

基于移动预测的水下传感器网络可扩展定位方法

吴 江

(桂林航天工业学院 电子工程系, 广西 桂林 541004)

摘 要: 提出一种基于移动预测的水下传感器网络可扩展定位方法(SLMP). 在 SLMP 中, 定位采用分层方式执行, 整个定位过程分为两部分: 锚节点定位和普通节点定位. 在定位过程中, 每个节点预测其未来移动性模式, 根据它的过去已知的位置信息, 基于预测流动模式可以估计其未来位置. 锚节点与已知位置的节点将控制定位过程, 为了平衡定位精度之间的权衡、定位覆盖率和沟通成本, 进行了大量的模拟. 仿真结果表明, SLMP 可以大大减少定位沟通成本, 同时保持相对较高的定位覆盖率和定位精度.

关键词: 水下传感器网络; 定位; SLMP; 预测定位

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)12-0157-04

The Extended Location Method Based on Mobility Prediction in Underwater Sensor Network

WU Jiang

(Department of Electronic Engineering, Guilin University of Aerospace Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Proposed a mobility prediction in underwater sensor networks is based on extensible positioning method (SLMP). In SLMP, positioning uses hierarchical implementation, the localization process is divided into two parts: anchor node localization and ordinary node localization. In the process of locating, each node is to predict its future mobility model, location information is based on its past known, the predicted flow patterns can be estimated based on its future position. Anchor nodes with known locations of the network will control the positioning process, in order to balance trade-offs between accuracy, coverage, and the communication cost. We conduct extensive simulation; results show that, SLMP can greatly reduce the communication cost while maintaining positioning, positioning relatively high coverage rate and positioning accuracy.

Key words: underwater sensor network ; SLMP ; mobility prediction

1 引言

近年来,水下传感器网络的研究与日俱增. 其重要的原因之一在于水下科学探索、商业开发、海岸线防护、军事跟踪监测具有较大的优势^[1]. 但是,水下传感器网络有比较复杂的网络环境,不同于地面的传感器网络:(1)电磁波不能在水中长距离地传播,因此水下传感器网络主要依靠声学信号进行传播,但是声学信号具有大延迟、低带宽以及较长的端对端延迟的特点;(2)由于水流等因素,造成传感器网

络节点移动并分散,因此很难监测到这样的动态网络结构^[2]. 以上的特点,对目前水下网络的各层协议栈带来了新的挑战. 为了提供有效的位置信息,随机部署的传感器节点必须能够在布放后实时地进行定位. 但是,对于大规模的移动的水下传感器网络的定位服务,不能像传统的传感器网络那样采用无线通信,只能通过声波传输^[4]. 声波信道具有低带宽、高延迟的特点,再加上水下传感器网络移动性和不断的变化,给定位带来了巨大的挑战^[5]. 如果采用静态传感器网络定期更新位置信息的方式,必然会大大

收稿日期: 2014-02-10; 修回日期: 2014-04-03

基金项目: 国家自然科学基金“基于 FPGA 的分级并行高速网络流量分类方法研究”(NF110301)

增加通信开销. 针对水下传感器网络的特性, 本文提出了基于移动预测的水下传感器网络可扩展定位方法, 通过大量的仿真, 取得了良好的定位性能.

2 基于移动预测的大规模定位方案(SLMP)

2.1 水下物体的移动特性

水下节点的移动特性随着水流持续移动并分散分布. 流体动力学研究表明水下物体的移动轨迹是与许多环境因素相关, 例如水流和水温等. 在不同的环境下, 其移动特性不一样. 时间和空间相关性是移动的内在, 这使它们的流动性模式具有可预测性.

图 1 中显示了典型的海岸线环境中移动特性. 图中表示持续变化的移动速度和半周期性的特点. 这是由于潮汐和水深等因素造成的. 对于未来的预测值可以通过这些内在的时域相关性定位. 还可以通过内在的空间相关性定位节点的移动特性.

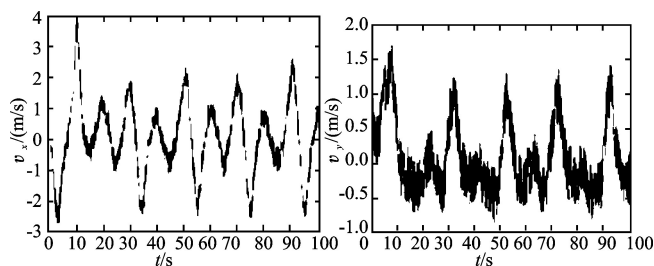


图 1 海洋移动特性 X-轴速度、Y-轴速度

2.2 定位技术

根据定位过程中是否测量实际节点间的距离, 把定位算法分为基于距离的定位算法和距离无关的定位算法. 前者需要测量相邻节点间的绝对距离或方位, 并利用节点间的实际距离来计算未知节点的位置; 后者无需测量节点间的绝对距离或方位, 而是利用节点间的估计距离计算节点位置. 即距离无关的定位算法不需要额外的硬件支持, 仅需要提供定位估计值. 基于声学的水下传感器网络也有了一定的研究, 但是主要集中在小规模静态网络.

2.3 SLMP 定义

对于大规模可移动的水下传感器网络, 包含三种不同类型节点的网络结构(如图 2 所示).

水面 Buoy: 水面 buoys 具有 GPS 功能, 定位估计值;

锚节点: 功率较大的节点, 能够直接与水面 buoys 通信, 并且能够利用存在水下的 GPS 方式自我定位;

普通节点: 普通节点的灵活性较差, 不能直接与水面的 buoys 通信. 一般来说, 普通传感器节点只能连接

本地的邻节点. 通过本地的信息以及附近的锚节点, 自我定位.

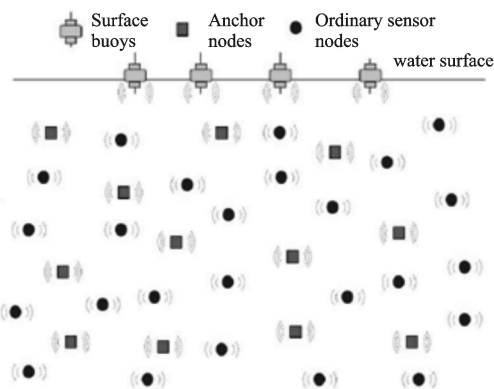


图 2 水下传感器网络结构

假定每个传感器节点需要周期性定位. 令 T_1 为定位周期, 当 T_1 很小时, 那么定位服务就会引入较高的通信损耗. 对于声波信道有限的带宽来说, 会带来较大的负担. 但是, 充分利用水下的移动性的内在预测特性, 可以得到较低通信损耗的定位信息和较高的定位精度.

SLMP 采用了分层定位方法. 整个过程分为 2 个子过程: 锚节点定位和普通节点定位. 最初, 只有几个水面的 buoys 通过普通的 GPS 或者是其他方式知道它们得定位. 在系统中需要 4 个或者更多的 buoys. 这些 buoys 在整个网络中像“卫星”一样工作并且能够定位锚节点. 因为锚节点具有较大的功率并且在定位周期内能够直接从水面 buoys 直接测量出距离, 因此, 一些复杂移动预测算法可以幸运地是, 由于水下物体的群体运动性, 普通节点能够从邻近的节点推断出它的移动模式.

3 锚节点移动预测

图 1 表示了海洋环境中的移动速度, 具有半周期性. 它的波形图与声学信号相似. 众所周知, 声学信号能够近似地用线性预测算法进行预测. 如图 3 所示, 将时间分成多个可预测窗口, 长度为 T_w . 每个窗口是一个预测单元. 通过前面窗口的值去预测下一个窗口的移动模型. T_w 是 T_1 的整数倍, 即:

$$T_w = k \times T_1$$

T_w 值的选择非常重要. 如果 T_w 太小, 前面预测的窗口得到的数据将不能很好的捕捉到隐藏移动模型的特性, 从而预测结果不正确. 如果 T_w 太大, 会提高计算的复杂性. 因此, 应该根据应用需求和系统环境选择 T_w 的值. 在图 3 中, T_l 表示重叠窗口的距离, 图 4 所示为预测窗口结构. 令 $\zeta = \frac{T_l}{T_w}$, 且 $0 < \zeta < 1$. 一

般情况下, ζ 的值从 0.1 到 0.5, 在仿真中, ζ 取 0.2, 这个值可以较好地滤除边缘效应. 在每个预测窗口中, 速度矢量 $\mathbf{V} = [\mathbf{v}(1), \mathbf{v}(2), \dots, \mathbf{v}(i), \dots, \mathbf{v}(k)]$ 表示移动速度. 为了预测 $\mathbf{v}(i)$, 利用线性预测算法:

$$\mathbf{v}(i) = \sum_{m=1}^l a_m \mathbf{v}(i-m),$$

式中, L 是预测步长, a_m 是预测模型的系数, $1 \leq m \leq L$.

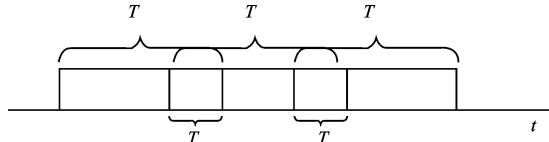


图3 重叠的预测窗口

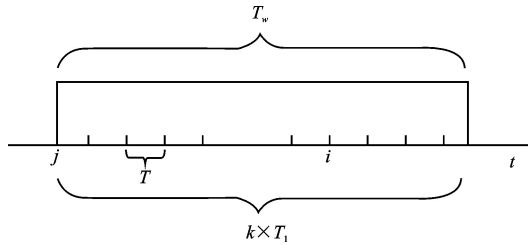


图4 预测窗口结构

对于锚节点的定位, 我们采用以下算法:

$$Loc_e(i) = Loc_a(j) + \sum_{m=j}^i T_1 \times \mathbf{v}(m),$$

式中, $Loc_a(j)$ 是定位周期 j 的定位估值.

定位信息的结构如下所示:

Node-id	Time-stamp	Location	Speed vector	Confidence value
---------	------------	----------	--------------	------------------

节点 id: 发送信息的唯一 id 号; 时间戳: 信息发送的时间; 定位: 信息发送的流定位; 速度矢量: 下一个窗口的预测速度矢量; 信任值: 信息发送的信任值, 常用于定位估值值.

4 普通节点移动预测与定位

由于普通传感器节点有限的存储和计算能力, 因此, 它们不能应用复杂的预测算法. 在 SLMP 中, 充分利用空间相关性.

假定节点 j 的速度 $[\mathbf{v}_x(j), \mathbf{v}_y(j)]$, 其中 $\frac{\mathbf{v}_x(j)}{\mathbf{v}_y(j)}$ 表示 j 节点即时速度. 如果想得到邻近节点的速度, 通过下式估计出 j 的速度:

$$\mathbf{v}_x(j) = \sum_{i=1}^m \zeta_{ij} \mathbf{v}_x(i),$$

$$\mathbf{v}_y(j) = \sum_{i=1}^m \zeta_{ij} \mathbf{v}_y(i),$$

式中, m 是邻近节点的数量.

其插值系数 ζ_{ij} 如下式所示.

$$\zeta_{ij} = \frac{\frac{1}{r_{ij}}}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{r_{ij}}},$$

式中, r_{ij} 是节点 i 和节点 j 直接的欧氏距离.

对于普通的节点, 采用递归定位方法. 首先, 定位已知的参考节点和比信任门限值高的信任值. 每个参考节点包含以下的信息: 参考节点 ID, 从参考节点得到的最近定位的时间; 参考节点的定位和速度矢量, 与参考节点的距离; 参考节点的信任值. 在每个定位周期内, 每个节点更新参考列表.

5 仿真结果

5.1 仿真设置

在 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的区域中, 随机分布 500 个传感器节点. 通过改变每个节点的通信范围定义节点密度. 在 kinematical 模型中, 速度维度近似为

$$v_x = k_1 \lambda v \sin(k_2 x) \cos(k_3 y) + k_1 \lambda \cos(2k_1 t) + k_4$$

$$v_y = -\lambda v \cos(k_2 x) \sin(k_3 y) + k_5$$

式中, v_x 是 x 轴的速度, v_y 是 y 轴速度.

5.2 仿真结果

图 5 表示定位覆盖面积随着节点的密度单调递增. 具有预测的定位覆盖面积比无预测的好. 当节点密度等于 12 时, SLMP 能够通过 10% 的锚节点得到 85% 的定位覆盖面积. 与以前的 2D 网络相比, 3D 网络需要更少密度的节点, 就能得到较高的性能.

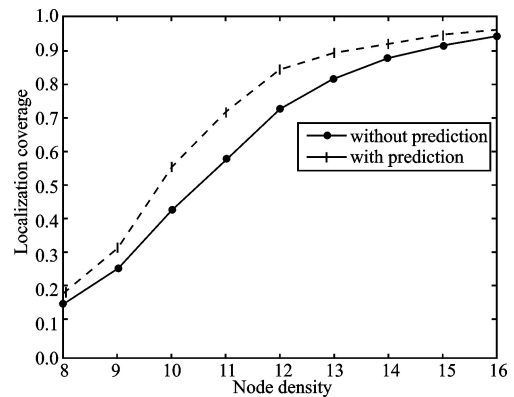


图5 定位覆盖面积

图 6 表示随着节点密度的增加, 定位误差呈现单调减少的趋势. 但是, 当节点密度达到某个点时, 得到最大的定位节点. 随着节点密度的进一步提高,

非定位节点将得到更多的参考信息并可以选择计算位置. 因此, 定位误差减少.

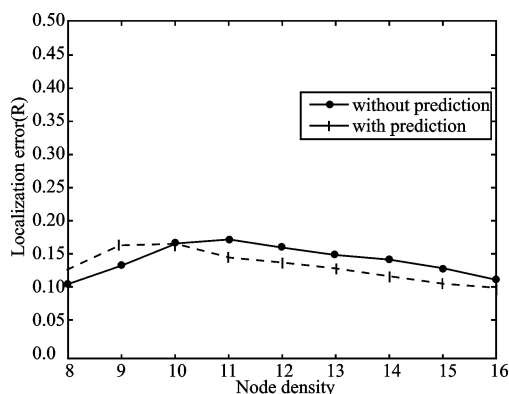


图 6 定位误差

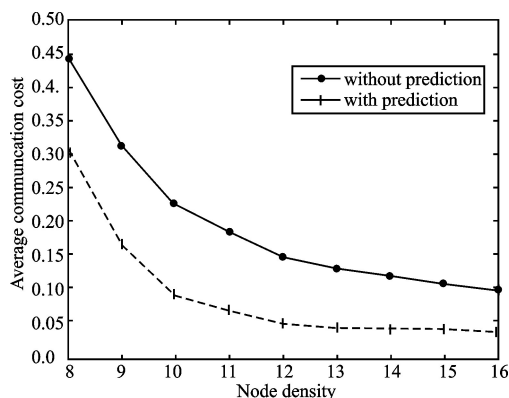


图 7 平均通信损耗

图 7 表明随着节点密度的增加, 平均通信损耗快速减少. 这是因为随着节点密度的提高, 定位覆盖面积也增大. 当节点密度达到某个值时候, 图中为 12, 平均通信损耗将稳定在某个点. 由于锚节点不需要发送定位信息, 因此, 大大减少了通信损耗.

6 结束语

本文提出基于移动预测在水下传感器网络可扩展定位方法 SIMP, 在 SLMP 中, 锚节点通过利用水下移动特性, 推出线性预测方法. 每个普通的传感器节点通过利用水下移动特性的空间相关性预测它的位置. 仿真结果表明 SLMP 能够在保持相对高的定位覆盖面和定位精确度的情况下, 减少通信损耗.

参考文献:

- [1] M Chitre, S Shahabudeen, M Stojanovic. Underwater acoustic communication and networks: Recent Advances and Future Challenges[J]. Marine Technology Soc J, 2008:103-116.
- [2] 李淑秋, 李启虎, 张春华. 水下声学传感器网络的发展和应用[J]. 物理, 2006(11): 24-25.
- [3] 周新运, 孙利民, 皇甫伟, 等. 无线多媒体传感器网络中一种自适应的报头压缩机制[J]. 软件学报, 2007, 18(5): 1122-1129.
- [4] 朱彤, 桑恩方. 基于正交频分复用的高速水声通信技术[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2005(1): 71-74.
- [5] 王潜, 颜国雄, 童峰. 一种浅海信道扩频水声调制解调系统及其 DSP 实现[J]. 厦门大学学报, 2009(4): 51-52.
- [6] 张林, 宣良龙, 范培勤. 基于 MPI+OpenMP 混合编程模型的水声传播并行算法[J]. 微电子学与计算机, 2011(8): 193-196.
- [7] 余威, 刘勇. 一基于 ESB 的 SOA 性能预测[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(5): 110-114.

作者简介:

吴江女, (1969-), 工程师. 研究方向计算机应用. E-mail: wujiang@guat.edu.cn.

(上接第 156 页)

- [3] 傅兴玉, 龙红建, 付琨. 基于改进 Markov 随机场的高分辨率 SAR 图像建筑物分割算法[J]. 电子学报, 2012, 40(6): 1041-1047.
- [4] 徐胜军, 韩九强, 赵亮, 等. 用于图像分割的局部区域能量最小化算法[J]. 西安交通大学学报, 2011, 45(8): 7-12.
- [5] 罗海驰, 李岳阳, 孙俊. 一种基于自适应神经模糊推理系统的图像滤波方法[J]. 计算机科学, 2013, 40(7): 302-306.
- [6] 陶涛, 夏新宇, 李琳, 等. 面向数据融合计算的动画角色处理平台[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2014, 31(1): 59-62.
- [7] 汤敏, 陈秀梅, 陈峰. 基于 Contourlet 变换和 SPHIT 算法的彩色医学图像压缩[J]. 计算机科学, 2014, 41

(1): 303-306.

- [8] 伊力哈木·亚尔买买提. 基于改进的自适应分水岭图像分割方法研究[J]. 计算机仿真, 2013, 30(2): 373-377.
- [9] LIN Rui. Gyrator transform hologram and Its application in image encryption[J]. Acta Photonica Sinica, 2013, 42(2): 245-252.

作者简介:

郑宇超男, (1986-), 硕士, 助教. 研究方向为自然语言处理、图像处理. E-mail: sachairman@163.com.

张红斌男, (1979-), 博士生, 副教授. 研究方向为自然语言处理, 图像处理.

刘炳烜男, (1983-), 工程师. 研究方向计算机应用、信息技术.