

基于车载激光扫描系统的道路平整度研究

胡涌泉

安徽理工大学, 安徽 淮南

收稿日期: 2022年9月11日; 录用日期: 2022年10月11日; 发布日期: 2022年10月18日

摘要

传统测量公路路面平整度的方法是三米直尺法, 但此方法测量效率低、误差大、受人为干扰因素大, 越来越不能够满足现代社会对于公路质量检测 and 公路养护的需求。随着激光雷达的快速发展, 非接触式检测采集路面、建筑等目标物体的表面信息的仪器也成为了当前社会研究的热点, 车载激光雷达扫描系统基于其非接触性、高效率、高精度、的特点, 成为了快速测量路面平整度的新方法。

关键词

车载激光扫描系统, 点云处理, 国际平整度IRI, 道路评价

Research on Road Roughness Based on Vehicle Laser Scanning System

Yongquan Hu

Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: Sep. 11th, 2022; accepted: Oct. 11th, 2022; published: Oct. 18th, 2022

Abstract

The traditional method of measuring road surface roughness is the three-meter ruler method, but this method has low measurement efficiency, large error and large human interference factors, which is increasingly unable to meet the needs of modern society for road quality inspection and road maintenance. With the rapid development of laser radar, the instrument of non-contact detection and acquisition of surface information of target objects such as pavement and building has become a hot topic in current social research. Based on its non-contact, high efficiency, high precision and other characteristics, the vehicle-borne laser radar scanning system has become a new method for rapid measurement of pavement flatness.

Keywords

Vehicle-Mounted Laser Scanning System, Point Cloud Processing, International Flatness IRI, Road Evaluation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着国内公路工程的快速发展,由此引发的公路安全质量检测等问题也急剧增多,当下并没有系统、高效的方法短时间进行大规模的测量方法,随着激光雷达和无人驾驶技术的快速发展,使得车载激光雷达扫描系统成为了当下研究热点,许多科技工作者将车载激光雷达扫描系统运用到自动驾驶和大规模高速公路项目检测中,但是很少将其应用到道路平整度检测中去,本文采用车载激光雷达扫描技术获取道路点云,通过八叉树采样算法、高斯滤波算法分别对点云进行滤波处理和分类[1] [2] [3],最后对处理后道路点云划分区块分别计算每个小区块的平整度,与《公路技术状况评定标准》中的规范要求做对比,验证本次实验方法是否具有合理性。

2. 车载激光扫描系统

车载移动测量系统具有比地面站三维激光采集速度高效、数据处理简单等优点,自身具有多传感器、主动式采集数据系统,采集精度高。本文采用的 Leica Pegasus 是一个移动映射系统,徠卡车载激光扫描系统自身具有多传感器、主动式采集、采集精度高、效率快等特点,主要由中央控制系统、数据存储系统、数据采集系统、车辆设备这四个部分组成,见图 1 所示为徠卡车载激光扫描系统构件组成。

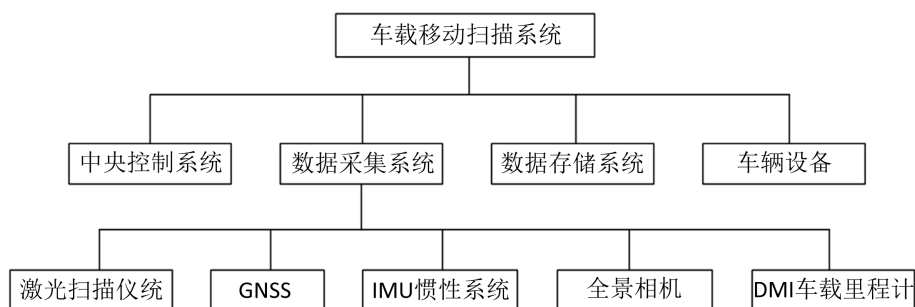


Figure 1. Components of vehicle mounted laser scanning system

图 1. 车载激光扫描系统组成构件

3. 点云获取和处理流程

本论文的技术路线图见图 2 所示。

3.1. 数据采集

本文实例选择金华市某段高速公路,将道路某段点云作为输入数据进行实验,本次实验目的一方面采集高速公路道路信息,另一方面针对其中末端高速公路应用 IRI 来分析道路平整度。在进行外业

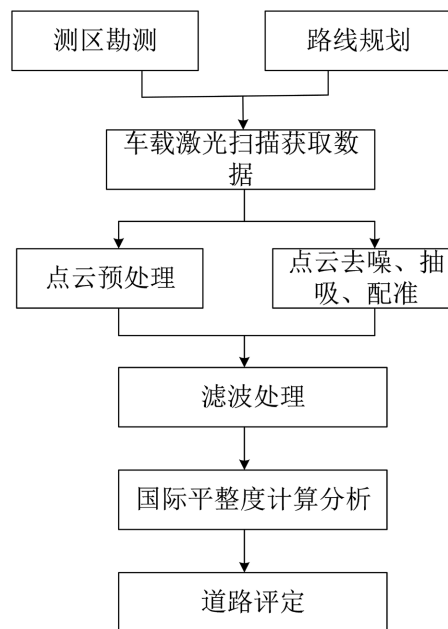


Figure 2. Technology Roadmap
图 2. 技术路线图

采集前一天,对本次需要作业的测区进行 RTK 基站架设点规划,数据采集后,将静态数据转换数据导出,对获取的数据导入车载自带的点云建模软件中,见图 3 所示为本次车载激光路面单站激光点云原始图。

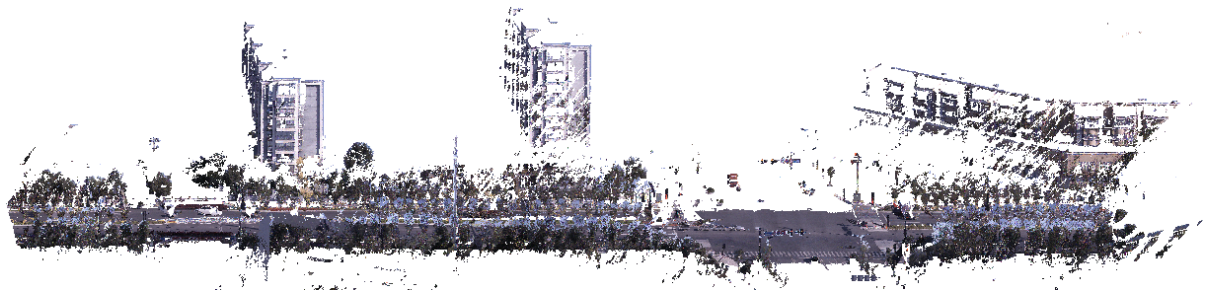


Figure 3. Original image of laser point cloud on pavement
图 3. 路面激光点云原始图

3.2. 高斯滤波

高斯滤波属于线性平滑滤波,被常用来消除噪声,现在被广泛应用于图像减噪处理。高斯噪声的概率密度函数属于高斯分布(正态分布)中的一种,故高斯分布表达式为:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\delta^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\delta^2}}$$

3.3. Terrasolid 分类算法

Terrasolid 分类算法是基于不同点与点之间的相对关系来确定的,空间中每个点都具有三维坐标。见下表 1 为 Terrasolid 里默认的分类。

Table 1. Categories in the Terrasolid classification algorithm

表 1. Terrasolid 分类算法中的类别

层 id	类别	名称	一般用途
0	Class	类	默认层
1	Defaule	默认	默认层
2	Ground	地面	地面点
3	vegetation	植被	植被
6	Building	建造	建筑物
7	Low point	低点	噪点层
8	Model keypoints	模型关键点	模型关键点

3.4. 国际路面平整度指数 IRI

国际平整度指数(IRI)是世界上应用最广泛的一项标准的用来评定道路表面平整度[4] [5]。采用四分之一车在 80 m/km 速度下的值为 IRI 值，国际单位为 m/km。

$$IRI = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n RS_i$$

$$RQI = \frac{100}{1 + a_0 e^{a_1 IRI}}$$

上式中，IRI 为国际路面平整度，单位为 m/km。

3.5. 路面质量评价分析

根据世界银行的技术报告，平整度 IRI 值没有上限，但是 IRI 值不会超过 7.5 m/km，当超过 7.5 m/km 此时对于路面不再细分，表 2 介绍了两种平整度 IRI (m/km)与路面性能之间的关系。

Table 2. Relationship between roughness IRI (M/km) and pavement performance

表 2. 平整度 IRI (m/km)与路面性能关系

世界银行技术报告		密西根大学报告	
IRI	路面状况	IRI	路面状况
0.25~1.75	机场跑道、高速公路	<0.79	非常平整的路面
1.25~3.50	新路面	1.58~1.97	一般路面
2.25~5.75	老旧路面	1.42~2.52	重交通碾压过的路面
3.25~10.00	经常养护的无铺面道路	>2.76	需要维修的路面
4.00~11.00	已有损坏的道路	>3.47	不堪使用的路面
>7.5	不平整的无铺面道路		

4. 工程实例

4.1. 数据处理

为了评价本次实验采集的高速路面的质量，现进行平整度实验分析。本文将由载激光扫描技术获得

的道路点云作为实验数据，再对道路点云进行去噪、拼接、重采样，还需要去除噪声点，简化道路点云，提取道路点云数据分析，处理相应结果见图 4~8。

4.2. 国际平整度 IRI 计算及评价

基于上面处理的道路点云，沿道路横断面向两侧平移至道路边缘处，然后截取道路纵断面线，根据道路平整度的分析，选取道路右侧车道作为目标对象，取距离右侧道路边界线 1 m 处的道路纵断面作为实验纵断面，计算并统计该段路面国际平整度 IRI。经测量，测量路段长约 180 m，宽约 10 m，统计间隔分别设置 10 m、20 m、30 m 长，计算道路的国际平整度 IRI，根据平整度对该段道路做出评价。结果见图 9~11 所示。

根据世界银行第 46 号技术文件，国际平整度 IRI 变化范围表示路面的不同等级，由《公路沥青路面养护技术规范 JTJ073.2-2001》规范中可得出道路表面行驶质量评价与国际平整度 IRI 的关系，见表 3 所示。

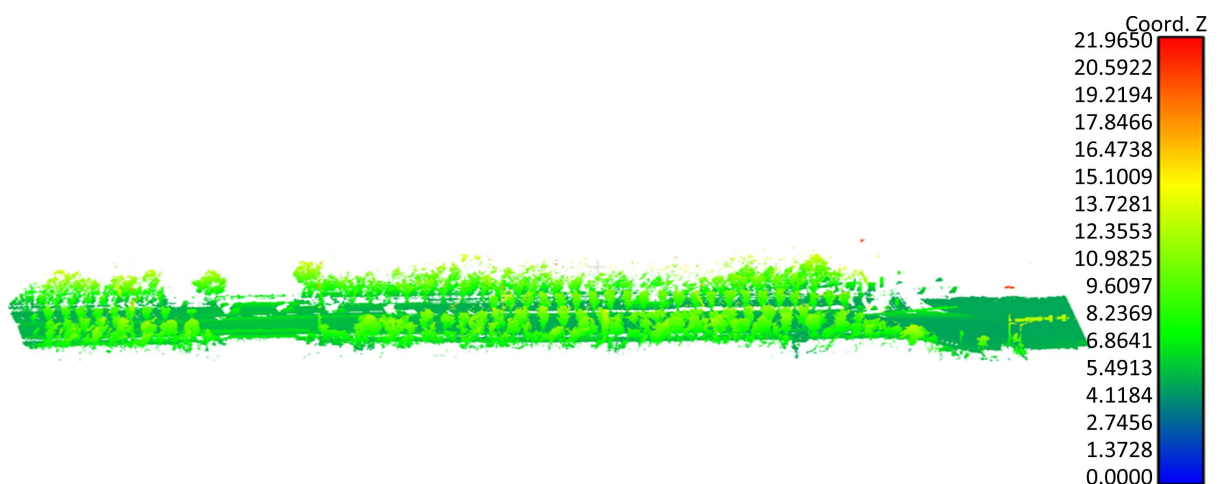


Figure 4. Laser point cloud of pre-treated road surface
图 4. 预处理后的路面激光点云

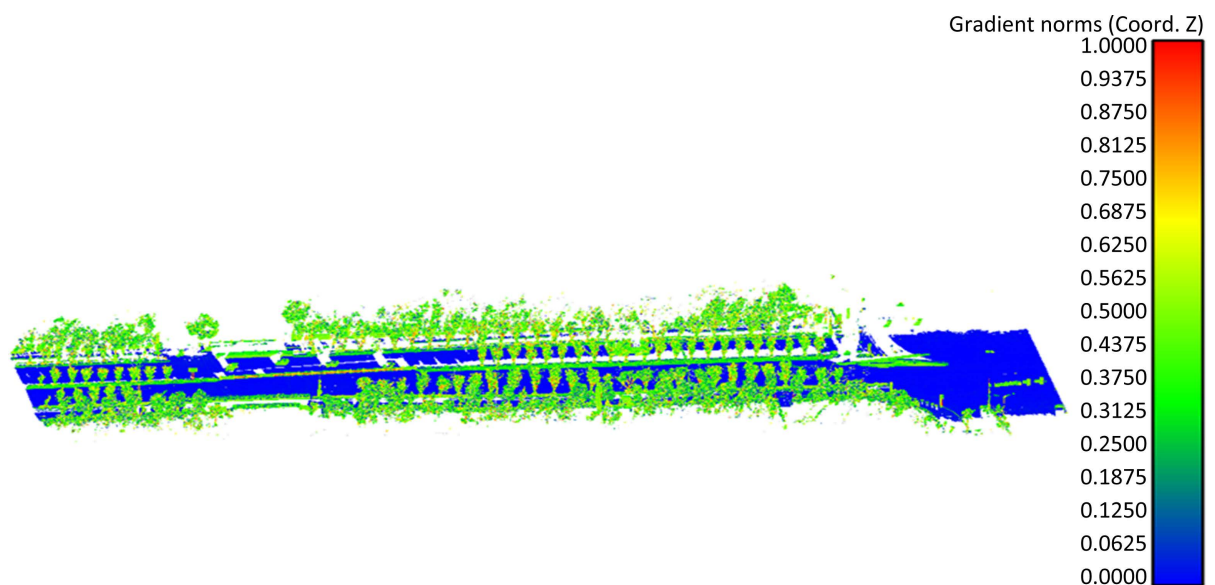


Figure 5. Chromatogram of slope value distribution of laser point cloud on pavement
图 5. 路面激光点云坡度值分布色谱图

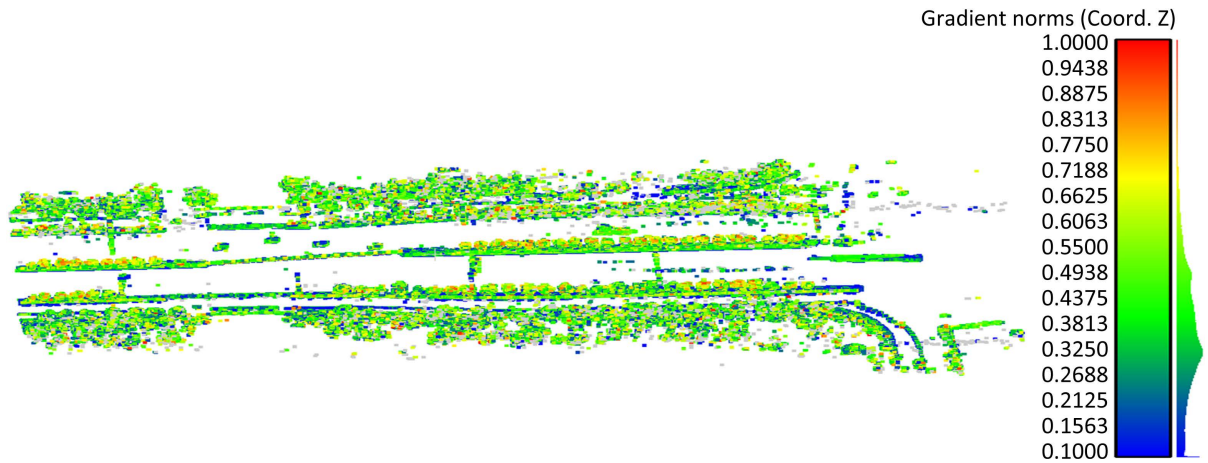


Figure 6. Vehicle-mounted laser non-ground point clouds
图 6. 车载激光非地面点云

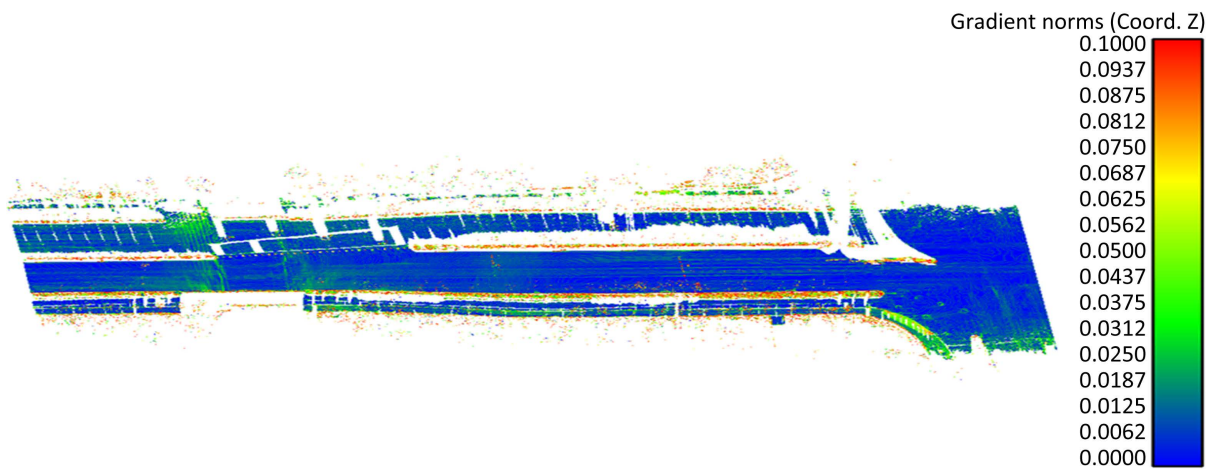


Figure 7. Vehicle-mounted laser ground point cloud
图 7. 载激光地面点云

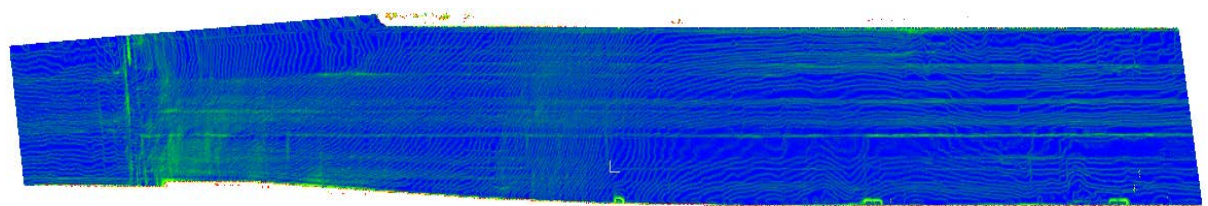


Figure 8. Ground laser point cloud on the experimental road section
图 8. 预处理后实验路段地面激光点云

Table 3. Relationship between pavement evaluation standard and IRI
表 3. 路面评价标准与 IRI 的关系

评价标准	优	良	中	次	差
IRI (m/km)	2~4	4~6	6~8	8~10	10~15.3

由图 9~11 中 IRI 计算结果分析发现, 当没有减速带时, 表示该实验路段路面行驶质量较好, 此时计算结果 IRI 值主要分布在 1.250~5.246 范围内, 此时路面行驶质量优秀和良好; 当遇到减速带时, IRI 值

会发生突变，根据计算 IRI 值均大于 10 以上，表示该实验路段行驶质量较差。根据国家颁发的《公路技术状况评定标准》中的规范要求，此次实验路段路面质量良好，符合本次实验计算结果，表明本次实验方法的合理性。道路 RQI 值计算结果见表 4。

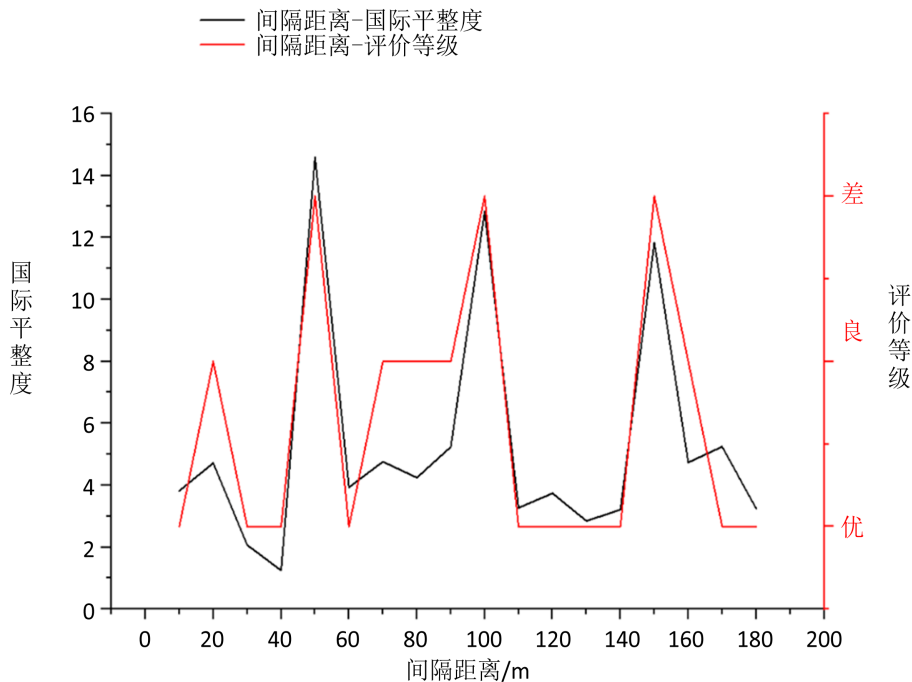


Figure 9. Road roughness IRI and evaluation grade at 10 m interval

图 9. 10 m 间隔下的道路平整度 IRI 和评价等级

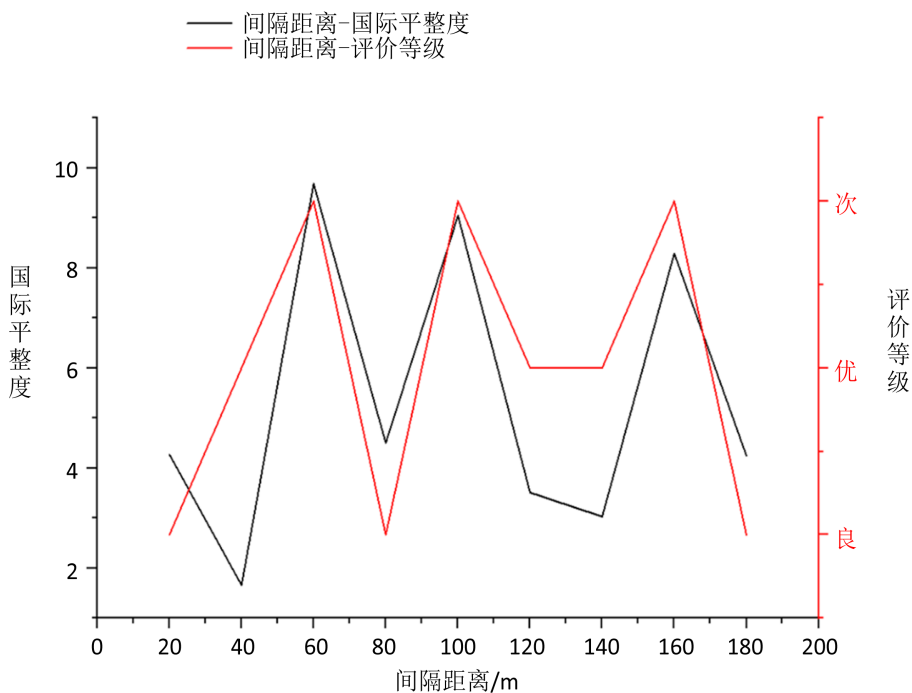


Figure 10. Road roughness IRI and evaluation grade at 20 m interval

图 10. 20 m 间隔下的道路平整度 IRI 和评价等级

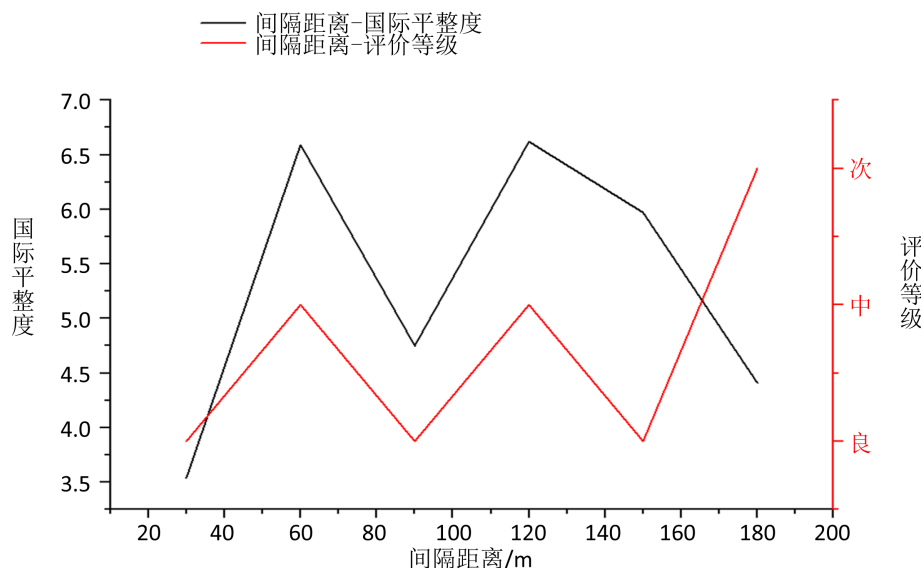


Figure 11. Road roughness IRI and evaluation grade at 30 m interval

图 11. 30 m 间隔下的道路平整度 IRI 和评价等级

Table 4. RQI value calculation results

表 4. 道路 RQI 值计算结果

序号	段号	标准偏差	IRI(m/km)	RQI(分)
1	1~2	0.827	1.420	95.25
2	2~3	0.811	1.410	95.18
3	3~4	0.842	1.410	95.16
4	4~5	0.809	1.420	95.21
5	5~6	0.783	1.400	95.18
6	6~7	0.815	1.420	95.20
7	7~8	0.841	1.430	95.26
8	8~9	0.797	1.400	95.17
9	9~10	0.812	1.410	95.16
10	10~11	0.811	1.410	95.18
11	11~12	0.827	1.420	95.21
12	12~13	0.831	1.420	95.22
13	13~14	0.782	1.400	95.16
14	14~15	0.852	1.430	95.23
15	15~16	0.864	1.430	95.22
16	16~17	0.778	1.400	95.21
17	17~18	0.784	1.400	95.20
18	18~19	0.793	1.400	95.21

根据上表可得，本次实验中计算出的 RQI 分值范围为 95.16~95.23 分，依照表 3 中规定的评定标准，

都属于行驶质量为“优”的路面。路面颠簸程度都为“无颠簸，行车平稳”，符合数据采集过程中的行车体验，表明本次实验结果的准确性，同时验证了本次实验中提出的路面平整度算法的可靠性。

5. 结束语

路面平整度是路面评价以及道路施工中的一个重要性指标，可以反映道路的安全性和使用期限，可以为施工验收提供一个重要的评价指标。本文采用车载激光扫描技术对一段道路路面进行检测，通过分段计算路面平整度，最后汇总评价该路面平整性。试验表明，该路段路面行驶质量良好，当遇到减速带时，IRI 值发生突变。与传统检测技术相比，本文采用车载激光扫描技术对道路路面平整度进行分析，极大的利用了激光扫描技术无接触、高效率、高精度的特点，对比分析，未来激光扫描技术应用领域将会显著提升。

参考文献

- [1] 魏征, 杨必胜, 李清泉. 车载激光扫描点云中建筑物边界的快速提取[J]. 遥感学报, 2012, 16(2): 286-296.
- [2] 杨必胜, 魏征, 李清泉, 等. 面向车载激光扫描点云快速分类的点云特征图像生成方法[J]. 测绘学报, 2010, 39(5): 540-545.
- [3] 田茂义, 赵倩, 刘景瑞, 等. 一种车载激光扫描数据的滤波处理算法[J]. 测绘科学技术学报, 2013, 30(6): 593-596.
- [4] 周晓青, 孙立军, 颜利. 各国路面平整度验收规范[J]. 中外公路, 2006, 26(1): 52-56.
- [5] 马荣贵, 宋宏勋, 来旭光. 激光路面平整度检测系统[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2006, 26(2): 38-41.