

# 一种基于锚节点失效的 UWSN 定位算法

管文冰,朱志文,刘林峰,姚 升

(南京邮电大学 计算机学院,江苏 南京 210023;

江苏省无线传感网高技术研究重点实验室,江苏 南京 210003)

**摘要:**文中提出一种基于锚节点失效的、利用已定位节点帮助未知节点定位的算法。未知节点在锚节点失效的情况下不能获得足够信标信息,因此可能无法定位,于是向周围广播无法定位报文。收到该报文的已定位节点则选择地转化为参考节点,并广播自己的位置信息,转换为信标角色协助未知节点定位。无法定位节点从收到的信息中选择参考价值较高的坐标帮助自己定位。仿真结果表明,该方法能有效地提高定位覆盖率,降低锚节点失效对整个网络定位精度的影响。

**关键词:**水下无线传感器网络;节点失效;定位协助;定位覆盖率

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)03-0218-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.03.050

## A Localization Algorithm Based on Anchored Node Failure for Underwater Sensor Network

GUAN Wen-bing, ZHU Zhi-wen, LIU Lin-feng, YAO Sheng

(School of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications,

Nanjing 210023, China;

Jiangsu High Technology Research Key Laboratory for Wireless Sensor Networks,

Nanjing 210003, China)

**Abstract:** An anchored node failure based localization algorithm is proposed to help the nodes which can't locate themselves with the available beacon information. Unknown nodes can't receive enough beacon information to locate themselves in the case of anchor node failure, so they broadcast the messages which notifies they can't locate themselves. When a located node receives these messages, it will broadcast its location information to help the senders which can't locate. Then the unknown node picks up the node information with high degree of accuracy to locate itself. The simulation results show that this algorithm can effectively improve the localization coverage and relieve the influence of anchor node failure on the whole network localization accuracy.

**Key words:** underwater wireless sensor network; node failure; localization assistance; localization coverage

## 0 引言

地球上水资源丰富,但是水下作业面临诸多的困难和危险,所以水资源探索和利用的研究进程十分缓慢<sup>[1]</sup>。水下无线传感器网络技术的发展大大推进了人们对水下环境的探索。近年来,水下无线传感器网络技术引起了人们越来越多的关注<sup>[2]</sup>。水下无线传感器网络的出现可以减少人工水下作业的工作量,其基本原理是将大量不同功能的传感器节点部署在指定水域,通过传感器节点收集相关的水文数据。节点定位是水下无线传感器网络中重要的一个环节,当节点收

集到需要的数据后,必须知道自已的位置,将自已的位置与收集的数据一起发送回计算机,其所收集的数据才有意义<sup>[3-4]</sup>。

目前节点的定位主要是通过已知自己位置的节点(称之为锚节点,如图1中正方形所示)广播自己的位置信息,其余不知道自己位置的节点(称之为未知节点,如图1中圆形所示)收到锚节点的位置信息后通过测量与锚节点的距离或者角度来确定自己的位置<sup>[5-6]</sup>。如图1所示,S节点为未知节点,周围的A、B、C为锚节点。S节点可以通过测量与A、B、C的距离 $d_A$ 、

收稿日期:2014-05-08

修回日期:2014-08-13

网络出版时间:2015-01-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61373139);江苏省自然科学基金(BK2012833);江苏省高校自然科学基金研究计划(12KJB520011)

作者简介:管文冰(1990-),女,硕士研究生,研究方向为水声传感器网络;刘林峰,博士,副教授,研究方向为水声传感器网络和机会网络。

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150120.2202.039.html>

$d_B$ 、 $d_C$ , 结合  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的坐标求出  $S$  的位置。还可以通过测量  $S$  节点与  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的夹角, 如图中  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$  所示, 再结合  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的坐标求出  $S$  的位置。但当锚节点失效时, 如图 2 所示, 节点  $S$  周围的部分锚节点失效 (图中用虚线正方形表示失效节点), 节点  $S$  只能获得  $d_A$ 、 $d_C$  以及  $A$ 、 $C$  的坐标, 或者  $\theta_1$  以及  $A$ 、 $C$  的坐标, 这些位置信息不足以节点  $S$  定位, 所以节点  $S$  无法定位。

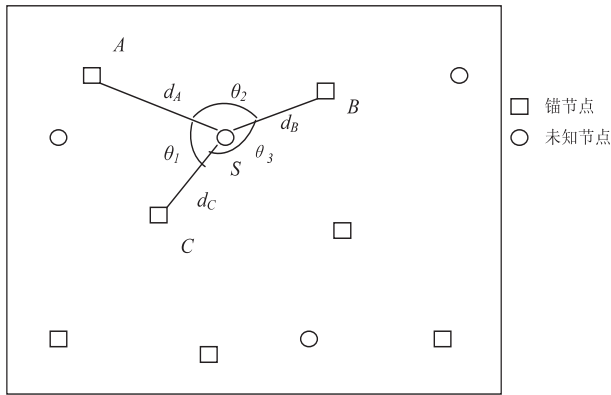


图1 正常情况下锚节点与未知节点

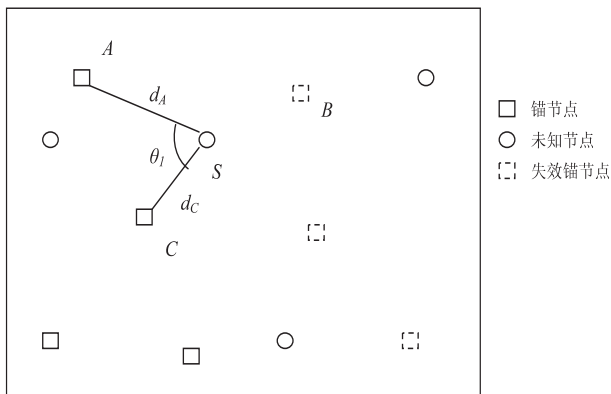


图2 锚节点失效示意图

### 1 相关研究

不同于陆地上的无线传感器网络, 水下环境恶劣复杂, GPS 信号无法在水中传播。水中信号传播具有延迟高, 带宽低, 节点移动以及节点失效<sup>[7]</sup>等问题, 这些问题都使得水下的定位困难重重, 不能直接使用现有的陆地无线传感器网络的定位方法。因此在具有重大前景的同时, 水下无线传感器网络也面临着很多挑战<sup>[8-11]</sup>。

一般情况下需要探索的水域都非常广阔, 如果简单地使用锚节点来帮助普通节点定位, 则需要部署大量的锚节点, 这大大增加了硬件成本<sup>[12-14]</sup>。文献<sup>[15]</sup>提出了一种多级定位算法, 当锚节点帮助一部分节点

完成定位后, 如果节点符合设定的条件, 则转化为参考节点, 广播自己的位置信息帮助其他未定位普通节点定位。

由于水下环境复杂, 很多原因都将导致节点的失效<sup>[16]</sup>。例如, 海水的侵蚀、生物的撞击、敌方的恶意攻击和电池耗尽等<sup>[17]</sup>。其中锚节点的失效对整个水下传感器网络产生的影响更大, 部分未知节点, 因无法接收足够的锚节点信息而无法实现定位。因此, 如何克服节点失效问题是水下无线传感器网络定位技术中的一个重要课题。

在文献<sup>[18]</sup>中, 未知节点由于无法获取足够多的锚节点信号导致无法定位, 作者采用了一种多跳转发的方式, 将远端的锚节点信号通过其他的节点转发给未知节点, 从而克服了未知节点的失效问题。除了以上这种方法, 更传统的方法是基于 AUV 的辅助定位方法。在文献<sup>[19]</sup>中, 对于失效节点, 可以使用 AUV 作为新加入的锚节点在失效区域辅助定位; 在文献<sup>[20]</sup>中, 采用 AUV 作为移动锚节点来帮助未知节点定位, 这样可以有效克服未知节点失效问题, 并且由于 AUV 的本质是水下行驶器, 所以如果 AUV 本身出现故障也易于更换。但是该方法由于受限于 AUV 的数量及行驶速度等因素, 使得这种定位方法的定位周期过长, 尤其在移动的水环境中, 过长的定位周期就意味着定位坐标的失效。

### 2 基于节点失效的定位算法

文献<sup>[15]</sup>提出的算法中, 节点转化为参考节点的条件是固定不变的。锚节点失效后, 未知节点无法定位, 需要已定位节点的帮助, 但是由于条件的限制, 已定位节点不能灵活地转化为参考节点, 帮助未知节点定位。因此当锚节点失效后, 若在设定时间内节点都无法定位, 节点便向周围广播无法定位的信号, 周围的已定位节点收到信号以后, 无论自身是否符合设定的条件, 都转化为参考节点, 广播自己的位置信息, 帮助无法定位节点定位。由于每个节点都会计算自己的精确度, 因此当无法定位节点收到多个位置信息时, 可以从中选择精确度较高的节点位置信息, 计算自己的位置。

具体步骤如下: 锚节点广播自己的位置信息, 在一个定位周期内, 未知节点如果收到至少三个来自锚节点的位置信息利用三边测量法算出自己的位置, 之后根据公式(1)算出自己的精确度。

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^3 \eta_i \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^3 |(u - x_i)^2 + (v - y_i)^2 + (w - z_i)^2 - l_i^2|}{\sum_{i=1}^3 (u - x_i)^2 + (v - y_i)^2 + (w - z_i)^2} - \frac{\sum_{i=1}^3 (l_i - D)^2}{\sum_{i=1}^3 l_i^2} \right)}{3} \quad (1)$$

式中,  $(u, v, w)$  是定位节点的位置坐标;  $(x_i, y_i, z_i)$  是参考节点的坐标;  $\eta_i$  是对应的参考节点的信任值;  $l_i$  是定位节点测量的距离参考节点的距离;  $\bar{l}$  是  $l_i$  的平均值。节点每重新定位一次, 都会重新计算自己的精确度。

如果节点的精确度以及其他条件都达到设定值, 则转化为参考节点, 帮助其他节点定位。在定位周期内, 如果未知节点未收到至少三个位置信息而无法定位, 则广播自己无法定位的信号。下面给出算法核心步骤的伪代码:

```

未定位节点 i
while t < 一个定位周期
{
等待收集位置信息;
}
if 位置信息个数 >= 3
locate(i); /* locate 为定位函数 */
else
广播无法定位信号;
locate(i) /* 定位函数 */
{
选择精确度 η 最高的三个参考节点;
利用三边测量法进行定位计算;
node[i]. location->1;
//location 为 1 表示已定位, 普通节点默认为 0
if 精确度 > η /* η 为设定的精确度门限值 */
then node[i]. anchor->1;
//anchor 为 1 表示参考节点, 为 0 表示非参考节点, 普通节点 anchor 默认为 0
}
节点 j 收到无法定位信号
if (node[j]. location = 1) &&(node[j]. anchor = 0)
then node[j]. anchor->1;

```

### 3 仿真实验

算法的仿真利用 C 语言程序模拟定位场景, 在  $50 \times 50 \times 50 \text{ m}^3$  的区域内随机分布 100 个节点, 通过改变节点通信距离, 锚节点占总节点数的比例, 以及锚节点失效率来观察所提出的算法对定位结果的影响。仿真中, 通信距离的变化范围在 10 ~ 20 m 之间, 变化步长为 1 m, 锚节点占总节点数的比例在 10% ~ 50% 之间变化, 变化步长为 5%, 而锚节点失效率则选取 50% 与 80% 进行对比测试。

为了更好地观察所提出算法对定位结果的影响, 将节点的定位分为三种情况: 锚节点未失效情况下的定位, 锚节点失效情况下的定位, 以及锚节点失效后利用算法进行补救情况下的定位。定位结果有两个衡量标准: 一是定位覆盖率, 即最终定位的节点占所有普通节点的比例; 二是定位精确度, 定位精确度的计算公式如公式(1)所示。

图 3 与图 4 为定位覆盖率随锚节点占总节点数比例增大而变换的示意图。图 3 设定锚节点失效率为 50%, 图 4 设定为 80%, 两者的通信距离都设定为 15 m。如图所示锚节点失效会带来定位覆盖率的降低, 而提出的算法可以有效地提高定位覆盖率, 甚至高于锚节点未失效时的定位覆盖率, 且在锚节点占总节点数比例较少或者较多时, 定位覆盖率的提高较小。这是因为算法需要利用已定位的节点帮助无法定位节点, 锚节点占总节点数比例较小时能够取得定位的节点过少, 因此算法对定位覆盖率的提高较少; 而当锚节点占总节点数比例较大时, 即使部分锚节点失效, 大部分节点依然可以获得足够的位置信息, 成功定位, 因此算法对定位覆盖率的提高较少。由图分析得知, 该算法在锚节点占总节点数 20% ~ 30% 时, 对节点定位覆盖率的提高较大。

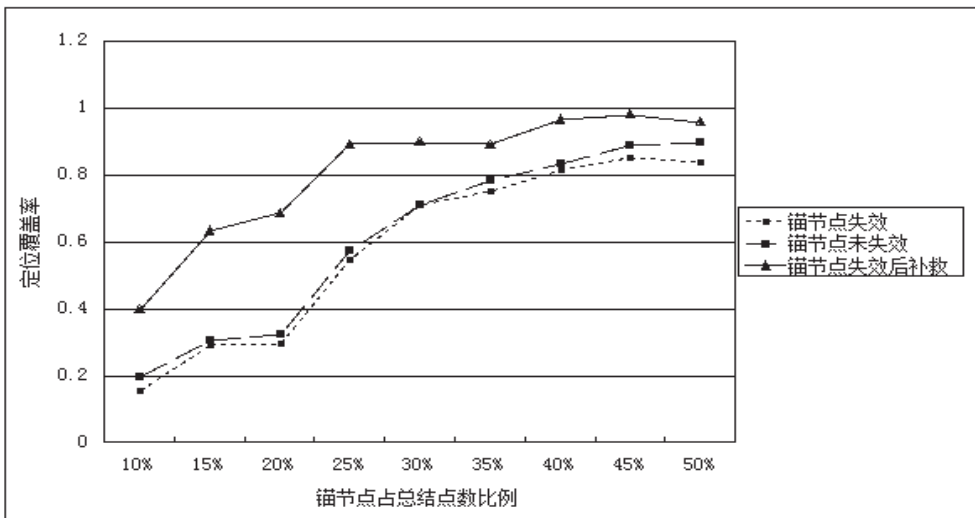


图 3 定位覆盖率与锚节点占总节点数比例关系图

图5是定位覆盖率随着节点通信距离的增大而变换的曲线。设定锚节点占总节点数的30%,锚节点失效率为50%。由图观察得知当通信距离较小或较大时,算法对定位覆盖率的提高较小,因为当通信距离较小时节点之间的连通度过小,即使节点广播无法定位信号,收到信号的节点也很少,或者收到信号的节点也无法定位,因此算法对定位覆盖率的提高并不明

显;而当通信距离较大时节点之间的连通度较高,即使部分锚节点失效,节点仍可以获得其他锚节点的位置信息来定位。由图观察得知,节点通信距离在15 m左右时,该算法的效果最好,对定位覆盖率的提高更多。

图6为定位精确度与锚节点占总节点数比例关系图。设定节点通信距离为15 m,锚节点失效率为50%。从图中看出,算法在定位精确度上有所降低,且

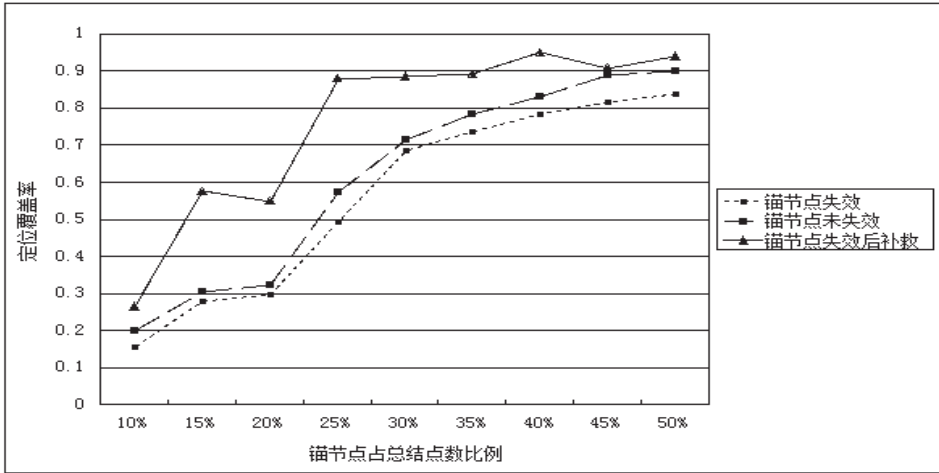


图4 定位覆盖率与锚节点占总节点数比例关系图

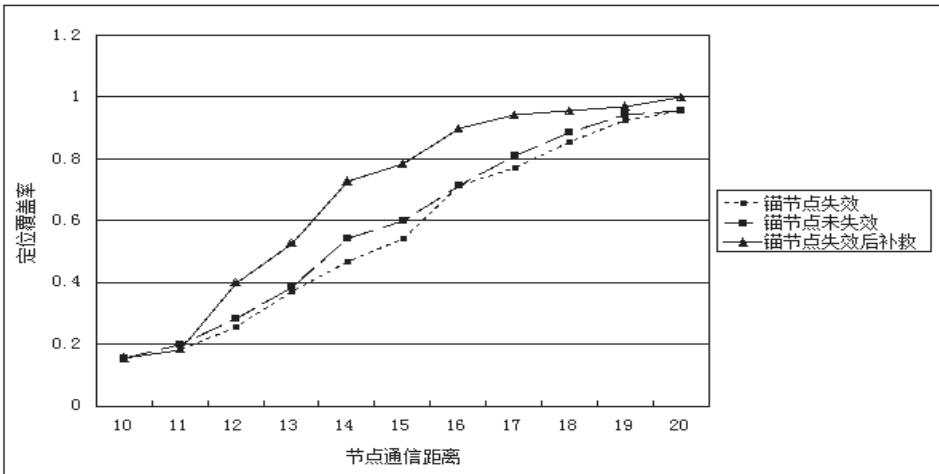


图5 定位覆盖率与节点通信距离

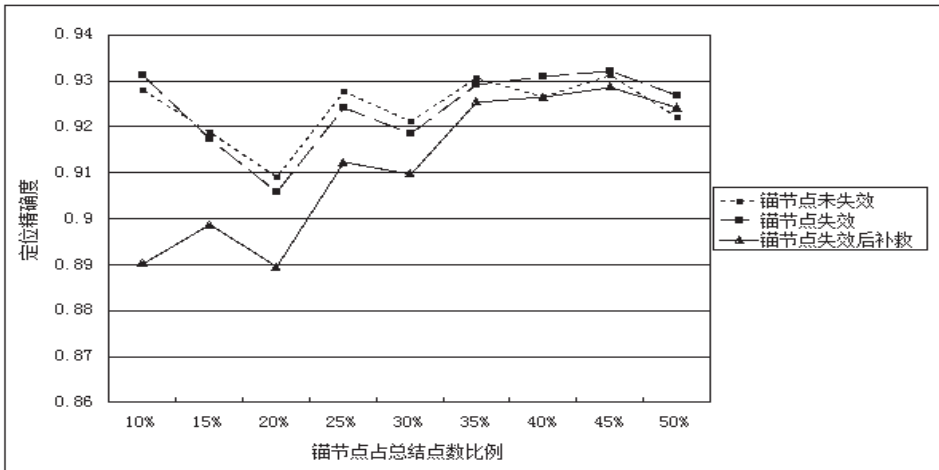


图6 定位精确度与锚节点占总节点数比例关系图

定位精确度的下降在锚节点稀少时更为明显。这是因为算法中将那些未达到设定要求,本不应转化为参考节点的已定位节点强制转化为了参考节点。这些已定位节点自身的误差在帮助其他节点定位时可能被累加放大,因而造成了平均定位精确度的下降。


#### 4 结束语

为了减小锚节点失效对整个网络的影响,以及提高定位覆盖率,文中提出了一种基于锚节点失效的水下无线传感器网络定位算法,通过将无法定位节点周围的已定位节点转化为参考节点,帮助无法定位节点定位。仿真结果表明,该算法可以减小锚节点失效对整个网络的影响,有效提高定位覆盖率,帮助无法定位的节点定位。

#### 参考文献:

- [1] Chandrasekhar V R, Seah W K G, Choo Y S, et al. Localization in underwater sensor networks – survey and challenges [C]//Proceedings of the 1st ACM international workshop underwater networks. Los Angeles, California, USA: ACM, 2006:33–40.
- [2] Kim C, Lee S, Kim K. 3D underwater localization with hybrid ranging method for near-sea marine monitoring [C]//Proc of IFIP ninth international conference on embedded and ubiquitous computing. Melbourne:IEEE, 2011:438–441.
- [3] Dharan K T, Srimathi C, Park Soo-Hyun. A sweeper scheme for localization and mobility prediction in underwater acoustic sensor networks [C]//Proc of OCEANS. Sydney, NSW: IEEE, 2010:1–7.
- [4] Naik S S, Nene M J. Self organizing localization algorithm for large scale underwater sensor network [C]//Proc of 2012 international conference on recent advances in computing and software systems. [s. l.]: [s. n.], 2012:207–213.
- [5] Ling Hui, Znati T. Locate more nodes in under water sensor networks using out-of-range information [C]//Proceeding of IEEE wireless communications and networking conference. Las Vegas, NV:IEEE, 2008:2349–2354.
- [6] Caruso A, Paparella F, Vieira L F M, et al. The meandering current mobility model and its impact on underwater mobile sensor networks [C]//Proc of 27th conference on computer communications. Phoenix, AZ:IEEE, 2008.
- [7] Ayaz M, Abdullah A, Jung L T. Temporary cluster based routing for underwater wireless sensor networks [C]//Proc of IEEE 2010 international symposium in information technology. Kuala Lumpur:IEEE, 2010:1009–1014.
- [8] 王 静, 陈建峰, 张立杰, 等. 水下无线传感器网络 [J]. 声学技术, 2009, 28(1):89–95.
- [9] 郭忠文, 罗汉江, 洪 锋, 等. 水下无线传感器网络的研究进展 [J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(3):377–389.
- [10] 周启明. 水下无线传感器网络定位算法分析与研究 [J]. 湖南工程学院学报, 2011, 21(2):49–52.
- [11] 刘林峰, 刘 业. 基于满 Steiner 树问题的水下无线传感器网络拓扑愈合算法研究 [J]. 通信学报, 2010, 31(9):30–37.
- [12] 刘林峰, 吴家皋, 邹志强, 等. 面向节点失效问题的无线传感器网络拓扑自愈算法 [J]. 东南大学学报:自然科学版, 2009, 39(4):695–699.
- [13] 姚 西. 水下无线传感器网络定位技术综述 [J]. 现代电子技术, 2013, 36(7):11–15.
- [14] 刘爱平, 刘 忠, 罗亚松. 一种水下无线传感器网络的连通性覆盖算法 [J]. 传感技术学报, 2009, 22(1):116–120.
- [15] Zhou Zhong, Cui Junhong, Zhou Shengli. Localization for large-scale underwater sensor networks [R]. [s. l.]: [s. n.], 2006.
- [16] 傅质馨, 徐志良, 黄 成, 等. 节点失效对无线传感器网络覆盖与连通可靠性影响的模型研究 [J]. 电子与信息学报, 2009, 31(11):2744–2750.
- [17] Erol M, Vieira L F M, Caruso A, et al. Multi stage underwater sensor localization using mobile beacons [C]//Proc of the second international conference on sensor technologies and applications. Cap Esterel:IEEE, 2008:710–714.
- [18] Will H, Dziengel N, Schiller J. Distance-based distributed multihop localization in mobile wireless sensor networks [EB/OL]. 2009. [http://www.ti5.tuhh.de/events/fgsn09/proceedings/fgsn\\_005\\_slides.pdf](http://www.ti5.tuhh.de/events/fgsn09/proceedings/fgsn_005_slides.pdf).
- [19] Erol M, Vieira L F M, Gerla M. AUV-aided localization for underwater sensor networks [C]//Proc of international conference on wireless algorithms, systems and applications. Chicago:IEEE, 2007:44–54.
- [20] Luo Hanjiang, Guo Zhongwen, Dong Wei, et al. LDB: localization with directional beacons for sparse 3D underwater acoustic sensor networks [J]. Journal of Networks, 2010, 5(1):28–38.

# 一种基于锚节点失效的UWSN定位算法

作者: [管文冰](#), [朱志文](#), [刘林峰](#), [姚升](#), [GUAN Wen-bing](#), [ZHU Zhi-wen](#), [LIU Lin-feng](#),  
[YAO Sheng](#)  
作者单位: [南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210023; 江苏省无线传感网高技术研究重点实验室, 江苏 南京 210003](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)   
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2015(3)

引用本文格式: [管文冰](#). [朱志文](#). [刘林峰](#). [姚升](#). [GUAN Wen-bing](#). [ZHU Zhi-wen](#). [LIU Lin-feng](#). [YAO Sheng](#) 一种基于锚节点失效的UWSN定位算法[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(3)