

7-30-2020

Improved APIT Localization Algorithm Based on Wireless Sensor Network

Wu Dong

Institute of Electrical Automation, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

Zhicheng Ji

Institute of Electrical Automation, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

Zhang Biao

Institute of Electrical Automation, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Improved APIT Localization Algorithm Based on Wireless Sensor Network

Abstract

Abstract: To address the problems of Approximate Point-In-Triangulation Test (APIT) algorithm in Wireless Sensor Network requiring high anchor node density, Out-To-In or In-To-Out error judgment, nodes failure and so on, an improved APIT localization algorithm based on Wireless Sensor Network was proposed. *The method based on directional searched node and combined with RSSI ranging calculation by Gaussian fitting method was used to deal with error judgment. Besides, a geometrical method was used to process the failure nodes.* The simulation results show that the improved localization algorithm performs greatly better, both in positioning accuracy and number of error judgment, than the traditional APIT localization algorithm and the modified localization algorithm of APIT based on mobile anchor node.

Keywords

wireless sensor networks, node localization, APIT localization algorithm, direction search

Recommended Citation

Wu Dong, Ji Zhicheng, Zhang Biao. Improved APIT Localization Algorithm Based on Wireless Sensor Network[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(12): 2965-2972.

基于无线传感器网络的改进 APIT 定位算法

吴栋, 纪志成, 张彪

(江南大学 电气自动化研究所, 江苏 无锡 214122)

摘要: 针对无线传感器网络中近似三角形内点测试法(Approximate Point-In-Triangulation Test, APIT)对锚节点密度要求高, 并且会出现 Out-To-In 或者 In-To-Out 误判和节点失效等问题, 提出了一种基于无线传感器网络的改进 APIT 定位算法。该方法利用一种基于方向搜索的移动节点, 结合经过高斯拟合处理的接收信号强度指示值(Received Signal Strength Indicator, RSSI)定位算法来解决误判问题, 并采用一种几何方法对失效节点进行处理。通过 MATLAB 对改进的 APIT 算法进行仿真, 实验结果表明, 改进后的定位算法在定位精度和误判次数方面均比传统 APIT 定位算法和基于移动锚节点的改进 APIT 算法有了很大的提高。

关键词: 无线传感器网络; 节点定位; APIT 定位算法; 方向搜索

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 12-2965-08

Improved APIT Localization Algorithm Based on Wireless Sensor Network

Wu Dong, Ji Zhicheng, Zhang Biao

(Institute of Electrical Automation, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: To address the problems of Approximate Point-In-Triangulation Test (APIT) algorithm in Wireless Sensor Network requiring high anchor node density, Out-To-In or In-To-Out error judgment, nodes failure and so on, an improved APIT localization algorithm based on Wireless Sensor Network was proposed. The method based on directional searched node and combined with RSSI ranging calculation by Gaussian fitting method was used to deal with error judgment. Besides, a geometrical method was used to process the failure nodes. The simulation results show that the improved localization algorithm performs greatly better, both in positioning accuracy and number of error judgment, than the traditional APIT localization algorithm and the modified localization algorithm of APIT based on mobile anchor node.

Keywords: wireless sensor networks; node localization; APIT localization algorithm; direction search

引言

随着通信技术、计算机嵌入式技术和传感器技术的飞速发展和日益成熟, 具有感知能力、计算能力和通信能力的微型传感器开始在世界范围内出现, 由这些微型传感器构成的无线传感器网络

(Wireless Sensor Network, WSN)引起了人们的极大关注^[1]。无线传感器网络具有低成本、低功耗和自组织等特点, 目前已在军事、精细农业、医疗保障、智能家居、环境监测等领域有了广泛的应用。

在无线传感器网络研究领域, 节点定位是关键支撑技术之一^[2]。传感器节点的位置是随机分布的, 只有确定了节点的位置信息之后, 通过无线传感器网络采集到的数据才有应用价值。

根据是否需要测量实际节点之间的距离将其分为基于测距的无线传感器定位算法和基于非测



收稿日期: 2015-04-13 修回日期: 2015-08-06;
基金项目: 粮食公益性行业科研专项经费资助项目
(201313012);

作者简介: 吴栋(1989-), 男, 江苏南通, 硕士生, 研究方向为控制理论与控制工程; 纪志成(1959-), 男, 浙江杭州, 教授, 博士, 博导, 研究方向为风能转化系统多目标优化控制方法、电力电子及电力传动等。

<http://www.china-simulation.com>

• 2965 •

距的无线传感器定位算法两种。和非测距定位算法相比,测距定位算法具有较好的定位性能,但此类算法对硬件配置要求较高,同时能耗增大。而非测距定位算法具有成本低、能耗小等优势,只需根据网络的连通性和锚节点(位置已知并且帮助未知节点定位的节点)提供的位置信息就可以确定未知节点的坐标。因此,在无线传感器网络定位中,非测距定位算法的应用较为广泛,其主要包括 DV-Hop^[3]算法、质心定位算法^[4]以及近似三角形内点测试法(Approximate Point-In-Triangulation Test, APIT)^[5]等。

DV-Hop 算法在无线传感器网络节点随机分布时定位误差大;质心定位算法对锚节点密度大小及分布情况依赖性很强,定位精度比较低;相比于其它非测距定位算法,APIT 算法实现简单,并且定位功耗小、精度高、成本低,是节点定位技术研究领域中的一大热点。但是当网络区域中未知节点周围的锚节点分布不均匀或者未知节点靠近由锚节点组成的三角形的某一条边时,APIT 算法会产生误判,而且在定位过程中,如果锚节点数较少时,其定位误差也会比较大。文献[5]添加了移动锚节点从而让锚节点均匀分布,而且采用了基于异构传感器来计算最佳节点的方法,除此之外还利用 RSSI 模型修正 APIT 算法,但是 RSSI 测距误差大会影响定位的精度,而且快速性不是很好;文献[6]改进了 APIT 测试方法,并且采用了重心扫描的方法,可是存在偏差较大和快速性较差的问题。本文针对 APIT 定位算法的缺陷和上述文献中的不足,利用一种基于方向搜索的移动节点,结合经过高斯拟合处理的 RSSI 测距定位技术对传统 APIT 定位算法进行改进,该算法不仅减少了误判次数,而且在定位精度方面也有了很大提高。

1 APIT 定位算法介绍

APIT 定位算法即近似三角形内点测试法,是由弗吉尼亚大学的 Tian He, Chengdu Huang 等人提出的一种全新的定位算法^[7],适合应用于大规模的无线传感器网络的分布式非测距定位,其基本思

想是三角形覆盖逼近,未知节点处于多个三角形覆盖区域的重叠部分中。如图 1 所示,未知节点从所有的邻居锚节点中选择 3 个锚节点,然后采用一种测试方法判断未知节点是否处在所选择的 3 个锚节点所组成的三角形之中,如果在,则进行标记,一直到穷尽所有的三角形组合。如果未知节点的所有邻居锚节点有 N 个,则有 C_N^3 个三角形组合。最后找出所有符合要求的三角形的重叠区域,并计算该区域的质心位置。与 DV-Hop 算法以及其他非测距定位算法不同,APIT 算法不需要节点之间所有的位置信息,因此可以避免像 DV-Hop 算法之中由于节点之间的平均估算距离而产生的巨大误差^[8]。

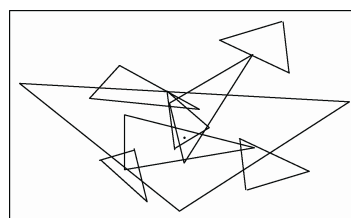


图 1 APIT 定位算法原理示意图

1.1 PIT 测试原理

APIT 定位算法的主要内容就是判断被定位节点是否处在三角形的内部^[9]。它的基本理论依据就是最佳三角形内点测试法(Point-In-Triangulation Test, PIT)^[10]。该测试法的原理如图 2 所示。对于在任何平面上的某个 $\triangle ABC$ 和某一点 N ,假定存在一个方向,使得点 N 沿着该方向移动,如果同时远离或者靠近 $\triangle ABC$ 的 3 个顶点 A 、 B 、 C ,则表明该点 N 处在 $\triangle ABC$ 外;如果节点 N 沿着任意方向移动,点 N 至少会远离或者靠近 $\triangle ABC$ 的 3 个顶点 A 、 B 、 C 中的一个,则表明点 N 处在 $\triangle ABC$ 内。

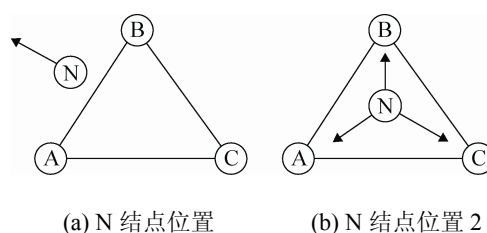


图 2 PIT 测试原理示意图

1.2 APIT 测试原理

在无线传感器网络中, 节点一旦被部署在监测区域内, 该节点即处在一个静止或者极其缓慢运动的状态, 这样就无法通过移动未知节点完成上述的 PIT 测试。为了在静态的环境中使用该原理, 可以采用近似 PIT 定位方法, 即 APIT 测试原理。

无线传感器网络节点信号在空间中会衰减, APIT 测试原理利用未知节点和邻居节点交换接收到的信号强度来模拟未知节点在给定方向上的移动, 如图 3 所示, 节点 N 周围有 4 个邻居节点, 通过节点 N 以及 4 个邻居节点和 3 个锚节点进行信息交换, 来模拟点 N 向 4 个方向移动。通过节点接受到的信号强度大小, 来判断模拟移动时距离锚节点的远近。在图 3(a)中, 点 N 与其邻居节点 1 交换信息, 相当于将点 N 移动到邻居节点 1 所在的位置, 此时可知点 N 接近节点 A, 但是同时远离节点 B 和 C, 由此可以判断点 N 在 ΔABC 内。在图 3(b)中, 假设点 N 运动到邻居节点 3 处, 此时它将同时远离节点 A、B、C, 由此可以判断点 N 在 ΔABC 外。

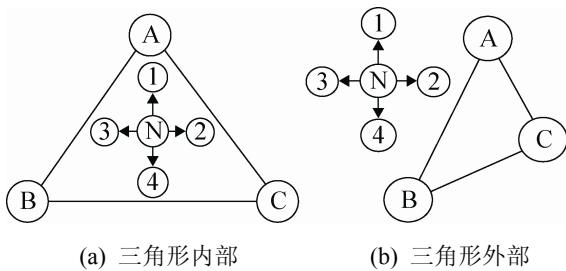


图 3 APIT 测试原理示意图

1.3 APIT 算法存在的问题

问题(1): 在进行 APIT 测试时, 如果节点密度很低, 将会出现 Out-To-In 或者 In-To-Out 误判问题, 此时 APIT 算法定位性能会受到影响。如图 4 所示, 在图 4(a)中, 未知节点 N 的邻居节点 4 在 ΔABC 外, 当未知节点 N 模拟运动到节点 4 时, 节点 N 会同时远离 3 个锚节点 A, B, C, 这样就会错误的认为未知节点在 ΔABC 外。同理, 图 4(b)中节点 N

会被误判为在 ΔABC 内, 这时增加节点可以有效解决这一问题。但是随着节点数量的增加, 节点之间相互通信时, 其能量消耗会随之增大^[11], 这样又会增加无线传感器网络定位系统的成本。

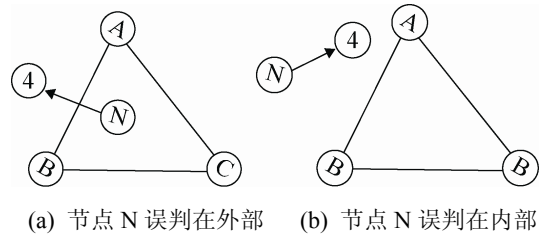


图 4 Out-To-In 或者 In-To-Out 问题示意图

问题(2): 在进行 APIT 测试时, 当未知节点的邻居锚节点为一个或者两个时, 则该未知节点为无效节点, 如图 5(a), 5(b)所示, 这样传统的 APIT 算法就无法对目标进行定位。



图 5 无效未知节点示意图

2 改进的 APIT 定位算法

为了解决上述 APIT 算法出现的问题, 本文提出了一种基于无线传感器网络的改进 APIT 算法。该算法针对问题(1)利用一种基于方向搜索的移动节点, 结合经过高斯拟合处理的接收信号强度指示值(Received Signal Strength Indicator, RSSI)测距定位算法, 能够很好地解决在 APIT 测试中出现的 Out-To-In 或者 In-To-Out 问题; 针对问题(2)采用了一种几何方法来解决未知节点仅有两个邻居锚节点定位的情况。

2.1 RSSI 高斯拟合测距处理

用于 RSSI 测距的对数距离路径损耗模型的数学模型如公式(1)所示:

$$d = d_0 \times 10^{\frac{P_r(d_0) - P_r(d)}{10n}} \quad (1)$$

$P_r(d_0)$ 是参考距离为 d_0 时无线射频信号的接收功率^[12], 如果发射点确定了则 $P_r(d_0)$ 是一个常数。当发射机与接收机的距离为 d 时, 接收机收到的无线射频信号功率为 $P_r(d)$ 。 n 为传播因子, 特定的无线信号传播环境决定着 n 的数值大小。

由式(1)可知, 接收到的信号强度指示值 $P_r(d)$ 和传播的距离 d 有特定的关系, 然而 RSSI 测距会受到很多因素的干扰, 在不同环境下外界的干扰因素也不同, 使得同一 RSSI 值会对应多个不同的位置, 这些现象破坏了距离和信号强度值之间的对应关系, 给测得的距离造成很大的误差。RSSI 值分布实际上是一个概率分布^[13], 为此对测得的大量数据进行高斯拟合处理, 消除大部分不合理数据来减小测距误差是有必要的, 其拟合处理函数^[14]如公式(2)所示:

$$y = y_0 + \frac{A}{\omega \sqrt{\pi/2}} e^{-2(x-x_c)^2/\omega^2} \quad (2)$$

$$\text{其中: } x_c = \frac{\sum_{i=1}^k \text{RSSI}_i}{k}, \quad \omega = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\text{RSSI}_i - x_c)^2}{k-1}} \quad (3)$$

上式中, k 表示某位置所接收的锚节点个数, x_c 表示该位置接收到的信号 RSSI 值的均值, ω 表示该位置接收的信号 RSSI 值的方差。将该位置接收到的信号 RSSI 值代入公式(2)中, 当 y 的取值范围为 $[0.5, 1]$ 时, 称作是概率较大的事件, 可以保留并且取保留信号的平均 RSSI 值, y_0 , A 是通过锚节点的位置和接收到的信号强度指示值关系确定。

2.2 仅有两个锚节点定位的几何处理方法

如图6所示, 假设 A、B 两点的坐标分别为 (x_A, y_A) 和 (x_B, y_B) , 采用经过高斯拟合处理的 RSSI 测距定位算法可以计算得到 AN、BN、AB 的距离分别为 d_1, d_2, d_3 , 令 $\angle NAB = \alpha$ 、 $\angle BAD = \beta$, 利用几何关系可得

$$\cos \alpha = \frac{d_1^2 + d_3^2 - d_2^2}{2d_1d_3} \quad (4)$$

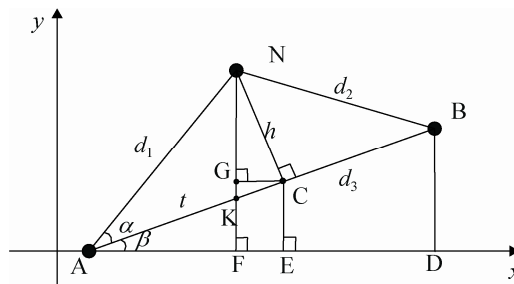


图6 未知节点 N 仅有两个锚节点 A 和 B

在 $\triangle ACN$ 中, 由余弦定理可知

$$AC = t = d_1 \cos \alpha = \frac{d_1^2 + d_3^2 - d_2^2}{2d_1d_3} \quad (5)$$

根据勾股定理可得 $\triangle ACN$ 中 NC 边的长度如式(6)所示:

$$NC = h = \sqrt{d_1^2 - t^2} \quad (6)$$

在三角形 $\triangle ABD$ 中, 使用余弦定理可以求出 β 角的余弦值如式(7)所示:

$$\cos \beta = \frac{x_B - x_A}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 + y_B^2}} \quad (7)$$

由平行四边形对边平行且相等的性质可得

$$GC = FE \quad (8)$$

从图6可以看出

$$AF = AE - EF = AC \times \cos \beta - NC \times \sin \beta \quad (9)$$

由公式(4)-(10)可以推导出未知节点 N 的坐标 (X_N, Y_N) 为

$$X_N = x_A + t \times \cos \beta - h \times \sin \beta \quad (10)$$

$$Y_N = y_A + t \times \sin \beta + h \times \cos \beta \quad (11)$$

2.3 改进 APIT 算法具体工作原理

如图7所示, 3个锚节点 A, B, C 之间经过互通信来交换位置信息, 其坐标分别为 (x_a, y_a) , (x_b, y_b) , (x_c, y_c) , 由式(12)~(14)可以求得3个锚节点之间的距离分别为 AB , AC 和 BC 。

$$\sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2} = AB \quad (12)$$

$$\sqrt{(x_c - x_a)^2 + (y_c - y_a)^2} = AC \quad (13)$$

$$\sqrt{(x_c - x_b)^2 + (y_c - y_b)^2} = BC \quad (14)$$

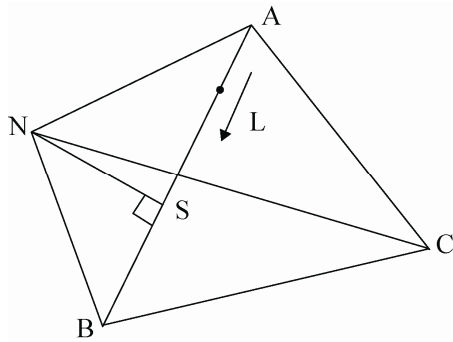


图 7 改进的 APIT 算法原理示意图

让方向搜索节点 L 随机地沿着 $\triangle ABC$ 的某一条边上的任意顶点出发, 假设方向搜索节点 L 沿着 AB 方向移动, 移动的同时记录下搜索节点 L 与未知节点 N 之间的信号强度 $P_r(LN)$, 在 AB 线段内 (或者 AB 线段的延长线上) 存在某点 S , 使得其到未知节点 N 之间的信号强度最大, 此时记录下该点与未知节点 N 之间的信号强度 $P_r(SN)$, 由 3.1 节中介绍的 RSSI 高斯拟合测距处理公式 (2)~(3) 可以计算出点 S 到点 N 之间的距离 SN , 由代数知识可知, S 点即为 $\triangle ABN$ 的 AB 边上的垂足。根据三角形面积公式可以求得 $\triangle ABN$ 的面积如式 (15) 所示:

$$S_{\triangle ABN} = \frac{1}{2} \cdot SN \cdot AB \quad (15)$$

此时让方向搜索节点继续向 B 点移动, 直到位于 B 点, 然后让方向搜索节点 L 继续沿着 $\triangle ABC$ 的另一边 BC 所在的方向移动。首先让搜索节点 L 从 B 点出发沿着线段 BC 向 C 点移动, 此时由于搜索节点 L 接收到未知节点 N 的信号强度没有增大, 因此让搜索节点 L 沿着直线 BC 向相反方向移动, 移动的同时记录下搜索节点 L 与未知节点之间 N 的信号强度值 $P_r(LN)$, 当搜索节点 L 与未知节点 N 之间的信号强度值达到最大时, 将此时搜索节点所在的位置标记为 S_1 , 记录下此点和未知节点 N 之间的信号强度为 $P_r(S_1N)$, 再由 RSSI 高斯拟合测距处理公式 (2)~(3) 即可计算得到点 S_1 到点 N 之间的距离 S_1N 。根据三角形面积公式即可得到 $\triangle BCN$ 的面积为:

$$S_{\triangle BCN} = \frac{1}{2} \cdot S_1N \cdot BC \quad (16)$$

同时, 方向搜索节点 L 继续沿线段 S_1C 方向移动直至到达点 C 。

依照上述方法, 同样可以求得三角形 $\triangle ACN$ 的 AC 边上的垂足 S_2 到未知节点 N 之间的距离 S_2N 和三角形 $\triangle ACN$ 的面积

$$S_{\triangle ACN} = \frac{1}{2} \cdot S_2N \cdot AC \quad (17)$$

由公式 (15), (16) 和 (17) 可以求解出 $\triangle ABN$, $\triangle BCN$ 和 $\triangle ACN$ 的面积之和 S , 即

$$S = S_{\triangle ABN} + S_{\triangle BCN} + S_{\triangle ACN} \quad (18)$$

若三角形 $\triangle ABC$ 的面积 $S_{\triangle ABC} < S$, 则可以判断未知节点 N 在三角形 $\triangle ABC$ 外部; 若三角形 $\triangle ABC$ 的面积 $S_{\triangle ABC} = S$, 则未知节点 N 在三角形 $\triangle ABC$ 内部。

如上所述, 如果有 3 个及以上的锚节点参与定位, 则可根据上述算法原理找出满足条件的 m 个三角形^[15], 并求出它们的质心坐标, 如式 (19) 所示:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3}(x_{iA} + x_{iB} + x_{iC}) \\ \frac{1}{3}(y_{iA} + y_{iB} + y_{iC}) \end{bmatrix}, (i=1, 2, \dots, m) \quad (19)$$

式中, (x_{iA}, y_{iA}) , (x_{iB}, y_{iB}) , (x_{iC}, y_{iC}) 为上述 m 个三角形的顶点坐标。然后按照每 3 个点一组组成一个新的三角形集合, 若 m 不能被 3 整除, 则保留剩下的 2 个或 2 个质心坐标, 进入下一轮循环 (此时, 三角形集合中元素的个数为 $m\%3$), 再次对 $m\%3$ 个三角形重复以上操作, 最终得到 1 个或 2 个质心。当最后只有一个质心 (x_a, y_a) 保留时, 则将其作为待定位节点的位置估计 (X_N, Y_N) , 即:

$$\begin{cases} X_N = x_a \\ Y_N = y_a \end{cases} \quad (20)$$

否则取两个质心 (x_a, y_a) 和 (x_b, y_b) 的平均值作为位置估计, 即:

$$\begin{cases} X_N = \frac{1}{2}(x_a + x_b) \\ Y_N = \frac{1}{2}(y_a + y_b) \end{cases} \quad (21)$$

如果参与定位的邻居锚节点只有一个时, 则将

该锚节点的坐标 (x_c, y_c) 近似为未知节点的坐标 (X_N, Y_N) , 即:

$$\begin{cases} X_N = x_c \\ Y_N = y_c \end{cases} \quad (22)$$

否则采用 2.2 节中提出的几何方法对目标位置进行求解, 则坐标为:

$$\begin{cases} X_N = x_A + t \times \cos \beta - h \times \sin \beta \\ Y_N = y_A + t \times \sin \beta + h \times \cos \beta \end{cases} \quad (23)$$

3 仿真结果

采用 Matlab 进行仿真来验证算法的有效性, 设置实验条件如下: 在一个 $40\text{ m} \times 40\text{ m}$ 的平面区域内, 节点的通信半径为 25 m , 并且测量距离设定最大为 5% 的随机误差, 随机分布节点, 总共平均运行 40 次。当节点数量较小时, 传统 APIT 定位算法更容易产生 Out-To-In 或者 In-To-Out 问题, 而改进的方案主要用于减少上述所产生的问题, 因此锚节点数量不宜选的太多, 选择两组节点: 第 1 组锚节点为 15 个, 未知节点为 25 个; 第 2 组锚节点为 25 个, 未知节点为 35 个。

图 8 和图 9 分别给出了 2 组节点进行 40 次运算后所得到的定位相对误差对比曲线图。

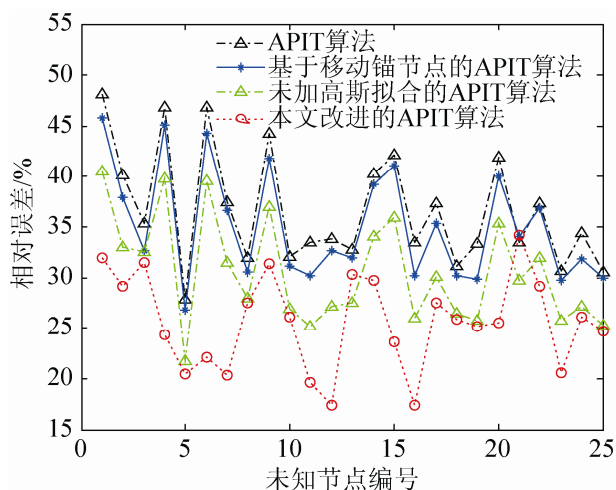


图 8 25 个未知节点的定位误差对比示意图

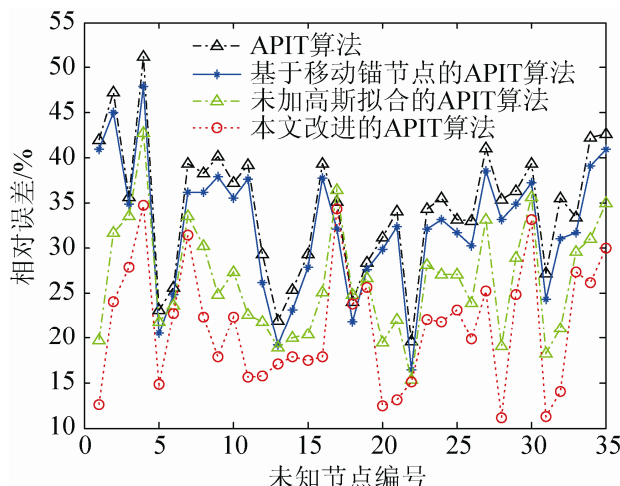


图 9 35 个未知节点的定位误差对比示意图

从图 8~9 中可以看出, 在节点密度不是很大的情况下, 在四种算法中, 传统的 APIT 算法求解得到的相对误差最大; 文献[5]中基于移动锚节点的 APIT 算法和本文改进的 APIT 算法相比, 本文的算法定位相对误差较小, 定位精度较高, 这是因为本文的算法进行定位时出现的误判次数较少, 并且合理地处理了失效节点。

综合图 8~9 不难看出, 未加高斯拟合的 APIT 算法和本文改进的算法相比, 未加高斯拟合的 APIT 算法效果较差, 这是 RSSI 测距受到很多因素的干扰而造成的。而本文改进的 APIT 定位算法虽然有些节点的相对误差还是较大, 但是比例降低, 相比传统的 APIT 定位算法和未加高斯拟合的 APIT 算法, 本文改进的 APIT 算法定位误差明显降低, 精度提高。

对上述 4 种算法进行定量分析, 对应的平均相对误差如表 1 所示。当使用 15 个锚节点和 25 个未知节点来进行定位时, 以上四种算法的平均相对误差分别为 36.68% , 35.03% , 30.53% 和 25.66% ; 当锚节点和未知节点的数目分别增加到 25 个和 35 个时, 其对应的平均相对误差分别为 34.04% , 32.09% , 26.30% 和 21.34% 。根据对比分析可知, 随着锚节点个数的增多, 传统 APIT 算法、基于移动锚节点的 APIT 算法、未加高斯拟合的 APIT 算法以及本文提出的改进算法, 其平均相对误差均会

减小, 定位性能得到改善。从表 1 中又可知, 当定位锚节点为 15 个时, 改进 APIT 算法的平均相对误差为 25.66%, 而基于移动锚节点的 APIT 算法和本文未加高斯拟合的 APIT 算法使用 25 个锚节点来进行定位, 其定位误差为分别为 32.09% 和 26.30%。本文改进算法在定位锚节点较少的情况下定位精度反而比使用较多锚节点的基于移动锚节点的 APIT 算法和本文未加高斯拟合处理的 APIT 算法高, 这是因为本文算法减少了误判的次数、处理了节点失效的问题以及运用高斯拟合处理一些不合理的数据从而降低了测距误差。

表 2 给出了未知节点在 APIT 算法、基于移动

锚节点的 APIT 算法、未加高斯拟合的 APIT 算法和改进的 APIT 算法求解后得到的平均误判次数统计结果, 从表 2 可以看出, 当定位锚节点为 15 个时, 本文改进 APIT 算法的平均误判次数为 12, 而基于移动锚节点的 APIT 算法和未加高斯拟合的 APIT 算法使用 25 个锚节点进行定位时平均误判次数分别为 17 和 13, 平均误判次数分别减少了 5 和 1。表 3 给出了上述四种算法的综合性能比较, 从表 3 可以看出本文算法在快速性稍微变慢的基础上大大提高了定位精度。综上可知本文改进的 APIT 算法在快速性略慢的情况下, 提高精度的同时减少了锚节点使用数目, 节约了成本。

表 1 未知节点定位平均相对误差统计表

平均相对误差%	APIT 算法	基于移动锚节点的 APIT 算法	未加高斯拟合的 APIT 算法	本文改进的 APIT 算法
图 8	36.68	35.03	30.53	25.66
图 9	34.04	32.09	26.30	21.34

表 2 未知节点定位平均误判次数统计表

平均误判次数/40 次	APIT 算法	基于移动锚节点的 APIT 算法	未加高斯拟合的 APIT 算法	本文改进的 APIT 算法
图 8	26	19	15	12
图 9	23	17	13	9

表 3 4 种算法的综合比较

评价性能	APIT 算法	基于移动锚节点的 APIT 算法	未加高斯拟合的 APIT 算法	本文改进的 APIT 算法
定位精度	低	一般	略高	高
快速性	快	一般	略慢	略慢

4 结论

本文首先介绍了当前无线传感器网络定位算法中的 APIT 定位算法, 以及此算法存在的 Out-To-In 或者 In-To-Out 误判的缺点。针对这些缺点, 提出了基于无线传感器网络的改进 APIT 算法, 该算法利用一种基于方向搜索的移动节点, 结合 RSSI 高斯拟合测距处理方法, 减少误判次数的同时提高了定位精度。传统的 APIT 算法中, 用于定位的节点数量较少时, 会出现较多的误判次数, 为了减少误判, 就需要增加节点数量, 这样会增加整个网络的能耗, 而改进算法不需要太多的锚节点, 因此解决了网络能耗大的问题。然而本文提出的算

法存在占用存储空间大、运算时间较长的问题, 如何减少计算量、降低复杂度将是今后研究的重点。

参考文献:

- [1] Fortino G, Bal M, Li W F. Collaborative Wireless Sensor Networks: Architectures, Algorithms and Applications [J]. Science (S1566-2535), Information Fusion, 2015, 22: 1-2.
- [2] 罗炬锋, 付耀先, 王营冠. 基于 RSSI 测距的 WLS 定位算法 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(11): 34-38.
- [3] Han G J, Chao J, Zhang C Y. The impacts of mobility models on DV-hop based localization in Mobile Wireless Sensor Networks [J]. Science (S1084-8045), Journal of Network & Computer Applications, 2014, 42(4): 70-79.

