·移动互联与通信技术· 文章编号:1000-3428(2017)09-0094-05 文献标志码:A 中图分类号:TP393.04

基于水声传感器网络的 MACA 改进协议

朱 颖,刘广钟

(上海海事大学 信息工程学院,上海 201306)

摘 要: 水下网络使用水声信道进行通信,但水声信道低带宽和高传播时延的特点使介质访问控制协议的设计存在较多难点。为此,对冲突避免多址接入(MACA)协议进行改进,提出 PE-MACA 协议。根据优先权原则使节点同时与多个邻居节点通信,在数据传输时使用高响应比优先算法,并利用半争用算法进行信道切换。仿真结果表明,与 MACA 协议相比,PE-MACA 可有效提高信道利用率和网络吞吐率。

关键词: 水声传感器网络;多信道;高响应比优先算法;优先权;冲突避免多址接入协议;半争用算法

中文引用格式: 朱 颖,刘广钟. 基于水声传感器网络的 MACA 改进协议[J]. 计算机工程,2017,43(9):94-98.

英文引用格式: ZHU Ying, LIU Guangzhong. Improved MACA Protocol Based on Underwater Acoustic Sensor Networks[J]. Computer Engineering,2017,43(9):94-98.

Improved MACA Protocol Based on Underwater Acoustic Sensor Networks

ZHU Ying,LIU Guangzhong

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

【Abstract】 Underwater networks use the acoustic channel to communicate with each other. However, there are many difficulties in designing the Media Access Control(MAC) protocol due to low bandwidth and high propagation delay of the acoustic channel. In order to solve these problems, this paper improves Multiple Access with Collision Avoidance (MACA) protocol and proposes PE-MACA protocol. In this improved protocol, nodes can communicate with multiple neighbor nodes according to the priority principle. The Highest Response Ratio Next(HRN) algorithm is used to transfer data and the half-contention algorithm is used to switch the channels. Simulations result shows that, compared with MACA protocol, PE-MACA can improve channel utilization rate and network throughput effectively.

【Key words】 underwater acoustic sensor networks; multi-channel; Highest Response Ratio Next(HRN) algorithm; priority; Multiple Access with Collision Avoidance(MACA) protocol; half-contention algortihm

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.09.017

0 概述

随着网络通信技术的发展,无线通信技术的应用越来越广泛,作为无线通信技术的一个重要领域,无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)也得到了广泛的应用[1-2]。地球表面的大部分都被海水覆盖,而海洋中存在丰富的资源有待人类的开发和探索。但对于海洋环境的探索,仅仅依靠人类是无法进行的。此外,近年来环境问题也越来越突出,海洋环境问题在环境问题中的地位也变得尤为重要。此时,水声传感器网络便应运而生,但水下无线通信和陆上无线通信存在很大的不同。因此,在水下通信介质访问控制(Media Access Control,MAC)协议的设计方面也有很多需要注意的地方。首先是通信环境的不同。陆上通信采用无线电信道通信。由于在空气中电磁波传播速度比较快,同时,陆上障碍物相对较少且具有可预测性,因此传播时延相对较小。但在水下通信时,水声信道的低带宽和高传播时延会影响通信性能。此外水下环境因素,如水温、水流速度、鱼群等也会对数据传输产生影响,从而影响网络吞吐量、误码率以及传播时延,这些都对 MAC 协议的设计产生了较大的挑战[3-5]。

本文对基于无线传感器网络的冲突避免多址接入(Multiple Access with Collision Avoidance,MACA)协议进行研究,介绍并比较 3 种典型的 MAC 协议:

基金项目: 国家自然科学基金(61202370);上海市教委科研创新项目(12ZZ151)。

作者简介: 朱 颖(1992—),女,硕士研究生,主研方向为分布式计算、传感器网络;刘广钟,教授、博士生导师。

收稿日期: 2016-09-07 **修回日期:** 2016-10-11 **E-mail:** 2387618486@qq.com

ALOHA,CSMA,MACA。为使无线传感器网络的 MAC 协议更好地应用于水声网络,针对水声信道低带宽和高传播时延的特点对 MACA 协议进行改进,提出 PE-MACA 协议。

1　相关研究

MAC 协议是无线水声传感器网络的关键技术之一,该协议的设计优劣会直接影响到网络吞吐率、数据成功传输率以及端对端时延等指标。选择一个合适的 MAC 协议对系统效率有很大的影响,尤其是对低带宽和高延迟的水声通信[6-7]。

本节介绍 ALOHA,CSMA,MACA 协议以及在 MACA 基础上改进的 MACAW(MACA-Wireless)协议,本文提出的 PE-MACA 协议也是在 MACA 的基础上改进的协议。

ALOHA 协议是最早的随机访问 MAC 协议,采用 DATA-ACK 机制。如图 1 所示,在 ALOHA 协议中,当传感器节点有数据需要传输时,则直接进行数据传输,无需信道监听。但当节点要进行数据传输时,若其他节点间正进行数据传输,此时节点间便可能出现争用信道的情况,从而发生碰撞、冲突,进而影响到信道利用率和系统吞吐率。由于这种原因,使用 ALOHA 协议的系统吞吐率并不高[8-10]。

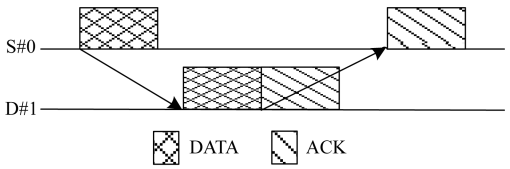


图 1　ALOHA 协议的传输机制

CSMA 协议可以有效缓解冲突。如图 2 所示,该协议仍采用 DATA-ACK 机制,但在数据传输前要对信道进行载波侦听,若侦听到信道空闲,则进行数据传输;若监听到信道有数据在传输,则回退一段时间以避免数据冲突。CSMA 在一定程度上缓解了冲突,但 CSMA 中存在隐藏终端和暴露终端问题,降低了数据的成功传输率和吞吐率[11-13]。

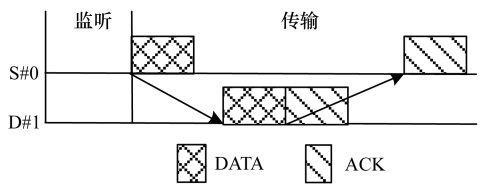


图 2　CSMA 协议的传输机制

为解决上述问题,MACA 协议被提出。如图 3 所示,该协议采用 RTS-CTS-DATA 机制。MACA 协议通过握手机制解决了冲突的问题,同时也在一定程度上解决了隐蔽终端和暴露终端问题。但握手会花费一定的时间,即网络的时延会增加。但当网络负载较大时,会对重传的次数有积极的影响[14]。

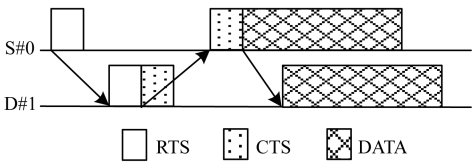


图 3　MACA 协议的传输机制

MACAW 协议是 MACA 的改进协议。如图 4 所示,该协议在 MACA 协议的基础上增加了 ACK 响应机制,即采用 RTS-CTS-DATA-ACK 的方式来避免冲突。当数据成功被接收者接收后,就会向发送者发送一个 ACK 来确认数据接收成功。增加的 ACK 确认帧,可使整个通信网络在信道传输误码率相对较高的情况下提高吞吐率,但同时也增加了网络时延[15]。

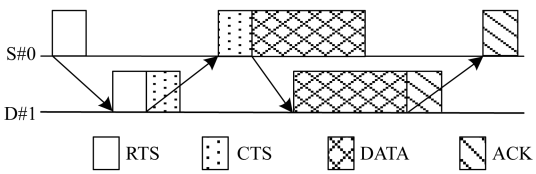


图 4　MACAW 协议的传输机制

2　PE-MACA 协议

2.1　协议机制

与 MACA 协议相比,PE-MACA 协议主要在以下方面进行了改进:1)节点可同时与多个邻居节点通信,在控制包发生冲突时,采用优先权的原则;2)在数据传输时采用高响应比优先(Highest Response Ratio Next,HRN)算法;3)将信道划分为控制信道与数据信道,信道切换采用半争用算法。

PE-MACA 协议仍采用 RTS-CTS-DATA 握手机制,假定整个系统的时间是同步的,每个节点都有各自的优先级。为提高信道利用率和系统吞吐率,PE-MACA 仍采用多信道机制[16-18],如图 5 所示。

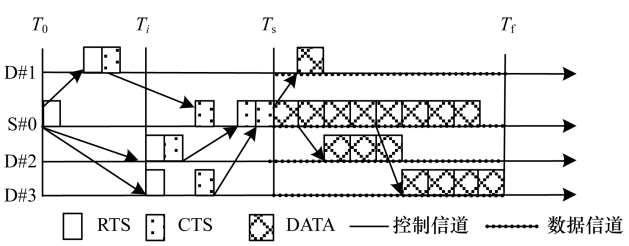


图 5　PE-MACA 协议的传输机制

在该机制中,源节点通过控制信道广播 RTS 包,RTS 中包括目的节点的 ID、目的节点需要接收的数据包数、时间戳以及所有请求的优先级列表。目的节点收

到源节点广播的 RTS 包后,记录下此时的时间,根据 RTS 包中的时间戳及 RTS 到达时刻来计算传播时延,并通过控制信道向源节点发送 CTS 响应包。若 RTS 同时到达接收节点,此时若均发送 CTS 包,则可能会发生冲突[19],因此,PE-MACA 协议采用优先权原则决定先发送的节点。首先根据请求的优先级,使优先级高的节点先发送 CTS 响应包。若节点的优先级相同,则根据 HRN 算法确定优先权,R 值越大优先权越高。这种优先权的方法可以成功地避免冲突。

当源节点接收到最远目的节点的 CTS 包后,则从控制信道切换到数据信道,并根据 HRN 算法进行 DATA 传输。在信道切换前控制信道被占用,而数据信道可用于其他节点间的数据传输。信道切换后,数据信道被占用,控制信道被释放,可用于其他节点间的 RTS/CTS 控制包传输。当 DATA 传输完成后,数据信道则被释放,可用于其他节点间的 DATA 传输。

当信道切换时,可能会出现将切换的信道被占用的情况。例如,当传输从控制信道切换到数据信道时,但此时数据信道正在进行其他节点间的 DATA 传输,就会出现信道的争用,对于此类情况,PE-MACA 协议使用优先级 + FCFS 的半争用算法,即优先级较高的传输可以抢占信道进行传输,当优先级相同时,则不可以抢占信道,根据 FCFS 原则进行传输。

信道切换完成后,需要进行 DATA 传输。但是同一个源节点可能有多组 DATA 需要传输,因此,PE-MACA 协议用 HRN 算法进行 DATA 包的选择,R 值大的先进行传输。

2.2 时间计算

令 $D_{\max}$ 为最大传播时延,即 RTS 控制包从源节点传输到最远目的节点所花费的时间,其计算公式如下:

$$D_{\max}=\max_{i=1}^{n}\{T_i-T_0\} \tag{1}$$

其中,T_i 为 RTS 包到达目的节点 D#i 的时间;T_0 为时间戳,即为源节点发送 RTS 包的时间;n 为目的节点的数目。

令 T_s 为最后一个 CTS 控制包到达源节点 S#0 的时间,同时也是源节点开始进行 DATA 传输的时间,同时也是信道的切换时间,则:

$$T_s=\frac{L_{CTS}}{V_{Ctl}}\times(N_C-1)+D_{\max}+T_i+L_{RTS}+L_{CTS} \tag{2}$$

其中,T_i 为 RTS 包到达目的节点的时间;L_{RTS} 为 RTS 控制包的长度;L_{CTS} 为 CTS 控制包的长度;V_{Ctl} 为控制信道的带宽;N_C 为 CTS 包可能在源节点发生冲突的目的节点的数目;$D_{\max}$ 为最大传播时延。

令 T_f 为所有 Data 均传输完成的时间,同时也是源节点释放数据信道的时间,则:

$$T_f=L_{data}\times\sum_{i=1}^{n}N_i+D_{\max}+T_s \tag{3}$$

其中,T_s 为源节点开始进行 DATA 传输的时间;L_{DATA} 为 DATA 包的长度;N_i 为传输给目的节点 i 的数据包数;$D_{\max}$ 为最大传播时延。

2.3 实例分析

如图 5 所示,目的节点 D#2 与目的节点 D#3 同时接收到源节点 S#0 发送的 RTS 控制包,若此时目的节点 D#2 与目的节点 D#3 均立刻发送 CTS 响应包,则 CTS 响应包在到达源节点 S#0 时会发生冲突。为避免不必要的冲突,PE-MACA 采用优先级算法,使目的节点 D#2 和目的节点 D#3 在不同时刻发送 CTS 响应包。若优先级列表中目的节点 D#2 和目的节点 D#3 的优先级不同,则优先级高的先发送 CTS 控制包。此处目的节点 D#2 和目的节点 D#3 的优先级相同,所以,需要通过 HRN 算法计算节点的 R 值,R 值大的具有较高的优先权,先进行 CTS 包的传输。因为图 5 中 D#2 的 R 值较大,所以 D#2 先进行传输。R 值的计算公式如式(4)所示。

$$R=1+\frac{T_{wait}}{T_{delay}} \tag{4}$$

其中,T_{wait} 为 CTS 传输等待的时间;T_{delay} 为节点间的传输时延。在 HRN 算法中,等待时间越长,优先权越高,同时也不会无限等待,从而提高了整个系统的吞吐率。

当源节点在 T_s 时刻接收到最远目的节点 D#3 发送的 CTS 包后,则根据优先级 + FCFS 的半争用算法从控制信道切换到数据信道。如图 6 所示,S#0 请求进行 DATA 传输时,此时 S′#0 正在进行 DATA 传输,占用了数据信道,但是因为 S#0 的优先级高于 S′#0,所以 S#0 可以抢占信道。

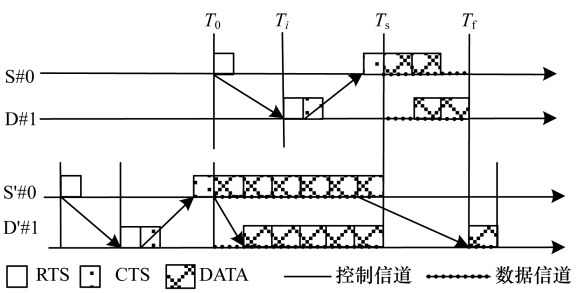


图 6 PE-MACA 协议的信道争用机制

信道切换完成以后,便可进行 DATA 传输。若源节点 S#0 有多组 DATA 需要进行传输,则 PE-MACA 协议根据 HRN 算法进行 DATA 的选择传输。响应比 R 高的先进行传输,响应比的计算公式如式(5)所示。

$$R = 1 + \frac{T_{\text{wait}}}{T_{\text{DATA}}} \tag{5}$$

其中,T_{wait}为 DATA 传输等待的时间;T_{DATA}为 DATA 传输需要的时间。HRN 方法有利于长度较短的数据,等待时间越长,优先级越高,对于较长的数据也不会无限等待,提高了整个系统的吞吐率。

由图 6 可见,在 T_{f} 时刻源节点 S#0 所有的 DATA 传输完成则自动释放数据信道,此时若没有其他优先级较高的节点需要进行 DATA 的传输,则 S′#0 节点继续进行 DATA 传输。

3　仿真与结果分析

为分析 PE-MACA 协议的性能,本文对 ALOHA,CSMA,MACA 和 PE-MACA 进行仿真,并在吞吐率、数据的成功传输率以及时延 3 个方面对这些协议进行比较和分析。

3.1　吞吐率

对各协议的网络吞吐率进行比较,如图 7 所示。可以看出,PE-MACA 协议具有最高的吞吐率,并且在高负载时仍然可以保持较高的、稳定的吞吐率。当负载较小时,由于冲突比较小,各协议的吞吐率均随负载的增加而增加。在负载小于 0.05 时,ALOHA 协议的吞吐率高于 CSMA 协议。但由于隐藏终端问题的存在,当负载继续增加时,AHOHA 协议的吞吐率会逐渐减小。CSMA 协议由于存在载波侦听机制,当负载相对较大时,其吞吐率相对 ALOHA 较好。尽管实时协议 MACA 也可以避免冲突,但其信道利用率却不高,而且随着相对传播时延的增加,吞吐率性能始终较低。

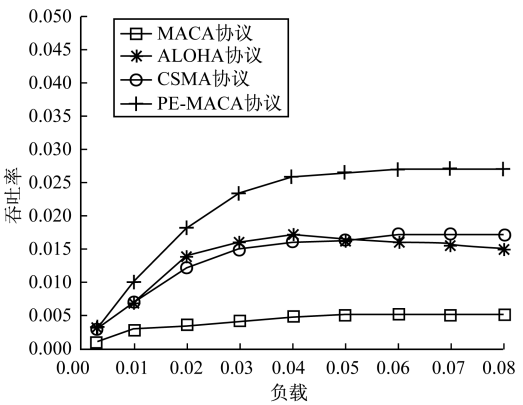


图 7　吞吐率比较

3.2　传输成功率

将 PE-MACA 协议与具有较高吞吐率的 ALOHA 和 CSMA 协议进行传输成功率比较,如图 8 所示。可以看出,随着负载的增加 ALOHA,CSMA 和 PE-MACA 协议的数据传输成功率均不断减小。当负载增加到 0.04 时,CSMA 和 ALOHA 协议的数据传输成功率仍在减小,但是 PE-MACA 协议的数据传输成功率逐渐保持稳定。由于 ALOHA 协议和 CSMA 协议都不使用握手机制,因此数据传输成功率都较低。因为 CSMA 协议在数据传输前需要进行载波侦听,所以数据传输成功率相对较高。而 PE-MACA 机制使用了握手机制以及优先级、HRN 等冲突避免机制来避免冲突,因此,PE-MACA 协议降低了包冲突,使得数据传输过程中丢包更少。综上,PE-MACA 协议具有较高的数据传输成功率。

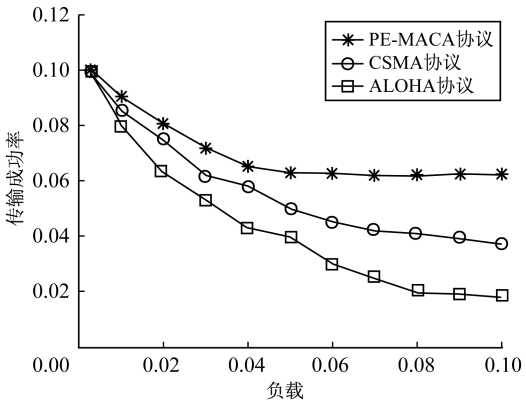


图 8　传输成功率比较

3.3　传输时延

对 PE-MACA,ALOHA 和 MACA 协议的时延进行比较,如图 9 所示。可以看出,当负载小于 0.06 时,PE-MACA 协议的时延明显比 MACA 和 ALOHA 协议要大。当负载大于 0.075 时 MACA 协议和 HP-ALOHA 协议的时延急剧增加,但 PE-MACA 的时延明显优于 MACA。ALOHA 协议无载波侦听机制和握手机制,是时延最小的,但其吞吐率和数据传输成功率却不理想。综上,PE-MACA 协议的时延相对 MACA 协议较小。

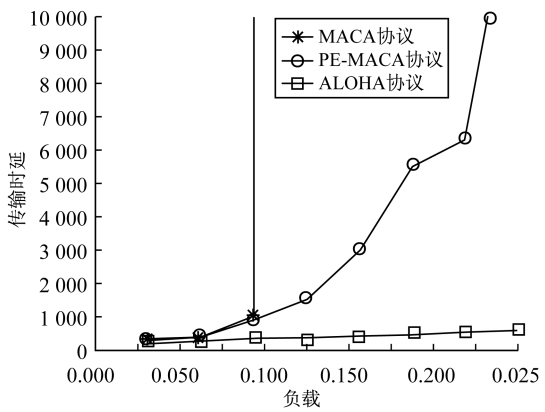


图 9　传输时延比较

3.4　综合性能分析

从以上仿真结果可以看出,在吞吐率方面,PE-MACA 协议最高,且在高负载时仍可以保持稳定的

吞吐率。在数据传输成功率方面,仅将 PE-MACA 与具有较高吞吐率的 ALOHA 和 CSMA 进行了比较。PE-MACA 机制使用了握手机制及优先权、HRN 等冲突避免机制来避免冲突,数据传输成功率是最高的,即丢包更少。在时延方面,虽然,ALOHA 协议无载波侦听机制和握手机制,是时延最小的,但是它的吞吐率和数据传输成功率却不理想。而在高负载时,PE-MACA 协议的时延相对 MACA 协议来说较小。通过以上分析可知,PE-MACA 协议是一种高性能的 MACA 协议。

4 结束语

本文对 MACA 协议进行改进,提出 PE-MACA 协议,大幅提高了数据传输成功率及系统吞吐率,同时也使信道利用率得到较大提升。PE-MACA 协议是一种高性能的 MACA 协议,但其在传输时延方面没有较大改进。因此,如何使 PE-MACA 协议在各种网络负载情况下都能达到较短的时延是下一步的研究方向。

参考文献

[1] YICK J, MUKHERJEE B, GHOSAL D. Wireless Sensor Network Survey[J]. Computer Networks, 2008, 52(12): 2292-2330.

[2] 刘伟荣. 物联网与无线传感器网络[M]. 北京:电子工业出版社, 2013.

[3] AKYILDIZ I F, POMPILI D, MELODIA T. Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges[J]. Ad Hoc Networks, 2005, 3(3): 257-279.

[4] POMPILI D, MELODIA T, AKYILDIZ I F. A CDMA-based Medium Access Control for Under Water Acoustic Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 8(4): 1899-1909.

[5] CHITRE M, SHAHABUDEEN S, STOJANOVIC M. Underwater Acoustic Communications and Networking: Recent Advances and Future Challenges[J]. Marine Technology Society Journal, 2008, 42(1): 103-116.

[6] MOLINS M, STOJANOVIC M. Slotted FAMA: A MAC Protocol for Underwater Acoustic Networks[C]// Proceedings of OCEANS'06. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2006: 1-7.

[7] 周 倩, 申晓红, 修 健. 多帧确认及虚拟载波侦听的水声 MACAW 协议[J]. 探测与控制学报, 2009, 31(2): 28-32.

[8] CHIRDCHOO N, SOH W S, CHUA K C. Aloha-based MAC Protocols with Collision Avoidance for Underwater Acoustic Networks[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communications. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2007: 2271-2275.

[9] SOZER E M, STOJANOVIC M, PROAKIS J G, et al. Underwater Acoustic Networks[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2000, 25(1): 72-83.

[10] BACCELLI F, BLASZCZYSZYN B, MUHLETHALER P. An Aloha Protocol for Multihop Mobile Wireless Networks[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52(2): 421-436.

[11] PAHLAVAN K, LEVESQUE A H. Wireless Information Networks[M]. New York, USA: Wiley, 1995.

[12] ZIOUVA E, ANTONAKOPOULOS T. CSMA/CA Performance Under High Traffic Conditions: Throughput and Delay Analysis[J]. Computer Communications, 2002, 25(3): 313-321.

[13] COLVIN A. CSMA with Collision Avoidance[J]. Computer Communications, 1983, 6(5): 227-235.

[14] KARN P. MACA——A New Channel Access Method for Packet Radio[C]//Proceedings of the 9th Computer Networking Conference on ARRL/CRRL Amateur Radio. [S. l.]: TAPR, 1990: 134-140.

[15] BHARGHAVAN V, DEMERS A, SHENKER S, et al. MACAW: A Media Access Protocol for Wireless LAN's[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2000, 24(4): 212-225.

[16] ZHAO Qichao, LAMBERT A, Benson C R. FS-MACA: A Future Scheduling MAC Protocol in Underwater Acoustic Networks[J]. Acta Parasitologica, 2005, 50(3): 249-254.

[17] YU Yang, SHI Jie, HE Ke. A Multichannel MAC Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks[C]// Proceedings of International Conference on Underwater Networks & Systems. New York, USA: ACM Press, 2014: 1-5.

[18] NASIPURI A, ZHUANG Jun, DAS S R. A Multichannel CSMA MAC Protocol for Multihop Wireless Networks[C]// Proceedings of IEEE Wireless Communications & Networking Conference. Washington D. C., USA: IEEE Press, 1999: 1402-1406.

[19] CHIRDCHOO N, SOH W S, CHUA K C. MACA-MN: A MACA-based MAC Protocol for Underwater Acoustic Networks with Packet Train for Multiple Neighbors[C]// Proceedings of 2008 Vehicular Technology Conference. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2008: 46-50.

编辑 金胡考