

基于多面体质心算法的水下传感器网络定位

魏先民

(潍坊学院计算机工程学院 潍坊 261061)

摘要 为了克服基于测距的水下定位算法以及距离无关的水下定位算法定位精度的不足,通过网络密度自适应、迭代定位和重定位、周期性更新和预测等优化措施,提出了一种距离无关的多面体质心算法,并利用仿真实验证明了多面体质心算法的定位性能明显优于 ALS 算法,它能够大幅度提高定位精确度,并降低定位成本。最后指出了未来水下定位算法研究应注意的问题和发展趋势。

关键词 水下传感器网络,多面体质心算法,定位,ALS 算法,导航

中图法分类号 TP212 **文献标识码** A

Underwater Sensor Networks Localization Based on Polyhedron Centroid Algorithm

WEI Xian-min

(School of Computer Engineering, Weifang University, Weifang 261061, China)

Abstract In order to overcome the poor localization accuracy of both distance-based underwater localization algorithm and distance-independent underwater localization algorithm at present, this paper proposed a distance-independent polyhedron centroid algorithm with the optimization measures of adaptive network density, iterative location and relocation, periodically updating and forecasting, and simulation results show that not only the performance of polyhedron centroid localization algorithm is much better than ALS algorithm, and the localization accuracy can be significantly improved, but also this new localization algorithm reduces localization costs. Finally, it pointed out future research issues and trends of underwater localization algorithm.

Keywords Underwater sensor networks, Polyhedron centroid algorithm, Localization, ALS algorithm, Navigation

1 概述

节点定位问题是无线传感器网络研究的基本问题之一,尤其是对水下传感器网络(Underwater Sensor Networks, UWSN)而言,定位具有更加重要的意义。在海洋环境实时监测、水下移动目标追踪、水下航行器编队与导航等众多应用中,都需要进行定位^[1]。然而,UWSN 部署的特殊环境使得定位问题的解决面临很多特殊的困难,以往应用于陆地无线电通信传感器网络的定位算法在水下无法使用,必须对算法进行重新设计使其适应水下的特殊环境。UWSN 区别于传统的陆地传感器网络的最主要特征在于,其节点采用声波进行通信,因此节点无法和卫星直接通信以及通过卫星帮助获得其地理位置信息。此外,海浪、台风等极端干扰情况下水声信道环境恶劣,通信效果差,对测距精度会造成严重影响,从而加大定位误差。

2 原有的水下定位算法的不足

水下节点的定位算法分为基于测距的定位算法以及距离无关的定位算法。

2.1 基于测距的水下定位

2.1.1 降维法

根据测距法定位的几何关系,二维平面的节点定位需要

3个信标节点,三维空间的节点定位则需要4个信标节点。UWSN 多为三维、立体部署的网络,许多研究者假设节点通过携带廉价压力传感器的方式来获得自己的深度信息,只需对经纬度进行定位,从而降低了问题求解的维度和难度。

在节点成本增加不大的情况下降维法定位降低了问题求解的难度,减少了定位所需信标节点的数量,是一种较好的水下定位解决方案,但是其定位精度会受到压力传感器测量精度的影响。

2.1.2 AUV 辅助定位

在海中漂流的传感器节点没有固定位置,需要频繁、周期性地进行定位,有研究者提出了使用水下自主航行器(AUV)来帮助移动节点进行周期性定位^[2]的算法。

使用 AUV 定位成本较高,且存在 AUV 在对自身定位导航过程中误差渐渐增加的问题,但其优势在于 AUV 可搭载更加精密的定位设备,且 AUV 续航时间长、航程大,适合解决大规模的、分布区域广阔的 UWSN 的定位问题。

2.1.3 SLMP 算法

SLMP 算法^[3]针对大规模的水下传感器网络定位而设计,假设网络中有3种节点,水面浮标(GPS)、水下信标节点和普通传感器节点。信标节点能够和 GPS 浮标直接通信,普通节点则通过信标节点帮助定位。

收稿日期:2011-06-10 返修日期:2011-08-12 本文受 2011 年度山东省自然科学基金(ZR2011FL006)资助。

魏先民(1969-),男,博士,副教授,主要研究方向为分布式计算、智能传感网络,E-mail:wfxxyweixm@126.com。

SLMP 算法的优点在于通过设置置信度的方式减少了定位过程中的误差累积,且置信度越高的节点误差越小。

2.2 距离无关的水下定位

2.2.1 ALS 算法

ALS 算法^[4]可以对节点所处的区域位置进行估计,该算法根据信号传播衰减的程度将网络划分成若干个扇形区域,节点接收信号能量的一个等级对应一个扇形区域,如图 1 所示。定位时,位于网络边缘的 4 个大功率信标节点向整个网络进行广播,普通节点根据接收到的来自不同信标节点的信号强度等级,判断自己位于网络的哪一个区域。

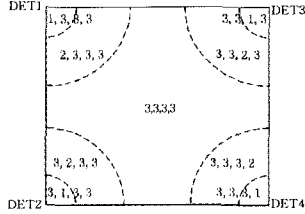


图 1 ALS 算法的例子^[4]

ALS 算法的定位精确度取决于区域划分的精细程度,即信号衰减等级划分的精细程度。总的来说,ALS 算法定位精度较低,水声信号衰减模型极易受环境变化的影响而变得不稳定(尤其在多途、多噪声的浅海信道中),因此定位误差较大。

2.2.2 AUV 辅助定位

UDB 算法^[5]考虑了搭载定向水声换能器的 AUV 帮助节点进行定位的情况。与全向的水声换能器相比,定向换能器发射区域有限,但是因为信号更集中,强度更大,所以通信距离也更远。

LDB 算法^[6]使用搭载定向水声换能器的 AUV 对固定在海床上的传感器节点进行定位。

UDB 和 LDB 算法充分利用了定向水声换能器的信号传播特点,既能实现较精确的定位,也能实现模糊定位,满足了不同的应用需求。并且,对于整个网络来说理论上只需要一个 AUV 就能完成全部定位任务。

3 多面体质心算法

本节提出一种新的水下传感器网络节点定位算法——多面体质心算法,该方法属于距离无关的定位算法,并通过仿真实验证明,多面体质心算法与原有的距离无关定位算法相比,其大幅度地提高了定位精确度。该算法不需要 AUV 和升降浮标等移动节点的辅助,因此降低了定位的成本。

3.1 算法原理

多面体质心是多面体的几何中心,假设某 n 个定点的多面体,其各个定点的坐标为 $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2) \dots (x_n, y_n, z_n)$,则该多面体质心的坐标为 (x, y, z) 。

$$\begin{aligned} x &= \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \\ y &= \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \\ z &= \frac{z_1 + z_2 + \dots + z_n}{n} \end{aligned} \quad (1)$$

多面体质心算法的基本思想为:给定一个参数 k ,被定位节点寻找一个由 k 个信标节点组成的多面体,使节点位于这

个多面体的内部,根据信标节点的位置信息求得该多面体质心的位置坐标,并将该质心的坐标作为节点的近似坐标,如图 2 所示。

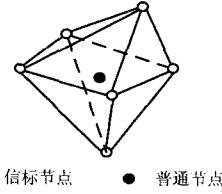


图 2 多面体质心定位的图示

3.2 算法步骤

多面体质心算法的基本流程图如图 3 所示。首先,信标节点以最大通讯距离周期性地广播信标分组,该分组中包含了信标节点的 ID 和位置信息,被定位节点收到信标节点分组并保存,重复收到的信息则被删除。设置一个门限值 k 作为计算质心的多边形的顶点个数。当被定位节点统计收到的不同信标节点的个数达到门限值 k 时,就计算出这 k 个顶点组成的多面体的质心,并将该质心作为自己的位置,最后该节点将自己的位置和 ID 进行广播,并转化为新的信标节点,以帮助周围尚未定位的邻居进行定位。

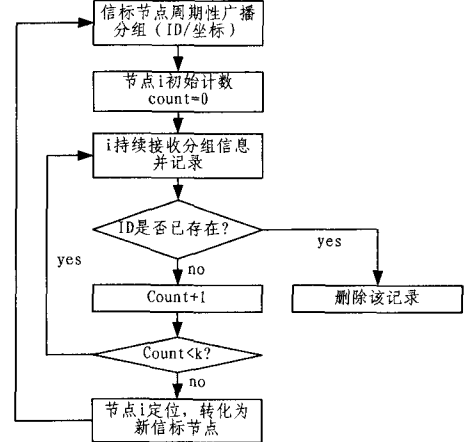


图 3 多面体质心算法的基本流程图

根据上述步骤,多面体质心定位算法的伪代码描述如下,定义 4 个数组 $ID[], X[], Y[]$ 和 $Z[]$ 分别用来保存被定位节点 i 接收到的信标节点分组的 ID 和对应的该信标 x 轴、 y 轴和 z 轴的坐标值, $count$ 为顶点统计计数器,用来计算已经接收到的信标节点的个数。

多面体质心算法—node(i)

1. int k // 阈值
2. array $ID[], X[], Y[], Z[]$ // 初始化信标信息数组
3. int $count=0$ // 顶点计数器
4. while($count < k$)
5. {
6. receive(ID, x, y, z) // 接收信标广播分组
7. if($ID \in ID[]$)
8. delete(ID, x, y, z)
9. else // 更新信标信息
10. add ID to $ID[]$
11. add(x, y, z) to $X[], Y[], Z[]$
12. $count++$;
13. }
14. $x(i) = (\sum X[]) / count$ // 计算质心

```

15.  $y(i) = (\sum Y[])/\text{count}$ 
16.  $z(i) = (\sum Z[])/\text{count}$ 
17.  $\text{broadcast}(i, x(i), y(i), z(i))$  //节点定位后转化为新信标节点,开始广播

```

从统计学的角度分析,给定的 k 值越大,节点位置的确定越精确。即理论上算法的精度与信标节点的密度和分布有很大的关系,信标节点密度越大,分布越均匀,节点的定位精度也就越高,或者说,算法的精度和网络的连通性有很大的关系。然而,在水下三维网络中,节点部署比传统的陆地网络更加稀疏,网络连通性差,且节点往往处于移动状态,从而造成网络密度不均匀,网络拓扑频繁变化。故这些因素都为多面体质心算法的应用带来了挑战。

从部署的角度看,由于多面体质心算法本质上就是对节点位置的一种估计,而这种估计的精确程度取决于信标节点的分布情况,因此,在信标节点密度较低的区域重新部署更多的信标节点能够提高该部分区域的定位精度,然而,通过这种方式对算法进行优化无疑需要很大的成本,在现实网络中显然不可取,而在不增加成本的情况下改进算法设计来提高定位精度则是较好的解决方案。

因此,为提高定位精度,多面体质心算法采取的提高定位精度的优化措施主要包括:

(1) 网络密度自适应

由于水下网络的稀疏特性,多面体质心算法使用密度自适应的原则,即收集一定时间的信标信息后,如果收集到的信标节点数目小于 k ,则按照当前信标节点数目进行计算;如果收集到的信标节点数目大于 k ,则使用最小二乘法计算节点的坐标。网络拓扑已知时,可根据节点附近局部网络密度的不同,对不同的节点设置不同的阈值,从而简化算法的设计。

(2) 迭代定位和重定位

随着定位算法的进行,不断有节点转化为信标节点,原来某些邻居信标数量不足的节点邻居信标个数逐渐增加,使自己能够达到定位条件,因此,整个算法的执行是一个迭代的过程。此外,随着邻居信标节点的增加,已定位节点有可能出现邻居信标继续增加的情况,此时节点对自己进行重定位,可进一步提高定位精度。

(3) 周期性更新和预测

水下传感器网络节点具有显著的移动性,节点必须周期性地对自己进行重新定位并更新位置信息。假设节点的运动模型为匀速直线运动,在节点不定位的时间里,利用最近时间的位置信息,计算节点的运动速度和方向,从而预测节点的当前位置。

3.3 仿真实验

本小节利用 Matlab 等软件对多面体质心算法进行了仿真实验,以验证该算法的性能,并和 ALS 算法进行对比。

仿真环境为 $100\text{m} \times 100\text{m} \times 100\text{m}$ 的三维空间,尚未定位的节点和信标节点在空间中随机部署,设定阈值 k 为 7,检验了不同的信标节点密度下的定位效果,将定位算法计算出的位置和节点真实位置之间的距离作为定位误差进行展示。

图 4 和图 5 显示了不同信标节点密度下的两种定位算法,ALS 算法和多面体质心算法的定位误差均值和方差。仿真结果表明,两种算法的精度都随着信标节点密度的增大而增加,但多面体质心算法的精度要优于 ALS 算法,拥有更小

的定位误差均值和方差,则当信标节点逐渐增多时,二者的差距逐渐变小。

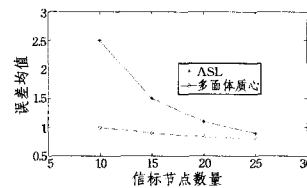


图 4 两种算法的误差均值(单位:m)

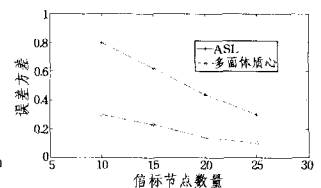


图 5 两种算法的误差方差(单位:m)

从仿真结果可以看出,同属于距离无关的定位算法,并且不需要 AUV 等移动节点辅助的条件下,多面体质心算法的定位效果明显优于 ALS 算法。主要原因有两个,首先,ALS 算法的区域划分依赖于信号强度等级,而信号传播时其能量强度呈指数衰减而非线性衰减,因此,如果按照线性的信号能量等级划分,距离信标越远的区域面积越大,定位误差也越大;如果按照指数的能量等级划分,距离信标节点越远的区域间能量差距越小,划分区域时的边界误差越大,从而导致定位误差也大。其次,由于无线信道的复杂性,无线信号的能量衰减等高线非常复杂,规律难寻,与理想的球形衰减模型相去甚远,而 ALS 算法的区域划分则依赖于理想的球形衰减模型,这必然导致较大的定位误差。多面体质心算法不依赖于信号能量的判断,完全依靠节点的三维几何关系,通过迭代计算的方法不断减小定位误差,因此,其性能优于 ALS 算法。

4 水下定位算法研究应注意的问题

定位技术是 UWSN 必不可少的关键支撑技术。UWSN 的特点是资源受限(包括计算资源和能源)、部署环境恶劣、通信条件较差,因此定位算法的设计也应当尽可能减少计算量和节点之间的通信交互,尽量使用被动定位策略。具体来说,水下定位问题的研究应注意以下 3 个问题^[7]。

(1) 定位算法应尽量满足 UWSN 自组织、鲁棒性、节能、分布式计算等要求,一般认为这也是设计传感器网络算法和协议的共通性原则。

(2) 针对 UWSN 高度动态性的特点,定位算法应具有足够的灵活性和适应性,比如针对移动节点进行周期性的定位,及时更新节点的位置信息。

(3) 水下节点的三维坐标的计算^[8],需要 4 个邻居信标节点对其进行测距,而实际上不可能所有的节点都拥有如此多的邻居信标节点。因此,无论采用降维法还是迭代法,都应注意误差累积问题,并采取措施防止误差在定位过程中扩大^[11]。

结束语 水下传感器网络(UWSN)是陆地传感器网络在水下的延伸,在海洋观测、灾害预警、资源勘探和潜艇探测等民用和军用领域具有广阔的应用前景。水下传感器节点的定位问题是 UWSN 研究面临的基本问题之一,因而得到科研人员的广泛关注。水下定位问题吸引了越来越多研究者的目光,目前 UWSN 的定位问题研究已呈现出以下趋势。

(1) 对改进测距技术,提高测距精度的研究成为热点^[9]。提高测距精度是提高节点定位精度最有效和最根本的办法,然而,由于水下特殊环境的限制,普遍存在的多径效应和多普

勒效应影响 TDOA 对时间的估计,海水介质分层的特点使信号不按直线传播,直接影响了 TOA 和 AOA 的精度,水下环境复杂多变,水声信号衰减规律难以估计,使用 RSS 测距法也更加困难,总之,水声信号的传播特征严重限制了现有测距技术的精度。

(2)更加注重成本控制,在保证效率和精度的前提下,尽可能减少 GPS 浮标、AUV 和水下信标节点的数目,以减少定位算法的限制条件和前提条件。

(3)定位与导航相结合,水下定位技术为各种水下航行器的导航提供了不可或缺的信息支持。目前研究者已提出了惯性定位导航、声学定位导航和地球物理学定位导航 3 种水下定位导航技术。

本文对 UWSN 的节点定位问题进行了研究。总结了目前已有的定位问题的研究成果,分析对比了不同算法的优缺点,提出了一种距离无关的水下定位算法-多面体质心算法,并利用仿真实验验证了该定位算法的性能和效果,该算法优于原有的距离无关定位算法。最后,指出了水下定位研究应注意的问题及发展趋势。

参考文献

- [1] Garcia J E. Ad-hoc positioning for Sensors in Underwater Acoustic Networks[C]//IEEE Oceans '04. Japan, 2004
- [2] Erol M, Vieira L F M, Gerla M. Auv-aided localization for underwater sensor networks[C]// International Conference on

Wireless Algorithms Systems and Applications (WASA2007). Washington, USA, 2007: 44-54

- [3] Zhou Zhong, Cui Jun-hong, Amvrossios B. Scalable Localization with Mobility Prediction for Underwater Sensor Networks[C]//The 27th Conference on Computer Communications (InfoCom). Washington, USA, 2008: 2198-2206
- [4] Zhou Yi, He Jian-hua, Chen Kai, et al. An Area Localization Scheme for Large Scale Underwater Wireless Sensor Networks [C]// International Conference on Communications and Mobile Computing. Washington, USA, 2009: 543-549
- [5] Luo Han-jiang, Zhao Yi-yang, Guo Zhong-wen, et al. UDB: Using directional beacons for localization in underwater sensor networks[C]// ICPADS 2008. Melbourne, Victoria, Australia, 2008: 551-558
- [6] Luo Han-jiang, Guo Zhong-wen, Dong Wei, et al. LDB: Localization with Directional Beacons for Sparse 3D Underwater Acoustic Sensor Networks[J]. Journal of Networks, 2010, 5(2): 90-101
- [7] 洪璐. 水下传感器网络高效数据传输协议研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011
- [8] 金仁成, 王艳辉, 王立鼎, 等. 无线传感器网络节点硬件平台设计[J]. 传感器与微系统, 2006, 25(12): 48-50
- [9] 李海涵, 张丕状. 水下传感器网络节点定位信号设计[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(1): 81-83
- [10] 袁正午, 梁均写. 基于虚拟力的无线传感器网络多跳定位算法[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2010, 22(1): 122-126

(上接第 98 页)

结束语 本文在分析基于 DBNs 的 C2 组织 COA 问题模型的局限性的基础上,提出了使用 DINs 对 COA 问题进行建模方法,描述了基于 INs 的 COA 问题的静态模型、基于 DINs 的 COA 问题的动态模型,设计了利用 CAST 参数进行概率传播的计算方法。最后,通过算例验证了所建模型的优越性和所提概率传播算法的有效性。所建模型有效缓解了 C2 组织 COA 问题在知识获取方面的瓶颈问题,相比于 DBNs,它更加适合对 C2 组织的 COA 问题的建模。本课题的下一步工作就是基于 DINs 所建的 COA 问题模型进行 COA 的优选。

参考文献

- [1] Entin E E. Optimized command and control architectures for improved process and performance[C]//Proceedings of 1999 Command and Control Research and Technology Symposium. Newport, RI: Office of Naval Research, 1999
- [2] Hocevar S P, Kemple W G, Kleinman D, et al. Assessments of simulated performance of alternative architectures for command and control; the role of coordination[C]// Proceedings of 1999 Command and Control Research and Technology Symposium. Monterey, CA: Naval Postgraduate School, 1999
- [3] 阳东升, 张维明, 刘忠, 等. 组织过程策略优化的案例分析与求解[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(7): 1648-1654
- [4] Tu H Y, Levchuk Y N, Pattipati K R. Robust action strategies to induce desired effects[J]. IEEE Transactions on Systems,

Man, and Cybernetics, 2004, 34(5): 664-680

- [5] Neapolitan R E. Learning Bayesian Networks[M]. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 2003
- [6] Rosen J A, Smith W L. Influence net modeling with causal strengths: an evolutionary approach[C]// Proceedings of 1996 Command and Control Research and Technology Symposium. Monterey, CA: Naval Postgraduate School, 1996: 699-708
- [7] Rosen J A, Smith W L. Influencing global situations: a collaborative approach[M]. US Air Force Air Chronicles, 1996
- [8] Cooper G F. The computation complexity of probabilistic inference using Bayesian belief networks[J]. Artificial Intelligence, 1990, 42: 393-405
- [9] Haide S, Levis A H. Effective course-of-action determination to achieve desired effects[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2007, 37(6): 1140-1150
- [10] Haide S. From dynamic influence nets to dynamic Bayesian networks: a transformation algorithm[J]. International Journal of Intelligent System, 2009, 24: 919-933
- [11] Aliferis C F, Cooper G F. A structurally and temporally extended Bayesian belief network model: definitions, properties and modeling techniques[C]// Proceedings of the 12th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. Portland, Oregon: Morgan Kaufmann, 1996
- [12] 阳东升, 张维明, 刘忠, 等. 指控组织设计方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010: 98-122
- [13] 彭小宏, 阳东升, 武云鹏, 等. 基于 EAP-GA 的联合作战行动计划[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(2): 1-4