

文章编号:1004-9037(2014)03-0465-07

认知无线网络中基于接收信号强度的定位算法

王慧锋 高 瞻

(解放军理工大学通信工程学院,南京,210007)

摘要:为了解决无线定位精度与复杂测距之间的矛盾,提出一种基于接收信号强度比较的非测距定位算法,接收信号强度比较(Received signal strength compare, RSSC)定位算法。为了满足认知无线网络中主用户的非合作特性,RSSC算法不需要主用户与认知用户合作。通过比较认知用户所测量到的接收信号强度,逐步确定主用户所在的区域,取区域的质心作为主用户的位置估计。根据认知用户密度、用户密度和信噪比3种参数,对RSSC算法的性能进行了分析。实验结果表明,RSSC算法与其他非测距定位算法相比,能够明显提高定位精度。

关键词:认知无线电;非测距定位;非合作定位

中图分类号:TP929.5 **文献标志码:**A

Localization Algorithm Based on Received Signal Strength Compare for Cognitive Radio Networks

Wang Hui Feng, Gao Zhan

(Institute of Communications Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing, 210007, China)

Abstract: A range-free localization algorithm using received signal strength compare, named as received signal strength compare (RSSC), is proposed to improve the accuracy of localization results by complex distance estimation technologies. According to the non-cooperative characteristic of primary users (PUs) in cognitive radio networks, RSSC does not need the cooperation between PUs and secondary users (SUs). RSSC counts the PUs' area by comparing the received signal strength (RSS) of SUs, and takes the centroid of the area as the location of the PUs. RSSC performance is analyzed in terms of its localization error parameterized by SU density, node density and SNR presents. Experiments demonstrate that the localization accuracy is enhanced a lot with RSSC as compared with other range-free localization algorithms.

Key words: cognitive radio; range-free localization; non-cooperation localization

引 言

随着无线电通信业务的飞速发展,频谱已经成为一种稀缺的资源。最近的研究发现,固定频谱分配政策导致频谱利用率低下,使频谱资源的供需矛盾更为严重。在这一背景下,认知无线电作为一种高效利用频谱的技术手段出现了。在认知无线网络中,认知用户(Secondary user, SU)通过对

“频谱空洞”的利用,可以在不影响主用户(Primary user, PU)正常工作的情况下,使用空闲频段接入网络,有效解决频谱资源紧张和频谱利用率低下的问题。而主用户的位置信息是发现和利用空间“频谱空洞”的一个关键因素。认知用户获取了主用户的位置信息,将会有效地避免对主用户的干扰^[1],例如:获得了主用户位置,可以对认知用户的发射功率进行控制,只要发射范围不覆盖主用户,认知用户就可以与主用户同时利用频谱并且不对主用户

造成干扰。或者可以采用波束形成技术,在非主用户位置的方向利用频谱。而且,主用户位置信息对认知用户的检测性能有很大的提升^[2]。因此研究认知无线网络中主用户的定位问题具有重要意义。

无线定位技术是在传感器网络中发展起来的。在传感器网络中,一些传感器节点配备有 GPS 设备,能够实现自身定位,称为锚节点;另外一些传感器节点位置未知,待定位,称为未知节点。锚节点对未知节点进行定位的过程中,锚节点与未知节点可以互相通信,存在合作。而认知无线网络的一个显著特点是主用户与认知用户不合作,认知用户只能接收主用户的信号,二者之间的通信是单向的,这使得现存的大多数定位算法在认知无线网络中都不再适用^[3],例如传感器网络中基于接收信号强度(Received signal strength, RSS)的测距定位算法,由于主用户的不合作,认知用户不能获得主用户发射机功率的先验信息,从而无法将接收信号强度转化为二者之间的距离,导致该定位算法无法完成认知无线网络中对主用户的定位^[4]。因此,认知无线网络中的主用户定位问题成为一个全新的课题。另外,根据无线电传播的特点,认知用户最容易获得的信息就是接收信号强度。以上两点促使研究一种非合作的利用接收信号强度的定位算法。

定位算法可分成距离相关和距离无关两大类。距离相关定位算法^[5]即测距定位算法需要精确估计未知节点与锚节点之间的距离,例如 RSS 定位算法^[6],到达时间(Time of arrival, TOA)定位算法^[7],到达时间差(Time difference of arrival, TDOA)定位算法^[8],到达角度(Angle of arrival, AOA)定位算法^[9],而精确的距离估计只有在掌握路径损耗模型先验信息的情况下才能得到,而路径损耗系数不易掌握。另外,距离相关定位算法对认知用户的硬件、成本和功耗要求较高。距离无关定位算法^[10]即非测距定位算法不需要估计未知节点与锚节点之间的距离,只利用网络用户之间的连通情况来估测主用户的位置,对信道条件变化的鲁棒性强,算法简单,硬件成本低,但是定位精度不如距离相关定位算法,典型的距离无关定位算法有质心定位算法^[11],DV-hop 定位算法^[12]。本文提出一种新的距离无关的定位算法,它在定位精度和复杂测距之间实现了较好的折衷,既能获得较高的定位精度,又无需复杂的测距技术。由于本算法的非合作特性,它可以从主用户定位扩展到所有无线发射设备的定位中。

1 相关算法

1.1 质心定位算法

多边形的几何中心称为质心,多边形顶点坐标的平均值就是质心的坐标。质心定位算法的核心思想是:将所有与未知节点连通的锚节点所组成的多边形的质心作为未知节点的位置估计。锚节点周期性地向邻近节点广播信标信号,信号中包含锚节点自身的 ID 和位置信息。当未知节点接收到信标信号数量超过一个预设门限或接收一定时间后,说明未知节点与此锚节点连通。在此过程中,需要未知节点与锚节点的合作。由文献^[13]可知,质心定位算法实现简单,完全基于网络连通性,但是其定位精度与锚节点密度以及分布有很大关系,在锚节点密度较低以及节点分布不均匀的网络中,定位误差很大。

1.2 DV-Hop 定位算法

Dragos Niculescu 等人利用距离矢量路由和 GPS 定位的原理提出了一系列分布式定位算法,合称为 APS,例如 DV-Hop, DV-Distance, DV-Euclidean, DV-Coordinate, DV-Bearing 和 DV-Radial。最具代表性的是 DV-Hop, DV-Hop 算法主要由 4 个阶段组成:

- (1) 利用典型的距离矢量路由协议,使网络中所有未知节点获得距锚节点的跳数信息。
- (2) 在获得其他锚节点的位置和相隔跳数信息后,每个锚节点估计网络平均每跳距离。
- (3) 未知节点到锚节点之间的距离用网络中节点平均每跳距离和到锚节点间的跳数乘积来估计。
- (4) 当未知节点获得与 3 个或更多锚节点间的距离后,则执行 3 边或多边测量定位法。

DV-Hop 算法是一种完全基于节点的连通性、无需任何附加硬件支持的定位算法,但节点之间通信量较大,而且利用多跳距离代替直线距离,会导致平均定位误差增大。另外,算法的定位精度依赖于网络的部署条件,适用于密集部署的各向同性网络。

2 RSSC 定位算法

研究发现,在环境相同的较大区域内(如同一片森林),或在环境因子单一的较小区域内(如房间内),阴影衰落、多径效应等环境因素对各节点的接收信号强度的影响基本相同。即同一环境条件下,环境因子基本相同,几乎所有节点的接收信号强度测量值要么同时偏大,要么同时偏小^[14]。那么,接

收信号强度的大小能够反映出距信号源距离的大小,即接收信号强度大,则节点距信号源距离小;接收信号强度小,则节点距信号源距离大。从这个角度出发,本文作如下假设:(1)认知用户的位置信息已知,主用户的位置未知,认知用户联合定位主用户。(2)所有用户布置在相同的二维平面环境中。(3)忽略环境中异常环境因子的影响。根据以上思路,具体算法如下。

2.1 认知用户选择

在认知无线网络中分布着若干认知用户,根据无线传播的特性,认知用户可以测量到主用户发出信号的接收信号强度,采用二元假设模型来判断认知用户是否在主用户的覆盖范围内,表示为

$$\begin{cases} H_0: \text{RSS}_i \leq T \\ H_1: \text{RSS}_i \geq T \end{cases} \quad (1)$$

式中: RSS_i 表示第 i 个认知用户处的接收信号强度, T 表示接收信号强度门限值。若第 i 个认知用户处的接收信号强度小于门限值,则认知用户不在主用户的覆盖范围内,不参与主用户的定位,用 H_0 表示。 H_1 与 H_0 相反。

2.2 确定主用户所在区域

假设用户分布如图 1 所示,在主用户信号覆盖范围内分布着 4 个认知用户 SU_1, SU_2, SU_3, SU_4 。

(1) $\text{RSS}_4 > \text{RSS}_1$, 即 Euclid 距离 $|PU-SU_4| < |PU-SU_1|$, 作 SU_1 与 SU_4 连线的中垂线,确定主用户位于阴影区域 $N_1N_2N_3$ 中,如图 1 所示。

(2) $\text{RSS}_2 > \text{RSS}_1$, 即 Euclid 距离 $|PU-SU_2| < |PU-SU_1|$, 作 SU_1 与 SU_2 连线的

中垂线,确定主用户位于区域 $N_4N_5N_3$ 中,如图 2 所示。

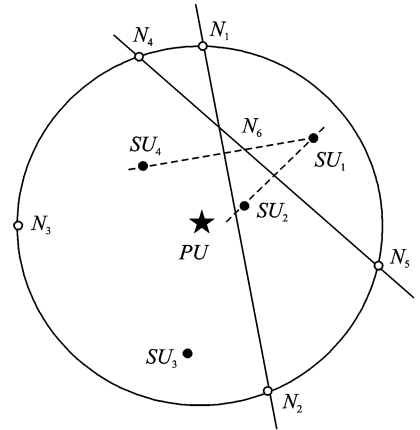


图 2 区域确定步骤 2
Fig. 2 Area confirm step 2

(3) 依照前两步的方法,同理可确定主用户位于 ABC 区域内,如图 3 所示。

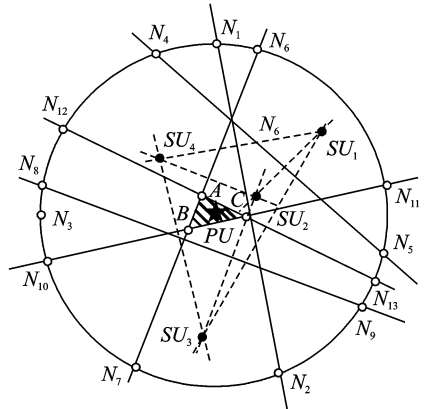


图 3 区域确定步骤 3
Fig. 3 Area confirm step 3

2.3 主用户坐标估计

确定主用户所在区域后,依次求出 A, B, C 三点的坐标,取区域的质心作为主用户的位置估计。认知用户的坐标分别为 $(x_i, y_i), i=1, 2, 3, 4$ 。

直线 N_6N_7 是直线 SU_2SU_4 的中垂线,那么直线方程 N_6N_7 表示为

$$y - \frac{(y_2 + y_4)}{2} = \frac{x_2 - x_4}{y_4 - y_2} \left[x - \frac{(x_2 + x_4)}{2} \right] = k_1 \left[x - \frac{(x_2 + x_4)}{2} \right] \quad (2)$$

同理,直线 $N_{10}N_{11}$ 表示为

$$y - \frac{(y_3 + y_4)}{2} = \frac{x_3 - x_4}{y_4 - y_3} \left[x - \frac{(x_3 + x_4)}{2} \right] =$$

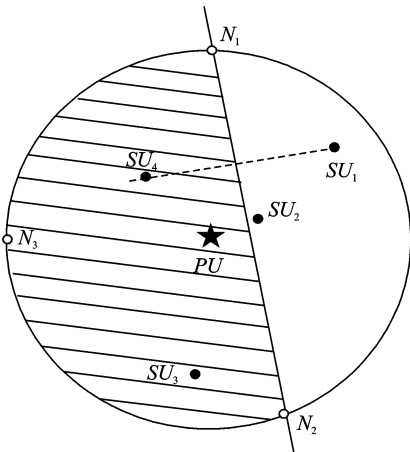


图 1 区域确定步骤 1
Fig. 1 Area confirm step 1

$$k_2 \left[x - \frac{(x_3 + x_4)}{2} \right] \quad (3)$$

直线 $N_{12}N_{13}$ 表示为

$$y - \frac{(y_3 + y_1)}{2} = \frac{x_3 - x_1}{y_1 - y_3} \left[x - \frac{(x_3 + x_1)}{2} \right] = k_3 \left[x - \frac{(x_3 + x_1)}{2} \right] \quad (4)$$

点 A 的坐标为

$$(A_x, A_y) = \left(\frac{y_3 + y_1 - y_2 - y_4 + k_1(x_2 + x_4) - k_3(x_3 + x_1)}{2(k_1 - k_3)}, \frac{k_1 k_3 (x_3 + x_1 - x_2 - x_4) + k_3(y_2 + y_4) - k_1(y_3 + y_1)}{2(k_3 - k_1)} \right) \quad (5)$$

点 B 的坐标为

$$(B_x, B_y) = \left(\frac{y_3 - y_2 + k_1(x_2 + x_4) - k_2(x_3 + x_1)}{2(k_1 - k_2)}, \frac{k_1 k_3 (x_3 - x_2) + k_3(y_2 + y_4) - k_1(y_3 + y_4)}{2(k_2 - k_1)} \right) \quad (6)$$

点 C 的坐标为

$$(C_x, C_y) = \left(\frac{y_1 - y_4 + k_2(x_3 + x_4) - k_3(x_3 + x_1)}{2(k_2 - k_3)}, \frac{k_2 k_3 (x_1 - x_4) + k_3(y_3 + y_4) - k_2(y_3 + y_1)}{2(k_3 - k_2)} \right) \quad (7)$$

主用户的位置估计为

$$(x', y') = \left(\frac{A_x + B_x + C_x}{3}, \frac{A_y + B_y + C_y}{3} \right) \quad (8)$$

主用户的定位误差 E 表示为

$$E = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2} \quad (9)$$

式中 (x, y) 为主用户的实际坐标。

由上述过程可以看出, RSSC 定位算法实现简单, 只利用接收信号强度比较估计出主用户的位置。算法在执行过程中, 不需要计算主用户与认知用户之间的距离, 因此属于距离无关即非测距定位算法。算法不需要主用户与认知用户的合作, 因此, 满足认知无线网络中主用户非合作的特性。

3 算法仿真与性能分析

本文对 RSSC 算法与质心定位算法、DV-Hop 定位算法进行仿真实验和对比, 分别研究用户随机分布和格状均匀分布两种情况下, 认知用户密度, 用户密度以及信噪比对定位算法性能的影响。对于不同的情况, 本文分别进行了 3 000 次仿真, 然

后对仿真结果进行统计, 取平均值作为最后的评价结果。

仿真是在一个 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 的正方形区域内进行的, 在区域内分布着若干个主用户和认知用户。由于接收信号强度与距主用户的距离成反比, 为了便于仿真, 仿真时用距离门限作为连通门限代替接收信号强度门限 T 。

3.1 用户分布

图 4, 5 分别表示出在 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 的正方形区域内随机和格状均匀部署 80 个主用户和 30 个认知用户的用户分布情况。主用户和认知用户分别用 \cdot 和 $*$ 表示。

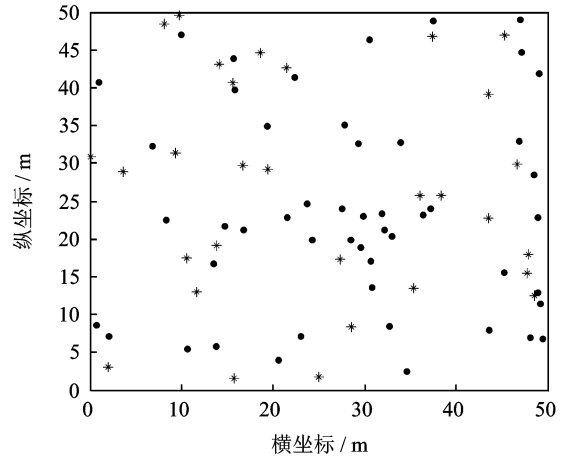


图 4 用户随机分布

Fig. 4 Random distribute users

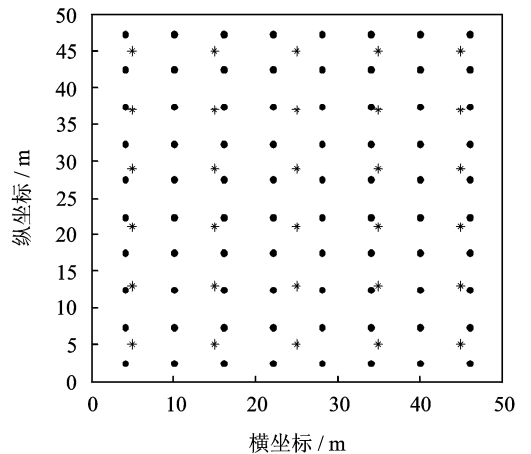


图 5 用户格状均匀分布

Fig. 5 Uniform distribute users

3.2 认知用户密度对定位性能的影响

由于区域固定, 用户密度与用户数目变化一致。图 6, 7 分别描述了主用户数目为 80 个, 距离

门限值为 20 m, 认知用户数目从 30 个到 80 个变化, 用户随机分布和格状均匀分布时质心定位算法、DV-Hop 定位算法、RSSC 定位算法 3 种算法的定位误差变化。

从图中可以看出, 用户格状均匀分布时 3 种算法的定位误差都小于用户随机分布时的定位误差, 因此, 3 种算法的定位精度都与用户的分布情况有关。随着认知用户密度的增加, 3 种算法的定位误差都有所下降。认知用户密度增加, RSSC 定位算法所确定的主用户所在区域就越小, 通过取区域质心, 主用户的定位精度就越高。DV-Hop 算法利用多跳距离代替直线距离进行定位, 质心定位算法的定位精度受用户的分布和密度影响很大, 因此, 二者的定位精度都低于 RSSC 定位算法。仿真结果表明: RSSC 定位算法的定位精度比质心定位算法提高了大约 25%, 比 DV-Hop 定位算法提高了大约 18%。

3.3 用户密度对定位性能的影响

图 8,9 分别描述距离门限为 30 m, 认知用户数占总用户数的比例保持 30% 不变, 改变总用户的个数, 用户随机分布和格状均匀分布时 3 种算法的定位误差变化情况。

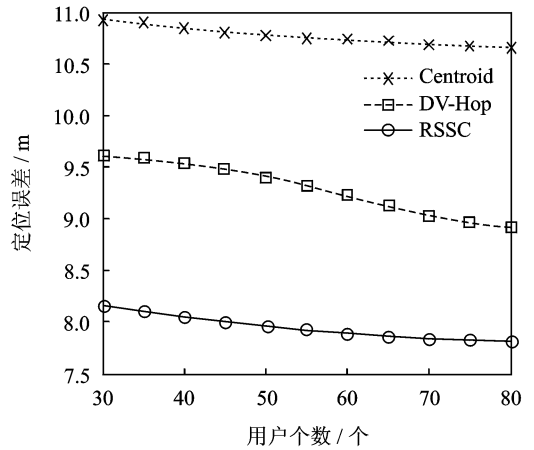


图 8 用户随机分布用户数变化

Fig. 8 User number change in random distribution

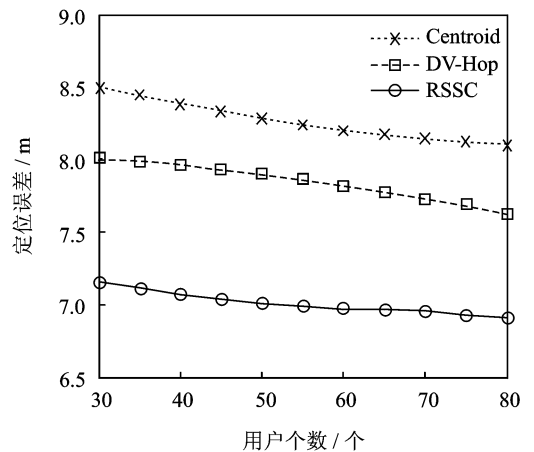


图 9 用户格状均匀分布用户数变化

Fig. 9 User number change in grid uniform distribution

从图中可以看出, 用户随机分布和格状均匀分布两种情况下, 随着网络中用户密度的增加, 3 种算法的定位误差都随之降低。用户密度越大, 由于认知用户数占总用户数的比例保持不变, 则网络中的认知用户越多, 对于每一个主用户来说, 参与其定位的认知用户数就越多, 从而 RSSC 定位算法的定位精度就越高。从仿真结果同样可以看出, RSSC 算法的定位精度高于质心定位算法与 DV-Hop 定位算法。

3.4 信噪比对定位性能的影响

图 10,11 分别描述距离门限为 30 m, 主用户

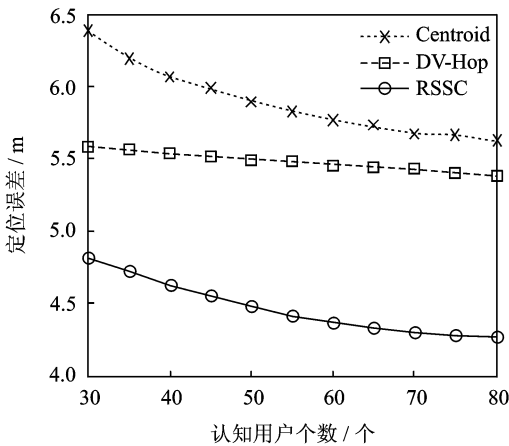


图 6 用户随机分布认知用户数变化

Fig. 6 SU number change in random distribution

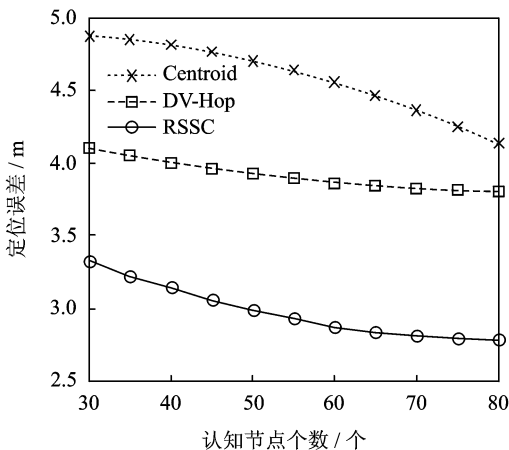


图 7 用户格状均匀分布认知用户数变化

Fig. 7 SU number change in grid uniform distribution

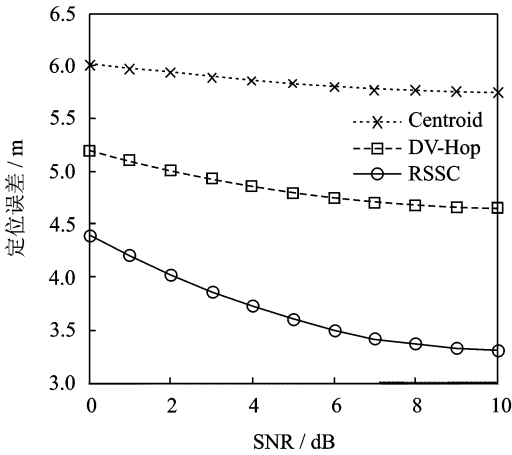


图 10 用户随机分布信噪比变化

Fig. 10 SNR change in random distribution

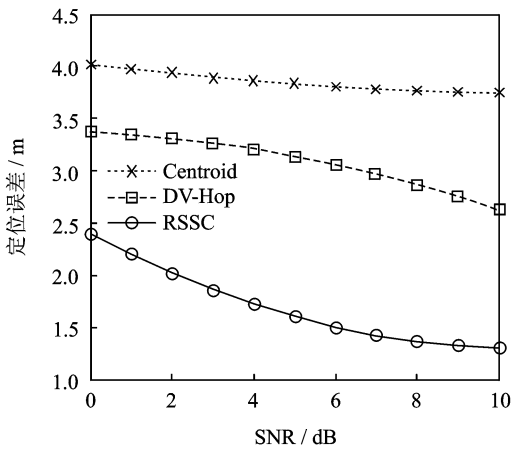


图 11 用户格状均匀分布信噪比变化

Fig. 11 SNR change in grid uniform distribution

和认知用户均为 30 个,信噪比从 0 dB 到 10 dB 变化,用户随机分布和格状均匀分布时 3 种算法的定位误差变化情况。

从图中可以看出,用户随机分布和格状均匀分布两种情况下,随着网络中信噪比的增加,3 种算法的定位误差都随之降低。信噪比越大,认知用户接收信号强度值比较结果越准确,从而 RSSC 定位算法的定位精度就越高。从仿真结果可以看出,RSSC 算法的定位精度高于质心定位算法与 DV-Hop 定位算法。

4 结束语

本文在认知无线网络场景下,提出一种利用认知用户接收信号强度比较定位主用户位置的非测距算法(RSSC 定位算法)。该算法符合认知无线网络中主用户的非合作特性,算法实现简单,

不需要计算主用户与认知用户之间的距离,定位精度较其他非测距定位算法高,解决了复杂测距与定位精度之间的矛盾。仿真结果表明,RSSC 算法的定位精度与用户分布方式有关,并且随着认知用户密度、用户密度、信噪比的增加,定位误差减小。

参考文献:

- [1] Ma Zhiyao, Wei Chen, Khaled B, et al. A semi range-based iterative localization algorithm for cognitive radio networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010,59(2):704-717.
- [2] Peng Jia, Mai V, Tho L. Capacity impact of location-aware cognitive sensing [C]//Global Telecommunications Conference. Honolulu, HI: IEEE Conference Publications Press, 2009:1-6.
- [3] Celebi H, Arslan H. Cognitive positioning systems [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007,6(12):4475-4483.
- [4] Kim S, Jeon H, Ma J. Robust localization with unknown transmission power for cognitive radio [C]// Military Communications Conference. Orlando, FL: IEEE Conference Publications Press, 2007:1-6.
- [5] Wang Huifeng, Gao Zhao, Guo Yan, et al. A survey of range-based localization algorithms for cognitive radio networks [C]//2th International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks. Yichang: IEEE Conference Publications Press, 2012:844-847.
- [6] 任维政,徐连明,邹德君,等.基于 RSSI 差分似然估计的 WSN 节点定位算法[J].数据采 集与处理, 2009,24(6):757-761.
Ren Weizheng, Xu Lianming, Zou Dejun, et al. Positioning algorithm using maximum likelihood estimation of RSSI difference in wireless sensor networks [J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2009,24(6):757-761.
- [7] Dardari D, Chong C, Win M. Threshold-based time-of-arrival estimators in UWB dense multipath channels [J]. IEEE Transactions on Communication, 2008,56(8):1366-1378.
- [8] 吴艳群,倪明,胡永明.一种平面阵定位的改进算法 [J].数据采 集与处理,2009,24(2):198-202.
Wu Yanqun, Ni Ming, Hu Yongming. Improved localization algorithm based on planar array [J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2009,24(2): 198-202.
- [9] 王瑞,陈砚圃,张恒.声源定位中波达角一致性检测方法 [J].数据采 集与处理,2010,25(6):756-760.
Wang Rui, Chen Yanpu, Zhang Heng. Method for

- detecting DOA homogeneity in sound source localization[J]. *Journal of Data Acquisition and Processing*, 2010, 25(6):756-760.
- [10] He Tian, Huang Chengdu, Blum B, et al. Range-free localization schemes for large scale sensor networks[C]//9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. San Diego: ACM Press, 2003:81-95.
- [11] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less low cost outdoor localization for very small devices[J]. *IEEE Personal Communications Magazine*, 2000, 7(5):28-34.
- [12] Niculescu D, Nath B. DV based positioning in Ad hoc networks [J]. *Journal of Telecommunication Systems*, 2003, 22(14):267-280.
- [13] Wang Jun, Urriza P, Han Yuxing, et al. Weighted centroid localization algorithm: theoretical analysis and distributed implementation[J]. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2011, 10(10): 3403-3413.
- [14] 高鹏,石为人. 基于测距定向的 WSNs 分步求精定位算法[J]. *仪器仪表学报*, 2012, 33(5):976-984.
Gao Peng, Shi Weiren. Stepwise refinement localization algorithm for wireless sensor networks (WSNs) based on ranging and orientation[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2012, 33(5):976-984.

作者简介:王慧锋(1986-),男,硕士研究生,研究方向:认知无线网络中的定位, E-mail: 13401938138@163.com;高瞻(1976-),男,副教授,研究方向:认知无线电。