

基于 Voronoi 图划分的节点模糊信息定位算法

李芬芳¹, 党小超^{1,2}, 郝占军^{1,2}

(1. 西北师范大学 计算机科学与工程学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省物联网工程研究中心, 兰州 730070)

摘 要: 针对基于接收信号强度的无线传感器网络节点定位算法精度低的问题, 提出一种基于 Voronoi 图划分的节点模糊信息定位算法。根据锚节点个数对定位区域进行 Voronoi 图划分, 将整个定位区域划分为不同的 Voronoi 区域, 同时获得各个 Voronoi 区域的顶点坐标。使用高斯滤波方法筛选出可以作为参考节点的顶点坐标, 通过顶点坐标和锚节点联合定位未知节点。利用模糊信息定位方法计算出未知节点的最终位置。实验结果表明, 相比 MANLFI 算法和 FINL-DT 算法, 该算法能够有效提高节点定位精度, 降低网络能耗。

关键词: 节点定位; Voronoi 图划分; 模糊信息; 高斯滤波; 定位精度

中文引用格式: 李芬芳, 党小超, 郝占军. 基于 Voronoi 图划分的节点模糊信息定位算法[J]. 计算机工程, 2019, 45(1): 78-83, 90.

英文引用格式: LI Fenfang, DANG Xiaochao, HAO Zhanjun. Node fuzzy information localization algorithm based on Voronoi diagram partition[J]. Computer Engineering, 2019, 45(1): 78-83, 90.

Node Fuzzy Information Localization Algorithm Based on Voronoi Diagram Partition

LI Fenfang¹, DANG Xiaochao^{1,2}, HAO Zhanjun^{1,2}

(1. College of Computer Science and Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. Gansu Province Internet of Things Engineering Research Center, Lanzhou 730070, China)

[Abstract] In order to solve the problem of low accuracy of node localization algorithm based on Received Signal Strength Indicator (RSSI) in wireless sensor network, a node fuzzy information location algorithm based on Voronoi graph partition is proposed named NFIL-VD. According to the number of anchor nodes, the location area is divided into different Voronoi cell, and the vertex coordinates of each Voronoi cell are obtained. The vertex nodes which can be used as reference nodes are selected by the Gaussian filtering method, and the unknown nodes are located jointly by vertex nodes and anchor nodes. The final location of unknown nodes is calculated by fuzzy information location method. Experimental results show that compared with MANLFI algorithm and FINL-DT algorithm, this algorithm can effectively improve node localization accuracy and reduce network energy consumption.

[Key words] node localization; Voronoi diagram partition; fuzzy information; Gaussian filtering; localization accuracy

DOI: 10.19678/j.issn.1000-3428.0048166

0 概述

随着社会的发展和科技的进步, 物联网技术受到人们越来越多的关注, 其中无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 的应用在人们的生活以及生产中越来越普遍^[1-2]。节点定位是指通过已知节点的坐标计算未知节点坐标的方法^[3]。节点位置的确定是实现 WSN 其他相关技术的基础, 通过一定的方法实现节点定位已经受到越来越多的关注。

现有的 WSN 定位算法可以分为基于距离的定位算法和距离无关的定位算法^[4-5]。在基于距离的定位算法中, 接收信号强度 (Received Signal Strength Indicator, RSSI) 测距技术因其成本和能耗低等优势在无线定位技术中得到广泛应用。但在实际室内环境中, 信号易受到室内环境, 如障碍物或人员走动等情况的影响, 在定位过程中会产生多径效应, 导致基于 RSSI 定位算法的定位精度下降。为最大限度地消除 RSSI 测距误差对无线传感器节点自身

基金项目: 国家自然科学基金 (61762079, 61363059, 61662070); 甘肃省科技重点研发项目 (1604FKCA097, 17YF1GA015); 甘肃省科技创新项目 (17CX2JA037, 17CX2JA039)。

作者简介: 李芬芳 (1990—), 女, 助教、硕士, 主研方向为无线传感器网络; 党小超, 教授; 郝占军, 副教授。

收稿日期: 2017-07-29 **修回日期:** 2017-12-08 **E-mail:** lmuziff@126.com

定位精度的影响,文献[6]提出一种基于线性参数加权评估机制的节点定位算法,该算法根据线性参数评估机制对需要定位的网络节点位置进行初步估计,计算线性参数数值,搜寻到最佳锚节点构成的三角形,使用加权评估方式,对搜寻到的不同锚节点的三角定位参数进行多次加权平均计算,以获取节点的准确位置信息。文献[7]考虑在空间中由于接收信号的不确定性会导致算法的定位误差较大,提出一种 AOA 和 RSSI 相结合的定位算法,通过混合测量的优化模型精确估计位置坐标,在一定程度上降低定位误差,减少了网络中的通信开销。文献[8]研究了多边定位的聚类分析改进算法,通过引入 K-means 聚类方法对节点之间的距离进行筛选以提高节点定位精度。文献[9]提出一种基于 RSSI 的动态调整信号路径损耗模型参数的协作定位方法,该方法先根据 RSSI 确定定位节点所在的最小子区域,通过位置已知的节点相互合作估算出该区域内的路径损耗模型参数,再通过得到的路径损耗模型实现精确定位,最终降低节点定位误差。

针对无线传感器网络节点定位算法精度低的问题,本文提出一种基于 Voronoi 图划分的节点模糊信息定位(Node Fuzzy Information Localization based on Voronoi Diagram, NFIL-VD)算法。首先对定位区域实现 Voronoi 图划分,将整个定位区域以锚节点为中心划分为不同的 Voronoi 区域(cell),同时获得每个 Voronoi cell 的各个顶点坐标;然后对于每一个 Voronoi cell,以锚节点为中心,通过高斯滤波方法(Gaussian Filtering)筛选出可以辅助锚节点定位未知节点的顶点坐标;最后通过模糊信息定位方法计算节点的位置坐标。

1 相关理论

1.1 相关算法研究

基于模糊几何理论^[10]的节点定位算法是一种新的计算节点位置的方法,该方法借助于模糊几何理论将节点定位转化成测量锚节点和未知节点的方向角和俯仰角信息,然后计算节点的最终位置。文献[11]提出一种基于模糊几何理论的移动锚节点定位算法(Mobile Anchor Node Localization on Fuzzy Information, MANLFI)。MANLFI 算法在定位之前选择部分有移动功能的锚节点,通过节点之间的距离筛选对未知节点定位的锚节点,在算法每一轮结束后,根据网络情况,重新更新移动锚节点的移动速度和方向。文献[12]提出一种基于简单 Delaunay 三角剖分^[13]的节点模糊信息定位算法(Fuzzy Information Node Localization on Delaunay Triangulation, FINL-DT)。该算法在定位前引入 Delaunay 三角剖分将锚节点划分在不同三

角区域中,然后应用空间中锚节点(信标节点)和未知节点之间的模糊信息实现节点定位。

Voronoi 图是一种基于图论的集合理论,在节点定位算法中,为提高定位精度,可以将 Voronoi 图和其他方法结合使用。文献[14]将 Voronoi 图应用于无线传感器网络的定位问题中,提出一种基于 Voronoi 图划分的节点质心定位算法(Voronoi Diagrams Based Localization Scheme, VBLS)。该算法将未知节点和锚节点之间的 RSSI 值按照从小到大的顺序排列,利用无向图依次计算每个锚节点的 Voronoi 区域,最后将所有 Voronoi 区域交集的质心输出作为最终节点位置。

1.2 基于信号衰减的距离估计

在 WSN 定位算法中,节点之间的通信是通过锚节点向未知节点广播,未知节点收到信号之后给予锚节点回应。但是,在信号传播的过程中,障碍物的存在导致信号路径有部分损耗,研究表明,信号强度与节点之间的距离存在对数关系,一般锚节点收到回应后,通过式(1)推算其与未知节点之间的距离。

$$P_L(d) = P_L(d_0) + 10 \cdot n \cdot \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + v_i^k \quad (1)$$

其中, $P_L(d)$ 为锚节点 d 处的信号强度, $P_L(d_0)$ 为锚节点 d_0 处的信号强度, n 为信号强度变化速率, v_i^k 是一个均值为 0 的高斯白噪声。

1.3 Voronoi 图划分

Voronoi 图^[15]是计算几何中一个重要的研究内容,它是对平面的一个划分。在 Voronoi 图的任意一个控制点集 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 中,不存在任意两点共位或四点共圆。假设 p_i 为某一 Voronoi 区域的一个内点, P_i 为该 Voronoi 区域的一个控制点, P_j 为其他 Voronoi 区域的一个控制点,则 $d_{(P_i, P_i)} < d_{(P_j, P_i)}$ 。图 1 是将定位区域通过 Voronoi 图划分成 8 个 Voronoi 区域的一个例子。

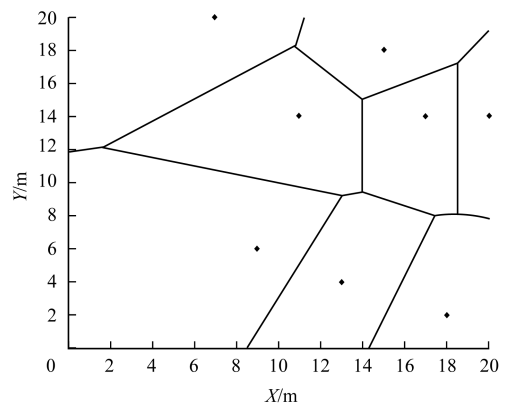


图 1 Voronoi 图划分

1.4 模糊几何理论

模糊几何定位方法是基于模糊几何理论的节点定位方法。算法中目标的位置与在模糊三角形观测结构上的锚节点对未知节点的模糊观测位置有关,模糊信息为锚节点和未知节点之间的方向角、俯仰角信息。假设平面上模糊观测位置为 $\overline{P_i}$,定义其隶属度^[16]为:

$$azimuth_k(\alpha) = \{\theta_k | \theta_k \in \overline{P_i}(\alpha)\}, 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (2)$$

则模糊方位角 $\overline{\theta_k}$ 的隶属函数为:

$$\mu(\theta_k | \overline{\theta_k}) = \sup\{\alpha : \theta_k \in azimuth_k(\alpha)\} \quad (3)$$

定义:

$$angle_k(\alpha) = \{\varphi_k | \varphi_k \in \overline{P_i}(\alpha)\}, 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (4)$$

则模糊俯仰角 $\overline{\psi_k}$ 隶属函数为:

$$\mu(\varphi_k | \overline{\psi_k}) = \sup\{\alpha : \varphi_k \in angle_k(\alpha)\} \quad (5)$$

2 NFIL-VD 算法

2.1 算法实现

2.1.1 Voronoi 图划分的指纹库建立

在无线传感器网络定位过程中,需建立节点的指纹库,本文利用 Voronoi 图划分,按照网络中的锚节点个数,把监测区域分割成不同的 Voronoi 区域,在每个 Voronoi 区域内有且只有一个锚节点。表 1 为在锚节点个数不同时, Voronoi 图划分后可得 Voronoi 区域的顶点数和无穷远处的顶点数分布情况。

表 1 Voronoi 图划分后的顶点分布情况

锚节点个数	Voronoi cell 顶点数	无穷远处顶点数
10	17	8
20	35	4
30	55	5
40	78	3
50	97	0
60	117	2
70	120	4

从表 1 可以看出,在节点通信半径确定的情况下,随着定位区域内锚节点个数的增加,对定位区域 Voronoi 图划分之后,网络中可得到的 Voronoi cell 的顶点数也呈增加的趋势,无穷远处的顶点数呈减少趋势。为避免锚节点过多造成网络成本太高以及信息冗余,本文只选择锚节点个数为 10 ~ 70 进行 Voronoi 图划分的研究。当网络中增加 Voronoi cell 的顶点后,网络中的参考节点个数也增加,为降低以锚节点为核心的 Voronoi 图划分导致更大的误差,本文以每个 Voronoi cell 内的锚节点为中心将 Voronoi

cell 二次划分,在二次划分之后的区域内通过高斯滤波排除小概率顶点坐标,最后通过节点模糊信息方法进行精确计算。

2.1.2 高斯滤波筛选顶点坐标和锚节点

高斯滤波^[17]实质上是用于信号平滑处理的一种处理器,最初应用于处理噪声和图像,主要是为得到信噪比 (Signal-to-Noise Ratio, SNR) 较高的图像。高斯平滑滤波器常用于抑制正态分布的噪声^[18]。本文通过使用高斯滤波方法,筛选出可以定位未知节点的顶点坐标和锚节点。图 2 是 20 个锚节点时, Voronoi 图划分后所获得的锚节点和 Voronoi cell 的顶点坐标,其中,浅色标注为锚节点,深色标注为顶点坐标。

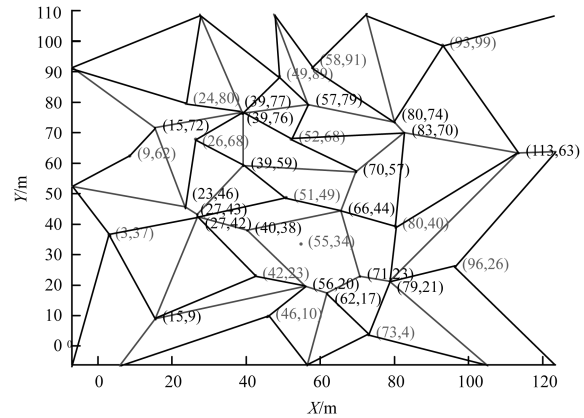


图 2 Voronoi 图划分后获得的锚节点和顶点坐标

在无线传感器网络定位过程中,将未知节点收到的 RSSI 值保存在 **RSSI_1** 矩阵中。为提高定位精度,本文在定位开始之前通过高斯滤波的方法排除这些小概率值,用正态模型处理这些 RSSI 值,用变量 x 表示 RSSI 值,则有以下公式^[19]:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2 \quad (8)$$

根据文献[10],选择 0.6 作为临界值。将正态分布值小于 0.6 的值全部舍弃。

$$0.6 \leq \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \leq 1 \quad (9)$$

式(7)和式(8)可以计算期望值和方差。通过式(9)设置的条件筛选符合条件的 RSSI 值,将筛选出来的 RSSI 值保存到 **RSSI-2** 矩阵中。根据式(10)计算出最终的 RSSI 值:

$$R_{RSSI} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RSSI_2[i] \quad (10)$$

2.1.3 基于模糊信息的未知节点定位

定位区域的节点模糊观测位置定义为 $\bar{P}_i(x_i, y_i, z_i)$,模糊方向角为 $\bar{\theta}_k$,模糊俯仰角为 $\bar{\varphi}_k$,节点的目标位置为 $\bar{P}(x, y, z)$ 。本文通过对未知节点周围的锚节点以及通过Voronoi图划分获得的顶点节点作为参考节点对未知节点进行定位,则节点的 y 坐标、 z 坐标可以通过平面模糊几何定位算法求得。图3是2个锚节点对空间中同一节点观测得到的视线情况,记观测的方向角和俯仰角信息分别为 $(\bar{\theta}_i, \bar{\varphi}_i)$ 和 $(\bar{\theta}_j, \bar{\varphi}_j)$ 。

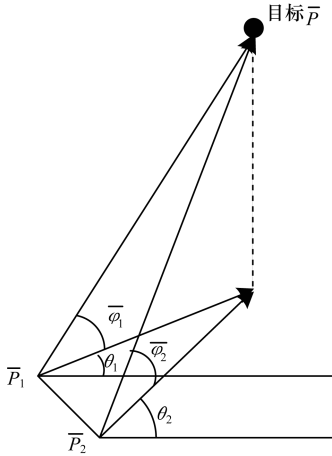


图3 2个锚节点的观测结果对未知节点定位情况

假设利用三维空间两直线的夹角计算得到的模糊误差为 e_k ,具体的模糊信息计算方法如式(11)~式(15)所示。

$$e_k = s_k \sin \beta \times 100\% \quad (11)$$

$$\text{Min } e = \sum_k w_k e_k \quad (12)$$

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2}{\sqrt{l_1^2 + m_1^2 + n_1^2} + \sqrt{l_2^2 + m_2^2 + n_2^2}} \right) \quad (13)$$

其中, $l_1 = \cos(\bar{\varphi}_k) \cdot \cos(\bar{\theta}_k)$, $l_2 = \cos(\bar{\varphi}_k) \cdot \cos(\bar{\theta}_k)$, $m_1 = \cos(\bar{\varphi}_k) \cdot \sin(\bar{\theta}_k)$, $m_2 = \cos(\bar{\varphi}_k) \cdot \sin(\bar{\theta}_k)$, $n_1 = \sin(\bar{\varphi}_k)$, $n_2 = \sin(\bar{\varphi}_k)$ 。

$$\begin{cases} h_i = d(P_i, P_j) \cdot \tan(\bar{\varphi}_i) \\ h_j = d(P_i, P_j) \cdot \tan(\bar{\varphi}_j) \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} x = \bar{x}_i + d(P_i, P_j) \cdot \cos(\bar{\theta}_i) \\ y = \bar{y}_i + d(P_i, P_j) \cdot \sin(\bar{\theta}_i) \\ z = \bar{z}_i + \frac{h_i + h_j}{2} \end{cases} \quad (15)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, N-1$, $j = i+1, i+2, \dots, N$, $k = 1, 2, \dots, N$, S_k 是 $\bar{P}_k$ 和 $\bar{P}$ 之间的距离。

假设通过本文计算方法求得的未知节点有 n 个可能坐标,分别是 (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , $\dots$, $(x_n,$

$y_n, z_n)$,则通过式(16)计算节点的最终坐标位置。

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i \quad (16)$$

2.2 算法描述

本文算法主要包括通过Voronoi图划分定位区域、高斯滤波排除小概率值、模糊信息节点定位等主要步骤,算法流程如图4所示。

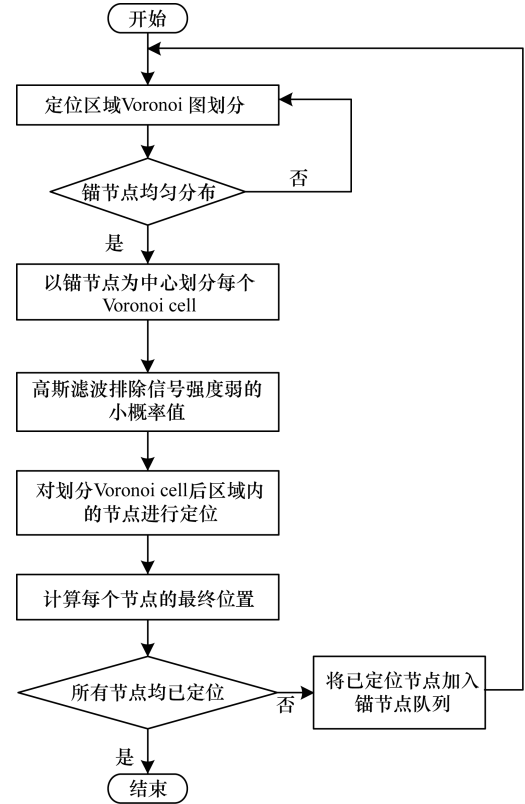


图4 本文算法流程

3 实验结果与分析

在进行仿真实验之前,先对算法在定位过程中消耗的时延进行对比分析,具体分析如第3.1节所示。

3.1 时延分析

本文时延主要包括6个方面: t_{elec} 为节点发送时延, t_{trans} 为接收时延, t_{loca} 为定位时延, t_{split} 为三角剖分时延, t_{voronoi} 为Voronoi图划分时延, t_{upda} 为更新时延。3种算法的总时延 $T_{\text{total}}^{\text{FINL-DT}}$ 、 $T_{\text{total}}^{\text{MANLFI}}$ 、 $T_{\text{total}}^{\text{NFIL-VD}}$ 分别如式(17)、式(18)、式(19)所示。

$$\begin{aligned} T_{\text{total}}^{\text{FINL-DT}} = & \frac{1}{q} \cdot k(t_{\text{elec}} + t_{\text{trans}} \times d^2) \sum_{i=1}^M \text{VN}_{(i)} + \\ & \sum_{i=1}^M \text{VA}_{(i)} \cdot k \cdot t_{\text{elec}} + \frac{1}{q} \cdot M \cdot t_{\text{split}} + \\ & C_n^3 \cdot u \cdot (N-M) \cdot t_{\text{loca}} + \\ & \sum_{i=1}^u \left(\frac{1}{q} M \cdot \omega_i \cdot \sum_{j=1}^M l \cdot d(M_j, M'_j) \right) \cdot t_{\text{upda}} \end{aligned} \quad (17)$$

$$T_{\text{total}}^{\text{MANLFI}} = \frac{1}{q} \cdot k(t_{\text{elec}} + t_{\text{trans}} \times d^2) \sum_{i=1}^M VN_{(i)} + \sum_{i=1}^{N-M} VA_{(i)} \cdot k \cdot t_{\text{elec}} + \frac{n^2}{2} \cdot u \cdot (N-M) \cdot t_{\text{loca}} + \sum_{i=1}^u \left(\frac{1}{q} M \cdot \omega_i \cdot \sum_{j=1}^M l \cdot d(M_j, M'_j) \right) \cdot t_{\text{upda}} \quad (18)$$

$$T_{\text{total}}^{\text{NFIL-VD}} = \frac{1}{q} \cdot k(t_{\text{elec}} + t_{\text{trans}} \times d^2) \sum_{i=1}^M VN_{(i)} + \sum_{i=1}^M VA_{(i)} \cdot k \cdot t_{\text{elec}} + \frac{M}{q} \cdot t_{\text{split}} + M \cdot u \cdot (N-M) \cdot t_{\text{loca}} + \frac{n^2}{2} \cdot u \cdot (N-M) \cdot t_{\text{loca}} \quad (19)$$

式(18)减去式(17)得:

$$T_{\text{total}}^{\text{MANLFI}} - T_{\text{total}}^{\text{FINL-DT}} = \left(\frac{n^2}{2} - 3 \right) \cdot u \cdot (N-M) \cdot t_{\text{loca}} - \frac{1}{q} \cdot M \cdot t_{\text{split}} \quad (20)$$

式(19)减去式(17)得:

$$T_{\text{total}}^{\text{FINL-DT}} - T_{\text{total}}^{\text{NFIL-VD}} = \sum_{i=1}^u \left(\frac{1}{q} M \cdot \omega_i \cdot \sum_{j=1}^M l \cdot d(M_j, M'_j) \right) \cdot t_{\text{upda}} + \left(\frac{n^3 - 6n^2 + 2n}{6} \right) \cdot u \cdot (N-M) \cdot t_{\text{loca}} \quad (21)$$

$$T_{\text{total}}^{\text{MANLFI}} - T_{\text{total}}^{\text{NFIL-VD}} = -\frac{1}{q} \cdot M \cdot t_{\text{voronoi}} + \sum_{i=1}^u \left(\frac{1}{q} M \cdot \omega_i \cdot \sum_{j=1}^M l \cdot d(M_j, M'_j) \right) \cdot t_{\text{upda}} \quad (22)$$

在式(20)中, $n \geq 3$, $\frac{n^2}{2} - 3 > 0$, 未知节点个数多于锚节点个数, 即 $M < N - M$, 且本文规定 $t_{\text{loca}} \gg t_{\text{split}}$, 因此 $T_{\text{total}}^{\text{MANLFI}} - T_{\text{total}}^{\text{FINL-DT}} > 0$ 。在式(21)中, $n \gg 3$, 则 $\left(\frac{n^3 - 6n^2 + 2n}{6} \right) > 0$, 得 $T_{\text{total}}^{\text{FINL-DT}} - T_{\text{total}}^{\text{NFIL-VD}} > 0$, 即 NFIL-VD 算法较 FINL-DT 算法时间消耗低。在式(22)中, $t_{\text{upda}} > t_{\text{voronoi}}$, 得 $T_{\text{total}}^{\text{MANLFI}} - T_{\text{total}}^{\text{NFIL-VD}} > 0$, 即 NFIL-VD 算法较 MANLFI 算法时间消耗低。由此可以得出, NFIL-VD 算法较 FINL-DT 算法和 MANLFI 算法性能更优。

3.2 仿真实验

将本文提出的 NFIL-VD 算法与 FINL-DT 算法、MANLFI 算法性能进行比较, 采用 ns-allinone-2.28

环境编程进行仿真, 假定 WSN 部署在 $10\,000\text{ m}^3$ ($50\text{ m} \times 50\text{ m} \times 4\text{ m}$) 的区域内, 网络中的传感器节点随机分布, 网络中总节点个数为 200, 节点的通信半径为 5 m, 锚节点通信半径是普通节点的 5 倍。

3.2.1 本文算法定位误差率比较

本文算法在不同阈值时的定位误差率如图 5 所示。从图 5 可以看出, 随着锚节点个数的增加, 对于不同的阈值, 网络中节点定位误差率呈降低趋势。当锚节点个数达到 50 以后, 误差率降低速度较锚节点个数少于 50 时要慢。对于同一锚节点个数, 节点定位误差率随着阈值的变化呈现不同趋势, 在阈值为 0.6 时, 误差率最低, 阈值为 0.5 和 0.7 时的误差率低于阈值为 0.4 和 0.8 时的误差率。因此, 在本文实验的基础上, 后续实验均选择高斯滤波的阈值为 0.6。

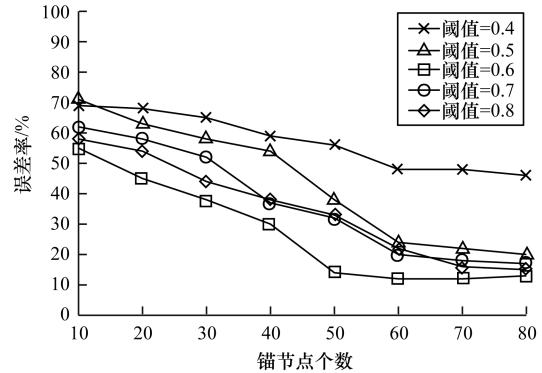


图 5 本文算法在不同阈值时定位误差率比较

3.2.2 3 种算法定位误差率比较

3 种算法的定位误差率比较如图 6 所示。从图 6 可以看出, 随着锚节点个数的不断增加, 3 种算法的定位误差率均呈降低趋势, 当锚节点个数达到 50 以后, 网络中定位误差率降低速度变慢。因此, 为降低定位过程中的网络能耗, 在后续实验设计过程中, 应折中锚节点个数和网络能耗之间的关系。NFIL-VD 算法在网络锚节点个数增加的过程中, 网络中划分的 Voronoi cell 增多, 获得的 Voronoi cell 顶点坐标增多, 且 Voronoi cell 参考节点的选择性增加, 节点之间的连通性增强, 通过二次 Voronoi 图划分后, Voronoi 区域的顶点个数增多, 经过高斯滤波筛选, 大幅度降低了定位误差率大的锚节点和参考节点参与定位过程的概率。因此, 相比 MANLFI 算法和 FINL-DT 算法, NFIL-VD 算法误差率最低。

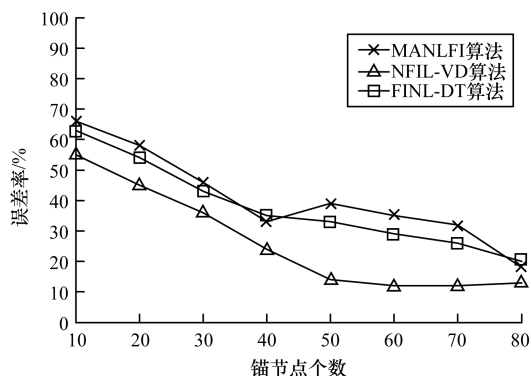


图6 3种算法定位误差率比较

3.2.3 3种算法定位时延比较

图7为3种算法的定位时延比较。从图7可以看出,FINL-DT算法和MANLFI算法的时延相比NFIL-VD算法较高,MANLFI算法是从定位区域中任意选取2个锚节点对未知节点定位,因此在定位过程中,锚节点选取过程中有重复,且在节点定位之后,锚节点移动更新,增加了网络中的时延。FINL-DT算法在每一轮定位结束后,根据不同情况对无效锚节点实现有效化更新,增加了网络定位时延,NFIL-VD算法引入高斯滤波,在定位前完成锚节点和参考节点的筛选,降低了阈值较小的锚节点参与定位的比率,有效提高了节点定位速度。因此,如算法在实验前进行的时延对比计算,相比MANLFI算法和FINL-DT算法,NFIL-VD算法时延消耗最低。

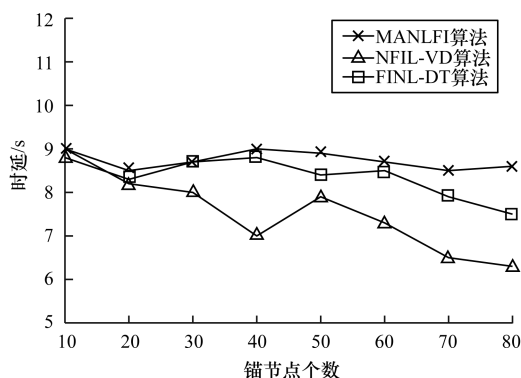


图7 3种算法定位时延比较

3.2.4 3种算法定位能耗比较

图8为3种算法的定位能耗比较。从图8可以看出,FINL-DT算法和MANLFI算法的能耗较NFIL-VD算法高,MANLFI算法是从定位区域中选取2个锚节点对未知节点定位,在定位过程中,因为锚节点的重复选择产生了网络冗余,增大了网络中的能量消耗,且在节点定位之后,锚节点移动更新,增加了网络中的能量消耗。FINL-DT算法在每一轮定位结束后,根据不同情况对无效锚节点实现有效化更新,这

就增加了网络能量的消耗。NFIL-VD算法在对定位区域实现Voronoi区域划分后,通过高斯滤波对锚节点和参考节点进行筛选,降低了后续过程中因节点冗余而带来的能量消耗。因此,相比MANLFI算法和FINL-DT算法,NFIL-VD算法能量消耗最低。

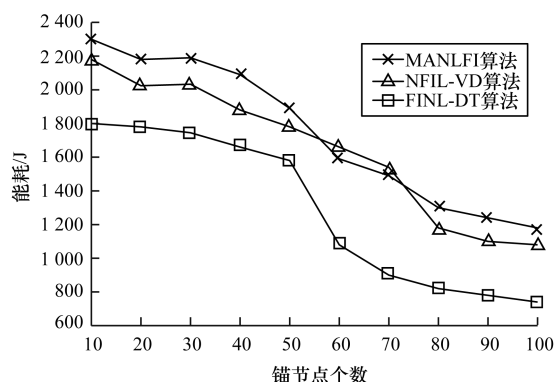


图8 3种算法定位能耗比较

4 结束语

本文提出一种基于Voronoi图划分的模糊信息节点定位算法NFIL-VD。首先通过Voronoi图划分,将定位区域划分为若干个Voronoi cell,同时获得每个Voronoi cell的各顶点坐标;然后以每个Voronoi cell中的锚节点为中心,重新细分每个Voronoi cell,缩小对每个未知节点定位的锚节点及顶点坐标的范围,选定一个阈值,通过高斯滤波方法筛选出可以作为参考节点的顶点坐标,辅助锚节点定位未知节点;最后通过模糊信息定位算法对未知节点的位置进行计算。实验结果表明,该算法在提高定位精度等方面优于MANLFI算法和FINL-DT算法。下一步将研究如何提高节点定位算法的精度,并将其应用于实际定位环境。

参考文献

- [1] LIN L, SO H C, CHAN F K W. Multidimensional scaling approach for node localization using received signal strength measurements[J]. Digital Signal Processing, 2014, 34(1): 39-47.
- [2] LI J, ZHONG X, LU I T. Three-dimensional node localization algorithm for WSN based on differential rss irregular transmission model[J]. Journal of Communications, 2015, 9(5): 391-397.
- [3] 曹世华,王琦晖,王李东. 基于邻域旋跳迭代机制的无线传感器网络节点定位[J]. 计算机工程, 2016, 42(7): 94-99.
- [4] 朱青青,杨玉斌,刘娜,等. 无线传感器网络中基于RSSI一致性的安全定位方法[J]. 计算机工程, 2016, 42(10): 151-157, 163.
- [5] 钱志鸿,孙大洋, LEUNG V. 无线网络定位综述[J]. 计算机学报, 2016, 39(6): 1237-1256.

(下转第90页)

- [4] LI J, MOHAPATRA P. An analytical model for the energy hole problem in many-to-one sensor networks [C]//Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference. Washington D. C., USA; IEEE Press, 2005: 2721-2725.
- [5] LI Z J, LI M, WANG J L. Ubiquitous data collection for mobile user s in wireless sensor networks [C]//Proceedings of IEEE INFOCOM' 11. Washington D. C., USA; IEEE Press, 2011: 2246-2254.
- [6] 梁青, 焦峰. WSN 中基于二分法与移动 sink 的数据收集协议[J]. 计算机工程, 2016, 42(12): 39-43.
- [7] GAO S, ZHANG H, DAS S K. Efficient data collection in wireless sensor networks with path-constrained mobile sinks[J]. Mobile Computing, 2011, 10(4): 592-608.
- [8] LUO J, HUBAUX J P. Joint sink mobility and routing to maximize the lifetime of wireless sensor networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2010, 18(3): 871-884.
- [9] GATZIANAS M, GEORGIADIS L. A distributed algorithm for maximum lifetime routing in sensor networks with mobile sink [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(3): 984-994.
- [10] ROYER E M. An analysis of the optimum node density for Ad-hoc mobile networks [C]//Proceeding of International Conference on Communications. Helsinki, Finland; IEEE Press, 2001: 857-861.
- [11] ZHAO Miao, YANG Yuanyuan. A framework for mobile data gathering with load balanced clustering and MIMO uploading [C]//Proceedings of INFOCOM' 11. Shanghai, China; [s. n.], 2011: 2759-2767.
- [12] MA M, YANG Y. Data gathering in wireless sensor networks with mobile collectors [C]//Proceedings of IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing. Miami, USA; IEEE Press, 2008: 1-9.
- [13] LUO H, YE F, CHENG J, et al. TTDD: two-tier data dissemination in large-scale wireless sensor networks[J]. Wireless Networks, 2005, 11(1/2): 161-175.
- [14] 刘遼, 刘三阳. 基于混合基站的传感器网络移动数据收集算法[J]. 吉林大学学报, 2015, 45(5): 1680-1687.
- [15] CHANG J H, TASSIULAS L. Maximum lifetime routing to mobile sink in wireless sensor networks [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2004, 12(4): 609-619.

编辑 索书志

(上接第 83 页)

- [6] 张伟江, 余金森, 郝平. 基于线性参数加权评估机制的无线传感器网络节点定位[J]. 计算机工程, 2017, 43(2): 156-162.
- [7] 严长虹, 马静. 三维传感网空间 RSS 与 AOA 混合测量的精确定位方法[J]. 传感技术学报, 2017, 30(3): 450-455.
- [8] 孙大洋, 钱志鸿, 韩梦飞, 等. 无线传感器网络中多边定位的聚类分析改进算法[J]. 电子学报, 2014, 42(8): 1601-1607.
- [9] 李瑶怡, 赫晓星, 刘守印. 基于路径损耗模型参数实时估计的无线定位方法[J]. 传感技术学报, 2010, 23(9): 1328-1333.
- [10] 王瑞. 基于模糊信息处理的传感器网络覆盖定位方法研究[D]. 西安: 西安交通大学, 2009.
- [11] 党小超, 李芬芳, 郝占军. Delaunay 三角剖分的节点模糊信息三维定位方法[J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(23): 115-122.
- [12] 党小超, 李芬芳, 郝占军. 基于移动锚节点的模糊信息三维定位算法[J]. 计算机工程, 2015, 41(5): 77-82, 88.
- [13] 刘刚, 袁纪武, 李磊, 等. 基于 Delaunay 三角网的任意多边形三角剖分算法研究[J]. 计算机与数字工程, 2012, 40(6): 121-123.
- [14] WANG J, HUANG L, XU H, et al. Novel range free localization scheme based on Voronoi diagrams in wireless sensor networks [J]. Journal of Computer Research and Development, 2008, 45(1): 119-125.
- [15] LARIOS D F, BARBANCHI J, MOLINA F J, et al. LIS: localization based on an intelligent distributed fuzzy system applied to a WSN [J]. Ad Hoc Networks, 2012, 10(3): 604-622.
- [16] MAO S, ZHAO C L. Unequal clustering algorithm for WSN based on fuzzy logic and improved ACO [J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2011, 18(6): 89-97.
- [17] 钟阳晶, 梁茹冰, 黄小虎. 基于 RSSI 高斯滤波的 LSSVR 无线传感网络定位算法[J]. 现代电子技术, 2017, 40(11): 6-13.
- [18] FANG X, JIANG Z H, NAN L, et al. Noise-aware localization algorithms for wireless sensor networks based on multidimensional scaling and adaptive Kalman filtering [J]. Computer Communications, 2017, 101: 57-68.
- [19] 曾碧, 毛勤. 改进的室内三维模糊位置指纹定位算法[J]. 山东大学学报, 2015, 45(3): 22-27.

编辑 司森森