



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103889046 B

(45)授权公告日 2017.04.05

(21)申请号 201410140466.1

US 2009128326 A1, 2009.05.21,

(22)申请日 2014.04.09

洪锋, 张玉亮等. “水下传感器网络时间同步技术综述”. 《电子学报》. 2013, 第41卷(第5期),

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103889046 A

审查员 高雁

(43)申请公布日 2014.06.25

(73)专利权人 青岛科技大学

地址 266000 山东省青岛市崂山区松岭路99号

(72)发明人 郭瑛

(51) Int. Cl.

H04W 56/00(2009.01)

H04W 84/18(2009.01)

(56)对比文件

CN 101917759 A, 2010.12.15,

US 7920875 B2, 2011.04.05,

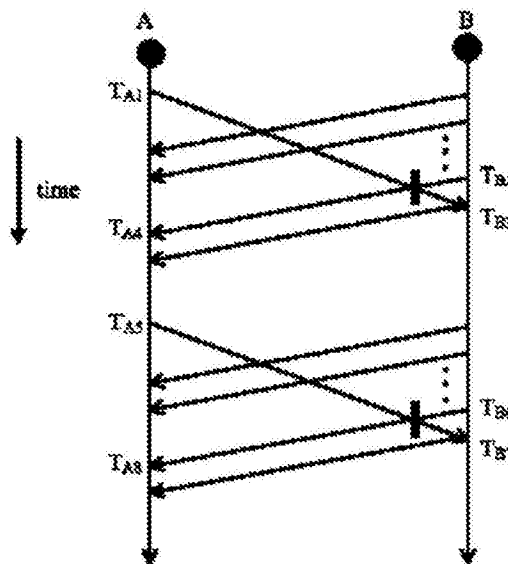
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种水下传感器网络时间同步方法

(57)摘要

本发明公开一种水下传感器网络时间同步方法,包括布置水下传感器网络节点,标准时间节点固定,待同步节点随海流移动,标准时间节点发送一个包含发送时间的长数据包,待同步节点连续发送若干包含发送时间的短数据包;利用标准时间节点和待同步节点发出的数据包在待同步节点接收端的冲突,确定标准时间节点发送的信息到达待同步节点前,其最后一次与待同步节点发出的数据包相遇的时刻;而后将此时刻作为基准时间点,列写方程式;调整节点发送信息的时间,重复上述过程得另一个方程,组成二元一次方程组计算得出时间偏移和漂移率。本发明利用数据包的相遇和冲突,克服节点移动对同步精度的影响,成本低,无需特殊布署和额外设备,简单可靠适用性强。



1. 一种水下传感器网络时间同步方法,其步骤包括:

一、布置水下传感器网络节点,将标准时间节点固定,待同步节点随海流移动,标准时间节点发送一个包含发送时间的长数据包,待同步节点则连续发送若干短数据包,每个数据包均包含其发送时间;

二、利用步骤一中标准时间节点和待同步节点发出的数据包在待同步节点接收端的冲突,确定标准时间节点发送的信息到达待同步节点前,其最后一次与待同步节点发出的数据包相遇的时刻;

三、以步骤二中标准时间节点发送的信息最后一次与待同步节点发出的数据包相遇的时刻作为基准时间点,列写方程式, $T_{A1}+T_{A4}=a(T_{B2}+T_{B3})+2b-t$ ,其中 $T_{A1}$ 是标准时间节点发出数据包的时刻、 $T_{B3}$ 是标准时间节点发出的数据包到达待同步节点的时刻、 $T_{B2}$ 是待同步节点发出最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的时刻、 $T_{A4}$ 是待同步节点发出的最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的到达标准时间节点的时刻、 $t$ 是在数据包最后一次相遇到冲突这段时间里待同步节点的移动带来的传播延迟、 $a$ 为时间漂移率、 $b$ 为待同步节点与标准时间节点之间的初始时间偏移;

四、调整节点发送信息的时间,重复上述过程,得到另一个方程,组成二元一次方程组,计算得出时间偏移和时间漂移率。

2. 根据权利要求1所述的水下传感器网络时间同步方法,其特征在于:所述步骤三中,标准时间节点发送的信息最后一次与待同步节点发出的数据包相遇到与待同步节点发出的数据包冲突的时间很短,忽略这段时间待同步节点的位置变化,令方程式中节点移动带来的传播延迟为零,得简化方程式。

3. 根据权利要求2所述的水下传感器网络时间同步方法,其特征在于:所述简化方程式: $T_{A1}+T_{A4}=a(T_{B2}+T_{B3})+2b$ ,其中 $T_{A1}$ 是标准时间节点发出数据包的时刻、 $T_{B3}$ 是标准时间节点发出的数据包到达待同步节点的时刻、 $T_{B2}$ 是待同步节点发出最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的时刻、 $T_{A4}$ 是待同步节点发出的最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的到达标准时间节点的时刻、 $a$ 为时间漂移率、 $b$ 为待同步节点与标准时间节点之间的初始时间偏移。

4. 根据权利要求1所述的水下传感器网络时间同步方法,其特征在于:所述步骤四中,另一个方程的方程式为: $T_{A5}+T_{A8}=a(T_{B6}+T_{B7})+2b$ ,其中 $T_{A5}$ 是标准时间节点发出数据包的时刻、 $T_{B7}$ 是标准时间节点发出的数据包到达待同步节点的时刻、 $T_{B6}$ 是待同步节点发出最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的时刻、 $T_{A8}$ 是待同步节点发出的最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的到达标准时间节点的时刻、 $a$ 为时间漂移率、 $b$ 为待同步节点与标准时间节点之间的初始时间偏移。

5. 根据权利要求1所述的水下传感器网络时间同步方法,其特征在于:所述步骤四中二元一次方程组为:

$$\begin{cases} a = \frac{T_{A1}+T_{A4} - T_{A5} - T_{A8}}{T_{B2} + T_{B3} - T_{B6} - T_{B7}} \\ b = \frac{(T_{A5} + T_{A8})(T_{B2} + T_{B3}) - (T_{A1}+T_{A4})(T_{B6} + T_{B7})}{2(T_{B2} + T_{B3} - T_{B6} - T_{B7})} \end{cases}$$

其中 $a$ 为时间漂移率、 $b$ 为待同步节点与标准时间节点之间的初始时间偏移, $T_{A1}$ 、 $T_{B3}$ 、 $T_{B2}$

和 $T_{A4}$ 是收发首组同步数据包得到的时间： $T_{A1}$ 是标准时间节点发出数据包的时刻、 $T_{B3}$ 是标准时间节点发出的数据包到达待同步节点的时刻、 $T_{B2}$ 是待同步节点发出最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的时刻、 $T_{A4}$ 是待同步节点发出的最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的到达标准时间节点的时刻； $T_{A5}$ 、 $T_{B7}$ 、 $T_{B6}$ 和 $T_{A8}$ 是收发另一组同步数据包得到的时间： $T_{A5}$ 是标准时间节点发出数据包的时刻、 $T_{B7}$ 是标准时间节点发出的数据包到达待同步节点的时刻、 $T_{B6}$ 是待同步节点发出最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的时刻、 $T_{A8}$ 是待同步节点发出的最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的到达标准时间节点的时刻。

## 一种水下传感器网络时间同步方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种传感器网络时间同步方法,尤其涉及一种水下传感器网络时间同步方法。

### 背景技术

[0002] 海洋在生活中的作用日益显著,水下传感器网络得到人们越来越多的关注,并广泛应用在环境监测、污染监控、跟踪定位等领域。传感器节点的时间由内部时钟控制,而内部时钟与振荡器的频率有关,由于硬件、制作工艺等方面的原因,不同节点有不同的频率变化,也就有不同的内部时钟,导致不同节点的时间不同步。时间同步是水下传感器网络的关键技术之一,传感器节点采集的数据和时间信息匹配才有意义,它也是网络协同工作等技术实现的基础。

[0003] 水下传感器网络采用水声通信,受海洋内波、背景噪音、信号多径传播、多普勒频移等因素影响,可用带宽窄,数据率低,传播时延大,误码率高,而且节点随水流移动,网络部署方式也与陆地上存在巨大差异,这使绝大多数基于陆地传感器网络的成熟的时间同步方法无法直接移植于水下。

[0004] 目前,水下传感器网络时间同步算法主要有:TSHL,MU-Sync,Mobi-Sync,D-Sync。

[0005] TSHL分为两个阶段,第一个阶段单向通信估计时间漂移率,第二个阶段采用双向通信估计时间偏移。但是它们假设网络中的节点是静止不动的,节点间的传播延迟固定不变,而水下节点会受海流的影响而移动,导致时间同步的误差比较大。这种算法可以很好的应用在静止的水下传感器网络,但是不能用在动态环境中。

[0006] MU-Sync采用分簇的方法实现簇首和簇内节点之间的时间同步,但需要较多的信标节点均匀布署在网络中作为簇首节点,导致节点部署成本高,能耗大。

[0007] Mobi-Sync通过节点间的几何关系消除节点移动的影响,该算法要求布署能自定位的浮漂节点和能量充足的超级节点,待同步节点必须与超级节点保持连通性,并要在计算中使用节点的位置关系。

[0008] D-Sync利用多普勒频移来进行时间同步,需要用多普勒频移测量值和节点的速度推算传播延迟,计算过程复杂,并且多普勒频移需要专门的设备测量。

[0009] 综上所述可以看出,当前的主要算法均有各自的问题,如何消除节点移动的影响,又不需要特殊的布署和额外的硬件,也不需要节点位置信息的水下传感器网络时间同步的方法尚未见报道。

### 发明内容

[0010] 为了解决现有技术中的问题,本发明的目的是提供一种即消除节点移动的影响,又不需要特殊的布署和额外的硬件,也不需要节点位置信息的水下传感器网络时间同步方法。

[0011] 为达到上述目的,本发明所采用的技术手段是:一种水下传感器网络时间同步方

法,其步骤包括:

[0012] 一、布置水下传感器网络节点,将标准时间节点固定,待同步节点随海流移动,标准时间节点发送一个包含发送时间的长数据包,待同步节点则连续发送若干短数据包,每个数据包均包含其发送时间;

[0013] 二、利用步骤一中标准时间节点和待同步节点发出的数据包在待同步节点接收端的冲突,确定标准时间节点发送的信息到达待同步节点前,其最后一次与待同步节点发出的数据包相遇的时刻;

[0014] 三、以步骤二中标准时间节点发送的信息最后一次与待同步节点发出的数据包相遇的时刻作为基准时间点,列写方程式,方程式的一边是标准时间节点发出的信息到达相遇位置的时间,方程式的另一边是冲突前最后一个由待同步节点发出信息到达相遇位置的时间;

[0015] 四、调整节点发送信息的时间,重复上述过程,得到另一个方程,组成二元一次方程组,计算得出时间偏移和时间漂移率。

[0016] 进一步的,所述步骤三中,标准时间节点发送的信息最后一次与待同步节点发出的数据包相遇到与待同步节点发出的数据包冲突的时间很短,忽略这段时间待同步节点的位置变化,令方程式中节点移动带来的传播延迟为零,得简化方程式。

[0017] 更进一步的,所述简化方程式: $T_{A1}+T_{A4}=a(T_{B2}+T_{B3})+2b$ ,其中其中 $T_{A1}$ 是标准时间节点发出数据包的时刻、 $T_{B3}$ 是标准时间节点发出的数据包到达待同步节点的时刻、 $T_{B2}$ 是待同步节点发出最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的时刻、 $T_{A4}$ 是待同步节点发出的最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的到达标准时间节点的时刻、 $a$ 为时间漂移率、 $b$ 为待同步节点与标准时间节点之间的初始时间偏移。

[0018] 进一步的,所述步骤三中的方程式为: $T_{A1}+T_{A4}=a(T_{B2}+T_{B3})+2b-t$ ,其中 $T_{A1}$ 是标准时间节点发出数据包的时刻、 $T_{B3}$ 是标准时间节点发出的数据包到达待同步节点的时刻、 $T_{B2}$ 是待同步节点发出最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的时刻、 $T_{A4}$ 是待同步节点发出的最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的到达标准时间节点的时刻、 $t$ 是在数据包最后一次相遇到冲突这段时间里待同步节点的移动带来的传播延迟、 $a$ 为时间漂移率、 $b$ 为待同步节点与标准时间节点之间的初始时间偏移。

[0019] 进一步的,所述步骤四中,另一个方程的方程式为: $T_{A5}+T_{A8}=a(T_{B6}+T_{B7})+2b$ ,其中 $T_{A5}$ 是标准时间节点发出数据包的时刻、 $T_{B7}$ 是标准时间节点发出的数据包到达待同步节点的时刻、 $T_{B6}$ 是待同步节点发出最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的时刻、 $T_{A8}$ 是待同步节点发出的最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的到达标准时间节点的时刻、 $a$ 为时间漂移率、 $b$ 为待同步节点与标准时间节点之间的初始时间偏移。

[0020] 进一步的,所述步骤四中二元一次方程组为:

$$[0021] \begin{cases} a = \frac{T_{A1} + T_{A4} - T_{A5} - T_{A8}}{T_{B2} + T_{B3} - T_{B6} - T_{B7}} \\ b = \frac{(T_{A5} + T_{A8})(T_{B2} + T_{B3}) - (T_{A1} + T_{A4})(T_{B6} + T_{B7})}{2(T_{B2} + T_{B3} - T_{B6} - T_{B7})} \end{cases}$$

[0022] 其中, $a$ 为时间漂移率、 $b$ 为待同步节点与标准时间节点之间的初始时间偏移, $T_{A1}$ 、 $T_{B3}$ 、 $T_{B2}$ 和 $T_{A4}$ 是收发首组同步数据包得到的时间: $T_{A1}$ 是标准时间节点发出数据包的时刻、 $T_{B3}$

是标准时间节点发出的数据包到达待同步节点的时刻、 $T_{B2}$ 是待同步节点发出最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的时刻、 $T_{A4}$ 是待同步节点发出的最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的到达标准时间节点的时刻； $T_{A5}$ 、 $T_{B7}$ 、 $T_{B6}$ 和 $T_{A8}$ 是收发另一组同步数据包得到的时间： $T_{A5}$ 是标准时间节点发出数据包的时刻、 $T_{B7}$ 是标准时间节点发出的数据包到达待同步节点的时刻、 $T_{B6}$ 是待同步节点发出最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的时刻、 $T_{A8}$ 是待同步节点发出的最后一个与标准时间节点发送的数据包相遇的数据包的到达标准时间节点的时刻。

[0023] 本发明的有益效果在于：利用水下声信道中数据包的相遇和冲突，克服节点移动对同步精度的影响，通过等式运算得出时间偏移和时间漂移率。不需要特殊的布署和额外的硬件设备，简单可靠，成本低，适用性强。

### 附图说明

[0024] 下面结合附图和具体的实施例对本发明的技术方案作进一步说明。

[0025] 图1本发明的信息收发示意图；

[0026] 图2本发明的信息冲突示意图；

[0027] 图3本发明的信息相遇示意图；

[0028] 图4本发明的信息传输示意图。

### 具体实施方式

[0029] 一种水下传感器网络时间同步方法，在水下传感器网络中，具有标准时间的节点具有能力保持不动，其它传感器节点随水流漂动。以图1所示为例，节点A是具有标准时间的节点，节点B是待同步节点。节点B与节点A之间的初始时间偏移为 $b$ ，时间漂移率为 $a$ 。

$$[0030] \quad T_A = aT_B + b \quad (1)$$

[0031] 同步开始后，节点A和节点B开始发送数据包。节点A发送一个长数据包A1，包含其发送时间 $T_{A1}$ ，数据包长度 $L_A$ 。节点B连续发送短数据包，每个短数据包均包含其发送时间，数据包长度 $L_B$ ，发送的时间间隔为 $t_w$ ， $t_w$ 是能够区分不同数据包的最小时间间隔。 $L_A > t_w v_p$ 且 $L_A > L_B$ ，其中， $v_p$ 是数据传播速率。

[0032] 节点A发送的长数据包在节点B的接收端与节点B发送的某个短数据包冲突。如图2，数据包A1与数据包B4冲突，节点B在发送数据包B4时，其接收天线上自己正在发送的信号具有最大的能量，此时到达的数据包A1被当作噪声过滤，只在数据包B4发送前后，节点B才能接收到数据包A1的数据。数据包A1已被破坏，如果无法记录其准确的接收时间，就采用数据包B4的发送时间 $T_{B3}$ 作为收到数据包A1的时间。

[0033] 由于 $t_w$ 极小，节点之间的距离 $d_{AB} \gg t_w v_p + L_B$ ，数据包B4之前在 $T_{B2}$ 时刻发送的数据包B3会与数据包A1在传输过程中相遇，如图3所示。相遇之后数据包仍然沿原路径传输，如图4所示。

[0034] 节点B发送的数据包B3在 $T_{A4}$ 时刻到达节点A。根据(1)式，可得 $T_{A2} = aT_{B2} + b$ ， $T_{A3} = aT_{B3} + b$ 。把信息相遇的时刻作为同步的基准时间点，得

$$[0035] \quad T_{A1} + t_1 = aT_{B2} + b + t_2 \quad (2)$$

[0036] 节点A静止不动，信息A1从节点A到相遇位置的距离和信息B3从相遇位置到节点A

的距离相同,在短时间内,相同路径的传输时间也相同,那么对于节点A来说,

$$[0037] \quad T_{A1}+2t_1=T_{A4}$$

[0038] 可以解得,

$$[0039] \quad t_1 = \frac{T_{A4} - T_{A1}}{2} \quad (3)$$

[0040] 同理,对于节点B

$$[0041] \quad aT_{B2}+b+2t_2+t=aT_{B3}+b$$

[0042] 可以解得,

$$[0043] \quad t_2 = \frac{aT_{B3} - aT_{B2} - t}{2} \quad (4)$$

[0044] 把公式(3)和(4)代入(2),可以得到一个二元一次方程:

$$[0045] \quad T_{A1}+T_{A4}=a(T_{B2}+T_{B3})+2b-t \quad (5)$$

[0046] 由于从节点B发往节点A的信息B3,在发出后很短的时间内就与节点A发往节点B的信息相遇,而相遇后节点A发往节点B的信息也在很短的时间内到达节点B。传感器节点的移动速度有限,在如此短暂的时间里,节点位置的移动仅在微米范围内,可以忽略不计,也就是说 $t \approx 0$ 。

[0047] 公式(5)可写为:

$$[0048] \quad T_{A1}+T_{A4}=a(T_{B2}+T_{B3})+2b \quad (6)$$

[0049] 调整节点发送信息的时间,重复上述过程,如图1所示,可以得到,

$$[0050] \quad T_{A5}+T_{A8}=a(T_{B6}+T_{B7})+2b \quad (7)$$

[0051] 联立公式(6)和(7),得到移动水下传感器网络中,节点B的时间偏移和时间漂移率。

$$[0052] \quad \begin{cases} a = \frac{T_{A1} + T_{A4} - T_{A5} - T_{A8}}{T_{B2} + T_{B3} - T_{B6} - T_{B7}} \\ b = \frac{(T_{A5} + T_{A8})(T_{B2} + T_{B3}) - (T_{A1} + T_{A4})(T_{B6} + T_{B7})}{2(T_{B2} + T_{B3} - T_{B6} - T_{B7})} \end{cases} \quad (8)$$

[0053] 时间同步的目的就是计算出待同步节点相对于标准时间节点的时间漂移率和时间偏移,修正待同步节点的时钟,使其和标准时间节点的时钟保持一致。

[0054] 本发明的原理如下:标准时间节点保持固定,待同步节点随海流移动。同步过程中,标准时间节点发送一个长数据包,并包含发送时间。待同步节点连续发送短数据包,每个数据包均包含其发送时间。利用两个节点发出的数据包在待同步节点接收端的冲突,确定标准时间节点发送的数据包到达待同步节点前,最后一次与待同步节点发出的数据包相遇的时刻。以该相遇的时刻作为基准时间点,列写方程式。方程式的左边是标准时间节点发出的数据包到达相遇位置的时间,方程式的右边是冲突前最后一个由待同步节点发出数据包到达相遇位置的时间。

[0055] 由于标准时间节点发送的信息最后一次与待同步节点发出的数据包相遇到与待同步节点发出的数据包冲突的时间很短,忽略这段时间里待同步节点的位置变化,简化方程。调整节点发送数据包的时间,重复上述过程,得到另一个方程,组成二元一次方程组,计算得出时间偏移和时间漂移率。

[0056] 本领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。



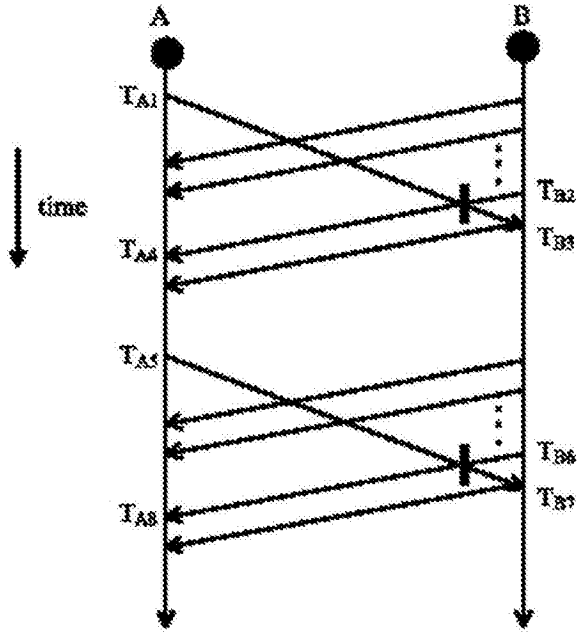


图1

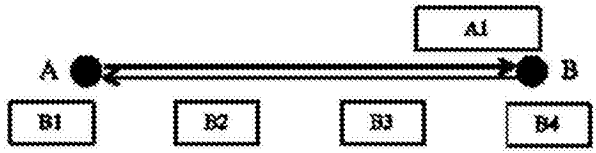


图2

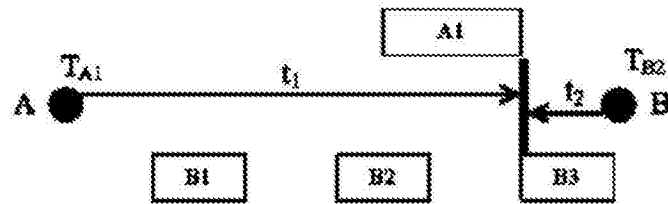


图3

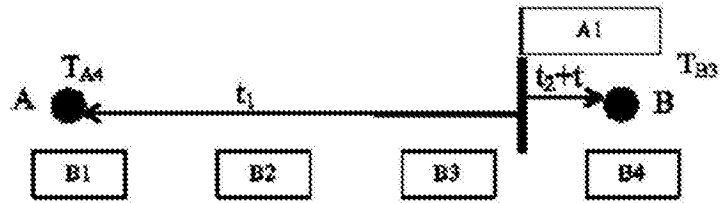


图4