

基于旋跳自漂移修正的 WSN 网络信号源定位算法^①

杜 恒¹, 俞慧芳², 龚茜茹¹

1. 河南工业职业技术学院 电子信息工程学院, 河南 南阳 473009;
2. 西安邮电大学 通信与信息工程学院, 西安 710121

摘要: 为解决移动无线传感网在部署过程中存在信号源定位困难、数据链路防抖动性能差及信号上传带宽受限等难题, 提出了一种基于旋跳自漂移修正机制的超高速移动 WSN 网络信号源定位算法。首先, 考虑到区域内锚节点具有的信号源稳定特性, 依据信号强度和跳数的逆向关系, 构建信号强度-节点跳数强度搜寻方法, 实现了信号源的定位, 并从中选取性能最佳的区域节点; 随后, 基于移动无线传感网节点在高速移动过程中存在的频率漂移, 计算锚节点跳数漂移误差, 通过修正锚节点间物理差的方式来提高节点的覆盖能力, 降低区域节点对区域外信号源的频率干涉覆盖现象, 从而提升信号上传带宽; 最后, 考虑到 *sink* 节点具有的中央控制特性, 通过 *sink* 节点控制来建立锚节点粒子群移动模型, 使用周期递归的方式消除移动过程中锚节点移动性过高带来的频率及坐标抖动难题, 进一步降低了信号源定位过程中的误差。仿真实验表明, 在复杂网络条件下, 与当前移动 WSN 网络定位中常用的超混沌偏移修正定位算法、螺旋递归自适应定位算法和逐次跌跳收敛定位算法相比, 本文算法具有更高的定位精度与信号上传带宽性能, 且相应的定位误差更低。

关键词: 无线传感器网络; 信号源定位; 强度搜寻; 频率漂移; 频率干涉覆盖; 粒子群移动模型; 坐标抖动

中图分类号: TP393.04

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2019)02-0117-11

随着 LTE-5G 通信技术的不断发展, 特别是 LTE-5G 通信芯片在传感领域的广泛推广, 无线传感网 (WSN, Wireless Sensor Network) 使用方式也从传统的固定式部署日益向随机化、移动化、高频化模式演进, 成为工业 4.0 的推动性因素之一^[1]。如何在 LTE-5G 通信技术背景下充分发挥传统无线传感网的优势, 适应当前 LTE-5G 技术带来的移动-漂移特性的挑战, 满足传感技术与 LTE-5G 通信技术的深度融合, 特别是实现移动传感网络在超高速情况下的信号源定位, 成为当前应用通信领域的热点之一^[2]。

近年来, 学者们提出了一系列的解决方案, 如 Bang 等^[3]提出了一种超视距矢量定位机制, 该机制主要采用距离阈值修正裁决方式, 当传感节点因漂移进入下一跳节点的覆盖范围时, 采取能量数据最优递归的方式选取最佳覆盖节点, 从而实现了定位锚节点的准确识别。Jover 等^[4]提出了一种节点集群聚类识别定位机制的 WSN 网络信号源定位算法, 该机制通过中心聚类密集虚拟扫描的方式, 对进入传输区域内的节点进行频率采样, 将频率近似的节点进行信道防碰撞处理, 降低了因信道碰撞因素而导致的信号源定位失

① 收稿日期: 2017-12-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(61202490); 河南省科技攻关计划基金项目(142102210556); 河南省高等学校青年骨干教师培养计划基金项目(2016GGJS-236)。

作者简介: 杜 恒(1976-), 男, 硕士, 副教授, 主要从事无线传感器网络、信号检测、软件理论与算法的研究。

败的概率,有效改善了移动传感网的整体数据传输能力. Levasseur 等^[5]提出了一种基于层次聚类重要性递归机制的 WSN 网络信号源定位算法,该机制利用 LTE-5G 信号的自适应漂移特性,采取多普勒机制获取信号频率的漂移从而实现定位,且定位的精度较高. Polak 等^[6]提出了一种基于区域-边缘节点混合交错定位机制的 WSN 网络信号源定位算法,该机制采取层次矩阵异构映射方式,将传统“扁平型”的拓扑结构通过矩阵空间映射方式进行了层次构造,并将数据传输问题划归为层次轨迹搜寻问题,并采取欧里几何空间最优解对问题进行解决,实现了交叉区域内数据的有效传输,且数据吞吐性能较好. 然而,上述机制仅能适应移动速度较低的无线传感网络,针对传感节点处于高速移动状态时所具有的流动特性难以进行频率纠正,在节点密度较大情况下,易导致定位过程出现精度下降的问题.

为了解决上述问题,本文提出了一种基于旋跳自漂移修正机制的超高速移动 WSN 网络信号源定位算法,首先考虑到超高速移动 WSN 同时具有的信号频率漂移高、拓扑位置多变的特性,采取频率漂移修正的方式降低节点移动性对定位过程的影响,并通过三角定位方式实现初步定位;随后考虑到锚节点的移动特性,基于跳数-频率漂移的方式,构建平均拓扑间距漂移因子,并使用该因子筛选出性能最佳的节点用于定位过程;最后,基于锚节点具有的粒子群特征,引入粒子群修正机制并采用 Sink 节点对锚节点进行初始化,改善 LTE-5G 频率漂移现象对锚节点基准坐标的影响,提高了基准坐标的获取精度. 最后,测试所提算法的信号定位精度.

1 本文高速移动 WSN 网络信号源定位算法

本文所提的基于旋跳自漂移修正机制的超高速移动 WSN 网络信号源定位算法过程见图 1,其包含 3 个部分:基于旋跳修正机制信号强度-节点跳数区域定位、自漂移误差修正机制的锚节点初始化、粒子群精度提升机制. 通过旋跳修正机制信号强度-节点跳数区域定位过程,显著降低传统的三角定位过程中难以适应 LTE-5G 信号漂移现象的难题,提高了定位过程的精度和可控性;通过自漂移误差修正机制的锚节点初始化,尽量降低信号漂移现象对锚节点本身坐标的干扰现象,防止因锚节点坐标误差而导致的定位误差出现;通过粒子群精度提升机制,能够对网络中的锚节点进行坐标修正,降低锚节点自身误差而导致的定位误差.

1.1 基于旋跳修正机制的信号强度-节点跳数区域定位

考虑移动传感网中节点处于移动状态,其拓扑结构仅在传输周期内保持相对稳定^[7]. 设图 2 中的 A, B, C 表示第 N 个传输周期中处于 3 个相邻区域内的区域节点,三者之间的平均跳数分别为: $L(A, B), L(A, C), L(B, C)$; A, B, C 三点间的实际拓扑距离(该距离可以通过多普勒频移方式直接获取^[8])分别为 $M(A, B, n), M(A, C, n), M(B, C, n)$; 由 DV-Hop 算法^[9]可得第 $N+1$ 个传输周期内待定位信号源 H 距离 A, B, C 三点的实际拓扑距离 $H(A, B, n+1), H(A, C, n+1), H(B, C, n+1)$ 为:

$$H(A, B, n+1) = \frac{L(A, B) + L(B, C)}{M(A, B, n) + M(B, C, n)} \quad (1)$$

$$H(B, C, n+1) = \frac{L(B, C) + L(A, C)}{M(B, C, n) + M(A, C, n)} \quad (2)$$

$$H(C, A, n+1) = \frac{L(B, C) + L(A, C)}{M(B, C, n) + M(A, C, n)} \quad (3)$$

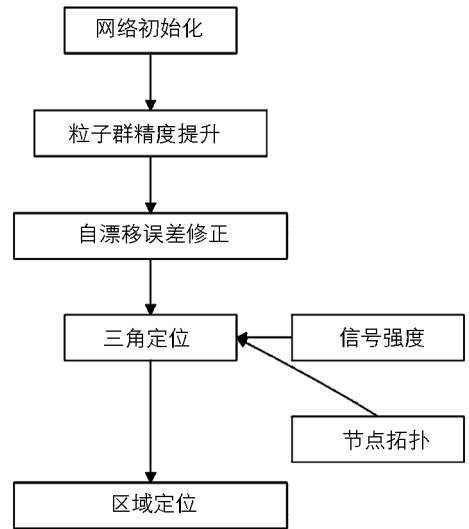


图 1 本文算法流程图

通过模型(1)~(3), 可以获取待定位信号源距离已知节点 A, B, C 之间的拓扑距离, 见图 3, A, B, C 为传输周期内的区域节点, 因此三者的物理位置在数据传输完毕前将保持不变, 通过三角定位法^[10]即可准确地获取待定位信号源 H 的详细坐标. 然而由于下一个周期中区域节点 A, B, C 的位置可能发生显著变化, 此外 LTE-5G 具有显著的频率漂移特性, 与当前广泛采取的多普勒频移法^[8]互相冲突, 因此, 本文采取频率因子修正方式对模型(1)~(3)进行改进.

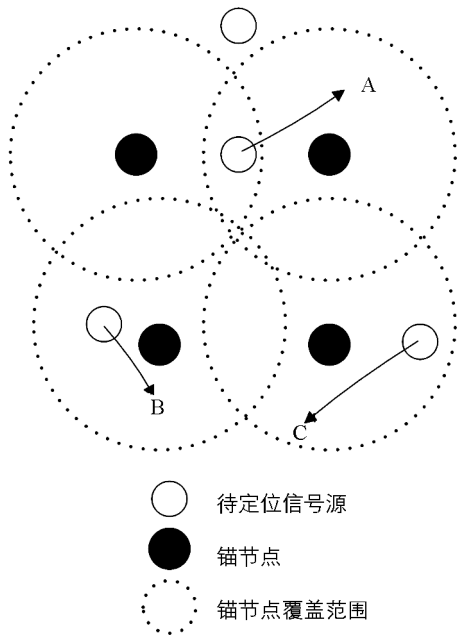


图 2 区域节点示意图

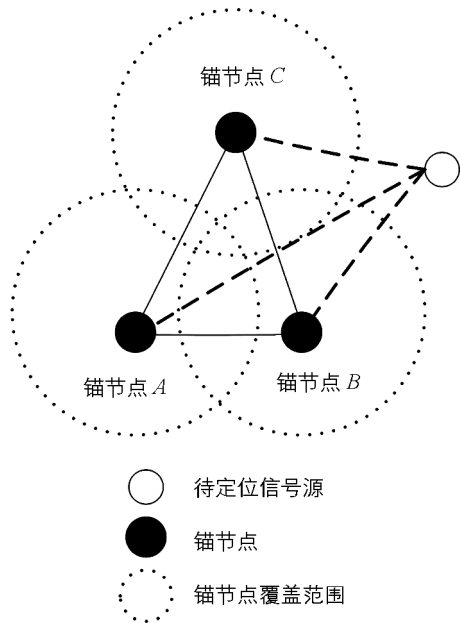


图 3 三角定位法

考虑到 A, B, C 为移动 WSN 网络中的区域节点, 见图 3, 一旦部署完毕, 则其射频频率将不会发生改变; 令网络中 $sink$ 节点的中心频率为 $\nu(sink)$, 任意第 N 个传输周期中 A, B, C 三点与 $sink$ 节点的频率偏移分别为: $\nu(A, sink, N)$, $\nu(B, sink, N)$, $\nu(C, sink, N)$; 则在第 $N+1$ 个传输周期内, A, B, C 三点的频率偏 $\nu(A, N+1)$, $\nu(B, N+1)$, $\nu(C, N+1)$ 的计算函数为

$$\nu(A, N+1) = \frac{\nu(B, sink, N) + \nu(C, sink, N)}{\nu(A, sink, N)} \quad (4)$$

$$\nu(B, N+1) = \frac{\nu(A, sink, N) + \nu(C, sink, N)}{\nu(B, sink, N)} \quad (5)$$

$$\nu(C, N+1) = \frac{\nu(B, sink, N) + \nu(A, sink, N)}{\nu(C, sink, N)} \quad (6)$$

若电磁波传播速度为 c , 则结合模型(1)~(6)可得 $N+1$ 个传输周期内待定位信号源 H 距离 A, B, C 三点的实际拓扑距离 $H(A, B, n+1)$, $H(A, C, n+1)$, $H(B, C, n+1)$ 应修正为

$$H(A, B, n+1) = \frac{c\nu(A, N+1)(L(A, B) + L(B, C))}{M(A, B, n) + M(B, C, n)} \quad (7)$$

$$H(B, C, n+1) = \frac{c\nu(B, N+1)(L(B, C) + L(A, C))}{M(B, C, n) + M(A, C, n)} \quad (8)$$

$$H(C, A, n+1) = \frac{c\nu(C, N+1)(L(B, C) + L(A, C))}{M(B, C, n) + M(A, C, n)} \quad (9)$$

按三角定位法^[10]即可得到待定位信号源 H 在任意时刻的物理位置.

1.2 基于自漂移误差修正机制的锚节点初始化

虽然通过模型(7)~(9)可获取待定位信号源 H 在任意时刻的物理位置, 然而, A, B, C 三点作为锚节

点,其物理位置处于不断变动之中.模型(7)~(9)通过频率偏移的修正,能够将 *sink* 节点与 A, B, C 三点的相对距离进行定位,即锚节点 A, B, C 能够通过测量多普勒频率偏移的方式进行定位,然后依据自身坐标对待定位信号源 H 进行二次定位.由于移动无线传感网节点处于超高速运动状态时,锚节点也处于高速运动状态,因此,通过 *sink* 节点进行三角定位时所获取的坐标精度难以进一步提高.鉴于采用三角定位方式的不足,本文在完成旋跳修正机制的信号强度-节点跳数区域定位流程后,进行如下调整:

待定位信号源 H 将在任意传输周期内对可接收到的 N 个锚节点均纳入考察范围,即对接收到的锚节点进行精度提升处理,降低锚节点因高速运动而带来的自漂移误差;针对多个锚节点进行拓扑跳数的合理估计,尽量降低待定位信号源 H 在定位过程中因锚节点位置误差而导致的二次定位误差,从而提高整体的定位精度.

假设待定位信号源 H 在定位过程中所发现的任意锚节点 i 的坐标为 (x_i, y_i) ,则 H 在定位过程中所发现锚节点间的拓扑间距漂移 L_i 为

$$L_i = \frac{\int_{i \neq j} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i \neq j} L_{ij}} \quad (10)$$

模型(10)中, L_{ij} 表示任意两处锚节点 i 和 j 之间的拓扑跳数,积分路径为锚节点 j 的运动轨迹.考虑到 i 和 j 均可以通过三角定位方式获取坐标,不妨设两者的坐标为 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) ,则两者间的物理位置相对差 $R(i, j)$ 为

$$R(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (11)$$

结合模型(10)~(11)可得 i 和 j 之间的物理距离偏移 $L(i, j)$ 为

$$L(i, j) = R(i, j)L_i \quad (12)$$

相关参数定义同模型(10),(11).

考虑到不同锚节点之间的物理距离偏移因素,若待定位信号源 H 在定位过程中所接收到的锚节点信号不唯一,则由模型(12)所决定的物理距离偏移会随着待定位信号源 H 及网络节点的超高速移动状态而不断累积,造成较大的定位误差.令当前经过搜寻获取的锚节点个数为 G ,则对于任意锚节点 i 而言,其平均拓扑间距漂移 M_i 为

$$M_i = \frac{\sum_{i \neq j} L(i, j) / \sum_{i \neq j} L_{ij}}{G + 1} \quad (13)$$

上式中相关参数定义同(11),(12).

在定位过程中,可按模型(13)对全部锚节点(共计 G 个)计算平均拓扑间距漂移,选取拓扑间距漂移最小的 3 个节点 A, B, C 进行拓扑定位.考虑到模型(13)获取的平均拓扑间距漂移未进行归一化处理,因此在模型(13)基础上进行归一化处理,则任意锚节点 i 的平均拓扑间距漂移指数 μ_i 为

$$\mu_i = \frac{\sum_{i=1}^G \frac{1}{M_i}}{\frac{1}{M_i}} \quad (14)$$

待定位信号源 H 在定位过程中按模型(14)获取全部的锚节点的平均拓扑间距漂移指数 μ_i ,获取流程见图 4,每个传输周期内均选取平均拓扑间距漂移指数最大的 3 个节点 A, B, C 进行拓扑定位,从而降低因锚节点自漂移因素而导致的定位误差.

1.3 粒子群精度提升机制

由于超高速移动 WSN 网络中包括锚节点在内的全部节点均处于超高速移动状态,传统方案^[11-12]仅对

网络定位过程中因超高速移动状态而导致的定位误差有所考虑, 很少根据锚节点在超高速移动过程中具有的粒子群特性进行研究^[13].

考虑到网络中 *sink* 节点具有网络的最高控制权, 因此可以根据锚节点具有的粒子群特性, 通过 *sink* 节点进行控制: 符合定位性能的锚节点予以继续保留, 通过精度控制, 不断地将锚节点移动至合适的位置, 提高锚节点对待定位信号源的适应性能, 强化网络的定位效果.

将网络中的锚节点看作是处于混沌状态的粒子, 每个粒子均可通过当前最优值 p_{opt} 及网络最优值 g_{opt} 来不断调整自身坐标; 其中当前最优值 p_{opt} 为锚节点的平均拓扑间距漂移, 可由模型(13)获取; 网络最优值 g_{opt} 可以由模型(14)获取; 粒子群精度提升机制的详细步骤如下:

Step 1: 对网络中全部锚节点进行初始化, 即 *sink* 节点通过搜寻, 寻找到当前处于存活状态的锚节点, 并记录每一个锚节点的当前最优值 p_{opt} 及网络最优值 g_{opt} ;

Step 2: 初始化过程完成后, 记录获取的全部 N 个锚节点的坐标 (x_n, y_n) , 设待定位信号源的坐标估计为 (x, y) , d_i 为待定位信号源 i 与 *sink* 节点间的物理距离, 记录完毕后, 转 Step 3;

Step 3: 根据锚节点坐标 (x_n, y_n) 及信号源坐标 (x, y) 的物理估计距离 d_i 构建距离方程:

$$\begin{aligned} \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} &= d_1 \\ &\vdots \\ \sqrt{(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2} &= d_n \end{aligned} \quad (15)$$

通过第 i 个锚节点的坐标 (x_i, y_i) 及信号源坐标 (x, y) , 构建裁决函数 $f(i)$:

$$f(i) = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (16)$$

其中 i 表示第 i 个锚节点, 在传输周期 T 内的目标函数 $F(i, T)$ 为

$$F(i, T) = \sum (f(i) - d_i)^2 \quad (17)$$

Step 4: 对比全部的锚节点当前最优值 p_{opt} , 若优于目标函数 $F(i, T)$, 则保持不变, 见图 5; 否则将当前目标函数的值赋予 p_{opt} , 其中 T 表示当前传输周期, $T+1$ 表示下一个传输周期.

$$p_{opt}(T+1) = \begin{cases} F(i) & \text{if } F(i, T) < p_{opt}(T) \\ p_{opt}(T) & \text{if } F(i, T) > p_{opt}(T) \end{cases} \quad (18)$$

Step 5: 对比全部的锚节点网络最优值 g_{opt} , 若优于目标函数 $F(i, T)$, 则保持不变, 见图 5; 否则将当前目标函数的值赋予 g_{opt} , 其中 T 表示当前传输周期, $T+1$ 表示下一个传输周期.

$$g_{opt}(T+1) = \begin{cases} F(i) & \text{if } F(i, T) < g_{opt}(T) \\ g_{opt}(T) & \text{if } F(i, T) > g_{opt}(T) \end{cases} \quad (19)$$

Step 6: 在数据传输周期 T 内, 根据计算获取的当前最优值 p_{opt} 及网络最优值 g_{opt} 来不断调整锚节点

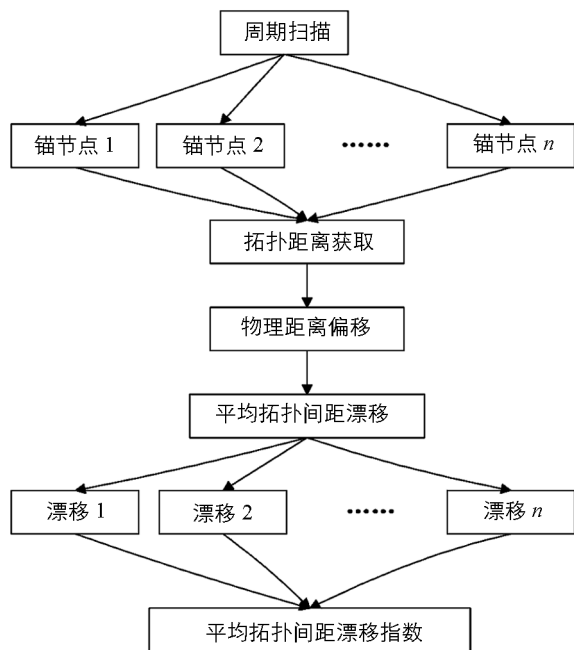


图 4 平均拓扑间距漂移指数的获取

的坐标,并用于信号源定位,传输周期 T 完毕后,返回 Step 1,继续进行锚节点坐标的修正过程.

1.4 算法复杂度分析

本文算法通过 3 个节点同时进行信号接收,而传统的基于单节点信号接受的算法,如超混沌偏移修正定位算法(Hyperchaotic Migration Correction Location algorithm, HMCL 算法)^[15]、螺旋递归自适应定位算法(Spiral Recursive Adaptive Positioning algorithm, SRAP 算法)^[16]及逐次跌跳收敛定位算法(Convergence and Convergence algorithm for Fall-Jump, FJ2C 算法)^[17]均采用周期定位方式进行信号定位,故本文算法的空间复杂度为 $\min\{O(K), O(M)\}$,其中 K 表示算法执行过程中节点的跳数, M 表示算法执行过程中节点的迭代周期,而采用周期定位方式的空间复杂度为 $O(K)$,显然本文算法在

性能最差时的空间复杂度亦可达到 $O(K)$,在空间复杂度上与传统算法相比具有一定的优势.从信号接收角度而言,本文算法采用三点定位方式,仅需要一次定位即可实现精准定位,时间复杂度为 $O(t)$,而 HMCL 算法、SRAP 算法和 FJ2C 算法均采用周期定位方式进行时间计算,因而时间复杂度为 $O(t^n)$,显然要远高于本文算法.

2 仿真实验

为了测试所提算法的定位性能,采用 NS2 平台进行实验,WSN 节点信号采用 LTE-5G 中常用的 128QAM 调制方式^[14],整个仿真过程中信号传输子载波数量不高于 128 路;对照组采用超混沌偏移修正定位算法(HMCL 算法)^[15]、螺旋递归自适应定位算法(SRAP 算法)^[16]和逐次跌跳收敛定位算法(FJ2C 算法)^[17].考虑到超高速移动无线传感网部署实践中网络环境抖动性较强,本次实验的信道环境采用高斯信道、瑞利信道、莱斯信道,用于模拟普通抖动、一般抖动、超高频抖动 3 种实际部署环境;采用定位精度、定位错误发生频率、信号上传带宽 3 个指标进行数据分析,相关实验参数如下所示.

表 1 信号生成的仿真参数

参 数	数 值	参 数	数 值
信号周期持续时间(T)	128 min	信号观测周期	2 048 ms
信号频率(f)	不低于 2.049 6 MHz	信号漂移	不高于 1 024 Hz
背景噪声均值(m)	0	锚节点个数	不低于 64
背景噪声方差(σ)	1	信道信噪比	不低于 16 dB
信号初始相位	π/M		

图 6(a)~(c)显示了本文算法在高斯信道、瑞利信道、莱斯信道 3 种实际部署环境下,与 HMCL 算法、SRAP 算法及 FJ2C 算法的定位精度仿真对比情况;由图可知,本文算法在 3 种实际部署环境下均具有显著的优势,定位精度较高,特别是在莱斯信道环境下定位精度远远高于对照组 3 种算法.这是由于本文算法通过基于旋跳修正机制信号强度-节点跳数区域定位、自漂移误差修正机制的锚节点初始化、粒子群精

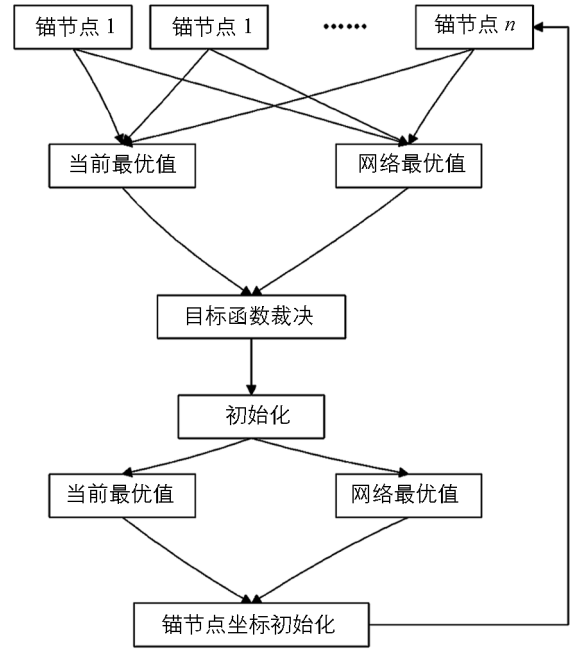


图 5 粒子群精度提升机制

度提升机制 3 种方式改善了传统算法中三角定位的同时, 针对 LTE-5G 信号的频率漂移进行了抑制处理, 特别是较对照组算法而言, 本文算法在通过粒子群精度提升机制, 能够在定位过程开始前进行锚节点坐标预修正过程, 大大降低了因锚节点坐标误差而导致的定位误差; HMCL 算法仅采用传统的三点定位方式, 需要预知锚节点的坐标, 一旦锚节点坐标误差较大时将难以进行定位; SRAP 算法虽然能够进行锚节点坐标修正, 然而该算法主要应对锚节点流动性较低时的部署环境, 若锚节点和待定位信号源均处于高速运动状态时, 很难进行信号位置的捕捉, 因此定位精度较差; FJ2C 算法虽然考虑了锚节点与信号源之间的相对拓扑变动因素, 然而该算法未对信号偏移因素进行考虑, 特别是未考虑节点信号传输采用 LTE-5G 时所带来的物理位置误差, 故而定位精度低于本文算法。

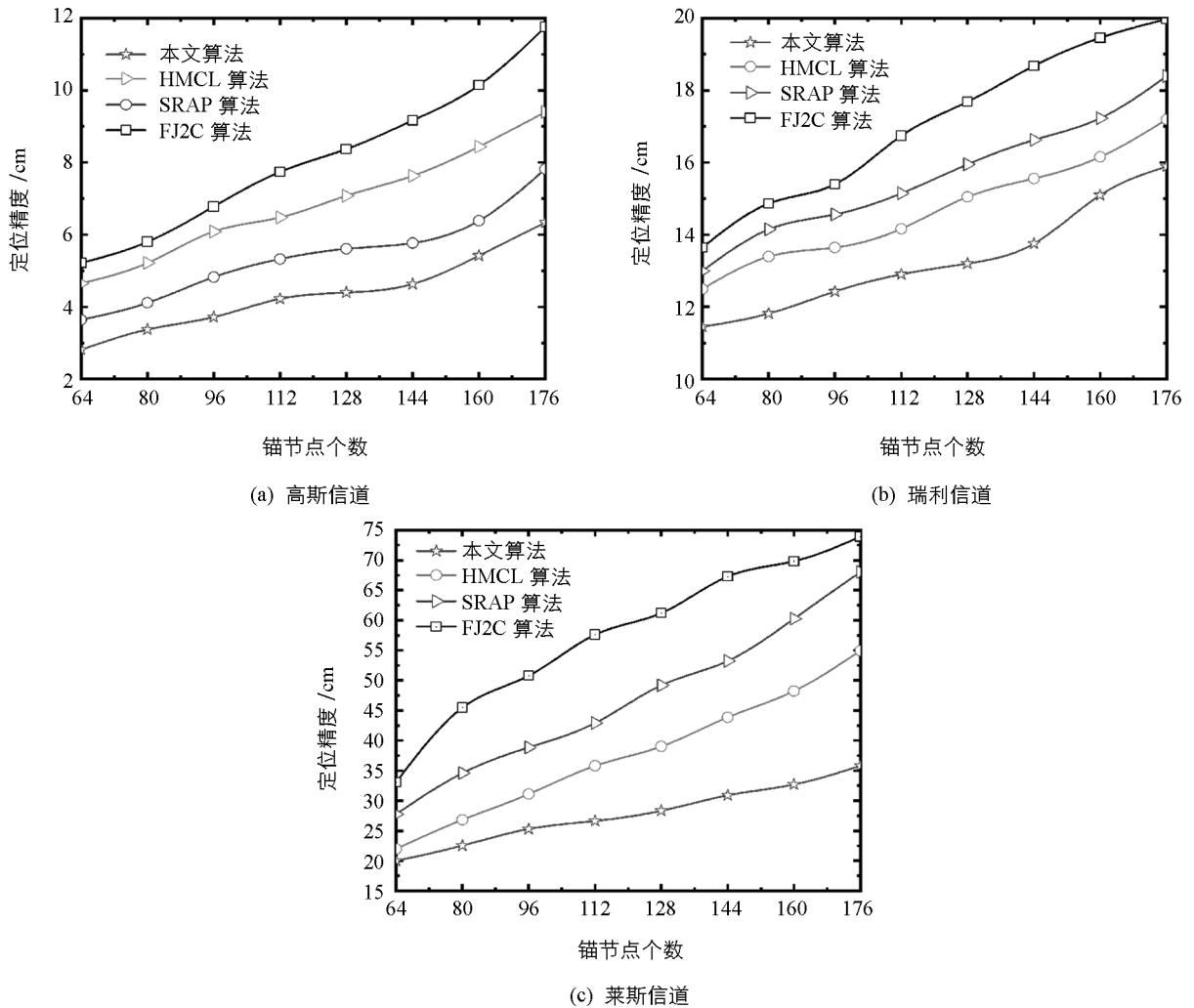


图 6 3 种算法在不同信道条件下的信号定位精度

图 7(a)~(c) 显示了本文算法在高斯信道、瑞利信道、莱斯信道 3 种环境下, 与 HMCL 算法、SRAP 算法及 FJ2C 算法的定位错误发生频率对比情况, 由图可知, 随着传输周期不断上升, 本文算法的定位错误发生频率要显著低于对照组算法。这是由于本文算法分别从信号层次和锚节点层次进行了错误控制, 能够从信号漂移、锚节点漂移 2 个方面同时进行误差控制, 降低了定位错误发生的频率; 而 HMCL 算法和 SRAP 算法由于仅能依托网络中存量的锚节点进行定位, 而移动无线传感网中锚节点因移动而出现故障的概率要远高于固定传感网, 因此, 这 2 种算法的定位性能要低于本文算法, 定位错误发生频率较高; SRAP 算法虽然能够采取轮询更新机制对网络中的锚节点进行周期更新, 然而由于更新过程中未对 LTE-5G 信号的高频特性进行处理, 使得该算法定位过程中因频率漂移过大而导致定位错误的发生几率要高于本文算

法,因此在定位错误频率的性能指标上,本文算法具有显著的优势。

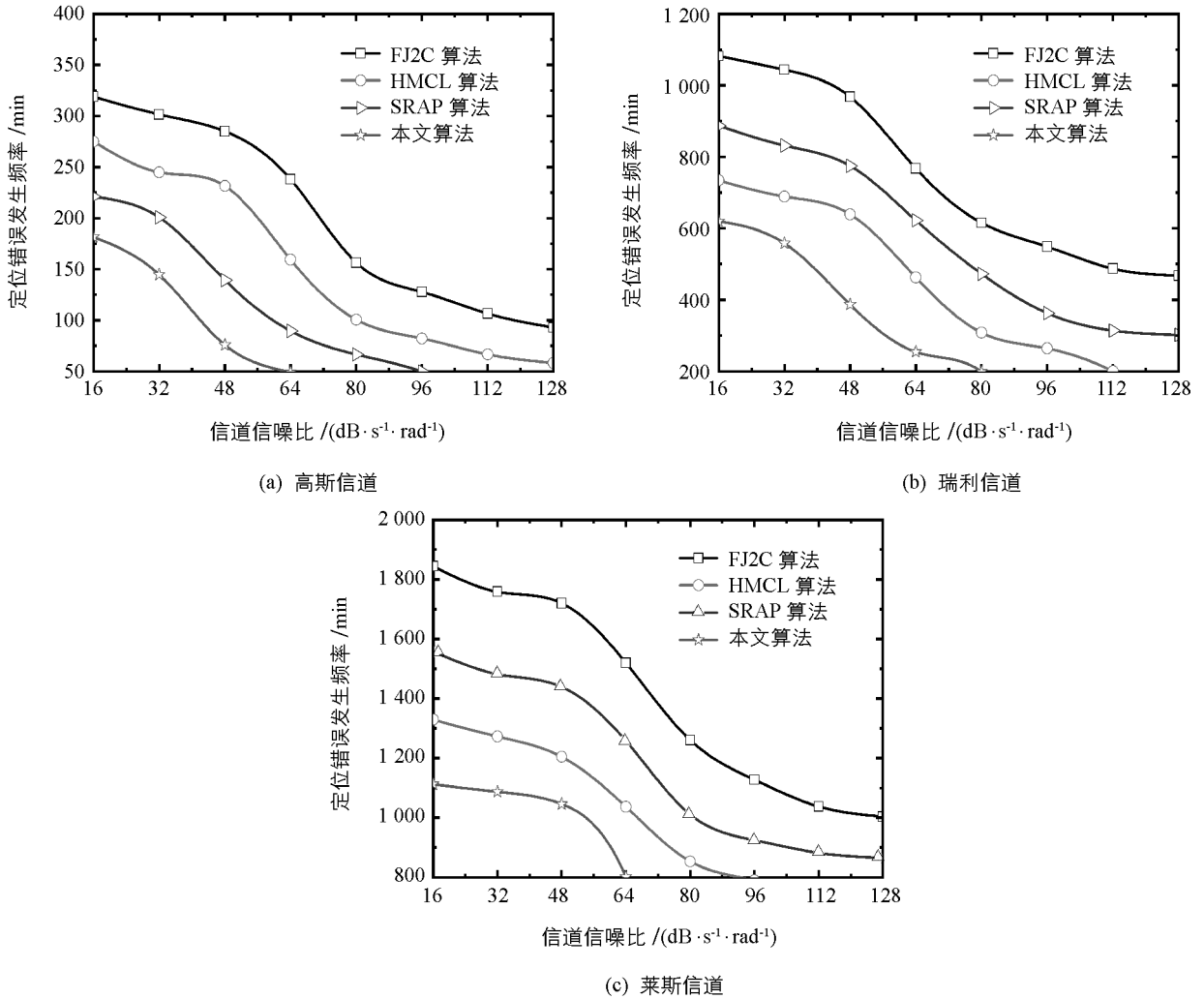


图 7 定位错误发生频率

图 8(a)~(c)显示了本文算法在高斯信道、瑞利信道、莱斯信道 3 种实际部署环境下,与 HMCL 算法、SRAP 算法及 FJ2C 算法的信号上传带宽对比情况,显然本文算法的信号上传带宽较高,且波动情况小,性能稳定。这是由于对于移动传感网而言,整个网络只有在定位准确时才能够顺利地完成任务。由定位精度仿真可知,本文算法的定位精度要显著高于对照组算法,且定位错误率较低,出现因定位错误而导致信号上传受阻的可能性较低;对照组算法由于采取的定位精度提升方式不足,如 HMCL 算法仅采用三点定位,SRAP 算法及 FJ2C 算法未考虑多维度控制因素且无法对锚节点进行精度提升,因此,因定位故障而导致信号上传受阻的情况发生概率要高于本文算法;故而本文算法的信号上传带宽性能与 3 种对照组算法相比具有明显的优势。

图 9(a)~(b)显示了在低抖动信道条件下(高斯信道)及高抖动信道条件下(莱斯信道),本文算法与对照组算法的能耗情况仿真实验结果。根据图 9 可知,本文算法的能耗水平更低,且随着干扰程度增大,其能耗变化较为平稳;而 HMCL 算法、SRAP 算法及 FJ2C 算法的能耗均要高于所提算法,当干扰强度增大时,其能耗增加幅度较大。尤其是在高抖动信道条件下,所提算法的优势更加明显。这是由于本文在同等信道信噪比条件下,锚节点定位频率较低,采用多维度精准定位方式确定锚节点,具有很强的抗噪能力,使得传输链路因背景噪声干扰而发生抖动的概率较小,因此信号上传能力要高于对照组算法,且本文算法通过粒子群的方式对流动性较大的节点进行精确定位,同时从信号漂移、锚节点漂移 2 个层面对链路抖动

及信道干扰进行精确消除, 改善定位过程中的频率偏移, 准确实现锚节点坐标的获取, 因而信号定位错误较低, 定位过程中所消耗的额外能量要少于对照组算法, 使得本文算法能够在能量受限的情况下以较低的能耗进行数据传输。

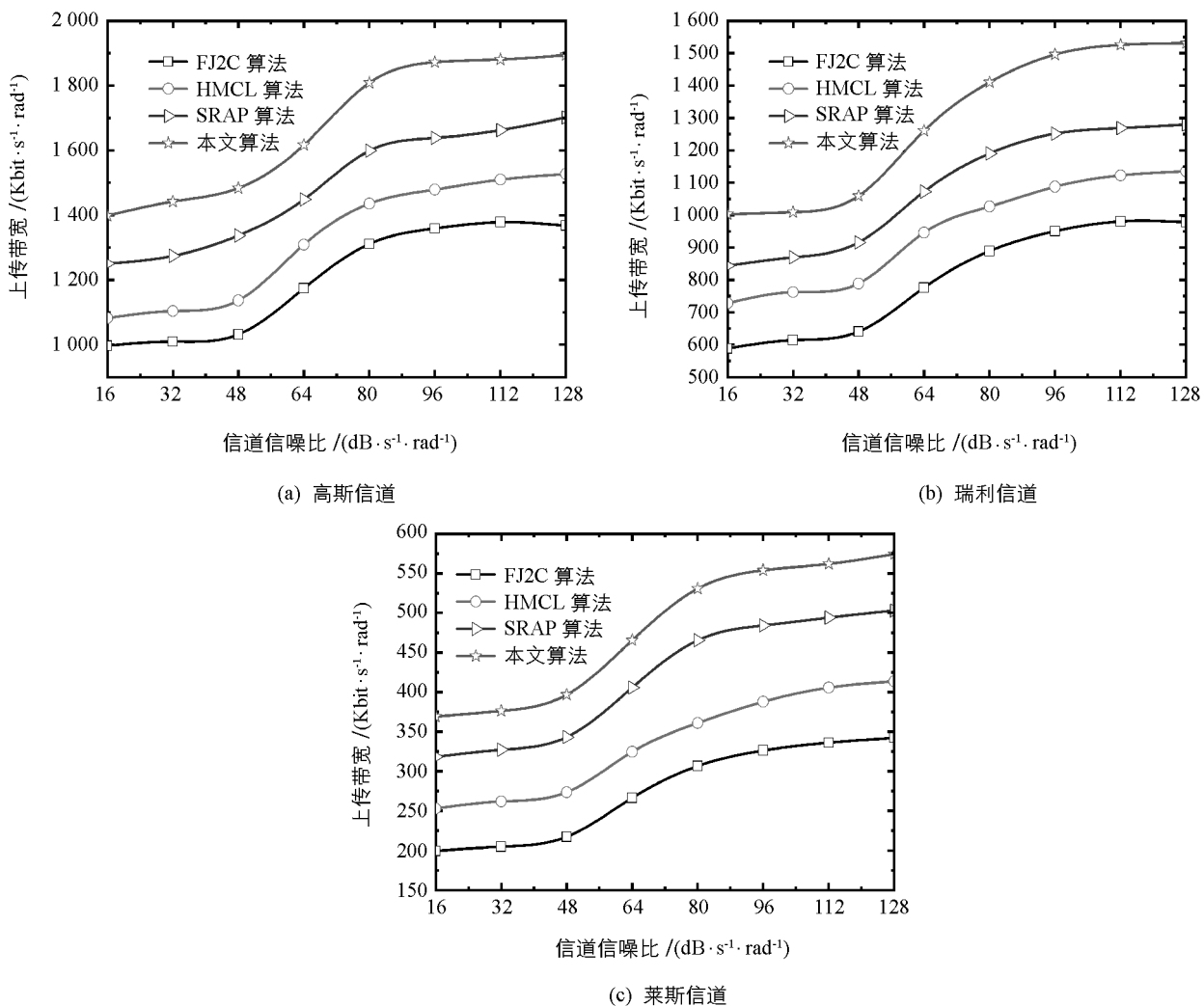


图 8 信号上传带宽测试

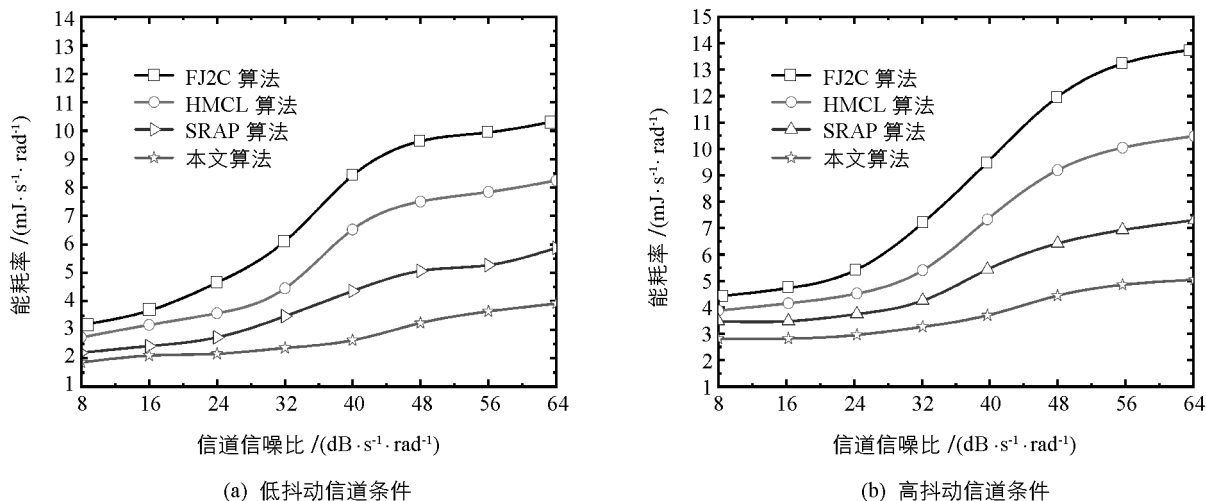


图 9 不同算法的能耗率测试结果

3 结束语

为解决当前 LTE-5G 技术背景下移动无线传感网在部署过程中存在信号源定位困难、数据链路防抖动性能差及信号上传带宽受限等难题,提出了一种基于旋跳自漂移修正机制的超高速移动 WSN 网络信号源定位算法;采取了基于旋跳修正机制信号强度-节点跳数区域定位、自漂移误差修正机制的锚节点初始化、粒子群精度提升机制 3 种方式,分别从信号漂移、锚节点误差控制、锚节点性能控制 3 个层次对影响超高速移动无线传感网定位过程中的信号漂移、锚节点误差控制困难、信号上传带宽性能较差等部署难题进行了有效的解决,与 HMCL 算法、SRAP 算法及 FJ2C 算法相比,本文算法定位性能卓越,且信号上传带宽容量具有明显的优势,具有良好的实际部署价值。

下一步,将考虑本文算法控制机制复杂所带来的能量消耗较快等难题,通过引入能量控制机制与节能定位机制,进一步提高本文算法定位节点在高复杂定位环境中的生存及适应能力,促进无线传感网技术与 LTE-5G 通信技术的深度融合,促进本文方案在实际中的推广应用。

参考文献:

- [1] 何沐曦,黄艺文,吕保强,等. 无线传感网络环境下 IEEE 1588 协议的仿真实现 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(10): 138-144.
- [2] SUTTON P D, ÖZGUL B, DOYLE L E. Cyclostationary Signatures for LTE Advanced and Beyond [J]. Physical Communication, 2014, 10: 179-189.
- [3] BANG J H, CHO Y J, KANG K. Anomaly Detection of Network-Initiated LTE Signaling Traffic in Wireless Sensor and Actuator Networks Based on a Hidden Semi-Markov Model [J]. Computers & Security, 2017, 65: 108-120.
- [4] JOVER R P, LACKEY J, RAGHAVAN A. Enhancing the Security of LTE Networks Against Jamming Attacks [J]. EURASIP Journal on Information Security(2014), 2014, 7: 1-14.
- [5] LEVASSEUR B, CLAYPOOL M, KINICKI R. Impact of Acknowledgments on Application Performance in 4G LTE Networks [J]. Wireless Personal Communications, 2015, 85(4): 2367-2392.
- [6] POLAK L, KLOZAR L, KALLER O, et al. Study of Coexistence between Indoor LTE Femtocell and Outdoor-to-Indoor DVB-T2-Lite Reception in a Shared Frequency Band [J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2015, 114: 1-14.
- [7] 汤佳,钱军浩,胡晓红. 基于能量阈值自感分区机制的无线传感网簇路由算法 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017, 42(9): 60-66.
- [8] 邵建,韦庞. 4G LTE 的关键技术及其现网实践 [J]. 移动通信, 2015, 39(3): 25-29.
- [9] 宋谱,孙震强,李英奇. LTE 无线网络 QoS 业务承载能力分析 [J]. 电信技术, 2015, 2: 32-36.
- [10] MAHFOUDI M, BEKKALI M E, NAJD A, et al. A New Downlink Scheduling Algorithm Proposed for Real Time Traffic in LTE System [J]. International Journal of Electronics and Telecommunications, 2015, 61(4): 409-414.
- [11] CHEN X, ZHANG P, ZHOU X. A Coding and Automatic Error-Correction Circuit Based on the Five-Particle State [J]. ZTE Communications, 2013, 11(3): 41-45.
- [12] XIANG G, ZHAN J W, LONG F H, et al. Hardware Implementation and Simulations of Joint Coding and Modulation Diversity MIMO-OFDM Scheme [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2013, 20(3): 27-34.
- [13] MOHAISEN L F, JOINER L L. Interference Aware Bandwidth Estimation for Load Balancing in EMHR-Energy Based with Mobility Concerns Hybrid Routing Protocol for VANET-WSN Communication [J]. Ad Hoc Networks, 2017, 66: 1-15.
- [14] 刘影,钱志鸿,孙大洋. 基于参考点序列的无线传感器网络节点定位算法 [J]. 吉林大学学报(工学版), 2012, 42(2): 489-493.

- [15] AI-KARAKI J N, KAMAL A E. Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: a Survey [J]. IEEE Wireless Communications, 2004, 11(6): 6–28.
- [16] LI B, WANG W J, YIN Q Y, et al. An Energy-Efficient Geographic Routing Based on Cooperative Transmission in Wireless Sensor Networks [J]. Science China(Information Sciences), 2013, 56(7): 1–10.
- [17] FENG G J, GU J, ALIWAN M, et al. Implementation of Envelope Analysis on a Wireless Condition Monitoring System for Bearing Fault Diagnosis [J]. International Journal of Automation and Computing, 2015, 12(1): 14–24.

The Signal Source Localization Algorithm for WSN Network Based on Spin-Jump Self-Drift Correction

DU Heng¹, YU Hui-fang², GONG Qian-ru¹

1. School of Electronic Information Engineering, Henan Polytechnic Institute, Nanyang, Henan 473009, China;

2. School of Communications and Information Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710121, China

Abstract: Due to the difficulty in signal source localization, the poor anti-jitter performance of the data links and limited bandwidth of signal transmission of the current mobile wireless sensor networks (WNSs) in the process of their deployment, this paper proposes a new algorithm for ultra-high speed mobile WSN network signal source localization based on the spin jump drift correction mechanism. Taking into consideration the signal stability characteristics of the anchor node in an area, and based on the inverse relationship between signal intensity and number of hops, we first design a method to search the signal intensity-node hop strength, thus succeeding in achieving the positioning of the signal source and selecting the best performance of the regional nodes. Then, based on the fact that a frequency drift occurs in the high-speed mobile process of the mobile WSN nodes, we calculate the error of anchor node hop drift, and improve the coverage of the nodes through the correction of the physical difference between the anchor nodes. As a result, the frequency interference coverage of the signal sources outside the region by the regional nodes is reduced and the bandwidth of signal transmission is improved. Finally, taking into account the fact that the *sink* node has the characteristics of central control, this paper establishes a mobile anchor node particle swarm model through the *sink* node control mode, and eliminate the frequency jitter problem of mobile anchor node coordinate in the process of mobility brought by the high cycle using recursive way. Simulation results show that compared with the chaotic offset correction localization algorithm, spiral recursive adaptive localization algorithm and localization algorithm convergence of successive jump down commonly used in the mobile location in WSN networks, this algorithm has higher positioning accuracy and signal upload bandwidth and lower positioning error in complex network conditions.

Key words: wireless sensor network (WSN); signal source localization; intensity search; frequency drift; frequency interference coverage; particle swarm motion model; coordinate jitter