具有小体积低功耗的特点，满足WSN节点要求。

参考文献

[1] THEODORE S. Rappaport 无线通信原理与应用. 北京: 电子工业出版社, 2002.
 [2] 孙利民. 无线传感器网络. 北京: 清华大学出版社, 2005.
 [3] 于海斌. 智能无线传感器网络系统. 北京: 科学出版社, 2006.
 [4] SHIH E, Seong-Hwan C, ICKES N, et al. Physical layer driven protocol and algorithm design for energy efficient wireless sensor networks. MOBICOM' 01, 15-21, 2001, 7, 15-21.
 [5] HILL J L, CULLER D E. Mica: A wireless platform for deeply embedded networks. IEEE, 2002.
 [6] POLASTRE J, SZEWCZYK R, CULLER D. Telos: Enabling ultra-low power wireless research. IPSN4/SPOTS, 2005, 4, 25-27.

关于“具有自适应通信能力的无线传感网节点设计”，我有如下需求或意向：

用户名:

密码:

验证码:

5829

[欢迎注册](#)

相关应用

- 基于ZigBee的WSN路由研究与实验
- 基于竞争的无线传感器网络
- 无线传感器网络应用系统综述
- 基于CC2430的无线传感器网络节点设计
- 基于传感器网络技术的深孔测径系统的设计
- 基于MSP430F1611的无线传感器网络节点的设计

[版权声明](#) | [投稿须知](#) | [《电子技术应用》投稿](#) | [网站地图](#) | [帮助中心](#) | [广告中心](#) | [关于我们](#) | [管理员信箱](#)

[↑ 回到顶端](#)

《电子技术应用》编辑部版权所有

地址: 北京海淀区清华东路25号电子六所大厦

联系电话: 82306084 / 82306085 传真: 62311179 京ICP备05053646号

推荐分辨率1024*768 IE6.0版本

