

基于智能手机传感器数据的道路平整度 实时观测 APP 设计

石家凤^{1,2}, 万 汨^{1,2}, 臧垵岳^{1,2}, 周达睿^{1,3}, 沈 婕^{1,2}

(1.南京师范大学地理科学学院,江苏 南京 210023)

(2.南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室,江苏 南京 210023)

(3.南京师范大学强化培养学院,江苏 南京 210023)

[摘要] 随着智能手机性能的不断发展和越来越多的人尝试用手机来进行地理信息的采集. 基于 iOS 平台开发研制了自行车搭载手机传感器的道路平整度实时观测 APP, 该 APP 可实时获取智能手机传感器数据, 并基于道路平整度计算模型计算获取用户骑行路面的道路平整度, 将用户的骑行移动轨迹在地图上显示, 对道路平整度进行分级显示. 该 APP 可弥补车载激光测量不能观测骑行与步行道路的不足, 便于大众测量和了解道路平整度信息, 降低了测量门槛.

[关键词] 道路平整度, 智能手机, 传感器, iOS, 自行车

[中图分类号] TP311.56 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2018)02-0077-09

Real-Time Observation APP Design of Road Roughness Based on Smartphone's Sensor Data

Shi Jiafeng^{1,2}, Wan Mi^{1,2}, Zang Kaiyue^{1,2}, Zhou Darui^{1,3}, Shen Jie^{1,2}

(1.School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2.MOE Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(3.Honors College, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: With the continuous development of the performance of smartphones, more and more people attempt to use the mobile phone to collect the geographic information. Based on the iOS platform, this paper develops a real-time observation APP for road roughness which is achieved by using a bicycle equipped with mobile phone sensor. The APP can acquire the smart phone sensor data in real time, and calculate the user's riding road roughness based on the road roughness calculation model, show the user's riding trajectory on the map, and achieve the level of road roughness display. The development of this APP can make up for the inadequacy of riding and walking roads that cannot be observed by vehicle laser measurements. It not only facilitates the public to measure and understand the information of road roughness, but also reduces the measurement threshold.

Key words: road roughness, smartphone, sensors, iOS, bicycle

近年来,随着骑行活动的推广以及共享单车的普及,道路平整度已成为民众出行所关注的重要因素. 道路平整度并非一个可直接测量的物理量,而是根据一些测量值计算推导得出的约定的可计量的量^[1],目前国际上道路平整度尚无统一的通用的定义. 根据我国交通部《公路工程名词术语》(JTJ002-87),道路平整度的定义为:“路表面纵向的凹凸量的偏差值”^[2]. 对于道路平整度的采集统计,多为官方行为. 而官方在统计时,多使用道路信息采集车对路面进行全面的信息采集^[3]. 该方法虽然具有较高的效率和准确性,但由于人力和物力成本的约束,无法大规模、高频率地进行检测,采集的道路信息时效性较差,且车载测量也无法满足普通民众对骑行道路平整度信息的及时需求. 以“随取随用”为目的的共享单车受到了民

收稿日期:2018-01-10.

基金项目:国家重点研发计划(2016YFE0131600)、国家自然科学基金(41371433)、江苏高校品牌专业建设工程资助项目.

通讯联系人:沈婕,博士,教授,研究方向:地图自动综合并行计算、电子地图与网络地图设计. E-mail:shenjiejie@njnu.edu.cn

众的广泛青睐,成为解决城市“最后一公里”出行的首选方式^[4-5]. 共享单车的出现为利用自行车载手机测量道路平整度提供了便利. 在面向灾害救援过程中,利用自行车载手机对道路平整度进行观测,能方便快捷地提供灾害后的道路信息.

随着以用户分享和开放平台为主要特点的 Web2.0 时代的到来,以 iPhone 为代表的智能手机的普及极大推动了移动 GIS 的发展^[6]. 而受限于以手机为主的日常移动终端性能的不足,早期人们多以文字和图片等描述性表达的形式共享地理属性信息. 随着手机内置 GPS 模块的普及,人们可根据自己的移动位置进行地理区块编辑、上传 GPX 轨迹数据等操作,逐步开始了“测量”地理信息. 已有国内外学者利用手机加速度计进行道路平整度测量的研究,Tai 等人使用摩托车作为搭载工具,用智能手机的加速度计和 GPS 设备检测道路损坏位置信息^[7];Zhao 等人利用遗传算法对 iOS 设备获取的加速度、角速度数据进行分析,用以估测道路平整度和坑洞位置^[8];Strazdins 等人以及 Mednis 等人根据安卓手机加速度计数据提出了坑洞识别算法^[9-10]. 另外还有一些以此为基础的其他方面的研究:Mohan 等人为测量道路平整度并估测交通拥挤情况,在行车过程中利用手机的加速度计、麦克风、GSM 通信模块及 GPS 定位数据,分析了道路的坑洞、凸起及汽车的制动、鸣笛信息^[11];Mohammed 使用安卓手机传感器收集了印度海得拉巴市软基和硬基路面的性能数据^[12];Mahajan 以路径规划为目的,用手机中 GPS 系统、加速度计和电子罗盘分析了道路平整度及山路复杂度(ghats complexity)^[13];Cruz 研究了用手机测量的道路平整度数据代替传统测量数据的可行性^[14]. 国内外通过移动传感器进行地理空间数据采集和信息处理已有较为广泛的研究和案例,但多是依托于汽车作为搭载和测量工具. 基于上述研究,本文将设计并实现一个基于自行车和手机传感器的道路平整度测量 APP,该 APP 将负责数据采集、计算、存储、显示等一系列功能. 用户可将搭载该系统的手机固定在自行车上,在骑行过程中测量并记录骑行轨迹及对应的道路平整度信息,并在软件中实现分段可视化.

1 基于软件开发的需求分析和系统设计

1.1 需求分析

需求分析是软件开发的基础,在开发正式开始前需要通过需求分析了解开发目的、具体实现功能及性能要求等. 本文要基于 iOS 平台建立道路平整度测量 APP—GetRoadSR,因而除了基本的移动 APP 性能需求外,还将涉及道路平整度测量、计算、可视化等需求,主要包括:

(1)手机传感器数据采集. 基于手机传感器的数据采集是本文研究的数据源,是必不可缺的功能点,需通过传感器获取的主要数据为三轴加速度数据和定位模块数据. 该需求点在系统设计时需要有明确的开始、结束、保存按钮,并对采集的数据进行存储.

(2)数据管理及展示. 在“数据采集”需求点的基础上,还需要对数据进行管理和展示,需通过设计合适的数据库及可视化界面来进行人机交互.

(3)道路平整度计算和坑洞识别. 道路平整度的计算和坑洞识别需通过 APP 进行算法模型的实现,道路平整度计算功能的重点在于算法模型的实现,坑洞识别的重点则在于坑洞位置的判断.

(4)基于轨迹的道路平整度可视化. 为满足可视化的需求须进行如下操作:载入地图;将移动测量轨迹绘制在地图上;根据比例尺对测量轨迹进行分段;计算每一分段 IRI 值(即国际平整度指数,表示道路纵断面曲线相对平整道路曲线的垂直地面方向位移累计值,m/km),IRI 数值越大道路平整度越差;根据自定义的 IRI 分级设色标准对每段轨迹进行设色;定位坑洞位置并以小黑点的形式展示在地图上.

1.2 系统架构设计

本系统使用的架构是 MVC (model-view-controller) 模式,其中 Models(模型)为数据层,负责数据结构及其对应的数据接口;Views(视图)为展示层,所有的 UI (user interface) 显示和更新均属于这一层;Controller(控制器)、View-Model(视图模型)和 Presenter(展示器)为 Models 和 Views 的中间层,承载了所有的业务逻辑. iOS 开发中的 MVC 模式的实际情况如图 1 所示.

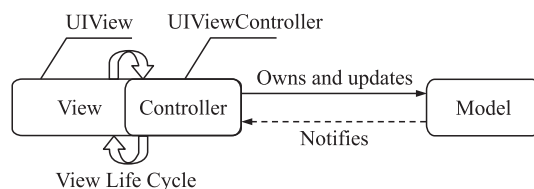


图 1 iOS 开发中实际型 MVC 设计模式示意图

Fig. 1 The actual MVC design patterns diagram in iOS development

从图 1 可知,除了 Model 独立拆分仅与 Controller 通信外,View 和 Controller 有重合的部分,主要原因是视图控制器 ViewController 的存在:在建立一个新页面时,ViewController 本身就包含了一个 View 属性,该 View 同时也是新页面的基本图层,整个生命周期都由 ViewController 控制. View 的主要职责是将用户交互信息传递给 Controller,而在 ViewController 类中两者同时存在,该类也就成为 APP 中所有交互功能的基础. 为了减轻 ViewController 的负担,本文在沿用 iOS MVC 架构基础上还单独建立了一个工具层. 该工具层的主要作用是将 ViewController 中的复杂逻辑和运算以工具形式拆分出来便于复用. 最典型和现实的例子是,若在多个界面(类)中均需计算 IRI,只需根据 IRI 的计算逻辑单独写一个工具类,在合适的地方对方法进行调用即可.

1.3 功能模块设计

本系统的功能模块根据需求分析分为手机传感器数据采集、数据管理、IRI 计算模型、平整度可视化 4 个部分. 除此之外,还需有一个基础服务模块,用于提供定位、绘图等基本功能. 基础服务模块包括基础页面设计、电子地图、数据存储、图形图表绘制、平整度轨迹颜色设计等,保证了系统功能模块的实现和系统的顺畅运行. APP 中各功能模块的运作流程如图 2 所示.

2 关键技术

2.1 基于骑行行为的道路平整度计算

2.1.1 IRI 计算模型

IRI 为动态反应类平整度指标,其重复性差,不同检测仪器获得的信息不具可比性. 为了校准动态反应类检测系统,在研究国际平整度指数时,使用了四分之一车单轮数学模型,则 IRI(以 δ 表示)的计算公式为:

$$\delta = \frac{1}{S} \sum_{i=2}^n \left(\int_{t_{\text{start}}}^{t_{\text{stop}}} \frac{a_i + a_{i-1}}{2} (dt)^2 \right),$$

式中, S 为测量总距离;加速度计采样初始值为瞬间加速度 a , a_i 、 a_{i-1} 分别为相邻采样点的加速度值; t_{start} 、 t_{stop} 分别为测量过程的起止时间戳.

由于三轴加速度的数据采集形式为 x 、 y 、 z 三轴数据,且手机与地面的初始角度未知,故需通过一定的换算获取垂直于地面的加速度数据. 本文使用 Zang 等人提出的垂直加速度值计算公式^[15]:

$$A_v = \frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{\bar{A}}}{|\mathbf{\bar{A}}|} = \frac{A_x \bar{A}_x + A_y \bar{A}_y + A_z \bar{A}_z}{\sqrt{A_x^2 \bar{A}_x^2 + A_y^2 \bar{A}_y^2 + A_z^2 \bar{A}_z^2}} = A_x^* \bar{A}_x + A_y^* \bar{A}_y + A_z^* \bar{A}_z.$$

式中, A_v 的单位为 g (9.8 m/s^2); A_x 、 A_y 、 A_z 分别为三轴加速度计 x 、 y 、 z 轴的加速度值; \bar{A}_x 、 \bar{A}_y 、 \bar{A}_z 是加速度计在初始静止状态下的平均值; $\mathbf{A} = (A_x, A_y, A_z)$ 是三轴向量; $\mathbf{\bar{A}} = (\bar{A}_x, \bar{A}_y, \bar{A}_z)$ 是辅助向量.

在实际测量计算过程中,三轴加速度的数据采集频率为 100 次/s(即 100 Hz),每 100 m 会作为一个计算单元,输出 IRI 值.

2.1.2 坑洞识别算法

坑洞识别过程中,需要用到三轴加速度计、GPS 模块和电子罗盘等手机传感器. 其中,电子罗盘和加速度计辅助 GPS 模块进行定位,定位频率为 1 次/s(1 Hz). 当 $A_v > 2$ 或 $A_v < -2$ 时则认为遇到一次坑洞(或异常凸起),记录下来. 当采集频率较高(100 Hz)时,有可能出现连续满足条件的情况. 为此,设定满足条件的坑洞采样间隔不低于 0.05 s. 以自行车行车速度为 5 m/s 计算,相邻两坑洞间的距离必须大于 0.25 m,否则视为同一坑洞.

坑洞识别的另一重要问题是定位问题. 由于连续定位时间间隔远大于加速度计采样间隔,因而在识

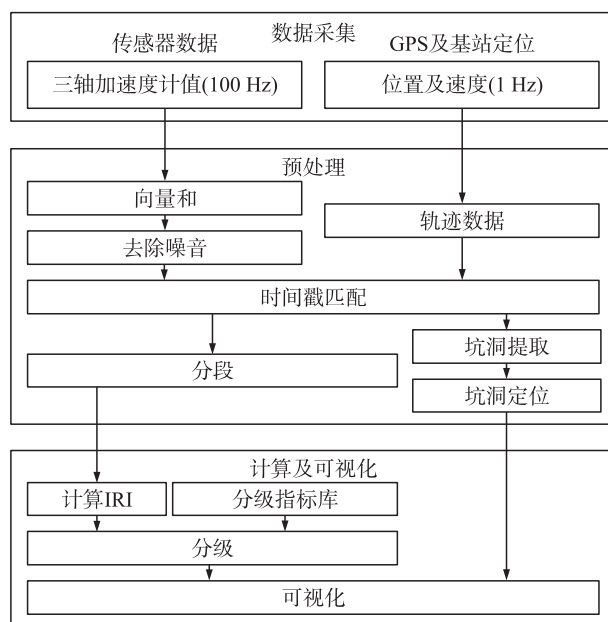


图 2 GetRoadSR 中数据处理流程图

Fig. 2 The flow chart of GetRoadSR data processing

别出坑洞点的同时要记录其采样时间点 n . 设该采样时间点 n 所在的 1 s 定位间隔内, 自行车做匀速直线运动, 则在对应的第 $i\text{ s}$ 至第 $i+1\text{ s}$ 时间段内, 可根据采样间隔两端的经纬度求出坑洞点坐标 $LOC_p(lat_n, lon_n)$, 其中, lat_n 为 n 时刻的纬度, lon_n 为 n 时刻的经度:

$$lat_n = lat_i + (lat_{i+1} - lat_i) \times \frac{n-i}{100},$$

$$lon_n = lon_i + (lon_{i+1} - lon_i) \times \frac{n-i}{100}.$$

图 3 为具体的道路平整度及坑洞识别算法流程图.

2.2 道路平整度分级及图例设计

2.2.1 界面布局设计

道路平整度测量 APP “GetRoadSR” 的设计分为

4 大模块: 数据采集模块、数据管理模块、IRI 计算模块、平整度可视化模块.

(1) 数据采集模块将底图设计为可进行浏览的电子地图, 并支持连续显示用户当前位置, 有明确的起止按钮控制数据采集, 并提醒用户对数据进行“保存”或“放弃”(如图 4 所示).



(a) 平整度采集界面



(b) 数据存储界面

图 4 数据采集界面

Fig. 4 Data acquisition interface

(2) 数据管理模块包含两个界面, 一个界面根据数据 ID 将历史采集数据列表显示, 点击选择后第二个界面展示具体数据信息(如图 5 所示). 具体数据展示页面中拟定要素包括数据采集的起止时间、加速度波形绘制、整体 IRI 计算、可视化页面跳转按钮(如图 6 所示).

(3) IRI 计算模块是工具层的一部分, 并不需要一个具体的页面, 只需建立好工具类提供 IRI 计算以及坑洞识别的方法即可.

(4) 平整度可视化模块由数据展示模块跳转而来, 以高德提供的电子地图作为底图, 将用户的骑行轨迹绘制在电子地图上, 根据 IRI 计算和坑洞识别结果对轨迹进行分段设色, 并在地图上显示比例尺、指北针、图例等专题地图需求信息^[16].

2.2.2 道路平整度分级方法研究

根据国际平整度指数 IRI, 道路平整度一般可粗分为 6 级. 从机场和高速公路一直到不完整的无铺路面, 6 级的具体划分范围是(单位 m/km): $0.25 \sim 1.75$ 、 $1.25 \sim 3.5$ 、 $2.25 \sim 5.75$ 、 $3.25 \sim 10.0$ 、 $4.0 \sim 11.0$ 、 7.75 以上^[17]. 传统的分级方式存在两个问题: 一是各等级道路对于 IRI 的划分相互重叠, 无法有效地根据 IRI 值进行可视化; 二是 IRI 测量车速一般较高. 本实验利用自行车对道路平整度进行测量, 骑行速度相对汽车更低, 因而需要对传统的分级方式进行修正^[18].



图5 历史采集数据列表

Fig. 5 The list of historical collected data

表1显示了针对上述两个问题已有的一些分级方法。

表1所示的3种分级方法,都是根据实际测量情况对传统分级方法的修改。结合本文实验,骑行用户在测量过程中由于缺少减震装置,车身对于不平整度道路的反馈较大,测量也更为精细,因而借用“Lao Road Management System”的分级方式,将道路根据国际平整度指数分为5个等级。

2.2.3 道路平整度图例

本文利用专题图制作的相关知识和规范对道路平整度图例进行了设计,如图7所示。“Excellent”级别的堆积路段用绿色表示,“Bad”用红色表示,色调由冷到暖。其中,IRI值越小(道路越平整)越偏向绿色,反之越偏向红色,中间使用黄色进行过度^[14]。这样选择的原因是绿色带给人舒适的感觉,而红色使人紧张^[19]。这与人们查看路况时的心情相吻合,平坦的道路使人舒心,而颠簸的道路易让人产生负面情绪。

除了对分为5级的IRI进行了表示以外,还以小黑点的形式表示了坑洞的位置。每个分级的颜色设置为:Excellent (R:0, G:153, B:68), Good (R:188, G:201, B:101), Fair (R:255, G:255, B:0), Poor (R:249, G:183, B:0), Bad (R:255, G:0, B:0), Pothole (R:0, G:0, B:0)。之所以用黑色圆点作为图例,一方面考虑到黑色较醒目,另一方面也是以象形的手法表现了道路上的异常坑洞和破损^[20]。

3 APP的实现与测试

3.1 开发环境搭建

本研究所需设备为一台装有MacOS X系统的Mac电脑、一台移动设备iPhone/iPad/iPod。本文开发的具体环境如表2所示。

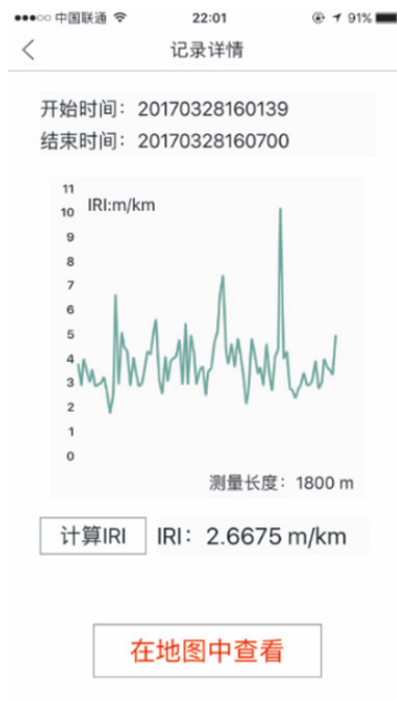


图6 采集数据详细信息

Fig. 6 Details of collected data

表1 基于IRI的道路分级方法表

Table 1 IRI-based road classification method

指标	IRI 范围/(m/km)		
	Lao Road Management System	Douangphachanh (2013)	Cruz (2015)
Excellent	0~2	—	—
Good	2~4	0~4	0~3
Fair	4~7	4~7	3~5
Poor	7~10	7~10	5~7
Bad	>10	>10	>7

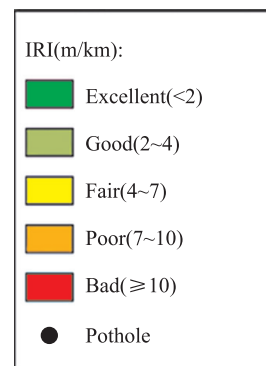


图7 道路平整度分级图例

Fig. 7 The grading legend of road smoothness

iOS 开发环境最主要的开发工具是 Xcode^[21]. Xcode 是苹果公司 2003 年开发的一款集成开发工具,主要用于 OS X 和 iOS 应用程序的开发. 在 Xcode 中开发者可以进行用户界面设计、编码、编译、调试等一系列操作,还可以使用不同机型的模拟器进行测试.

3.2 高德地图 SDK 及其他第三方框架使用

GetRoadSR 在开发过程中使用了许多第三方框架.

3.2.1 高德地图

高德地图开放平台提供了多个平台的地图开发服务,开发者可根据自身需求进行选择. GetRoadSR 用到的 iOS 平台开发包为 AMapFoundationKit、MAMapKit 和 AMapLocationKit,对应提供了基础框架、地图服务和位置服务功能.

GetRoadSR 在开发过程中需要的功能主要是连续定位和道路平整度数据的地图可视化. 连续定位时,使用了 AMapLocationKit 框架中 AMapLocationManager 类提供的定位起止、解析等方法. 道路平整度数据地图可视化时,使用了 MAMapKit 框架中 MAMapView 类提供的点、线绘制等方法. AMapFoundationKit 则提供了基本的数据类型和 UI 绘制.

iOS 平台使用高德地图 SDK 的具体过程是:首先注册高德开发者,然后创建应用(引入所需的 SDK),最后获取 API Key^[22].

3.2.2 TMCache

TMCache 提供了快速的无死锁对象并行缓存服务,且支持 iOS 和 OS X 系统. GetRoadSR 在道路平整度数据采集和管理过程中使用 TMCache. 需要说明的是,APP 在开发过程中对所有的采集数据都进行了永久存储,随着采集量的增加可能会造成硬盘容量不足等问题,需手动删除或导出.

3.2.3 Cocoa Pods

Cocoa Pods 是使用 Ruby 开发,并在 Github 上进行开源的第三方框架管理工具. GetRoadSR 在开发过程中使用 Cocoa Pods 对第三方框架进行综合管理,其特点在于可通过“Podfile”文件配置第三方框架的版本,并使用终端进行更新、删除等操作.

3.3 应用实现

在原型系统开发完成后,进行实地测量检测 APP 的可行性. 在正式实验之前,准备了如下的实验器材:自行车、装有 GetRoadSR APP 的 iPhone 6 以及手机固定支架. 具体的安装效果如图 8 所示.

完整的测量及 APP 操作流程为:点击“开始”测量——测量人员骑行待测路段——点击“结束”测量——保存记录——切换到历史记录页查看所有记录——选择待分析记录——查看记录详情——对记录对应的道路平整度数据进行地图可视化. 考虑到手机处理能力的局限性,测量人员基本保持 15 km/h 的速度正常骑行,单次测量时间不超过 15 min.

实验 1 选取南京师范大学仙林校区敬文图书馆至行远楼的路段(如图 9 所示),该线路全程都在校园内部,是政府部门道路信息采集车很难涉及的路段,全长约 1.8 km. 按本文的测量流程和方法对案例线路测量完成后,查看记录详情,得到如图 10 所示的分析结果图. 从图 10 可以看出,有多段道路被评为“Excellent”,其余路段也都达到“Good”的标准,主要是因为校园中机动车通行量较少,对道路的使用和磨损程度较低. 有一小段“Fair”线路位于南师大大地科院室外停车场入口处,可能是由于车辆进出较频繁对路面损坏较大所致.

表 2 GetRoadSR 开发环境

Table 2 The development environment of GetRoadSR

名称	类型
开发设备	MacBook Pro(Retina, 13-inch, Mid 2014)
开发环境	Operating System: MacOS Sierra Version 10.12.2 Processor: 2.6 GHz Intel Core i5 Memory: 16 GB 1600 MHz DDR3
开发工具	Xcode 8.2
模拟器	Simulator 10.0
测试设备	iPhone 6 16G 中国大陆版
运行系统	iOS 10.2



图 8 实验器材安装示意图
Fig. 8 The installation diagram of smartphone on bicycle



图 9 南师大校内实验路段
Fig. 9 Experimental section in Nanjing Normal University (Xianlin Campus)

3.4 道路平整度计算原型系统准确性分析

为对本文提出的道路平整度计算原型系统准确性进行分析,实验 2 与南京市公路管理处公路科学研究所合作,选取了南京市板桥地区部分道路,分别使用车载“数字式激光路面断面测试系统”(激光平整度采集车)以及本文提出的方法对道路平整度信息进行采集分析,进而验证本文提出的道路平整度计算原型系统的准确性. 具体的采集线路如图 11 所示.

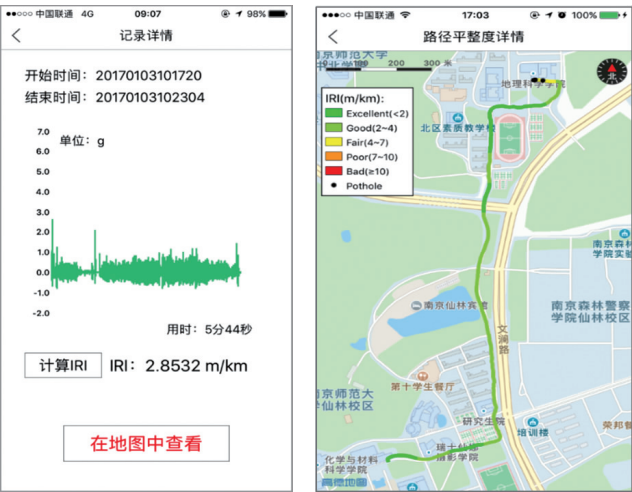


图 10 实验线路道路平整度可视化效果展示图
Fig. 10 Visualization of road roughness on experimental sections

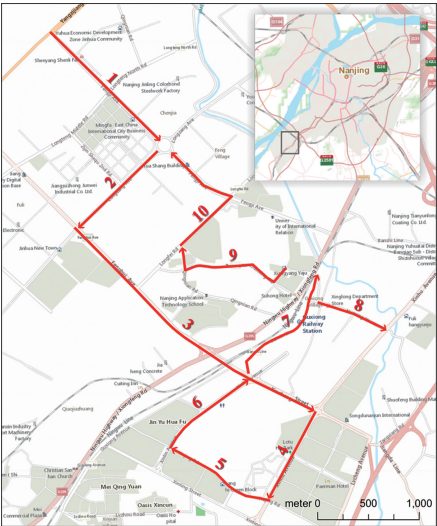


图 11 道路平整度测量对比实验路线图
Fig. 11 The experimental sections of road roughness measurement

实验 2 共选取了 10 段线路进行测量. 其中 3 号线路在激光平整度采集车采集时正值洒水车洒水,由于洒水路面会严重影响测量结果,因而本段测量结果弃用. 具体道路测量信息及两种方法测量结果对比如表 3 所示.

表 3 道路平整度测量对比实验情况汇总表
Table 3 The results of road roughness measurement experiment

序号	路程/m	道路名称	道路等级	道路材质	车载激光测量 IRI/(m/km)	自行车载手机测量 IRI/(m/km)
1	1 380	凤集大道	一级公路	沥青	6.011 754	4.437 55
2	980	龙藏大道	一级公路	沥青	2.119 694	2.473 35
4	860	新湖大道	一级公路	沥青	2.570 674	2.257 95
5	960	湖景路	二级公路	沥青	2.567 688	2.254 25
6	880	新林大道	一级公路	沥青	2.692 273	2.006 35
7	1 240	雄风路	三级公路	水泥	7.051 194	8.956 2
8	660	新亭大街	二级公路	沥青	3.897 091	3.070 75
9	1 280	广场路-振兴路-雄风路	三级公路	沥青	5.184 875	5.422 3
10	1 280	龙飞路-凤集大道	一级公路	沥青	3.455 092	3.919 2

绘制车载激光测量及自行车载手机测量 IRI 结果柱状对比图如图 12 所示.

从图 12 可以看出,两种方法所测得的国际平整度指数较为接近. 进一步将两组数据输入 SPSS 进行相关性分析,得出 Pearson 相关性为 0.905,显著性(双侧)为 0.01,即两组数据显著相关. 这也表明本文所提出的道路平整度采集方法和计算模型具有较高的准确性.

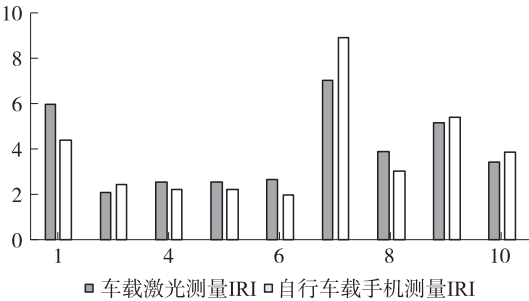


图 12 车载激光与自行车载手机测量 IRI 值柱状对比图
Fig. 12 IRI comparison between vehicle-mounted laser sensor and bicycle-mounted smartphone sensor

4 结语

本文提出了基于自行车和手机传感器的道路平整度测量方法,设计开发了基于 iOS 平台的道路平整度测量“GetRoadSR”APP. 该 APP 实现了手机传感器数据采集、数据管理、IRI 计算分析以及道路平整度分级可视化等功能. 该方法丰富了道路平整度测量手段,可测量车载设备无法达到的路段,扩大了道路平整度可获取区域范围,同时将获取的道路平整度数据在移动设备上上进行可视化表达,便于用户直观理解和查阅,使得民众在实际生活中也可进行道路平整度采集,为开源地理数据库提供了一种新的数据来源方式.

由于 IRI 是在采集后统一计算,受限于手机计算能力,目前单次测量时间不能超过 15 min. 同时,因手机存储能力有限,iOS 系统对 APP 的权限控制导致采集的记录只能作为缓存文件,易被系统自动清理. 今后的研究中还需进一步完善 APP 功能,搭建服务器,提供上传、数据管理、轨迹与路网匹配等功能.

[参考文献] (References)

- [1] 陈洪兴,何兆益. 基于国际平整度指数 IRI 的路面不平度仿真研究[J]. 公路,2008(11):155-160.
CHEN H X, HE Z Y. A study on simulation of road roughness based on international roughness index[J]. Highway, 2008(11): 155-160. (in Chinese)
- [2] 李套岭,孙立军,陆辉. 对路面平整度概念的粗浅理解[J]. 上海公路,2001(增刊1):57-60.
LI T L, SUN L J, LU H. A rough understanding of the concept of road roughness[J]. Shanghai highways, 2001(Suppl. 1): 57-60. (in Chinese)
- [3] 李德仁,陈小明. 车载 GPS 道路信息采集和更新系统研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2000, 25(2): 95-99.
LI D R, CHEN X M. Study on car-borne GPS road information collecting and update system[J]. Geomatics and information science of Wuhan university, 2000, 25(2): 95-99. (in Chinese)
- [4] 邓力凡,谢永红,黄鼎曦. 基于骑行时空数据的共享单车设施规划研究[J]. 规划师, 2017, 33(10): 82-88.
DENG L F, XIE Y H, HUANG D X. Bicycle-sharing facility planning based on riding spatio-temporal data[J]. Planners, 2017, 33(10): 82-88. (in Chinese)
- [5] 李乔乔. 我国共享单车的发展现状、困境与对策研究[J]. 科技经济市场, 2017(9): 185-186.
LI Q Q. The current situation, problems and countermeasures of the development of shared bicycles in China[J]. Science & technology economy market, 2017(9): 185-186. (in Chinese)
- [6] 蔡海杰,刘卓,崔忠伟,等. “智慧校园行”手机 APP 开发及推广[J]. 电脑知识与技术, 2015, 11(30): 8-9.
CAI H J, LIU Z, CUI Z W, et al. "Smart Campus" mobile phone APP development and promotion[J]. Computer knowledge and technology, 2015, 11(30): 8-9. (in Chinese)
- [7] TAI Y, CHAN C, HSU J Y. Automatic road anomaly detection using smart mobile device[C]//Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence. Hsinchu, China, 2010.
- [8] ZHAO B, NAGAYAMA T, MAKIHATA N, et al. Iri estimation by the frequency domain analysis of vehicle dynamic responses and its large-scale application[C]//Adjunct Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing Networking and Services. Hiroshima, Japan; ACM, 2016.
- [9] STRAZDINS G, MEDNIS A, KANONIRS G, et al. Towards vehicular sensor networks with Android smartphones for road surface monitoring[C]//Second International Workshop on Networks of Cooperating Objects. Chicago, USA, 2011.
- [10] MEDNIS A, STRAZDINS G, ZVIEDRIS R, et al. Real time pothole detection using Android smartphones with accelerometers[C]//2011 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS). Barcelona, Spain; IEEE, 2011.
- [11] MOHAN P, PADMANABHAN V N, RAMJEE R. Nericell: rich monitoring of road and traffic conditions using mobile smartphones[C]//ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems. New York, USA; ACM, 2008.
- [12] MOHAMMED J U, AQUIL M M, FAHEEM M I. Pavement performance measures using android-based smart phone application[J]. International J of Eng Research and Indu Appls, 2015, 8(3): 65-79.
- [13] MAHAJAN D V. Estimation of road roughness condition by using sensors in smartphones[J]. International journal of computer engineering and technology, 2015, 6(7): 41-49.

- [14] CRUZ J F, CASTRO J T. Estimating road roughness conditions using ubiquitous smartphones and geographic information systems and its application to road network planning in the Philippines[C]//Proceedings of the 11th International Conference of the Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS 2015). Cebu City, Philippines: University of the Philippines, 2015.
- [15] ZANG K Y, SHEN J, HUANG H S, et al. Assessing and mapping of road surface roughness based on GPS and accelerometer sensors on bicycle-mounted smartphones[J]. Sensors, 2018, 18(3): 914.
- [16] 廖小韵. 专题地图表示方法的研究[J]. 测绘通报, 2005(12): 52-55.
LIAO X Y. Description of research on thematic map[J]. Bulletin of surveying and mapping, 2005(12): 52-55. (in Chinese)
- [17] 蔚晓丹. 国际平整度指数 IRI 作为路面平整度评价指标的研究[J]. 公路交通科技, 1999(增刊 1): 10-13.
WEI X D. Research on the International roughness index (IRI) as the pavement roughness index[J]. Journal of highway and transportation research and development, 1999(Suppl. 1): 10-13. (in Chinese)
- [18] YU J, CHOU E, YAU J T. Development of speed-related ride quality thresholds using international roughness index[J]. Transportation research record, 2006, 1974(1): 47-53.
- [19] 薛立新, 周海东. 地图制图中地图符号的色彩设计[J]. 印刷杂志, 2005(2): 52-53.
XUE L X, ZHOU H D. Color design of map symbols in map drawing[J]. Printing field, 2005(2): 52-53. (in Chinese)
- [20] 叶温良. 浅谈地图符号及其色彩应用[J]. 福建地质, 2010, 29(4): 381-383.
YE W L. On the application of the map symbols and coloring[J]. Geology of Fujian, 2010, 29(4): 381-383. (in Chinese)
- [21] 宿营. 浅析 iOS 应用开发[J]. 计算机光盘软件与应用, 2014, 17(10): 284-285.
SU Y. Analysis of iOS application development[J]. Computer CD software and applications, 2014, 17(10): 284-285. (in Chinese)
- [22] 龙际梦, 刘宏建, 蔡中祥, 等. 主流网络地图应用开发 API 技术研究[J]. 北京测绘, 2015(3): 79-82.
LONG J M, LIU H J, CAI Z X, et al. Analysis of mainstream WebMap API[J]. Beijing surveying and mapping, 2015(3): 79-82. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]