

文章编号: 1006-2475(2013)02-0181-04

# 水声网络 MAC 层随机接入协议和握手协议研究

许晓娜 程 恩 林 文

(厦门大学信息科学与技术学院通信工程系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 水声网络 MAC 协议决定了节点共享水声信道资源的方式, 它直接影响到水声信道的利用率和网络的整体性能。本文基于 OPNET 平台, 对随机接入型 MAC 协议和握手协议进行对比, 并分析传输范围、网络拓扑结构和数据包的大小等因素对协议性能的影响。仿真结果表明, 握手协议在情况复杂的水声环境中的性能优于随机接入协议。

**关键词:** 水声网络; MAC 层; 随机接入协议; 握手协议

中图分类号: TP393.04 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1006-2475.2013.02.045

## Research on MAC Protocol for Underwater Acoustic Networks Based on OPNET

XU Xiao-na, CHENG En, LIN Wen

(Department of Communication Engineering, School of Information Science and Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** MAC protocol in underwater acoustic network decides the ways that nodes share the UWA channel's property. It affects the utilization ratio of the UWA channel. This paper makes modeling and simulation of the data link layer protocol based on OPNET, compares random access MAC protocol and RTS/CTS approach protocol, and analyzes the performances affected by transmission range of each node, data packet size and network topology. Simulation result shows that comparing to random access protocol, the RTS/CTS approach protocol has the better performances in complex underwater acoustic environment than random access protocol.

**Key words:** underwater acoustic network; data link layer; random access protocol; RTS/CTS approach protocol

## 0 引言

随着现代信息技术的迅猛发展, 覆盖了地面、空中、太空、水面的立体信息网已经形成了一个巨大的通信网络, 把各国的政治、经济、文化和军事有机地联系在一起, 给全球经济的交流与发展、资源的开发和利用、军事侦察与情报收集等带来了巨大的效益<sup>[1]</sup>。然而海洋中通信网络的发展水平还很落后, 随着世界各国海洋开发和海洋军事领域的不断研究, 水声网络已经成为当前的一个研究热点<sup>[2]</sup>。

无线电波在海洋中的传输受到很大的限制, 而声波是唯一一种能在水介质中进行长距离传输的能量形式, 所以在水下组建无线网络, 水声网络是目前唯一的选择。水声信号传播经过的路径就是水声信道, 它包括水体、海面、海底。水下环境由于受温度、盐度、深度、梯度、季节、风浪等因素的影响, 使得水声信道相当复杂, 接收到的信号也通常会畸变。因此, 水声信道是一个高噪声、强混响、信道带宽窄、多途效应

的干扰严重的信道, 又是一个时变、空变、频变的信道, 其主要特征为: 传播损失、多径效应和频散效应<sup>[3]</sup>。

MAC 协议决定水声信道的共享方式, 在节点之间分配有限的水声信道资源, 用来构建水声网络系统的底层基础<sup>[4]</sup>。MAC 协议对网络性能有重大的影响, 是保证水声网络高效通信的关键网络协议之一。MAC 协议的好坏直接影响到网络吞吐量、端到端时延等性能指标的优劣。

水声网络的工作环境是海洋, 由于复杂的海洋环境和水声信道的影响, 水声网络 MAC 层协议的设计面临着很多挑战, 包括以下几个方面<sup>[5-7]</sup>:

(1) 有限的带宽: 水声信道的可用带宽非常有限, 随着传输距离的增加, 可用带宽不断减少。

(2) 高传播时延: 水声信道中声波的传播速度与无线电磁波传播速度相比低了 5 个数量级。

(3) 能量有限: 由于水声网络工作在海洋中, 网络节点携带电池的能量有限, 所以水声网络也是一个能量受限的网络。

收稿日期: 2012-12-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61001142)

作者简介: 许晓娜(1987-), 女, 辽宁大连人, 厦门大学信息科学与技术学院通信工程系硕士研究生, 研究方向: 水声通信网络; 程恩(1965-), 男, 福建福州人, 系主任, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向: 水声通信。

(4) 网络拓扑结构变化: 水声网络被布置在海洋中, 节点移动性较大, 导致网络拓扑变化较快。同时, 由于海洋环境非常恶劣, 节点比较容易被损坏。

本文针对水声网络的特点, 通过 OPNET<sup>[8]</sup> 仿真平台对 MAC 层协议中的随机接入协议和握手协议进行对比, 并分析传输范围、网络拓扑结构和数据包的大小等因素对协议的影响。

## 1 MAC 层协议分类

水声网络 MAC 层协议大致可分为非竞争类协议和竞争类协议<sup>[9]</sup>。

对于非竞争类协议是指水声传感器网络中的节点不需要通过竞争就能获得水声信道的使用权。非竞争类协议按照各种不同的机制分割信道使用权给各个节点, 每个节点都有各自被分配的信道使用权, 所以节点之间不会发生数据包的冲突。经典的非竞争协议主要包括: TDMA、CDMA 和 FDMA 等。

竞争协议不会提前分配信道资源给各个节点, 水声信道是共同的, 并应该根据需求进行分配, 避免信道资源浪费。竞争协议可分为两大类: 随机竞争和握手协议。随机竞争协议主要包括: ALOHA、时隙 ALOHA 和 CSMA 等; 握手协议主要包括: MACA、FAMA 和 MACAW 等。

MAC 协议要在节点之间建立链路, 保证所有的节点可以公平有效地利用带宽, 主要的评价指标有吞吐量、带宽利用率、公平性和延迟等。MAC 协议是水声通信网络的研究热点之一。本文主要研究的随机接入协议是 ALOHA 协议, 握手协议采用的是 MACA 协议。

### 1.1 随机接入协议—ALOHA 协议

ALOHA<sup>[10]</sup> 协议是最早的随机接入协议, 在 ALOHA 协议中, 当节点有数据需要发送时, 它就直接发送, 并没有考虑到是否会发生数据包冲突。ALOHA 协议没有很好解决数据包冲突的机制。

时隙 ALOHA 的提出是为了减少数据包冲突发生的概率, 传输时间被分成一个个的时隙, 节点只能在时隙的开始时刻发送数据, 因而减少了分组冲突的概率。然而, 时隙 ALOHA 协议在水声网络中的性能不会比 ALOHA 协议好, 这是由水声信道的高传播时延特性决定的<sup>[11]</sup>。

由于 ALOHA 协议不能很好地解决数据包冲突问题, 随着网络负载的增加, 协议性能不断下降。同时, ALOHA 协议不适应于多跳网络。

### 1.2 握手协议(RTS/CTS)—MACA 协议

在水声多跳网络中, “隐藏终端”和“暴露终端”<sup>[12]</sup>会导致网络性能下降。因此如何有效地解决“隐藏终端”和“暴露终端”问题已成为 MAC 协议设

计的主要问题之一。握手协议采用控制包(RTS/CTS)交换竞争信道, 可以很好地解决上述问题。

MACA 协议是最早提出基于握手机制的协议, 它使用的是 RTS-CTS-DATA 交互过程来实现信道的预约与数据的传输<sup>[13]</sup>。发送节点传输数据前先向接收节点发送 RTS 控制包; 接收节点收到 RTS 后立即回复 CTS 包; 发送节点收到 CTS 后, 开始发送数据; 其它节点侦听到不属于自己的 RTS 或者 CTS 时, 退避一段时间, 保证发送节点和接收节点之间的正常通信。如果握手失败, 则根据 BEB 算法进行退避重发。

MACA 协议可以有效地减少数据包冲突, 并且可以改善“隐藏终端”和“暴露终端”问题。然而, 由于 MACA 协议引入了控制包, 控制包交换浪费了一部分信道资源, 导致协议性能下降。如何减少控制包对于网络性能的影响, 是握手协议急需解决的重要问题。

## 2 仿真实验

针对水声信道的特点, 在 OPNET<sup>[14]</sup> 中对水声网络物理层进行相应建模。通过修改 OPNET 的管道模型, 实现水声信道的建模。根据随机接入协议和握手协议在工作机制上存在的差异, 在 OPNET 仿真平台上对两种协议进行仿真实验, 并且设定不同的网络参数来比较水声网络中随机接入协议和握手协议的性能。

### 2.1 仿真参数设置

OPNET 对无线信道的建模是通过管道阶段(Pipeline Stage)来实现的。对于无线网络而言, 它和有线网络最大的区别是无线信道信号的广播和时变特性, 以及节点的移动性。无线信道需要进行合理的模拟, 无线信道的频率、功率、视距以及干扰等都需要在仿真中得到体现。如果对无线信道刻画不准确, 将直接影响到高层的性能以及仿真的精确性。OPNET 中 Modeler 的无线模块提供了模拟无线网络的功能, 可以很好地模拟节点的移动性并通过收/发机管道来刻画无线信道。OPNET 对于物理层实际信道建模采用了 14 个管道阶段来完成。

表 1 OPNET 中的管道阶段

模块	发射机	接收机
管道	接收机组	接收天线增益
	传输时延	接收机功率
	链路闭锁	背景噪声
	信道匹配	干扰噪声
	发射天线增益	信噪比
	传播时延	错误比特率
		错误分布
		纠错

如表 1 所示,前 6 个管道阶段是在无线发射机属性中设置,后 8 个管道阶段是在无线接收机属性中设置。由于水声信道与无线信道差异很大,并且 OP-NET 自带的管道阶段不能很好地模拟水声信道,本文通过修改部分管道模块,使得管道阶段可以很好地体现水声信道的特性(如表 2 所示),主要修改以下几个管道阶段:传播时延、接收机功率和背景噪声。

表 2 重建水声信道参数设置

管道参数	参数设置值
调制方式	QPSK
信道带宽	10kHz
海水对声波的吸收系数( $\alpha$ )	$\frac{0.11f^2}{1+f^2} + \frac{44f^2}{4100+f^2} + 3.02 \times 10^{-4}f^2$
数据传输速率	1000 bit/s
水声信号传播速度	1500 m/s
传播损耗(TL)	$15\log R + \alpha R + 45$
背景噪声(N)	$N_w + N_h + N_s$

在表 2 中  $f$  为以 kHz 为单位的声波频率,  $R$  为收发端的距离,  $N_w$  为风成噪声,  $N_h$  为热噪声,  $N_s$  为船舶噪声。噪声公式如下:

$$N_w = 50 + 7.5 \sqrt{w} + 20\log(f) - 40\log(f + 0.4) \quad (1)$$

$$N_h = -15 + 20\log f \quad (2)$$

$$N_s = 40 + 20(D - 0.5) + 26\log f - 60\log(5 + 0.03) \quad (3)$$

其中,  $w$  表示风速(m/s),  $f$  表示信号频率(kHz),  $D$  表示船舶密度。

### 2.2 仿真结果分析

本文对比随机接入协议和握手协议在相同和不同网络参数下的性能差异。对比的网络参数包括:传输范围、网络拓扑结构和数据包的大小。

首先对相同网络参数下随机接入协议和握手协议在水声网络中的吞吐量随负载变化进行仿真分析。在  $1\text{km} \times 1\text{km}$  的范围内设置 5 个节点,数据包的大小设定为 512bits。仿真结果如图 1 所示。

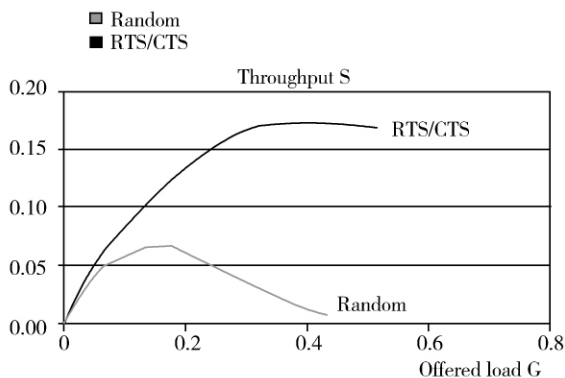


图 1 水声网络吞吐量随负载的变化曲线

从图 1 中可知,当负载较低时,随机接入协议和握手协议的吞吐量都随着负载的增大而增大。当负载量达到一定值时,两种协议的吞吐量都达到最大值,且握手协议的吞吐量最大值要大于随机接入协议的吞吐量最大值。当负载量较高时,握手协议的吞吐量能够保持最大值并趋于平稳,而随机接入协议的吞吐量迅速下降。这是因为随机接入协议没有有效的冲突避免机制,当负载增加时,数据包之间发生碰撞的概率变大,从而减少了吞吐量。握手协议利用控制包交换来实现信道的预约,在控制包交换成功后才能发送数据,避免了数据包间的碰撞,提高了信道的利用率。由此可知,在水声网络中,随着负载量的增大,握手协议能够保持比较稳定的性能,然而随机接入协议只适用于低负载的水声网络。

下面研究网络参数对随机接入协议与握手协议的性能影响。

#### 2.2.1 传输范围对协议性能的影响

传输范围  $R$  分别设置为 200m、400m 和 600m。由图 2 可知,当传输范围变化时,随机接入协议的性能几乎没有变化。然而,握手协议的性能明显发生变化。随着传输范围  $R$  的增大,握手协议的吞吐量最大值逐渐减小。这是因为握手协议采用控制包交换机制,当传输范围增大时,控制包交换占据信道的的时间变长,从而影响了信道的利用率。

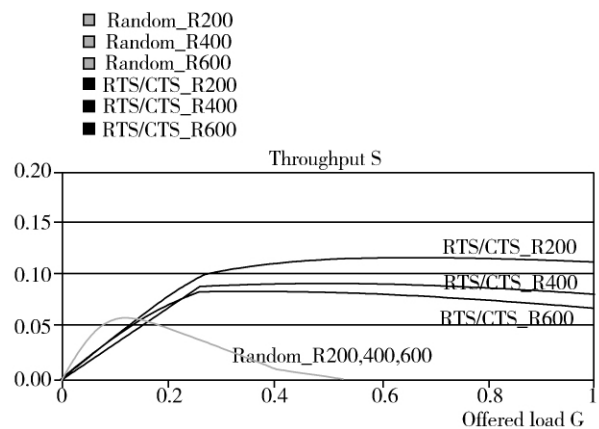


图 2 吞吐量随传输范围的变化曲线

因此  $R$  为 600 时的吞吐量最大值要明显小于  $R$  为 200 时的吞吐量最大值。随机接入协议发送数据前不需要控制包交换,所以传输范围的变化对随机接入协议的性能不产生太大影响。

#### 2.2.2 数据包的大小对协议性能的影响

发送数据包的大小分别设置为 256bits、512bits。从图 3 可知,随着数据包增大,两种协议的吞吐量都明显提高。随机接入协议传输的数据包个数不变,数

据包越大,吞吐量越大;握手协议的吞吐量变大,这是因为在完成一次控制包交换后,发送节点可以传送的数据量变大,减少了控制包交换对信道利用率的影响。

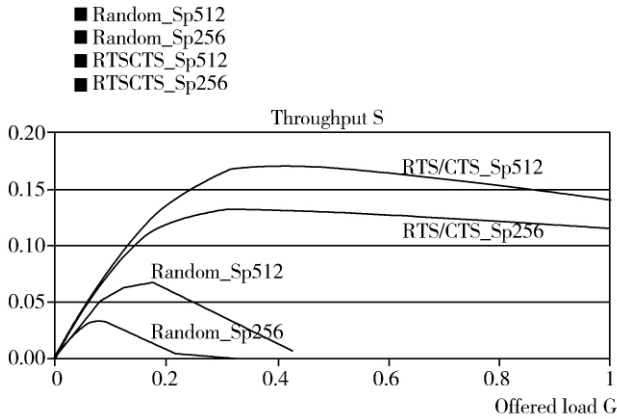


图3 吞吐量随数据包大小的变化曲线

### 2.2.3 节点个数对协议性能的影响

网络节点个数的变化会对协议的吞吐量产生一定的影响。仿真中,改变网络节点个数,在一定范围内布署节点的个数  $n$  为 10 和 15。

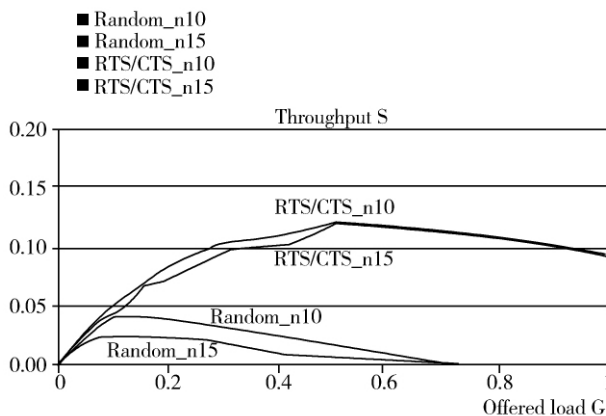


图4 吞吐量随节点个数的变化曲线

从图4可知,当节点个数  $n$  增大时,随机接入协议和握手协议的吞吐量最大值越小。随着节点个数的减少,随机接入协议中节点竞争信道的激烈程度降低,从而提高了网络吞吐量;握手协议具备有效的冲突避免机制,所以随着节点个数的增加,可以保持稳定的吞吐量,因此节点个数的变化对握手协议的性能影响不大。

## 3 结束语

本文主要对比了随机接入协议和握手协议的性能差异,通过仿真实验得出以下结论:随机接入协议在低负载的情况下性能良好,握手协议在高负载时性能稳定;传输范围的改变对随机接入协议性能影响不

大,而对握手协议性能产生明显的影响;节点个数的多少对随机接入协议的性能产生一定的影响,对握手协议的性能影响不大;数据包的大小对两种协议的性能均产生影响。综上所述,随机接入协议原理简单,适合于低负载的,节点个数较少的单跳网络。握手协议适合高负载、传输距离短和节点个数多的多跳网络。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] Proakis J G, Sozer E M, Rice J A, et al. Shallow water acoustic networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2001, 39(11): 114-119.
- [3] 朱昌平,韩庆邦,李建,等. 水声通信基本原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [4] Tanenbaum A S, Wetherall D J. Computer Networks(4th ed.) [M]. Prentice Hall, 2008.
- [5] Akyildiz I F, Pompili D, Melodia T. Underwater acoustic sensor networks: Research challenges [J]. Ad Hoc Networks, 2005, 3(3): 257-279.
- [6] Heidemann J, Ye W, Wills J, et al. Research challenges and applications for underwater sensor networking [C]// Wireless Communications and Networking Conference, 2006. 2006: 228-235.
- [7] Akyildiz I F, Pompili D, Melodia T. Challenges for efficient communication in underwater acoustic sensor networks [J]. ACM SIGBED Review, 2004, 1(2): 3-8.
- [8] 陈敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [9] Nguyen H T, Shin S Y, Park S H. State-of-the-art in MAC protocols for underwater acoustics sensor networks [C]// Proceedings of the 2007 Conference on Emerging Direction in Embedded and Ubiquitous Computing. 2007: 482-493.
- [10] 于宏毅. 无线移动自组织网[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [11] Vieira L F M, Kong J, Lee U, et al. Analysis of Aloha Protocols for Underwater Acoustic Sensor Networks [Z]. Poster Abstract in WUWNet 2006, 2006.
- [12] Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535-547.
- [13] 王瑜, 焦永革, 曾昭文. 一种用于水声通信网的多址接入协议[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2007, 46(增刊2): 156-158.
- [14] 王文博, 张金文. OPNET Modeler 与网络仿真[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.