

## 撤稿声明

撤稿文章名: 基于握手机制的水声传感器网络MAC协议研究  
 作者: 林文  
 通讯作者: 邮箱: linwen21@163.com  
 期刊名: 无线通信(HJWC)  
 年份: 2016  
 卷数: 6  
 期数: 4  
 页码 (从X页到X页): 100-109  
 DOI (to PDF): <http://dx.doi.org/10.12677/HJWC.2016.64013>  
 文章ID: 1730216  
 文章页面: <http://www.hanspub.org/journal/PaperInformation.aspx?paperID=183>  
 91  
 撤稿日期: 2016-09-08

### 撤稿原因 (可多选):

- 所有作者  
 部分作者:  
 编辑收到通知来自于
  - 出版商
  - 科研机构:
  - 读者:
  - 其他:
- 撤稿生效日期: 2016-09-08

### 撤稿类型 (可多选):

- 结果不实
  - 实验错误
  - 数据不一致
  - 分析错误
  - 内容有失偏颇
  - 其他: 结果不可再得  
 未揭示可能会影响理解与结论的主要利益冲突  
 不符合道德
- 欺诈
  - 编造数据
  - 虚假出版
  - 其他: 抄袭  自我抄袭  重复抄袭  重复发表 \*  
 侵权  其他法律相关:
- 编辑错误
  - 操作错误
  - 无效评审
  - 决策错误
  - 其他:
- 其他原因:

### 出版结果 (只可单选)

- 仍然有效.  
 完全无效.

### 作者行为 失误(只可单选):

- 诚信问题  
 学术不端  
 无 (不适用此条, 如编辑错误)

\* 重复发表: "出版或试图出版同一篇文章于不同期刊."

历史

作者回应:

是, 日期: yyyy-mm-dd

否

信息改正:

是, 日期: yyyy-mm-dd

否

说明:

“基于握手机制的水声传感器网络 MAC 协议研究”一文刊登在 2016 年 8 月出版的《无线通信》2016 年第 6 卷第 4 期第 100-109 页上。因作者申请, 文章数据统计出现偏差, 存在推导错误, 暂不适合发表, 编委会现决定撤除此稿件:

林文. 基于握手机制的水声传感器网络 MAC 协议研究[J]. 无线通信, 2016, 6(4): 100-109.<http://dx.doi.org/10.12677/HJWC.2016.64013>

# Research on Underwater Acoustic Sensor Networks MAC Protocol Based on Handshake Mechanisms

Wen Lin

Department of Computer Science, Minjiang University, Fuzhou Fujian  
Email: [linwen21@163.com](mailto:linwen21@163.com)

Received: Aug. 3<sup>rd</sup>, 2016; accepted: Aug. 22<sup>nd</sup>, 2016; published: Aug. 25<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Content-based MAC (Medium Access Control) protocol based on the handshake mechanism is a hot research topic of MAC protocol in underwater acoustic sensor networks (UWASNs). Due to the non-negligible physical restrictions of the underwater acoustic communication, such as long propagation delays, multipath seriously and low available bandwidth, most MAC protocols applied in the existing terrestrial wireless networks become inapplicable. In this paper, firstly, we summarize and analyze the three problems in the handshake protocol of UWASNs: low channel utilization, failure of control packet function and unfair access channel. Secondly, to solve the problems, this paper describes some efficient solutions, and analyzes their advantages and disadvantages. Finally, we summarize the existing MAC protocols of UWASNs and put forward the follow-up research direction.

## Keywords

MAC Protocol, Underwater Acoustic Sensor Networks, Propagation Delay

---

# 基于握手机制的水声传感器网络MAC协议研究

林 文

闽江学院计算机科学系, 福建 福州  
Email: [linwen21@163.com](mailto:linwen21@163.com)

收稿日期：2016年8月3日；录用日期：2016年8月22日；发布日期：2016年8月25日

## 摘要

基于握手机制的竞争型MAC协议是水声传感器网络MAC协议的研究热点，由于水声信道的一些特殊特性：传播时延高、多径效应严重、可用带宽窄等，使得已有的陆地无线电传感器网络的握手协议不能够直接应用于水声传感器网络中。针对这一问题，本文首先总结并分析了握手协议在水声传感器网络中的面临的三大问题：信道利用率低、控制包功能失效和接入信道不公平性。其次针对各类问题，阐述了一些高效的解决方案，并分析其优缺点；最后对现有的水声传感器网络握手协议进行了总结并提出了后续的研究方向。

## 关键词

MAC协议，水声传感器网络，传播时延

## 1. 引言

随着人类对海洋的探索的不断加深，各个领域对海洋环境下的信息获取和交流存在着巨大的需求。水声传感器网络是探索和开发海洋的重要方式，它可以提供更好的技术支持资源保护、海下探测、灾害预警、军事监测等活动，随着陆地上无线传感器网络的快速发展，使得研究适合海洋环境的水声传感器网络成为一个新的研究热点[1]。

媒介接入控制(Medium Access Control, MAC)协议能够控制网络中的各个节点合理地共享水声信道。相对于陆地上无线传感器网络，水声信道资源极其稀缺，MAC协议也成为水声传感器网络设计中非常重要的因素。高效的MAC协议可以有效地减少节点之间的数据包碰撞，节省节点的能量损耗，提高水声传感器网络的生存周期和吞吐量等关键性能指标，因此MAC协议在传感器网络研究中具有重要的意义。陆地上的无线电传感器网络相关的MAC协议已经非常成熟，但是水声通信大部分采用声波进行通信，因而已有的MAC协议在水下传感器网络中并不能发挥很好的作用，所以需要根据水声信道强多径、大延迟、窄带宽等特性，设计适合在水声传感器网络中的MAC协议[2]。

近些年来已有很多水声传感器网络MAC协议被提出，按照节点接入信道方式来划分，水声传感器网络的MAC协议可分为三类：非竞争型MAC协议(比如：TDMA、CDMA和FDMA等)、竞争型MAC协议(MACA、FAMA和SMAC)、混合型MAC协议(比如：POCA等)[3][4]。声波在水下的传播速度仅为1500 m/s，这个特性使得数据包在水声信道中传输的延时很高，导致非竞争型协议在水声传感器网络中的性能不理想。竞争型协议大致可以分为随机接入协议(ALOHA和CSMA)和基于握手机制的协议，由于水声信道的特殊特性，在网络负载较低和节点个数较少的网络中，随机接入协议性能和握手协议性能相当。随着负载不断变大和节点个数不断增加，随机接入协议的性能将急剧下降，但握手协议可以保持较为稳定的性能，因此，近些年来基于握手方式的MAC协议越来越受到研究者的关注[5]。

传统的握手协议在水声传感器网络中面临着许多问题，水声信道高传播时延对于握手协议的性能影响最大，因为握手协议需要通过控制包的交换进行信道使用权竞争，控制包交换占据大量的信道资源，导致握手协议的吞吐量、时延等性能下降。同时，由于高传播时延的存在，控制包预防隐藏终端和暴露终端的作用也被弱化，导致数据包冲突概率增加。因此如何分析和解决握手协议面临的问题具有一定的研究价值。本文将详细分析和总结握手协议面临的问题，并阐述已有MAC协议是如何合理地解决相关

问题，最后总结相关解决方案的优缺点，为后续研究提供一些指导意见。

## 2. 握手协议

### 2.1. 基本思想

竞争型机制的目标就是让所有的节点自由竞争信道的使用权，可以减少高传播时延对信道利用率的影响，克服无发送任务的节点占据信道的现象，减少节点接入信道的等待时间，提高网络性能。在水声大规模传感器网络中，由于具有较高的部署密度，握手接入机制可以有效地避免数据包冲突，同时水声信道具有独特的复用性，所以研究握手接入机制，在吞吐量、端对端时延和公平性等方面具有明显的优势。

握手协议的基本思想是：节点在发送数据包之前，必须通过控制包交换获得信道的使用权。如图 1 所示，发送节点有一个数据包(DATA)需要传输给接收节点，该节点需要先发送一个 RTS (Request To Send) 控制包，RTS 控制包会询问接收节点是否能够接收数据包，同时还将通知其通信范围内的其他节点进入退避状态。接收节点侦听到 RTS 包后，如果处于空闲状态时，它将回复一个 CTS (Clear To Send) 控制包，CTS 控制包将告知发送节点可以进行数据包通信，同样也会通知它通信范围内的其他节点进入退避状态，防止其他节点干扰发送节点和接收节点之间的数据包通信。

### 2.2. 存在问题

#### 2.2.1. 信道利用率低

在陆地上无线电传感器网络中，握手协议可以有效地解决隐藏终端和暴露终端问题，具有较好的性能。然而，握手协议不适合直接应用于水声传感器网络中，最主要的原因是水声信道高传播时延特性，该特性将导致握手协议性能(吞吐量、时延)下降。我们从两个方面分析性能下降的原因：

##### (1) 控制包占据信道时间

在握手协议中，一次完整的数据包传输过程需要进行三次握手，其中包括两次控制包握手(RTS-CTS)。如图 2 所示，节点 2 和节点 1 进行数据包通信，当节点 2 发送完 RTS 控制包后必须等待来自节点 1 的 CTS 包。在这段等待时间中，节点 2 只能处于空闲等待状态，在陆地无线电传感器网络中，由于无线电信号的传播速度很快，可以忽视这段空闲时间。然而在水声信道中，这段空闲时间占据了大部分信道使用时间，因此导致信道利用率下降。

##### (2) 退避时间太长

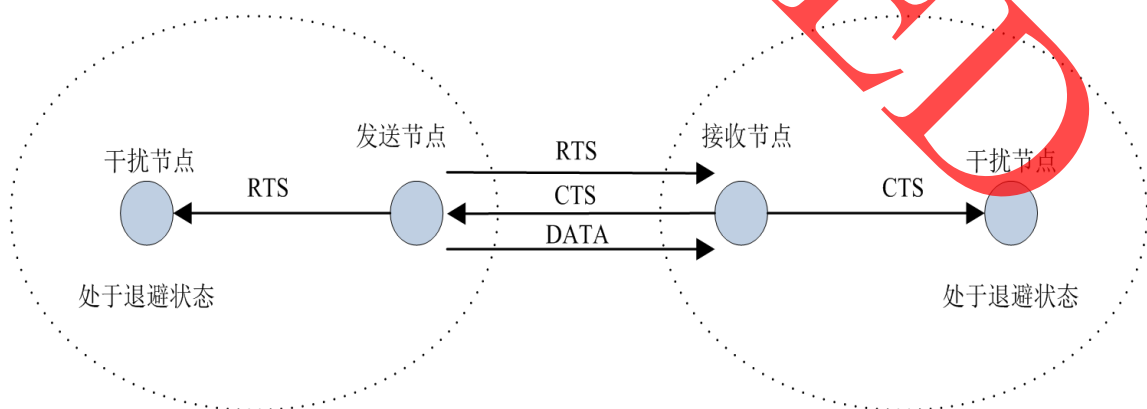


Figure 1. The procedures of handshaking protocol

图 1. 握手协议流程

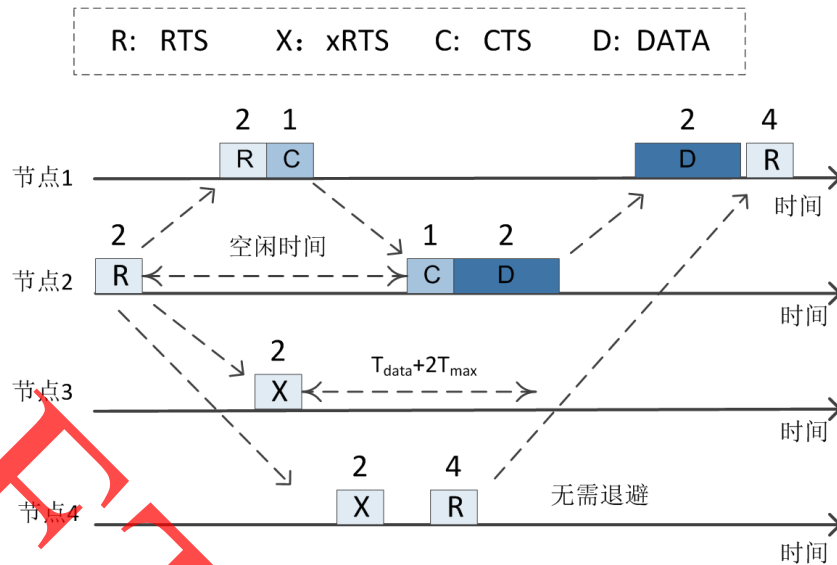


Figure 2. Silent time of traditional handshaking protocols

图 2. 传统握手协议的空闲时间

在握手协议中，发送节点和接收节点周围的潜在干扰节点在侦听到不属于自己的控制包(xRTS 或 xCTS)后，干扰节点必须进入退避状态，保证正在进行的数据包传输不会受到干扰。经典握手协议规定所有干扰节点进入退避状态的时间为  $T_{defer} = T_{data} + 2T_{max}$ ，其中  $T_{data}$  为数据包的传输时间， $T_{max}$  为发送节点和接收节点在其传播范围内的最大传播时延[6]。由于各个干扰节点和发送节点或接收节点之间的距离是不同的，所以在大部分情况下不要求所有干扰节点的退避状态持续时间相同，甚至在一些特殊情况下，某些干扰节点不需要进入退避状态。如图 2 所示，节点 1 距离节点 2 比较近，节点 4 距离节点 2 比较远，当节点 4 收到来自节点 2 的 xRTS 包不需进入退避状态，因为 xRTS 包从发送节点到节点 4 的传播时延远大于 RTS 包的传播时延，所以即使节点 4 收到 xRTS 包后立即使用信道也不会干扰数据包的传输。

综上所述，在传统的握手协议中，由于高传播时延会导致信道利用率降低，节点空闲和退避时间太长，该问题也是水声传感器网络握手协议设计中面临着最大的挑战。

### 2.2.2. 控制包功能失效

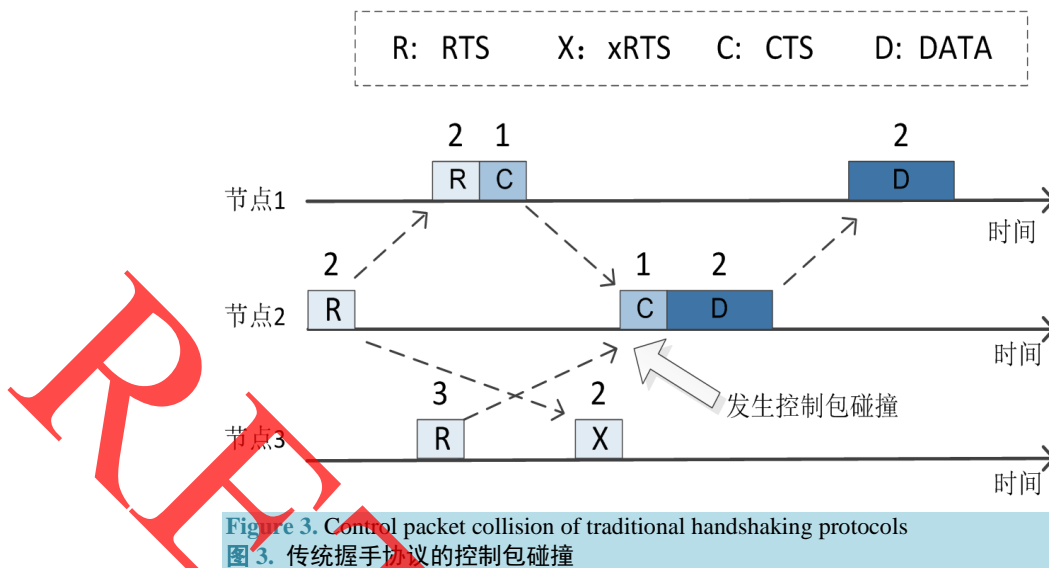
控制包的功能是保证发送节点和接收节点能够及时地通知其周围潜在干扰节点，然而，由于节点之间的距离是不一样的，所以每个潜在干扰节点收到控制包的时间是不同的。由于存在高传播时延，在水声传感器网络中会发生控制包不能及时地通知到潜在干扰节点，造成干扰节点不知道信道中已经存在一个正在进行的数据包传输，引起包的冲突而导致通信失败。如图 3 所示，节点 1 和节点 2 正在进行一次数据包传输，节点 2 发送 xRTS 包通知节点 3 进行退避，然而，当节点 3 收到 xRTS 包之前已经向节点 2 发送一个 RTS 包，导致来自节点 1 的 CTS 包和节点 3 的 RTS 包发送碰撞，所有节点都进入退避状态。同样，在这种情况下也可能发生节点 1 的干扰节点发送的 RTS 包和数据包发生碰撞。

控制包功能失效的主要原因是控制包的传播时延太长，干扰节点侦听到控制包后已经来不及制止碰撞的发生。在网络负载较低的情况下，这种情况的发生概率较低，随着网络负载的增加，越来越多的碰撞会发生，控制包已经不能完全解决隐藏终端和暴露终端问题，导致协议性能下降，因此如何改进握手机制，使得控制包能够正常发挥其功能也是握手协议的一个研究重点。

### 2.2.3. 竞争信道公平性

节点通过控制包竞争信道的使用权，在陆地无线电传感器网络中，由于传播时延很低，接收节点收





到 RTS 包的时刻和发送节点发送 RTS 包的时刻基本一样，所以最早发送 RTS 包的节点就有最大概率竞争到信道的使用权。在水声传感器网络中，由于时空不确定性的存在，目标节点接收到 RTS 包的时刻不仅仅跟发送时刻有关，还和发送节点和目标节点之间的距离有关[7]。最早发送的 RTS 包不一定能够最早到达接收节点。如图 4 所示，相对于节点 1，节点 3 更早发送 RTS 包给节点 2，然而节点 3 距离节点 2 较远，节点 2 先收到来自节点 1 的 RTS 包，因此节点 2 与节点 1 进行控制包握手。上述情况导致距离目标节点较远的节点竞争信道的难度变大，距离目标节点较近的节点一直占据信道的使用权，导致信道竞争的不公平性。因此公平性问题也是一个需要解决的问题。

### 3. 解决方案

在水声传感器网络中，握手协议存在着上述三大问题。近些年来，许多新的水声传感器网络 MAC 协议尝试着解决上述问题，并取得良好的效果，下面将阐述各个解决方案的基本思路，并分析其优缺点。

#### 3.1. 提高信道利用率

针对控制包占据信道时间太长问题，现有的 MAC 协议主要有两种方案：第一种是通过控制包复用方式来提高控制包利用率。控制包复用的基本思路是改变原有的握手机制，不再限制一个发送节点仅能跟一个接收节点进行控制包握手。发送节点发送的 RTS 包和 CTS 包可以有多个目标节点，在一次控制包交换过程中发送节点可以和多个目标节点同时握手，并在握手结束后一次传输多个数据包。如图 5 所示，节点 1 广播一个 RTS 包，RTS 包的目标节点有两个(节点 2 和节点 3)，当目标节点收到 RTS 包后回复 CTS 包，最后，通过一次控制包交换周期，节点 1 可以发送两个数据包。这种方案的主要难点在于如何安排多个目标节点回复 CTS 包的时刻，因为发送节点需要同时接收多个 CTS 包，为了保证不发生包碰撞情况，发送节点必须设计一个无碰撞的发送时序表，该表将规定所有目标节点回复 CTS 包的时间。同时，发送节点也将会把这个发送时序表放入 RTS 包进行广播，保证所有目标节点侦听到这个时序表。

MACA-MN (MACA with packet train to Multiple Neighbors)、ROPA (Reverse Opportunistic Packet Appending)、HOSM (Handshake based Ordered Scheduling MAC)等相关协议均采用上述方案，并延伸出各种不同的复用方案，仿真结果表明控制包复用方案可以有效地提高信道利用率，提高网络吞吐量，然而还是存在一些问题：

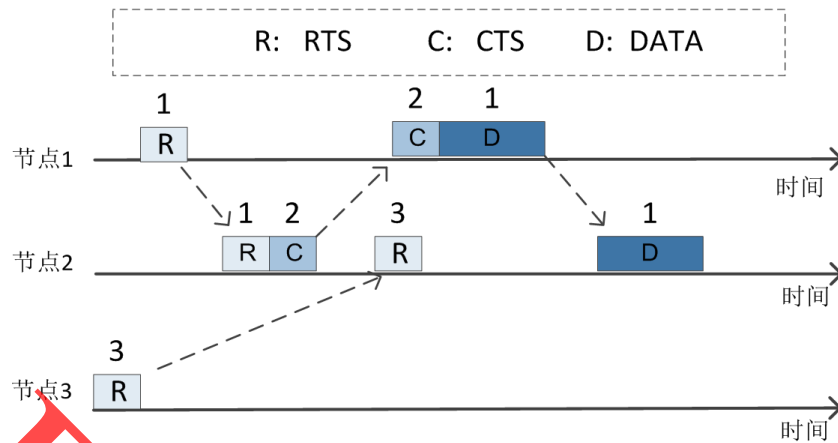


Figure 4. Fairness of traditional handshaking protocols  
图4. 传统握手协议的公平性问题

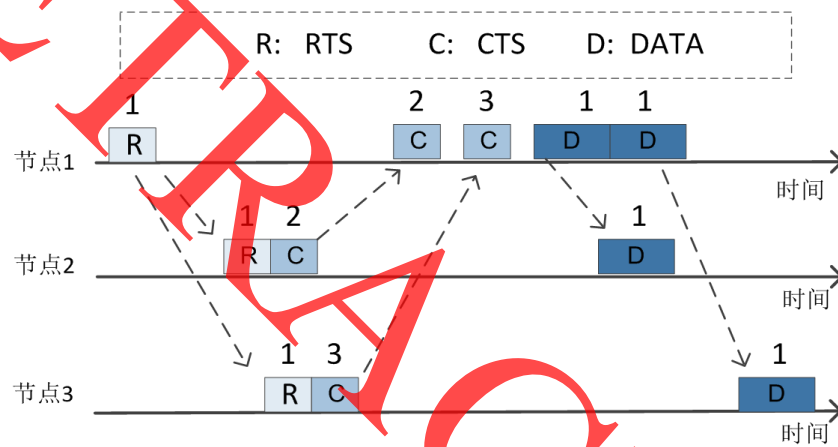


Figure 5. Control packet multiplexing of handshaking protocols  
图5. 握手协议的控制包复用

MACA-MN 协议[8]较早提出 RTS 包复用方案, 协议的基本思路如图 5 所示。该协议需要发送节点预先得知所有邻居节点和它之间的传输时延, 这样才能合理安排所有的发送节点回复 CTS 包的时刻, 防止在接收节点处发生 CTS 包冲突。该协议存在的主要问题是发送节点广播 RTS 包的周期, 如果发送节点没有多个数据包要发送, 该协议并不能提高网络性能。同时, 如果某个发送节点频繁发送 RTS 包, 会导致其他节点接入信道的公平性。

ROPA 协议[9]同样采取 RTS 包复用方案, 通过 RTS 复用使得发送节点可以同时和多个目标节点进行握手, 在握手过程中引入一个新的控制包 RTA, 该控制包的作用是安排所有节点发送数据包的时刻, 避免数据包发生冲突。当某些目标节点正好有数据包要传输给发送节点时, 这些目标节点将相关信息放入 CTS 包回复给发送节点, 发送节点通过广播 RTA 包告知所有目标节点接收和发送数据包的时刻表, 因此在 ROPA 协议中, 一些目标节点可以处于接收和发送两种状态。在目标节点发送完数据包后可以立即发送数据包给发送节点, 进一步提高信道利用率。然而, ROPA 协议需要交换的控制包太多, 增加协议实现的难度。同时, 当网络负载低时, 该协议的性能不好, 因为需要发送过多的数据包。

HOSM 协议[10]的基本思路和 ROPA 协议相同, 采用四次握手方式(STR-RTS-Order-DATA)。不同的是 HOSM 协议通过 Order 控制包安排所有节点发送数据包的顺序, 通过合理地设计发送顺序, 在一次控



制包握手周期后，所有目标节点之间也可以相互发送数据包，不在仅限于目标节点和发送节点之间的数据包传输。同时还可以避免数据包发生冲突，并提高信道利用率。同样该协议也存在控制包太多，低负载时性能不佳等问题。

第二种方案是通过信道复用方式，发送节点在等待 CTS 包的空闲时间内，它被允许和其他目标节点进行第二次控制包握手或多次控制包握手。发送节点在空闲时刻内如果有其他数据包发送给其他目标节点，它将再次发送 RTS 包，然后通过设计合理的发送顺序，发送节点可以同时和多个目标节点进行控制包交换和数据包传输，并且不会发生包的碰撞。DOTS (Delay-aware Opportunistic Transmission Scheduling)、APCAP (Adaptive Propagation delay tolerant Collision Avoidance Protocol)等协议均采用这种方式[11] [12]，可以有效地提高信道利用率，存在的主要问题是这种方案需要节点之间精确的时间同步。

针对退避时间太长问题，解决方案主要通过设计可变的退避时间来代替传统握手机制的固定退避时间。节点在发送 RTS 或 CTS 包时，将发送节点和目标节点之间的传输时延信息放入 RTS 或 CTS 包。在干扰节点侦听到控制包(xRTS 或 xCTS)后，根据发送节点、目标节点和干扰节点之间相互的传播时延信息，设计一个可变换的退避时间。每个干扰节点均计算各自的最小退避时间，从而减少干扰节点的平均等待时间，提高了节点接入信道的概率。MACA-DT (MACA protocol with Delay Tolerant)、G-MACA (Geographical MACA)等协议均采用这种方案[13] [14]，然而这种方案并不能解决控制包功能失效问题。

### 3.2. 防止控制包功能失效

针对控制包功能失效问题，主要采用两种方法：第一种是通过推迟 CTS 和数据包发送时刻的方案。由于 RTS 控制包不能及时通知到所有潜在干扰节点，当目标节点收到 RTS 包后，不需立即回复 CTS 包。在该方案中，目标节点必须等待一段足够长的时间，保证所有的干扰节点可以侦听 xRTS 包。这段推迟时间的大小和发送节点、目标节点和干扰节点之间的传播时延有关。在这种方案中，发送节点收到 CTS 包后，也需要推迟一段时间发送数据包，保证所有的干扰节点可以侦听到 xCTS 包，推迟时间的长短和目标节点推迟发送 CTS 包的时间的计算方法一样。如图 6 所示，节点 2 在侦听到 RTS 包后，需要推迟发送 CTS 包，保证 xRTS 包有足够时间通知到所有的干扰节点。合理的推迟发送时间可以保证节点 3 在收到 xRTS 包之前的所有通信不会干扰到节点 2 的 CTS 包发送和节点 1 的 CTS 包接收。

DACAP (Distance Aware Collision Avoidance Protocol)、EHM (Efficient Handshaking Mechanism)、APCAP 等协议均采取上述方案。EHM 和 APCAP 协议都要求 CTS 包和数据包推迟发送，然而，这种方案会导致节点空闲时间变长，使得网络性能下降。因此，EHM 协议允许接收节点在推迟发送时间内接收所有侦听到的 RTS 包，然后通过广播 CTS 包方式使得接收节点可以同时与多个目标节点进行数据包通信，通过这种 CTS 控制包复用方案可以进一步提高信道利用率[15]。APCAP 协议则允许发送节点在空闲时间内再次发送另一个 RTS 包给其他目标节点，实现多次握手进程同时进行，通过这种信道复用方案充分利用空闲时间[12]。DACAP 协议采取另一种方式，它只要求发送节点在侦听到 CTS 包后推迟发送数据包。当目标节点侦听到 RTS 包后需要立即回复 CTS 包，在等待数据包的时间内，如果目标节点侦听到其他干扰节点的控制包，它将发送一个警示包通知干扰节点进行退避[16]。DACAP 协议主要问题在于控制包的利用率太低，没有采用一些控制包复用或信道复用等方案，网络性能不佳。

第二种方案是采用时隙方式来解决控制包功能失效问题，Slotted FAMA 是最早采用这种方式的一种协议[17]。在 Slotted FAMA 协议中，控制包和数据包的发送都要在每个时隙的开始时刻，并且通过设置合理的时隙大小，可以保证所有的控制包达到所有的邻居节点，避免发生包冲突。由于水声信道高传播时延的特性，需要安排较大的时隙，所以 Slotted FAMA 协议的吞吐量和时延均不理想。同时，Slotted FAMA 协议还会遇到 RTS 控制包竞争导致握手失败等问题。RC-SFAMA (Slotted FAMA with RTS Com-

petition)协议通过引入随机竞争数可以有效地解决 RTS 控制包竞争问题[18]。M-FAMA (Multi-session FAMA)协议则通过信道复用方案来提高 SFAMA 协议的性能[19]。MHM (Multi-Handshaking MAC)协议通过控制包复用和控制包等级划分等方案解决上述两个问题，进一步提高 Slotted FAMA 协议的性能[20]。然而，上述所有协议均要求节点之间精确同步，这也是这类协议实现存在的一个问题。

### 3.3. 解决公平性问题

A. A. Syed 等人最早提出水声信道的时空不确定性问题，数据包的碰撞不再仅仅和发送时刻有关，还和发送节点和目标节点之间的传播时延相关[7]。时空不确定性问题导致距离目标节点越近的节点更容易获取信道的使用权。解决这种问题的主要方案和解决控制包功能失效的方法类似。如图 6 所示，目标节点 2 侦听到第一个 RTS 包后推迟发送 CTS 包，在这段等待时间内，目标节点继续侦听其他节点发送的 RTS 包。在等待时间结束后，目标节点根据收到每个 RTS 包的时刻和它与所有发送节点的传播时延，判断每个 RTS 包的发送时刻，最终确定一个最早发送 RTS 包的发送节点，并回复 CTS 包给该发送节点。这样可以有效地解决公平性问题。SF-MAC 协议最早提出上述方案[21]，SF-MAC (Spatially Fair MAC Protocol)存在的问题主要是该协议没有采用控制包复用或信道复用方案。为了保证节点接入信道的公平性和控制包功能不失效，发送节点和目标节点都要退出控制包或者数据包的发送时间，这种方式增加了一次控制包握手占据信道的的时间。因此导致网络性能不佳。RET-MAC (Response to the Earliest Transmitter of RTS MAC)协议[22]的接入机制和 SF-MAC 相似，通过增加侦听周期来保证节点接入信道的公平性，同时该协议还添加一个新的控制包，可以避免可能发生的数据包冲突，但由于侦听周期变长和需要更多的控制包，同样导致信道利用率下降。

T-Lohi (Tone-Lohi protocol)协议[23]采用一种新的信道竞争机制保障节点接入信道的公平性。节点在发送数据包之前必须竞争信道，它们发送一个短帧，然后侦听信道一段时间，如果节点在竞争周期内没有侦听到其他节点的短帧，节点可以发送数据包。如果有多个节点竞争则推迟发送，等待下一个竞争周期。T-Lohi 协议允许所有节点一起竞争信道，可以保证节点接入的公平性，但不是很适合于多跳水声传感器网络。

## 4. 结论

基于握手机制的水声传感器网络 MAC 协议可以有效地分配有限的水声信道资源，同时水声信道的一些特性导致握手机制面临着很多挑战：信道利用率低、控制包功能失效和不公平性等问题。综上所述，

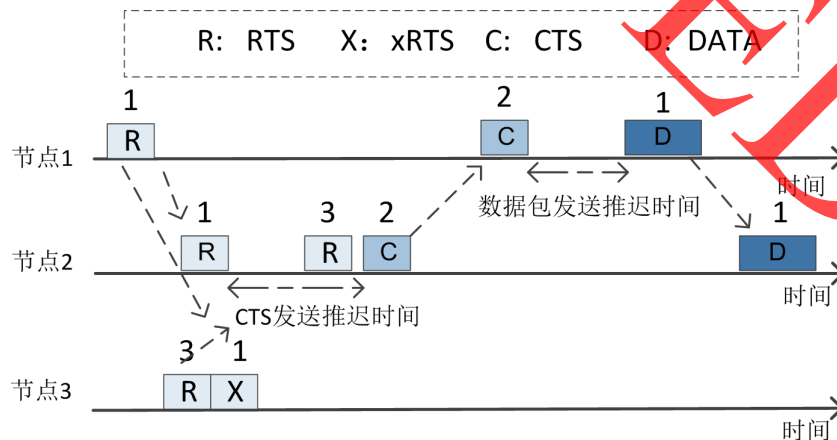


Figure 6. Delayed transmission mechanism of handshaking protocols  
图 6. 握手协议的推迟发送机制

造成上述问题的最主要原因是水声信道高传播时延的特性，由于传播时延高，导致控制包占据信道时间长、时空不确定性等问题的出现。然而，在解决高传播时延特性问题的同时，研究者们发现高传播时延其实也有一个可以利用的优点。由于空闲时间较长，许多协议可以利用这段时间进行控制包复用和信道复用，减少高传播时延对网络性能的影响，进一步提高协议的性能。最后，我们也发生握手协议存在的三个问题并不是独立的，一些新的协议只关注于其中一个问题，如 MACA-MN 只通过控制包复用方案提高控制包的使用率，然而在控制包功能失效和不公平性问题并没有深入研究。因此，在设计高效的 MAC 协议必须同时考虑上述三个问题，这样才能取得较好的效果。

相对于陆地上无线电传感器网络 MAC 协议，水声网络 MAC 协议的研究才刚刚起步，还有许多可以改进的空间：

- 退避算法的研究：在水声网络 MAC 协议已有的研究中，对于退避算法的研究，大部分局限于直接采用传统的经典退避算法，这些算法并不完全适合于水声信道。对于握手协议的设计，如果引入控制包复用和信道复用方案，则需要重新设计高效且合理的退避算法。
- 文献[20]中，研究者们提出由于现有的水声调制解调器在接收或发送数据时不能自行中断，水声传感器网络 MAC 协议存在 BTP (Busy Terminal Problem) 问题。BTP 问题对于信道复用方案的影响很大，所以如何解决 BTP 问题也是下一步研究的重点。
- 为了提高握手协议的性能，现有握手协议存在着控制包过多，需要精确的网络同步、节点能量损耗大、协议复杂和适应网络节点移动性等问题，这些问题都制约着握手协议的发展，在下一步研究需要重点关注。

## 基金项目

福建省自然科学基金 - 青年创新项目(2016J05160)，闽江学院引进人才科研启动经费项目(MJY15001)，福建省中青年教师教育科研项目(JAT160395)。

## 参考文献 (References)

- [1] Shahabudeen, S., Motani, M. and Chitre, M. (2014) Analysis of a High-Performance MAC Protocol for Underwater Acoustic Networks. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, **39**, 74-89. <http://dx.doi.org/10.1109/JOE.2013.2246741>
- [2] Noh, Y. and Shin, S. (2015) Survey on MAC Protocols in Underwater Acoustic Sensor Networks. *14th International Symposium on IEEE Communications and Information Technologies (ISCIIT)*, Incheon, 24-26 September 2014, 80-84.
- [3] Chen, K., Ma, M., Cheng, E. and Yuan, F. (2014) A Survey on MAC Protocols for Underwater Wireless Sensor Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, **16**, 1433-1447. <http://dx.doi.org/10.1109/SURV.2014.013014.00032>
- [4] Gkikopouli, A., Nikolakopoulos, G. and Manesis, S. (2012) A Survey on Underwater Wireless Sensor Networks and Applications. *20th Mediterranean Conference on Control & Automation*, Barcelona, 3-6 July 2012, 1147-1154. <http://dx.doi.org/10.1109/med.2012.6265793>
- [5] Xie, P. (2008) Underwater Acoustic Sensor Networks: Medium Access Control, Routing and Reliable Transfer. Ph.D. Thesis, University of Connecticut, USA.
- [6] Karn, P. (1990) MACA-A New Channel Access Method for Packet Radio. *ARRL/CRRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conference*, 134-140.
- [7] Syed, A.A., Ye, W., Heidemann, J. and Krishnamachari, B. (2007) Understanding Spatio-Temporal Uncertainty in Medium Access with ALOHA Protocols. *The Workshop on Underwater Networks, Wuwnet 2007*, Montréal, September 2007, 41-48. <http://dx.doi.org/10.1145/1287812.1287822>
- [8] Chirdchoo, N., Soh, W.S. and Chua, K.C. (2008) MACA-MN: A MACA-Based MAC Protocol for Underwater Acoustic Networks with Packet Train for Multiple Neighbors. *Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2008*, Singapore, 11-14 May 2008, 46-50. <http://dx.doi.org/10.1109/VETECS.2008.22>
- [9] Ng, H.H., Soh, W.S. and Motani, M. (2010) ROPA: A MAC Protocol for Underwater Acoustic Networks with Reverse Opportunistic Packet Appending. *2010 IEEE Wireless Communication and Networking Conference*, Sydney, 18-21

- April 2010, 1-6. <http://dx.doi.org/10.1109/wenc.2010.5506151>
- [10] Liao, Z., Li, D. and Chen, J. (2015) A Handshake Based Ordered Scheduling MAC Protocol for Underwater Acoustic Local Area Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, **11**, 1-15. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/984370>
- [11] Noh, Y., Lee, U., Han, S., Wang, P., Torres, D., Kim, J., *et al.* (2014) DOTS: A Propagation Delay-Aware Opportunistic MAC Protocol for Mobile Underwater Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, **13**, 766-782. <http://dx.doi.org/10.1109/tmc.2013.2297703>
- [12] Guo, X., Frater, M.R. and Ryan, M.J. (2009) Design of a Propagation-Delay-Tolerant MAC Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, **34**, 170-180. <http://dx.doi.org/10.1109/JOE.2009.2015164>
- [13] Lin, W., Cheng, E. and Yuan, F. (2011) A MACA-Based Mac Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks. *Journal of Communications*, **6**, 179-184. <http://dx.doi.org/10.4304/jcm.6.2.179-184>
- [14] Liu, X., Li, Y., Fang, D., Zhang, C.H. and Huang, H.N. (2013) A MAC Protocol for Underwater Acoustic Network. *Proceedings of the 2012 International Conference on Communication, Electronics and Automation Engineering*, **181**, 1291-1297. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-31698-2\\_182](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-31698-2_182)
- [15] Lin, W., Cheng, E. and Yuan, F. (2013) EHM: A Novel Efficient Protocol Based Handshaking Mechanism for Underwater Acoustic Sensor Networks. *Wireless Networks*, **19**, 1051-1061. <http://dx.doi.org/10.1007/s11276-012-0517-1>
- [16] Peleato, B. and Stojanovic, M. (2007) Distance Aware Collision Avoidance Protocol for Ad-Hoc Underwater Acoustic Sensor Networks. *IEEE Communications Letters*, **11**, 1025-1027. <http://dx.doi.org/10.1109/LCOMM.2007.071160>
- [17] Molins, M. and Stojanovic, M. (2007) Slotted FAMA: A MAC Protocol for Underwater Acoustic Networks. *OCEANS 2006—Asia Pacific*, Singapore, 16-19 May 2007, 1-7.
- [18] Qian, L.F., Zhang, S.L. and Liu, M.Q. (2015) A Slotted Floor Acquisition Multiple Access Based MAC Protocol for Underwater Acoustic Networks with RTS Competition. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, **16**, 217-226. <http://dx.doi.org/10.1631/FITEE.1400187>
- [19] Han, S., Noh, Y., Lee, U. and Gerla, M. (2013) M-FAMA: A Multi-Session MAC Protocol for Reliable Underwater Acoustic Streams. *Proceedings—IEEE INFOCOM*, Turin, 14-19 April 2013, 665-673. <http://dx.doi.org/10.1109/infcom.2013.6566852>
- [20] Lin, W. and Chen, K. (2016) MHM: A Multiple Handshaking MAC Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, **12**, 9798075. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9798075>
- [21] Liao, W.H. and Huang, C.C. (2012) SF-MAC: A Spatially Fair MAC Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks. *IEEE Sensors Journal*, **12**, 1686-1694. <http://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2011.2177083>
- [22] Xiong, S.M., Yuan, C., Tian, L.X. and Zhan, Y.Z. (2013) RET-MAC: A New Fair MAC Protocol for Underwater Acoustic Sensor Network. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, **9**, 385471. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/385471>
- [23] Syed, A.A., Ye, W. and Heidemann, J. (2010) T-Lohi: A New Class of MAC Protocols for Underwater Acoustic Sensor Networks. *The 27th Conference on Computer Communications*, Phoenix, 13-18 April 2008, 231-235.

#### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>