

SE-MAC:一种节能的水下传感器网络 MAC 协议

张梦娜,刘广钟

(上海海事大学 信息工程学院,上海 201306)

摘要:由于水下传感器网络能量非常有限,所以研究节能的水下传感器网络通信协议具有非常重要的现实意义。为了节省数据传输过程中消耗的能量,文中在 S-MAC 协议的基础上,设计了一种新的节能 MAC 协议,在数据传输过程中,通过引进 CA-ACK 自适应机制,根据信道情况,自动选择 No-ACK 或 Imm-ACK 机制,通过减少 ACK 确认帧的数量,减少能量的消耗。理论分析和仿真实验结果表明,SE-MAC 协议有效地减少了数据传输中的能量消耗,同时也提高了网络的吞吐量。

关键词:水下传感器网络;能量有效;MAC 协议;ACK

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)03-0067-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.03.016

SE-MAC:An Energy Efficient MAC Protocol for Underwater Sensor Networks

ZHANG Meng-na, LIU Guang-zhong

(College of Information Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Because the energy of the underwater sensor networks is limited, studying the energy efficient MAC protocol for underwater sensor networks is very meaningful. In order to save the energy consumption in data transmission process, present a new type of energy efficient MAC protocol based on S-MAC. In the process of the data transmission, introduce an adaptive CA-ACK mechanism, which can reduce the number of ACK frames by choosing No-ACK or Imm-ACK automatically, so the MAC protocol can reduce the depletion of energy. Theoretical analysis and simulation results show that SE-MAC protocol can reduce the depletion of the energy, at the same time, SE-MAC can improve the throughput of the network.

Key words: underwater sensor networks; energy efficient; MAC protocol; ACK

0 引言

水下传感器网络是一种部署在水下环境中的无线传感器网络^[1],可广泛应用于海洋数据采集、环境监测、灾难预测、分布式战术监测等领域。随着陆地资源的枯竭和海洋资源开发的逐渐兴起,水下传感器网络逐渐成为各国研究的重点领域^[2-4]。

水下传感器网络节点所需能量由电池供应,但由于电池的能量有限,节点的数量较多,加上海洋环境非常复杂,所以通过更换电池的方式来补充能源是不能实现的。因此,能量问题一直是水下传感器网络所面临的主要问题^[5]。

目前,在水下传感器网络中,MAC 协议作为保障

水声通信网络高效通信的关键网络协议之一,不仅决定无线信道的使用方式,而且分配有限水声通信网络的资源^[6],因此研究节约能源的 MAC 协议具有非常重要的现实意义。

S-MAC 协议^[7-8]是在 IEEE 802.11MAC 协议的基础上,针对水下传感器网络的节能需求而提出的 MAC 协议。S-MAC 协议采用“消息传递”机制,将长消息分为几个短消息(数据片段),采用一次 RTS/CTS 握手,集中连续发送全部短消息,一次性预约发送整个长消息^[9]。为了可靠传输、及时通知邻居节点正在进行的通信过程,接收节点每次收到短消息后要回复一个 ACK 确认帧,如果一个分段没有收到 ACK 确认帧,

收稿日期:2014-04-08

修回日期:2014-07-10

网络出版时间:2015-01-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61202370);上海市教育科研重点创新项目(12ZZ151);上海市浦江人才计划项目(11PJ1404300)

作者简介:张梦娜(1987-),女,硕士研究生,研究方向为水声传感器网络;刘广钟,博士,教授,CCF 高级会员,研究方向为分布式数据库、计算机网络技术等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150120.2159.015.html>

节点便自动将信道预留向后延长一个分段传输时间并重传该分段。但是,随着发送节点发送数据包的数量增多,ACK 确认帧的数量也随之增多,将会增加协议能量的消耗,所以文中提出能量有效的传输协议(SE-MAC),通过减少 ACK 确认帧的数量,从而减少能量的消耗,同时,可以提高网络的吞吐量^[3]。

1 ACK 机制介绍

IEEE 802.11TCP 扩展协议提出了三种 ACK 机制^[10-11]:No-ACK、Imm-ACK 和 Dly-ACK。

对于 No-ACK 机制,源节点的帧与帧之间的空间为最短帧间空间(MIFS),源节点向目的节点发送数据帧后,不反馈 ACK 确认帧,经过最短帧间间隔后传输下一个数据帧。

在 Imm-ACK 机制中,当接收节点接收到数据帧,经过短帧间间隔后,会立即反馈 ACK 确认帧,如果接收节点由于信道问题没有接收到任何的数据信息,则不反馈 ACK 确认帧。

Dly-ACK 机制允许同时发送多个帧,只返回一个 ACK 确认帧,源节点同时发送完多个帧后等待 ACK 确认帧,如果收到 ACK 确认帧,则说明发送成功,如果发送节点没有收到 ACK 确认帧,则说明发送失败,重新发送所有的数据帧。

2 CA-ACK 信道自适应机制

TCP 扩展协议提出了三种 ACK 帧反馈机制,三种机制分别适用于不同的网络环境。从图 1 中可以看出,当网络环境较好,数据帧传输的误码率较低时,使用 No-ACK 机制的性能会更好;当网络环境较差,数据 T_{PH} 帧传输的误码率较高时,使用 Imm-ACK 机制的性能会更好。所以,希望有一种 ACK 机制,可以根据网络环境的变化,自动选择合适的 ACK 的传输机制。因此,文中提出一种信道自适应 ACK(CA-ACK)机制。在该机制中,水声通信网络会根据自身的信道状况,自动选择 No-ACK 机制或者 Imm-ACK 机制。具体来说就是当数据传输的误码率高于误码率阈值的时候,系统会选择 Imm-ACK 机制,接收端会反馈 ACK 确认帧;相反,当数据传输的误码率低于误码率阈值的时候,系统会自动选择 No-ACK 机制,接收端不返回任何的 ACK 确认帧。

CA-ACK 自适应机制会根据网络环境自动选择 ACK 机制。当系统误帧率高于阈值时,系统自动选择 Imm-ACK 机制;当系统的误帧率低于阈值时,系统会自动选择 No-ACK 机制。在保证数据帧传输准确性的同时,可以减少 ACK 确认帧的数量,可以有效减少能量的消耗,同时提高网络的吞吐量。

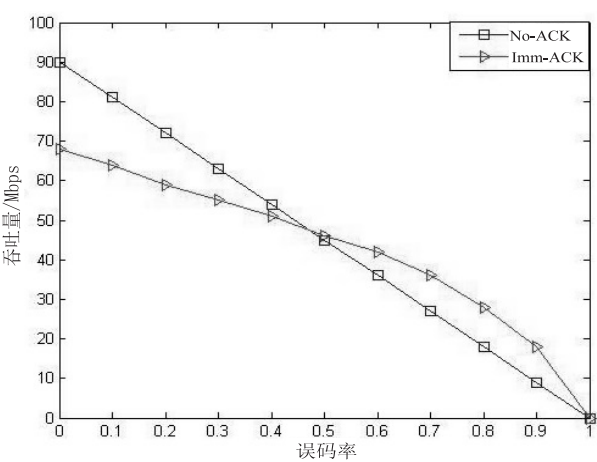


图 1 No-ACK 和 Imm-ACK 吞吐量的比较

3 阈值的推导

在设计 CA-ACK 机制的时候,使用了一个非常重要的概念—阈值,阈值直接影响着 CA-ACK 机制的性能,所以下面重点介绍阈值的推导方法。

如表 1 所示,一个帧的总的传输时间是一个帧的传输时间和 MIFS(Minimum Inter Frame Space)传输时间的总和,所以,一个帧的传输时间等于 $T_p + T_{MH} + T_{PH}$,其中, $T_p = L_p/R_D$, $T_{MH} = L_{MH}/R_B$ 。

表 1 符号的介绍

符号	符号的意义
T_p	有效负荷的传输时间
T_{MH}	MAC 帧头部的传输时间
T_{PH}	物理层头部的传输时间
L_p	有效负荷的长度
L_{MH}	MAC 帧头部的长度
R_D	数据传输速率
R_S	数据传输速率
T_{No}	无 ACK 确认帧时总的传输时间

假设 p 为帧传输错误的概率,在 No-ACK 确认帧的情况下,信道的吞吐量可以表示为:

$$S_{No} = L_p(1 - p)/T_{No}$$

在 Imm-ACK 机制的条件下,假设数据传输过程中重传损坏帧的次数最多 N 次,所以,当数据传输成功时,数据传输的时间为:

$$T_S = T_p + T_{MH} + T_{PH} + 2T_{SIFS} + T_{ACK}$$

当数据传输失败时,数据传输的时间为:

$$T_F = T_p + T_{MH} + T_{PH} + 2T_{SIFS} + T_{ACK}$$

假设一个帧在第 i ($0 \leq i \leq N$) 次被成功传输,那么数据被成功传输的概率为:

$$p = p^i(1 - p)$$

所以,数据传输总的时间为:

$$T = iT_F + T_S$$

因此,Imm-ACK 的吞吐量的计算公式为:

$$S_{Imm} = \sum_{i=0}^N \frac{L_p p^i (1-p)}{iT_F + T_S}$$

下面,可以利用已推导出的 No-ACK 和 Imm-ACK 吞吐量公式,推导出阈值的公式。

在 IEEE 802.11 标准中,通常把 N 的值定义为 5,但是,当 $N \geq 3$ 时, P^i 值是非常小的,所以,可以假设 $N = 2$,有下面的恒等式:

$$\frac{L_p(1-p)}{T_{No}} = \sum_{i=0}^2 \frac{L_p p^i (1-p)}{iT_F + T_S}$$

所以把上面的式子整理为关于 p 的公式,可以得到阈值的表达式:

$$p^* = \frac{-\frac{L_p}{T_F + T_S} + \sqrt{\left(\frac{L_p}{T_F + T_S}\right)^2 - 4\left(\frac{L_p}{2T_F + T_S}\right)\left(\frac{L_p}{T_S} - \frac{L_p}{T_F}\right)}}{2\left(\frac{L_p}{2T_F + T_S}\right)}$$

式中,阈值 p^* 的表达式都是使用已知参数来表示的,如有效负荷大小、数据传输时间,所以,阈值是可求的,因此,CA-ACK 自适应机制是可实现的。

4 SE-MAC 协议设计

SE-MAC 协议的通信过程描述如下:发送节点在向接收节点发送数据包前,首先查找发送节点邻居节点的信息表,获取接收节点的侦听/睡眠周期,如果发送节点正处于侦听状态,接收节点正处于睡眠状态,当信道处于空闲状态时,发送节点就可以和接收节点建立通信,向发送节点发送数据包^[12-13]。

发送节点向接收节点发送数据包的过程描述如下:发送节点向接收节点发送 RTS 包,RTS 中包含源地址、目的地址以及本次通信所需要的时间,若信道空闲接收节点收到 RTS 包后,向发送节点反馈一个 CTS,CTS 中包含了接收节点可能产生冲突的邻居节点进入侦听状态的第一时刻,发送节点在接收到 CTS 后,开始向接收节点发送数据包,发送节点向接收节点发送数据包,如果数据传输的误码率高于阈值,那么接收节点向发送节点反馈 ACK 确认帧,如果数据传输的误码率低于阈值,那么接收节点不反馈 ACK 确认帧,发送节点继续发送数据包,在可能产生冲突的邻居节点进入侦听状态的第一时刻到来之前,发送节点停止发送数据包。如此反复进行,直至发送节点发送完所有的数据包,通信结束。

5 SE-MAC 协议仿真

5.1 仿真条件

文中通过仿真 S-MAC 协议和 SE-MAC 协议,并

且将仿真的接收消耗、发送消耗和睡眠消耗分别定为 13.5 mW,24.75 mW 和 15 μW,传输一个数据包的时间为 5 ms。假设 50 个传感器节点,节点的分布以及通信范围如图 2 所示,数据包是在节点 1 和节点 2 之间进行传输。

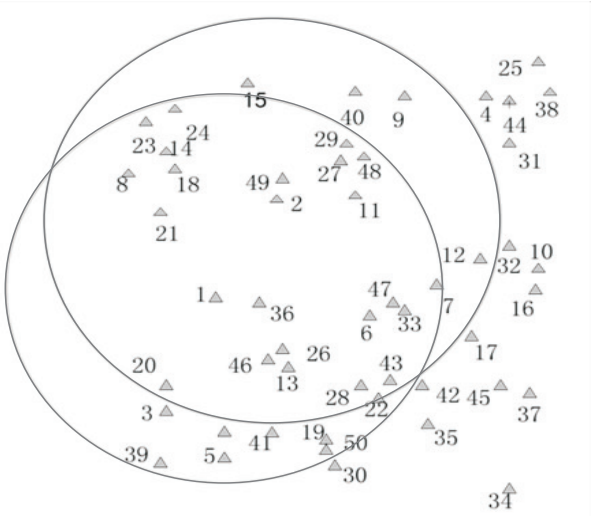


图2 随机产生的 50 个节点的分布

5.2 仿真结果分析

从图 3 和图 4 中可以看出,当数据包的个数增多时,SE-MAC 协议比 S-MAC 协议总的能量消耗要少,总的时间消耗也要少。这是因为 SE-MAC 协议在发

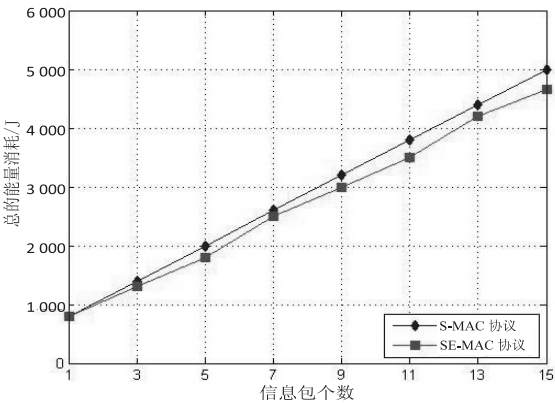


图3 能量消耗比较图

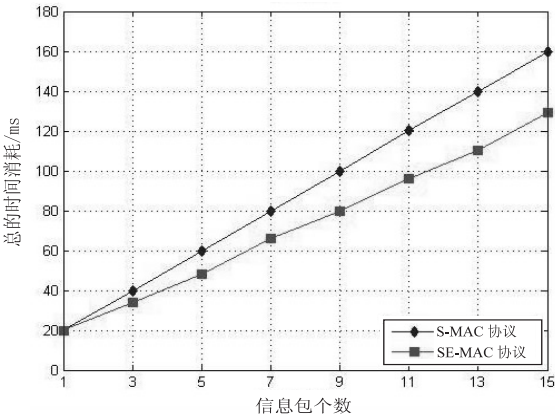


图4 时间消耗比较图

送数据帧的过程中,通过 CA-ACK 自适应机制,自动选择 ACK 机制,当帧传输的误码率低于阈值时,采用 No-ACK 机制,减少了 ACK 帧数量,从而减少了能量和时间消耗。所以,当网络环境越好,节能的效果越明显。仿真结果表明,当传输的数据包增多时,文中提出的 SE-MAC 协议能够减少能量和时间的消耗,最终可以提高网络的吞吐量。

6 结束语

能量问题一直是水下传感器网络急需解决的问题,文中在已有 No-ACK 和 Imm-ACK 机制的基础上,提出了 CA-ACK 自适应机制,通过减少 ACK 确认帧的数量^[14-15],对传统的 S-MAC 协议进行改进,提出了一种新的协议—SE-MAC 协议。通过仿真实验表明,SE-MAC 协议不仅减少了能量的消耗,而且减少了传输的时间,大大提高了网络的吞吐量。

参考文献:

- [1] Chitre M, Shahabudeen S, Stojanovic M. Underwater acoustic communications and networking: recent advances and future challenges[J]. Marine Technology Society Journal, 2012, 42(1):103-116.
- [2] Anchora L, Capone A. A novel MAC scheduler to minimize the energy consumption in a wireless sensor network[J]. Ad Hoc Networks, 2014, 16:88-104.
- [3] Farrell A C, Peng Jun. Performance of IEEE 802.11 MAC in underwater wireless channel[J]. Procedia CS, 2012, 10:62-

(上接第66页)

参考文献:

- [1] Besl P J, McKay N D. Method for registration of 3-D shapes [C]//Proc of international society for optics and photonics. [s. l.]:[s. n.], 2008:586-606.
- [2] Horn B K P, Schunk B G. Determining optical flow[J]. Artificial Intelligence, 1987, 17:185-203.
- [3] Arun K S, Huang T S, Blostein S D. Least-squares fitting of two 3-D point sets[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, PAMI-9(5):698-700.
- [4] Besl P J, McKay N D. A method for registration of 3-D shapes [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(2):239-256.
- [5] Chen Y, Medioni G. Object modeling by registration of multiple range images[J]. Image and Vision Computing, 1992, 10(3):145-155.
- [6] Bergevin R, Soucy M, Gagnon H, et al. Towards a general multi-view registration technique[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(5):540-547.

69.

- [4] Toklu S, Erdem O A. BSC-MAC: energy efficiency in wireless sensor networks with base station control[J]. Computer Networks, 2014, 59:91-100.
- [5] 郭忠文, 罗汉江, 洪 锋, 等. 水下无线传感器网络的研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(3):377-389.
- [6] 于香亮. 水声通信网络 MAC 层协议研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.
- [7] Du Lijuan, Wang Yuanpeng, Jing Weipeng. Wireless sensor network energy-efficient MAC protocol[J]. Physics Procedia, 2012, 33:444-448.
- [8] Chen Jiwei, Gerla M, Lee Yeng-Zhong, et al. TCP with delayed ACK for wireless networks[J]. Ad Hoc Networks, 2011, 6(7):1098-1116.
- [9] 邓 婕. 浅海水声自组网 MAC 协议的设计与实现[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.
- [10] Lee Hyewon, Tinnirello I, Yu Jeonggyun, et al. A performance analysis of block ACK scheme for IEEE 802.11 networks[J]. Computer Networks, 2012, 54(14):2468-2481.
- [11] 李 哲, 陈 飞. Ad-hoc 网络的关键技术—MAC 层协议研究[J]. 信息技术, 2006, 30(7):97-99.
- [12] 陈 威, 许 茹, 胡晓毅, 等. 水声通信网及其多址接入技术[J]. 海洋科学, 2007, 31(4):58-61.
- [13] 周 密, 崔 勇, 徐兴福, 等. 水声传感网 MAC 协议综述[J]. 计算机科学, 2011, 38(9):5-10.
- [14] 邱立军, 王文双. 水下网络的发展与应用[J]. 船舶电子工程, 2009, 29(5):18-21.
- [15] 魏 昕. 水声通信网中的几个关键问题的研究[D]. 南京: 东南大学, 2009.
- [7] Hartley R, Zisserman A. Multiple view geometry in computer vision[J]. Robotica, 2007, 23(2):271-271.
- [8] Hartley R. Estimation of relative camera positions for uncalibrated cameras[C]//Proc of ECCV. [s. l.]:[s. n.], 2009:579-587.
- [9] 赵正魁. 三维到二维的射影变换与透视投影[J]. 工程图学学报, 1991(2):8-14.
- [10] 曾接贤, 张桂梅, 储 珩, 等. 霍夫变换与最小二乘法相结合的直线拟合[J]. 南昌航空大学学报: 自然科学版, 2003(4):9-13.
- [11] 刘 军, 张永生, 范永弘. 基于通用成像模型—有理函数模型的摄影测量定位方法[J]. 测绘通报, 2003(4):10-13.
- [12] 冯文灏. 近景摄影测量[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1995:33-36.
- [13] 王文颖. 工程与近景摄影测量[M]. 北京: 地质出版社, 1994:45-48.
- [14] 张 雄, 胡 炜, 潘小飞, 等. 加权最小二乘无网格法[J]. 力学学报, 2003, 35(4):425-431.
- [15] 杨建思, 杜志强, 彭正洪, 等. 数字城市三维景观模型的建模技术[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2003, 36(3):37-40.

SE-MAC：一种节能的水下传感器网络MAC协议

作者：[张梦娜](#)，[刘广钟](#)，[ZHANG Meng-na](#)，[LIU Guang-zhong](#)
作者单位：[上海海事大学 信息工程学院, 上海, 201306](#)
刊名：[计算机技术与发展](#) 
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：[2015 \(3\)](#)

引用本文格式：[张梦娜](#), [刘广钟](#), [ZHANG Meng-na](#), [LIU Guang-zhong](#) SE-MAC：一种节能的水下传感器网络MAC协议[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015 (3)