

一种基于移动信标的无线传感网 节能定位方法

沙超,王汝传

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘要:文中针对固定锚节点定位方法在定位精度、定位成功率及定位能耗等方面的缺陷,提出一种基于螺旋状轨迹的移动信标定位方法。单信标节点以恒定角速度,沿螺旋轨迹自内向外逆时针运动,在固定点广播其坐标信息,确保了网内节点皆可获得足够的信标信息。同时,通过对移动路径与移动时间的估算,进行能耗判定,制定待定位节点休眠调度策略。仿真结果表明,同RSSI与DV-HOP等方法相比,该方法不仅具备较高定位精度和定位成功率,其能耗开销也相对较低。

关键词:无线传感网;移动信标;定位

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)12-0051-04

A Type of Energy-efficient Localization Method Based on Mobile Beacons for Wireless Sensor Networks

SHA Chao, WANG Ru-chuan

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: In the light of its defects in precision, success rate and energy consumption, node localization method with fixed anchor node is not suitable for wireless sensor networks. A type of localization method using mobile beacons based on spiral-like moving path is proposed in this paper. One beacon node moves along the spiral path counterclockwise with a constant angular velocity and broadcasts its coordinate on the fixed points to ensure that all of the unknown nodes in the network could obtain enough information. Meanwhile, according to the moving path and the localization time, energy consumption of the network could be estimated and also give the sleep scheduling strategy for the node to be localized. Simulation results show that, compared with the RSSI and DV-HOP algorithms, this method could not only promote the accuracy and success rate of localization, but also reduce the energy consumption.

Key words: wireless sensor networks; mobile beacon; localization

0 引言

对于无线传感网而言,缺乏位置信息的感知数据没有意义。而无线传感网的能量有限性,增大了其定位的实现难度。频繁的通信与信息交互以及复杂的定位计算^[1-4],将对节点的能耗产生严重影响。此外,在节点上加装各种附加设备(如GPS等),也将无形中增大节点的能量开销^[2]。因此,如何设计并实现一种轻量级的定位算法,成为无线传感网定位技术的发展趋势^[5,6]。

尽管可以通过多种方法提高节点的定位精度并降低其定位能耗开销,但现有的定位算法仍存在不少问题^[7],包括:

- 1) 待定位节点须与锚节点直接相邻,从而导致锚节点部署密度过大;
- 2) 由于锚节点分布不均,往往需要通过循环迭代求精来减少误差,计算能耗开销过大;
- 3) 定位过程中的通信能耗开销较大,且待定位节点往往为了获得足够数量的锚节点信息而长时间处于空闲监听状态,造成了大量的能耗浪费;
- 4) 待定位节点与锚节点间频繁通信,带来信道干扰与冲突,降低了定位成功率。

早期关于无线传感网的研究大多是静态网络,而在实际应用中,节点的移动不可避免,因此提出了移动无线传感器网络(Mobile Wireless Sensor Networks, MWSN)的概念。如监测野生动物的生活、追踪病人的心跳情况等,节点处于不断的运动中;安装在汽车上

收稿日期:2012-07-12;修回日期:2012-10-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61103195);江苏省自然科学基金(BK2012436);江苏省高校自然科学基金基础研究项目(11KJB520014)

作者简介:沙超(1983-),男(回族),江苏南京人,讲师,硕士生导师,研究方向为无线传感器网络技术;王汝传(1943-),教授,博士生导师,主研计算机软件、计算机网络、信息安全。

的传感器也是移动的,此时只有节点移动才能使交通指挥中心获知和处理某一地区的交通流量进而发布新的、有利的交通调度^[8]。

文献[9]提出了一种 SENMA (Sensor Network with Mobile Agents) 网络模型。该模型中存在两类节点:一般的固定位置的传感节点和功能更强大的、可移动的移动代理节点。当移动节点需要收集数据时,将与固定位置的传感器节点通信;美国 Nice 大学提出了“基于可预测移动中继节点的静态网络实现方法”^[10]。利用可移动的中继节点收集静态传感器网络的数据,有效节约了节点的能源;文献[11]提出一个拥有可移动节点的多媒体传感器网络结构。当多媒体节点发生了事件需要传送的时候,就会有一些移动节点移动到该处,参与信息的传递;文献[12]提出了移动基站的概念,基站节点的资源不受限制,可在网络中自由移动,从而达到均衡网络中节点能耗的目的。

然而,上述方法均没有提出节点的移动路径模型,也没有针对其定位能耗问题开展定量分析。为此,文中在上述研究基础上,以提升定位精度和降低能耗开销为目的,提出一种基于螺旋状轨迹的移动锚节点定位方法。

1 方法描述

1.1 基于定长步进的变螺旋移动路径

在移动锚节点的路径规划中,需要同时考虑定位精度与节点的能耗开销^[13]。此外,在确保网络内所有待定位节点都能得到足够的锚节点信息的情况下,移动锚节点与待定位节点间的通信次数越少,则系统的能耗开销也越少。

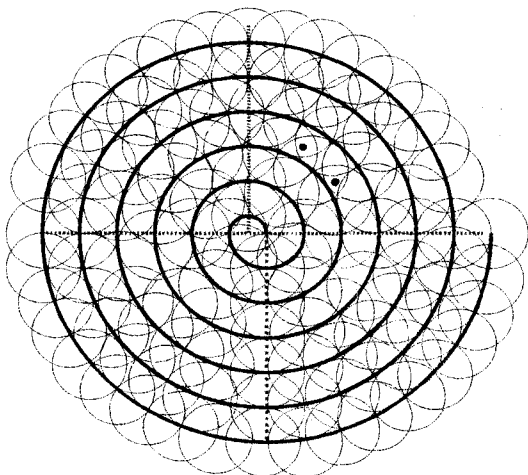


图 1 锚节点的移动轨迹

这里考虑网络中仅有一个移动锚节点的情况。将网络区域定义为半径为 R 的圆形,如图 1。在初始状态下,将移动锚节点 N 放置于网络中心 A 处,待其确定自身位置后,以固定的角速度按图 1 所示的螺旋状

线路移动。当锚节点 N 转过 2π 角度后,其移动位置将形成一个开口的螺旋线,称该锚节点完成了第一层的移动。此时,在该螺旋线覆盖区域内的所有未知节点均可确保自身完成定位。

图 1 中的黑色轨迹即为锚节点的移动轨迹。这里设定节点首先按照恒定的角速度 θ 在 $[0, \pi]$ 内移动,此时,该轨迹所形成的半圆部分的半径不变,而在 $[\pi, 2\pi]$ 区间,半径增大,易知角速度仍然保持为 θ ,当锚节点完成角度为 2π 的移动时,即完成了一层移动。

若锚节点按照上述定长步进且半径可变的螺旋状方式,逐层向外移动,则必能覆盖整个网络区域内的待定位节点,从而完成定位。记锚节点移动的第二个半圆的直径为 $d_0 = r$,锚节点的发射半径为 R ,则由其螺旋状移动模型易知:

$$d_n = (n+1) \times r (n=0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

$$d_n = (n+1) \times \theta \times r/2 (n=0, 1, 2, \dots) \quad (2)$$

其中, d_n 为第 n 个半圆的直径, V_n 为锚节点在第 n 个半圆时的线速度。当锚节点转过 π , 进入下一个半圆时,其线速度必将发生改变。在算法的执行过程中,可以简单地用锚节点移动的时间来判断节点当前处于哪个半圆,但在实际环境中,可能会有不可控的因素而导致时间的不确定性。因此有必要使移动的锚节点根据自身坐标来计算当前处于哪个半圆,如公式(3)和(4)。

假设锚节点的当前的相对坐标为 (X, Y) , 则:

$$\text{当 } Y > 0 \text{ 或 } \begin{cases} Y = 0 \\ X > 0 \end{cases} \text{ 时}$$

$$n = \left\lceil 2 \times \left(\frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{r} - 0.5 \right) \right\rceil \quad (3)$$

$$\text{当 } Y < 0 \text{ 或 } \begin{cases} Y = 0 \\ X < 0 \end{cases} \text{ 时}$$

$$n = \left\lceil 2 \times \left(\frac{\sqrt{(X - r/2)^2 + Y^2}}{r} - 1 \right) \right\rceil \quad (4)$$

式中的 $\lceil \cdot \rceil$ 为取整符号。

1.2 锚节点广播的时机选择

为确保锚节点移动过程中对网络的全覆盖,这里设定,在相隔弦长为 R 的弧的两端,锚节点必须广播自己的坐标。具体可分为两种情况:

1) 相邻两次的广播位置处于某一个半圆内(上半圆或下半圆),如图 2(a)。在该情况下,圆心角 α 的计算公式为:

$$\alpha_n = 2 \times \arcsin \left[\frac{R}{(n+1) \times r} \right] \quad (5)$$

$$T_{\text{广播间隔}} = \alpha / \theta \quad (6)$$

可以证明,在上半圆或者下半圆内皆可以使用公式(5)和(6)计算锚节点的广播时间间隔。

2) 相邻两次的广播位置处于上下半圆的交接区域,如图2(b)。此时,需要对锚节点下一步的移动位置进行判断,即考虑按照算出的间隔时间移动后,锚节点能否进入下一个半圆。而在此之前,有必要对计算代价进行估计。

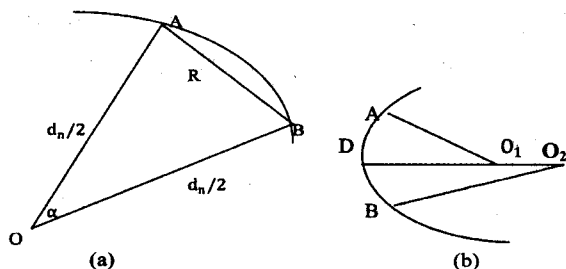


图2 锚节点广播时间间隔计算

由公式(7)可知,在每段时间间隔内,锚节点移动所经过的弧长为:

$$S_n = \alpha_n \times d_n/2 = r(n+1) \arcsin[R/(n+1)r] \quad (7)$$

则在相邻半圆的交界处,弧长相差 $\Delta S = S_n - S_{n+1}$ 。用影响因子 $\sigma = \Delta S/R$ 来权衡弧长的改变所带来的影响。分别取 $R/r = 1, 1.3$ 和 1.5 , 得出 σ 的变化规律,即当 $n > 1$ 时, σ 的值将大幅度下降,当 $n \geq 3$ 时, σ 的值已经趋近于0。从中可以看出,没有必要再计算时间间隔时作出判断。即计算锚节点广播的间隔时间时,无需区分该锚节点是否跨越半圆的边界。

1.3 待定位节点的休眠调度机制

当锚节点刚开始移动时,网络内的所有待定位节点均处于活跃状态。为降低能耗,这里设定,在待定位节点至少获取到一个锚节点的坐标信息且尚不能完成定位期间,可进入休眠状态。

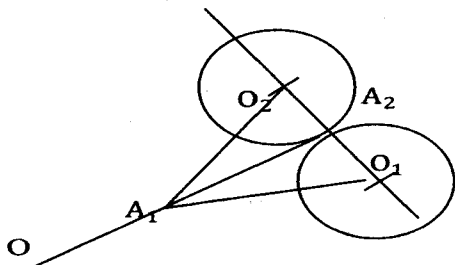


图3 待定位节点相邻两次所获得的坐标位置

在理想状态下,待定位节点在相邻两次所收到的锚节点坐标的位置与圆心成一条直线,如图3。其中, A_1 为待定位节点初次获取锚节点坐标时的位置, A_2 为 OA_1 延长线与下层半圆的相交点。锚节点运动到该处时,待定位节点将由休眠状态转变为活跃状态,以接收移动锚节点的广播信息。然而,在实际情况中,锚节点在 A_2 处可能并不发送广播信息,且待定位节点的状态切换也将耗费一定时间。因此,这里考虑将待定位节点的唤醒时间设定为锚节点逆时针经过点 O_1 的时间,

如公式(8)。

$$T_{\text{sleep}} = (2\pi - \alpha_{n+2}) / \theta \quad (8)$$

$$= 2 \times \{\pi - \arcsin[R/(n+1)r]\} / \theta$$

分别取 $R/r = 1.5, 1.3$ 和 1.0 , 并令 $0 < n \leq 30$ 。经实验可知,当 $n < 30$ 时,曲线的变化较大,计算出的角度值从2.3变化至3.1,且有趋于稳定的趋势。此外,由于节点状态切换能耗开销的存在,并非每个待定位节点休眠时都可以节约能量,这里设定其进行如下的能耗判断:

$$\Delta T(S_i) \times P_{\text{sleep}} + 2 \times E_{\text{switch}} < \Delta T(S_i) \times P_{\text{listen}} \quad (9)$$

当且仅当式(9)成立时,待定位节点在两次信息接收时间间隔内,处于休眠状态,将更加节能。其中, P_{sleep} 和 P_{listen} 分别是待定位节点处于休眠与监听状态的功耗, E_{switch} 是节点在上述两个状态间切换的能耗开销。 $\Delta T(S_i)$ 为待定位节点连续两次收到锚节点信息的时间间隔。此时,待定位节点所节约的能量为:

$$\Delta E = \Delta T(S_i) \times (P_{\text{listen}} - P_{\text{sleep}}) + 2 \times E_{\text{switch}} \quad (10)$$

2 仿真结果

在 Omnet++3.2 下对基于螺旋状移动路径的锚节点移动定位方法的性能进行验证。网络规模设定为200米×100米,节点通信半径 r 为20米,非移动锚节点定位方法下的信标节点数 $N(B)$ 为80,移动锚节点在各个广播点的停留时间 t 为10秒,路径损耗因子 η 定义为4。

待定位节点在网络内随机撒布。分别选取基于测距的 RSSI 三边定位法以及基于非测距的 DV-HOP 方法,与本文方法进行对比,并设定上述两种方式下的锚节点均匀分布且位置固定。

2.1 定位误差情况对比

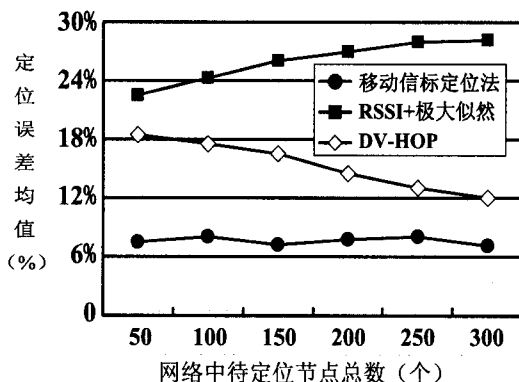


图4 定位误差均值的实验结果

图4是3种方法下定位误差均值的实验结果。从中可知,基于螺旋状移动锚节点的定位方法下的定位误差均值较小,保持在10%以下且基本稳定。这是因

为锚节点按照螺旋状的轨迹移动,确保了网络中的所有待定位节点都可以获取距离其最近的 3 个及以上的锚节点位置信息,保证了定位的精度;此外,待定位节点在整个定位过程中无需发送任何信息,降低了定位过程中发生信号干扰的概率。

2.2 定位成功率

图 5 是同一网络规模下定位成功率的实验结果。这里将定位成功率定义为网络中定位误差小于一定阈值的节点数量占节点总数的比例,并将该阈值设为 30%。从中可以看出,无论网络规模如何变化,移动锚节点定位方法下的定位成功率总是高于其它两种方法,且不受待定位节点数量的影响。这是因为移动锚节点的螺旋状运行轨迹中的各个广播位置分布均匀,降低了因无法收到足够的信标节点信息而无法定位的情况发生的概率。

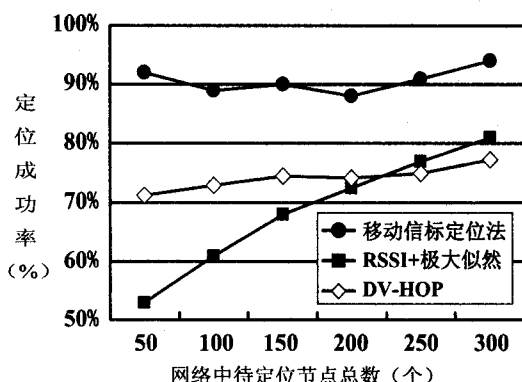


图 5 三种方法下的定位成功率对比

2.3 定位过程中的能耗开销情况

表 1 是在同一网络规模下,采用移动锚节点定位时,休眠节点的比例。从中可以看出,在网络规模一定的情况下,休眠节点所占比例基本保持稳定,且网络中的大部分待定位节点均实现了休眠。由公式(9)易知,待定位节点是否休眠主要取决于 $\Delta T(S_i)$ 的值,而由上文分析易知,在网络规模与移动路径一定的情况下, $\Delta T(S_i)$ 的值将保持不变,因此,休眠节点数量基本稳定。

表 1 待定位节点的休眠情况

网络规模 $L \times M = 200 \times 100$ 单位:米					
待定位节点数	100	150	200	250	300
休眠节点数	72	111	159	189	239
所占比例	72%	74%	79.5%	75.6%	79.7%

3 结束语

文中提出了一种基于定长步进的螺旋状锚节点移动的定位方法,以单一的可移动锚节点,实现全网定位,在提升定位成功率的同时,降低了待定位节点的能耗开销。同时,对基于 RSSI 的测距方法进行了拟合,并将其应用于移动锚节点定位中,与 RSSI 和 DV-HOP 等典型的定位方法相比,取得了较好的定位效果。

参考文献:

- [1] 朱 剑,赵 海,徐久强,等.无线传感器网络中的定位模型[J].软件学报,2011,22(7):1612-1625.
- [2] 王小平,罗 军,沈昌祥.无线传感器网络定位理论和算法[J].计算机研究与发展,2011,48(3):353-363.
- [3] 高 翔,舒展鹏.无线传感器网络交点质心定位算法的优化[J].计算机技术与发展,2012,22(2):107-109.
- [4] 李 丽,周彦伟,吴振强.无线网络定位技术研究[J].计算机技术与发展,2011,21(10):59-62.
- [5] 张士庚,曾英佩,陈力军,等.移动传感器网络中定位算法的性能评测[J].软件学报,2011,22(7):1597-1611.
- [6] 丰宁宁,王成华.一种基于分布式协作的 WSN 定位方法[J].计算机技术与发展,2012,22(5):59-62.
- [7] 王福豹,史 龙,任丰原.无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J].软件学报,2005,16(5):857-868.
- [8] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramanian Y, et al. A survey on sensor networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8):102-114.
- [9] Ye W, Heidemann J, Estrin D. An energy-efficient MAC protocol for wireless networks[C]//IEEE INFOCOM 2002. New York, NY, USA: [s. n.], 2002:1567-1576.
- [10] Mainwaring A, Polastre J, Szewczyk R, et al. Wireless sensor networks for habitat monitoring[C]//1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. Atlanta, GA, USA: [s. n.], 2002:88-97.
- [11] Gerla M, Xu K. Multimedia streaming in large-scale sensor networks with mobile swarms[J]. SPECIAL ISSUE: Special section on sensor network technology and sensor data management table of contents, 2003, 32(4):72-76.
- [12] Pan J, Hou Y T, Cai L, et al. Locating Base-stations for Video Sensor Networks[C]//Vehicular Technology Conference. [s. l.]: VTC 2003-Fall, 2003:3000-3004.
- [13] 陈桂忠,董利达.基于位姿评估的无线传感器网络自主移动节点定位技术[J].电子学报,2008,36(12):2428-2432.