

无线传感器网络 TDMA MAC 协议的对比和改进研究

邓亚平¹, 蒋新春¹, 陈兰兰²

DENG Ya-ping¹, JIANG Xin-chun¹, CHEN Lan-lan²

1. 重庆邮电大学 计算机科学与技术学院, 重庆 400065

2. 重庆邮电大学 通信学院, 重庆 400065

1. College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China

2. College of Telecommunication, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China

E-mail: chenlanlan88@yahoo.com.cn

DENG Ya-ping, JIANG Xin-chun, CHEN Lan-lan. Research on comparison between TDMA MAC protocols and improvement for wireless sensor networks. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(4): 89-92.

Abstract: The different MAC protocols play an important role in lifetime for WSNs. In order to obtain a certain MAC protocol in a specific environment, the analysis to a variety of MAC protocol is necessary. The differences of TDMA schedule-based MAC are discussed, starting with frame structure. An improved scheme is proposed to deal with problems of a low data throughput and a tight implementation in existing TDMA MAC protocols. And three TDMA MAC protocols based on LEACH are simulated, the simulating result corresponds with data analysis.

Key words: Wireless Sensor Networks (WSNs); Media Access Control (MAC); Time Division Multiple Access (TDMA)

摘要: 无线传感器网络 MAC 协议对网络的生命期有着重要影响, 为找到适合一定环境所使用的 MAC 协议, 必须对不同的 MAC 协议进行必要的分析。从数据帧着手, 分析了不同的基于 TDMA 的调度式 MAC 协议的差异。针对原有 TDMA MAC 协议数据传输量不高、实现难度大等问题, 提出相应的改进方法, 并对三个基于 LEACH 的 TDMA MAC 协议进行了仿真实验, 仿真结果与数据分析的结果一致。

关键词: 无线传感器网络; 媒体访问控制; 时分多路访问

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.04.028 **文章编号:** 1002-8331(2010)04-0089-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP393

1 引言

无线传感器网络由于其独特的优势, 在国防军事、工业技术、医学卫生、环境监测等领域得到了广泛的应用。但由于受传感器的能量、带宽的限制, 无线传感器网络的设计、实现同样面临着特有的挑战^[1]。无线传感器的能量消耗主要来自三个方面: 监测、数据处理和数据通信。数据通信是节能的主着手点, 而 MAC 协议直接控制着结点收发器, 因而 MAC 协议的设计是实现无线传感器网络的重要方面^[2]。无线传感器网络 MAC 协议设计的主要目标是在保证传输延时和数据吞吐量的基础上, 减少由于冲突和空闲监听带来的能量消耗^[3]。MAC 协议按结点接入网络的方式可以分为两类: 争用式 (contention-based) 和调度式 (schedule-based) 两类^[4]。

典型的争用式 MAC 协议主要有基于 802.11^[5] 的 S-MAC^[6]、T-MAC^[7]。S-MAC 是一种适应于多跳网络的低占空比 CSMA/CA 方案。将结点数据帧分为固定比例的两部分: 活动和休眠, 来降低因为空闲监听而带来的能量消耗。帧活动段进一步分为 SYNC、RTS、CTS 等更细的时间间隔, 并允许结点在相应时间间隔内接收或没接收 CTS 时直接进入休眠状态。而 T-MAC 在 S-

MAC 的基础上引入 TA 时间间隔, 使在 TA 时间内没有活动事件 (activation event) 发生的结点进入休眠状态。并使用 RTS、CTS、DATA、ACK 方案解决突发数据的分片传输问题。

调度式 MAC 协议^[4]主要是利用结点之间协作的调度策略实现结点的通信, 以达到减少能量消耗的目的。调度式 MAC 协议主要基于 FDMA 或 TDMA, 而多数调度式 MAC 协议是基于 TDMA 的。它们将邻近的结点组织起来, 按调度表规定的时隙利用信道通信, 以消除因冲突、空闲监听、空闲偷听造成的能量消耗。主要调度式 TDMA MAC 协议有基于 LEACH 的 MAC^[8]、GANGS^[9] 和 LMAC^[3]。该文主要针对基于 LEACH 的 MAC 协议, 进行了一些对比和改进研究。

2 基于 LEACH 的 TDMA MAC 协议

该文讨论的重点是基于簇结构的 MAC 协议。这种 TDMA MAC 协议中, 最为重要的是基于 LEACH 的 TDMA MAC 协议。为方便指明协议, 将所讨论的 TDMA MAC 协议简称为 LMAC (LEACH-based MAC)。

作者简介: 邓亚平 (1948-), 男, 教授, 主要研究方向为计算机网络和信息安全; 蒋新春 (1981-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机网络与通信; 陈兰兰 (1984-), 女, 硕士研究生, 主要研究领域为无线传感器网络。

收稿日期: 2008-08-01 **修回日期:** 2008-10-06

$$T_{recv}+T_{send}+T_{idle}=[\sum_{i=1}^{level} \text{Max}(N_i)+1] \times slot \quad (3)$$

其中: N_i 为第*i*层簇头结点的下一层簇头结点数的集合;*slot*为每个结点传送数据的时隙长度。

对于任何一个簇头结点而言其时隙利用率为:

$$E = \frac{n_{member}+n_i+1}{n_{member}+[\sum_{i=1}^{level} \text{Max}(N_i)+1]} \quad (4)$$

其中: n_{member} 为簇内成员的个数; n_i 为下一层结点的个数。对于类似 EMCA 之类将网络分成许多层的结构的算法而言,TDMA 的利用率尤其不高。对 M-LMAC 的改进的主要方向就是降低数据帧长度,以提高时隙利用率。

另外,这类 M-LMAC 的另一个问题在于过于依赖数据融合技术,要求每一跳都对数据进行相应的聚合处理。而对于 LEACH 算法的使用优势在于处理批量数据,导致网络利用率下降。通常一个簇内的数据进行融合后,CH-CH 之间仅负责传递,不再进行处理,因而距基站较近的簇头必须具有较大的存储区,保存其余全部结点的数据。这个限制提高了传感器的要求。针对上述 M-LMAC 的主要不足,对其进行了修改,提出改进后的 M-LMAC。

3 IM-LMAC(Improved M-LMAC)

3.1 应用环境

IM-LMAC 主要应用环境有:(1)网络基站能够直接与每个结点相通信;每个能量充足的结点,可以直接按多路衰减模型与基站通信。(2)为减少能耗,在一个相对小的范围内构建簇。如仿真过程中的 $d_0=87\text{ m}$ 。(3)利用 CDMA 实现不同层之间簇头通信的无冲突;但同一簇头与不同簇头之间通信必须分配不同的 TDMA 时隙,以避免冲突。

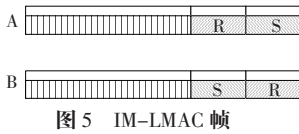


图5 IM-LMAC 帧

3.2 IM-LMAC 模型

为了提高 TDMA 时隙利用率,将帧结构分成 A、B 两类,如图 5 所示。A 类帧是首先接收下层数据,再发送数据;B 类帧则是先发送数据,再接收下层数据。

对于网络结构如图 3 所示的网络而言,采用 IM-LMAC 结构,其实现 TDMA 同步过程如下:

- (1)每轮开始时,从距基站最近的簇头开始选择一种帧结构。图 3 中 B 点先选择,如 A 类帧。
- (2)B 结点向与其直接连接(在最佳通信范围内)的簇头,

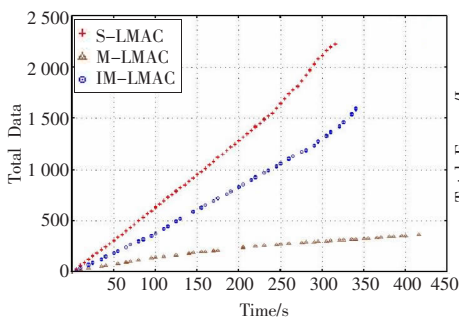


图6 网络传输量对比图

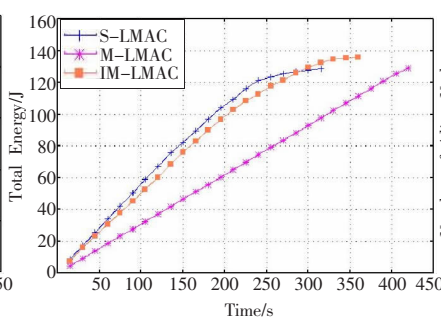


图7 能量消耗对比图

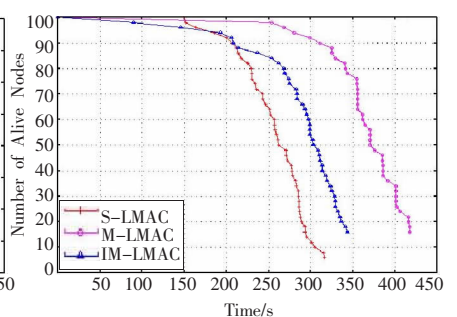


图8 网络生命期对比图

如 A、C、D,发送广播信息。广播信息中包括 B 结点的帧结构以及 A、C、D 在 B 结点的帧结点中的位置。

(3)结点 A、C、D 向下一层 E、F、H 发送广播信息;接收到广播信息后选择合适的帧类型,如 B 类帧;并与 B 结点进行通信时隙的同步。

(4)逐层执行第(2)、(3)步,将 CH-CH-BS 的 IM-LMAC 帧分配完毕。

改进的 M-LMAC 的帧长度有所下降,时隙利用率得到了提高。同时 M-LMAC 在同步上要求较 M-LMAC 低,仅需要彼此相邻的两个簇头之间交换帧同步信息,而不需要全网联动,实现上较简单。

4 仿真与分析

4.1 仿真环境

采用 NS-2 对 S-LMAC、M-LMAC、IM-LMAC 进行仿真实现。仿真过程中将 100 个结点均匀分布于 100 m×100 m 区域内,将网络按文献[8]中的规定分为 5 个簇。其具体参数见表 1。

表1 仿真参数表

参数	值	参数	值
网络规模	100 m×100 m	E_{dec}	50 nJ
结点个数	100	ϵ_b	10 pJ
结点能量初值	1.5 J	ϵ_{sp}	0.001 3 pJ
基站位置	(50, 250)	d_0	87 m
簇头个数	5		

4.2 仿真结果分析

为对比不同的 MAC 对无线传感器网络的影响,主要从以下三个方面对其进行了比较:不同 MAC 对整个网络数据传输量的影响、对整个网络能量消耗的影响以及对网络生命期的影响。仿真结果如图 6~图 8。

从图 6 可以看出:在整个网络的生命期内,S-LMAC 由于没有全局的同步时间,各簇将收到的信息进行融合处理之后,直接传递至基站。因没有同步时隙,S-LMAC 帧长度最短,在每轮内发送至基站的数据也最多。需要说明的是,在仿真过程中没有考虑各个簇头向基站发送数据的冲突问题。由于 M-LMAC 帧需要全局的同步信息,其长度最长,每一轮簇头发送数据的次数少,基站接收的数据相应最少。IM-LMAC 则仅考虑了相邻的簇头的同步问题,所以帧长比 S-LMAC 长,比 M-LMAC 短,相应吞吐量居中。

从图 7 中,可以得到如图 6 相对应的结果:因为 IM-LMAC 比 M-LMAC 吞吐量大,所以相应消耗的能量比 M-LMAC 多。

从仿真结果看,S-LMAC 比 IM-LMAC、M-LMAC 数据传输量分别大 1.7、4 倍,而能量消耗并没有高出如此之多,其主要原因是:仿真环境是 100 m×100 m 的网络区域,加之传感器的自由空间传输距离为 87 m,在这样的条件下,多跳帧结构并不占优势,但随着网络面积的加大,多跳帧结构的能量消耗会表现出优势。因为该文主要是讨论多跳帧结构的问题及改进,具体采用多跳还是单跳是网络路由算法考虑的主要问题,这里不再讨论。

从仿真结果上看,IM-LMAC 的网络生命期较 S-LMAC 长,而较 M-LMAC 短。这也符合由于 IM-LMAC 帧结构居中,发送的数据较 S-LMAC 少,比 M-LMAC 多,M-LMAC 维持的时间最长。从图 8 中看到,IM-LMAC 出现死亡结点较早,其主要原因是:IM-LMAC 结构距基站近的结点,经过的数据量最大,所以会最早死亡。但网络运行一段时间后,S-LMAC 的多数结点成为簇头之后,网络结点能量普遍不足,结点死亡急躁加快。

5 结束语

从 TDMA MAC 层的角度讲述了 LEACH 算法以及其变体的具体细节,并针对 M-LMAC 的不足进行了改进。改进后的 IM-LMAC 通过减短帧长度,提高了时隙利用率,使网络的吞吐量增加了,且较易实现。更主要的是降低了 M-LMAC 对传感器存储区的要求,采用 IM-LMAC 数据的存储量是 M-LMAC 的一半,有效地降低了对传感器的硬件要求。

参考文献:

- [1] Akyildiz I F,Weilian S U,Sankarasubramaniam Y,et al.A survey on sensor networks[J].IEEE Communications Magazine,2002,40(8):102-114.
- [2] Zhou Yan,Xing Jian-ping,Yu Qi-cai.Overview of power-efficient MAC and routing protocols for wireless sensor networks[C]//Proceedings of the 2nd IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications,2006:1-6.
- [3] Van Hoesel L F W,Havinga P J M.Design aspects of an energy-

efficient,lightweight medium access control protocol for wireless sensor networks,TR-CTIT-06-47[R].Centre for Telematics and Information Technology,University of Twente,Enschede,2006.

- [4] Kredo II K,Mohapatra P.Medium access control in wireless sensor networks[J].Computer Networks:The International Journal of Computer and Telecommunications Networking,2007,51(4):961-994.
- [5] IEEE Std.802.11-1999 Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specification[S].1999.
- [6] Ye Wei,Heidemann J,Estrin D.Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks[J].IEEE/ACM Transactions on Networking(TON),2004,12(3):493-506.
- [7] Dam T V,Langendoen K.An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks[C]//Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems,Los Angeles,CA,2003.
- [8] Heinzelman W B,Chandrakasan A P,Balakrishnan H.An application-specific protocol architecture for wireless micro-sensor networks[J].IEEE Transactions on Wireless Communications,2002,1(4):660-670.
- [9] Biaz S,Barowski Y D.GANGS:An energy efficient MAC protocol for sensor networks[C]//Proceedings of the Annual Southeast Regional Conference,2004:82-87.
- [10] Neander J,Hanse E,Nolin M,et al.Asymmetric multihop communication in large sensor networks[C]//2006 1st International Symposium on Wireless Pervasive Computing,Jan 2006:7-10.
- [11] Muruganathan S D,Ma D C F,Bhasin R L.Centralized energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks[J].IEEE Communications Magazine,2005,43(3):8-13.
- [12] Qian Ying,Zhou Jin-fang,Qian Li-ping,et al.Highly scalable multi-hop clustering algorithm wireless sensor networks[C]//Proceedings of 2006 International Conference on Communications, Circuits and Systems,2006(3):1527-1531.
- [13] Zhou Ji-chuan,Erdogan A T,Arslan T.A novel application specific network protocol for wireless sensor networks [C]//IEEE International Symposium on Circuits and Systems,ISCAS 2005, 2005(6):5894-5897.

(上接 51 页)

究人员可以进行同类结构方程、不同阶次问题的分析研究。

在收益期望值的基础上,也对客户生命周期内的收益总期望值进行了简单的讨论。

该文献的分析思路可以直接应用到考虑具有客户保持概率的马氏链模型,这些解析分析不仅可以用于“关系”模型分析,根据文献[2,6]的研究,还可以用于供应链领域的分析。

参考文献:

- [1] Pfeifer P,Carraway R.Modeling customer relationships as Markov chains[J].Journal of Interactive Marketing,2000,14(2):43-55.
- [2] 陈伯成.承载供应链管理的客户关系链管理分析与建模[J].系统工程理论与实践,2005,25(4):42-54.
- [3] Blattberg R,Deighton J.Manage marketing by the customer equity test[J].Harvard Business Review,1996(7/8):136-144.
- [4] Bronnenberg B J.Advertising frequency decisions in a discrete

Markov process under a budget constraint[J].Journal of Marketing Research,1998,35(3):399-406.

- [5] Jain D,Singh S.Customer lifetime value research in marketing:A review and future directions[J].Journal of Interactive Marketing,2002,16(2):34-46.
- [6] Ching W-K,Ng M K,Wong K-K.Customer lifetime value stochastic optimization approach[J].Journal of the Operational Research Society,2004,55:860-868.
- [7] Pfeifer P.Customer lifetime value,customer profitability,and the treatment of acquisition spending[J].Journal of Managerial Issues,2005,XVII(1):11-25.
- [8] 陈伯成.马尔可夫链构建的一类 CRM 模型的销售策略分析[J].管理科学学报,2007,10(2):48-58.
- [9] 陈伯成,叶伟雄.用 Hopfield 神经网络求解一类 Markov 链的客户关系管理模型[J].清华大学学报:自然科学版,2005,45(12):1696-1699.