

无线传感器网络交点质心定位算法的优化

高翔, 舒展鹏

(南京邮电大学自动化学院, 江苏南京 210046)

摘要:节点自身定位是无线传感器网络的重要应用之一。为提高定位精度,以求解精度优于传统最小二乘法的交点质心算法为基础,定义距未知节点最近的锚节点为参考节点,通过测量参考节点与锚节点之间的距离获得RSSI的测距误差,并对未知节点与锚节点间的测量距离进行误差修正,抑制了RSSI测距误差对定位精度的影响;再引入四边测距定位和优选锚节点的思想,对算法进行改进。MATLAB仿真结果表明:本算法在相同实验环境下相较于交点质心法又进一步提高了定位精度。

关键词:无线传感器网络;定位;质心求解;接收信号强度值指示

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)02-0107-03

An Improved Localization Algorithm for Wireless Sensor Network Based on Centroid of Point of Intersection

GAO Xiang, SHU Zhan-peng

(College of Automation, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210046, China)

Abstract: The node self-localization is an important application of wireless sensor networks. In order to enhance the localization accuracy, based on the centroid point of intersection algorithm which solution precision was superior to the classical least square algorithm, reference node was defined as the closest anchor node to the unknown node, the errors of RSSI measurement could be got by measuring the distance between the reference node and other anchor nodes, the effects of RSSI measurement error to the node localization precision could be suppressed effectively by correcting the distance between the unknown node and anchor nodes. Then improved the centroid point of intersection algorithm by introducing the ideological of quadrilateral localization algorithm and optimization of anchor nodes. The results of simulation achieved by MATLAB show that this algorithm has better location accuracy than the centroid point of intersection algorithm under the same environment.

Key words: wireless sensor networks; node localization; centroid-calculation; RSSI

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是由部署在监测区域内大量的廉价小型或微型传感器节点通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织的网络系统^[1]。定位技术是无线传感器网络中最重要的技术之一,确定事件发生的位置对无线传感器网络的有效性起着关键作用^[2],在如基于地理信息的路由、资源的有效配置以及对外部目标的定位和追踪、环境监测与预报等方面,都需要节点准确的位置信息,不知道传感器位置而感知的数据是没有意义的^[3]。

在诸多定位算法中,基于测距(Range-Based)^[4-7]的定位算法需测量节点间的距离或方位等信息,其中

接收信号强度值指示(Received Signal Strength Indicator, RSSI)是定位过程中经常采用的一种无需额外硬件支持的、低功耗的测距技术,其测距原理是根据发射节点的发射信号强度与接收节点接收的信号强度差^[5],再利用无线信号传输的理论模型或经验模型,把传播损耗计算成距离。

实际定位过程中,由于信号传输过程中的反射、多径传播等问题而产生的RSSI测距误差会直接影响节点的定位精度;且当未知节点距锚节点越近时,测距精度就越高,因此文中在交点质心算法^[8]的基础上,先对基于RSSI测量的节点间的距离进行误差修正,再引入四边测距定位算法和优选锚节点的思想,对交点质心算法进行改进。

1 算法模型和交点质心法定位原理

1.1 无线信号传输的理论模型

常用的无线信号传输理论模型有自由空间模型

收稿日期:2011-07-05;修回日期:2011-10-13

作者简介:高翔(1967-),女,副教授,博士,硕士生导师,研究方向为网络传感器与传感器网络;舒展鹏(1984-),男,硕士研究生,研究方向为传感器节点定位算法。

(free space propagation model)、对数距离路径损耗模型(log-distance path loss model)和对数-常态分布模型(log-distance distribution)模型,文中采用更适用于实用环境的对数-常态分布模型,如式(1)所示^[6]:

$$PL(d) = \overline{PL}(d) + X_\sigma = \overline{PL}(d_0) - 10n\lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

式中, $PL(d)$ 是接收端接收到的信号功率(dBm), d 为信号发射端和接收端之间的距离(m), d_0 为近地参考距离, $\overline{PL}(d_0)$ 是参考距离 d_0 点处接收的信号功率(dBm), n 为路径损耗系数,表示路径损耗随距离增长的速率,范围为 2 ~ 6,相同距离情况下,不同位置的周围环境差距非常大,因而引入均值为 0 的高斯分布随机变量 X_σ ,其标准差范围为 4 ~ 10。取 $d_0 = 1\text{m}$,代入式(1),从而得到实际应用中的 RSSI 测距公式:

$$\text{RSSI} = \overline{PL}(d) = A - 10n\lg(d) \quad (2)$$

A 为信号传输 1m 远时接收到的信号功率(dBm)。

1.2 交点质心法定位原理

三边测量法如图 1 所示,其原理是:当未知节点获得三个或者三个以上锚节点的距离时,执行三边测量定位^[9],即已知 N_1 、 N_2 、 N_3 三个锚节点的坐标分别为: (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) ,未知节点 $\text{Node}(x, y)$ 接收到各个锚节点的信号强度值,由公式(2)可测得未知节点与各锚节点之间的距离 d_1 、 d_2 、 d_3 ,则有如下方程:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2 \end{cases} \quad (3)$$

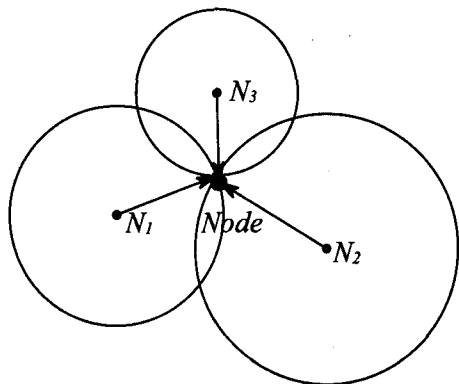


图 1 三边测量法示意图

实际环境中,由于 RSSI 测得的节点间的距离存在一定误差,三个圆不能相交于一点,此时将三个圆的相交区域 $\triangle ABC$ 的质心作为未知节点的位置估计值。

目前,一般通过最小二乘法求解上述方程组,得出未知节点的坐标估计值,但这种方法定位精度不高,为此文献[6]中,朱浩等提出用交点质心求解上述方程组,即在式(3)中,

$$\text{令: } A = \begin{bmatrix} -2x_1 & -2y_1 & 1 \\ -2x_2 & -2y_2 & 1 \\ -2x_3 & -2y_3 & 1 \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x \\ y \\ x^2 + y^2 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} d_1^2 - (x_1^2 + y_1^2) \\ d_2^2 - (x_2^2 + y_2^2) \\ d_3^2 - (x_3^2 + y_3^2) \end{bmatrix}$$

则式(3)可化简为: $AX = B$

解得: $X = (A^T A)^{-1} A^T B$, X 的前两项为未知节点坐标的估计值。

实验结果表明交点质心法相对于传统最小二乘法(LS)不仅明显地提高了定位精度^[7],而且也并未增加计算复杂度。

2 四边测距定位算法和测距误差修正

2.1 四边测距定位

为突破三边测距定位算法的局限性,且利用在 RSSI 测距过程,未知节点离锚节点越近时,测距精度越高的特点,文中采取优选锚节点的四边测距的定位方法提高未知节点的定位精度。先对未知节点与各个锚节点间的 RSSI 进行由大到小的排序,取前 4 个 RSSI 值所对应的锚节点进行定位计算,再每次取 3 个锚节点进行一次未知节点坐标估计^[10],即共有 4 组未知节点 $\text{Node}(x, y)$ 的坐标估计值,最后取这 4 组坐标值的平均值作为未知节点的坐标估计值。

定位过程中,每组参与定位的 3 个锚节点应排除不满足三边测距定位的情况,即只有两圆相交甚至三个圆都不相交,此时,一般文献采用的都是用后一个锚节点替换前一个锚节点,直至满足三个圆两两相交的方法,但这时由于补入的锚节点距未知节点更远,参与定位的三个圆不能满足三边测距定位的机率将大大增加,影响定位的精度,故当不满足三边测距定位的情况时,文中采用补入的锚节点替代参与定位过程中距未知节点最近的锚节点,直至满足三个圆两两相交。

2.2 测距误差修正

由式(3)可以看出,未知节点与各锚节点的测量距离 $d_i (i = 1, 2, 3, \dots, N)$ 直接影响到未知节点的定位精度,实际定位过程中,由于 RSSI 的测量值存在误差,则由式(2)计算出的节点间的距离不准确^[11],最终导致节点定位精度不高。

由于 RSSI 测距技术可以测量未知节点与各锚节点的测量距离 d_i ,同理可将锚节点充当未知节点,通过对锚节点间的测量距离与真实距离进行比较就可以获得 RSSI 的测距误差,从而可对未知节点与锚节点间的测量距离 d_i 进行误差修正^[12]。

如图 2 所示,定义距未知节点 $\text{Node}(x, y)$ 最近的

锚节点 $N_A(x_A, y_A)$ 为参考节点, $D_{Ai}(i = 1, 2, 3, \dots, N, i \neq A)$ 为参考节点 N_A 与其余锚节点 $N_1(x_1, y_1), N_2(x_2, y_2), \dots, N_N(x_N, y_N)$ 之间的真实距离, $\hat{D}_{Ai}(i = 1, 2, 3, \dots, N, i \neq A)$ 为 $N_A(x_A, y_A)$ 到各锚节点的测量距离。

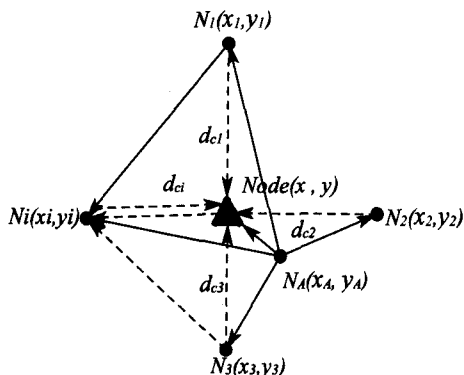


图2 误差修正示意图

定义修正系数

$$\gamma = \sum_{i=1}^N \frac{D_{Ai} - \hat{D}_{Ai}}{D_{Ai}} \quad (4)$$

定义差分系数

$$\lambda_i = \kappa e^{1 - \frac{d_i}{D_{Ai}(1-\gamma)}} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (5)$$

式中 κ 为比例调整因子, d_i 为未知节点 $\text{Node}(x, y)$ 到第 i 个锚节点的测量距离。

未知节点到第 i 个锚节点的距离可修正为:

$$\hat{d}_i = d_i - \lambda_i (D_{Ai} - \hat{D}_{Ai}) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (6)$$

3 仿真分析

文中用 MATLAB 进行算法仿真,无线传感器网络区域设定为 $100\text{m} \times 100\text{m}$, 10 个未知节点随机分布在区域内,锚节点采用均匀分布,无线信号载频为 2.4GHz ,每个仿真实验运行 100 次,分别取定位的最大误差、最小误差以及平均误差。比较对象为:距离修正前的交点质心法、距离修正后的交点质心法以及改进后的交点质心法。仿真结果如图 3~图 5 所示。

由图 3~图 5 可以看出,随着锚节点数量的增加,

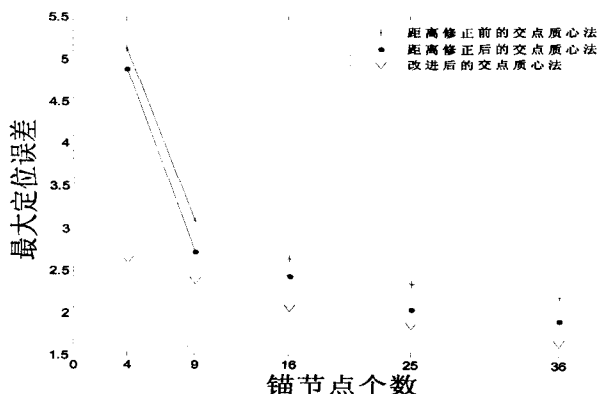


图3 锚节点数从4到36间变化时的最大误差对比图

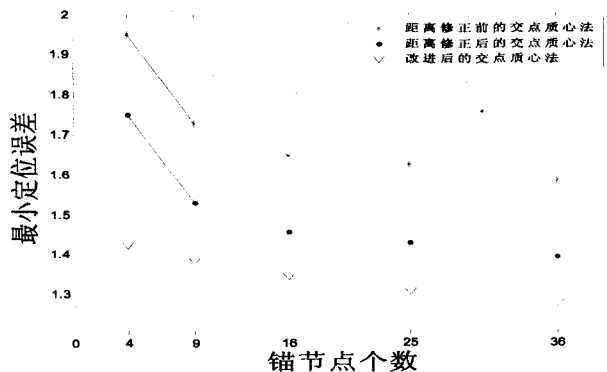


图4 锚节点数从4到36间变化时的最小误差对比图

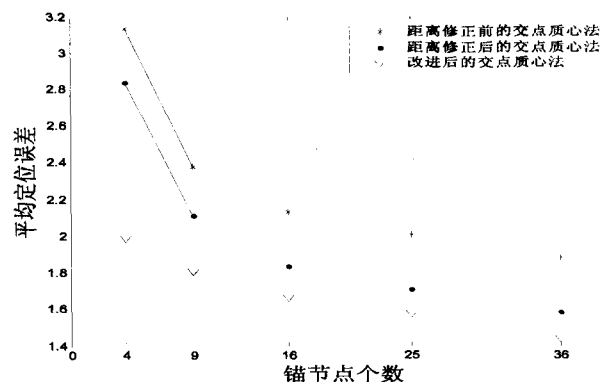


图5 锚节点数从4到36间变化时的平均误差对比图

距离修正前的交点质心算法、距离修正后的交点质心算法和改进后的交点质心法定位的最大误差、最小误差以及平均误差都在减小,其中距离修正后的交点质心算法的最大误差、最小误差和平均误差均小于距离修正前的误差,文中提出的基于优选锚节点和四边测距定位的交点质心算法的最大误差、最小误差以及平均误差均小于上述两种方法的,这充分说明了文中所提出的改进算法提高了无线传感器网络中的节点定位精度。

4 结束语

根据在空旷的户外环境进行节点定位的需要,对基于 RSSI 测距的定位算法进行研究,提出了适用于实际应用的交点质心优化算法,该算法结合了优选锚节点、修正 RSSI 测距值、四边定位的方法。仿真结果表明,本算法比交点质心定位算法拥有更好的定位精度,且整个算法过程完全采用代数运算,无需循环迭代,相较于最小二乘法减少了计算复杂度;同时,本算法无需额外的硬件支持,符合低成本与低功耗的无线传感器网络的要求。在今后的研究中,还可以通过优化信号传输模拟模型和对未知节点接收到的信号进行滤波来进一步提高定位精度。

```

SPEC AG(events = LostCom -> AX (cruise
= manu)) --Safety #4, true,
SPEC AG(events = toOverride -> AX(cruise
= manu)) --Safety #5, true,
SPEC AG(events = toAdaptive -> AF(cruise
= acc)) --progress #1, false
SPEC AG(events = toCooperative -> AF
(cruise = cacc)) --progress #2, true
SPEC AG(events = toCruise -> AF(cruise
= cc)) --progress #3, false
SPEC AF(current_speed < target_speed ->
AF(current_speed = target_speed)) --progress #
4, true
SPEC AF(current_speed > target_speed ->
AF(current_speed = target_speed)) --progress #
5, true

```

3 结束语

文中探讨了使用形式化验证工具 NuSMV 来验证 AADL 模型行为的过程,总结了 AADL 模型到 NuSMV 模型转化的优势。同时也通过实例证明了 NuSMV 作为 AADL 验证工具的不足。并且也指出了这些不足的地方。NuSMV 是一种能够很好的支持层次型构架的验证模型,但是,用它作为 AADL 的验证工具来说,还是有很多不足的。文中只是对 NuSMV 验证 AADL 模型的过程进行了初步的探讨,在今后的研究中,将进一步深入学习研究 NuSMV 验证方法。

参考文献:

- [1] 胡军,李宣东,郑国梁. 构件化嵌入式软件设计的分析与验证[D]. 南京:南京大学,2005.
- [2] 刘倩,桂盛霖,李允,等. 基于 UPPAAL 的 AADL 模型可调度性验证[J]. 计算机应用,2009(7):1820-1824.
- [3] 王瀚博,周兴社,董云卫,等. 结构分析和设计语言 AADL 研究[J]. 计算机工程与应用,2009,45(16):1-4.
- [4] 杨志斌,皮磊,胡凯,等. 复杂嵌入式实时系统体系结构设计与分析语言: AADL[J]. 软件学报,2010(5):899-915.
- [5] 陶勇,桂盛霖,马亮,等. AADL 模型的代码自动生成及集成技术[J]. 计算机工程,2009(8):59-61.
- [6] 王庚,周兴社,张凡,等. AADL 模型的测试方法研究[J]. 计算机科学,2009(11):127-130.
- [7] 马春燕,董云卫,朱宇峰,等. AADL 测试模型的构造研究[J]. 西北工业大学学报,2010(6):969-973.
- [8] 张军林,张治国. NuSMV 模型验证器实现与分析[D]. 广州:中山大学,2010.
- [9] Liu Hong, Gluch D P. Formal Verification of AADL Behavior Models: A Feasibility Investigation[C]//Proceedings of the 47th Annual Southeast Regional Conference. [s.l.]:[s.n.], 2009:19-21.
- [10] The SAE Architecture Analysis & Design Language (AADL) [M]. Reading, MA: Addison-Wesley, 1975.
- [11] Liu H, Gluch D P. Conceptual Modeling with the Object-process Methodology in Software Architecture[J]. Journal of Computing Education in Colleges, 2004(19):10-21.
- [12] 汤小明,苏罗辉,宋科璞. 飞行管理系统 AADL 建模与分析[J]. 计算机技术与发展,2010,20(3):191-194.

(上接第 109 页)

参考文献:

- [1] Akyildiz I, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. A Survey on Sensor Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8):102-114.
- [2] 王中生,曹琦. 基于 ZigBee 技术的无线定位研究与实现[J]. 计算机技术与发展,2010,20(12):189-190.
- [3] He T, Huang C D, Blum B M, et al. Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks[C]//Proc of the 9th Annual Int'l Conf on Mobile Computing and Networking. San Diego: ACM Press, 2003:81-95.
- [4] Grid L, Estrin D. Robust Range Estimation Using Acoustic and Multimodal Sensing[C]//Proc IEEE/RSJ Int Conf Intelligent Robots and Systems (IROS). Maui, Hawaii, USA: [s.n.], 2001:1312-1320.
- [5] Doherty L, Pister K S J, Ghaoui L E. Convex position estimation in wireless sensor networks[J]. IEEE Computer and Communications Societies, 2001, 3(5):1655-1663.
- [6] Niculescu D, Nath B. DV based positioning in ad hoc networks[J]. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22(1-4):267-280.
- [7] Hightower J, Boriello G, Want R. SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength[R]. Washington: Univ of Washington, 2000.
- [8] 朱浩,顾宗海,苏金. 一种基于交点质心求解的 RSSI 定位算法及其优化[J]. 郑州大学学报(工学版), 2010, 31(6):43-46.
- [9] 蒋峥峰,王汝传,孙力娟. 基于移动 Agent 无线传感器网络节点自定位算法[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(6):206-209.
- [10] 文举,金建勋,袁海. 一种无线传感器网络四边测距定位算法[J]. 传感器与微系统, 2008, 27(5):108-110.
- [11] 王书聪. 无线传感器网络分布式定位算法研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(11):62-63.
- [12] 任维政,徐连明,邓中亮. 基于 RSSI 的测距差分修正定位算法[J]. 传感技术学报, 2008, 21(7):1247-1250.