

海洋传感器网络参数自适应时间同步算法

郭瑛, 王进新

(青岛科技大学信息科学技术学院, 山东 青岛 266061)

摘 要: 针对部署环境复杂多变的海洋传感器网络, 根据不同海洋参数对水声通信的影响, 设计海洋参数自适应时间同步 (OPA-Sync, ocean parameter adaptive time synchronization) 算法。通过参数调节来提高时间同步算法对不同海洋环境的适应性, 并对算法进行了优化, 提高运算效率。仿真表明, OPA-Sync 可以适应不同的海洋条件, 在同步精度和能效方面都优于现有算法。

关键词: 传感器网络; 海洋参数; 自适应; 时间同步

中图分类号: TP393

文献标识码: A

Ocean parameter adaptive time synchronization algorithm for ocean sensor network

GUO Ying, WANG Jin-xin

(College of Computer Science and Technology, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: An ocean parameter adaptive time synchronization (OPA-Sync) algorithm was proposed, which based on the influence of ocean parameters in different conditions. It improved the adaptation of time synchronization algorithm by adjusting the ocean parameters in the complex and varied environment. And the algorithm was optimized to improve the operation efficiency. Simulation results show that OPA-Sync can be adapted to different ocean environments, which is better than other existing time synchronization algorithms on the synchronization precision and efficiency.

Key words: sensor network, ocean parameter, adaptive, time synchronization

1 引言

随着科学技术的进步, 人们越来越重视海洋开发和利用, 海洋传感器网络在海洋环境监测、海洋污染监控、海洋资源勘测、海洋目标探测、海洋跟踪定位等领域具有独特的优势, 受到越来越多的关注^[1,2]。海洋传感器节点分布式部署在水下, 它们很难从统一的时钟源获取标准时间信息, 只能利用自身硬件设备 (晶振计数) 计算本地时间。不同硬件设备的计时频率存在偏差, 即使是同一个设备的计时频率也会随温度、湿度、电磁波、压力、振动等情况的变化而改变, 节点的启动时间也不相同, 使

不同传感器节点的时间存在较大差异。在海洋传感器网络的应用中, 要求不同传感器节点的时间保持一致, 这是由于传感器节点收集的数据必须和时间相关, 时间信息的准确程度决定了感知数据的应用价值, 而且时间一致性是节点协同工作的基础, 很多 MAC 协议 (如时分复用信道访问协议 TDMA)、协同工作协议、休眠协议等都需要统一的时间标记, 否则就无法运行。为了补偿时间差异, 传感器节点必须运行时间同步算法, 获得一致的时间表示, 时间同步问题是海洋传感器网络亟待解决的基本问题^[3]。

海洋传感器网络时间同步的难点主要在于海

收稿日期: 2017-09-25

通信作者: 郭瑛, guoying@qust.edu.cn

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目 (No.ZR2016FQ10); 国家自然科学基金资助项目 (No.61303193, No.61402246, No.61379128)

Foundation Items: The Natural Science Foundation of Shandong Province (No.ZR2016FQ10), The National Natural Science Foundation of China (No.61303193, No.61402246, No.61379128)

洋中采用水声通信,而水声通信与陆地上的无线通信存在很多不同之处。1) 声音在水中的传播速度大约为 1 500 m/s,仅为无线电波在空气中传播速度的二十万分之一,而且受到温度、深度和盐度等因素的影响,是动态的、时变的;2) 海洋传感器节点的部署距离通常在 0.5~2 km 范围内,其通信链路距离远长于陆地传感器网络;3) 部署后的海洋传感器节点在海流的作用下移动,普通节点移动速度为 0.83~1.67 m/s^[4],不仅带来节点间位置的变化还导致了普勒频移效应^[5];4) 水声通信可用带宽窄、数据率低、信号多径传播、误码率高、背景噪声大。因此,时间同步算法设计的过程中不能忽略链路传播延迟,需要考虑海洋通信的各个因素。现有的陆地传感器网络时间同步算法并没有考虑水声通信的特点,无法在复杂多变的海洋环境中使用。

现有的水下传感器网络的时间同步算法,如 TSHL^[6]、MU-Sync^[7]等,主要通过水声链路传播延迟的合理估计,提高其对于水下环境的适应性。Mobi-Sync^[8]致力于消减节点移动对时间同步的影响,Coll-Sync^[9]利用节点通信过程中的冲突和相遇辅助时间同步。这些水下传感器网络的时间同步算法虽然考虑了水下通信的传播延迟等问题,但是它们并没有系统的研究各个海洋参数的影响,没有专门针对海洋参数变化的调节机制,时间同步精度易受环境影响,导致时间同步的精度降低。

本文针对海洋传感器网络,系统地分析水声通信中各个参数的影响,并设计了海洋参数自适应时间同步算法,以提高时间同步算法对不同环境的适应性。本文主要贡献如下。

1) 系统分析海洋参数对时间同步的影响,提出了海洋参数自适应时间同步算法 OPA-Sync。

2) 简化海洋参数自适应时间同步算法的计算过程,用查表来代替复杂的对数运算,采用四则运算来代替复杂的积分运算。

3) 通过仿真实验,分析比较 OPA-Sync 与现有的水下传感器网络时间同步算法的性能,证明其在时间同步精度和能耗方面的优势。

2 相关研究

现在已经有很多陆地传感器网络时间同步算法^[10,11],它们没有考虑海洋环境的特殊性,无法在海洋传感器网络中使用。水下传感器网络研究者从水声链路的传播延迟估计问题入手,开展了一系列研究工

作,并取得了一些研究进展。较早提出的是高延迟网络时间同步协议(TSHL, time synchronization for high latency networks)^[6],假设水下链路传播延迟恒定,采取单向发送方式和线性回归估计本地频率偏移,用成对发送方式估计本地时钟的相位偏差。大规模海洋传感器网络时间同步算法^[12]利用计算机染色理论实现大范围海洋传感器网络的时间同步。轻量级、高延迟传感器网络时间同步算法^[13]利用了漂移率建模和 MAC 层打时间戳的方法实现高精度同步。

针对水下传感器网络的动态性,MU-Sync^[7]假设水下节点随机移动,同步消息交互多次,并采用 2 次线性拟合,得到待同步节点的频率偏移和相位偏差。基于移动补偿的水下传感器网络时间同步算法^[14]通过 2 个可移动的信标节点来消除水下节点移动对时间同步的影响。Mobi-Sync^[8]使用运动速度估计式来估计水下链路的传播延迟,获得精度更高的频率偏移和相位偏差。D-Sync^[15]利用多普勒频移测量值和节点的速度推算传播延迟进行时间同步计算。Liu 等^[16]综合考虑水下时间同步和定位问题,提出了动态水下传感器网络中同步和定位相结合的算法。基于冲突分析的水下传感器网络时间同步算法 Coll-Sync^[9]利用节点通信过程中信息的冲突和相遇来消除传播延迟估计的不确定性,辅助时间同步计算。

这些水下传感器网络时间同步算法虽然考虑了水下通信的高延迟和节点移动等因素,但没有考虑水下环境变化带来的影响,具有一定的局限性,在多变的海洋环境中性能有限。与已有的算法不同,本文考虑了水声通信中各个海洋参数的影响和变化规律,在此基础上,设计了专门针对海洋传感器网络的海洋参数自适应时间同步算法 OPA-Sync,以解决海洋传感器网络中的时间同步问题。

3 算法设计与实现

3.1 算法设计

在海洋传感器网络中,时间同步的精度受到水声传播延迟估算的影响,水声传播延迟与节点间的距离和水声传播速度密切相关。其中,海洋传感器节点间的距离随节点移动而改变,可以通过信号传播频率和信号能量衰减来估算;水声传播速度与温度、盐度和压力有关,具有垂直分布特性^[17]。在复杂多变的海洋环境中,综合考虑这些影响因素,并设计相应的参数自适应调节机制,才能提高海洋传感器网络对不同海洋条件的适应能力。本文提出了

海洋参数自适应时间同步算法 OPA-Sync, 在时间同步的计算过程中, 考虑了海洋参数的影响, 确保时间同步的精度, 接下来以图 1 为例, 详细阐述 OPA-Sync 的原理。

如图 1 所示, 海洋传感器节点 A 是待同步节点, 海洋传感器节点 B 具有标准时间, 它们采用相同的信号频率 f 发送和接收信息。

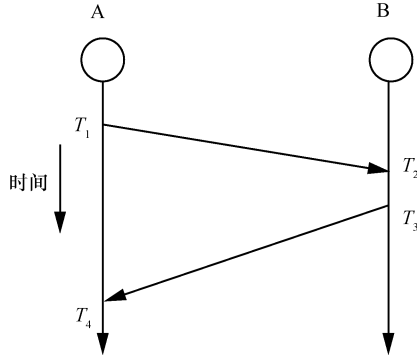


图 1 通信过程

传感器节点 A 在本地时间 T_1 时刻发送时间同步请求, 并测量记录其发送能量 e_A 、当前温度 t_A 、盐度 s_A 、压力 p_A , 以及发送时间 T_1 。传感器节点 B 在 T_2 时刻, 接收到该数据分组, 同时测量接收时刻的温度 t_B 、盐度 s_B 、压力 p_B , 以及接收到数据分组的能量 e_B 。通过信息发送的能量和测得的接收能量, 可以得到信息传播过程中的能量衰减为

$$A = e_A - e_B \quad (1)$$

在水声信道中, 能量的衰减 A 与节点间的距离 l 和信息发送的频率 f 的关系为

$$A = l^k a(f)^l \quad (2)$$

其中, k 是能量扩展系数, 平面波扩展系数为 0, 柱面波扩展系数为 1, 球面波扩展系数为 2, $a(f)$ 是衰减系数, 满足

$$10 \log a(f) = 0.11 \frac{f^2}{1 + f^2} + 44 \frac{f^2}{4100 + f^2} + 2.75 \times 10^{-4} f^2 + 0.003 \quad (3)$$

其中, 频率 f 的单位为 kHz, 衰减系数的单位为 dB/km。

通过式(1)和式(2)可以得到传感器节点间的距离 l 为信号频率 f , 能量扩展系数 k , 发送能量 e_A , 接收能量 e_B 的函数

$$l = F(f, k, e_A, e_B) \quad (4)$$

海洋中的声速 c m/s 随温度 $T^\circ\text{C}$ 、盐度 $S\text{‰}$ 、压力 P kg/cm² 的增加而增大, 应用较多的经验公式是威尔逊公式^[17]

$$c = 1449.30 + \Delta c_t + \Delta c_z + \Delta c_p + \Delta c_{tsp} \quad (5)$$

其中,

$$\Delta c_t = 4.587t - 5.356 \times 10^{-2} t^2 - 2.604 \times 10^{-4} t^5$$

$$\Delta c_z = 1.19(S - 35) + 9.6 \times 10^{-2} (S - 35)^2$$

$$\Delta c_p = 1.5848 \times 10^{-1} p + 1.572 \times 10^{-5} p^2 - 3.46 \times 10^{-12} p^4$$

$$\Delta c_{tsp} = 1.35 \times 10^{-5} t^2 p - 7.19 \times 10^{-7} t p^2 - 1.2 \times 10^{-2} (S - 35)t$$

威尔逊公式的适用范围为 $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 < P < 980 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, $-3^\circ\text{C} < T < 30^\circ\text{C}$, $33\text{‰} < S < 37\text{‰}$ 。工程上一般采用化简的方程式来计算

$$c(t, s, p) = 1449.2 + 4.6t - 0.55t^2 + 0.00029t^3 + (1.34 - 0.01t)(s - 35) + 0.16p \quad (6)$$

海洋传感器节点 A 和 B 的位置不同, 其温度、盐度和压力都有所区别, 根据式(6), 得到节点 A 和 B 间的信息传播速度为

$$c = \int_{p_B}^{p_A} \int_{s_B}^{s_A} \int_{t_B}^{t_A} c(t, s, p) k(t, s, p) dp ds dt \quad (7)$$

$$= F(p_A, t_A, s_A, p_B, t_B, s_B)$$

其中, $k(t, s, p)$ 是 (t, s, p) 的联合概率密度。

根据距离计算式, 可以计算得到信息从传感器节点 A 传播到传感器节点 B 的延迟 d_1 为

$$d_1 = \frac{l}{c} = \frac{F(f, k, e_A, e_B)}{F(p_A, t_A, s_A, p_B, t_B, s_B)} \quad (8)$$

假设待同步海洋传感器节点 A 的时钟漂移率为 a , 时钟偏移为 b , 可得

$$T_1 + d_1 = aT_2 + b \quad (9)$$

接下来, 传感器节点 B 在时间 T_3 向传感器节点 A 发送信息, 包括其发送能量 e'_B 、当前温度 t'_B 、盐度 s'_B 、压力 p'_B 、发送时间 T_3 , 以及上次测量得到的温度 t_B 、盐度 s_B 、压力 p_B 、能量 e_B 、接收时间 T_2 。传感器节点 A 在本地时间 T_4 接收到该信息, 同时测量接收时刻的温度 t'_A 、盐度 s'_A 、压力 p'_A , 以及接收到数据分组的能量 e'_A , 信息传播的延迟为 d_2 , 同理可得

$$aT_3 + b + d_2 = T_4 \quad (10)$$

其中,

$$d_2 = \frac{l'}{c'} = \frac{F(f, k, e'_A, e'_B)}{F(p'_A, t'_A, s'_A, p'_B, t'_B, s'_B)} \quad (11)$$

联立式(8)~式(11), 即可解得待同步海洋传感器节点 A 的时钟漂移率和时钟偏移。

$$\left\{ \begin{aligned} a &= \frac{T_1 - T_4}{T_2 - T_3} + \frac{F(f, k, e_A, e_B)}{(T_2 - T_3)F(p_A, t_A, s_A, p_B, t_B, s_B)} + \\ &\quad \frac{F(f, k, e'_A, e'_B)}{(T_2 - T_3)F(p'_A, t'_A, s'_A, p'_B, t'_B, s'_B)} \\ b &= \frac{T_2 T_4 - T_1 T_3}{T_2 - T_3} - \frac{T_3 F(f, k, e_A, e_B)}{(T_2 - T_3)F(p_A, t_A, s_A, p_B, t_B, s_B)} - \\ &\quad \frac{T_2 F(f, k, e'_A, e'_B)}{(T_2 - T_3)F(p'_A, t'_A, s'_A, p'_B, t'_B, s'_B)} \end{aligned} \right.$$

令

$$m = \frac{F(f, k, e_A, e_B)}{(T_2 - T_3)F(p_A, t_A, s_A, p_B, t_B, s_B)}$$

$$n = \frac{F(f, k, e'_A, e'_B)}{(T_2 - T_3)F(p'_A, t'_A, s'_A, p'_B, t'_B, s'_B)}$$

可得

$$\left\{ \begin{aligned} a &= \frac{T_1 - T_4}{T_2 - T_3} + m + n \\ b &= \frac{T_2 T_4 - T_1 T_3}{T_2 - T_3} - T_3 m - T_2 n \end{aligned} \right. \quad (12)$$

根据式(12)可以计算出不同海洋环境下的时钟漂移率和时钟偏差。

3.2 算法优化与实现

式(12)对于资源有限的传感器节点而言计算量较大, 对计算过程进行合理的简化, 可以极大地提高运算效率。

首先, 采用查表来代替复杂的对数运算。由于传感器网中的扩展系数是固定的, 传播频率在确定之后也不再频繁变化, 传播距离仅与能量损失相关。可以根据经验, 计算出传播距离和能量损失之间的关系表, 通过查表来得到节点间的距离 l 。假设信号频率 35 kHz, 能量扩展系数 $k=2$, 节点距离在 100 m 至 1 500 m 之间的能量损失如图 2 所示, 能量衰减与距离关系如表 1 所示。

采用折半查找法可以将算法的复杂度从 $O(n)$ 降为 $O(\ln n)$, 查表的精度与采样密度成正比, 可以根据节点内存容量选择合理的表格长度。

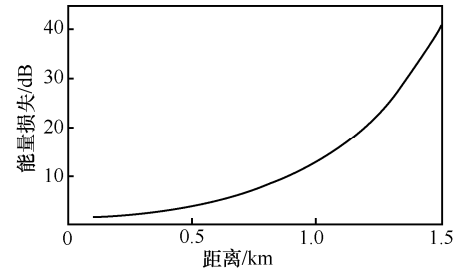


图 2 传播距离与能量损失关系

表 1 能量衰减与距离关系

能量衰减/dB	距离/m
1.285 6	100
2.165 7	300
3.627 5	500
7.650 5	800
12.407	1 000
20.002	1 200
40.778	1 500

然后, 采用四则运算来代替复杂的积分运算。同一海域中的温度变化很小, 可以根据不同海域的物理条件取固定值。同层海水的温度变化也不大, 水中的信息传播速度主要和静压力有关, 节点间的信息传播速度 $c = F(p)$ 。在小范围内, 可以把传播速度和压力的关系作线性化处理代替积分运算, 令 $p = \frac{p_A + p_B}{2}$ 。节点间的信息传播速度为 $c = F(p)$, 从而将复杂度从 $O(n)$ 降为 $O(1)$ 。

$$\text{式(12)中的 } m \text{ 和 } n \text{ 可简化为 } m = \frac{l}{(T_2 - T_3)F(p)},$$

$n = \frac{l'}{(T_2 - T_3)F(p')}$, 从而大大降低了 OPA-Sync 算法的计算复杂度。

算法 1 OPA-Sync 时间同步过程的算法

节点 A:

在 T_1 时间发送数据分组(Sync)并测量(e_A, t_A, s_A, p_A);

在 T_4 时间接收数据分组($e_B, t_B, s_B, p_B, T_2, e'_B, t'_B, s'_B, p'_B, T_3$) 并测量(e'_A, t'_A, s'_A, p'_A);

通过式(13)计算(a, b);

节点 B:

在 T_2 时间接收数据分组(Sync)并测量(e_B, t_B, s_B, p_B);

测量 (e'_B, t'_B, s'_B, p'_B) 并发送数据分组 $(e_B, t_B, s_B, p_B, T_2, e'_B, t'_B, s'_B, p'_B, T_3)$ 。

从算法描述可以看出，OPA-Sync 仅需要 2 次数据传输，算法简单，易于实现，而且在每次通信的过程中都重新测量海洋参数并代入运算过程，可以实时补偿海洋环境变化对时间同步计算的影响，具有较好的环境自适应能力。在大范围部署的海洋传感器网络中，可以采用分层同步的方式，利用已同步传感器节点依次同步待同步传感器节点，逐步实现全网的时间同步。

4 仿真结果

通过仿真比较 TSHL、MU-Sync 和 OPA-Sync 算法在同步精度和能耗方面的差异，验证 OPA-Sync 的性能。仿真中采用的初始参数如下。数据传输频率 1 024 Hz，海水盐度 35‰，初始时钟漂移 8 ppm，初始时钟偏移 10 ppm，时钟粒度 1 μ s，接收端抖动 15 μ s；用深度代替静压力，每下降 10 m 水深近似增加 1 个大气压的压力。

首先，分析算法简化对精度的影响，通过仿真比较采用积分运算和四则运算得到的传播速度。假设节点部署深度在 350~850 m，处于海洋恒温层，温度为 5℃，盐度取典型值 35‰，在部署区域内随机生成 100 对节点，节点之间的距离为[100, 500] m，简化前后的传播速度如图 3 所示。

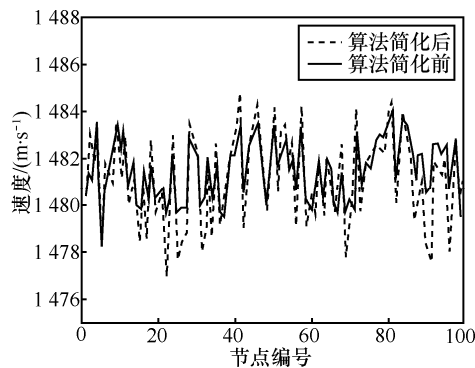


图 3 算法简化前后的传播速度

采用四则运算代替积分运算的平均误差是 0.263 4 m/s。海洋环境中背景噪声大，传播介质时变，水下声速受很多因素影响，很难精确估算，上述简化计算误差远小于各种因素影响作用所带来的估计误差，在实际使用中是可以接受的。

接下来，节点运行 TSHL、MU-Sync 和 OPA-Sync 算法，经过一段时间后，本地时钟偏差的变化趋势如图 4 所示。从图 4 可以看出，当同步完成 10⁶ s 以后，OPA-Sync 算法的平均误差是 TSHL 的 8.9%，是 MU-Sync 的 22.2%，其同步效果明显好于 TSHL 和 MU-Sync 算法。

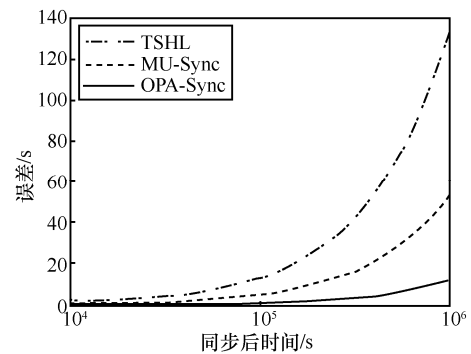


图 4 时间同步后的时间偏差

多次改变海洋参数，模拟不同的海洋环境，重复上述试验，其结果如表 2 所示。从表 2 可知，TSHL、MU-Sync 和 OPA-Sync 算法的误差都随环境的改变而变化。但在不同的环境下，OPA-Sync 算法的误差明显小于 TSHL 和 MU-Sync。这是由于 OPA-Sync 算法利用参数调节适应环境变化，提高了时间同步精度。

节点的能量消耗主要取决于发送数据分组的数量，图 5 显示了运行 50 次时间同步算法的过程中，TSHL、MU-Sync 和 OPA-Sync 算法需要的数据分组数目。OPA-Sync 所需的数据分组数目是 TSHL 的 6.9%，是 MU-Sync 的 4%。这是因为 TSHL 和 MU-Sync 没有环境自适应能力，为了满足同步要求采用了线性回归计算，仿真中它们使用了 25 个参

表 2 不同海洋参数下算法同步误差与标准差比较

实验编号	TSHL		MU-Sync		OPA-Sync	
	误差/s	标准差/s	误差/s	标准差/s	误差/s	标准差/s
1	58.864 9	33.844 0	33.389 2	19.196 9	14.567 6	8.375 6
2	18.422 2	10.591 7	15.569 0	8.951 3	10.452 6	18.422 2
3	32.852 0	18.888 1	20.284 8	11.662 6	12.162 6	6.992 8

考信息分组进行数据拟合来补偿单次测量误差的影响。OPA-Sync 算法能够适应环境变化, 单次测量误差小, 不需采用线性回归计算, 其在能量消耗方面明显好于 TSHL 和 MU-Sync 算法。

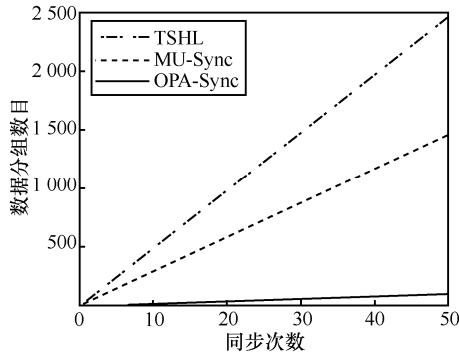


图 5 时间同步消耗的数据分组

从仿真结果可以看出, OPA-Sync 算法对不同的海洋环境具有较好的自适应能力, 在时间同步精度和节能方面都优于现有的算法。

5 结束语

现有的时间同步算法对海洋条件的考虑不够充分, 缺乏对复杂多变的海洋环境的适应性。本文根据不同海洋参数对水声通信的影响, 设计了海洋参数自适应时间同步算法 OPA-Sync, 通过调节海洋参数来提高时间同步算法对不同海洋环境的适应性, 并对算法进行简化, 减少计算量。今后, 应通过海洋环境下的实验深入研究水声信道的特点, 进一步提高算法的适应性。

参考文献:

[1] VERMEIJ A, MUNAFO A. A robust, opportunistic clock synchronization algorithm for ad hoc underwater acoustic networks[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2015, 40(4): 841-852.

[2] ORIOL P, JOAQUIN D R, PIERRE J B. Time synchronization accuracy refinement for mobile shallow water acoustic sensor network[C]// OCEANS.2016:1-6.

[3] VERMEIJ A, MUNAFO A. Real-time clock synchronization in underwater acoustic networks[C]// OCEANS.2015:1-6.

[4] GUO Y, CUI H W, SI W. Large delay underwater sensor networks clock synchronization with mobile beacon[C]//Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW). 2013: 211-215.

[5] LIU J, WANG Z, ZUBA M, et al. DA-Sync: a Doppler assisted time synchronization scheme for mobile underwater sensor networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2014, 13(3): 582-595.

[6] SYED A A, HEIDEMANN J. Time synchronization for high latency acoustic networks[C]//The 25th IEEE International Conference on Computer Communications. 2006:1-12.

[7] CHIRDCHOO N, SOH W S, CHUA K C. MU-Sync: a time synchronization protocol for underwater mobile networks[C]//WUWNet. 2008: 35-42.

[8] LIU J, ZHOU Z, PENG Z, et al. Mobi-Sync: efficient time synchronization for mobile underwater sensor networks[C]//IEEE Globecom. 2010:1-5.

[9] GUO Y, LIU Y T, LIU G F, et al. Pair-wise collision-based underwater time synchronization[J]. Journal of Network and Systems Management, 2016, 24(4): 813-833.

[10] LI Z J, CHEN W W, LI M, et al. Incorporating energy heterogeneity into sensor network time synchronization[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2015, 26(1): 163-173.

[11] YILDIRIM K S, KANTARCI A. External gradient time synchronization in wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2014, 25(3): 633-641.

[12] GUO Y, ZHANG Z. Clock synchronization study for large scale underwater sensor networks[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2014, 36(3):1498-1503.

[13] TIAN C, JIANG H B, LIU X, et al. Light-weight time synchronization protocol for high resource-constrained networks[C]//IEEE International Communications. 2009: 14-18.

[14] GUO Y, LIU Y T. Tri-Message: a time synchronization for mobile underwater sensor networks[J]. Journal of Networks, 2013, 8(1):116-123.

[15] LU F, MIRZA D, SCHURGER C. D-Sync: Doppler-based time synchronization for mobile underwater sensor networks[C]//The Fifth ACM International Workshop on Underwater Networks. 2010: 1-8.

[16] LIU J, WANG Z H, CUI J H, et al. A joint time synchronization and localization design for mobile underwater sensor networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2016, 15(3):530-543.

[17] GUO Y. Energy attenuation-based time synchronization for mobile underwater sensor networks[J]. Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2012, 19(S):57-64.

作者简介:



郭瑛 (1981-), 女, 山东青岛人, 博士, 青岛科技大学副教授, 主要研究方向为无线传感器网络、物联网、海洋网络。



王进新 (1990-), 男, 山东莱芜人, 青岛科技大学硕士生, 主要研究方向为无线传感器网络、海洋物联网。