

# 用户行为感知辅助的室内行人定位

周宝定<sup>1,2</sup> 李清泉<sup>3,1</sup> 毛庆洲<sup>1,2</sup> 张星<sup>3</sup>

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

2 武汉大学时空数据智能获取技术与应用教育部工程研究中心,湖北 武汉,430079

3 深圳大学空间信息智能感知与服务深圳市重点实验室,广东 深圳,518060

**摘要:**提出了一种用户行为感知辅助的室内行人定位方法。该方法采用行为感知技术,通过智能手机内置的传感器获取行人经过室内特殊位置(如电梯、转角等)的连续多个位置相关的行为状态,结合室内路网的拓扑结构,将行人的位置匹配到相应的特殊位置,以消除行人航位推算(PDR)的累积误差,同时可以在起始点未知的环境下实现行人的自主定位。试验验证了该方法的有效性。

**关键词:**室内行人定位;行为感知;行人航位推算;智能手机

**中图法分类号:** P208

**文献标志码:** A

近年来,随着移动互联网以及基于位置服务(location based service, LBS)的相关应用的发展,人们对位置服务的需求日益增长。目前,室外区域行人的定位主要采用GPS系统,在室内环境中,由于无法接收到GPS卫星信号,导致传统的GPS方法无法应用于室内定位。室内是人类活动的主要区域,因此,室内定位的研究具有重要的意义。目前,室内定位技术按照所借助的手段不同主要分为基于无线电信号<sup>[1]</sup>(WiFi、RFID、UWB等)和基于惯性传感器<sup>[2]</sup>两类。基于无线电信号的定位方法需要无线电发射基站作为基础设施,导致其应用场景受到了限制。而基于惯性传感器的方法不依赖于基础设施,因此被广泛应用于室内行人定位。

基于惯性传感器的方法采用航位推算法得到行人的位置。航位推算可以分为积分法和计步法两种。积分法通过角速度对时间积分得到航向角,通过加速度对时间二次积分得到距离,在航向角和距离的基础上得到位置。积分法对惯性传感器的精度要求很高,在行人定位中通常采用计步法,即行人航位推算(pedestrian dead-reckoning, PDR)。研究者们提出了一系列基于行人航位推算进行行人定位的方法<sup>[3-4]</sup>,可以实现行人的自主

定位,然而,这些方法需要专用的惯性设备,适用性不强。随着智能手机的普及,人们又提出了很多基于智能手机的行人室内定位方法<sup>[5]</sup>。由于智能手机中内置的惯性传感器精度较差,因此,PDR的累积误差过大。另外,PDR只能实现相对定位,必须借助其他手段获取起始位置。因此PDR的应用受到了很大的限制。

随着行为感知与普适计算等相关技术的发展,通过便携式设备可以检测出用户的当前行为,将这些行为信息用于行人定位可以大大提高行人定位的精度<sup>[6]</sup>。如通过智能手机中的传感器可以检测出行人的行为状态,当行人转向时,会产生较大的角速度;行人乘坐电梯时,会出现超重以及失重的情况。这些特殊的行为往往只发生在特殊的位置,通过室内地图,可以预先知道这些特殊位置的坐标。因此可以将这些特殊的行为匹配到行为发生的位置,一方面可以解决起始点未知的问题,另一方面可以消除行人航位推算的累积误差<sup>[7-8]</sup>。然而,当室内环境中有多特征相同的行行为位置时,如有多个电梯,只通过单个行为匹配可能会出现误匹配问题<sup>[9-10]</sup>。本文提出了一种用户行为感知辅助的室内行人定位方法。试验表明,通过用户行为感知技术可以提高行人定位的精度。

**收稿日期:** 2014-02-13

**项目来源:** 深圳市科技研发资金资助项目(ZDSY20121019111146499, JSYG20121026111056204); 深圳市战略性新兴产业发展专项资金资助项目(JCYJ20121019111128765); 国家重点基础研究发展规划(973计划)资助项目(2010CB732100); 国家自然科学基金资助项目(41201483, 41301511); 中国博士后科学基金资助项目(2013M542199)。

**第一作者:** 周宝定, 博士生。研究方向为行人室内定位。E-mail: bdzhou@whu.edu.cn

## 1 行人航位推算

行人航位推算的主要原理是通过步数和步长的乘积得到行走的距离,结合前进方向,即可得到行人的位置。用  $q_k = [x_k, y_k, \theta_k]$  表示行人的当前状态量,  $x_k$ 、 $y_k$  表示行人的位置,  $\theta_k$  表示前进方向,则行人状态的转移方程为:

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \theta_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{k-1} + \Delta D_{k-1} \cos \theta_{k-1} \\ y_{k-1} + \Delta D_{k-1} \sin \theta_{k-1} \\ \theta_k \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中,  $\Delta D_k$  表示距离的变化值:

$$\Delta D_k = \text{step}_n \times \text{step}_l \quad (2)$$

式中,  $\text{step}_n$  表示步数;  $\text{step}_l$  表示步长。步数由步子检测算法得到,开始时,步长在均匀分布中随机选择一个值。当遇到两个确定的行为节点之后,步长可以通过行为节点之间的距离除以步数得到。

步子检测采用文献[11]中提出的峰值检测算法。在实验中发现,步子检测的结果往往大于实际的步数,这是因为一些其他的行人运动习惯引起了加速度的变化。由于行人行走的频率(1~3 Hz)远低于人体抖动的频率,本文中提出一种改进的步子检测算法,首先采用巴特沃兹低通滤波器去掉因人体抖动等其他因素产生的高频信号,在此基础上进行步子检测算法,可以避免步子错误检测。采用二阶截止频率为 10 Hz 的低通巴特沃兹滤波器对加速度信号进行预处理,以去除因人体抖动产生的高频信号,步子检测的结果如图 1 所示。

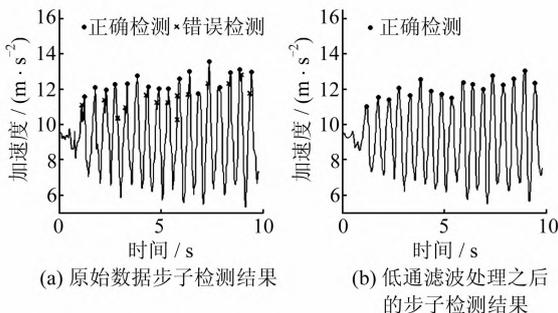


图 1 步子检测结果

Fig. 1 Step Detection Results

行人航向角可以通过智能手机内置的电子罗盘获取。然而,由于室内环境的影响,通过电子罗盘获取的方向不稳定,因此,传统的 PDR 方法具有很大的定位误差。

## 2 用户行为感知

本文基于用户行为感知技术,通过智能手机内置的传感器获取行人经过室内特殊区域(将这些特殊区域定义成“行为点”)的行为状态,主要考虑两种日常的行为:转向以及乘电梯。行人转向时,角速度会出现变化,通过陀螺仪传感器可以检测出。行人乘电梯时,会出现超重以及失重的情况,通过加速度传感器可以识别出该行为。

### 2.1 转向

转向是一种行人行走时最常见的行为,转向时会产生垂直于重心方向的角速度,可以通过手机中的陀螺仪检测出来。行人正常行走产生的加速度往往远小于重力加速度,因此可以通过最大加速度的方向轴确定重心方向,从而得到角速度的轴,即

$$\text{axis}_{\max} = \text{argmax}(|a_x|, |a_y|, |a_z|) \quad (3)$$

其中,  $\text{axis}_{\max}$  表示加速度最大的方向轴,即重心方向;  $|a_x|$ 、 $|a_y|$ 、 $|a_z|$  分别表示  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个方向轴的加速度的绝对值。

当手机的姿态发生变化时,如手机由手握姿态到置于耳边接电话的姿态,同样会引起角速度的变化。假设手机姿态变化的同时不会出现转向,利用两个姿态变化之间的角速度进行转角检测。如图 2 所示,首先手机的姿态是处于发短信(手握),然后在  $T_0$  时刻变为接电话模式,  $T_1$  时刻经过一个转角,  $T_2$  时刻回到发短信模式。在  $T_0$  和  $T_2$  之间,手机的重心方向是  $x$  轴,采用绕  $x$  方向的角速度进行转向检测,可以检测出  $T_1$  时刻的转向行为。

### 2.2 乘坐电梯

行人乘坐电梯时,在电梯启动和停止时会出现超重以及失重的情况,重心方向的加速度如图 3 所示,通过智能手机中的加速度计可以检测出该行为,重心方向轴可以通过式(3)获取。

## 3 定位方法

在检测出行人的行为之后,若该种行为对应的位置是唯一的,则直接将其匹配到对应位置可以消除 PDR 的累积误差。然而,实际环境中,同一行为出现的位置往往有多种,针对此种情况,本文提出了利用多个连续行为的行为匹配方法,该方法利用室内路网的约束性消除错误的行为位置,以提高行为匹配的准确性。

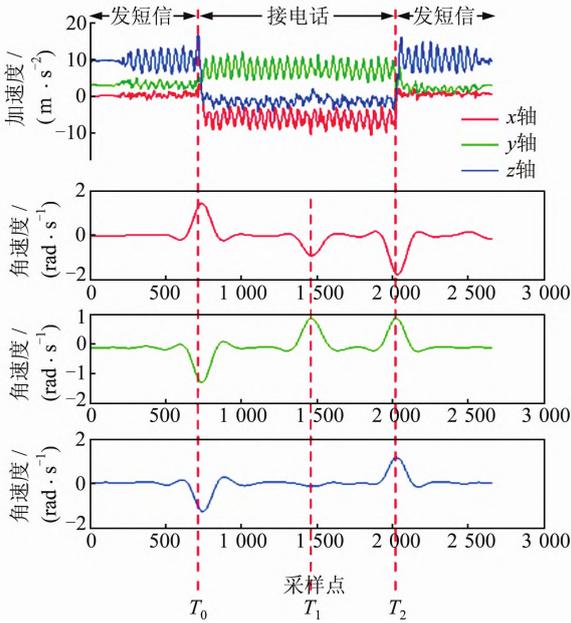


图 2 转向检测示例

Fig. 2 An Example of Turning Detection

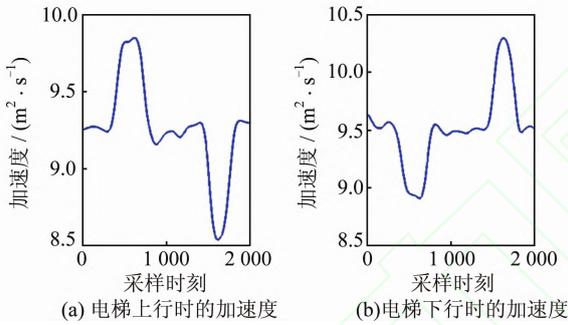


图 3 行人乘坐电梯时的加速度数据

Fig. 3 Acceleration Data When Pedestrian Takes Elevator

### 3.1 室内路网

将室内环境中每个可能引起行人正常行走时所携带的智能手机内置的传感器数据特殊变化的节点定义成路网节点,如转角处、电梯等。室内路网由所有的关键节点组成。节点的属性可以定义为:① 节点位置;② 邻居节点,与当前节点之间可以直线相连的所有节点(之间不存在障碍物);③ 可通行方向;④ 可通行方向上的可通行距离;⑤ 节点类型:转角和电梯。

图 4 为一个节点的示例,节点 2 的属性为  $(x_2, y_2)$ ;  $(1, 3)$ ;  $(E, S, W, N)$ ;  $(d_E, d_S, d_W, d_N)$ ; 转角。

### 3.2 定位方法

通过 PDR 进行定位,由于步长以及角度误差,导致定位结果累积误差不断增加。本文采用行为匹配对累积误差进行修正,同时利用室内路

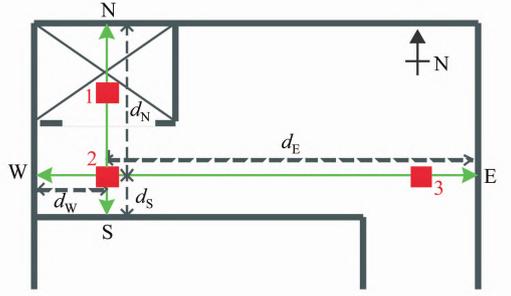


图 4 室内路网中的节点示例

Fig. 4 An Example of Node in Indoor Road Network

网的约束提高行为匹配的准确性,以此提高定位的精度。

本文所提出的定位方法如图 5 所示,通过智能手机内置传感器获取的数据,首先进行行为检测,若检测出位置相关的行为,则结合 PDR 得到的前进距离和方向以及室内路网进行基于行为及路网结构的匹配;若未检测出,则继续通过 PDR 计算距离及前进方向。

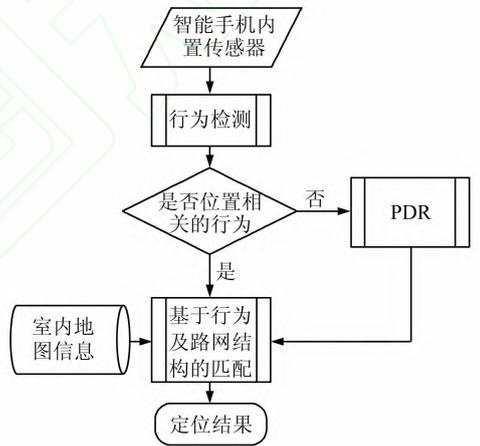


图 5 定位方法流程图

Fig. 5 Flowchart of the Proposed Scheme

基于行为及路网结构的匹配算法,根据连续多个行为构成的行为序列对多个行为位置进行筛选,以解决单个行为匹配误差问题。每个行为序列的匹配概率为:

$$P_r = \prod_{i=1,2,\dots,n} p_i \quad (4)$$

其中,  $p_i$  为第  $i$  个行为匹配的概率;  $n$  为行为序列中的行为个数,

$$p_i = \begin{cases} 0, & d_{tra} > c \cdot d_{acce} \\ 1, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

其中,  $d_{tra}$  是行人在经过该节点之后走过的距离;  $d_{acce}$  是该节点相应方向上的可通行距离;  $c$  是阈值参数,本文中设置为 0.6。式(5)说明,如果行人在经过某个节点之后走过的距离大于该节点相

应方向上的可通行距离(乘以阈值参数的目的是考虑 PDR 计算距离时的误差),说明行人未经过该节点,即行人经过该节点的概率为 0,否则,概率值为 1。当行人连续经过多个行为节点之后,根据式(4)可以确定唯一的一条路径,以此实现对行人的定位。

## 4 实验及分析

为了验证本文所提出方法的有效性,在实际环境中进行了测试实验,实验区域如图 6 所示,面积为  $52\text{ m} \times 52\text{ m}$ 。志愿者携带手机乘电梯上楼(假设手机中内置室内地图),沿着图中的路径正常行走,所采用的手机为三星 Galaxy S3,内置加速度计、陀螺仪、磁力计以及气压计,系统为 Android 4.1.1。

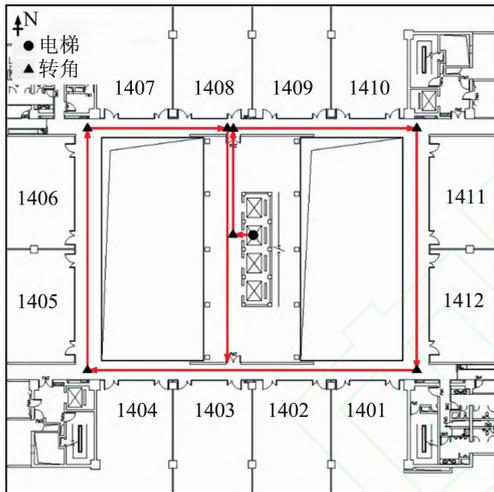


图 6 实验环境

Fig. 6 Experimental Environment

通过行为检测算法,得到经过电梯时对应的步数为 1(初始位置为电梯),经过转角对应的步数分别为 6、21、47、81、128、162 和 184 步。

本文算法的实时定位结果如图 7 所示。通过行为匹配的方法,初始误差较大,这时由于起点位置未知的情况下,假设起点均匀分布。随着行人行走步数的增加,通过行为匹配方法,定位误差逐渐减小,在经过几个连续的行为位置之后(128 步),可以实现对行人的精确定位,随后,在经过一个行为点时,累积误差被消除。如果起点行为已知,由于起点行为为电梯,该实验环境中只有 6 个电梯,算法的收敛速度远大于起点行为未知的情况,在经过 47 步之后,就可以实现行为的精确定位。

另外,从图 7 中可以看出,仅通过 PDR 的方

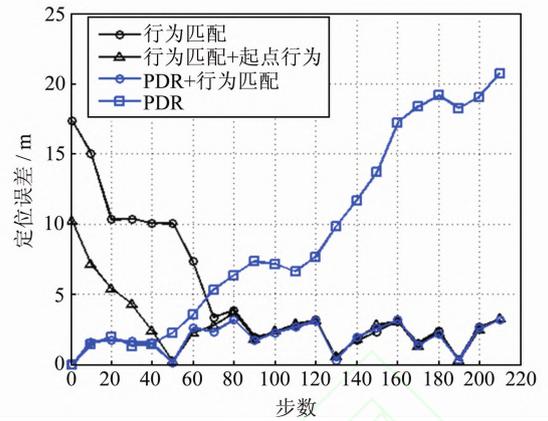


图 7 实时定位误差

Fig. 7 Online Localization Errors

法进行定位,定位误差随着步数的增加而不断增加,若结合行为匹配算法,定位误差在每经过一个行为点时,累积误差可以消除。因此,通过行为匹配的方法,可以大大提高定位的精度。

## 5 结语

本文提出了一种用户行为感知辅助的行人室内定位方法,基于用户行为感知技术,通过智能手机内置的传感器,获取行人的连续多个行为,将多个行为与可能发生行为的行为点之间进行匹配,一方面可以提高 PDR 的定位精度,另一方面可以实现在起点位置未知情况下的行人定位。下一步工作是考虑位置无关的行为对本文方法的影响,如行人在非转角处掉头等。

## 参考文献

- [1] Tian H, Xia L Y, Esmond M, et al. Signals of Opportunity Assisted Ubiquitous Positioning and Its Key Elements for Outdoor/Indoor Environment[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(11): 1 372-1 376(田辉,夏林元,莫志明,等. 泛在无线信号辅助的室内外无缝定位方法与关键技术[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(11): 1 372-1 376)
- [2] Harle R. A Survey of Indoor Inertial Positioning Systems for Pedestrians[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2013, 15(3): 1 281-1 293
- [3] Alvarez J C, Alvarez D, Lopez A, et al. Pedestrian Navigation Based on a Waist-worn Inertial Sensor [J]. *Sensors*, 2012, 12(8): 10 536-10 549
- [4] Bird J, Arden D. Indoor Navigation with Foot-mounted Strapdown Inertial Navigation and Magnetic Sensors[J]. *IEEE Wireless Communications*,

- 2011, 18(2): 28-35
- [5] Park K, Shin H, Cha H. Smartphone-based Pedestrian Tracking in Indoor Corridor Environments[J]. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2013, 17(2): 359-370
- [6] Wang H, Sen S, Elgohary A, et al. No Need to War-Drive: Unsupervised Indoor Localization[C]. The 10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, Low Wood Bay, United Kindom, 2012
- [7] Gusenbauer D, Isert C, Krosche J. Self-contained Indoor Positioning on Off-the-Shelf Mobile Devices [C]. 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Zurich, Switzerland, 2010
- [8] Link J, Smith P, Wehrle K. Footpath: Accurate Map-based Indoor Navigation Using Smartphones [C]. 2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Guimaraes, Portugal, 2011
- [9] Khalifa S, Hassan M. Evaluating Mismatch Probability of Activity-based Map Matching in Indoor Positioning[C]. 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Australia, 2012
- [10] Hassan M. A Performance Model of Pedestrian Dead Reckoning with Activity-based Location Updates[C]. The 18th IEEE International Conference on Networks, Singapore, 2012
- [11] Mladenov M, Mock M. A Step Counter Service for Java-enabled Devices using a Built-in Accelerometer [C]. The 4th International Conference on Communication System Software and Middleware, Dublin, Ireland, 2009

## User Activity Awareness Assisted Indoor Pedestrian Localization

ZHOU Baoding<sup>1, 2</sup> LI Qingquan<sup>3, 1</sup> MAO Qingzhou<sup>1, 2</sup> ZHANG Xing<sup>3</sup>

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Engineering Research Center for Spatio-temporal Data Smart Acquisition and Application, Ministry of Education of China, Wuhan University, Wuhan 430079, China

3 Shenzhen Key Laboratory of Spatial Smart Sensing and Services, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China

**Abstract:** Indoor pedestrian localization is the key factor in Location Based Service (LBS) applications. Meanwhile, Pedestrian Dead-Reckoning (PDR) is an important method for indoor pedestrian localization, and vulnerable to the accumulate errors. This paper proposes a user activity awareness assisted indoor pedestrian localization method, in which an activity awareness technique is used to detect a user's consecutive activities when the user passes special locations using the built-in sensors in smartphones. Based on the location-related activities and indoor road network topology, the accumulated PDR errors are eliminated by matching these consecutive activities to the special locations. Moreover, by the activity matching method, pedestrian autonomous localization can be realized when the starting point is unknown. Experimental results demonstrate the effectiveness of the proposed method.

**Key words:** indoor pedestrian localization; activity awareness; pedestrian dead-reckoning; smart phone

**First author:** ZHOU Baoding, PhD candidate, specializes in indoor pedestrian localization. E-mail: bdzhou@whu.edu.cn

**Foundation support:** Shenzhen Scientific Research and Development Funding Program, Nos. ZDSY20121019111146499, JSGG20121026111056204; Shenzhen Dedicated Funding of Strategic Emerging Industry Development Program, No. JCYJ20121019111128765; the Major State Basic Research Development Program, No. 2010CB732100; the National Natural Science Foundation of China, Nos. 41201483, 41301511; the China Postdoctoral Science Foundation, No. 2013M542199.