

1-8-2019

Design of IMU/GPS-Based Seamless Location System for Android

Sun Wei

School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

Wang Ye

School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

Ruibao Li

School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

Yang Dan

School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Design of IMU/GPS-Based Seamless Location System for Android

Abstract

Abstract: The method of seamless combination of IMU and GPS module based on Android mobile terminal is researched and implemented, and the design scheme and experimental results are given. *When the GPS signal is missing, the gait detection, heading calculation and track estimation can be carried out by using the IMU inertial sensor which is inherent in the mobile terminal to complete the seamless positioning.* Based on the Android system and the open platform of Baidu map, the algorithm implementation and human-computer interaction can be completed in the mobile terminal. The test results show that the relative error of the system location can be controlled within 5 meters by the single IMU positioning scheme in the absence of GPS signal, which can meet the navigation and positioning requirements in the general indoor environment.

Keywords

seamless positioning, inertial measurement unit, satellite navigation system, Android platform

Recommended Citation

Sun Wei, Wang Ye, Li Ruibao, Yang Dan. Design of IMU/GPS-Based Seamless Location System for Android[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(9): 3571-3577.

基于 IMU/GPS 的安卓无缝定位系统设计

孙伟, 王野, 李瑞豹, 杨聃

(辽宁工程技术大学测绘与地理科学学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 研究并实现一种基于 Android 手机终端固有 IMU 和 GPS 模块的无缝组合定位方法, 给出了系统设计方案及实验结果。在 GPS 信号缺失时利用手机终端固有的 IMU 惯性传感器采集行人运动信息完成步态检测、航向解算和航迹推算, 实现 GPS 信号缺失环境下的无缝定位。基于 Android 系统和百度地图的开放平台在手机终端完成算法实现和人机交互。测试结果表明, GPS 信号缺失环境下的单一 IMU 定位方案得到的系统定位相对误差可控制在 5 m 范围内, 可满足一般室内环境下的导航定位要求。

关键词: 无缝定位; 惯性测量单元; 卫星导航系统; 安卓平台

中图分类号: U666.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2018) 09-3571-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201809044

Design of IMU/GPS-Based Seamless Location System for Android

Sun Wei, Wang Ye, Li Ruibao, Yang Dan

(School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: The method of seamless combination of IMU and GPS module based on Android mobile terminal is researched and implemented, and the design scheme and experimental results are given. When the GPS signal is missing, the gait detection, heading calculation and track estimation can be carried out by using the IMU inertial sensor which is inherent in the mobile terminal to complete the seamless positioning. Based on the Android system and the open platform of Baidu map, the algorithm implementation and human-computer interaction can be completed in the mobile terminal. The test results show that the relative error of the system location can be controlled within 5 meters by the single IMU positioning scheme in the absence of GPS signal, which can meet the navigation and positioning requirements in the general indoor environment.

Keywords: seamless positioning; inertial measurement unit; satellite navigation system; Android platform

引言

利用手机终端内置 GPS 模块通过结合电子地图可以实现行人的连续定位, 但 GPS 信号易受行

人所处环境干扰而影响定位的连续性^[1-4]。当前智能手机中内嵌的惯性测量单元(inertial measurement unit, IMU)模块原本可为手机提供连续的姿态及重力感应^[5-8]。本文基于卫星与惯性组合导航的理念, 基于各种导航定位模式的优缺点与适用性, 依托 Android 手机平台中固有的 GPS 模块与 IMU 组件模块开展室内外无缝定位算法研究和方案实现。通过检测手机平台中的 GPS 状态, 当 GPS 信号可用



收稿日期: 2017-01-06 修回日期: 2017-03-02;
基金项目: 辽宁省教育厅高等学校基本科研项目 (LJ2017FAL005), 辽宁省“百千万人才工程”培养经费资助(辽百千万立项【2015】76号), 城市空间信息工程北京市重点实验室开放基金(2018206);
作者简介: 孙伟(1984-), 男, 黑龙江, 博士, 教授, 研究方向为惯性器件数据处理。

<http://www.china-simulation.com>

• 3571 •

时采用 GPS 完成位置解算；GPS 信号缺失时通过提取手机平台中的 IMU 惯性数据完成行人位置信息的求取。此设计利用手机终端固有的卫星和惯性传感器组件开展定位算法研究，使得用户在不买卫星导航仪的条件下也能方便、准确地实现室内外连续定位和导航，在民用和军用方面都将具有广阔的应用前景。

1 系统总体设计

研究基于 Android 平台内置 GPS 与 IMU 惯性传感器，通过判断 GPS 信号是否可用完成单一 GPS 定位与单一 IMU 定位方案的切换，通过结合百度 SDK 设计并实现无缝定位方案，系统框架如图 1。

系统执行流程如下：

- 1) 初始化 GPS、IMU 模块驱动；
- 2) 检查 GPS 状态，判断 GPS 数据接收是否正确；
- 3) 如果 GPS 数据接收正确，则获取 GPS 最新的位置并显示在地图上；
- 4) 如果 GPS 数据接收失败，则立即初始化 IMU 传感器的参数，读取 IMU 惯性数据，通过步态检测进行计数，实时解算出位置并更新到百度地图上；
- 5) 重复步骤 2)~4)，完成行人连续实时定位的需求。

2 IMU/GPS 无缝结合方案设计

由于手机终端固有的惯性测量单元精度低，依靠传统惯性导航解算方案获取的行人定位误差非常大，无法实现人员位置信息的有效获取^[9-15]。本研究尝试开展行人步态检测，通过设置步长获取位移，避免惯性器件偏差的积累而影响定位精度，通过结合方向传感器获取行人前进方位角后完成航迹推算。

2.1 IMU 步态检测

1) 通过 get System Service (Context.SENSOR_SERVICE) 方法获取安卓系统提供的传感器管理器 Sensor Manager，用于注册、监听传感器；

2) 通过 Sensor Manager 的 get Default Sensor (int type)方法获取需要的传感器，type 值包括加速度计 TYPE_ACCELEROMETER、磁力计 TYPE_MAGNETIC_FIELD、陀螺仪 TYPE_GYROSCOPE、方向传感器 TYPE_ORIENTATION 等；

3) 调用 Sensor Manager 的 register Listener()方法，为传感器注册监听器 Sensor Event Listener，当传感器数据变化时，调用监听器的 on Sensor Changed 方法，在该方法中获取传感器数据；

4) 通过分析人员行走时的 IMU 数据分布发现，行走过程中 IMU 的加速度传感器数据特征最显著，图 2 是三轴加速度计数据在行走时的数据分布曲线。

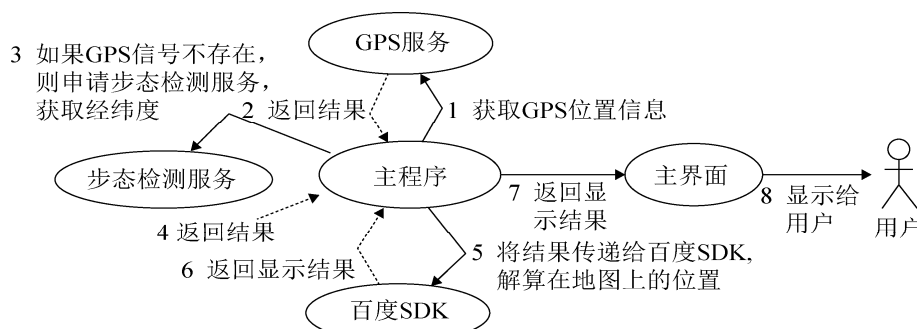


图 1 系统框架

Fig. 1 System framework

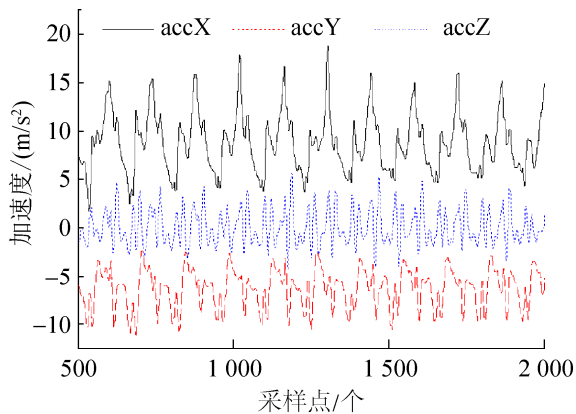


图2 步态检测曲线
Fig. 2 Gait detection curve

由图2可看出行走特征为波形线,相邻两个波峰或者两个波谷之间为一步,以加速度幅值为基准检测波峰实现计步,公式如式(1)。

$$magnitude = \sqrt{accX^2 + accY^2 + accZ^2} \quad (1)$$

算法中涉及到的波峰判定需要满足如下设定:

- A) 当前点呈现下降趋势
- B) 前一时刻点为上升趋势
- C) 持续上升至波峰次数大于等于2次
- D) 波峰值大于1.2 g且小于2 g
- E) 相邻两次波峰时间间隔大于0.2 s

5) 经过检测得出步数,判断方向角,基于手机方向角不稳定的特征,设定方向角变化阈值,如果方向角变化超过阈值,则进行经纬度反算,通过大量实验验证阈值设为5°最佳。

利用获取的方向角以及步数、步长得到的位移解算经纬度,公式如式(2)。

$$lat_dr = \arcsin((deg \times \pi / 180) \times distance \times radius) \times 180 / \pi \quad (2)$$

式中: lat_dr 表示纬度变化; deg 为方向角; $distance$ 为当前方向走的位移; $radius$ 为地球半径。

通过GPS保存的最新位置数据加上IMU航迹推算得到的纬度变化数据得到新的纬度数据:

$$curLat = oldLat + lat_dr \quad (3)$$

经度变化计算如下:

$$lon_dr = (\sin(deg \times \pi / 180) \times distance) / (111363 \times \cos(curLat) \times \pi / 180) \quad (4)$$

同样的方法获取更新后的经度信息:

$$curLon = oldLon + lon_dr \quad (5)$$

2.2 GPS 定位方案实现

Android 平台 GPS 定位可以输出用户所在的经度、纬度、高度、方向、移动速度、精确度等信息,安卓平台中获取 GPS 位置信息的过程如下:

1) 通过 `getSystemService(Context.LOCATION_SERVICE)` 获取定位管理器 `Location Manager`, `Location Manager` 是安卓平台位置服务的核心组件,提供了一系列方法用于处理与位置相关的问题,包括查询最新位置信息、注册和注销来自某个 `Location Provider` 的周期性位置更新、注册和注销接近某个坐标时对一个已定义的 `Intent` 的触发等;

2) 调用 `Location Manager` 的 `requestLocationUpdates()` 函数设置位置监听器 `Location Listener` 与触发条件;

3) 当满足触发条件时在位置监听器 `Location Listener` 的 `onLocationChanged` 方法中可以获取最新位置 `Location`,通过 `Location` 获取时间、经纬度、海拔等信息。

2.3 IMU/GPS 无缝组合

为实现 IMU 定位服务与 GPS 定位服务的无缝组合,本研究利用安卓平台的 `Timer` 设计了每秒执行一次的定时任务监听 GPS 状态,根据 GPS 状态判断结果控制 GPS 定位模式与 IMU 定位模式的转换,控制流程如下:

由控制流程可以得出,单一 IMU 定位模式无法独立使用,需要 GPS 模块提供初始位置, GPS 信号良好时利用 GPS 模块获取位置, GPS 信号缺失时以 GPS 最新的位置信息为初始点,利用 IMU 传感器数据进行航迹推算得到位置信息,因 IMU 航迹推算的误差会随着时间的积累变大,所以一旦 GPS 状态判断良好时需及时校正位置信息。

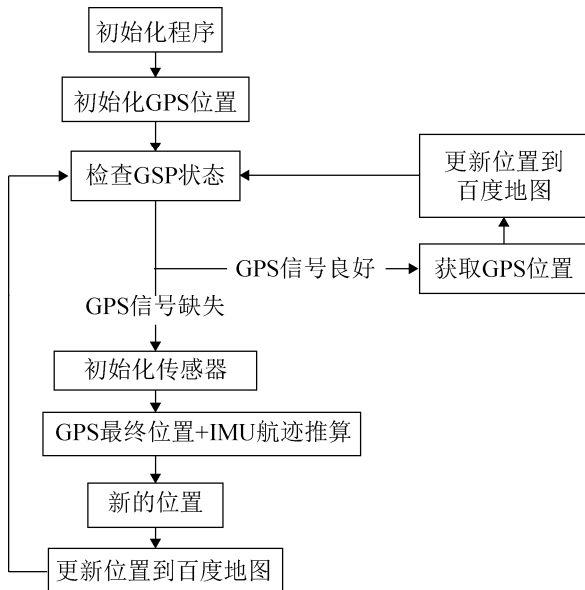


图3 模式转换流程

Fig. 3 Process of model transformation

3 系统实现

根据功能划分,系统分为GPS、IMU步态检测、百度SDK、主程序、主界面五个模块,GPS提供GPS位置信息,步态检测模块通过IMU惯性传感器数据检测行走步数、获取方向角、航迹推算提供位置信息,主程序主要处理各种消息响应、开启定时任务、百度SDK转换GPS信息到百度地图上,主界面用于和用户交互。

3.1 程序初始化

为保证系统各模块功能稳定运行,需要对各模块进行初始化,准备各模块功能运行的前提条件,主程序中包含各模块的初始化程序,各界面的初始化流程如图4。

百度地图API是一套为开发者免费提供的基于百度地图的应用程序接口,提供定位服务、地图服务、数据服务、出行服务、轨迹服务、分析服务等,搭建完百度开发环境并做如下初始化:

- 1) 在 application 中通过调用 SDKInitializer.Initialize (this), 初始化百度地图;
- 2) 调用 MapView 的 getMap() 函数获取 BaiduMap, BaiduMap 是操作百度地图的实例对象;
- 3) 创建 LocationClient 对象, 设置地图属性, 开启 GPS, 开始定位。

步态检测服务的初始化,步态检测服务主要通过根据 IMU 传感器数据特征判断是否行走,并且记录步数,通过 Sensor Manager 对象的 register Listener 方法添加各传感器的监听器。

GPS 模块初始化主要是通过 location Manager 的 add GPS Status Listener 方法,添加 GPS 状态监听器。

UI 界面初始化主要是初始化界面中的 TextView Map View 等控件,并添加消息响应函数。

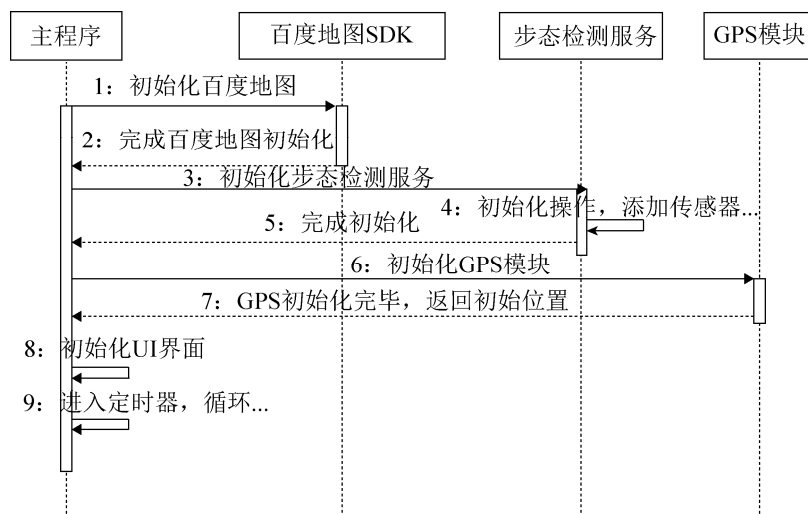


图4 各模块初始化

Fig. 4 Initialization of each module

<http://www.china-simulation.com>

3.2 定时任务

为提供连续的导航定位服务, 设计了定时任务。在完成初始化后开启该定时任务, 实时连续获取位置信息的更细并显示给用户, 定时任务的主要功能如图 5 所示。

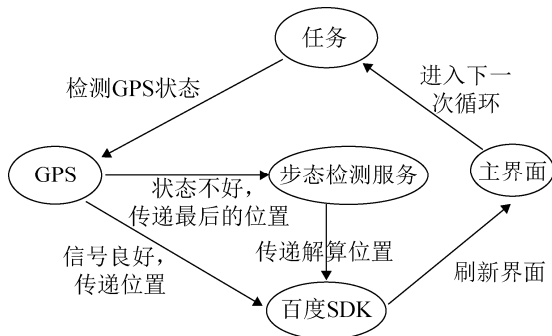


图 5 定时任务主要功能
Fig. 5 Main function of timing task

检查 GPS 状态, Android 平台利用 Location Manager 的 get Last Known Location ()方法获取 GPS 位置信息, 该方法是获取最新的 GPS 位置信息, 如果 GPS 信号突然缺失, get Last Known Location ()方法得到的 GPS 位置信息不再更新。观测实验数据结果表明, GPS 状态良好时, 手机处于静止状态, 相邻两组 GPS 位置信息也不相同, 基于该特性, 以当前获取的 GPS 位置信息是否为空和是否与上一时间点的 GPS 位置信息相同为判断条件, 判断 GPS 状态良好时, 获取最新 GPS 位置信息并显示到百度地图, 判断 GPS 信号缺失时, 转换 IMU 定位模式, 开启步态检测服务, 利用加速度计数据判断步数, 方向传感器获取方向角, 利用航迹推算获取位置信息并更新到百度地图。航迹推算算法实现如下:

$$distance = length * newSteps;$$

$$lat_dr = \text{Math.toDegrees}(\text{Math.asin}(\text{Math.cos}(deg * \text{Math.PI} / 180) * distance / radius));$$

$$curLat = lat + lat_dr;$$

$$long_dr = (\text{Math.sin}(deg * \text{Math.PI} / 180) * distance) / (111363 * \text{Math.cos}(curLat * \text{Math.PI} / 180));$$

$$curLong = long + long_dr;$$

4 实验结果及分析

为验证论文方案的可行性, 设计了不同路线开展 GPS 无信号和有信号条件下的实测位置对比实验, 实验过程如下:

- 1) 获取 GPS 初始位置信息;
- 2) 关闭 GPS 信号, 当界面检测 GPS 信号缺失显示定位模式为 IMU 工作模式时开始行走;
- 3) 手机平放胸前, 匀速按计划路线行走一圈;
- 4) 回到初始原点后打开 GPS 信号进行位置校准;
- 5) 在 GPS 信号开启状态下按计划路线再次行走一圈;
- 6) 回到初始位置得到有、无 GPS 模式下的定位轨迹对比曲线。

获取不同路线试验结果如下:

为避免仅靠单一路线存在实验结果可靠性不足的问题, 设计了多种长度的实验路线并对结果进行分析:

实验一: 共行走 956 步, 路线长度 650 m, 行走时间为 7 min (如图 6a);

实验二: 共行走 2 332 步, 路线长度 1 500 m, 行走时间为 20 min (如图 6b);

实验三: 共行走 3 781 步, 路线长度 2 400 m, 行走时间为 35 min, 路径中的 A 点距初始位置 2 100 m, B 点距初始位置 1 350 m, C 点距离初始位置 550 m (如图 6c)。

对比实验一和实验二曲线可清晰看出 IMU 定位轨迹与 GPS 定位得到的行人运动轨迹相符, 但是 GPS 初始信号不稳定导致曲线中的初始位置红色折线产生波动。图 6(d)~(e)分别为实验三前半部分与后半部分 GPS 无信号与有信号的对比图, 可看出上半段路线 GPS 定位得到的行人运动轨迹与 IMU 定位轨迹相符, 下半段随着时间积累误差越来越大。图 6(f)~(h)分别为图 6(c)中 A、B、C 三点 GPS 无信号与有信号对比图, 从图中可看出 A 点相对定位误差在 20 m 左右, B 点误差在相对定位 5~10 m 之间, C 点相对定位误差在 5 m 之内。



图 6 实验效果图
Fig. 6 Experiment results

通过对三个实验分析可看出，IMU 单一定位模式下行走 500 m 范围内相对 GPS 位置的误差可控制在 5 m 内，1 000 m 范围内相对误差在 10 m 内，该定位精度能够满足普通个人导航定位的需求。相对定位误差产生的原因经过分析可认定为手机终端的惯性传感器误差、步数计算误差和行人的步长不一致误差。

5 结论

论文通过监听 GPS 信号是否可用为依据，设

计并实现 IMU 定位与 GPS 定位模式自动转换的无缝组合定位系统。采用智能手机中固有的 GPS 模块与 IMU 传感器模块，通过结合百度 SDK、主程序、主界面构成移动终端系统的五个功能模块，设计并开发系统底层驱动后搭建测试环境，结果表明单一 IMU 定位模式下得到相对 GPS 的定位误差小于 5 m，该精度能够满足多数个人导航定位服务需求。相对于传统的惯性\卫星组合系统，本研究通过综合考虑智能手机 IMU/GPS 模块特性，使其适用于智能手机导航定位服务。

参考文献:

- [1] 祝燕华, 蔡体筹, 杨卓鹏. MEMS-IMU/GPS 组合导航系统的实现[J]. 中国惯性技术学报, 2009, 17(5): 1-6.
ZHU Yan-hua, CAI Ti-jing, YANG Zhuo-peng. MEMS-IMU/GPS integrated navigation system[J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2009, 17(5): 1-6.
- [2] 许双安. GPS/SINS 组合数据处理研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2011: 16-23.
XU Shuang-an. Data processing research based on GPS/SINS loosely integrated[D]. Wuhan: Wuhan University, 2011: 16-23.
- [3] 孙伟, 丁伟, 李瑞豹, 等. 基于小波降噪的 MEMS 惯导系统对准方法研究[J]. 传感技术学报, 2015, 28(6): 814-818.
SUN Wei, DING Wei, LI Rui-bao, et al. Research on the Initial Alignment of MEMS INS Based on Wavelet De-Noiseing[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2015, 28(6): 814-818.
- [4] 何晓峰, 胡小平, 唐康华. 无缝 GPS/INS 组合导航系统的设计与实现[J]. 国防科技大学学报, 2008, 30(1): 1-6.
HE Xiao-feng, HU Xiao-ping, TANG Kang-hua. Design and Evaluation of a Seamless GPSPINS Integrated Navigation System[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2008, 30(1): 1-6.
- [5] 蒋孝恩, 李和平, 周以国. 基于 DSP 的 IMU/GPS 数据融合算法的实现[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(10): 1-4.
JIANG Xiao-en, LI He-ping, ZHOU Yi-guo. Implementation of IMU/GPS Data Fusion Algorithm Based on DSP[J]. Computer Measurement & Control, 2011, 19(10): 1-4.
- [6] 郑南山, 张秋昭, 张书毕, 等. IMU/GPS 组合导航交互式多模型鲁棒滤波研究[J]. 中国矿业大学学报, 2014, 43(5): 1-8.
ZHENG Nan-shan, ZHANG Qiu-zhao, ZHANG Shu-bi, et al. Improved algorithm based on interacting multiple model and H Filtering for IMU/GPS navigation[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2014, 43(5): 1-8.
- [7] 胡旭科, 尚建嘎, 古富强, 等. 融合 GPS 与 Wi-Fi 的室内外无缝定位原型系统研制[J]. 小型微型计算机系统, 2014, 35(2): 1-5.
HU Xu-ke, SHANG Jian-ga, GU Fu-qiang, et al. Development of Indoor /Outdoor Seamless Positioning Prototype System Fusing GPS and Wi-Fi[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2014, 35(2): 1-5.
- [8] 濮迪. 北斗室内外无缝定位系统设计与仿真分析[J]. 无限互联科技, 2016, 12(11): 1-4.
Pu Di. Design and Simulation Analysis of the Indoor and Outdoor Seamless Positioning System[J]. Wireless Internet Technology, 2016, 12(11): 1-4.
- [9] Nicholas A Mandellos, Iphigenia Keramitsoglou, Chris T Kiranoudis. A background subtraction algorithm for detecting and tracking vehicles[J]. Expert Systems With Applications (S0957-4174), 2011, 38(3): 1619-1631.
- [10] 孙作雷, 茅旭初, 田蔚风, 等. 基于动作识别和步幅估计的步行者航位推算[J]. 上海交通大学学报, 2008, 42(12): 1-5.
SUN Zuo-lei, MAO Xu-chu, TIAN Wei-feng, et al. Pedestrian Dead Reckoning Based on Activity Recognition and Stride Assessment[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2008, 42(12): 1-5.
- [11] 连晓峰, 张弢, 刘载文, 等. 一种改进的运动人体目标检测方法研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(2): 1-4.
LIAN Xiao-feng, ZHANG Tao, LIU Zai-wen, et al. An Improved Method for Moving Human Detection[J]. Computer Simulation, 2011, 28(2): 1-4.
- [12] S H Shin, C G Park, J W Kim, et al. Adaptive Step Length Estimation Algorithm Using Low-Cost MEMS Inertial Sensors[C]. Sensors Applications Symposium, IEEE, 2007: 1-5.
- [13] BAE J, TOMIZUKA M. A tele-monitoring system for gait rehabilitation with an inertial measurement unit and a shoe-type ground reaction force sensor[J]. Mechatronics (S1007-080X), 2013, 23(6): 646-651.
- [14] 王科俊, 贾晔焯, 赵玥. 步态识别中的步态检测与序列预处理[J]. 自动化技术与应用, 2009, 28(8): 1-5.
WANG Ke-jun, BEN Xian-ye, Zhao Yue. Gait Detection and Sequence Preprocessing for Gait Recognition[J]. Techniques of Automation and Applications, 2009, 28(8): 1-5.
- [15] 季冉. 基于惯性传感器的步态测量方法研究与实现[D]. 大连: 大连理工大学, 2015: 20-29.
JI Ran. Research and Implementation of Gait Measurement Methods Based on Inertial Sensors[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2015: 20-29.