

# 接收方预约信道的水声传感器网络 MAC 协议<sup>①</sup>

唐抒辰, 刘广钟, 徐 明

(上海海事大学 信息工程学院, 上海 201306)

**摘 要:** 为了获得更高的网络吞吐量, 更低的端到端时延, 设计出了一种适用于分簇网络的水声传感器网络 MAC 协议, 该协议采用接收方建立握手机制, 有效的获取邻居节点通信时的状态, 动态分配发送时隙, 实现数据包以报文序列方式无冲突的到达接收端. 仿真结果表明, 与同类 MAC 协议(FERI, RIPT)相比, 该协议提高了网络吞吐量, 降低了数据丢失率和端到端时延.

**关键词:** 接收方握手机制; 报文序列; 分簇网络

## Receiver Initiated MAC Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks

TANG Shu-Chen, LIU Guang-Zhong, XU Ming

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

**Abstract:** In order to obtain higher network throughput and lower end-to-end delay, this page designs a MAC protocol which suits cluster network called a receiver-initiated MAC protocol based node state for underwater acoustic sensor networks (RINS), this protocol based on receiver reservation can effectively obtain neighbors' state and dynamically allocate time slot. This protocol can realize data packets arriving at receiver in the way of packet train. The simulation results show that comparing to FERI and RIPT, the RINS can improve network throughput, reduce data loss ratio and end-to-end delay.

**Key words:** receiver-initiated; packet train; cluster network

近年来, 随着水声传感器网络应用的拓展、研究的深入, 水声传感器网络已成为研究的前沿和热点<sup>[1]</sup>, 水声传感器网络的研究在海洋资源, 海洋测量、资源勘探、灾害预报以及军事等方面具有广阔的应用前景<sup>[2]</sup>.

但在水声传感器网络中, 由于水介质的特殊性和复杂性, 如: 高时延、大衰减、多途和频移, 使得许多针对陆地无线网络提出的协议不能直接用于水下环境, 设计水声传感器网络的通信协议面临了重大的技术挑战, 特别是水声传感器网络的 MAC 协议.

MAC 协议是数据链路层协议的一部分, 其基本任务是控制节点接入信道, 即为节点分配信道资源, 并保证某些特定的性能如能耗、延迟、吞吐量、公平性等可以得到满足. 水声网络 MAC 协议根据是否预先

分配资源分为基于竞争方式的 MAC 协议和基于调度方式的 MAC 协议<sup>[3]</sup>. 其中基于竞争的 MAC 协议又分为随机访问方式和基于握手约定的方式. 而基于握手约定的方式可以分为发送方建立握手约定和接收方建立握手约定<sup>[4]</sup>. 例如 FAMA<sup>[5]</sup>, APCAP<sup>[6]</sup>, 等协议就是属于发送方建立握手约定方式的 MAC 协议. 而与之对应的 MAC 协议就是属于接收方建立握手机制. 如: Nitthita Chirdchoo 等人提出了 RIPT<sup>[7]</sup>协议.

在 RIPT 协议中, 允许多个发送节点同时与一个接收节点通过一次握手进行数据传输通信. 多个发送节点通过竞争获得发送数据时隙, 接收节点向周围邻居节点发送 order 控制报文和接收次序来实现双方的数据通信过程. 但是由于接收节点在其空闲或者没有发送方向其发送数据就会占用信道发送 RTR(ready to

<sup>①</sup> 基金项目:国家自然科学基金(61202370)

收稿时间:2015-03-05;收到修改稿时间:2015-04-17

receiver)控制报文,造成接收节点长期占用信道导致节点之间的不公平性。

在 FERI<sup>[8]</sup>协议中,接收节点利用经验估计法计算发送节点向其发送数据的多少来给发送节点分配发送时隙,然而由于该协议的发送方发送的数据时隙大小是由经验估计的方法得出<sup>[8]</sup>,并且水声网络动态变化复杂,时隙分配不是完全正确。如一些发送节点分配的时隙过多而被浪费,而有的发送节点分配的时隙却不足,导致数据在发送方的发送队列积压,影响信道的吞吐率<sup>[9]</sup>。

针对这两种协议的不足,并借鉴两种协议的设计思路。在其基础上设计提出了一种基于节点状态分配发送时隙的接收方建立握手的水声传感器网络 MAC 协议——RINS(A Receiver-Initiated MAC Protocol Based Node State for Underwater Acoustic Sensor Networks),发送节点利用各节点之间的时延信息,实现在接收节点以报文序列化方式无碰撞的接收数据,减少网络的能量消耗,延长了节点的寿命。

## 1 RINS协议设计

### 1.1 分簇网络拓扑

在水声传感器网络中,传感器收集的所有数据最终集结于汇聚节点(sink)处。假设数据直接通过每个传感器节点依次传输至目的节点的话,将会导致高的能量消耗和通信节点之间的通信干扰<sup>[10]</sup>。所以提出了分簇网络如图 1 所示。采用分簇结构作为网络通信模型,进行通信时首先在簇内进行通信并将数据汇聚于簇头。关于簇的通信可分为簇内通信与簇间通信,在本文中我们研究的是簇内的数据通信。对于簇内的通信,所有的通信数据将汇聚于簇头就是设计协议的接收方。簇内的其他节点即作为发送节点与簇头进行通信<sup>[2]</sup>。RINS 就是利用这种分簇的网络拓扑结构实现接收方建立握手机制的 MAC 协议。由于本文着眼于分簇水声通信网中信道的分配,故本文对簇头选举,簇头之间的轮换算法不做细致研究。

### 1.2 协议设计

前面提及发送节点利用其与各个簇内节点的传播时延,计算数据发送时间,实现接收节点无碰撞接收数据,所以本文的 MAC 协议需要在网络初始化的时候计算簇内节点之间以及簇内节点到簇头节点之间的时延大小。这就要求设计的协议最好是运行在静态网

络或者节点很少移动并且可以知道自己的位置的网中。对于静态网络,我们可以在网络建立初始的时候计算节点之间的时延大小,计算方法如下:

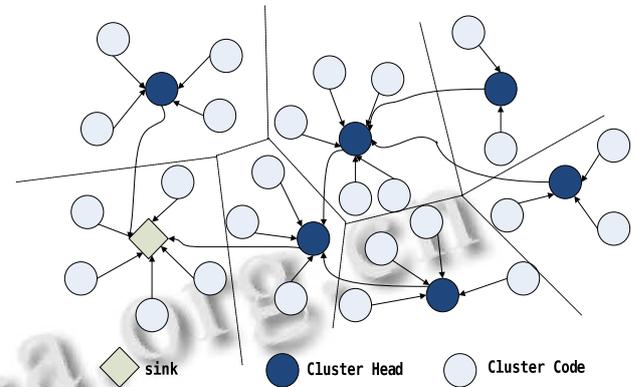


图 1 分簇网络拓扑模型

网络初始化时各节点包括簇头节点在内全部保持唤醒状态,各节点互相广播控制报文,并接收来自邻节点的控制报文利用控制报文中的时间戳信息与自己本地的时钟时间相减计算出节点之间的传播时延。对于本文设计的 MAC 协议,非簇头节点只需要计算其到各节点之间的时延,而对于簇头节点不仅需要计算其到通信范围内节点的时延,这里用  $D(\text{sink}, X_i)$  表示簇头节点到簇内节点  $X_i (i=1, 2, \dots, n)$  的时延大小,并按升序排列记为  $\{D(\text{sink}, X_i)\}$ ,还必须获取簇内节点广播的控制报文中关于该节点的状态信息。簇头节点即是作为接收节点,其综合本节点到与之通信的节点之间的时延大小和该节点的状态信息来动态的决定给发送节点的发送比例和优先级。而对于发送比例的计算下面部分将给出具体计算方法。RINS 协议的通信过程分为 5 个阶段,如图 2 所示。

(1) 簇头节点首先根据网络初始化时获取的各个簇内节点的状态信息,然后根据此状态信息向含有发送数据的发送节点广播 RTR 控制报文, RTR 控制报文中含有当前簇头节点的地址  $R_{\text{rec}}$ ,目的发送节点的地址  $S_{\text{sed}}$  和当前簇头节点的状态信息。

(2) 簇内目的节点接收到 RTR 控制报文后响应簇头节点进行通信,返回一个 WTS(want to send)控制报文, WTS 控制报文中包含当前节点的地址  $S_{\text{sed}}$  和自己当前队列中的数据量  $N_{\text{sed}}$ 。利用 RTR 控制报文中的  $R_{\text{rec}}$  地址,定向发给簇头。本文的 MAC 协议采用的是

多对一即多个发送方与一个接收方的数据传输模型,大大的提高了输出传输的效率和网络吞吐量,节省能量.并且在网络初始阶段簇内各节点互相知道各节点之间的时延大小,利用  $S_{sed}$  发送节点的地址信息计算发送时间实现在簇头处无冲突的接收各个目的发送节点发送的 WTS,减少控制报文的碰撞即时降低报文重传率和控制报文开销.

(3) 接收节点(簇头)接收到目的节点发送的 WTS 后根据目的节点  $S$  到自己的传输时延和  $N_{sed}$  给发送节点分配发送时隙,这里协议给出了一个新的分配时隙策略:对于时延较短的节点分配长的发送时隙,时延较长的节点分配短的发送时隙.这样分配的原因有: a) 可以让时延短的节点优先完成数据传输,并且减少簇头节点(接收节点)的等待时间. b) 可以让节点在接收时延短的数据的同时兼顾时延长的节点发来的数据,时延短的节点完成数据传输后,接收节点算法 1 完全服务于时延长的节点,减少接收节点的唤醒和休眠频率,节省节点能量,延长网络寿命.对于发送时延相同的节点,根据节点的  $N_{sed}$  大小决定发送时隙大小,具体策略是:  $N_{sed}$  越大分配时隙越多,  $N_{sed}$  越小分配时隙越小.这主要由发送节点发送数据的数量决定,  $N_{sed}$  越大拥有更高的优先级,与短时延的节点分配长的发送时隙互相均衡,提高网络吞吐量和传输效率.将接收节点分配好的  $N_{slot}$  和目的发送节点的地址  $S_{sed}$  组合成 Slot 控制报文发送给目的发送节点.发送时隙比例的计算方法如下:

假设 A,B,C 三个节点与簇头节点 O 进行数据通信,其到簇头节点的时延大小分别为  $A_d, B_d, C_d$  然后按大小升序排列,并假设排列次序为  $\{A_d, B_d, C_d\}$ ,即节点时延从小到大一次是 A,B,C.具体实现如算法 1 所示,即时节点时延越短发送时隙时间越长.

算法 1

```

1: if O receives A'WTS, B'WTS, C'WTS,
2:   and  $A_d \neq B_d$  and  $B_d \neq C_d$  and  $A_d \neq C_d$ 
3:   do allocateTimeslot (Ad, Bd, Cd);
4:   allocateTimeslot (Ad, Bd, Cd) {
5:     do ascending sort (Ad, Bd, Cd)
6:      $A_{ts} = C_d / (A_d + B_d + C_d)$  //A'time slot
7:      $B_{ts} = B_d / (A_d + B_d + C_d)$  //B'time slot
8:      $C_{ts} = A_d / (A_d + B_d + C_d)$  //C'time slot
9:   } Else

```

```

10:   do allocate Timeslot use Nsed
11:   and allocateTimeSlot (Ad, Bd, Cd)

```

(4) 簇内目的发送节点接收到 Slot 控制报文,根据接收节点分配的 Slot 发送数据 DATA,由于各个节点之间互相知道时延大小,可以通过计算使发送节点发送的 DATA 在接收节点组成数据报文序列<sup>[4]</sup>,避免数据在接收节点处的碰撞,减少节点能量消耗并提高网络的能量效率.

(5) 簇头(接收节点)在接收完发送节点发送的 DATA 后,统一向发送节点返回ACK 确认控制报文.由于向所有发送节点统一发送 ACK 确认报文,减少了控制报文的开销和网络的能量消耗,延长了网络的寿命.

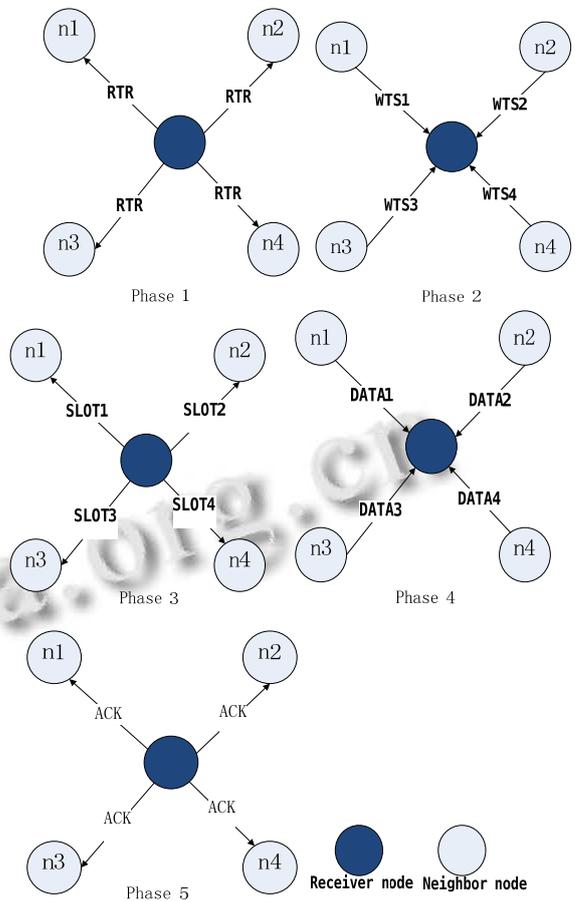


图 2 RINS 协议通信过程

## 2 协议仿真实验与性能分析

### 2.1 仿真平台与仿真环境

本实验的仿真平台: MatLab. 本实验的仿真环境: 假设节点随机分布在  $2000m \times 2000m$  的区域内. 节点间

为多跳式拓扑结构, 每个节点最大的传输范围是 200m. 本实验中, 设置 100 个节点, 每个节点都有其唯一的地址. 本实验以接收节点为中心, 与其一跳范围内的邻节点形成簇.

## 2.2 仿真实验参数

本实验中, 将本文提出的 MAC 协议与 FERI, RIPT 协议在三个性能参数上进行比较: 网络吞吐量 (Network Throughput)、数据丢失率 (Data Loss Ratio) 和端到端时延 (End-to-End Delay).

## 2.3 仿真实验结果与分析

如图 3 所示, 为网络吞吐量的仿真结果. 其中, x 轴为网络负荷, y 轴为网络吞吐量. 从仿真实验结果可以得出 RINS 协议具有最大的网络吞吐量, 随后是 RIPT 和 FERI, 并且网络吞吐量随着网络负荷增加呈现平稳趋势. 这是由于本文设计提出的 RINS 协议减少了控制报文和发送节点发送数据在传输过程中的冲突, 并且利用各节点互相知道各自时延, 实现接收节点处无冲突接收数据, 大大的提高了网络吞吐量.

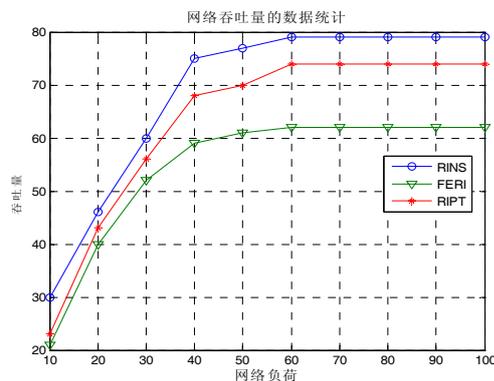


图 3 三种协议吞吐量对比

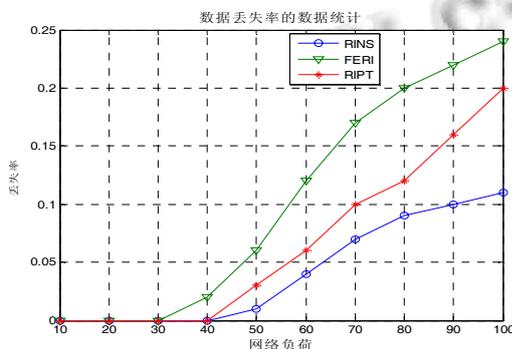


图 4 三种协议数据丢失率对比

如图 4 所示, 为数据丢失率的仿真结果. 其中, x 轴为网络负荷, y 轴为数据丢失率. 根据仿真实验结果

可以得出 RINS 数据丢失率最小, RIPT 次之最差为 FERI, 并且随着网络负荷的增大, 数据丢失率也随之增大.

如图 5 所示, 为数据包平均时延的仿真结果. 其中 x 轴为网络负荷, y 轴为平均时延. 根据仿真实验结果可以得出 RINS 的接收节点与发送节点之间的端到端的时延小于 FERI 与 RIPT 两种协议, 可以实现数据在水下环境中的高效传输. 并且由于本文协议采用接收方建立握手, 接收节点在首先获取发送节点的状态的条件下, 有针对性的优先给任务紧, 时延短的节点分配较长的发送比例, 给任务缓, 时延长分配较短的数据发送比例, 并且发送节点通过计算各自与邻接点的时延从而实现以报文序列的方式使数据无冲突的到达接收端, 减少节点的能量消耗, 延长了网络的寿命.

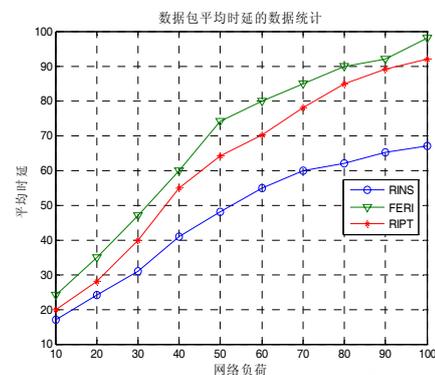


图 5 三种协议数据包平均时延对比

## 3 结语

本文提出了基于接收方建立握手的水声传感器网络 MAC 协议, 即 RINS 协议. 综合上述仿真实验的结果可以看出: RINS 协议在网络吞吐量, 数据包丢失率及数据包平均时延方面的网络性能显著好于 RIPT 和 FERI 协议, 大大减少了数据重传和端到端时延, 提高网络效率, 延长网络寿命.

## 参考文献

- 1 Ying KZ, Chen QiZ. Supposition of water based network: concept, correlative technology, and study hotspots. Microcomputer Development, 2003, 13: 121-122.
- 2 Chitre M, Shahabudeen S, Stojanovic M. Underwater acoustic communications and networking recent advances and future challenges. Marine Technology Society Journal, 2008, 42(1): 103-116.

- 3 Qiao G, Yang JM, Ma XF, Zhang Y, Dong H. Simulation and experimental verification of MAC protocols for underwater acoustic networks. WUWNET'13, Nov. 11–13, 2013.
- 4 Wu C, Li VOK. Receiver-initiated busy-tone multiple access in packet radio networks. Proc. ACM SIGCOMM Conference. 1987. 336–342.
- 5 Molins M, Stojanovic M. Slotted FAMA: a MAC protocol for underwater acoustic networks. IEEE OCEANS. 2006.
- 6 Guo X, Frater M, Ryan M. Design of a propagation-delay-tolerant MAC protocol for underwater acoustic sensor networks. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2009, 4: 170–180.
- 7 Chirdchoo N, Soh WS, Chua KC. RIPT: a receiver-initiated reservation-based protocol for underwater acoustic networks. IEEE J. on Selected Areas in Communication (JSAC), 2008, 26(9): 1744–1753.
- 8 Pu L, Luo Y, Peng Z, Mo H, Zhou Z, Wang JY, Cui JH. Traffic estimation based receiver initiated MAC for underwater acoustic networks. ACM International Conference on Underwater Networks & Systems (WUWNet), 2014.
- 9 Liao WH, Lin YC, Kuai SC. A receiver-initiated MAC protocol for underwater acoustic sensor networks. IEEE, 2014: 1–6.
- 10 Hitomi DATE, Shigeyasu T. Effects of receiver initiated MAC protocol for reducing power consumption in wireless sensor networks. IEEE, 2011: 214–221.