

改进内测点测试算法在无线传感网络中的定位研究

龚健

(广州铁路职业技术学院, 广州 510430)

摘要: 在无线传感网络定位算法中, 三角形内测点测试 APIT 算法和最佳三角内测点 PIT 算法受节点密度影响较大, 在特定情况下会出现 In-To-Out Error 和 Out-To-In Error 错误, 导致目的节点实际坐标往往与三角重叠区域质心位置相差较远, 影响定位精度; 新算法提出利用内测点三角成形面积有效检测和避免上述两类错误, 并在重叠区域采取指纹分布概率以投票方式计算目的节点坐标; 仿真实验证明, 新算法受节点密度影响较小, 拥有更高的定位精度和准确性。

关键词: 三角形内测点测试; In-To-Out Error; Out-To-In Error; RSSI

Research on The Localization of Improved Triangle Measured Point Test Algorithm in Wireless Sensor Networks

Gong jian

(Guangzhou Institute of Railway Technology, Guangzhou 510430, China)

Abstract: In wireless sensor network localization algorithm, the triangular test APIT algorithm and optimal triangulation measured point PIT algorithm are influenced by the density of nodes, and can lead to error Out-To-In and error In-To-Out. When these two types errors occur, the coordinates of node are often different from the centric of the triangle. New algorithm put forwards use the triangular area to avoid these two kinds of errors, and calculation fingerprint distribution probability in overlapping area to locate nodes. Finally, simulation show that the new algorithm can avoid the above two kinds of errors effectively and has higher positioning accuracy.

Keywords: triangle interior point test; In-To-Out error; Out-To-In error; RSSI

0 引言

无线传感器网络定位算法分为基于测距和无需测距算法两类^[1-2]。三角形内测点测试 APIT 算法属于无需测距算法, 与同类基于跳数的 DV-Hop 算法、凸规划定位算法、改进跳数测距的 Amorphous 算法和最佳三角内测点 PIT 算法相比, 在同等条件下其定位精度较高, 对节点分布密度依赖性较小, 满足低开销、低能耗工程需求, 在无线传感网络定位中应用最广。

APIT 算法在定位过程中, 网络中各节点周期性广播自身位置坐标信息。目的锚节点根据接收信号强度计算彼此之间的距离和位置, 以此判断该节点是否在其他节点组成的三角形内。设集合有 n 个节点, 则存在 C_n^3 种选取方式组成不同的三角形, 穷尽所有组合并逐一测试是否位于每个三角形内部, 找出满足条件的所有三角形并利用网格扫描方法计算重叠区域质心, 从而定位目的节点。网格扫描方式见图 1。

APIT 算法定位精度依赖于节点密度, 节点越多, 定位精度越高, 当邻近节点较疏或不能组成三角形时容易产生较大误差, 这是由于算法的 In-To-Out 和 Out-To-In 两种计算错误造成的^[3]。

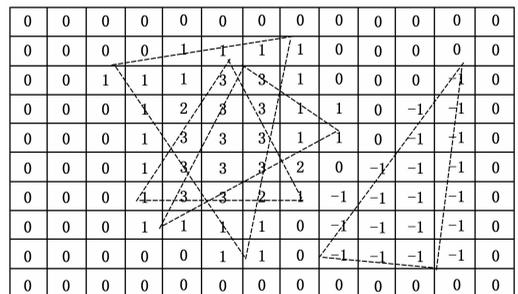


图 1 APIT 定位算法

1 In-To-Out Error 和 Out-To-In Error

1.1 In-To-Out Error

目的节点 M 和相邻节点 1、2、3 都处于 $\triangle ABC$ 内部, 节点 3 在 $\triangle ABC$ 外部并且与节点 1、2、3 的距离大于节点 M 的距离时, APIT 根据算法会误将 M 判为在 $\triangle ABC$ 外部, 导致 In-To-Out Error, 又称为边界效应见图 2。

1.2 Out-To-In Error

目的节点 M 和相邻节点 1、2、3 都处于 $\triangle ABC$ 外部, 其中节点 2、4 较目的节点 M 更靠近三角形的边 AB , 此时节点 2 接收到来自 A 的信号强度和节点 4 接收到来自 B 、 C 的信号强度都高于其他节点, APIT 根据算法会误将 M 判为在 $\triangle ABC$ 内部, 导致 Out-To-In Error, 见图 3。

In-To-Out Error 和 Out-To-In Error 两种错误是由于节点分布不均造成的。APIT 遍历找出所有三角形的重叠区域, 当

收稿日期: 2015-11-08; 修回日期: 2016-01-04。

基金项目: 中国高等教育学会 2011 年教育科学研究年度专项课题。

作者简介: 龚健(1968-), 男, 硕士研究生, 讲师, 主要从事计算机应用和高等职业教育研究。

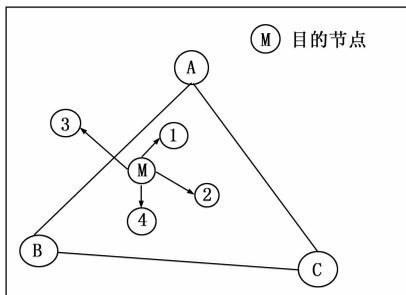


图 2 In-To-Out Error

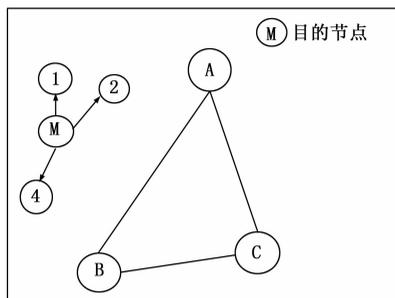


图 3 Out-To-In Error

目的节点距离重叠区域质心较远时，算法只能在有限方向上进行判断，产生两类错误，导致较大定位误差^[4-5]。因此，如何发现和避免 In-To-Out Error 和 Out-To-In Error 两类错误是提高 APIT 定位精度的有效方式，也是目前亟待解决的问题^[6-7]。

2 新算法设计

新算法利用内测点三角成形面积判断内测点所处 $\triangle ABC$ 的位置，以此发现上述两类错误的产生。当新算法对每个三角内测点位置判断和 APIT 算法不同时，即判为发生 In-To-Out Error 和 Out-To-In Error。此时若仍简单的利用网格扫描计算重叠区域质心位置必会产生较大误差^[8-9]。新算法采用在三角重叠区域基于指纹分布概率对重叠区域网格进行投票，以此估算目的节点坐标。

2.1 内测点位置的判断

目的节点 M 与 A, B, C 可组成 3 个三角形 $\triangle AMC, \triangle BMC$ 和 $\triangle AMB$ 。若面积 $S_{\triangle AMC} + S_{\triangle BMC} + S_{\triangle AMB} = S_{\triangle ABC}$ ，则即可判断 M 在 $\triangle ABC$ 内部，反之，若 $S_{\triangle AMC} + S_{\triangle BMC} + S_{\triangle AMB} > S_{\triangle ABC}$ ，则 M 在 $\triangle ABC$ 外部，见图 4 所示，以此发现 APIT 算法中可能出现的两类错误。

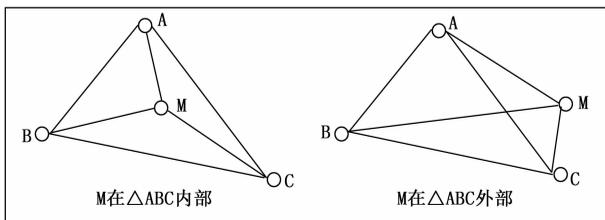


图 4 内测点位置判断示意图

2.2 基于指纹分布概率的投票方式

第一步：根据 RSSI 接收信号强度初始化 RADAR 损耗模

型公式为：

$$RSSI(dbm) = \begin{cases} RSSI(d_0) + 20lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + \sum WAF, & d \leq d_f \\ RSSI(d_0) + 10n_A lg\left(\frac{d}{d_r}\right) + 20lg\left(\frac{d_r d}{d_0}\right) + \sum WAF, & d \leq d_r \end{cases} \quad (1)$$

第二步：以三角重叠区域质心 $O (X_o, Y_o)$ 为中心，建立直角坐标系，然后在 $\left\{ \frac{(x,y)}{|x-x_o|} < 2R, \frac{(x,y)}{|y-y_o|} < 2R \right\}$ 范围内进行网格划分以及初始化。

第三步：根据 RADAR 损耗模型建立重叠区域位置指纹强度概率，建立概率分布直方图。如第 i 个网格接收到第 k 个节点的概率直方图为 HR_{SS_i} ，见图 5。

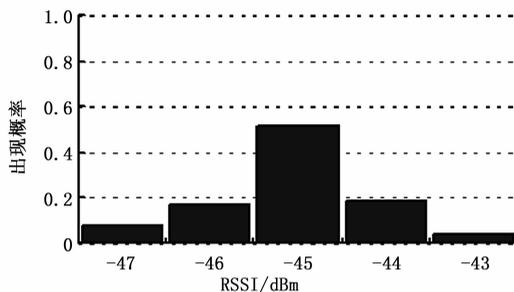


图 5 概率分布直方图

定义 C 为第 n 个样本测量次数， P_{ck} 是每个样本接收到邻居节点指纹为 R_{SSck} 的概率，则 P_{ck} 概率为：

$$P_{ck} = \frac{Count(RSS_{ck})}{C} \quad (2)$$

其中 $Count(RSS_{ck})$ 是同一样本测量 C 次后的信号强度值为 $R_{SS_{ck}}$ 的出现次数。

第四步：设当前网格坐标为 L_{xy} ，信号强度为 RSS_{xy} ，根据贝叶斯公式有：

$$P(L_{xy} | R_{SS_{xy}}) = \frac{P(L_{xy})P(R_{SS_{xy}} | L_{xy})}{\sum_{n=1}^m P(L_k)P(R_{SS_{xy}} | L_n)} \quad (3)$$

其中： $P(L_{xy})$ 在网格 i 内均匀分布。

由于无线传感网络中的锚节点信号相互独立，对于网络中每个节点存在以下关系：

$$P(R_{SS_i} | L_n) = P((R_{SSi_1}, R_{SSi_2}, \dots, R_{SSi_j}) | L_n) = \prod_{k=1}^G P(R_{SS_{ik}} | L_n) \quad (4)$$

则 $P(R_{SS_i} | L_n)$ 在网格 i 信号强度向量为 R_{SS_i} 的条件概率，其值为：

$$P(R_{SS_i} | L_n) = P((R_{SSi_1}, R_{SSi_2}, \dots, R_{SSi_n}) | L_n) \quad (5)$$

第五步：在三角重叠区域网格内根据 $P(R_{SS_i} | L_n)$ 概率进行投票。投票过程所有节点具有相同权重，若节点在网格 $P(R_{SS_i} | L_n)$ 概率有效覆盖范围内，则对其投票，格子票数越多，则越多三角形认可目的节点位置，得票最多的网格颜色最深，该网格即为目的节点位置，见图 6。

2.3 定位偏差

设 $l(x_1, y_1)$ 为三角重叠区域 A 内任意一点， $l(x_1, y_1) \in A$ ，

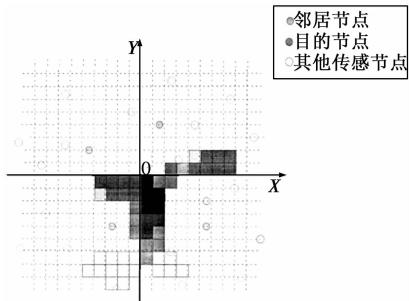


图 6 区域投票定位图

$j(x_2, y_2)$ 为新算法计算的节点位置，定位偏差为：

$$E(D) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (6)$$

则重叠区域 A 上的定位偏差满足公式：

$$E = \frac{1}{|A|} \int_A E(D) d_i \quad (7)$$

3 仿真测试

3.1 测试环境

仿真环境采用基于网格节点放置模型，节点在 100×100 区域内随机分布，其中节点数量 50，目的锚节点数 10，节点通信半径 20，利用 MATLAB7.0 软件对两种算法仿真比较。为减少节点随机分布导致的误差，所有结果均为在同等参数下仿真 20 次的平均值。

3.2 定位偏差测试

如图 7 所示，3 种算法定位偏差都随测距距离增加而加大。其中 PIT 算法定位偏差最大，APIT 次之，这两种算法造成偏差的主要原因是受节点密度影响较大，节点分布不均会产生部分内测点测试失败的问题，导致 In-To-Out Error 和 Out-To-In Error。内测点测试失败，目的节点实际位置必定和三角重叠区域质心相差较远，此时求其质心以计算节点坐标已无太大意义。新算法偏差最小，这是由于新算法利用内测点三角成形面积有效发现上述两类错误的发生，并在重叠区域采取指纹分布概率以投票方式计算目的节点坐标，定位结果最为精准。

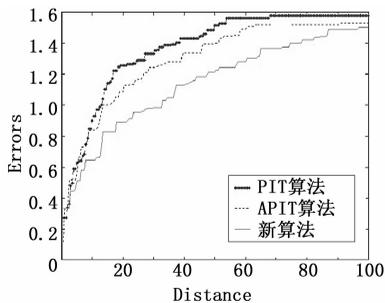


图 7 定位偏差图

3.3 节点密度对算法的影响

目前，几乎所有的定位算法都存在一个共性：定位偏差随节点密度增大而减小。在图 8 中，PIT 和 APIT 算法的 In-To-Out Error 和 Out-To-In Error 受节点密度影响较大，当节点较

为稀疏时偏差较大。但随着节点密度的增加，区域内达 15 个节点以上时，三角形内测点测试可以参考更多的成形三角形加以参考，误判率明显降低，偏差都在 3 米以下。而新算法能有效避免两类错误的发生，在同样 15 个节点情况下，误差保持在 1 米以内。

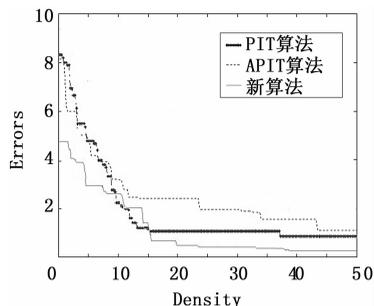


图 8 节点密度对误差的影响

4 结束语

新算法利用内测点三角成形面积有效发现和避免 In-To-Out Error 和 Out-To-In Error 两类错误的产生，并在三角重叠区域采取指纹分布概率以网格投票方式估算目的节点坐标，受节点密度影响较小，算法更为科学。下一步工作将着眼于改进传统 RADAR 损耗模型以修正指纹概率分布，进一步提高算法定位的精准度。

参考文献：

- [1] 唐明虎, 张长宏, 管凤彪. 无线传感器网络 APIT 定位算法 [J]. 微型机与应用, 2010 (21): 114-120.
- [2] 周四清, 陈锐标. 无线传感器网络 APIT 定位算法及其改进 [J]. 计算机工程, 2009 (7): 275-279.
- [3] 徐云剑, 郭艾寅. 基于 APIT 的三维移动代理路由算法研究 [J]. 计算机应用研究, 2010 (6): 142-146.
- [4] 韩彪, 徐昌彪, 袁海, 等. 无线传感器网络中一种改进的 APIT 定位算法 [J]. 计算机工程与应用, 2008 (04): 23-28.
- [5] He T, Huang C D, Blumb M. Range-free localization schemes for large scale sensor networks [A]. Proc of the 9th Annual International MobiCom [C]. 2013, 22 (14): 163-170.
- [6] Ganeriwal S, Kumar R, Srivastava M B. Timing-Sync Protocol for Sensor Network [A]. Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems [C]. 2013, 16 (6): 328-332.
- [7] Agrawal P, Ghosh R K, Das S K. Localization of wireless sensor nodes using proximity information [A]. Proc of the 16th Int Conf on Computer Communications and Networks (ICCCN2007) [C]. 2007, 19 (7): 1232-1240.
- [8] Niewiadomska-Szynkiewicz E, Marks. Optimization Schemes for Wireless Sensor Networks Localization [J]. Int. J. Appl. Math. Comput. Sci. 2009, 4 (2): 398-403.
- [9] Lazos L, Poovendran R. HiRLoc: High-Resolution robust localization for wireless sensor networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2006, 15 (4): 1896-1911.

是德科技使用 UXM、高通骁龙™ X16 LTE 芯片组展示千兆级 LTE-A 下载速度

千兆级 4 G LTE 开启 5 G 增强移动宽带时代

2016 年 4 月 15 日, 是德科技公司 (NYSE: KEYS) 近日宣布, 通过使用 E7515A UXM 无线测试仪和高通的骁龙 X16 LTE 芯片组, 成功验证了 1 Gbps IP 数据吞吐量。骁龙 X16 LTE 芯片组是高通最新的 LTE 调制解调芯片组。这一成就有力地展示了网络仿真仪表中实现 LTE-A category 16 (Cat16) 千兆级 IP 数据吞吐量的测试能力, 并在巴塞罗那举办的全球移动通信大会上进行了演示。

是德科技和高通技术公司联手, 利用三个子载波聚合 (3CC)、4×4 下行链路 MIMO 和 256 QAM 调制, 实现了稳定的 1 Gbps IP 数据下载速率。

高通技术公司产品管理部门高级总监 Francesco Grilli 表示: “在移动设备上实现千兆级 LTE 数据速率是 LTE 演进的下一个阶段。高通技术公司与是德科技紧密合作, 如今已经让这一愿景变为现实。我们希望能够与是德科技继续合作, 共同推动移动技术的进步和创新。”

是德科技无线设备和运营商事业部总经理 Satish Dhasekaran 表示: “我们很高兴能与高通技术公司合作, 共同创造了这一重要的里程碑。是德科技致力于与当今无线领域的优秀厂商合作, 更快为市场提供先进的测试方案, 例如千兆级 LTE 数据速率测试。”

UXM 作为品质卓越的台式综测仪是业界首个支持五个子载波 (5CC) 聚合的解决方案, 此外通过四个子载波 (4CC) 聚合外加 4×4 下行链路 MIMO, 次仪表支持的数据吞吐量可以高达 1.6 Gbps。除了更高的数据吞吐速率之外, UXM 还支持 8×2 和 8×4 下行链路 MIMO, 单表 (两个频段) 中可容纳最多 4 个子载波, 并且提供内置 iPerf 网络吞吐量工具, 因而能够进一步增强移动终端的性能验证能力。

是德科技发布 E 波段信号分析仪参考解决方案, 实现全面的多通道毫米波测试

低价位多通道毫米波测试解决方案助力工程师更快、更高效地开发新技术

2016 年 4 月 26 日, 是德科技公司 (NYSE: KEYS) 日前发布了一款 E 波段信号分析参考解决方案, 针对 60~90 GHz 范围内的应用提供低成本的毫米波分析能力。该参考解决方案以采用 10-bit ADC 的 Infiniium S 系列示波器为基础设计, 提供 2.5 GHz 分析带宽的高保真毫米波段测试能力。

E 波段信号分析参考解决方案提供强大的测试平台, 对使用毫米波频率的新兴通信标准进行分析。双通道支持多通道器件的测试、不同的天线同步极化以及信道测试。

参考解决方案既包括硬件仪器也包括分析控制软件。N8838A 外部混频器辅助软件使 S 系列 10-bit 示波器能控制 N5183B MXG X 系列微波信号发生器和 M1971E 波导智能混频器。而借助 89601B 矢量信号分析软件, 工程师能针对复杂信号分析进行富有洞察力的测量, 从而更加方便对 E 波段信

号进行精确且经过校准的测量。

是德科技推出增强型 FFT 应用的 12 位 PCIe 高速数据采集卡

直流至高达 1.4 GHz 带宽, 谱线分辨率为 97 kHz

2016 年 4 月 29 日, 是德科技公司 (NYSE: KEYS) 日前推出经过增强的 FFT 选件版本, 现已在 U5303A PCIe 12 位高速数据采集卡上提供。这个板卡拥有两个通道和从 1 GS/s 到 3.2 GS/s 的采样率。

此卡专为需要进行频域信号处理的天文学、物理学应用和环境测量而设计, 使测试人员能够观察到以前的仪器无法观测到的现象, 无论是线性度、动态范围还是无杂散动态范围 (SFDR) 测量都得到了显著改善。此选件能够以最大采样率执行持续的实时 FFT, 还支持频谱累积功能, 这也是射电天文学应用的一项关键要求。

凭借直流至高达 2 GHz 的带宽, 此板卡使用户能够转换大约 0 Hz 的低频, 而以前使用交流前端是无法观测到这一点的; 此外, 交流耦合会引入 BF 噪声, 而直流耦合能够保证测量保真度。通过将分辨率从 8 位提升至 12 位, 此选件可为单通道或双通道提供 32K 点的 FFT 计算。得益于其低噪声功能, 此卡使用户能够观测到此前难以观测到的现象, 例如太阳爆发中的倾斜光栅。此外, 在可控环境下, 该应用可在海拔 15 000 英尺的高度运行。

新 FFT 版本的主要特性包括:

- 1) 可动态选择单通道和双通道模式;
- 2) 高速 FFT 可以 3.2 GS/s 的采样率, 在 10.24 μ s 内完成 32, 768 个数据值的计算;
- 3) 输入带宽在 3.2 GS/s 采样率时高达 1.4 GHz, 谱线分辨率为 97.66 kHz;
- 4) 高度完善的定点算法可消除恶化效果。主要的先进功能包括: 1) 采用全幅度和相位误差校正, 对 I/Q 混频器进行边带分离;
- 2) 大量累积: 大于 1 000 000 个功率谱;
- 3) 在累积过程中无静寂时间;
- 4) 支持滤波器组扩展以实现优异的通道隔离, 并且无任何缺点。瑞士苏黎世联邦理工学院天文学研究所的射电工程师 C. Monstein 表示, “凭借其非凡的动态范围, 这个新型快速傅立叶变换版本能够在干扰非常严重的环境下提供灵敏的观测性能。凭借 12 位分辨率, 该卡支持在 -30 dBm 的干扰频谱中观察 -110 dBm 的信号。即使在信号非常强的 FM 频带上, 我们仍然能够看到太阳射电爆发结构, 并且无交调或镜像, 这在苏黎世联邦理工学院之前使用的其他仪器上是无法做到的, 例如 Phoenix-generations、Argos、Callisto 等。是德科技将继续与该研究所协作, 不断进行技术改进。”

助推 5 G 加速发展 — NI 携最新通信系统设计解决方案亮相 2016 电子设计创新会议

2016 年 4 月 19 日, 美国国家仪器有限公司 (national instruments, 简称 NI) 亮相 2016 第四届电子设计创新会议 (EDI CON), 这是 NI 连续第四年参与该行业盛会, 带来多项