

一种高效节能的无线传感器网络 MAC 协议

梁 潘^{1,2}, 冯朝胜²

(1 阿坝师范高等专科学校 电子信息工程系, 四川 邛崃 611741; 2 四川师范大学 计算机学院, 四川 成都 610066)

摘 要: 针对无线传感器网络 MAC 协议的作用与要求, 给出一种基于 CDMA 的 MAC 协议改进方案. 根据网络负载变化采用周期性的侦听/睡眠机制, 使大多数节点处于睡眠状态, 节省能耗; 同时结合 CDMA 技术给节点分配网内唯一的具有正交性的高速伪随机码(PN)来调制数据信号, 使之在时域和频域重叠, 实现数据的大规模实时传送. 仿真结果表明, 协议在保证系统低延时和高吞吐量的同时, 能明显减少能量消耗.

关键词: MAC 协议; CDMA; 侦听/睡眠机制; 仿真

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)03-0130-03

Efficient Energy-Saved MAC Protocol for Wireless Sensor Networks

LIANG Pan^{1,2}, FENG Chao-sheng²

(1 Department of Electronic Information, ABA Teachers College, Pixian 611741, China;

2 School of Computer Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610066, China)

Abstract: Aiming at the functions and requirements of the MAC protocols in Wireless Sensor Networks, this paper proposes an improved MAC protocol based on CDMA. According to the changes of network traffic, listen/sleep mechanism kept most nodes in sleeping to save energy. And combined the technology of CDMA, the nodes used the high-speed pseudo-random code (PN) with the characteristics of uniqueness in network and orthogonality to modulate data signals, which can be overlapped in time and frequency, to achieve transmission in large-scale and real-time. Simulation results show that the protocol not only maintain lower system delay and higher throughput, but also reduce energy consumption obviously.

Key words: MAC protocols; CDMA; listen/sleep mechanism; simulation

1 引言

WSN 数据来源于实际监测值, 在大多实际应用中, 网络的数据流量会随触发事件不同而产生高低变化. 节点的无效能耗主要来自以下 4 个方面: 空闲侦听、冲突、串扰和控制开销. 目前, 减少空闲侦听主要采用工作/睡眠策略制定; 冲突避免主要采用 RTS/CTS/DATA/ACK^[1] (请求发送/准备接收/数据/确认) 4 帧握手机制. 已有的 MAC 协议主要使用这些手段, 只是具体的实现方法不同.

近年来, 研究者通过对传感器网络进行能量分析, 发现已有传感器节点大约 90% 的能量用于信道

侦听, 而事实上大部分时间内信道上没有数据发送, 浪费了能量. 因此, 需要设计合理的信道接入机制, 使节点尽可能多的处于睡眠状态, 节省节点的能量消耗. 文中针对信道接入方式和能耗问题, 给出一种侦听/睡眠^[2]和 CDMA^[3]相结合的混合 MAC 协议. 节点采用周期性的侦听/睡眠机制和 CDMA 技术, 实现数据的快速传送, 达到节省能耗的目的.

2 协议研究与设计

2.1 基本原理

码分复用 CDMA (Code Division Multiple Access) 是国际电信联盟批准的 3G 标准之一, 特点是

每个节点使用经过特殊挑选的不同码型,可以在相同的时间使用同样的频带进行通信,而不产生冲突.其工作原理是:节点被指派一个唯一的 M bit 码片序列(chip sequence).节点若要发生比特 1,则发送自己的 M bit 码片序列;如果要发送比特 0,则发送该码片序列的二进制反码.若节点要发送信息的数据率为 A b/s,由于每一个比特要转换成 M 比特的码片,因此节点实际上发送的数据率提高到 AM b/s.每个节点分配的码片序列不仅各不相同且互相正交,在实际系统中使用伪随机码序列,有公式:

$$\vec{S} \cdot \vec{T} \equiv \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \vec{S}_i \vec{T}_i = 0$$

其中, $\vec{S}$ 为节点S的码片向量, $\vec{T}$ 为网内两跳范围,为其他节点的码片向量.

M bit 码片序列在电路是由移位寄存器来实现,线性移位寄存器序列为 $\{a_n\} = a_0, a_1, a_2, \dots$,其相应的序列多项式为:

$$G(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n \quad (1)$$

设移位寄存器的初始状态为 $a_{-r}, a_{-r+1}, \dots, a_{-1}$,而 $\{a_n\}$ 所满足的线性递归关系式为:

$$a_n = \sum_{i=1}^r c_i a_{n-i} \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)得:

$$G(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{i=1}^r c_i a_{n-i} x^n, \text{化简可得:}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^r c_i x^i G(x) \\ &= \frac{\sum_{i=1}^r c_i x^i (a_{-i} x^{-i} \oplus a_{-i+1} \oplus \dots \oplus a_{-1} x^{-1})}{F(x)} \end{aligned}$$

其中, $F(x)$ 为特征多项式.由上述推导可得出,序列多项式由初始状态和特征多项式决定,适当选择 $a_{-r} = 1, a_{-r+1} = a_{-r+2} = \dots = a_{-1} = 0$,上式可化简为:

$$G(x) = \frac{c_r}{F(x)}, c_r \text{ 取值为 } 0 \text{ 和 } 1, \text{ 当 } c_r = 0 \text{ 时无意义,}$$

因此可得:

$$G(x) = \frac{1}{F(x)} \quad (3)$$

直接利用特征多项式 $F(x)$ 来求出序列多项式 $G(x)$,从而得到线性移位寄存器的序列 $\{a_n\}$.设 $F(x) = 1 \oplus x^3 \oplus x^4$,将式(3)进行长除运算可得:

$$G(x) = \frac{1}{F(x)} = 1 \oplus x^3 \oplus x^4 \oplus x^6 \oplus x^8 \oplus \dots$$

根据 $G(x)$ 与 $\{a_n\}$ 的对应关系,可得码片序列: $\{a_n\} =$

1001 1010 1111 000......由推导可设分配给节点1的码片序列是1001 1010(取前8位),节点2的码片序列是1100 0011.若两节点同时发送数据“101”,经编码后,节点1发送的码片序列是:1001 1010 0110 0101 1001 1010,节点2发送的码片序列是:1100 0011 0011 1100 1100 0011.这样,编码后两节点发送的是不同的码片序列.在众多码片序列中,接受节点能容易识别出不同节点的码型,而不会与其他码型混淆.

2.2 协议设计

周期性的侦听/睡眠机制,即在网络流量低的情况下使节点尽可能处于睡眠状态来降低节点能量的消耗.每个节点独立地调度它的工作状态,周期性地转入睡眠状态,在唤醒后侦听信道状态,判断是否需要发送或接受数据.为了便于相互通信,相邻节点之间应该尽量维持睡眠/侦听调度周期的同步.周期性侦听/睡眠机制如图1所示.

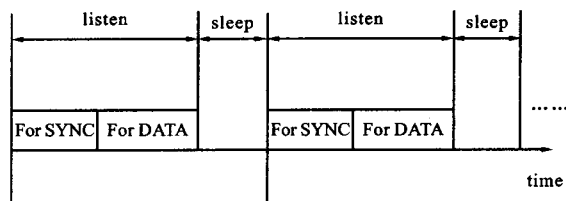


图1 周期性侦听/睡眠机制

节点的侦听/睡眠机制用来传送节点之间的握手信息,采用 SYNC 帧广播自己的状态信息,同时维护一个时间表和邻居列表.如果节点需要发送数据,节点就被唤醒,设置发送伪随机码对所要传送的数据进行 CDMA 编码,然后传输数据,不收发数据就进入睡眠状态.表1为加入侦听/睡眠机制后网络中某对节点存储的调度维护信息.

表1 节点的调度维护信息

节点	调度维护信息
本节点	侦听/睡眠调度 listen/sleep schedule
本节点	广播 PN 码 Broadcast PN code
邻居节点	节点 ID The neighbor identity number
邻居节点	广播 PN 码 Neighbor broadcast PN code
邻居节点	接收 PN 码 From neighbor to this node
邻居节点	发送 PN 码 From this node to neighbor
邻居节点	侦听/睡眠调度 listen/sleep schedule

综上分析,协议具体的数据传输实现方式如下:

(1)节点先侦听信道,如果需要发送数据,经过一个侦听/睡眠周期后唤醒节点,然后采用 CDMA 方式进行通信。

(2)节点侦听信道,如果不需要发送数据,则节点继续转入下一个侦听/睡眠周期,直到下一个调度的侦听/睡眠周期。

协议数据传输流程如图 2 所示。

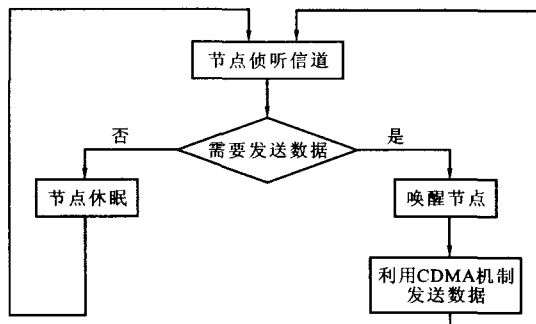


图 2 协议数据传输规则

3 仿真与性能分析

为了评估新协议的各项性能,在网络仿真软件 NS2 (Network Simulator, 版本为 2.28) 中进行了仿真实验,协议仿真原代码使用了代码包 ns-eurane-111.diff.gz, 并和 CDMA MAC 协议做了对比。仿真初始参数:节点数 $N=100$, 每个节点初试能量为 1000J , 每个节点的最大邻居节点数 $M=6$, 发送状态能量消耗 $P_t=15\mu\text{w}$, 睡眠状态能量消耗 $P_s=1\mu\text{w}$, 唤醒节点能量消耗 $P_w=3\mu\text{w}$ 。

图 3 为系统时延对比情况,“delay time, intervals”分别为系统平均时延和实验取样时间。文中协议由于采用了侦听/睡眠机制,节点尽可能处于睡眠状态,因此,当节点从睡眠唤醒时,系统时延相对有所增加。由图可知,新协议的时延略高于原协议,但这是在实时性允许的范围内。

图 4 为系统吞吐量对比情况,“Throughput”为系统平均吞吐率。由于两协议都是采用基于 CDMA 机制的信道接入方式,数据都能被及时的传送,原协议节点由于没有侦听/睡眠机制,在不收发数据或数据流量低时也一直处于工作状态,这是用牺牲节点能量来换取吞吐量。由图可知,原协议吞吐量要稍大于文中协议。

图 5 为系统能量消耗对比情况,“energy consume”为系统平均能耗,其计算方法是:网络中所有节点消耗的总能量除以节点数。文中协议由于采用

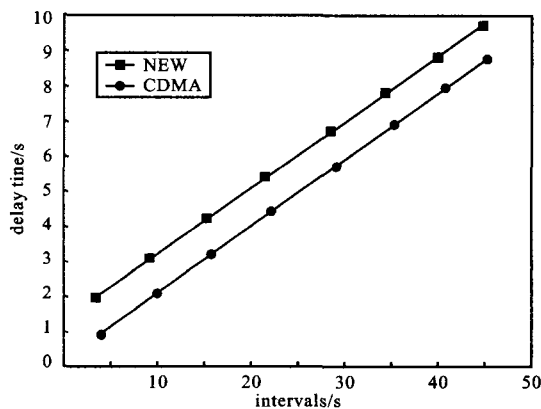


图 3 系统延时测试

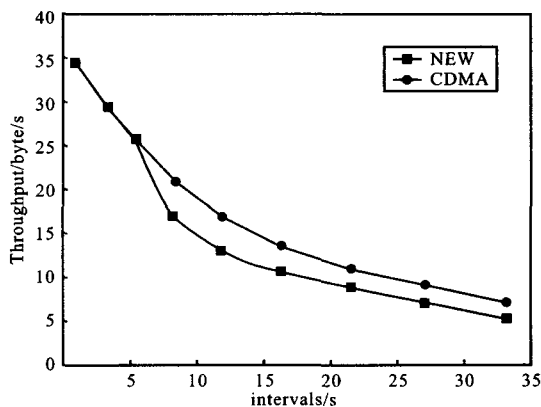


图 4 系统吞吐量测试

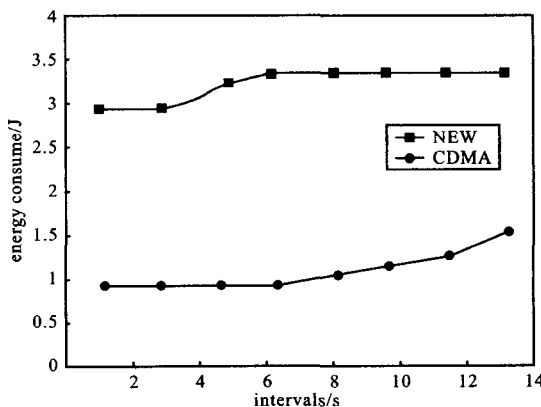


图 5 系统能量消耗测试

了侦听/睡眠机制,当网络没有数据传送或数据流量低时,大多数节点能及时转入睡眠状态,减少能量消耗。而原协议各节点的射频模块则一直处于侦听和数据传送两种状态,网络没有数据传送时同样也消耗很高的能量。以 30s 时间计算,原协议在 30s 内消耗能量大约为 $E_1=15\times 30\mu\text{w}=450\mu\text{w}$ 。文中协议前 15s 处于睡眠状态,总能量消耗大约为 $E_2=1\times 15\mu\text{w}+15\times 15\mu\text{w}=240\mu\text{w}$ 。能量节省率 $\eta=$

(下转第 136 页)

增加,下载成功率会渐渐提高,这就说明,局部禁忌表可以有效地提高下载成功率。

(4) 节点选择机制(AntTrust)随着资源查找的进行,节点对于资源下载的信任值逐渐累积.当信任值提高到一定的阈值之后,可以不通过蚁群算法,而是直接跟高可信节点进行直接的资源查询。

从图 4 可以看出,信任值到达一定阈值之后,直接通过高可信节点进行资源查询的下载成功率要高于利用蚁群的下载成功率。

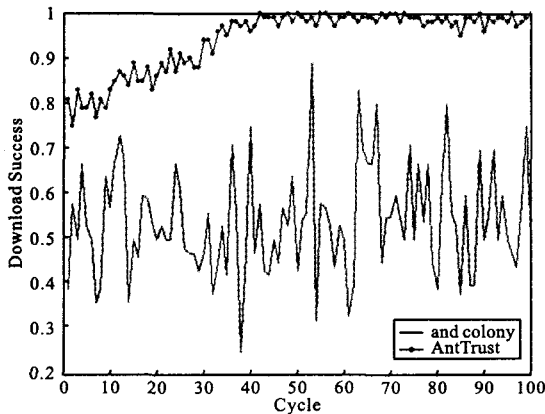


图 4 信任值建立后,下载成功率比较

6 结束语

经过试验平台分析,AntTrust 机制在信任建立初期,可以提高节点的响应率有效地查找到资源.在信任值达到阈值以后,利用高可信节点也可以提高

下载的成功率.但是此机制仍然存在一定问题,当某些节点成为高可信节点后,可以利用高可信度对其他节点进行恶意攻击.这个问题将有待进一步探讨。

参考文献:

- [1] Li Xiong, Ling Liu. PeerTrust: supporting reputation-based trust for Peer-to-Peer electronic communities [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2004, 6 (7) : 843-857.
- [2] Kamvar S, Scholsser M, Garcia M H. The eigen trust algorithm for reputation management in P2P networks [C]// Proc 12 th Int'l World Wide Web Conf. New York: ACM Press, 2003:640-651.
- [3] 窦文,王怀民,贾焰,等.构造基于推荐的 Peer-to-Peer 环境下的 Trust 模型[J]. 软件学报, 2004,15(4):571-583.
- [4] 于真,郑少峰,王少杰,等. P2P 信任模型研究[J]. 小型微型计算机系统, 2009,30(9):1715-1719.
- [5] Colorni A, Drigo M, Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies[C]. //Proc of the 1st European Conf Artificial Life, USA: The MIT Press, 1991:134-142.

作者简介:

孔令明 男,(1982-),硕士研究生,CCF 学生会员.研究方向为计算机网络与信息安全.

谢圣献 男,(1957-),教授.研究方向为网络与信息安全.

李俊青 男,(1976-),副教授.研究方向为分布式计算技术、网络安全、智能算法.

(上接第 132 页)

$\frac{450-240}{450}=49\%$. 如图所示,文中协议在能量消耗方面明显要优于原协议。

4 结束语

文中给出了一种新的无线传感器网络混合 MAC 协议.该协议采用侦听/睡眠机制和 CDMA 相结合的方式,其核心是节点不收发数据或数据流量低时采用侦听/睡眠机制,能及时地转入睡眠状态,节省能耗;CDMA 实现数据流量高时的大规模实时传输,不相互产生干扰,很好地解决了信道冲突问题.仿真结果表明,在所有条件设定一致的情况下,与原协议相比,该协议在维持低延迟和高吞吐率的同时,能明显降低能量消耗。

参考文献:

- [1] Zheng T, Radhakrishnan S, Sarangan V. P-MAC: an energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks [C]//Proc of the Parallel and Distributed Processing Symp. New York: IEEE Press, 2006:66-72.
- [2] Ye Wei, Heidemann J, Estrin D. Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks[J]. IEEE/ACM Trans on Network, 2004,12 (3):493-506.
- [3] Guo Chunlong, Lizhi Charlie Zhong, Rabaey Jan M. Low power distributed MAC for Ad Hoc sensor radio networks[C]//Proc of ACM Globe Com Anchorage: IEEE Press, 2001:2944-2948.

作者简介:

梁 潘 男,(1978-),讲师.研究方向为计算机软件与网络.

冯朝胜 男,(1971-),副教授.研究方向为信息安全、无线传感器网络.