

WSNs 中一种新颖的模糊识别定位技术研究

朱 剑, 赵 海, 徐久强, 李大舟

(医学影像计算教育部重点实验室(东北大学), 辽宁沈阳 110004)

摘 要: 针对 WSNs 中定位技术存在的不足, 提出了一种新颖的基于模糊识别的定位模型. 在该模型中, 定位空间被一些样本点划分为若干个小区域, 每一个样本点唯一地对应一个信号向量, 通过计算未知点对应的信号向量与各个样本点对应向量的贴进度可以最终地确定未知点的坐标. 该定位模型采用射频信号进行定位, 不但避免了现有模型的误差叠加, 提高了定位精度, 而且避免了高计算复杂度与多参考点需求. 基于 NS-2 的仿真结果表明该定位模型在具有较高的性能与较强的实用性.

关键词: 无线传感器网络; 定位模型; range-free; 模糊识别; 样本点

中图分类号: TP302.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 08-1845-07

Research on a Novel Fuzzy Theory Based Localization Model in WSNs

ZHU Jian, ZHAO Hai, XU Jiu-qiang, LI Da-zhou

(Key Laboratory of Medical Image Computing, Ministry of Education (Northeastern University), Shenyang, Liaoning 110004, China)

Abstract: Aiming at the shortages of localization model in WSNs, a novel localization model based fuzzy recognition is advanced. In this model, a location space is divided into several small areas by some swatch nodes; every swatch node has its unique signal vector. An unknown node's position can be calculated out by accounting the approach degree between swatch node's signal vector and unknown node's. This model adopts the RF signal as the foundation of localization; it can not only avoid the overlapped error in range-based localization model, but also can avoid the high complexity and the requirement of larger number reference nodes. The result of experiments in NS-2 shows that, this model has a high performance and is more suitable for applications in WSNs.

Key words: wireless sensor networks; localization model; range-free; fuzzy recognition; swatch node

1 引言

位置信息是无线传感器网络在实际应用中必不可少的一个部分, 在过去的几年内许多研究围绕着无线传感器网络定位问题而展开^[1~6], 这些定位技术中存在着精度与计算复杂度之间的权衡, 例如 SBL 定位技术的计算复杂度非常高, 一般为 $O(n^m)$ 其中 m 为参与定位的参考点数量, 这样的计算量会造成较大的延迟与能耗, 在资源受限的无线传感器网络中是不允许的; 微软的 RADAR 算法简单的将定位空间分为数个网格, 虽然计算量减少, 但是精度难以达到无线传感器网络的应用要求; FingerPrinting-based 技术需要大量的预处理, 灵活性较差, 且计算复杂度高; 较为流行的质心定位算法 Three Centroid 对网络布局有严格的要求, 且存在较大定位误差; 一些其他定位技术需要额外的硬件支持, 不但成本高, 而且能耗也较高. 为此本文提出一种基于模糊识别的定位模型 (fuzzy triangle location model, FTLM), 它在计

算复杂度与定位精度之间较好地做了折中考虑, 提高了定位性能.

当一个未知点需要被定位时, 它会向周围最近的三个不共线参考点 A 、 B 、 C 发送请求, 参考点收到请求后会向该未知点发送信号 (可以是超声波、红外线、电磁波等); 由于超声波、红外线等具有方向性故难以应用于大尺度的网络定位中, 电磁波是全方位扩散, 且无需硬件成本, 所以本文以电磁波为例, 未知点将记录下三个参考点发出的信号到未知点时的信号强度指示 $RSSI$ ^[7], 并形成一组向量 $\{RSSI_A, RSSI_B, RSSI_C\}$. 由于样本点坐标是已知的, 所以每个样本点与三个参考点之间的距离也是已知, 通过电磁波的衰减模型^[8] (例如自由空间模型、Shadowing 模型等) 可以计算出每个样本点相对于三个参考点的 $RSSI$ 值. 利用模糊识别模型贴进度计算公式可以计算未知点与各个样本点的贴进度, 选择贴进度最大的前 k 个点围成区域, 则该区域的质心即为未知点坐标.

2 定位区域内的 RSSI 向量

在三维空间中,知道了定位点到四个参考点的距离,就可以确定该点的坐标,这一点与全球定位系统(GPS)的基本原理一样^[9],在无线传感器网络中,坐标系大多是二维空间,故为了简化实验,本文主要针对 2D 空间展开研究的.在一个 2D 空间内,定位一个未知点最少需要三个非共线的参考点,本文抽取了三参考点组成的最小定位单元作为描述对象,如图 1,大尺度的网络定位可以由若干个定位单元组成.

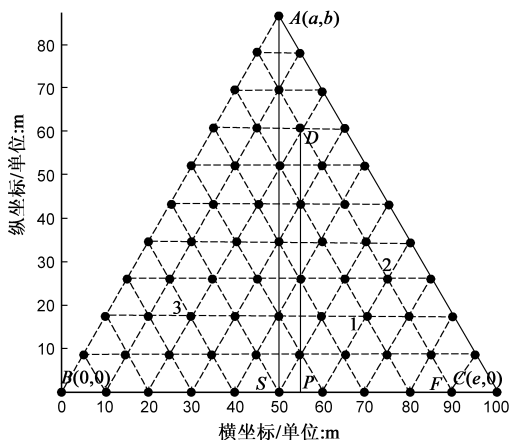


图1 最小定位单元示意图

图 1 中的 A 、 B 、 C 为三个参考点,这三个参考点互相覆盖,形成了一个区域,本文以三角形区域为例,当未知点在该三角形区域内时,则可以通过相关计算得出未知点的坐标.将图 1 中的三角形三边长均匀地分为 N 段,平行地连接各个等分点,则可以将一个定位单元划分为 N^2 块小三角形,每小块的面积均相等,每三条线段将形成一个交点,本文称这类可通过参考点坐标计算出自身坐标的交点为样本点(包括参考点 A 、 B 、 C),如图 1 中类似于 1、2、3 号点的圆点均为样本点.为了方便计算,本文建立坐标系时,以 B 点为原点, BC 边为横轴建立坐标系, A 点坐标为 (a, b) , C 点坐标为 $(e, 0)$,因此三角形内的各个样本点坐标可以求出,如 $D(x, y)$ 点坐标求解过程如下:

过 A 点做 $AS \perp BC$,交 BC 于 S 点,过 D 点做 $DP \perp BC$,交 BC 于 P 点,不难看出 $\triangle ASC \sim \triangle DPF$,由相似三角形性质可知:

$$\frac{AS}{DP} = \frac{AC}{DF} \Rightarrow \frac{b}{y} = \frac{AC}{\frac{7}{10}AC} \Rightarrow y = \frac{7}{10}b \quad (1)$$

同理可计算出:

$$x = \frac{7}{10}a + \frac{1}{5}e \quad (2)$$

只要已知三个参考点的坐标,则其内的任一样本点坐标 (x, y) 均可以求得,所以该样本点到三角形三个

顶点 A 、 B 、 C 的距离 D_1 、 D_2 、 D_3 也可以通过公式(3)计算出.

$$D_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (3)$$

$RSSI$ 对距离的衰减可以根据不同的环境选择不同的衰减模型 $f(D_i)$,通过衰减模型可以计算出各个样本点对应于三个参考点的 $RSSI$ 向量 $\mathbf{R} = \{rssi_A, rssi_B, rssi_C\}$, $rssi_A$ 、 $rssi_B$ 、 $rssi_C$ 分别表示样本点处应该接收到参考点 A 、 B 、 C 发出的信号强度值,由于衰减模型的参数难以选择,所以这三个信号强度值可能存在误差,从而会影响 FTLM 模型的性能,具体影响将在下文分析.同理,当未知点需要被定位时,可以通知参考点向其发送信号,按照上述步骤,在未知点上可以形成一个未知点对应于三个参考点的 $RSSI$ 向量.

一些定位算法,如 LSE 采用 $RSSI$ 值来计算距离,并以该距离组成多元方程组来估算未知点的坐标.这种做法存在局限性,当 $RSSI$ 测试值误差较大时,在求解距离时,将会产生较大误差,继续以含有误差的距离作为已知条件组成方程组估算未知点坐标将会出现误差迭代,从而将最终误差放大;此外,在求解方程组时会引入大量计算,不但对延迟有影响,而且会造成较高的能耗.

推论 1 理想环境下,在一个最小定位单元的覆盖区域内,某个点对应于三个参考点所形成的 $RSSI$ 向量唯一地对应于该点坐标.

证明 由于在一个距离点上对应于一个 $RSSI$ 值,所以上述推论等价于以下命题:在一个三角形内,某个未知点到三个顶点的距离唯一地对应于该点坐标.以图 1 为例,已知三顶点坐标 A 、 B 、 C 的坐标分别为 (a, b) 、 $(0, 0)$ 、 $(e, 0)$,且已知 D 点到三个参考点的距离 DA 、 DB 、 DC 的长度分别为 L_1 、 L_2 、 L_3 ,求证 D 点的坐标 (x, y) 唯一.

由几何相关定理可以列出如下方程:

$$\begin{cases} L_1^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2 \\ L_2^2 = x^2 + y^2 \\ L_3^2 = (x - e)^2 + y^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} L_1^2 = L_2^2 - 2ax - 2by + a^2 + b^2 \\ L_3^2 = L_2^2 - 2ex + e^2 \end{cases} \quad (4)$$

式(4)是一个关于 x 、 y 的二元一次方程组,对应一个唯一解 (x, y) ,所以只要 L_1 、 L_2 、 L_3 唯一,则 D 点的坐标唯一,所以推论 1 正确.因此在一个定位单元内,不同样本点对应于三个参考点所形成的 $RSSI$ 向量均不相同.将未知点信号向量与各个样本点信号向量的贴进度按从大到小的顺序进行排序,将得到贴进度序列 $S_N = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$, N 为样本点个数, s_N 为未知点与 N 号样本点的贴进度.

3 FTLM 模型的提出

本节主要介绍了如何运用未知点与样本点的信号向量对未知点进行定位,一个最小定位单元内的各个样本点对应的向量 \mathbf{R}_i 可以被确定,最终的向量表如下:

$$\tilde{\mathbf{R}} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{R}}_1 \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{R}}_i \\ \vdots \\ \tilde{\mathbf{R}}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & r_{i3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} \end{bmatrix} \quad (5)$$

r_{i1}, r_{i2}, r_{i3} 分别为 i 号样本点与三角形顶点 A, B, C 相对应的 $RSSI$ 值. 当一个未知点 s 获取了三个顶点的 $RSSI$ 值后,将得到一个采样向量 $\mathbf{R}_{si} = \{r_{s1}, r_{s2}, r_{s3}\}$,由模糊识别理论可以计算出 \mathbf{R}_{si} 与各个样本点的贴进度,计算过程如下:

首先对式(5)及未知点对应的 $RSSI$ 向量 $\mathbf{R}(x, y)$ 进行归一化:

$$\sum_{j=1}^3 r_{ij} = 1, (i = 1, 2, \dots, n), \quad \sum_{i=1}^3 r_{si} = 1$$

由三角形内点测试法 PIT 可知,三角形内的一点 S 向任意方向移动到新的一点 P 上时, S 点到三角形三个顶点的距离不可能全部增加或者全部减小. 因此对于定位单元内任意两个样本点 P, S 对应的 $RSSI$ 向量的三项不可能出现全部增加或者全部减小的情况,即不可能出现 $\mathbf{R}_{si} = k\mathbf{R}_{pi}, k$ 为实数. 因此由归一化公式可以得出:任意两个样本点对应的 $RSSI$ 向量归一化后不可能出现相同的情况,即归一化后的 $RSSI$ 向量仍然唯一地对应于定位单元内的一点.

然后用最大值、最小值贴进度公式计算贴进度:

$$(\tilde{\mathbf{R}}_i, \mathbf{R}_{si}) = \frac{\sum_{j=1}^3 (r_{ij} \wedge r_{sj})}{\sum_{j=1}^3 (r_{ij} \vee r_{sj})}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

最后,对 $(\tilde{\mathbf{R}}_i, \mathbf{R}_{si})$ 进行排序,得出贴进度序列 S_N , 取与 s 点贴进度最高的 N 个样本点所围成区域的质心为最终未知点坐标 (x, y) , 计算公式如下:

$$(\tilde{\mathbf{R}}_i, \mathbf{R}_{si}), (i = 1, 2, \dots, N) > \max\{(\tilde{\mathbf{R}}_i, \mathbf{R}_{si}), (i > N)\}$$

$$(x, y) = \left(\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}, \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_N}{N} \right) \quad (7)$$

式(7)表明,在 FTLM 模型中,最终的未知点坐标将被约束在与其贴进度最大的 N 个样本点所围成的区域内. 到此,传统的坐标求解问题被分解成一个空间约束问题与一个质心求解问题,通过计算最终的约束区域质心即可以得出未知点的坐标. 整个计算过程中没有

出现高次方程求解,只有一些简单的大小比较计算,计算复杂度为 $O(n)$, n 为参与计算的样本点个数.

4 FTLM 鲁棒性分析评价

FTLM 模型中,未知点至少要被 3 个参考点覆盖才可以被定位;当未知点被 3 个以上参考点覆盖时,FTLM 模型选择与未知点 $RSSI$ 值最大的三个参考点进行定位,这是由 $RSSI$ 的特性决定的.

为研究 $RSSI$ 特性,设计了实验:在空旷无干扰的区域使用 2 个 MicaZ 节点,发射节点 S 的功率设为 -15dBm ,改变接收节点 R 与 S 的距离,在每个距离点上 R 点采集 1000 次 $RSSI$ 值,并计算均值与标准差,将标准差与距离的关系显示于图 2 中.

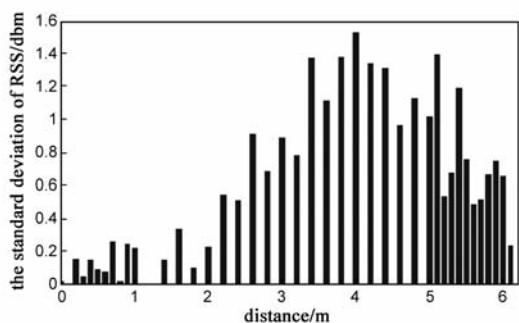


图2 $RSSI$ 标准差与距离的关系

从图 2 中可以看出,随着两节点距离的增加, $RSSI$ 的标准差将增加,即距离越远采集到得 $RSSI$ 出现的偏差越大,从而影响定位精度,故应该选择与未知点距离较近的参考点进行定位计算. 因为距离越近,则 $RSSI$ 值越大,所以当未知点被 3 个以上参考点覆盖时,选择 $RSSI$ 值最大的三个参考点进行定位. 在一些类似于 SBL、最大似然估计的定位算法中,所有能覆盖未知点的参考点均参与迭代计算,这是不合理的,因为这样做不但花费了太多能量、延迟、带宽,并且最终由于 $RSSI$ 的特性可能会导致定位精度降低. 为了研究 FTLM 算法的鲁棒性,本文举例如下.

例 1 在 NS-2 平台上进行简单仿真实验:在由参考点 A, B, C 构成的定位单元内,设置一个已知坐标点 E ,按照 FTLM 算法在该单元内设置 12 个样本点,如图 3(a)图所示.

当 $RSSI$ 值不存在任何干扰时,样本点与未知点的 $RSSI$ 向量将严格地与其坐标相对应,所以根据 FTLM 算法最终得出 E 点的 $RSSI$ 向量与样本点 1, 2, 3 贴进度最大,所以最终的定位结果为这三个样本点构成三角形的质心 P 点,此时误差为 6.144m . 当不存在任何干扰时,FTLM 算法仍然会有误差,这是因为样本点不可能设置成无穷个,因此在误差很小的环境中 FTLM 的精度不如基于三边测量的三角形定位算法. 图 3(b)中在 NS-2 中的 Shadowing 模型中引入一个具有较大方差的随机

数, 方差 σ 设为 3dBm, 使用 FTLM 模型对 E 点进行定位计算 1000 次, 最终的定位结果最大误差为 12.192m, 出现最大误差时 E 点的 RSSI 向量与 2、3、5 贴程度最大, 这是因为 E 点及样本点的 RSSI 向量与其坐标存在干扰, 因此使得定位结果相对图 3(a) 发生改变. 在图 3(b) 的基础上增加样本点个数, 如图 3(c) 所示, 方差 σ

仍为 3dBm, 使用 FTLM 模型对未知点定位 1000 次, 最终的定位结果最大误差为 8.3m, 出现最大误差时 E 点的 RSSI 向量与 2、6、7 贴程度最大, 可见, 随着样本点个数的增加, 在干扰不变的情况下最终的定位误差将会减少, 这主要是由 FTLM 的几何意义决定的, 由此可见, FTLM 算法具有鲁棒性.

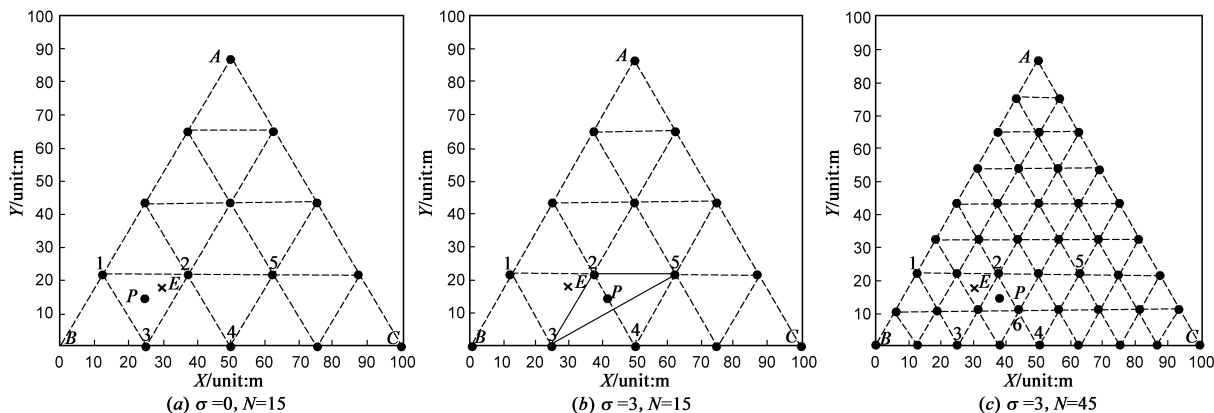


图3 定位误差与方差 σ 、样本点个数 N 的关系

FTLM 算法有鲁棒性的主要原因有如下几点:

- (1) 归一化在一定程度上可以消除一部分 RSSI 信号的干扰.
- (2) FTLM 模型采用模糊数学的思想, 用与未知点最贴近的三个样本点估计未知点的最终坐标.
- (3) 计算未知点 RSSI 向量时, 样本点坐标已知, 且对数正态阴影模型对外界干扰具有一定的鲁棒性.
- (4) FTLM 模型中的质心计算对计算误差具有一定的修正意义.

5 FTLM 性能评估

在这节里, 本文对 FTLM 算法性能进行了全面的评估. 首先分析了 FTLM 算法固有的误差来源与精度分布, 并在 NS-2 仿真平台上通过改变各种射频信号参数来研究 FTLM 的性能; 其次, 在定位领域选择了其它三种比较经典的定位模型进行了对比分析.

5.1 FTLM 误差特性分析

由上节分析可知, FTLM 模型的定位误差随着样本点的增加而减小; 计算复杂度随着样本点的增加而增加. 当 RSSI 信号不存在干扰时, FTLM 模型由于自身特点, 只有样本点数目被设置成无穷大时, 才能达到零误差; 而此时传统的三边测量算法却可以在较小计算复杂度的前提下达到零误差. 那当 RSSI 误差由 0 逐渐增加时, FTLM 模型与三边测量算法的误差会如何变化呢? 下面针对此问题, 做了一些测试与分析.

实验 1 在 NS-2 仿真环境下, 布置如图 3(a) 所示的三个参考点 A 、 B 、 O 与一个未知点 E . 分别设置 RSSI

的标准差 σ 为 0dBm、5dBm、10dBm、35dBm, 在每一个 σ 值上, 逐渐增加样本点个数, 并将样本点个数与定位精度均值的关系显示于图 4 中.

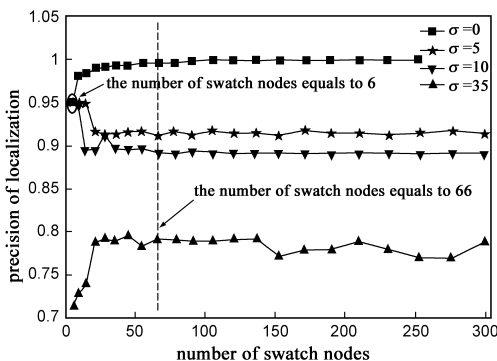


图4 FTLM 误差特性

图 4 中每一个点都是定位 500 次的精度均值, 从图中可以看出当外界干扰方差 $\sigma = 0$ 时, E 点的最终坐标被确定为图 3(a) 图的 P 点, 此时精度为 0.948, 对应传统的三边测量定位算法, 此时的定位精度应该为 1, 所以当不存在干扰时, FTLM 模型需要大量的样本点布置才能使得精度趋近于 1, 实际上, 当样本点数为 66 时, FTLM 模型的精度已经达到了 0.9959. 同时还可以看出, 无论方差多大, 每条曲线的一开始均有一些震荡, 随着样本点个数的增加, 精度逐渐平稳在某个范围上, 这是因为, 当样本点数目较少时, 样本点较稀疏, 由于 RSSI 误差的影响, 会导致最终的定位结果偏差较大; 当样本点数目增加到一定值时, 样本点较密集, 此时定位结果即使出现偏差, 偏差的程度也将缩小.

当 $\sigma = 5\text{dBm}$ 、 10dBm , 样本点数目为 6 时, 定位精度

与 $\sigma = 0\text{dBm}$ 时的定位精度相同, 均为 0.948, 这主要是由于外界的干扰程度并不足以使得与未知点拥有最大贴近度的三个点发生改变, 即虽然未知点与各个样本点的贴近度值均发生了改变, 但是最大的三个点没有发生变化, 所以按照这三个点得出的质心也没有发生变化, 这正是 FTLM 模型的一个特点, 在一定程度上提升了精度. 随着 E 点周围样本点的增加, 并且存在干扰, 所以会导致最终的定位结果发生改变, 最终稳定在某个范围上, 在最终的稳定范围上可以看出, 虽然精度仍然存在抖动, 但是幅度很小.

当 $\sigma = 35$ 时, 由于干扰较强烈, 所以当样本点数目为 6 时, 导致与未知点贴近度最大的前三个节点发生了改变, 从而出现较大误差, 影响了精度, 并且最终的稳定范围中, 抖动幅度也较大.

所以, FTLM 固有的误差来源是利用质心估算未知点的坐标, 但是随着样本点的增加, 质心将趋近于未知点, 最终定位精度将被稳定到一个范围上; 当存在 RSSI 干扰时, 最终稳定的精度并不会随着样本点的无限增加而达到 1. 这也是说, 其实没有必要设置过多的样本点, 如图 4 中, 当样本点达到 66 个时, 精度已经稳定, 继续增加样本点个数不但会增加计算量, 并且在精度上并无提升.

5.2 基于 FTLM 模型的定位精度分布

研究发现, 在一个定位单元内的各个坐标上, FTLM 最终的定位精度并不是恒定的, 它具有一定的分布特性, 为此本文设计了实验:

实验 2 在二维空间内放置参考点 A 、 B 、 O , RSSI 方差 $\sigma = 35\text{dBm}$, 在定位单元内均匀地放置 200 个未知点, FTLM 模型中, 样本点数为 66. 对每个未知点定位 500 次, 取均值, 并将最终的结果显示于图 5 中.

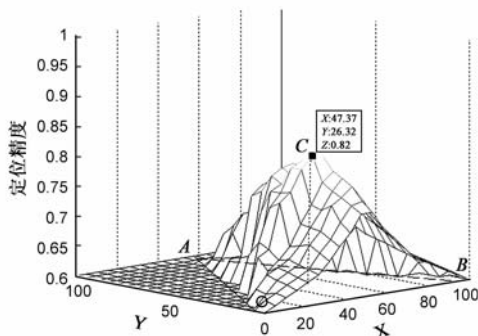


图 5 FTLM 模型精度分布

图 5 中可以看出位于 $\triangle ABO$ 中心的精度值较高, 而位于边缘的精度值较低, 这一规律与相关的研究结论相一致^[10], 主要由 2 方面因素影响的:

(1) 随着距离的增加, RSSI 值由于衰减, 将减小, 而 RSSI 干扰并没有减弱, 所以信噪比将会减小, 也就是说

噪声对信号的干扰能力变强了. 在计算贴近度时, 最终的定位结果受到的影响也将增加.

(2) 对于每一个未知点的定位过程其实是寻找与其贴近度最大的三个样本点. 由几何对称性可知, 当未知点在三个样本点构成的区域外时, 最终的质心与未知点的偏差必然较大; 当未知点被三个样本点包围时, 最终的质心与未知点的偏差较小.

5.3 性能对比分析

本文将 FTLM 模型与 SBL^[1]、三边测量法 Trilateration^[11,12]、质心算法 Three Centroid^[13,14]进行了对比.

(1) SBL: 锚节点广播定位请求数据包 REQ, 未知节点 s 可获得多个锚节点的坐标以及对应的 RSSI 值, 存入表中. 节点 s 根据接收到的 K 个不同锚节点信息, 把监测区域分成若干部分, 计算出整个网络各部分区域对应的序列号, 以及此小区域的中心点并存入 Seq-Table 表中. 最后, 对节点 s 对应 K 个锚节点的 RSSI 值大小进行排序, 计算出自己所在位置的序列号, 然后把它与 Seq-Table 表中的序列号进行对比, 查找此序列号对应的小区域的中心坐标, 配对后得出的小区域中心坐标即为未知节点 s 的估计坐标.

SBL 算法需要多个参考点参与计算, 一方面需要的代价较高, 另一方面, 计算复杂度较大.

(2) 三边测量法: 不在一条线上的三个锚节点向未知点发送数据包, 未知点通过接收到的 RSSI 值计算出锚节点与自身的三段距离 L_1 、 L_2 、 L_3 , 假设为直接点坐标为 (x, y) , 三个锚节点的坐标分别为 (a, b) 、 (c, d) 、 (e, f) , 则可以列举方程组进行计算坐标. 当没有干扰时, 三边测量法能够准确地计算出未知点坐标, 但是一旦存在干扰, 则需要利用极大似然估计法来估计未知点坐标, 将引入多次迭代计算, 并且需要多个参考点参与计算.

(3) 质心算法: 锚节点广播数据包, 未知点接收到这些数据后, 统计出哪些锚节点能够与未知节点通信, 然后用这些锚节点所构成的质心作为最终定位结果. 这种方法简洁明了, 但是对网络布局有着特殊的要求; 当网络布局不均匀时, 将引入较大误差.

图 6 显示了当 Shadowing 模型中的随机干扰方差 σ 、路径损耗指数 pathlossExp、节点通信半径发生变化时, FTLM、Three Centroid、Trilateration 与 SBL 这四种定位模型的误差变化情况. 图 6(b)、6(c) 是图 6(a) 环境下的测试结果; 图 6(e)、6(f) 是图 6(d) 环境下的测试结果, 对比的结果可以归结为以下几点:

(1) 参考点与未知点布局如图 6(a) 所示, 节点通信半径为 50m, FTLM、Trilateration、SBL 三种模型的定位误差均随着干扰的增加而增加; Three Centroid 的误差却比较稳定, 主要原因是该模型的性能会随着节点布局而

改变,受 σ 与 pathlossExp 的影响不大。

(2) 当 σ 较小时, Trilateration 的误差较小,随着 σ 的增加, Trilateration 的误差迅速增高,在某一段 σ 范围内,其精度要超过其他三种模型。

(3) 如图 6(d) 所示,当通信半径增加,能够参与定位的参考点数目增加, SBL 与 Trilateration 的误差减小,这说明这两种模型需要多个参考点参与迭代计算才能提升精度,如果参与计算的参考点数量足够多,他们的精度将会超过 FTLM,但是同时也引入了高计算复杂度;从图 6(e) 与图 6(f) 可以看出 SBL 的误差很接近于

FTLM,但是仍然稍差于 FTLM,这是因为随着参考点与未知点距离的增加,干扰源对信号的影响也逐渐增加,从而引入误差;大量参考点的引入对通信带宽也会造成一定的浪费, FTLM 只需要三个参考点就可以进行定位,这更加适用于实际。

(4) 随着路径损耗指数的增加, FTLM、Trilateration、SBL 的误差均增加,这主要是因为该指数越大,信号强度衰减越快;信号强度越弱,节点越不容易分别出信号与噪声,即受随机干扰的影响就越大。

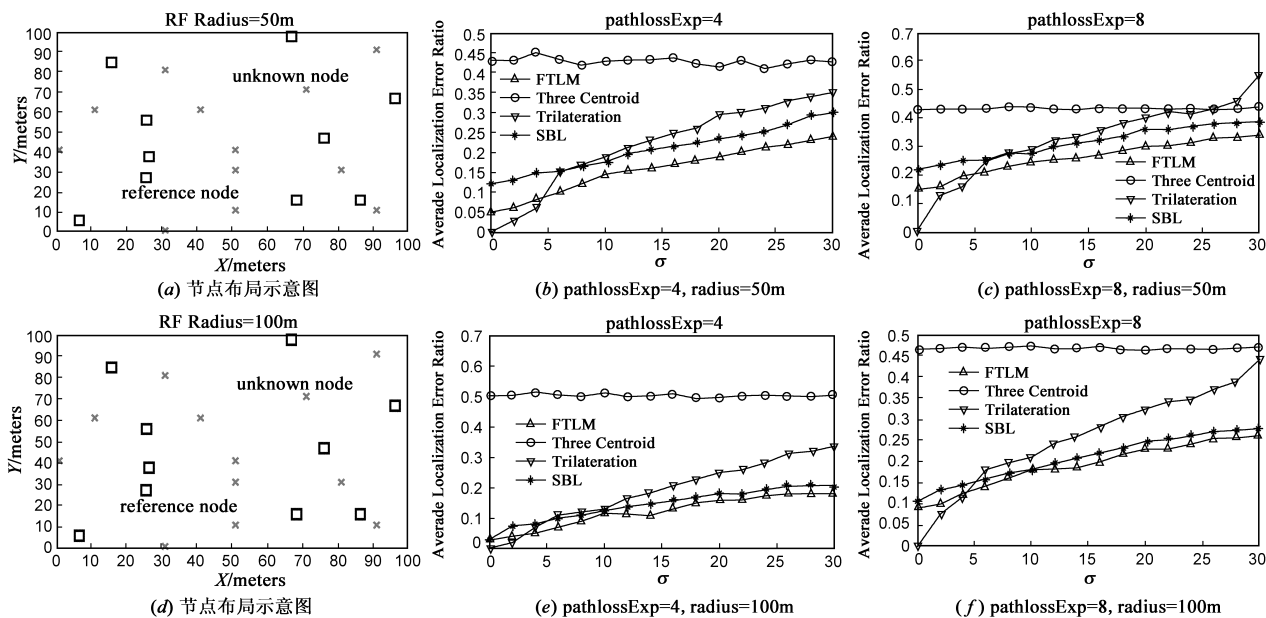


图6 不同环境下FTLM、Three Centroid、Trilateration、SBL的误差比较

所以, Trilateration 若想具有较高的精度不但需要干扰较弱,并且需要准确地设置 Shadowing 模型中的各个参数 σ 与 pathlossExp ,但是这两点在实际应用中很难做到,首先,干扰每时每刻都存在,并且我们难以控制其强度;其次,各种参数随着环境的变化而变化,难以产生一组高度精确的参数;SBL 模型可以通过大量的计算复杂度与参考点数量来提升定位精度,但是在资源受限的无线传感器网络,这两点都是很难做到的,因此实用性不强;质心算法虽然简单易行,但是,其精度不够理想,难以应用于各个场合. FTLM 模型受 Shadowing 模型参数的影响较弱,并且由于自身的各项机制,使其具有一定的鲁棒性,它无需大量参考点参与计算,可以通过改变样本点数量来调节定位精度,但在维持向量表时会占用一定存储空间。

6 结论

本文对基于无线传感器网络的定位模型进行了研究,同时也总结了它们的优点与不足,总体来说在定位

研究领域,计算复杂度与精度是矛盾的两极.一些模型为了达到高精度不但使得计算复杂度过高,而且还大量参考点参与定位计算,这样的定位模型不适用于资源受限的无线传感器网络;也有一些非测距定位模型,例如质心算法、DV-Hop 等,虽然计算复杂度在一定程度上较低,但是对网络布局有着很大的依赖。

针对现有定位模型在无线传感器网络应用中的局限性,本文提出一种新颖的非测距定位模型 FTLM,该模型计算复杂度相对于 SBL、极大似然估计等算法较低,但是高于质心算法、Radar^[15]等定位模型,并且无需大量样本点参与计算;定位精度较优,且可以随着样本点数量的增加而增加. FTLM 在计算复杂度与定位精度之间做了一个较好的折中,使得在无线传感器网络中的实用性更强。

参考文献:

- [1] Kiran Yedavalli, Bhaskar Krishnamachari. Sequence-based localization in wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on

- Mobile Computing. 2008, 7(1): 81 – 94.
- [2] Ren, Kui. LEDS: Providing location-aware end-to-end data security in wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing. 2008, 7(5): 585 – 598.
- [3] 戴桂兰, 赵冲冲, 邱岩. 一种基于球面坐标的无线传感器网络三维定位机制 [J]. 电子学报, 2008. 36(7): 1297 – 1303.
- Dai Gui-lan, Zhao Chong-chong, Qiu Yan. A localization scheme based on sphere for wireless sensor network in 3D [J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(7): 1297 – 1303. (in Chinese)
- [4] 李石坚, 徐从富, 吴朝晖, 潘云鹤. 面向目标跟踪的传感器网络布局优化及保护策略 [J]. 电子学报, 2006. 34(1): 71 – 76.
- Li Shijian, Xu Congfu, Wu Zhaohui, Pan Yunhe, Optimal deployment and protection strategy in sensor network for target tracking [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(1): 71 – 76. (in Chinese)
- [5] Wang Fu-Bao, Shi Long, Ren Feng-yuan. Self-localization systems and algorithms for wireless sensor networks [J]. Journal of Software. 2005, 16(5): 857 – 868.
- [6] Cao Xiao-Mei, Yu Bo, Chen Gui-Hai, et al. Security analysis on node localization systems of wireless sensor networks [J]. Journal of Software. 2008, 19(4): 879 – 887.
- [7] Zaruba, G. V. Indoor location tracking using RSSI readings from a single Wi-Fi access point [J]. Wireless Networks. 2007, 13(2): 221 – 235.
- [8] Zorzi M. Power control and diversity in mobile radio cellular systems in the presence of ricean fading and log-normal shadowing [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1996, 2(45): 373 – 382.
- [9] Huang, Gaoming. A novel TDOA location algorithm for passive radar [A]. CIE international Conference of Radar Proceedings [C]. New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers Press: 2006. 1901 – 1904.
- [10] 孙佩刚, 赵海, 张文波. 普适计算中定位服务的参考点布置及选择算法 [J]. 电子学报, 2006, 34(08): 1456 – 1463.
- Sun P G, Zhao H, Zhang W B. Research on Reference Nodes Placement and Selection of Ubiquitous Computing Location Service [J]. Acta Electronica Sinica. 2006, 34(8): 1456 – 1463. (in Chinese)
- [11] Tian Feng, Guo Wei, Wang Chuanyun, et al. Robust localization based on adjustment of trilateration network for wireless sensor networks [A]. 2008 international Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing [C]. New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers Press: 2008. 3400 – 3403.
- [12] Qasem Haytham, Reindl Leonhard. Precise wireless indoor localization with trilateration based on microwave backscatter [A]. IEEE Wireless and Microwave Technology Conference [C]. New York, IEEE Electron Device Letters Press: 2006. 83 – 87.
- [13] Forghani, Yahya. A new weighted centroid localization algorithm in wireless sensor networks [A]. Proceedings of 11th International Conference on Computer and Information Technology [C]. Los Alamitos, California; IEEE Computer society Press, 2008. 89 – 93.
- [14] Ou Chia-Ho, Ssu Kuo-Feng. Sensor position determination with flying anchors in three-dimensional wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing. 2008, 7(9): 1184 – 1197.
- [15] Bahl, Paramvir; Padmanabhan, Venkata N. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system [A]. 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies [C]. Los Alamitos, California; IEEE Computer society Press, 2000. 775 – 784.

作者简介:



朱 剑 男, 1981 年出生于江苏省, 东北大学信息科学与工程学院博士生. 研究方向为无线传感器网络与嵌入式系统.

E-mail: zhujian1981710@163.com



赵 海 男, 1959 年出生于辽宁省, 东北大学信息科学与工程学院教授/博士生导师. 研究方向为普适计算、数据融合、无线传感器网络、嵌入式系统.

E-mail: zhaoh@mail.neu.edu.cn

徐久强 男, 1966 年出生于辽宁省, 东北大学教授, 主要研究方向为普适计算与嵌入式系统.

李大舟 男, 1982 年出生于辽宁省, 东北大学信息科学与工程学院博士生. 研究方向为无线传感器网络与嵌入式系统.