

基于低能耗自适应的水下传感器网络定位算法

张 敏, 穆天圆, 乔学工

(太原理工大学 信息工程学院, 山西 太原 030024)

摘 要: 在无线传感器网络的水下应用中, 针对传统 DV-Hop 定位算法中锚节点能量消耗大, 容易死亡这一问题, 提出了一种基于低能耗自适应的定位算法 (LSLA). 该算法中, 当锚节点能量小于设定阈值时执行 LSLA 算法, 由此得出的一组普通节点集合来替代进行定位, 从而可以减少自己的能量消耗, 同时对初步定位结果进行了循环位置修正. 仿真实验表明, LSLA 算法可以有效地提高网络节点的定位精度和延长锚节点的存活时间.

关键词: 水下传感器网络; DV-Hop 算法; 低能耗自适应; 位置修正

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)03-0106-04

Localization Algorithm in Underwater Sensor Networks Based on Low-energy Self-healing

ZHANG Min, MU Tian-yuan, QIAO Xue-gong

(College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In underwater wireless sensor network application, to solve the problem that anchor nodes are likely to die faster than sensor nodes since their high energy consumption in traditional DV-Hop algorithm, an improved DV-Hop algorithm (LSLA) is proposed based on low-energy self-healing. This algorithm finds a set of sensor nodes to substitute for any anchor node when its energy is less than the threshold, while this algorithm corrects the results of the initial positioning in circle. The simulation results show that the improved algorithm can improve the positioning accuracy effectively and prolong the anchor nodes lifetime comparing with conventional DV-Hop algorithm.

Key words: underwater sensor networks; DV-Hop; low-energy self-healing; position correction

1 引言

随着当今世界各国海洋开发和海洋军事领域的快速发展, 建立水下无线传感器网络成为新的研究热点, 可广泛应用于水文环境监测、资源勘探、灾害预警等领域, 其中节点自身定位技术是实现上述应用的基础^[1]. 目前根据是否需要测距, 可以将定位算法分为基于测距的和无需测距的算法, 基于测距的算法主要有 RSSI^[2]、TOA^[3]、TDOA^[4]、AOA^[5]等, 无需测距算法主要有 APIT 算法^[6]、质心算法^[7]、DV-Hop 算法^[8]等^[9].

由于水下环境的特殊性, 节点会随着水流移动, 所以无线传感器网络需要隔一段时间重新定位. 在

DV-Hop 算法, 随着能量的消耗, 相比于普通节点, 锚节点死亡速度大, 特别是节点密集处的锚节点更加容易死亡, 进而不断降低周围普通节点的定位精度, 甚至导致无法定位. 本文在 DV-Hop 算法的基础上提出了一种基于低能耗自适应的 LSLA 算法, 通过在定位过程中减小锚节点的能量消耗, 达到延长锚节点存活时间和提高网络节点定位精度的目的.

2 DV-Hop 算法

DV-Hop 算法是由 Niculescu 等人结合距离矢量-跳段 GPS 定位思想提出来的, 其定位过程可分为 3 个阶段: (1) 采用距离矢量交换协议, 网络中的所有节点可以获得各个锚节点的位置信息, 以及它与

各个锚节点之间的最小跳数;(2)锚节点计算网络的平均一跳距离,然后将其广播至网络中,未知节点会保留并转发其接收到的第一个平均一跳距离值;(3)当一个未知节点估算了与至少 3 个锚节点的距离后,就可以通过“三边测量法”来进行位置估计^[10].

在 DV-Hop 定位算法中,锚节点 i 的平均一跳距离 $d_{ave}(i)$ 由式(1) 计算:

$$d_{ave}(i) = \frac{\sum_{i \neq j} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i \neq j} h_i} \quad (1)$$

式中, $(x_i, y_i), (y_i, y_j)$ 为锚节点 i 和 j 的坐标, h_i 为第 i 个锚节点和其他所有锚节点之间的跳数.

3 LSLA 算法

通过以上 DV-Hop 算法的流程可以看出,相比于普通节点,锚节点需要 GPS 自定位、广播位置信息和跳数消息、计算并广播校正值等,消耗的能量大,这样锚节点容易死亡,会降低网络节点的定位精度. 所以,本文提出了一种基于低能耗自适应的 LSLA 算法,这种算法分为以下 4 个阶段.

(1) 锚节点自定位

在此阶段,每一个锚节点判断自身剩余能量是否小于设定阈值,如果不是,则使用 GPS 定位,如果是,便执行以下步骤.

步骤 1: 设锚节点 A 的剩余能量小于设定阈值 E_T , 组建一个邻居节点表(记作 $CN(A)$), 邻居节点表由距离它一跳的所有普通节点(不包括锚节点)组成.

步骤 2: 锚节点 A 将邻居节点表 $CN(A)$ 广播给每一个邻居节点并请求邻居节点也组建自己的邻居节点表. 每一个邻居节点响应请求组建自己的邻居节点表,并找出与 $CN(A)$ 的公共元素,将其广播给锚节点 A .

步骤 3: 锚节点 A 接收到由所有邻居节点发送信息组成的公共元素集合表,选出最大集(与 $CN(A)$ 公共元素最多),并在集合表中清除掉,这个最大集对应的普通节点记作 B_1 . 然后在锚节点邻居节点表 $CN(A)$ 中清除掉公共元素.

步骤 4: 锚节点 A 继续在剩余集合表中找出与 $CN(A)$ 的公共元素,选出最大集并清除掉,其所对应的普通节点记作 B_2 , 然后在锚节点邻居节点表 $CN(A)$ 中清除掉公共元素.

步骤 5: 一直重复步骤 4 直到锚节点 A 的邻居

节点表清除为零,此时锚节点 A 的位置坐标不用 GPS 来获得,可以用普通节点集合 $B_i (i = 1, 2, 3, \dots)$ 在上一次节点定位后位置坐标的质心来替代.

(2) 距离矢量交换和校正值的计算与广播

网络中的所有节点获得各个锚节点的位置信息,以及它与各个锚节点之间的最小跳数. 然后剩余能量大于阈值的锚节点和由上一阶段得到的普通节点集合中的节点,在获得其他锚节点位置信息和与其相隔跳数后计算与广播校正值.

(3) 位置估计

当一个未知节点获得了一个平均一跳距离值,并且知道自身距离某个锚节点的最短跳数时,就可以估算与它的距离. 估算距离用校正值与两者之间跳数之积表示. 而当一个未知节点估算了与至少 3 个锚节点的距离时,就可以通过“三边测量法”来进行位置估计.

(4) 位置修正

位置估计结束后,对由剩余能量小于设定阈值的锚节点位置坐标参与定位得到的未知节点坐标进行位置修正. 假设 N 个锚节点 $A, B, C, \dots$ 参与未知节点 S 的定位,其中锚节点 A 剩余能量小于设定阈值,用锚节点 $B, C, \dots$ 对未知节点 S 的坐标进行位置修正.

具体计算过程如下:

设锚节点 B , 未知节点 S , 修正位置 S_1 的坐标分别为 $(x_B, y_B), (x, y), (x_1, y_1)$, 已定位未知节点 S 到锚节点 B 的距离为 d_{BS} , 未定位时 S 与 B 的估计距离为 d_{BB} . 修正位置 S_1 的坐标由式(2) 计算:

$$\begin{cases} x_1 = x + \frac{1}{N} \times (d_{BB} - d_{BS}) \times \frac{x - x_B}{d_{BS}} \\ y_1 = y + \frac{1}{N} \times (d_{BB} - d_{BS}) \times \frac{y - y_B}{d_{BS}} \end{cases} \quad (2)$$

接着对修正后的位置 S_1 , 另一个锚节点 C 用同样的方法对其修正,当 $N-1$ 个锚节点都对位置节点 S 的位置进行修正后,这时的位置就为 S 的最终定位结果.

4 仿真结果及其分析

为了检验算法的性能,本文采用 MATLAB 程序对传统 DV-Hop 定位算法和 LSLA 算法进行了仿真对比分析. 在 $1\,000\text{ m} \times 1\,000\text{ m}$ 的矩形范围内,随机分布了 300 个节点,锚节点比例为 20%, 初始能量为 E_0 . 下面讨论设定不同阈值的 LSLA 算法和传统

DV-Hop 定位算法的锚节点存活时间和节点定位误差的比较.

如图 1 所示,随着无线传感器网络定位次数的增加,两种算法的锚节点数都呈现递减的趋势.在 同一定位次数时,LSLA 算法的锚节点数明显大于传统 DV-Hop 算法,并且 LSLA 算法延长了锚节点的存活时间. 阈值越大的 LSLA 算法,锚节点由普通节点集合替代定位越早,能量消耗越小,所以在同一定位次数时锚节点越多,且锚节点存活时间越长.

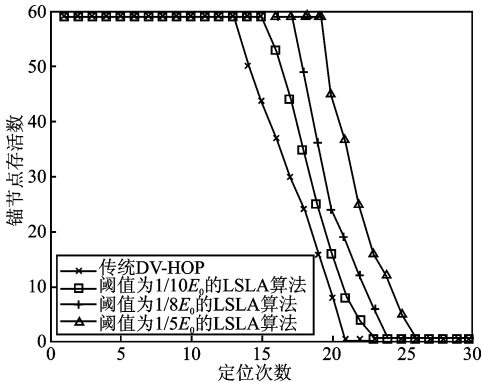


图1 传统 DV-Hop 算法和不同阈值的 LSLA 算法的锚节点存活数

通过表 1、图 2 可以看出:LSLA 算法在一定定位次数范围内定位误差高于 DV-Hop 算法,这是由于剩余能量小于阈值的锚节点由一组普通节点集合来替代进行定位造成了定位误差增大,但随着定位过程的继续,改进算法的锚节点较多,其定位误差

表 1 不同阈值的 LSLA 算法和传统算法的平均定位误差值

定位次数	传统 DV-Hop	LSLA 算法		
		阈值 $\frac{1}{10}E_0$	阈值 $\frac{1}{8}E_0$	阈值 $\frac{1}{5}E_0$
8	0.313 51	0.315 42	0.305 35	0.313 09
9	0.316 87	0.312 20	0.311 16	0.329 40
10	0.314 20	0.315 82	0.321 10	0.340 37
11	0.309 86	0.319 54	0.341 20	0.365 09
12	0.312 50	0.326 4	0.354 72	0.378 74
13	0.319 54	0.338 72	0.372 45	0.402 58
14	0.355 35	0.368 74	0.401 58	0.423 17
15	0.429 40	0.392 56	0.421 65	0.456 62
16	0.492 54	0.425 53	0.452 10	0.478 50
17	0.545 82	0.494 52	0.473 13	0.504 12
18	0.600 25	0.543 55	0.525 22	0.520 84
19	0.653 76	0.617 89	0.577 05	0.542 58
20	0.729 82	0.669 98	0.60586	0.581 30

会逐渐小于传统算法. 另外阈值越大,锚节点执行 LSLA 算法越早,误差越大,但在接下来的定位过程中,由于锚节点数较多,误差反而会小于阈值较小的 LSLA 算法. 总体上来说,阈值为 $\frac{1}{10}E_0$, $\frac{1}{8}E_0$, $\frac{1}{5}E_0$ 的 LSLA 算法分别比传统算法的平均定位误差降低约 6.6%、4.7% 和 1.4%.

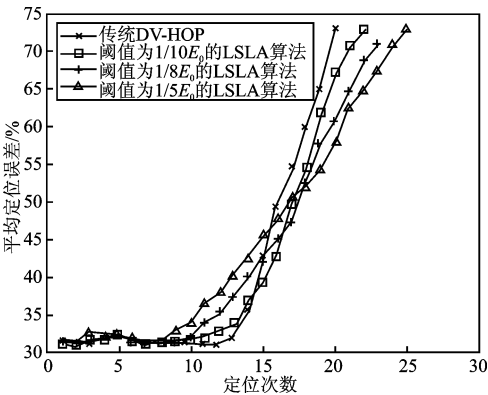


图2 传统 DV-Hop 算法和不同阈值的 LSLA 算法的平均定位误差

图 3 与图 4 所示为阈值为 $\frac{1}{3}E_0$ 的 LSLA 算法和传统算法的锚节点存活数及平均定位误差比较. 如图 3 所示,在同一定位次数时,阈值为 $\frac{1}{3}E_0$ 的 LSLA 算法的锚节点数明显大于传统 DV-Hop 算法的,并且延长了锚节点的存活时间. 但由图 4 可得,阈值为 $\frac{1}{3}E_0$ 的 LSLA 算法的平均定位误差相比传统算法增大了 2.9%. 由此可见,阈值并非越大越好,锚节点执行 LSLA 算法是以一部分定位次数内定位误差的增大为代价的,代价超过一定范围,反而会使总体的平均定位误差大于传统 DV-Hop 算法的.

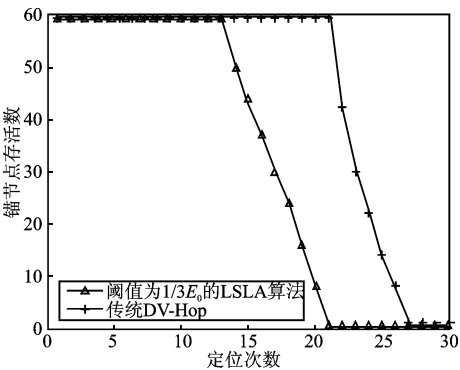


图3 传统 DV-Hop 算法和阈值为 $\frac{1}{3}E_0$ 的 LSLA 算法的锚节点存活数

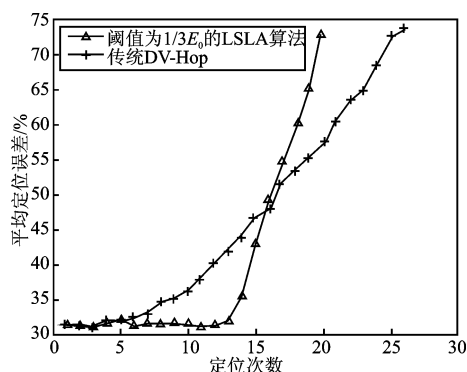


图4 传统DV-Hop算法和阈值为

$\frac{1}{3}E_0$ 的LSLA算法的平均定位误差

5 结束语

提出了一种改进的低能耗自适应定位算法 (LSLA), 可适用于流速缓慢的水下无线传感器网络. 通过 MATLAB 仿真, 在一定阈值范围内, 与传统算法相比, LSLA 算法明显的延长了锚节点存活时间和提高了节点定位精度, 超出范围后节点定位精度反而会降低. LSLA 算法可以根据实际应用中对节点定位精度和定位次数的不同要求来设定不同的阈值, 适应性强.

参考文献:

- [1] 王锦程, 李德识. 一种基于水声信道的无线传感器网络路由协议[J]. 传感技术学报, 2009, 22(1): 107-110.
- [2] Rappaport T S. Wireless communications: principles and practice [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1996: 50-143.

- [3] Girod L, Estrin D. Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing[C] // IEEE /RSJ Int'l Conf on Intelligent Robots and Systems. Hawaii, USA: IEEE, 2001: 1312-1320.
- [4] Savvides A, Han C C, Srivastava M B. Dynamic fine grained localization in Ad Hoc sensor networks[C] // Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. N Y, USA: ACM, 2001: 166-179.
- [5] Niculescu D, Nath B. Ad Hoc positioning system using AoA[C] // IEEE Int'l Conf on Computer and Communications, INFOCOM 2003, San Francisco, USA: IEEE, 2003: 1734-1743.
- [6] He Tian, Huang Chengdu, Blum B M, et al. Range-free localization schemes in large scale sensor networks[C] // Proc of the 9th Annual Int'l Conf on Mobile Computing and Networking. New York, USA: ACM, 2003: 81-95.
- [7] Heidemann B J, Estrin D. GPS less low-cost outdoor localization for very small devices[J]. Personal Communications, 2000, 7(5): 28-34.
- [8] Niculescu D, Nath B. Ad Hoc positioning system[C] // Global Telecommunications Conference. San Antonio, TX: IEEE, 2001: 2926-2931.
- [9] 马润泽, 余志军, 刘海涛. 一种距离无关的无线传感器网络定位算法[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(11): 131-134.

作者简介:

张敏男, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络研究. E-mail: zhangminljx@163.com.

(上接第105页)

- [3] Pain B, Yang G, Ortiz M, et al. Analysis and enhancement of low-light-level performance of photodiode-type CMOS active pixel imagers operated with subthreshold reset[C] // 1999 IEEE Workshop on CCDs and AIS. Nagano, Japan: IEEE, 1999.
- [4] Tian H. Noise analysis in CMOS imagesensors [D]. USA: Stanford University, 2000.
- [5] 晋孝峰, 岳素格, 刘丽艳. CMOS 图像传感器的硬件复位电路研究[J]. 电报, 2014, 42(1): 182-186.

- [6] 晋孝峰, 岳素格, 刘丽艳. 一种改善 CMOS 图像传感器性能的复位控制电路设计[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(11): 132-135.

作者简介:

周燕敏女, (1991-), 硕士研究生. 研究方向为 CMOS 图像传感器应用. E-mail: yammy_zhou@foxmail.com.

秦会斌男, (1961-), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为新型电子器件及 ASIC 设计、现代传感器设计及应用.