

doi:10.19306/j.cnki.2095-8110.2018.01.005

## 基于智能手机信息的行人无缝定位实现研究

王敬贤<sup>1</sup>, 曾庆化<sup>1</sup>, 刘建业<sup>1</sup>, 孟 骞<sup>1</sup>, 陈锐志<sup>2</sup>, 曾世杰<sup>1</sup>, 黄河泽<sup>1</sup>

(1. 南京航空航天大学 导航研究中心, 南京 210016;  
2. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079)

**摘要:**微电子技术的日益发展促使智能手机传感器性能获得极大提升, 智能手机逐步成为行人导航定位的关键设备, 为人们提供各类位置增值服务。针对行人室内外一体化高精度导航需求, 基于智能手机自身的多传感器实现了一套行人室内外无缝定位系统, 并采用手机光、磁、惯性、卫星传感器信息融合优化了室内外判别性能。在 Eclipse 环境下基于 Java 语言设计实现了智能手机室内外无缝定位软件, 实验结果表明, 行人室内外无缝定位软件能够实现行人室内外无盲区、高精度定位。

**关键词:**行人导航; 无缝定位; 智能手机; 室内外判别; 组合导航; 扩展 Kalman 滤波

中图分类号: V249.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-8110(2018)01-0028-07

## Realization of Pedestrian Seamless Positioning Based on the Multi-Sensor of the Smartphone

WANG Jing-xian<sup>1</sup>, ZENG Qing-hua<sup>1</sup>, LIU Jian-ye<sup>1</sup>, MENG Qian<sup>1</sup>, CHEN Rui-zhi<sup>2</sup>, ZENG Shi-jie<sup>1</sup>, HUANG He-ze<sup>1</sup>

(1. Navigation Research Center, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;  
2. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** With the continuous innovation of microelectronics technology, the performance of smartphone's chips increases. Smartphone becomes a reliable platform of pedestrian navigation, which makes it possible to provide kinds of the service based on the localization for people. To meet the demands of pedestrian indoor/outdoor seamless high precise navigation, a smartphone seamless positioning methodology is realized in this paper. The light sensor, the magnetic sensor, the inertial sensor and the GNSS (Global Navigation Satellite System) are used together to get the information to improve the accuracy of the location identification. An indoor/outdoor seamless positioning software has been designed and implemented by using the Java language under the Eclipse. The result of test shows that the smartphone seamless positioning software can achieve the indoor and outdoor pedestrian navigation with noblind area and high-precision.

**Key words:** Pedestrian navigation; Seamless positioning; Smartphone; Indoor/Outdoor detection; Integrated navigation; Extended Kalman filter

收稿日期: 2017-12-27; 修订日期: 2018-01-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(61533008, 61374115, 61603181); 中央高校基本科研业务费专项资金(NJ20170005, NJ20170010); 江苏高校优势学科建设工程项目及武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室开放基金项目(17P02)。

作者简介: 王敬贤(1993-), 男, 研究生在读, 主要从事行人导航及组合导航方面的研究。E-mail: nrcwjx@nuaa.edu.cn

## 0 引言

随着智能手机性能的提升以及内置 MEMS 传感器种类的丰富,基于手机的行人导航定位技术成为导航领域中的一个重要的新兴分支。手机导航在导航定位、智能交通等民用领域具有广泛的应用前景,同时对于提高在军事作战、抢险搜救等特种任务中的快速反应能力与任务执行效率有很大帮助。当前我国城市化进程不断加快,人们对于室内外一体化导航的需求日益增加<sup>[1]</sup>,基于智能手机的行人定位越来越成为室内外无缝定位的聚焦点。

国内外学者的研究方向非常丰富,主要集中在:1)室内定位:依靠无线射频技术和微惯性等传感器进行组合定位<sup>[2-5]</sup>;2)室外定位:依靠 GNSS 和微惯性等传感器进行组合定位<sup>[6]</sup>;3)智能手机定位:基于智能手机包含的各种传感器量测信息进行行人定位技术研究<sup>[7-8]</sup>,如武汉大学和南京航空航天大学。为提高室内外行人导航整体功能的可用性和自主性,本文研究并实现了一种基于智能手机多源信息的行人室内外无缝定位软件平台。该平台依靠光、磁、卫星传感器进行室内外判别,在室内环境下依靠手机传感器进行航位推算<sup>[9]</sup>,在室外模式下利用航位推算与 GNSS 定位结果进行智能融合,既提高了室外定位的准确性,又实现了室外到室内定位的无缝过渡。

该系统设计并实现了基于百度地图软件开发包(Software Development Kit, SDK)的手机端实时显示平台,可以便捷地获取百度地图数据,并在将实时解算的位置、速度、姿态等数据存入自行设计的数据库的同时,对定位结果进行实时显示,还可根据数据库进行行人运动轨迹的复现。

## 1 行人室内外无缝定位方法

无缝定位技术是指采用多种技术,实现同一载体在不同环境区域下的定位,并满足载体在不同环境区域之间移动时的无缝切换。为实现行人室内外无缝定位,需要关注各导航系统间的坐标系转换等基本问题,还需要关注各导航系统间的协同策略问题。本文实现的行人无缝定位方法以自主性较强的行人航位推算技术为主,形成惯性传感器、磁传感器、卫星模块、光传感器等多传感器协同工作机制,并以此实现了室内外模式的判别和切换<sup>[10-13]</sup>。

室内外环境区别较大,相比于室外环境,室内环境有更复杂的电磁场环境、更多不利于信号传播的阻隔等。在这两种环境下,行人导航时的定位方法、数据传输模式等诸多策略必然有所差异。因此,准确判别出室内外环境,选择合适的定位模式,对行人定位的准确性有着重要的影响。

光传感器、磁传感器、卫星信号的室内外环境判别算法均可以给出室内和室外环境的识别结果:太阳光的波长比人造光的波长要长,因此无论天气如何,室内光强均明显低于室外光强,室内外光照强度的明显差异性可作为室内外环境的辨识依据;室内环境中由于存在大量铁磁性材料,磁传感器数值在室内变化剧烈而室外变化缓慢,可以借此划分出室内外场景;卫星信号中解算出的可见星数和水平位置精度因子(HDOP)值可以准确判断 GNSS 可用性,进而分辨出室内外环境特征。具体如下:

$$L = \begin{cases} \text{Indoors} & \text{lightintensity} < \text{thrl} \\ \text{Outdoors} & \text{lightintensity} > \text{thrl} \end{cases} \quad (1)$$

$$M = \begin{cases} \text{Indoors} & \text{variance} > \text{thrv} \\ \text{Outdoors} & \text{variance} < \text{thrv} \end{cases} \quad (2)$$

$$G = \begin{cases} \text{Indoors} & \text{Other} \\ \text{Outdoors} & \text{HDOP} \leq 3 \ \& \ \text{Satellites} \geq 4 \end{cases} \quad (3)$$

其中, $L$ 、 $M$ 、 $G$ 依次表示光传感器模块、磁传感器模块、卫星模块对室内外环境的判别结果, $lightintensity$ 与 $thrl$ 分别代表光照强度及其判别阈值, $variance$ 与 $thrv$ 分别代表磁场强度每秒变化方差及其判别阈值, $satellites$ 代表可见星数。

但上述方法均有其弊端:光传感器在有遮挡时无法表征环境中的真实光照强度大小;卫星定位模块不仅耗电量高,而且信号接收解算存在一定的延迟,实时性略差;磁传感器信号虽然随时可用,但是相比于光传感器和卫星信号,磁传感器容易受到附近电子设备的干扰,对于室内外环境识别的误判几率更大。因此,本系统综合光/磁/卫星数据的环境辨识算法,有助于提高室内外判别的准确率和实时性。该算法采用与判断逻辑,严格限制室外模式判断条件,即只有当所有可用传感器模块同时判断为室外模式时,才认为当前环境为室外,从而将卫星和磁传感器信息引入航位推算中进行扩展 Kalman 滤波数据融合处理,减小定位误差。

基于光/磁/卫星信息融合的室内外环境识别结果可通过查询表 1 得到。通过判断卫星模块和光

传感器的可用程度,可以分为四种情况,然后再根据表 1 的策略对各个模块的识别结果进行综合判断。

表 1 基于光/磁/卫星信息融合的室内外环境决策表

Tab.1 Indoor and outdoor environment decision table based on the fusion information of light sensor, magnetic sensor and satellite sensor

卫星是否可用	光模块是否可用	各模块室内外环境判断结果	E(室外 1, 室内 0)
√	√	G(1),L(1),M(1)	1
√	√	其他	0
√	—	G(1),M(1)	1
√	—	其他	0
—	√	L(1),M(1)	1
—	√	其他	0
—	—	M(1)	1
—	—	M(0)	0

表 1 中,G、L、M 依次表示卫星模块、光传感器模块、磁传感器模块对室内外环境的识别结果,1 表示根据该类型传感器信息判断出当前为室外模式,0 表示根据该类型传感器信息判断出当前为室内模式;E 表示基于光/磁/卫星信息融合的室内外环境识别结果,E=0 表示室内,E=1 表示室外。

## 2 手机 IMU 行人航位推算算法

经典惯性导航算法对惯性传感器精度要求过高,而手机内置的低成本 MEMS 传感器则会导致定位结果很快发散。为此,通常采用基于人体运动模型的步频探测和步长估计实现行人航位推算,通过上一个时刻的位置和航向,求解行人在当前位置的航向、步频及步长,推算下一时刻行人的位置。

### 2.1 行人航位推算算法

航位推算算法主要内容包括:通过给定初始位置和航向,求解行人在当前位置的航向、步频及步长,推算下一时刻行人的位置。此算法具有完全自主、机动灵活的特点,能够满足短时间内的行人定位需求。

航位推算算法原理如图 1 所示,图中 E 轴代指东向、N 轴代指北向;  $S_k$ 、 $\theta_k$  分别为行人由  $t_{k-1}$  时刻的  $(E_{k-1}, N_{k-1})$  位置移动到  $t_k$  时刻的  $(E_k, N_k)$  位置时移动的距离和方向。初始时刻  $t_0$ ,行人初始方位为  $(E_0, N_0)$ ;随后沿北偏东  $\theta_0$  方向行走  $S_0$  长度,由此可推算出下一时刻  $t_1$  时的行人方位  $(E_1, N_1)$ 。

通过实时采集惯性传感器数据,求解每一时刻的  $S_k$  与  $\theta_k$ ,可由式(4)实时求解出任一时刻  $t_k$  的行人位置及航向信息。

$$E_k = E_0 + \sum_{i=0}^{k-1} S_i \sin\theta_i$$

$$N_k = N_0 + \sum_{i=0}^{k-1} S_i \cos\theta_i$$
(4)

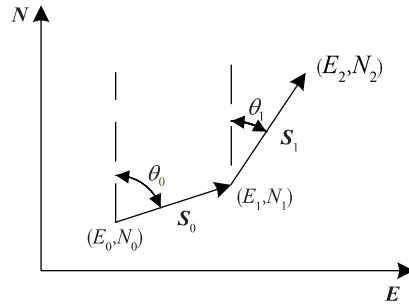


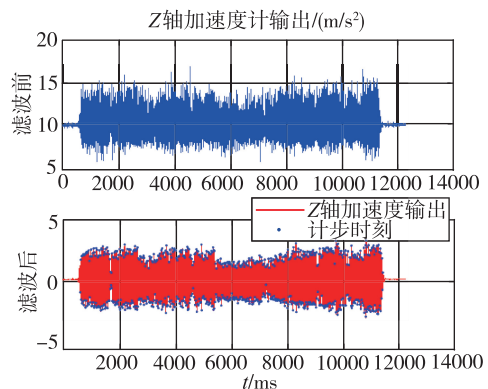
图 1 行人航位推算原理图

Fig.1 The principle diagram of pedestrian dead reckoning

### 2.2 手机自包含传感器优化计步算法

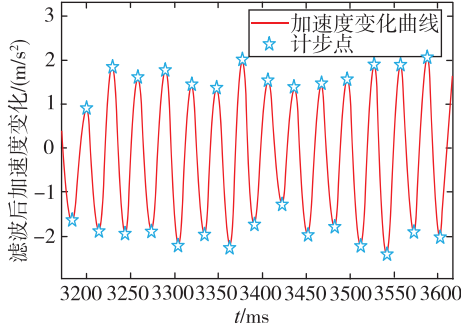
计步算法主要分三类,峰值检测、零点检测和平稳区间检测。峰值检测与零点检测相似,均是通过对加速度特殊值进行检测实现计步,本文考虑到手机实时性要求,依据峰值检测思想,设计计步算法。

由于行人行走过程中,垂直向加速度变化在一个迈步周期内先增大,后减小,因此可以利用 Z 向加速度的上升或下降区间进行计步。经过统计可知,行人步频不会超过 5steps/s,多在 1~3steps/s 左右。为此,本文设计了带通为 1~5Hz 的数字滤波器对信号进行滤波。滤波后的加速度信息如图 2 所示,可有效用于计步计算。



(a) Z 轴加速度滤波前后对比图

(a) Z-axis acceleration before and after filtering



(b) 滤波后计步点局部放大图

(b) Partially enlarged drawing of step count point after filtering

图 2 Z 轴加速度信息

Fig. 2 Z-axis acceleration information

行人步行时, Z 轴加速度变化曲线的波峰与波谷交替出现, 其差值在  $1 \sim 5 \text{m/s}^2$  范围内, 具体条件如式(5)与式(6)所示:

$$peak = |Acc_z^{new} - Acc_z^{old}| \quad (5)$$

$$\begin{cases} stepcount = stepcount + 1 & thr_{min} < peak < thr_{max} \\ stepcount = stepcount & \text{others} \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $peak$  指波峰与波谷差值的绝对值,  $Acc_z^{new}$  指本次加表 Z 轴的波峰或波谷值,  $Acc_z^{old}$  指上次加表 Z 轴的波峰或波谷值,  $thr$  指绝对值的变化范围,  $stepcount$  为步伐检测值。

### 2.3 基于 GNSS 信息的步长估计方法

行走行为虽然存在随机性, 但在正常步态下行人的步长可以近似看作一个常量。这个常量可以通过记录多次长距离行走时的行走距离与步数, 并对多次求得的步长进行平均后获得。本文采用在室外 GNSS 信号强处进行多次长距离行走, 使用 GNSS 测得的行走距离与计步器所计步数求解获得平均步长。本方法有利于弥补手机加速度计精度差导致的步长估计误差较大的问题。

进行了多次长距离行走试验, 表 2 所示为其中一组数据。由此可知, 该方法步长和距离误差都小于 1%, 能够满足短时间航位推算所需的精度要求。

表 2 测试步长与实际步长对比表

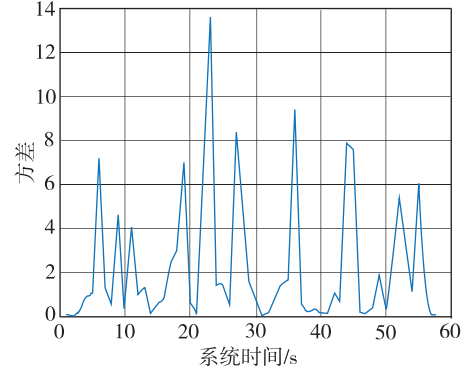
Tab. 2 The comparison of test step size and real step size

	步数/步	距离/m	步长/m
测试结果	1234	1004.58	0.814
实际结果	1236	1000.24	0.809
测试误差	0.16%	0.43%	0.618%

### 2.4 基于手机自包含传感器的航向协同估计算法

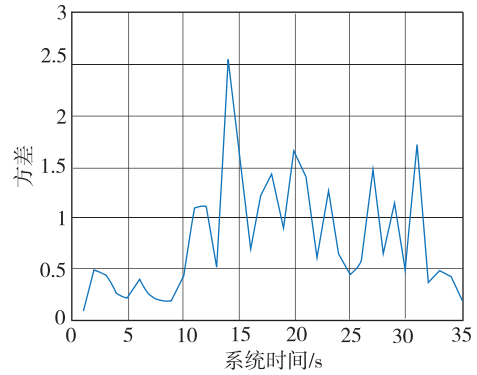
由于室内情况下影响磁场环境的因素特别复

杂, 因此室内磁传感器数据噪声很大, 图 3 所示为磁传感器室内外输出方差对比。因此可知, 在室内单纯利用磁传感器并不能获得较高精度的航向角。只有在磁场较为平稳的情况下, 才能够将磁信号信息纳入行人定位系统进行辅助导航。



(a) 室内磁传感器三轴输出方差图

(a) The three-axis output variance of magnetic sensor indoors



(b) 室外磁传感器三轴输出方差图

(b) The three-axis output variance of magnetic sensor outdoors

图 3 室内外磁传感器三轴输出方差图

Fig. 3 The three-axis output variance of magnetic sensor indoors/outdoors

室外环境下, 磁场环境较为稳定, 通过磁传感器与加速度计组合可以求得较为准确的航向角, 融合 GNSS 实现室外的准确定位。具体步骤如下所示:

$$\begin{cases} L_x = E_y A_z - E_z A_y \\ L_y = E_z A_x - E_x A_z \\ L_z = E_x A_y - E_y A_x \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} H_x = L_x / \sqrt{L_x^2 + L_y^2 + L_z^2} \\ H_y = L_y / \sqrt{L_x^2 + L_y^2 + L_z^2} \\ H_z = L_z / \sqrt{L_x^2 + L_y^2 + L_z^2} \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} N_x = A_x / \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \\ N_y = A_y / \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \\ N_z = A_z / \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} M_x = N_y H_z - N_z H_y \\ M_y = N_z H_x - N_x H_z \\ M_z = N_x H_y - N_y H_x \end{cases} \quad (10)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} H_x & H_y & H_z \\ M_x & M_y & M_z \\ N_x & N_y & N_z \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\psi = \arctan(H_y / M_y) \quad (12)$$

其中,  $A_x$ 、 $A_y$ 、 $A_z$  分别为三轴加速度值,  $E_x$ 、 $E_y$ 、 $E_z$  分别为三轴磁传感器值,  $\psi$  为解算出的航向角。

在磁传感器受干扰时, 可以采用智能手机中的陀螺仪信息进行航向的解算。陀螺仪是常用的航向角测量传感器, 具有短时精度高、受外界干扰小的优点, 能与磁传感器进行良好互补。在室内磁场异常环境下, 本文依靠标定后的陀螺数据采用四元数法实现对航向角的解算。

由初始时刻的系统姿态角(航向角  $\psi$ 、横滚角  $\varphi$ 、俯仰角  $\theta$ ) 确定四元数的初值为

$$\mathbf{q}(t) = \begin{bmatrix} q_0(0) \\ q_1(0) \\ q_2(0) \\ q_3(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \frac{\psi_0}{2} \cos \frac{\theta_0}{2} \cos \frac{\varphi_0}{2} + \sin \frac{\psi_0}{2} \sin \frac{\theta_0}{2} \sin \frac{\varphi_0}{2} \\ \cos \frac{\psi_0}{2} \cos \frac{\theta_0}{2} \sin \frac{\varphi_0}{2} - \sin \frac{\psi_0}{2} \sin \frac{\theta_0}{2} \cos \frac{\varphi_0}{2} \\ \cos \frac{\psi_0}{2} \sin \frac{\theta_0}{2} \cos \frac{\varphi_0}{2} + \sin \frac{\psi_0}{2} \cos \frac{\theta_0}{2} \sin \frac{\varphi_0}{2} \\ \sin \frac{\psi_0}{2} \cos \frac{\theta_0}{2} \cos \frac{\varphi_0}{2} - \cos \frac{\psi_0}{2} \sin \frac{\theta_0}{2} \sin \frac{\varphi_0}{2} \end{bmatrix} \quad (13)$$

使用陀螺仪测得各轴向的角速度获得四元数微分方程为

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_0 \\ \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{nbx}^b & -\omega_{nby}^b & -\omega_{nbz}^b \\ \omega_{nbx}^b & 0 & \omega_{nbz}^b & -\omega_{nby}^b \\ \omega_{nby}^b & -\omega_{nbz}^b & 0 & \omega_{nbx}^b \\ \omega_{nbz}^b & \omega_{nby}^b & -\omega_{nbx}^b & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix} \quad (14)$$

采用微分方程解出当前时刻四元数值表示载体坐标系与地理坐标系间的方向余弦矩阵  $\mathbf{C}_n^b$  为

$$\mathbf{C}_n^b = \begin{bmatrix} 1 - 2(q_2^2 + q_3^2) & 2(q_1q_2 + q_0q_3) & 2(q_1q_3 - q_0q_2) \\ 2(q_1q_2 - q_0q_3) & 1 - 2(q_1^2 + q_3^2) & 2(q_2q_3 + q_0q_1) \\ 2(q_1q_3 + q_0q_2) & 2(q_2q_3 - q_0q_1) & 1 - 2(q_1^2 + q_2^2) \end{bmatrix} \quad (15)$$

最终获得当前时刻的航向角  $\psi$  为

$$\psi = \arctan\left(\frac{C_{12}}{C_{11}}\right) \quad (16)$$

由于手持手机行走时, 手持状态的轻微晃动也会产生角速率输出, 所以对标定后的陀螺数据采取预处理以消除晃动导致的影响。图 4 所示为陀螺 Z 轴数据预处理前后对比图。结合图 5 可知, 本次实验共转弯 3 次, 每次转弯约  $90^\circ$ , 处理后陀螺输出的峰值与航向角的变化过程对应, 其积分值基本等于转弯角度。

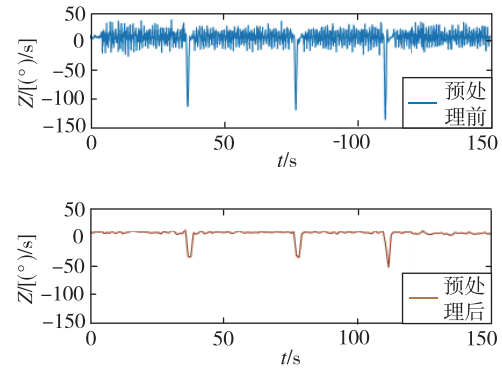


图 4 Z 轴陀螺输出预处理前后对比图

Fig. 4 The comparison of Z-axis gyro output before and after preprocessing

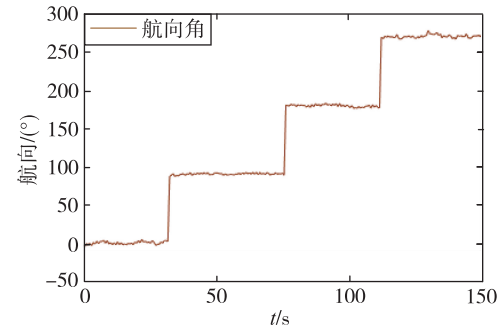


图 5 航向角变化曲线图

Fig. 5 The change curve of heading angle

### 3 行人无缝定位软件的实现及实验验证

行人无缝定位软件的设计目标是开发一套可以实时读取智能手机传感器数据并进行实时解算

与显示的综合平台,同时该平台可以将实时定位导航结果数据进行保存,以方便后期复现和分析。

### 3.1 行人无缝定位软件的实现

本文设计的基于 Android 智能终端的导航定位软件在 Eclipse 环境中用 Java 语言编程实现,可以实时在线导航。同时通过调用百度地图 SDK、建立位置数据库,实现实时显示并保存行人运动轨迹及后期复现等功能。

考虑到软件既需要满足数据的实时处理和查看需求,又需要具备良好的人机交互界面。因此,行人无缝定位软件将主要功能按钮与导航参数的显示均设于主界面上,如图 6 所示。右侧功能按钮可以实现导航程序的启停、导航数据与结果显示的开关和导航结果的复现等功能;左侧的导航参数显示区实时显示解算出的各导航参数,包括当前经纬度、行走总距离、当前速度、航位推算模式行走步数及航向;背景区域则是基于百度地图生成的实时行走轨迹显示区,行走轨迹以点状的连线显示。

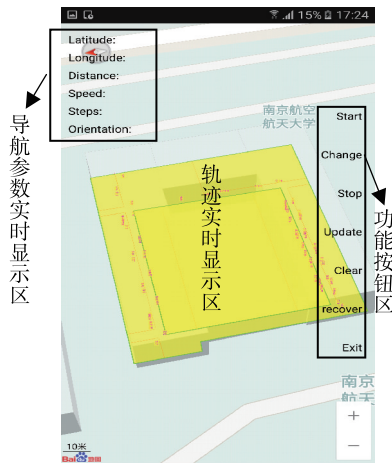


图 6 智能手机无缝定位软件示意图

Fig. 6 The diagram of smartphone seamless positioning software

### 3.2 实验验证

为了验证本文设计的行人室内外无缝定位软件的有效性,在南京航空航天大学将军路校区自动化学院 1~2 号楼群进行了长时间行走实验,实验路线如图 7 所示,包含室内(红色)、室外(蓝色)以及室内外转换区(绿色)三部分。

实验 1:纯 DR 航位推算实验。

考虑到磁传感器和卫星信号在室内受干扰无法使用,因此,先采用纯 DR 的形式进行实验线路图航位推算,其结果如图 8 所示。



图 7 大范围行走实验路线图

Fig. 7 The trajectory of the walking experiment



图 8 室内外大范围行走实验数据纯航位推算结果图

Fig. 8 The PDR result of indoor and outdoor walking experiment

由图 8 可知,在长距离行走,尤其是行走轨迹为曲线时,纯航位推算方法解算的航向存在发散现象导致位置发生大幅漂移,致使整体行走轨迹已无法反映真实行走路线。

实验 2:本文的行人无缝定位方法实验。

利用本文的行人无缝定位软件进行图 7 的路线实现,实验结果如图 9 所示,其中:蓝色为卫星导航

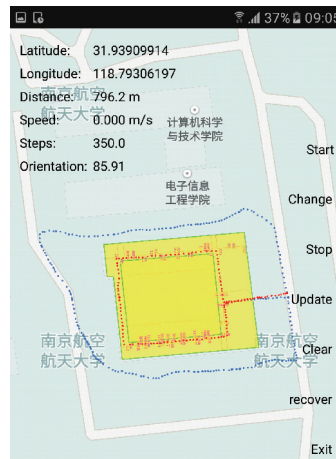


图 9 手机无缝定位软件导航结果图

Fig. 9 Navigation result of seamless positioning software on the smartphone

结果,红色为航位推算结果。室外环境下,行走过程中星况良好,HDOP值在1附近,定位误差为2~3m左右,定位效果良好。室内环境下卫星信号丢失,依靠手机的传感器数据,利用DR形式进行推算导航。室内外交叉环境下,系统根据室内外环境综合判定结果,在进入门廊附近切换为航位推算模式。

将实验1、实验2(室内、室外、综合)的效果分别汇总至表3可知,手机无缝定位效果在室外情况下有GNSS辅助,因此位置误差较小,仅占行走距离的0.64%,航向角漂移现象不明显,有效提高了室外的定位精度,达到1.07%的定位精度。室内外行走中,通过综合判断室内外环境切换模式,能够准确获得航位推算解算的初始位置与航向。

表3 纯航位推算与本文无缝定位结果对比表

Tab.3 Comparison of PDR and seamless positioning result

导航方式	行走距离/m	平均误差/m	平均误差百分比/%	航向漂移程度
纯航位推算	796.2	26.86	3.37%	中
卫星模式	500.7	3.21	0.64%	轻
航位推算模式	295.5	3.16	1.07%	轻
综合结果	796.2	6.37	0.80%	轻

综上,本文的行人室内外无缝定位软件能够有效地完成行人实时导航解算功能,整体的导航结果良好,可以反映整体的行走轨迹细节情况,具有较强的工程应用参考价值。

#### 4 结论

本文研究并实现了基于智能手机室内外环境判别的行人无缝定位方法,采用手机自身光、磁、惯性传感器模块和卫星模块进行组合实现行人室内外无缝导航,避免了导航过程中路径中断现象的产生。利用Java语言设计完成了无缝定位软件,并基于百度地图SDK进行二次开发,实现了导航结果的实时解析和显示。测试运行结果表明,智能手机版本的行人无缝定位软件能够实现行人室内室外无盲区、高精度定位。

后期工作将进一步完善航位推算算法,提高算法的精度,解决室内长时间长距离的导航定位需求。同时对手机与行人间方位差异进行深入分析,实现无约束条件下的行人导航,增强行人的体验感。

#### 参考文献

[1] 周宝定,李清泉,毛庆洲,等. 用户行为感知辅助的室内行人定位[J]. 武汉大学学报(信息科学版),

2014, 39(6):719-723.

- [2] Zhuang Y, Lan H, Li Y, et al. PDR/INS/WiFi integration based on handheld devices for indoor pedestrian navigation[J]. *Micromachines*, 2015, 6(6): 793-812.
- [3] Chen L H, Wu E H K, Jin M H, et al. Intelligent fusion of Wi-Fi and inertial sensor-based positioning systems for indoor pedestrian navigation[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2014, 14(11): 4034-4042.
- [4] 曾庆化,王敬贤,孟骞,等. 基于UWB优化配置的室内行人导航方法[J]. *中国惯性技术学报*, 2017, 25(2):186-191.
- [5] 洪皓,武刚,陈飞翔,等. 基于智能手机传感器的室内行人三维定位算法[J]. *测绘科学*, 2016, 41(7): 47-52.
- [6] Seo W, Hwang S, Park J, et al. Precise outdoor localization with a GPS-INS integration system[J]. *Robotica*, 2013, 31(3): 371-379.
- [7] Chen R, Guinness R E. *Geospatial computing in mobile devices (1st ed.)*[M]. Norwood MA: Artech House, 2014.
- [8] Zhang X, Zeng Q, Meng Q, et al. Implementation of smartphone seamless positioning system based on mobile navigation electronic map[C]// 2016 4<sup>th</sup> International Conference on Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation and Location Based Services (UP-INLBS). IEEE, 2016: 89-93.
- [9] Kang W, Han Y. SmartPDR: Smartphone-based pedestrian dead reckoning for indoor localization[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2015, 15(5): 2906-2916.
- [10] Zhuang Y, Chang H W, El-Sheimy N. A MEMS multi-sensors system for pedestrian navigation[C]// Proceedings of the China Satellite Navigation Conference (CSNC). Wuhan, 2013: 651-660.
- [11] De Cristóforis P, Nitsche M, Krajník T, et al. Hybrid vision-based navigation for mobile robots in mixed indoor/outdoor environments[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2015, 53(C): 118-128.
- [12] Li M, Zhou P, Zheng Y, et al. IODetector: A generic service for indoor/outdoor detection[J]. *ACM Transactions on Sensor Networks(TOSN)*, 2015, 11(2): 28.
- [13] Okamoto M, Chen C. Improving GPS-based indoor-outdoor detection with moving direction information from smartphone[C]// Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers. ACM, 2015: 257-260.