

## 基于蓝牙和计步器的融合定位算法

朱军<sup>1</sup>, 王文举<sup>1</sup>, 陈敬良<sup>1</sup>, 方程<sup>1</sup>, 张安琪<sup>2</sup>

(1.上海理工大学, 上海 200093; 2.复旦大学, 上海 200433)

**摘要:** 目的 在智能物流系统中实现内场货物分拣、包装、装卸操作环节的员工监管、智能巡检等功能。**方法** 提出一种基于蓝牙和计步器的融合室内人员定位方法: 获取当前指纹数据与计步器数据并进行算法参数初始化; 估算计步器比例尺和方向, 以此计算指纹定位的方差值, 从而完成定位坐标初始预测; 利用卡尔曼滤波计算卡尔曼增益, 纠正 $d_x, d_y$ 方向; 依据 $d_x, d_y$ 调整定位坐标预测值作为最终定位位置坐标数据, 完成室内定位。**结果** 该算法将蓝牙指纹和计步器等2种数据融合, 定位路线轨迹比较光滑, 未出现定位跳动及偏移现象。**结论** 该方法可在内场环境中实现高精度人员定位, 并进行活动轨迹分析, 实现人员监管与高效快捷巡检, 从而优化运输包装的作业流程, 提高了物流包装系统的智能化运行管理水平。

**关键词:** 智能物流; 室内定位; 蓝牙; 计步器; 卡尔曼滤波

**中图分类号:** TB485.3; TP393   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1001-3563(2018)05-0077-06

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.05.015

## Fusion Location Algorithm Based on Blue-tooth and Pedometer

ZHU Jun<sup>1</sup>, WANG Wen-ju<sup>1</sup>, CHEN Jing-liang<sup>1</sup>, FANG Cheng<sup>1</sup>, ZHANG An-qi<sup>2</sup>

(1.Shanghai University for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2.Fudan University, Shanghai 200433, China)

**ABSTRACT:** The work aims to realize the functions of staff supervision and intelligent inspection for the sorting, packaging, loading and unloading operations of the infield goods in the intelligent logistics system. A fusion indoor personnel localization method based on blue-tooth and pedometer was proposed. The current fingerprint data and pedometer data were got and the algorithm parameters were initialized. Initial prediction of positioning coordinate was finished by estimation of the pedometer scale and direction for the calculation of the variance value of the fingerprint locations. The Kalman gain was calculated with the Kalman filtering to correct the  $d_x$  and  $d_y$  directions. According to  $d_x$  and  $d_y$ , the prediction value of the positioning coordinate was adjusted as the final location coordinate data to complete the indoor positioning. Integrated with two kinds of data (the blue-tooth fingerprint and pedometer), the location route of the proposed algorithm was quite smooth without location run-out and offset. The method can realize the high-precision personnel locating in the infield environment, and analyze the moving tracks, so as to achieve the staff supervision and efficient and convenient inspection, thus optimizing the operation flow of the transportation packaging and improving the operation and management level of logistics packaging system.

**KEY WORDS:** intelligent logistics; indoor location; blue-tooth; pedometer; Kalman filtering

智能物流采用二维码、射频识别技术、传感器、定位技术等物联网技术应用于运输、仓储、配送、包装、装卸等基本生产环节, 从而实现货物运输过程中

的自动化运作和高效管理。智能物流是运输包装领域中的研究热点。国内外学者更多地关注于RFID技术在配送中心集合包装上的应用或面向现代物流的产

收稿日期: 2017-08-02

基金项目: 上海市属高校应用型本科试点专业建设项目(10-16-309-001); 上海理工大学、上海市“大学生创新创业训练计划”(XJ2017238, SH2017163)

作者简介: 朱军(1976—), 男, 在读博士生, 主要研究方向为运输包装、物流管理、管理科学与工程。

品包装设计<sup>[1~6]</sup>，而对于内场（室内）进行货物分拣、包装、装卸这些环节所需的员工监管、智能巡检相关功能所涉及的技术尚未展开深入研究。室内定位技术是实现上述两大功能高效的技术手段。

现有的室内定位技术主要基于超声波、RFID、UWB、Zig-Bee 和蓝牙等。当前工作频段为 2.4 GHz ISM 的蓝牙 4.0 已经成为移动设备的标配，具有抗串扰、低功耗、3 ms 低延迟、超过 100 m 的通信距离等优点。蓝牙定位技术可以在现有的移动设备上通过获取固定的接入点（AP）-AP 节点的蓝牙参数值如接收信号强度指标值（RSSI）、链路质量值（LQ）以及传输功率级（TPL）等，以编写软件的方式对上述参数值进行处理从而实现室内米级定位，具有方便迅速、成本低廉的优势<sup>[7~8]</sup>。

因为室内的环境较为复杂，信号反射折射比较多，多数情况下信号的大小（RSSI）跟距离并不是完全相对应，反而远的地方可能信号会更强，所以往往采用指纹定位算法进行定位。指纹定位算法充分利用反射折射所形成的信号信息，首先离线生成指纹信号强度数据库，而后在线定位中再通过实际测量的一组 RSSI 值来计算位置距离<sup>[9]</sup>。2006 年，Tran Q 根据信号分布图找出与指纹数据库最接近的多个采样点的平均值来实现用户室内位置的定位，但无线环境一旦发生改变就无法实现定位<sup>[10]</sup>。2007 年 Klepal M 提出对无线信号进行修正正在无线环境变化的情况下仍能够实现定位的方法，但实施效率低下<sup>[11]</sup>。2009 年 Azizyan M 提出利用群智感知的方法解决定位求解复杂度较高的问题，但依然无法实现实时定位<sup>[12]</sup>。2012 年，Perez Iglesias 提出通过查询手机的蓝牙接收信号强度（RSSI）来估计该设备的所处的网格空间位置，但受限于网格空间节点的分布密度其定位精度有限<sup>[13]</sup>。2016 年沙朝恒基于矩阵补全提出了一种鲁棒性较好的室内指纹定位算法，抗干扰性强，但定位精度不高<sup>[7]</sup>。2016 年，马旭攀使用蓝牙信标节点构建定位系统，在经典 RSSI 定位方法的基础上，加入去噪与平滑滤波过程，以此提高测距准确性和稳定度，但需添加外部传感器，不方便实践部署<sup>[9]</sup>。2016 年，金纯提出了一种基于时空相似模型的蓝牙 RSSI 指纹插值方法，但 RSSI 位置指纹库的难以进行实时更新<sup>[8]</sup>。在实际运用中，发现蓝牙指纹定位法常会出现定位点反复回跳的问题，且在转弯处会出现多种错误的定位结果，影响定位效果<sup>[14]</sup>。为了解决蓝牙指纹定位方法中存在的不足，文中提出一种基于蓝牙和计步器的室内融合定位方法，将已知的蓝牙指纹数据和计步器数据融合，实现较好的定位效果，解决指纹定位反复回跳问题，得到一个相对完整精确的运输包装工作人员的工作运动轨迹。

## 1 基本理论

在定位算法中，卡尔曼滤波常用来进行初始定位计算结果的深度优化处理<sup>[15]</sup>。卡尔曼滤波基本方程如下：

状态转移方程：

$$X_k = AX_{k-1} + W_k, \quad W_k \sim N(0, Q) \quad (1)$$

式中： $X_k$  为  $k$  时刻用户的位置； $X_{k-1}$  为  $k-1$  时刻用户的位置； $W_k$  为估计误差；并且  $W_k \sim N(0, Q)$ ，其  $Q$  为预测误差的协方差矩阵； $A$  为状态变换矩阵：

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

观测方程：

$$Z_k = HX_k + V_k, \quad V_k \sim N(0, R) \quad (3)$$

$Z_k$  为指纹算法的定位结果，由真实值  $X_k$  和观测误差  $V_k$  组成； $V_k \sim N(0, R)$ ， $R$  为估计误差的协方差矩阵。 $H$  为状态变换矩阵：

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

卡尔曼滤波实现过程如下所述<sup>[15]</sup>。初始参数为已知的上一次预测位置结果  $X_{k-1}$  和上一次预测系数  $P_{k-1}$ 。

1) 计算当前预测结果：

$$X_K = AX_{K-1} \quad (5)$$

2) 计算当前预测系数：

$$P_K = AP_{K-1}A^T + Q \quad X_K = AX_{K-1} \quad (6)$$

3) 计算增益系数：

$$K_K = P_K H^T (HP_K H^T + R)^{-1} \quad (7)$$

4) 计算下一次预测结果：

$$X_{K+1} = X_K + K_K (Z_K - HX_K) \quad (8)$$

5) 计算下一次预测系数：

$$P_{K+1} = (I - K_K H)P_K \quad (9)$$

## 2 基于蓝牙和计步器的室内融合定位算法

基于蓝牙和计步器的室内融合定位算法实现步骤见图 1。

1) 算法初始化。获取当前的指纹数据和计步器数据，即指纹坐标和计步器步长；进行参数初始化即完成指纹定位预设方差、计步器方向角、初始位置、比例尺的设置；判断当前是否是第 1 次获取的数据信息，如是则进行卡尔曼滤波初始化，否则直接转向步骤 2)。

2) 估算计步器比例尺和方向。

3) 计算指纹定位的方差（ $R$  值）。

4) 更新定位坐标预测值及方差。

5) 使用第 1 节所述卡尔曼滤波实现过程完成定

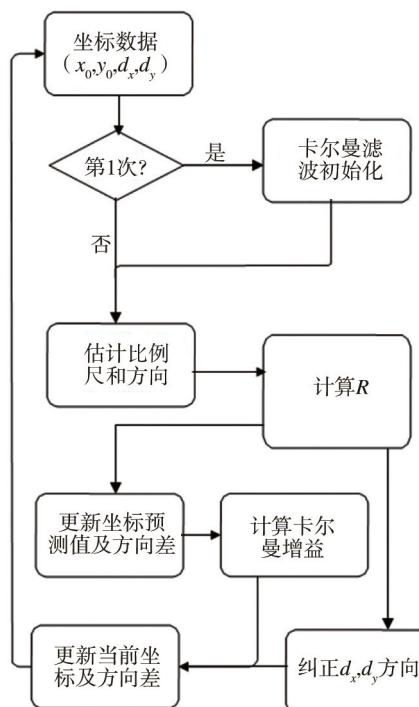


图1 基于蓝牙和惯导的融合室内定位算法流程

Fig.1 Process of fusion indoor location algorithm based on blue-tooth and inertial navigation

位坐标预测值的调整，计算卡尔曼增益，纠正  $d_x, d_y$  方向。

6) 更新当前坐标及方差，作为最终定位位置坐标。

7) 输出坐标数据。

该算法核心的步骤主要集中在指纹定位的方差 ( $R$  值) 的计算与  $d_x, d_y$  方向的纠正策略上。

## 2.1 $R$ 值的计算方法

$R$  值的计算方法如下所述，实现流程见图 2。首先给  $R$  一个预设的值  $R_{\text{normal}}=9 \text{ m}^2$ ，然后根据不同情况：如果计步器和指纹都有移动，则估算 2 种数据方向差值，在前 6 s 内累计步数，如果 2 种数据方向差不大，则更新前一次指纹方向；在前 6 步之内，更新前一次指纹方向， $R$  值不变；如果计步器没有位移，则  $R=0$ ，更新前一次指纹方向， $R$  值不变；在指纹没有位移、指纹和计步器的方向偏差大或者计步器速度超过 30 km/h 时， $R=999999$ ，根据 2 种数据的差值纠正计步器方向；在拐弯处、指纹和计步器方向相差不大、计步器有位移时， $R=5000$ ，根据 2 种数据的差值纠正计步器方向；在指纹有位移，不是前 6 步，不在拐弯处时，估算 2 种数据的方向差值，根据 2 种数据的差值纠正计步器方向，更新前一次指纹方向，累计

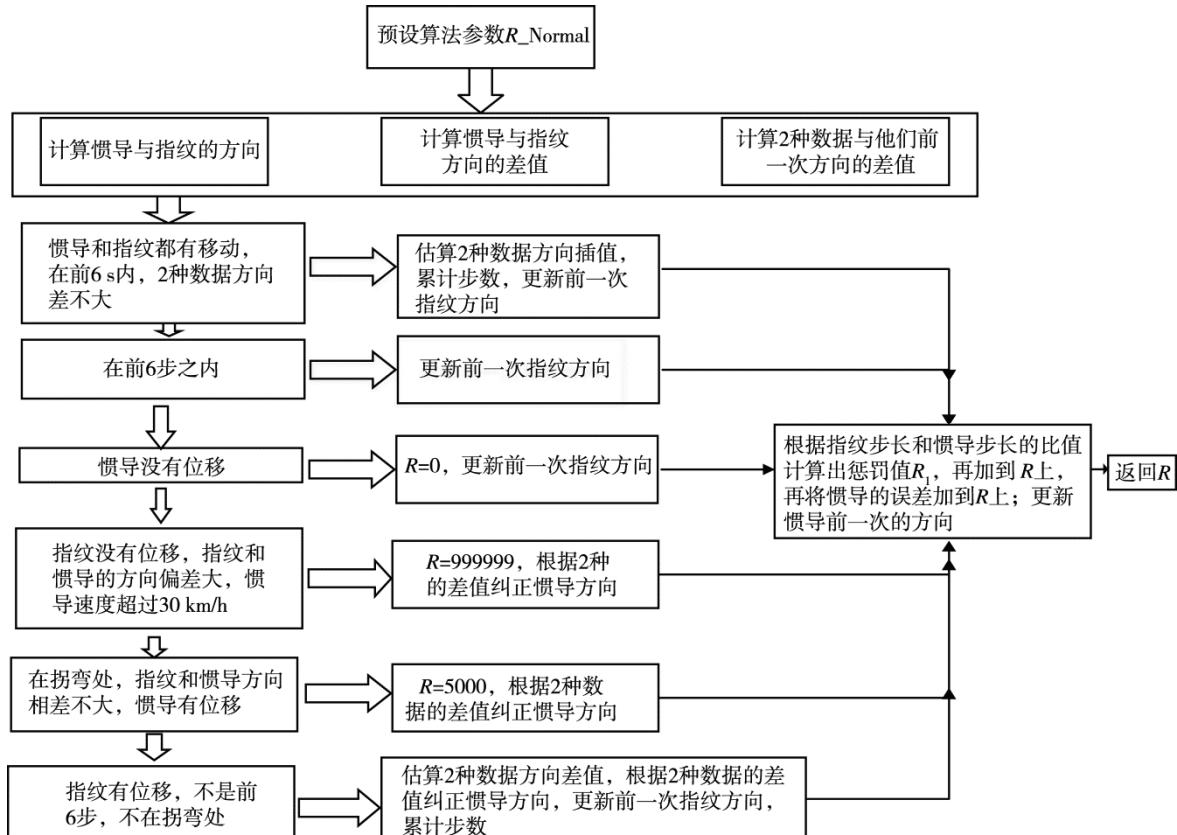


图2  $R$  值计算流程  
Fig.2 Flow chart of  $R$  calculation

步数；根据指纹步长和计步器步长的比值计算出一个惩罚值  $R_1$ ，再加到  $R$  上，将计步器的预设方差  $R_{\text{normal}}$  也加到  $R$  上，更新计步器前一次的方向，返回  $R$ 。当指纹数据不可靠的情况下， $R$  值设为 999999，抛弃指纹坐标，当前的方向采用修正后的计步器定位方向。在经过不同情况下  $R$  的初始值之后， $R$  值的计算公式为：

$$r_{\text{ratio}} = \frac{(d_x^2 + d_y^2)}{(F_{\text{FPL}} - P_{\text{PL}})^2} \quad (10)$$

式中： $d_x, d_y$  为计步器给出的  $x$  和  $y$  方向上的位移； $r_{\text{ratio}}$  为一个 2 种数据位移的比值平方； $F_{\text{FPL}}$  为指纹定位的当前坐标； $P_{\text{PL}}$  为上一次定位结果的坐标。

$$R_1 = \max(r_{\text{ratio}}^2, \frac{1}{r_{\text{ratio}}^2}) \times 100 \quad (11)$$

式中：参数 100 以及  $r_{\text{ratio}}$  的平方均为经验值，公式的目的在于，当指纹定位的位置与之前位置的差和计步器的步长相比差距越大， $R$  值越大。

$$R = R + R_1 \quad (12)$$

$$R = R + R_{\text{normal}} \quad (13)$$

式中： $R_{\text{normal}}$  为预设的  $R$  值，为  $9 \text{ m}^2$ 。

## 2.2 $d_x, d_y$ 方向纠正的策略

由于计步器定位和用户的行进方向有一个大致不变的偏差，而指纹定位和用户的行进方向基本一致，所以  $d_x, d_y$  方向纠正的策略有 2 个：在指纹定位正常的时候，根据指纹和计步器的方向差不断计算它们当前的差值；在指纹定位不正常时，根据计步器方向加上方向差来推断当前的方向。在前 5 s 内，定位结果仅仅是 2 种定位方法的加权平均值，两者方向的差值则会不断地计算并取平均值，5 s 之后每次会根据差值纠正计步器的方向并根据当前的差值更新差值，更新的方法为：

$$D_{\text{DA}_n} = \frac{D_{\text{DA}_n} + D_{\text{DA}_{n-1}}(n-1)}{n} \quad (14)$$

式中： $D_{\text{DA}_n}$  为前  $n$  次有效步数的方向值的平均值； $D_{\text{DA}}$  为当前计算得出的方向值。

在拐弯处，计步器差值较大，这往往被认为指纹定位不准确，因此拐弯时采用计步器的修正值。在拐弯处的指标是计步器的转向超过  $13^\circ$ ，并且当前和之后的 2 s 都认为用户在拐弯。同时当指纹和计步器的修正值差角小于  $30^\circ$  的时候也会根据指纹的方向修正  $D_{\text{DA}_n}$ ，因为即使在拐角处偶尔会有指纹也是可信的，此时会给一个较小的  $R=5000$ ，即认为当前的方向差比较不可靠。

## 3 实验结果与分析

验证该方法的融合定位效果，取一实际场景即面积为  $4900 \text{ m}^2$  的上海某一物流包装工作内场（见图 3），在该内场布线管道上方安置了 50 个支持蓝牙 4.0 标



图 3 物流包装工作内场  
Fig.3 Logistics packaging work infield

准认证的低功率蓝牙 iBeacon（设备安置场景见图 4，图 4 中方框标识处即为低功率蓝牙 iBeacon），使其 WiFi 信号能够完全覆盖到整个地下停车场。文中所提出的基于蓝牙和惯导的融合室内定位算法采用 java 语言进行了编程实现，并在 Android 4.0 系统上进行了发布应用。



图 4 低功率蓝牙 iBeacon 部署  
Fig.4 Low power blue-tooth iBeacon deployment

实验中一包装工作人员携带装有该程序的 Android 手机在该内场沿矩形线路数据采集图行走，基于文中所提算法开发的程序所记录显示的现场行走路线见图 5，没有出现定位反复回跳以及拐弯处定位不准的现象。同时分别采用蓝牙指纹定位算法、计步器定位算法（惯导定位算法）、蓝牙与计步器融合算法对沿该指定矩形线路所行走的人员进行定位，行走过程共计 132 s，每秒定一次共记录下 132 个定位数据。根据上述 3 种算法所得到的定位数据绘制出一张定位测试效果比较见图 6。图 6 中 A, B, C 分别对应同一条矩形路线的 3 种定位效果。从 A 指纹定位效果线上可看到定位数据有时间延迟，信号的鲁棒性不强、有跳跃、易出现偏差。从 B 计步器定位效果线上可看到，定位数据较为连续规则是因为所呈现的定位数据是手机根据传感器采集到的定位数据计算得到的，因此，惯导定位算法所记录的线路没有起始点，它只是记录了一条运动轨迹。为便于展示与其他算法的对比结果，B 计步器定位效果线路可进行整体的位置偏转。C 为蓝牙、惯导和融合定位算法的定位效果，路线轨迹比较光滑。这是因为 A 方法可为 B

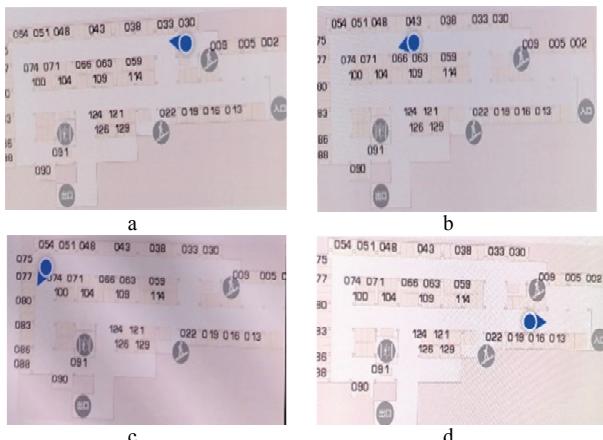


图5 基于蓝牙和惯导的融合室内定位算法所记录的现场行走路线

Fig.5 Field walking route recorded by the fusion indoor location algorithm based on blue-tooth and inertial navigation

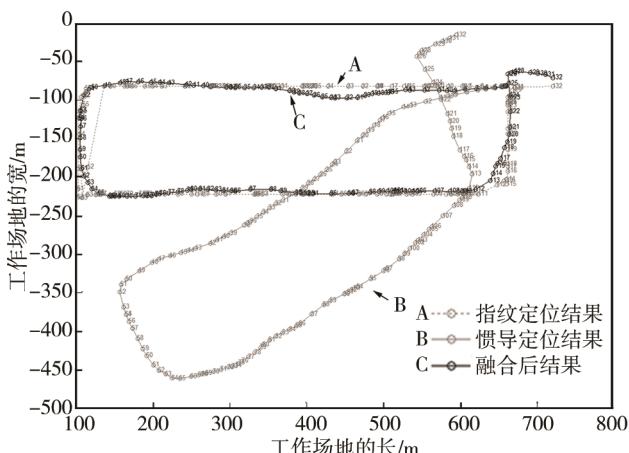


图6 蓝牙、惯导和融合室内定位算法实施效果比较

Fig.6 Comparison of implementation effects of blue-tooth, inertial navigation and fusion indoor location algorithms

方法提供一个模糊的起始点, B方法可为A方法带来连续的运动轨迹来进行校验A方法的运动轨迹。通过文中所提出的蓝牙与惯导的融合算法,可以解决蓝牙指纹的定位跳动及计步器偏移问题,得到了一个相对完整精确的包装工作人员工作运动轨迹。

## 4 结语

提出了一种通过蓝牙与惯导的计步器定位技术相融合进行室内定位的算法,弥补了原有2种室内算法存在的固有缺陷。该方法能够实现较好的室内定位效果,解决了指纹定位反复回跳以及拐弯处定位不准的问题。实验结果表明,该算法能在内场环境中对包装工作人员进行高精度定位、运动轨迹追踪,实现人员监管、智能巡检的功能,以此优化作业流程提高物流包装系统的智能化管理水平。

## 参考文献:

[1] GHAANI M, COZZOLINA C, CASTELLI G. An

Overview of the Intelligent Packaging Technologies in the Food Sector[J]. Trends in Food Science and Technology, 2016, 51: 1—11.

- [2] LORITE G, SELKALA T, SIPOLA T. Novel, Smart and RFID Assisted Critical Temperature Indicator for Supply Chain Monitoring[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 193: 20—28.
- [3] JAVED N, HABIB A, AMIN Y. Directly Printable Moisture Sensor Tag for Intelligent Packaging[J]. IEEE Sensors Journal, 2016, 16(16): 6147—6148.
- [4] JAQQI A, SINGH R, BALESTRASSI P. An Experimental Approach for Developing Radio Frequency Identification (RFID) Ready Packaging[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 85: 371—381.
- [5] 邹饶邦彦, 张春和, 何健. 基于RFID技术的包装储运模式优化探析[J]. 包装工程, 2016, 37(1): 39—42.
- [6] ZOU Rao-bang-yan, ZHANG Chun-he, HE Jian. Optimization of Warehouse Packaging Mode Based on RFID Technology[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(1): 39—42.
- [7] 李国志, 李文凤, 丁毅. 面向现代物流的饮品包装数字化设计及优化研究[J]. 包装工程, 2014, 35(17): 72—75.
- [8] LI Guo-zhi, LI Wen-feng, DING Yi. Digital Designing and Optimization of Beverage Packaging for the Modern Logistics[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(17): 72—75.
- [9] 沙朝恒. 一种基于矩阵补全的室内指纹定位算法[J]. 计算机科学, 2016, 43(6): 91—96.
- [10] SHA Chao-hen. Fingerprint-based Indoor Localization via Matrix Completion[J]. Computer Science, 2016, 43(6): 91—96.
- [11] 金纯. 基于时空相似模型的蓝牙室内定位RSSI指纹插值方法[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(28): 264—268.
- [12] JIN Chun. A Method of RSSI Fingerprint Interpolation Based on Spatial-temporal Similarity Model for Bluetooth Indoor Positioning[J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(28): 264—268.
- [13] 马旭攀. 一种基于蓝牙信标的室内定位系统[J]. 测控技术, 2016, 35(4): 55—58.
- [14] MA Xu-pan. An Indoor Positioning System Based on Bluetooth Beacons[J]. Journal of Measurement and Control Technology, 2016, 35(4): 55—58.
- [15] TRAN Q, TANTRA J W, FOH C H, et al. Wireless Indoor Positioning System with Enhanced Nearest Neighbors in Signal Space Algorithm[C]// Vehicular Technology Conference Montreal, Canada, 2006: 1—5.
- [16] WIDYAWAN N, KLEPAL M, PESCH D. Influence of Predicted and Measured Fingerprint on the Accuracy of RSSI-based Indoor Location Systems[C]// Navigation and Communication 2007, Hannover, Germany, 2007: 145—151.
- [17] AZIZYAN M, CONSTANDACHE I, CHOUDHURY R. SurroundSense: Mobile Phone Localization via Ambience Fingerprinting[C]// Proceedings of the 15th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, Beijing China, 2009: 261—272.
- [18] IGLESIAS H J P, BARRAL V, ESCUDERO C J. Indoor Person Localization System through RSSI Bluetooth Fingerprinting[C]// 2012 19th International Conference on Systems, Signals and Image Processing Vienna, Austria 2012: 40—43.
- [19] 谢红. 基于多技术融合的消防员室内外无缝定位方法[J]. 电信快报, 2014(4): 12—14.
- [20] XIE Hong. Indoor and Outdoor Seamless Positioning Method for Firefighter Based on Multi-technology Fusion[J]. Telecommunications Information, 2014(4): 12—14.
- [21] 张言哲. 卡尔曼滤波在无线信号定位中的应用[J]. 导航定位学报, 2014, 2(4): 83—86.
- [22] ZHANG Yan-zhe. Application of Kalman Filter in Wireless Signal Positioning[J]. Journal of Navigation and Positioning, 2014, 2(4): 83—86.