

WSN 中基于信道传播特性的室内跟踪定位算法

李颖¹, 郑新旺¹, 何雨青², 胡妮娜², 杨光松²

(1. 集美大学诚毅学院, 福建 厦门 361021; 2. 集美大学信息工程学院, 福建 厦门 361021)

[摘要] 针对传统的 RSSI (received signal strength indication) 定位方法会受到室内无线信道传播特性影响的问题, 首先在密闭走廊、开放走廊和实验室三种不同场景下, 对无线信号强度进行测试并统计其概率分布, 构建室内无线信道传播特性模型。然后, 锚节点定期测量移动节点信标信号的 RSSI, 中心节点利用最大似然法和信道传播特性模型来估算其坐标位置、移动速度和行进方向。实验结果证明, 该方案可以实现不同室内环境下移动节点的跟踪定位, 并满足精度要求。

[关键词] 无线传感网络; 信道传播特性; 跟踪; 最大似然法

[中图分类号] TP 393; TN 915

Positing and Tracking Algorithm Based on Channel Propagating Characteristic for Indoor Wireless Sensor Network

LI Ying¹, ZHENG Xinwang¹, HE Yuqing², HU Nina², YANG Guangsong²

(1. Chengyi University College, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. School of Information Technology, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: The indoor wireless channel has an effect on the traditional RSSI (Received Signal Strength Indication) positioning method. To solve the problem, the positing and tracking method has been studied in this paper. Firstly, the indoor channel propagation model is established by actual measurement and fitting analysis of wireless signal strength in three different scenarios, which included closed corridor, open corridor and laboratory. The anchors measure RSSI of mobile anchor beacon regularly. The center node estimates the coordinates of the location, moving speed and direction by using the Maximum Likelihood method and indoor channel propagation model. Simulation results prove that the proposed scheme is effective and can meet the precision real-time requirements of indoor tracking localization in different indoor environments.

Keywords: wireless sensor network; propagating characteristic of channel; tracking; maximum likelihood

0 引言

传感网在室内定位场景中, 需要对一些特殊目标进行跟踪和定位, 例如会场特定排座、商品陈列单位立停人数测量、视觉障碍者移动支援、步行者导航、危急监测自动定位报警、室内机器人控制等^[1]。如, 文献 [2] 利用参考数据和测量接收信号强度指示 (received signal strength indication, RS-

[收稿日期] 2017-05-11

[修回日期] 2018-01-03

[基金项目] 福建省自然科学基金项目 (2015J01267, 2015J01657); 福建省教育厅科研项目 (JA15650, JA15257); 福建省中青年教师教育科研项目 (JT180877); 福建省本科高校教育教学改革研究项目 (FBJG20180258); 福建省高等学校学科带头人培养计划项目

[作者简介] 李颖 (1983—), 女, 讲师, 主要从事无线传感网络研究。通信作者: 杨光松 (1968—), 男, 教授, 从事无线通信方向研究, E-mail: gsyang@jmu.edu.cn。

<http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

SI) 的数据来找寻室内最有可能的运动轨迹作为序列检查区域, 同时结合最大似然度量法进行序列检测来实现运动跟踪定位; 文献 [3] 借助最大似然法估算静态参数来实现传感器的同步定位和跟踪; 文献 [4] 提出一种基于拓扑信息重建多维欧几里得空间里节点的方法, 借助最大似然法来实现节点重建和定位。这些研究提出的算法没有考虑信道的影响因素。然而在实际电磁环境中, 特别是室内环境, 由于建筑结构和使用材料的原因, 存在反射、散射、多径等影响^[5], 使用传统的方法, 如到达时间定位法、接收信号角度定位法存在一定的局限性。对于 RSSI 定位算法, 接收电波的强度不仅取决于节点之间的距离, 而且会受到信道传播特性的影响。经典的传播模型包括瑞利模型和莱斯模型。瑞利模型描述了小规模快速振幅波动下的衰落变化, 它假定所有信号到达接收器时都具有相同的强度, 没有考虑直射信号, 这与现实情况存在差异。莱斯模型除了分析低电平分散的路径, 还考虑存在一条稳定的直射路径。该模型需要从物理上隔离其直射波, 但确定其参数有一定难度。

为了提高定位精度, 需要研究无线传播特性, 统计接收电波强度的概率分布, 根据概率模型来预测目标的位置。文献 [6] 考虑了经典的 WAF 模型^[7]结合传感网和 RFID 进行节点定位; 文献 [8] 基于人体穿透损耗模型的 RSSI 测距方法结合卡尔曼滤波算法^[9]实现狭长空间的跟踪定位; 文献 [10] 基于 RSSI 的 LANDMARC 算法^[11]结合距离损耗模型确定虚拟参考标签^[12]的场强值以提高室内定位精度。但关于室内环境的无线传播特性的相关探讨较少, 本文对无线传输特性的概率进行室内环境建模研究。通过多种不同环境下的实验, 利用信道概率统计的方式, 并使用最大似然法进行统计推测, 提高位置监测定位的精度。

1 最大似然法及传播特性建模

1.1 最大似然法

从样本 x_1, x_2, \dots, x_n 推测拟合参数估计量 θ 时, 如果 x_1, x_2, \dots, x_n 最容易出现, 则 $L(\theta) = L(\theta; x_1, \dots, x_n) = f(x_1, \dots, x_n; \theta)$ 是最优的。因此, 可定义似然函数为:

$$L(\theta) = L(\theta; x_1, \dots, x_n) = f(x_1, \dots, x_n; \theta) \quad (1)$$

在 $f(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta)$ 中, 以 x_1, x_2, \dots, x_n 作为变量, 使似然函数 $L(\theta)$ 最大的值, 就是 θ 的值。用这种方法推断 θ 的值, 称为最大似然法 (ML, maximum likelihood)。

如果 x_1, x_2, \dots, x_n 相互独立, 则满足

$$f(x_1, \dots, x_n; \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta), L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta) \quad (2)$$

为使 $L(\theta)$ 最大, 求解方程 $\partial \lg L(\theta) / \partial \theta = 0$ 。当然, 也可以转化为求 $\lg L(\theta)$ 的形式。当存在 k 个参数 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ 的场合, 求解方程式 $\partial \lg L(\theta) / \partial \theta_i = 0 (1 \leq i \leq k)$ 。

1.2 传播特性建模

由于实际环境中的无线传播特性存在变化, 需要建立其信道模型, 通过多次采样, 对信道进行概率化测量统计。首先, 通过改变无线节点间的距离并测量接收电波强度, 得到节点之间的距离和接收电波强度的关系。随着环境的动态变化, 可以推算出无线节点测量信息之间的关系。其次, 考虑无线传播特性进行实时传播环境的模型化, 假设发送和接收节点之间的距离为 d , 使 $L(\theta)$ 最大便可求得 θ , 获得实际中移动节点的运动速度、前进角度和位置坐标。

接收端的平均接收功率的信号强度

$$\bar{P} = cd^{-\alpha}, \quad (3)$$

其中, 常数 c 和衰减系数 α 是传输模型化的参数, 对锚节点到信标的距离以及接收功率的信号强度 (d, P) 进行多组采样测量, 可以拟合求得 c 和 α 。

为进一步准确描述信道特性, 确定传播特性模型。假设 $Z = P/\bar{P}$ 服从韦伯分布,

$$f(z) = \beta m z^{m-1} e^{-\beta z^m} (z \geq 0; m; \beta > 0), \quad (4)$$

取 n 个样本 $(d_1, \bar{P}_1), (d_2, \bar{P}_2), \dots, (d_n, \bar{P}_n)$, 可以获得 z_1, z_2, \dots, z_n , 拟合参数 $\theta(\beta, m)$, 采用似然函

数 $L(\theta) = f(z_1, z_2, \dots, z_n | \theta) = f(z_1 | \theta), \dots, f(z_n | \theta)$, 进行似然计算, 得到韦伯分布参数 m 及 β 。该参数的组合决定式 (3) 及式 (4), 即确定对象领域传播特性模型的信道特征。式 (3) 和式 (4) 的参数 (c, α, β, m, z) 根据外界状况动态地变化。

2 基于信道特性的跟踪定位算法

2.1 网络模型

网络模型如图 1 所示, 假设通信区域内布置 n 个固定的锚节点 $A_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$, 锚节点间可以用有线或无线的方式进行通信, 最终把数据汇聚到 Sink 进行集中处理。假设对每个移动的目标节点分配全网唯一的 ID, 以相同的功率定期向锚节点发送信标。Sink 根据各锚节点的准确位置以及接收到目标移动节点 $T_j (j = 1, 2, 3, \dots, m)$ 的 ID、接收时间、位置、接收功率, 从而推测信道条件和目标节点的相关信息。锚节点在接收到目标的信息后, 向 Sink 节点报告。Sink 根据收到的目标节点的情报, 根据特定算法进行位置推测。考虑移动目标的耗电, 一般复杂的位置推测算法, 在锚节点一端进行。

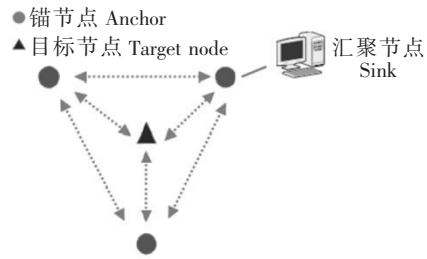


图 1 网络模型
Fig.1 Network model

2.2 基于最大似然法的跟踪定位协议

根据接收功率的大小, 提出基于最大似然法的定位方法, 综合考虑信道特性, 推测目标的位置、速度和前进方向。

移动终端称为目标, 一边移动一边在规定时间内发送 n 个信标被 l 个锚节点接收。此时, 目标发送的第 i 个信标被位于 $(x_{a,j}, y_{a,j})$ 的锚节点 j 接收, 其接收功率为 $P_{i,j} (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq l)$ 。

假设目标作匀速直线运行, 速度 v , 行进方向 a 。在推测位置时, 目标的实际位置用 (x, y) 表示, 第 i 个信标的发送时刻与推测时刻的差值表示为 Δt_i , 信标 i 被锚节点 j 接收的功率为 $P_{i,j}$, 其条件概率密度为 $p(P_{i,j} | v, a, x, y)$, 按式 (3)、(4) 求得 $x_i = x - v\Delta t_i \cos(a)$, $y_i = y - v\Delta t_i \sin(a)$, $d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_{a,j})^2 + (y_i - y_{a,j})^2}$, $\bar{P}_{i,j} = cd_{i,j}^{-\alpha}$, $z_{i,j} = P_{i,j} / \bar{P}_{i,j}$, $p(P_{i,j} | v, a, x, y) = f(z_{i,j}) = \beta m z_{i,j}^{m-1} e^{-\beta z_{i,j}^m}$ 。

j 个锚节点接收第 i 个信标的功率为随机变量 $P_{i,j}$, 如果 $(P_{1,1}, \dots, P_{n,l})$ 是相互独立的, 取参数 $\theta = (v, a, x, y)$, 用似然函数式

$$L(\theta) = p(P_{1,1}, \dots, P_{n,l} | \theta) = \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^l p(P_{i,j} | \theta) \quad (5)$$

和最大似然法, 求解目标的位置、速度和前进方向。其算法如图 2 所示。

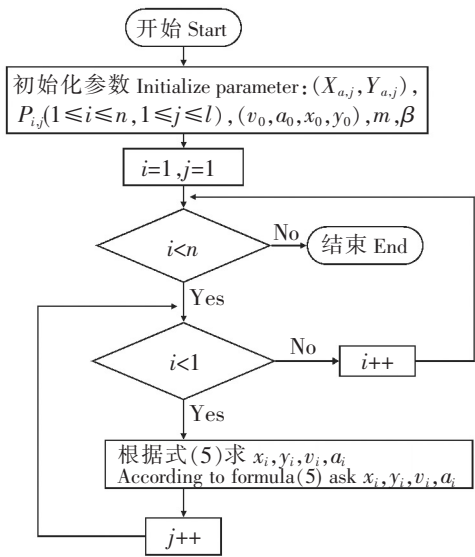


图 2 算法流程图
Fig.2 Flow chart of the algorithm

3 信道模型测量

按参考文献 [13] 的测量方法, 设置下列三种场景 (见图 3):

- 场景 1: 封闭走廊, 两边都有墙, 高 2.8 m, 宽 2.7 m。在走廊中线, 每隔 1.5 m 进行一次信号的测量。
- 场景 2: 开放走廊, 一侧开放, 另一边有一堵墙, 高 2.8 m, 宽 4.5 m。每隔 1.5 m 在走廊的中线进行一次信号的测量。

场景 3：实验室，配有家具和计算机，高 2.8 m，长 15 m，宽 10 m。沿着实验室的对角线每隔 1.5 m 进行一次信号测量。

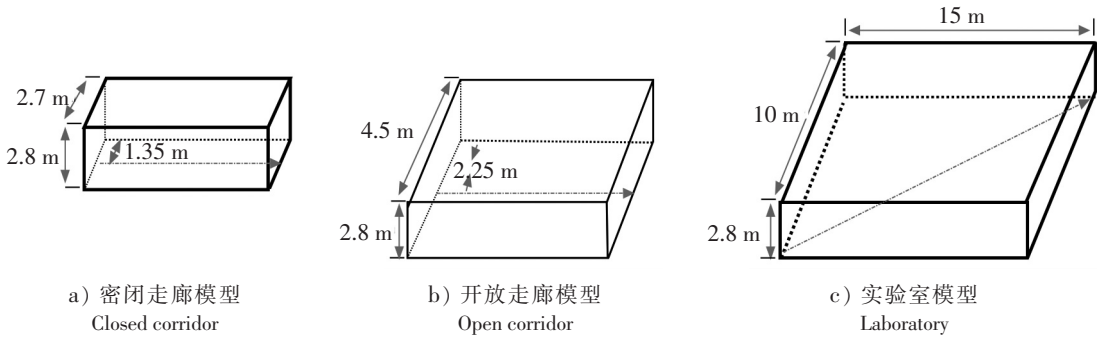


图 3 三种场景模型

Fig.3 Three different scenarios model

发信机为一个 D - Link 的无线路由器，使用 IEEE 802.11b 协议，频率为 2.4 GHz，速率为 11 Mbite/s依次放在封闭走廊中线起点、开放走廊中线起点和实验室对角线起点。移动笔记本电脑，用 Wireless Mon 软件测量信号强度。不同场景下，沿着设定路线（见图 3 中点划线箭头），每隔 1.5 m 进行 10 组功率信号强度的采样，根据采样数据，借助最大似然法推测信道传播特性，其测量结果如图 4 所示。

根据式(3)和式(4)计算其传播特性，结果如表 1 所示。

表 1 三种不同场景下传播特性比较

Tab.1 Channel propagation characteristics under three different scenarios

传播特性 Characteristics	场景 1 Scenario 1 封闭走廊 Closed corridor	场景 2 Scenario 2 开放走廊 Open corridor	场景 3 Scenario 3 实验室 Laboratory
C	9.647×10^{-5}	2.238×10^{-5}	7.621×10^{-4}
α	1.666	1.463	0.987 6
m	2.501	2.262	2.980
Beta	0.004 197	0.006 092	0.003 801

三种场景传播特性的差异由表 1、图 5、图 6 和图 7 表示，其中，符号“十”表示“接收到功率信号”，虚线表示韦伯分布曲线。由此可知，测量数据结果基本符合韦伯分布规律。

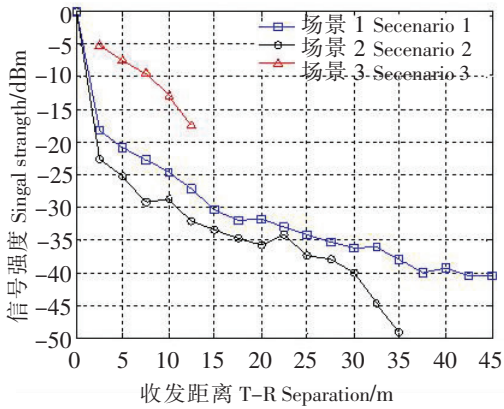


图 4 三种场景下收发距离和信号强度的关系

Fig.4 The relationship between the signal strength and transmit-receive separation

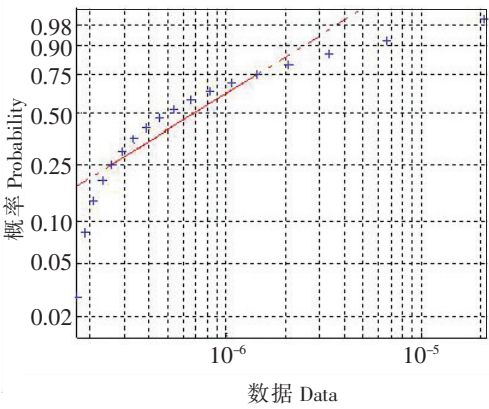


图 5 封闭走廊测量功率信号的韦伯概率分布图

Fig.5 Weibull probability distribution in the closed corridor

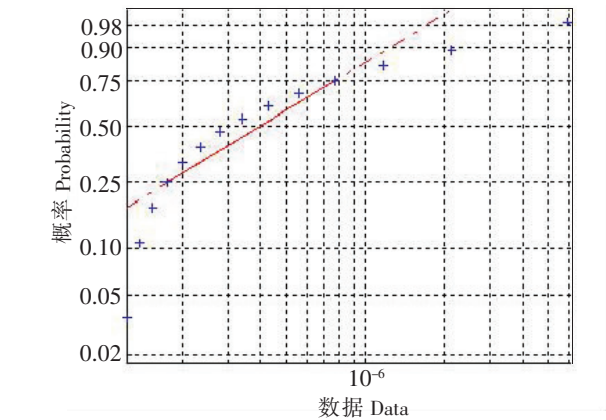


图 6 开放走廊测量功率信号的韦伯概率分布图
Fig.6 Weibull probability distribution in the open corridor

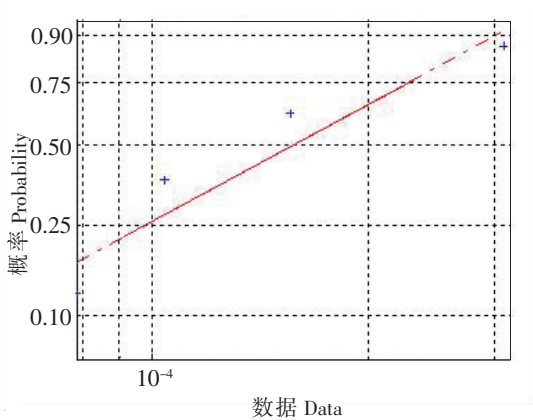


图 7 教室测量功率信号的韦伯概率分布图
Fig.7 Weibull probability distribution in the laboratory

4 算法仿真及评估

根据测量结果, 获得信道数据, 建立对应的信道模型。在 Matlab 下对三种场景进行仿真验证。对于场景 1 和场景 2, 目标节点分别从走廊的其中一个端点向另一个端点移动, 锚节点分别设置在两个端点和中点; 对于场景 3, 目标节点沿着对角线移动, 锚节点设置在实验室的四个角, 移动速度为 1 m/s。采用 2.2 提出的算法, 每 1 s 采集一次接收功率信号强度, 运用最大似然法根据样本数据推测移动节点的轨迹。

任意取一段时间进行统计, 图 8 至图 10 分别为三个场景中速度、角度和节点坐标误差在 12 ~ 18 s 这段时间内的估算值。

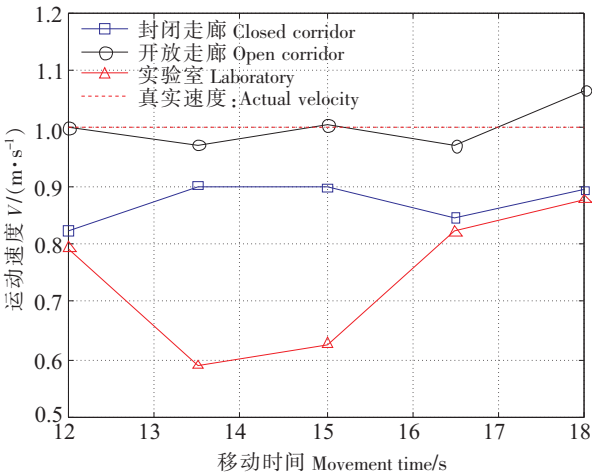


图 8 三个场景关于移动节点运动速度的比较
Fig.8 The comparison of the mobile node speed in three different scenarios

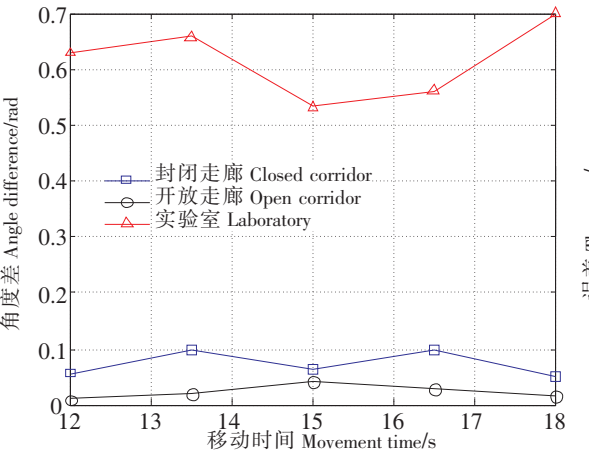


图 9 三个场景关于移动节点角度差的比较
Fig.9 The comparison of the mobile node angle difference in three different scenarios

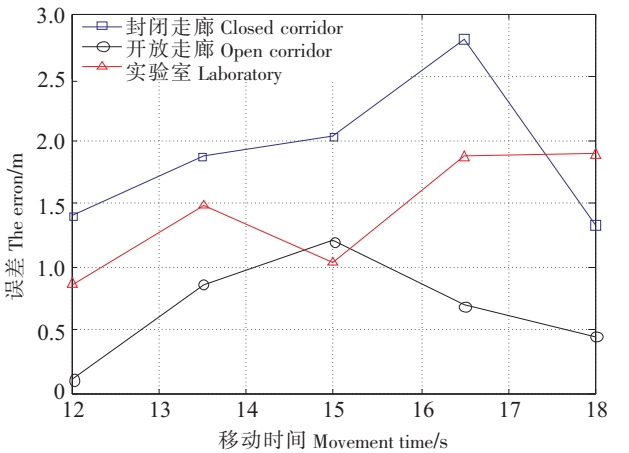


图 10 三个场景关于移动节点位置误差的比较
Fig.10 The comparison of the mobile node error in three different scenarios

由图 8 可知, 三者的移动速度都比较接近实际速度 1 m/s 。其中场景 3 移动速度偏离实际值最大, 场景 2 移动速度与实际值最为接近。

由图 9 可知, 随着移动时间的增加, 场景 3 移动角度为 $0.54 \sim 0.69 \text{ rad}$, 场景 1 和场景 2 移动角度在 $0 \sim 0.1 \text{ rad}$ 之间, 三种场景的角度差值接近实际角度 (场景 3 实际角度为 0.588 rad , 场景 1 和场景 2 实际角度为 0)。

由图 10 可知, 随着移动时间增加, 三个场景的移动节点位置估计值与实际值的误差如下: 场景 1 误差在 $1.4 \sim 2.8 \text{ m}$ 之间, 场景 2 误差在 $0.1 \sim 1.2 \text{ m}$ 之间, 场景 3 误差在 $0.8 \sim 1.9 \text{ m}$ 。测量坐标与实际坐标间的误差表现为场景 1 > 场景 3 > 场景 2。这是由于场景 1 和场景 3 中反射波较多的缘故。

5 结论

本文提出一种基于室内信道传播特性跟踪定位算法, 在密闭走廊、开放走廊和实验室三种不同场景下, 对室内无线信号进行测试、统计和分析, 并构建了室内信道传播模型。在实际测量过程中, 根据信道模型和锚节点定期测试的 RSSI 数据, 利用最大似然法实现对移动节点的跟踪定位, 估算其速度、行进方向和坐标位置。软件仿真和实测结果证明, 本文提出的方法可以在不同的无线信道条件下, 满足室内定位和跟踪要求, 可应用于仓库、超市等室内定位场景。

[参 考 文 献]

- [1] PIRZADA N, NAYAN M Y, SUBHAN F, et al. Device-free localization technique for indoor detection and tracking of human body: a survey [C] //International Conference on Innovation, Management and Technology Research (ICIM TR). Malaysia: Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2014, 129: 422-429.
- [2] PIOTR WAWRZVNIK, SŁAWOMIR HAUSMAN, PIOTR KORBEL. Area based indoor tracking algorithm based on sequence detection and maximum likelihood metrics [C] //European Conference on Antennas & Propagation, 2016: 1-3.
- [3] NIKOLAS K, SUMEETPAL S S, ARNAUD D. Distributed maximum likelihood for simultaneous self-localization and tracking in sensor networks [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2012, 60(10): 5308-5047.
- [4] BHSAKAR S A. Localization from connectivity: a 1-bit maximum likelihood approach [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2016, 24(5): 2939-2953.
- [5] MAO K J, WU J B. Indoor localization algorithm for NLOS environment [J]. Acta Electronica Inica, 2016, 44(5): 1174-1179.
- [6] GONCALO G A. Novel approach to indoor location systems using propagation models in WSNS [J]. International Journal on Advances in Networks and Services, 2015, 4(2): 251-256.
- [7] BAHL P, PADMANABHAN V N. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system [J]. Infocom Nineteenth Joint Conference of the IEEE Computer & Communications Societies IEEE, 2000, 2(2): 775-784.
- [8] 张晋升, 孙健, 李胜广, 等. 狭长空间基于人体穿透损耗模型的组合定位方法 [J]. 传感技术学报, 2016, 29(4): 601-605.
- [9] PAUL A S, WAN E. RSSI-based indoor localization and tracking using sigma-point kalman smoothers [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2009, 3(5): 860-873.
- [10] 周亚罗, 程锐涵, 王莎莎, 等. 基于 RSSI 的 LANDMARC 室内定位算法的改进 [J]. 河北联合大学学报 (自然科学版), 2016, 38(2): 87-91.
- [11] 王远哲, 毛陆虹, 刘辉, 等. 基于参考标签的射频识别定位算法研究与应用 [J]. 通信学报, 2010, 31(2): 86-92.
- [12] 俱莹, 刘开华, 史伟光, 等. 基于 RFID 的边界虚拟参考标签定位算法 [J]. 计算机工程, 2011, 37(6): 274-276.
- [13] TUMMALA D. Indoor propagation modeling at 2.4 GHz for IEEE 802.11 networks [D]. Denton, Texas: University of North Texas, 2005.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄振坤)