

基于智能手机的路面平整度评价方法研究

王惠勇^{1,2}, 张鹏^{1,2}

(1. 苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 210000; 2. 新型道路材料国家工程实验室, 江苏 南京 210000)

摘要: 以智能手机加速度信号为数据基础, 从自主采集抗干扰能力和系统鲁棒性设计出发开发了手机加速度采集软件; 利用数据校准、去噪、平滑等方法对加速度信号进行预处理, 基于 BP 神经网络建立了加速度信号与路面平整度的关系模型, 结果显示虽然 BP 神经网络模型的预测结果有一定的跳跃性, 但体现出一定的预测精度, 平均预测误差为 9.75%, 能较准确地反映加速度数值与国际平整度指数 IRI 的关系, 可用于路面平整度评价。

关键词: 工程管理; 公路; 路面平整度; 智能手机; 加速度传感器; 国际平整度指数 IRI

中图分类号: U415.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)05-0188-04

随着道路运营时间的增加, 沥青路面的使用性能日益衰减, 严重影响车辆的行驶速度、行驶安全性及舒适性。为了保证路面的行驶性能, 道路管理者需及时、准确地掌握道路状况。目前采用日常巡检与定期检测相结合的方法获取道路状况, 需消耗大量人力、物力, 而且并不能保证道路状况获取的时效性。毋庸置疑, 车辆驾乘人员是道路状况信息的第一时间获得者, 也是道路状况最重要的受体。截至 2015 年底, 全国汽车保有量达 1.72 亿辆, 汽车驾驶人员超过 2.8 亿人, 东南沿海省份 2015 年高速公路日均出口交通流量逼近 100 万辆次, 数量庞大的车辆驾乘者可作为获取道路状况大数据的重要工具。

目前, 智能手机已逐渐成为广泛使用的必备品, 其不仅具备通信功能, 而且是一种同时具有很强的外界感知能力和数学计算能力的智能终端。智能手机配备的三轴加速度传感器、陀螺仪及重力传感器等可有效反馈车辆行驶过程中的运动状态。手机的便携性特征决定了其与车辆运动状态的协调一致性, 也为其记录车辆运动状态提供了前提。该文以智能手机加速度信号为数据基础, 利用校准、去噪、平滑等方法对加速度信号进行预处理, 基于 BP 神经网络建立加速度信号与路面平整度关系模型对路面平整度进行评价。

1 软件开发及研究方法

1.1 智能手机传感器

基于 Android 系统开发手机加速度采集系统。Android 是一款基于 Linux2.6 内核的嵌入式操作系统, 其源代码是开放式的, 由操作系统、中间件、用

户界面及应用软件 4 个模块构成, 在触屏智能手机和平板电脑等设备中应用广泛。

Android 传感器采用标准三维坐标系, 用以表示空间三轴原始数据。标准三维坐标系是以手机静止时的主屏屏幕为参照物设定的, 手机水平静止放置时 X 轴表示从左至右的水平方向, Y 轴表示从下至上的垂直于 X 轴的方向, Z 轴表示相对于屏幕表面由内而外、垂直于 XY 平面的方向, 即手机背面数值为负。Android 标准坐标系见图 1。

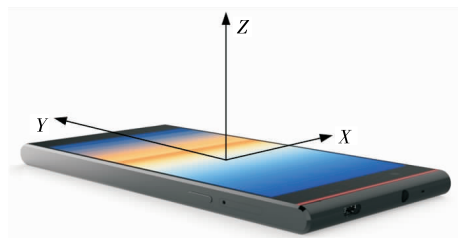


图 1 Android 智能手机三维坐标系

Android 开发文档中, 按照宽泛类别划分, 感应型传感器一般分为: 1) 运动传感器。测量三轴方向上的加速度和扭矩等, 如较常见的加速度传感器、重力传感器、陀螺仪传感器及旋转矢量传感器。2) 环境传感器。用于测量外界环境参数, 如温度传感器、光感应器和湿度传感器等。3) 位置传感器。测量设备所处的物理位置, 常见的有方向传感器与磁感应器。对于物理载体行为的识别主要利用加速度传感器、陀螺仪、磁感应器等。

1.2 手机加速度行为识别方法

1.2.1 加速度传感器信号采集

智能手机用加速度行为识别技术, 一般采集手

机的加速度传感器数据,因为加速度数据可很好地表示物体的运动行为特征。目前基于 Android 平台开发的智能手机都配备了加速度传感器,同时 Android 平台的开放性特性为实现 Android 手机加速度数据的采集整理奠定了基础。因此,可利用加速度传感器采集车辆运动数据,利用陀螺仪确定手机方位。加速度传感器数据用于对车辆运动行为分析和分类,陀螺仪的引入是为了确定手机方位,消除手机方位变化对加速度传感器数据的影响。在手机中编入手机加速度数据读取程序,记录车辆运动行为的加速度数据,之后发送到后台进行分析。

1.2.2 加速度数据校准

手机提供的加速度传感器数据是数字离散采样信号,数值分 X、Y、Z 3 个轴。自动控制领域提出通过陀螺仪与加速度传感器协同校准物体运行行为的方法虽然具备一定的精度,但需要另外设定增益参数,并不适合以智能手机为载体的离散型数据的处理。因此,利用加速度传感器与磁感应器对加速度数据进行协同校准。

利用三轴加速度数据与磁感应数据计算旋转矩阵 R ,将智能手机标准坐标系转换到世界坐标系(WCS)中。在 Android 开发文档中,WCS 为标准正交基,其坐标描述为:Y 轴与设备当前位置的地面相切,并指向正北方向;Z 轴指向天空并垂直于地面;X 轴垂直于 YZ 平面且指向正东方向。通过 R 能将 Y 轴正方向校准至地磁场的正北方位。但在车辆行驶过程中,WCS 坐标系中的 X、Y 轴方向与汽车的横纵向加速度并非线性相关。因此,在坐标转换过程中需重新绕 Z 轴旋转至初始方位角,旋转矩阵应满足:

$$R = R \times Rot(z, \theta)^{-1} \quad (1)$$

设智能手机某时刻采集的三轴加速度为 $g_{dv}(x, y, z)$,通过旋转矩阵 R 转换到 WCS 的三轴加速度为 $g_{gv}(x', y', z')$,则校准公式如下:

$$g_{gv}(x', y', z') = g_{dv}(x, y, z)R \quad (2)$$

1.2.3 加速度数据平滑去噪

车辆实际驾驶过程中由于路况差异会产生随机噪声,且其强度和发生频率难以确定,会因道路状况与行驶速度的不同而有所差异。车体自身的行驶振动产生的低频噪声会对智能手机采集的加速度数据产生干扰,即使车辆静止时采集的加速度信号也会出现波动(见图 2)。

采用滑动平均滤波法对手机加速度数据进行处

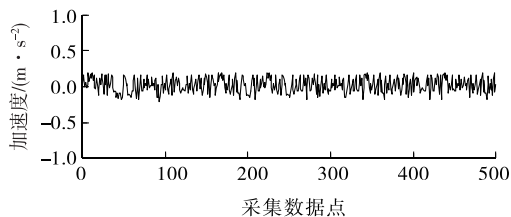


图 2 车辆静止时加速度信号的波动

理。该方法能有效过滤随机噪声数据,还可保持数据阶跃响应的特征,是处理时域信号的首选。相较于传统滤波方法,滑动平均滤波法对加速度波动数据信号的处理效果更理想。

滑动平均滤波法可通过递归算法实现。对式(3)所示时间域序列进行滑动平均处理,对于数据链端点数据按式(4)进行处理,对数据链中间各点数据按式(5)进行处理。经滑动平均滤波处理后的加速度数据见图 3。

$$x^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)] \quad (3)$$

$$\begin{cases} x'^{(0)}(1) = \frac{3x^{(0)}(1) + x^{(0)}(2)}{4} \\ x'^{(0)}(n) = \frac{x^{(0)}(n-1) + 3x^{(0)}(n)}{4} \end{cases} \quad (4)$$

$$x'^{(0)}(t) = \frac{x^{(0)}(t-1) + 2x^{(0)}(t) + x^{(0)}(t+1)}{4} \quad (5)$$

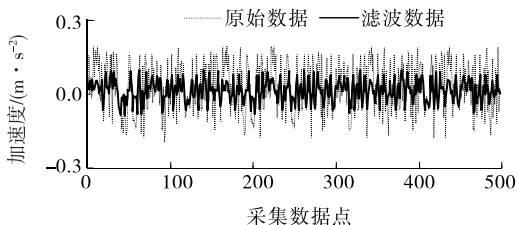


图 3 滑动平均滤波处理后的加速度数据

1.3 智能手机端数据处理流程

在程序测试过程中,为了有效利用加速度传感器并实现即时发送数据,智能手机程序开始时先加载使用传感器的类库包及发送数据的类库包。首先定义 APP 界面,然后执行监听程序。智能手机端数据处理程序见图 4。

主要执行程序分为控制模块、数据发送模块和传感器监听模块。程序开始时定义基本功能,即数据采集、停止发送和退出,以供测试时手动进行数据采集操作。控制模块主要监听采集人员的选择,并对其他两个模块进行调用,负责响应发送/停止数据及退出程序命令。传感器监听模块负责对加速度传

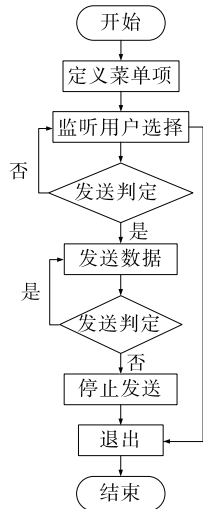


图4 智能手机端数据处理流程

传感器及其他配合传感器进行监听,并将加速度数值进行矩阵转化。数据发送模块主要负责将加速度数据发送至后台服务器。

1.4 BP神经网络计算原理

利用BP神经网络建立加速度与平整度关系模型。BP神经网络是一种单向传播的多层前馈算法,通过传递函数建立输入数据和输出数据之间的内在关系,实现从数据输入到输出的任意非线性映射。设模型输入节点的输入为 x_j ,则模型的输出为:

$$y_i = f(\sum_j \omega_{ij} x_j - \theta_i) \quad (6)$$

式中: ω_{ij} 为连接权值; θ_i 为节点阈值。

BP神经网络模型输出节点的输出为:

$$O_l = f(\sum_i T_{li} y_i - \theta_l) \quad (7)$$

式中: T_{li} 为连接权值; θ_l 为节点阈值。

若输出节点的期望输出为 t_l ,则其中一个样本的误差为:

$$e_k = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^n (t_l^{(k)} - O_l^{(k)})^2 \quad (8)$$

所有样本误差为:

$$E = \sum_{k=1}^p e_k < \epsilon \quad (9)$$

式中: n 为输出节点数; p 为样本数。

误差公式用下式表示:

$$\delta_l = (t_l - O_l) \cdot O_l \cdot (1 - O_l) \quad (10)$$

权值修正公式为:

$$T_{li}(k+1) = T_{li}(k) + \eta \delta_l y_i \quad (11)$$

式中: k 为迭代次数。

阈值修正公式为:

$$\theta_l(k+1) = \theta_l(k) + \eta' \delta_l' \quad (12)$$

隐层节点误差公式为:

$$\delta_i' = y_i(1 - y_i) \sum_l \delta_l T_{li} \quad (13)$$

权值修正公式为:

$$\omega_{ij}(k+1) = \omega_{ij}(k) + \eta' \delta_i' x_j \quad (14)$$

阈值修正公式为:

$$\theta_i(k+1) = \theta_i(k) + \eta' \delta_i' \quad (15)$$

2 模型建立及结果分析

2.1 BP神经网络模型的建立

以加速度值为自变量、国际平整度指数 IRI 为因变量,利用下式对两者进行归一化处理:

$$X = (\lambda_{\max} - \lambda_{\min}) \times (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) + \lambda_{\min} \quad (16)$$

式中: X 为归一化后的数据; x 为原始数据; λ_{\max} 与 λ_{\min} 为映射的范围参数,这里设 $\lambda_{\max} = 1$ 、 $\lambda_{\min} = -1$ 。

选用3层神经网络,样本数据输入向量为加速度数据和测试车速,输出向量为 IRI ,即输入层节点数的维数为2,输出层节点数的维数为1。隐层节点数通过试算确定,通过多次试算,确定隐层节点数为5。采用动量BP算法训练加速度样本数据,学习误差小于0.001或训练次数达到10 000次时停止。BP神经网络模型结构见图5。

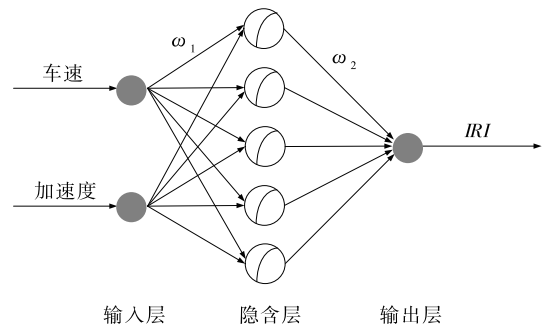


图5 神经网络模型的结构

2.2 计算结果分析

利用BP神经网络模型对 IRI 进行计算预测,并计算模型的均方误差,结果见图6。

由图6可知:BP神经网络模型均方误差的最大值为0.60,最小值仅为0.01,平均值为0.32。BP神经网络能兼顾全部数据,具有较高的拟合精度,避免了过拟合与欠拟合现象的发生,能较好地反映加速度与 IRI 的关系。

将 IRI 实测数据与BP神经网络模型预测结果进行对比,分析其预测误差,结果见图7、图8。

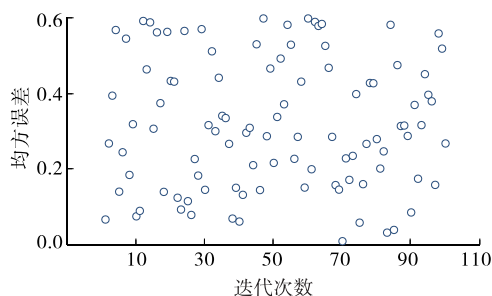


图 6 BP 神经网络预测模型的均方误差

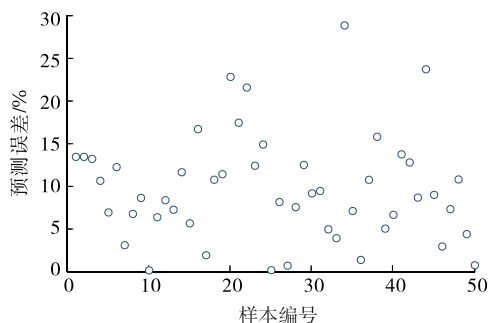


图 7 BP 神经网络模型的预测误差分布

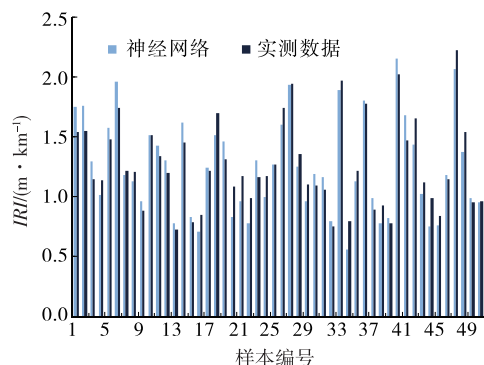


图 8 BP 神经网络模型预测结果对比

与实测数据相比,BP 神经网络模型预测值的最大误差为28.98%,最小误差为0.18%,平均误差为

9.75%,预测数据存在一定的波动。但通过在计算过程中对隐含层节点数进行不断调整,在多个点的预测误差都较小,且稳定性较好,说明 BP 神经网络模型能较有效地解决道路状况的大样本、非线性问题,且具有较强的推广能力。

3 结语

该文通过对 Android 操作系统及传感器的深入开发,明确各传感器协同工作机理,实现了 Android 系统加速度传感器对车辆行驶加速度信号的采集;通过噪声数据的提取、去除,并利用滑动平均算法对检测数据进行处理,去除和削弱异常点的奇异性,建立了异常点与其他检测数据的数学关系,解决了检测数据的不一致问题;利用 BP 神经网络方法建立不同检测速度下加速度与国际平整度指数 IRI 的回归预测模型,并根据不同适用情况对模型进行了优化。应用结果表明该模型预测精度较高,稳定性较好,能较准确地反映加速度与 IRI 的关系。

参考文献:

- [1] 宋雅清.基于 Android 传感器的驾驶事件识别关键技术研究[D].青岛:中国海洋大学,2014.
- [2] 程永春,张鹏,王叶丹,等.沥青混合料水-温-光损伤超声波评价及预测方法[J].长安大学学报:自然科学版,2014,34(6).
- [3] 刘莎.基于智能手机的上下公交车行为识别研究与实现[D].武汉:武汉理工大学,2013.
- [4] 孙博,张东东,魏明.基于灰关联分析的路面养护方案评价方法[J].公路与汽运,2016(1).

收稿日期:2017-02-06

(上接第 149 页)

(2) 对于跨径大的桥梁,合龙段应力及挠度受温差变化影响较大,需采取有效措施降低梁体温度,也可通过增加预应力抵消温差变化带来的应力效应,同时考虑温度对预拱度的影响。

(3) 应在温差变化较小的早晨测量标高。

(4) 在桥梁监控中应加强温度、砼收缩徐变等参数的监控,减小环境参数对桥梁的不利影响。

参考文献:

- [1] 汪顺平,宁英杰.某大跨变截面连续箱梁桥施工工艺变更对比分析[J].青海交通科技,2016(3).

- [2] 郑浩楠,杨帅,朱曼.连续钢箱梁桥大节段吊装关键问题分析[J].交通科学与工程,2015,31(2).
- [3] 牟红云.大跨度连续梁桥合拢段施工技术[J].国防交通工程与技术,2015(增刊1).
- [4] 洗尚钧.钢箱连续梁桥制造线形关键技术研究[J].科学技术与工程,2013,13(28).
- [5] 刘志峰,陈小勇.大跨连续刚构宽幅梁桥施工技术特性分析[J].现代交通技术,2011,8(1).
- [6] 孔阳,古兰玉.金清港特大桥主桥连续梁线形监控施工技术[J].国防交通工程与技术,2014(增刊).

收稿日期:2017-04-06