

基于网格划分的递增式定位算法^{*}

何小敏, 熊庆宇, 石为人, 高 鹏

(重庆大学 自动化学院, 重庆 400030)

摘 要: 针对现有无线传感器网络中递增式定位算法累积误差较大、基于移动锚节点的定位能耗较高和全网定位速度较慢的问题,提出一种基于网格划分的递增式定位算法(ILBM)。算法将大规模无线传感器网络划分为若干个独立的网格,在每个网络中对移动锚节点进行路径规划,将部分已定位节点转换为静态参考节点,根据累积误差需求进行优化递增式定位。通过仿真,验证了本算法能够有效地解决累积误差和能耗问题,提高全网定位的效率。

关键词: 无线传感器网络; 定位; 移动锚节点; 路径规划; 递增式定位

中图分类号: TP393; TN915 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)02-0687-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.02.076

Incremental localization algorithm based on meshing

HE Xiao-min, XIONG Qing-yu, SHI Wei-ren, GAO Peng

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: For wireless sensor networks, because there were big accumulative error by using incremental localization algorithm, and high energy consumption and low speed by using mobile beacon location method, this paper proposed a new incremental localization algorithm based on meshing (ILBM). It divided a large-scale WSN into several independent grids, in which a movement strategy was made for mobile beacons and some located nodes were converted to static reference nodes, then an optimized incremental localization method was played according to accumulated error. Simulation results show that the ILBM can not only effectively reduce the accumulative error and energy consumption, but also improve the positioning efficiency.

Key words: wireless sensor networks; localization; mobile beacon; movement strategy; incremental localization

0 引言

无线传感器网络使用许多微小、低成本、低功耗的传感器节点来监测网络部署区域中各种环境特性,信息节点的位置是传感器网络应用中的重要信息^[1],定位是无线传感器网络的一个关键技术。所谓节点定位,即通过一定的技术、方法和手段获取无线传感器网络中节点的绝对(相对于地理经纬度)或相对位置信息的过程^[2]。

根据参考节点的状态,可以将定位算法分为:基于静态参考节点的定位算法和基于移动锚节点的定位算法。基于静态参考节点的算法在应用中耗费的成本高,提高定位的精度是以提高成本为代价的。基于移动锚节点的算法需要的锚节点数量少,不仅降低了定位的成本,还能提高定位的精度。但现有的基于移动锚节点的定位算法仍然存在不足。比如,使用随机运动模型的定位技术,锚节点能耗较高;对移动锚节点进行路径规划的定位技术,在规模大的无线传感器网络中,定位的速度慢。MBAL 算法是一种经典的定位算法,通过移动节点能量有效的路径来形成一个完全定位的网络,将已被定位的节点转换为静态参考节点,辅助其他未知节点定位,但其全网定位速度较慢,未考虑误差累积的问题^[3]。针对现有算法的不足,本

文提出了基于网格划分的递增式定位算法(ILBM),算法中采用了 RSSI 测距技术和基于加权处理的三边定位算法。

1 相关技术基础

1.1 算法使用的测距技术

ILBM 算法中节点之间距离估算使用的是基于接收信号强度指示值(RSSI)的测距技术。在这种测距技术中接收节点根据收到的信号强度,计算出信号的传播损耗,利用理论和经验模型将传输损耗转换为距离。基于 RSSI 的测距技术是一种廉价的测距技术,其借助的硬件设备较少,而且很多无线通信模块都可以直接提供 RSSI 值,是一种低功率、廉价的测距技术^[4]。通常将其看做一种粗糙的测距技术,但目前已有很多降低 RSSI 测距误差的方法。无线信号的接收信号强度和信号传输距离的关系可以用式(1)表示。

$$RSSI = -(A + 10n \lg d) \quad (1)$$

其中:RSSI 是接收信号强度; d 是收发节点之间的距离;射频参数 A 被定义为用 dBm 表示的距发射器 1 m 时接收到信号平均能量的绝对值;射频参数 n 指出了信号能量随着到收发器距离增加而衰减的速率,其数值的大小取决于无线信号传播的环境^[4]。

收稿日期: 2011-05-27; **修回日期:** 2011-06-28 **基金项目:** 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07528-003);重庆市科技攻关计划项目(CSCT,2008AB6115)

作者简介: 何小敏(1986-),女,安徽安庆人,硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络、智能感知(gh_xiaomin@163.com);熊庆宇(1963-),男,重庆人,教授,博导,主要研究方向为智能感知、控制与决策等;石为人(1948-),男,重庆人,教授,博导,主要研究方向为智能感知、控制与决策等;高鹏(1984-),男,湖北孝感人,博士研究生,主要研究方向为无线传感器网络、嵌入式技术等。

1.2 算法使用的节点自身位置计算方法

为了降低定位误差,提高算法的鲁棒性,ILBM 算法中节点自身位置计算采用的是基于加权处理的三边定位算法。传统的三边测量定位算法利用三个锚节点一次确定未知节点的位置坐标,无法准确地反映未知节点的实际位置。ILBM 算法根据 RS-SI 值和通信质量来筛选对未知节点影响力大的锚节点用于节点定位计算,使用角度权重函数综合多次估算的未知节点坐标信息,进而确定未知节点位置坐标。该算法由三步组成:a)依据未知节点与锚节点间的通信质量选取符合条件的锚节点参与定位计算;b)依据改进的三边测量定位算法计算出未知节点的多个估算坐标;c)利用权重函数计算未知节点坐标^[5]。

2 ILBM 定位算法

ILBM 算法是针对大规模无线传感器网络设计的,它首先将整个网络划分为小规模的网格,移动锚节点在每个网格中按照规划的路径运动并为其通信半径内的未知节点提供信标信息。移动锚节点运动结束后,优选网格中已经被定位的节点转换为静态参考节点,辅助剩余的未知节点获得自身的位置。ILBM 算法在对移动锚节点路径规划的基础上,提出了网格划分和优化递增式定位的概念。网格划分是指将大规模的无线传感器网络划分为小网格区域,将对整个网络进行的定位转换为对多个独立的小规模网络进行定位。优化递增式定位是指在定位的过程中,逐步将已经获得自身位置的部分定位节点转换为静态参考节点,辅助移动锚节点给未知节点定位。其中静态参考节点的选择是关键问题。算法的实现步骤包括网格划分、路径规划和优化递增式定位。

2.1 网格划分

网格划分的依据主要是累积误差的大小,这里将累积误差定义为在递增式定位过程中定位节点产生的最大误差。这部分的工作是根据定位精度的要求对整个无线传感器网络进行网格划分。ILBM 算法中将已被定位的节点转换为静态参考节点,辅助剩余的未知节点定位,这样,不可避免会产生累积误差。为了使累积误差能够在允许的范围内,本算法对整个网络划分网格,在每个网格内部独立地进行递增式定位。单个网格中的定位精度等同于整个网络的定位精度。

ILBM 算法将网络覆盖区域划分为如图 1 所示的网格区域, L 表示网格单元边长,平均每个网格面积为

$$S_g = L^2 \tag{2}$$

假设整个网络的节点个数为 N ,需要划分的网格数为 n ,则平均每个网格中的节点数目为

$$N_g = N/n \tag{3}$$

$E_{\min}(n)$ 表示每个单元格产生的累积误差,根据定位精度的要求,可以设定累积误差的最小值,本文在仿真中将其设为

$$E_{\min}(n) \leq 4 \tag{4}$$

总面积 S 已知为

$$S = ns_g = nL^2 \tag{5}$$

则划分的网格数 n 一般应满足

$$\begin{cases} S = ns_g = nL^2 \\ E_{\min}(n) \leq 4 \\ N_g = N/n \end{cases} \tag{6}$$

考虑到目前定位累积误差 $E_{\min}(n)$ 没有确定的模型来表示,无法通过计算来得出网格划分的数目 n 。因此,本算法通

过仿真来确定不同的累积误差值对应的网格大小。在未知节点随机均匀分布的仿真环境下,将 L 的值取为未知节点通信距离的倍数,即 L 的值分别取 $r, 2r, \dots, 7r$ 。算法中 r 表示未知节点的通信半径, R 表示移动锚节点的通信半径。从仿真的结果可以看出,当 $L \in (4r, 5r)$ 时,可以满足精度为 4 m 的要求。如果无线传感器网络的分布规模非常大,精度要求不高,可以将每个网格的面积划分得更大。

2.2 路径规划

ILBM 算法路径规划的目标是使移动锚节点移动的路径短、计算复杂度低、定位效率高。移动锚节点的路径至少要保证每个未知节点可收到 3 个与其较近的非共线数据包。根据典型移动锚节点定位算法 MBAL:假设移动节点的初始位置在网络的中心部分,这个假设保证在网络区域中存在交叉区域,为了用最小的运动获得最好的性能,交叉区域应该是一个边长为 R 的等边三角形^[3]。借鉴 MBAL 的这个观点,在每个网格中都将移动节点的路径规划为边长为 R 的等边三角形,并且移动锚节点在三角形的三个顶点处广播信标数据包,如图 2 所示。移动锚节点运动结束后,移动的长度为 $2R$,并且有 3 个虚拟参考节点(即三个移动节点发送信标数据包的点)。通过这个步骤,三个以 R 为半径的圆交叉部分的节点收到了三个虚拟参考节点的信息,已经计算出了自己的位置坐标;两个圆交叉部分的节点收到两个信标信息;而圆未交叉部分的节点收到一个信标信号。若网络中只有一个移动锚节点,移动节点依次在每个网格中按照规划的路径运动。如果网络规模很大,为了提高定位的速率,可以使用多个移动锚节点分工协作。

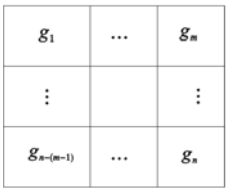


图1 网格划分

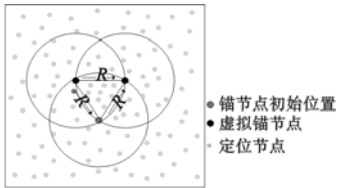


图2 路径规划

2.3 优化递增式定位

经过如图 2 所示的移动锚节点运动阶段后,选择一部分已被定位的节点转换为静态的参考节点,为它们通信半径内的未知节点提供信标信号,定位其他的未知节点。这样,网络中递归的产生更多的静态参考节点,从而进行递增式定位。在优化递增式定位的过程中,静态参考节点的选取很重要,直接关系到整个网络定位的精度和效率。综合各方面影响因素,静态参考节点的选取需要注意以下几点:a)选取靠近整个网络中心的已被定位节点作为第一个静态参考节点;b)选择收到锚节点信息数量多、通信质量好的已定位节点转换为参考节点;c)为了避免定位的盲区,在整个网络中被选择的相邻静态参考节点之间的距离不大于节点通信半径 r 。优化递增式定位的过程如图 3 所示,图中黑色的点表示选取的静态参考节点。

a)选取靠近整个网络中心的已定位节点作为第一个静态参考节点。它的通信半径为 r ,在它的通信半径内的节点都可以接收到其位置信息,使移动锚节点运动产生的两圆交叉中的一部分节点被定位,没有在交叉圆中的未知节点接收到了两个信标信号。

b)以第一个静态参考节点为圆心、 r 为半径做圆,这个圆中的节点均已定位。选取边长为 r 的圆内接六边形顶点附近的已定位节点作为第二批静态参考节点。

c)做第一个圆的同心圆(半径为 $2r$),其内接十二边形的

边长为 r ,在第一个圆上六个静态参考节点的作用下,这个圆中的节点已获得自身位置,选取靠近多边形顶点的已定位节点转换为第三批静态参考节点。

d)同理,在每个网格中依次做同心圆和内接多边形,多边形的边长为 r ,圆的半径依次为 $r,2r,\cdots,nr$,分别选取每个内接多边形顶点附近的已定位节点转换为下一批的静态参考节点。

e)通过上述步骤,递增产生静态参考节点的定位能力能够覆盖整个网格,使网格中的未知节点都能够计算出自己的位置,基本不会出现定位盲区。仿真表明,递增定位4次,能够满足 $E_{\min}(n)\leq 4\text{ m}$,即 $L\leq 4r$ 。

由于以上叙述的静态参考节点的选取方法比较局限,下一步研究工作准备提出优化递增式定位算法的静态参考节点选取模型,简化ILBM算法的流程,进一步提高定位的效率。

3 算法仿真

通过OMNET++仿真软件分别对本文提出的ILBM算法与MBAL算法进行仿真和验证,分析ILBM算法的性能,包括网格划分数量和精度需求之间的关系,以及全网定位的速度和累积误差的大小。

3.1 不同精度需求对应的网格划分情况

仿真场景:取网格为正方形,边长 L 取值为 $r,2r,\cdots,7r$,对应的网络区域大小为 $20\text{ m}\times 20\text{ m},40\text{ m}\times 40\text{ m},\cdots,140\text{ m}\times 140\text{ m}$,节点在网络中随机均匀分布。加入ILBM算法的未知节点的通信半径为 20 m ,移动锚节点通信半径为 40 m 。将全网划分为网格之后,网格独立地进行定位,单个网格的精度近似等于全网的定位精度。因此,这里对单个网格进行误差分析来确定网格划分的大小,从而求解出网格划分的数量。仿真结果如图4所示,横轴为通信半径 r 的倍数,当网格的边长 $L\in(r,4r)$ 时,累积误差在 4 m 以下;当 $L\in(4r,5r)$ 时,累积误差接近 4 m ;当 L 大于 $5r$ 时,累积误差在 4 m 以上,并随着 L 的增大而增大。根据本文规定的累积误差 $E_{\min}(n)\leq 4\text{ m}$,其他对本算法的仿真均取 $L=4r$,即网格边长为 80 m 。如果定位需要的精度不高,可以将网格划分得更大,使定位的快速性进一步提高。

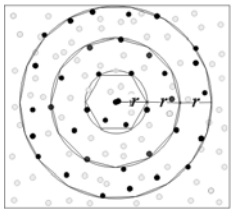


图3 递增式定位

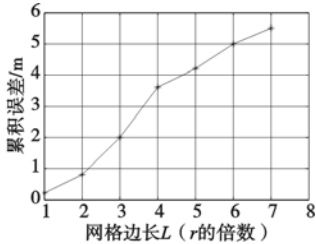


图4 网格大小和累积误差的关系

3.2 全网定位的速度

仿真场景:网格的大小为 $80\text{ m}\times 80\text{ m}$,每个网格中随机分布100个未知节点,分别取全网的边长为 $80,160,240,320,400,480,560\text{ m}$,代入ILBG算法和MBAL算法进行仿真,对定位仿真运行时间进行对比分析。由仿真结果图5可以看出:网络规模较小时,两种算法消耗的时间相差不大,并且MBAL算法定位的速度比ILBM算法快;网络规模较大时,ILBM算法定位的速度优于MBAL算法,随着网络的增大,优势体现的越来越明显。

3.3 全网定位时产生的累积误差

仿真场景:网格的大小为 $80\text{ m}\times 80\text{ m}$,每个网格中随机分

布100个未知节点,取整个网络为正方形,边长分别为 $80,320,560,800,1040,1280,1520\text{ m}$,代入ILBG算法和MBAL算法进行仿真。运用ILBM算法时,每个网格中的定位过程相同,产生的累积误差大致相等,所以全网的累积误差基本等于单个网格内产生的累积误差。由仿真结果图6可以看出:对于ILBM算法,网络的规模对累积误差影响很小,累积误差值基本是一个定值,图中的累积误差稳定在 4 m 左右;而MBAL算法产生的累积误差会随着网络规模的增大而增加,用于规模小的网络时,产生的误差较小,如果用在规模大的网络中,累积误差很大。

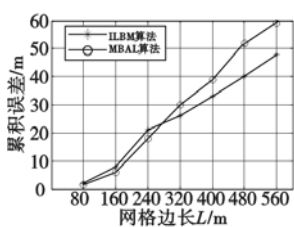


图5 算法运行时间的对比

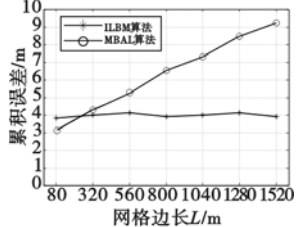


图6 累积误差对比

4 结束语

ILBM算法为了提高全网定位的效率、减小累积误差,将大规模无线传感器网络划分为独立定位的小网格,并且对移动锚节点进行了路径规划,使其移动的路径短且定位效率高。通过选择部分已定位节点转换为静态参考节点,算法对传统的递增式定位进行优化,不会增加硬件开销,仅增加少量的通信开销。从仿真结果可以看出,与MBAL算法相比,ILBM算法可以达到提高全网定位的速度、稳定累积误差的效果。

参考文献:

[1] PATWARI N,ASH J. Locating the nodes; cooperative localization in wireless sensor networks[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2005,22(4):54-69.

[2] 王殊,阎毓杰,胡富平,等.无线传感器网络的理论及应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.

[3] KIM K, LEE W. MBAL:a mobile beacon-assisted localization scheme for wireless sensor network[C]//Proc of the 16th International Conference on Computer Communications and Networks. 2007:57-62.

[4] 石为人,熊志广,许磊.一种用于室内人员定位的RSSI定位算法[J].计算机工程与应用,2010,46(17):232-235.

[5] VANINIG A. A RSSI-based and calibrated centralized localization technique for wireless sensor networks[C]// Proc of the 4th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops. [S.l.]:IEEE, 2006:301-305.

[6] 熊志广,石为人,许磊,等.基于加权处理的三边定位算法[J].计算机工程与应用,2010,46(22):99-102.

[7] SHI Wei-ren,XU Lei,XU Yang-sheng. Localization algorithm with mobile anchor in static wireless sensor network[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2007,28(3):385-393.

[8] RUDAFSHANI M,DATTA S. Localization in wireless sensor networks [C]//Proc of Information Processing in Sensor Networks. 2007:51-60.

[9] 许磊,石为人.一种无线传感器网络分步求精节点定位算法[J].仪器仪表学报,2008,29(2):314-319.

[10] 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.

[11] SARANGI S,KAR S. Performance analysis of an improved graded precision localization algorithm for wireless sensor networks[J]. International Journal of Computer Networks & Communication, 2010,2(4):150-159.