

一种改进的无线传感器网络节点定位算法*

王科宁, 马胜前, 冯 菁, 范满红

(西北师范大学 物理与电子工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 分析了无线传感器网络分布边缘地带可能存在锚节点密度过小而造成的未知节点不能利用 APIT 法定位情况, 有选择地将定位精度较高的已定位节点升级为锚节点, 继续采用 APIT 定位, 扩大 APIT 算法适用范围并防止误差过度积累。通过仿真, 在对定位精度影响不大的情况下提高了定位覆盖率。

关键词: 无线传感器网络; 节点; 定位; APIT

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)16-0051-03

Improved of nodes localization algorithm for wireless sensor network

Wang Kening, Ma Shengqian, Feng Jing, Fan Manhong

(College of Physics and Electronic Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: To address the problem that the unknown nodes cannot use APIT localization algorithm when the density of anchor nodes is lower at the edge of wireless sensor networks. The located unknown nodes which have high localization accuracy are upgraded as anchor nodes selectively in this paper, APIT localization algorithm is adopted as before, the scope of its usage is expanded and excessive accumulation errors are prevented. The experiment proved that this method improved localization coverage and had a little influence on locating precision.

Key words: wireless; sensor; network; localizaton; APIT

随着通信技术、嵌入式计算技术和传感器技术的飞速发展和日益成熟, 无线传感器网络节点技术得到快速发展。根据定位机制可将无线传感器网络 WSN (Wireless Sensor Network) 节点自身定位算法分为两类^[1]: 基于距离的 (Range-Based) 定位算法和不基于距离的 (Range-Free) 定位算法。Range-Free 主要有基于接收信号强度衰减的定位 (RSSI) 及其改进算法^[2]、基于到达时间的定位 (TOA) 和基于到达时间差的定位^[3]、基于角度的定位 (AOA)^[4]。Range-Free 定位算法无需节点间的距离和角度信息, 仅根据网络连通性等信息实现定位, 在成本、功耗等方面具有很大优势, 对硬件要求较低, 主要有质心算法、DV-HOP 算法、Amorphou 算法^[5]、HOP-TERRAIN 算法、APIT 算法等^[6], 特别是 APIT 算法备受关注。然而, 无线传感器节点的分布具有随机性, 当锚节点密度过小时, 传统 APIT 算法定位覆盖率下降。本文通过将已定位节点有选择地升级为锚节点, 继续应用 APIT 算法定位, 在

防止定位误差过度积累的同时提高了节点定位覆盖率。

1 APIT 定位算法

1.1 PIT 算法定位基本原理

最佳三角形内点测试法 PIT (Perfect Point-In-Triangulation Test) 原理如图 1 所示, 假如存在一个方向, M 点沿着这个方向会同时远离或接近 A、B、C, 则 M 位于 $\triangle ABC$ 外, 否则 M 位于 $\triangle ABC$ 内。

1.2 APIT 算法定位原理

为了能在静态网络中执行 PIT 测试, 定义 APIT (Approximate

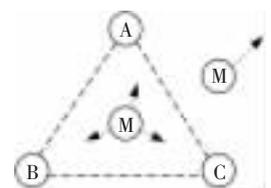


图 1 PIT 原理图

Point-In-Triangulation Test): 假如节点 M 的邻居节点中没有同时远离或者靠近三个锚节点 A、B、C 的节点, 则节点 M 就在 $\triangle ABC$ 内, 否则 M 在 $\triangle ABC$ 外。利用无线传感器较高的节点密度来模拟节点移动, 在给定的方向上, 距离锚节点越远接收信号越弱, 利用这一无线传播特性

* 基金项目: 国家自然科学基金自助项目 (20927004)

网络与通信 Network and Communication

来判断与锚节点的远近。通过邻居节点之间的信息交换,仿效 PIT 测试,如图 2(a)所示,节点 M 通过与邻居节点 1 交换信息,得知如果自身移动到节点 1 将远离锚节点 B 和 C,但会接近 A,与邻居节点 2、3、4 的通信和判断过程类似,最终确定自身位于 $\triangle ABC$ 内;而图 2(b)中,节点 M 可知若自身运动至节点 4,则同时远离锚节点 A、B、C,最终判断出自身在 $\triangle ABC$ 外。

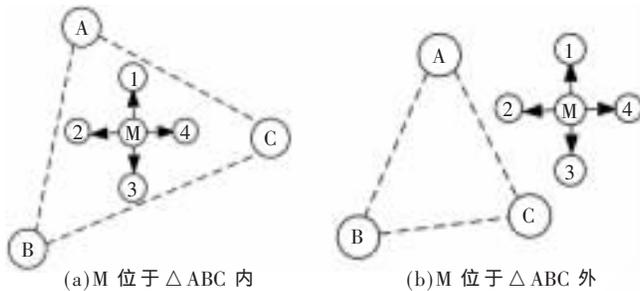


图 2 APIT 原理图

在 APIT 算法中,一个未知节点在其通信半径内任选 3 个锚节点,测试自己是否位于它们所组成的三角形中,使用不同锚节点的组合重复测试,直到穷尽所有组合或达到所需的定位精度。最后计算包含目标节点的所有三角形重合区域的质心,将这一点作为未知节点的位置。

1.3 in-to-out error 与 out-to-in error

在某些情况下,APIT 算法也存在误判情况。如图 3(a)所示,当未知节点靠近三角形的一边,且邻居节点 2 位于三角形内时,根据 APIT 定义,若未知节点 M 移动至节点 2,则同时远离锚节点 A、B 和 C,从而做出 M 位于 $\triangle ABC$ 外的错误判断,称为 in-to-out error;当节点 M 的邻居节点分布如图 3(b)所示时,就会做出 M 在 $\triangle ABC$ 内的错误判断,称为 out-to-in error。

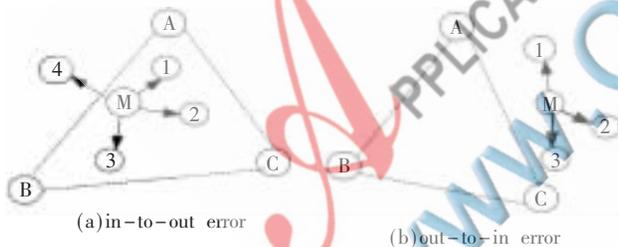


图 3 APIT 算法误判情况

1.4 未知节点的邻居锚节点少于三个的情况

因为未知节点和锚节点的分布具有很大的随机性,所以在网络覆盖区域的边缘地带未知节点很可能拥有比较少的邻居锚节点,致使无法满足 APIT 算法定位条件,甚至当邻居锚节点少于 3 时,未知节点将不能被定位。如图 4 所示,无论节点 B 旁边的锚节点怎么组合都无法将 B 包含在内,而节点 C 在通信半径范围内的锚节点数量甚至少于 3 个。有文献提出将已定位节点升级为锚节点参与定位,但是,这将会带来累积误差^[7]。

试验显示^[7],在无线信号传播模式不规则和传感器

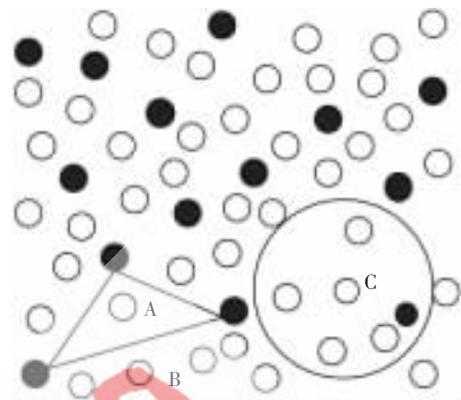


图 4 边缘地带锚节点分布

节点随机部署的情况下,APIT 算法定位精度高、性能稳定、测试错误概率相对较小(最坏情况下 14%),平均定位误差小于节点无限射程的 40%。与其他 Range-Free 算法相比本算法最大的优点是更为简单,节点密度影响小且节点间通信量少,大大降低了功耗,相对于资源受限的传感器网络比较合适。但是在同一锚节点比例下,随着未知节点数目的增加,定位覆盖率急剧下降,说明 APIT 算法不具有很好的扩展性。随着网络部署规模扩大,将会有更多的节点得不到有效利用。

2 APIT 算法改进

参考文献[8]提出了信标节点可迁移的方法,本文将该方法与 APIT 结合,提出 IAPIT 算法。算法的主要思想是,当未知节点在通信半径内锚节点不足 3 个时,使未知节点在其通信范围内的已定位节点 $M_j(j \in \{1, 2, \dots, N\})$ 有选择地升级为锚节点,然后再继续运用 APIT 算法定位。已定位节点有选择地升级为锚节点的方法如下:

(1) 已定位节点 M_j 向其通信半径内所有锚节点广播包含其 ID 的数据包;

(2) 已定位节点 M_j 的所有邻居锚节点根据各自收到的数据包值计算出锚节点和已定位节点间的距离,由凸规法可知,仅当不等式组(1)成立时,已定位节点的范围可以确定,此时未知节点升级为候选锚节点,若不等式组无解,则已定位节点无法升级。

$$\begin{cases} [X_R(M_j) - X(A_1)]^2 + [Y_R(M_j) - Y(A_1)]^2 \leq d^2(A_1, M_j) \\ [X_R(M_j) - X(A_2)]^2 + [Y_R(M_j) - Y(A_2)]^2 \leq d^2(A_2, M_j) \\ \vdots \\ [X_R(M_j) - X(A_{N'(M_j)})]^2 + [Y_R(M_j) - Y(A_{N'(M_j)})]^2 \leq d^2(A_{N'(M_j)}, M_j) \end{cases} \quad (1)$$

(3) 当已定位节点升级为候选锚节点时,已定位节点及其任意邻居锚节点的互测距误差定义为: $\Delta d(M_j, A_i) = |d(M_j, A_i) - d(A_i, M_j)|$, 误差的均值和方差分别为:

$$E(\Delta d) = \frac{1}{N'(M_j)} \sum_{i=1}^{N'(M_j)} \Delta d(M_j, A_i)$$

$$D(\Delta d) = \frac{1}{N'(M_j)} \sum_{i=1}^{N'(M_j)} \Delta d^2(M_j, A_i) - \left[\frac{1}{N'(M_j)} \sum_{i=1}^{N'(M_j)} \Delta d(M_j, A_i) \right]^2 \quad (2)$$

网络与通信 Network and Communication

同时,利用质心加权法和信号强度定位的结果间的误差为:

$$\Delta d_{r,c} = \sqrt{[X_R(M_j) - X_C(M_j)]^2 + [Y_R(M_j) - Y_C(M_j)]^2} \quad (3)$$

式(2)中, $d(M_j, A_i)$ 为节点 M_j 测得的 M_j 与锚节点 A_i 间距离, $d(A_i, M_j)$ 为锚节点 A_i 测得的 A_i 与节点 M_j 间距离, $N'(M_j)$ 为节点 M_j 的所有邻居锚节点。于是,当同时满足 $E(\Delta d) < \varepsilon$, $D(\Delta d) < \delta$, $\Delta d_{r,c} < \sigma$ 时,已定位节点升级为锚节点,同时广播数据包。

(4)网络中的未知节点通信半径范围内若有符合条件的升级锚节点,则可以被未知节点利用,以满足 APIT 算法。

3 算法流程图

算法流程图如图 5 所示。

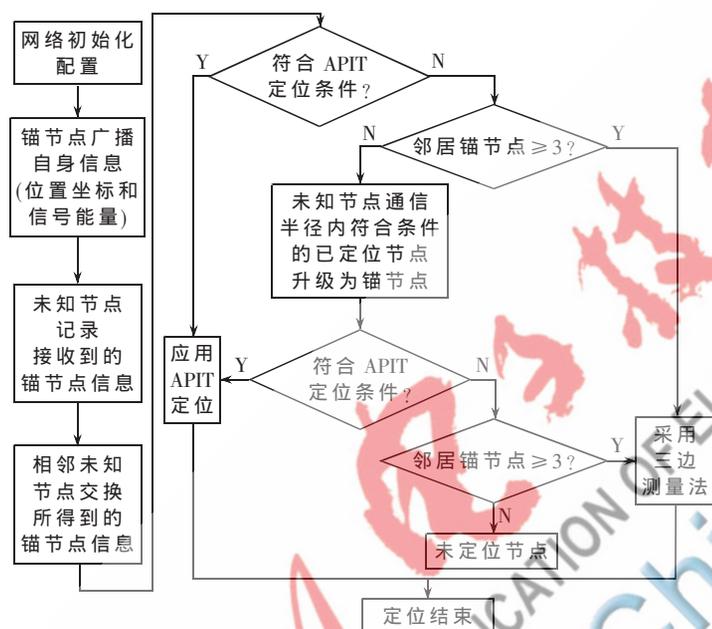


图 5 算法流程图

4 性能仿真

4.1 仿真环境和参数

仿真环境采用 Visul C++ 和 Matlab, 每次仿真都运行算法 50 次, 然后求平均值得到结果, 仿真相关参数如下:

(1)节点部署的网络区域为 $40\text{ m} \times 40\text{ m}$ 的正方形, 节点总数为 100、150、200 和 300 四种情况, 所有节点都随机分布在该区域;

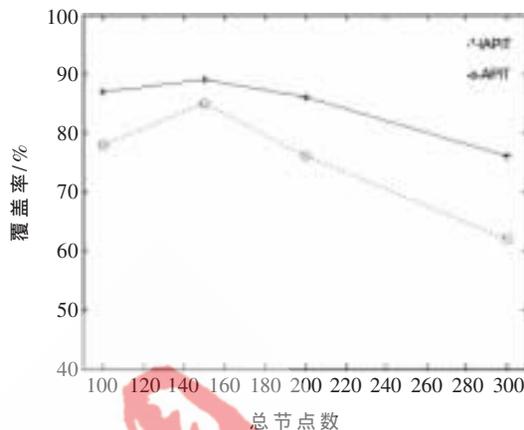
(2)未知节点和锚节点通信半径取为 10 m;

(3)测距误差取为 0~30% 真实距离的随机分布, 以接近最坏情况;

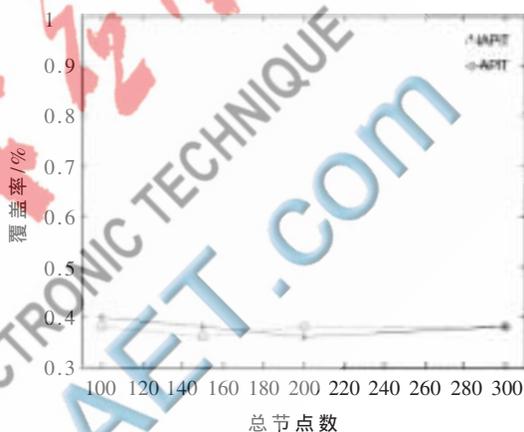
(4)定位结果误差门限 $\varepsilon=5\text{ m}$, $\delta=5\text{ m}$, $\sigma=3\text{ m}$ 。

4.2 IAPIT 仿真结果

以相同的锚节点与未知节点密度比列对定位覆盖率和定位精度进行仿真。如图 6(a) 所示, IAPIT 算法定位覆盖率最高可达到 90%, 较传统 APIT 算法有所提高。从图 6(b) 可知, 未知节点定位精度变化不大。



(a) 定位覆盖率



(b) 定位精度

图 6 仿真结果

总体而言, 新算法通过有选择地将已定为节点升级为锚节点, 在降低定位误差积累、对定位精度影响不大的情况下, 提高了定位覆盖率。由于无限传感器网络的各种应用差别很大, 没有普遍适合各种应用的定位算法, 因此应综合考虑, 本文提出的算法具有较强的扩展性, 对于大规模无线传感器网络节点定位具有参考价值。

参考文献

- [1] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] 余义斌. 传感器网络定位算法及相关技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [3] 于海斌, 曾鹏, 智能无线传感器网络系统[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [4] NICULESCU D, NATH B. Ad Hoc positioning system (APS) using AOA[A]. Proc. of the IEEE INFOCOM2003[C]. Vol. 3, San Francisco: IEEE Computer and Communications Societies, 2003.
- [5] 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): 857-868.

2624-2629.

(收稿日期:2011-05-05)

- [6] 段渭军,黄晓利,王福豹,等.无线传感器网络测距技术的研究[J].计算机科学,2007(9):51-62.
- [7] HE T,HUANG C D,BLUM B M,et al.Range-free localization schemes in large scale sensor networks[C].In Proc. ACM/IEEE 9th Annu.Int.Conf.Mobile Computing and Networking(MobiCom'03),2003.
- [8] 沙超,王汝传,孙力娟,等.无线传感器网络中一种信标节点可迁移的协作定位方法[J],电子学报,2010,38(11):

作者简介:

王科宁,男,1984年生,硕士研究生,主要研究方向:计算机测量与控制。

马胜前,男,1954年生,教授,硕士生导师,主要研究方向:计算机测量与控制,信号与信息处理。

