

基于对数映射的三维路面高程晕渲技术研究

马荣贵¹, 马 建², 吴骅跃¹, 马子涵³

(1. 长安大学 信息工程学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064

3. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘 要:采用传统的基于线性高程晕渲方法重建的三维路面,对于较平整的路段,显示的路面效果比较夸张,而对于路面质量较差的路段,在显示坑槽的同时,又会忽略路段的平整特性。提出一种基于对数映射的三维路面高程晕渲方法,首先以路面平均高度值为基准将测得的路面相对高程归一化,再将归一化后的高程进行对数映射,最后将变换后的数据线性等分成 20 个晕渲色层。在 $-10 \sim +10$ mm 的相对高程范围内对应于 10 个色层,表征路面的平整特性, $-10 \sim -100$ mm 和 $+10 \sim +100$ mm 的相对高程对应于另外 10 个色层,用于表征路面的变形类病害。研究结果表明:运用这种方法不仅能够实现对路面质量较差、路面有较大坑槽和拥包的三维路面的彩色晕渲,还能表现路面的破损信息、局部平整度及车辙信息,增强了显示效果。

关键词:道路工程;三维路面重建;彩色路面晕渲;高程;分层设色

中图分类号:U416.06

文献标志码:A

Study on elevation shading technique of three-dimensional pavement based on logarithmic mapping

MA Rong-gui¹, MA Jian², WU Hua-yue¹, MA Zi-han³

(1. School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

3. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: For the reconstruction of three-dimensional pavement by using the traditional method based on linear elevation shading, the effect of display is exaggerated on the relatively flat road, but on the road of poor quality, potholes are displayed and the flatness of the road is ignored. Therefore, a kind of method of three-dimensional pavement elevation shading based on logarithmic mapping was put forward. Firstly, the raw data was normalized based on the average height, then the normalized relative altitude was logarithmically mapped, and finally the transformed data were linearly divided into 20 dizzy color layers. The relative elevation from -10 mm to 10 mm was divided into 10 color layers to display the flatness of road, while the relative elevation from -10 to -100 mm and from $+10$ to $+100$ mm was divided into other 10 color layers to display the deformation distress. The results show that it can not only realize color shading for the poor quality road with big potholes and upheavals, but also reflect damage

information of road, partial flatness and rut information. The effect of display is enhanced.

1 tab, 11 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; three-dimensional reconstruction of road surface; shading of color pavement; elevation; hypsometric tint

0 引言

目前,路面数据采集系统已相当的成熟和完备,但得到的仅仅是路面纵断面、横断面、破损、环境等二维信息,一些对行车安全危害较大的拥包和坑槽等三维信息却无法检测,基于路面现有二维数据的三维信息重建技术已成为目前路面检测研究的重要方向。2000 年,英国的 Liviu Bursanesu, Mihaela Bursanesu 在第六届国际光学会议上,提出将实时高速的成像系统安装在检测车上,通过 GIE 激光阵列来实现路面破损信息的检测,从而获得近似的路面三维形状。由于采用激光阵列技术难度比较大,且系统成本较大,因此很难大范围推广使用。南京理工大学贺安之等提出由多光束平行或正交网格结构光定量给出路面破损三维变形数据,实现了路面的三维显示^[1]。国内外报道的道路三维重建研究,不能很好地反映真实路面的特性,也不能实现在三维路面上交互显示路面检测数据。文献[2-3]实现了对三维重构路面的仿真;文献[4-5]采用多传感器的方法,实现了道路的三维可视化重构;文献[6]提出了基于线性高程晕渲的三维路面重建技术,在路面质量较差的情况下,夸张地显示路面坑槽及拥包信息,但难于同时表现路面破损信息、局部平整度及车辙信息;在路面质量较好,路面起伏不大的情况下,又会比较夸张地显示路面信息^[7]。为此,本文提出基于对数映射的三维路面高程晕渲技术,能够较好地显示路面信息,不但可以直观地观察路面的多种病害如车辙、坑槽和拥包,而且还能计算坑槽的体积,并实时的对路面病害进行定位,为相关部门制定道路养护方案提供重要的数据信息,在路面质量评价和路面养护管理中具有很好的应用价值^[8]。

1 三维网格路面模型

三维路面晕渲之前首先要建立三维网格路面,三维网格路面的建立首先要建立数字高程模型^[9],本文选用正方形格网的 DEM 通过三角化来构建三维路面。运用路面特征数据通过内插法生成大量的网格顶点,然后根据离散的网格点建立三角网。当

创建三角网时,三角网中的 3 个顶点必须有一定的组织顺序,本文按顺时针方向进行组织。首先链接 1、2、3 数据点构成三角形,再连接 1、3、4 数据点构成三角形,连接完所有的网格顶点之后生成连续的三角网,由众多的三角网无限逼近形成光滑曲面,从而实现三维网格路面的建立。图 1 为网格模型局部图,图 2 为布网模型,图 3 为生成的三维网格路面。

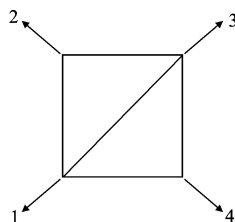


图 1 网格模型局部

Fig. 1 Partial of grid model

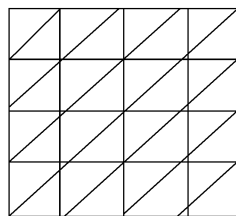


图 2 布网模型

Fig. 2 Grid model

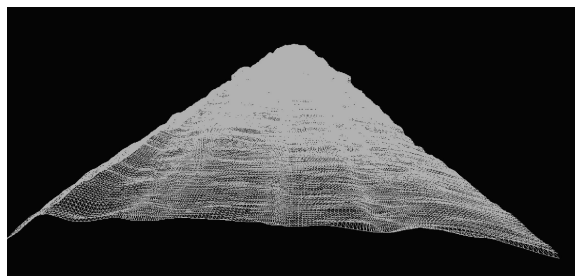


图 3 三维网格路面

Fig. 3 Three-dimensional grid road

2 色层表的建立

分层设色是彩色晕渲过程中一个重要的影响因素,是一种表示高程信息的常用方法,该方法将地形按高度划分为若干高度带,通过一定次序的颜色变化或色调深浅来表示高程带,从而显示地貌形态^[10]。三维路面的晕渲是在网格路面的基础上进行的,根据采集的路面高程数据按高程分布来设计相应的色层表,以此来确定网格模型中每个顶点的色彩。下页表 1 为建立的路面晕渲色层表。表 1 中 R、G、B 分别代表该分层颜色红色、绿色和蓝色分量值,把相对高程从最低到最高分别用蓝色到红色的 20 种不同颜色表示。

表 1 路面晕渲色层
Tab. 1 Hypsometric tint of pavement

索引	颜色	R	G	B	颜色值
1		0	0	255	# 0000FF
2		65	105	225	# 4169E1
3		30	144	255	# 1E90FF
4		51	161	201	# 33A1C9
5		135	206	235	# 87CEEB
6		64	224	208	# 40E0D0
7		127	255	212	# 7FFFD4
8		0	255	127	# 00FF7F
9		0	205	102	# 00CD66
10		0	159	69	# 009F45
11		0	159	0	# 009F00
12		0	205	0	# 00CD00
13		0	255	0	# 00FF00
14		127	255	0	# 7FFF00
15		192	255	0	# C0FF00
16		238	238	0	# EEEE00
17		255	205	0	# FFCD00
18		244	164	96	# F4A460
19		255	99	71	# FF6347
20		255	30	0	# FF1E00

3 基于对数映射的三维路面高程晕渲

3.1 基于线性高程的三维路面晕渲

文献[3]给出基于线性高程的三维路面晕渲方法,首先求出路面高程数据的高程差 Δh

$$\Delta h = h_{\max} - h_{\min} \tag{1}$$

式中: h_{\max} 为三维路面最高点的高程值; h_{\min} 为最低点的高程值。

再将高程差均匀的分割。由于本文建立的色层表共有 20 种颜色,则把高程差 Δh 均匀地分成 20 等份,分割后的每一个高程空间对应色层表的一种颜色,那么每种颜色对应的高程空间 \bar{h} 为

$$\bar{h} = \Delta h / n \tag{2}$$

式中: n 为分割数。

用这种方法可以给三维路面模型中的每一个网格顶点确定相应颜色索引。图 4 为相对平整的真实路面,图 5 为采用基于线性高程晕渲方法晕渲的彩色路面,图 6 为真实路面坑洼图,图 7 为采用基于线性高程晕渲的三维彩色路面坑洼图。

由图 5 可以看出,在相对平整的路段,采用基于线性高程晕渲方法重构的彩色路面夸大了路面的高低起伏,得到的彩色路面比较夸张。由图 7 可以看出,在路面质量较差、有较大坑洼和拥包的路面,采用基于线性高程晕渲方法得到的彩色路面图在夸张



图 4 相对平整的真实路面
Fig. 4 Actual relatively flat road

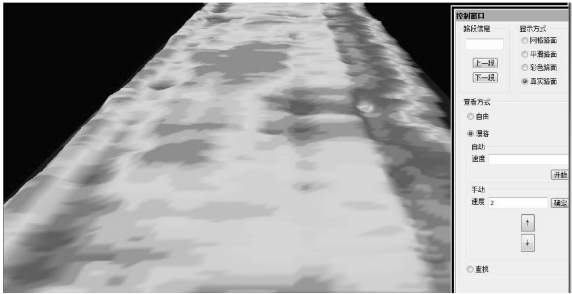


图 5 基于线性高程晕渲的彩色路面
Fig. 5 3D colored road based on the linear elevation shading



图 6 真实路面坑洼
Fig. 6 Potholes of actual road

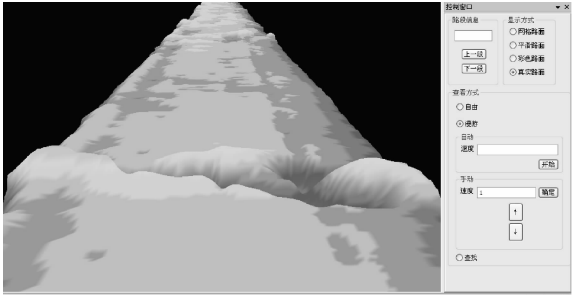


图 7 基于线性高程晕渲的三维彩色路面坑洼
Fig. 7 3D colored road potholes based on the linear elevation shading

显示坑洼的同时却又会忽略平整路段的显示。

3.2 基于对数映射的三维路面高程晕渲

通过对路面的三维特性分析,路面相对高程具有以下特性:①平整路面的相对高程基本在 $\pm 10\text{ mm}$

范围内波动;②路面破损时,拥包高度和坑槽深度大部分在 $\pm 10\text{ mm} \sim \pm 100\text{ mm}$ 范围内;③即使对于破损路面,拥包和坑槽所占的比例也是少部分。

因此,对于平整路面,由于相对高程变化较小,采用线性晕渲方法时,将会夸大局部高程波动。对于破损路面,采用线性晕渲方法时,由于平整部分相对高程波动相对于坑洼深度可以忽略,所以局部波动被忽略。为了同时能够反映路面的平整信息和局部破损信息,必须采用非线性晕渲技术。分析了多种非线性函数的性质,选用对数函数。对数函数曲线斜率在自变量较小时斜率变化较大,自变量较大时斜率较小,能够较好地兼顾路面的多种信息。基于对数映射的三维路面高程晕渲基本思想如下所述。

(1)将采集的路面相对高程数据分成大于0和小于0两部分,利用式(3)分别对高程数据的绝对值加1取对数(加1是为了将取对数后的数据从0开始取),如图8所示

$$z = \lg(|h| + 1) \quad (3)$$

式中: h 为原始相对高程数据; z 为原始相对高程数据取对数变换之后的数据。

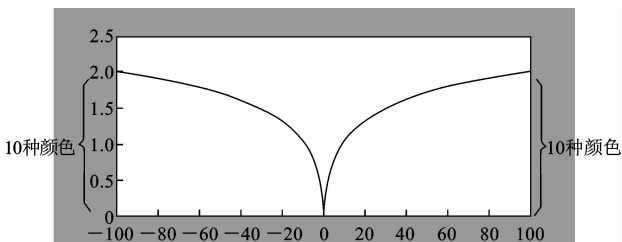


图8 高程数据取对数趋势

Fig. 8 Trend for logarithm of elevation data

(2)给原始高程数据在 $0 \sim 100$ 之间配色层表中的10种颜色,即将取对数之后的高程数据 h 在 $0 \sim 2$ 之间分成10个高程空间,每一个高程空间对应色层表中的一种颜色。同样,给原始高程数据在 $-100 \sim 0$ 之间的分配另外10种颜色。

由于大部分路面是平整的,即采集的原始高程数据大部分在 $0 \pm 10\text{ mm}$ 之间,这样取对数之后大部分会集中在 $0 \sim 1$ 之间,那么晕渲之后的彩色路面至少会有10颜色,这样就可以很好地显示路面的平整信息;当相对高程在 $\pm 10 \sim \pm 100\text{ mm}$ 范围时,取对数之后集中在 $1 \sim 2$ 之间,晕渲之后也有10种颜色;当高程值大于 $\pm 100\text{ mm}$,颜色近似为 $\pm 100\text{ mm}$ 时的颜色。晕渲时首先确定该点的高程值,然后根据颜色索引得到该点的颜色。这样就可以确定每个网格顶点的颜色索引。

采用基于对数映射的高程晕渲技术实现三维彩色路面的重建,具体可分为以下步骤:

(1)扫描三维路面模型中所有顶点的高程数据,然后将高程数据分成两部分,大于0的部分和小于0的部分,分别将高程数据储存在2个数组里。

(2)将三维路面中高程值大于0的部分的路面高程值分别记为 h_1, h_2, \dots, h_n ,利用式(3)对这些高程值进行处理,处理后的数据分别记为 z_1, z_2, \dots, z_n ;对于高程值小于0的部分做同样的处理。

(3)对原始高程数据大于0的部分,将取对数之后高程数据 z_1, z_2, \dots, z_n 在 $0 \sim 2$ 之间的分成10等份,即10个高程空间,分配色层表中颜色索引11~20的颜色,即每个高程空间对应一种颜色,求出每个高程空间对应的颜色索引。对原始高程数据小于0的部分做同样的处理,分配色层表中颜色索引1~10的颜色。

(4)根据每个网格顶点的高程值对应的颜色索引确定该点的颜色值,绘制路面。

图9为基于对数映射晕渲的三维彩色平整路面,图10为基于对数映射晕渲的三维彩色路面坑洼。

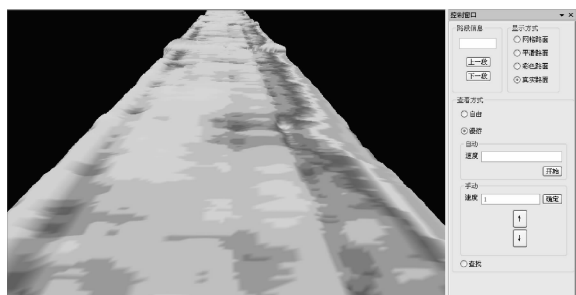


图9 基于对数映射高程晕渲的三维彩色路面

Fig. 9 3D colored road based on logarithmic mapping elevation shading

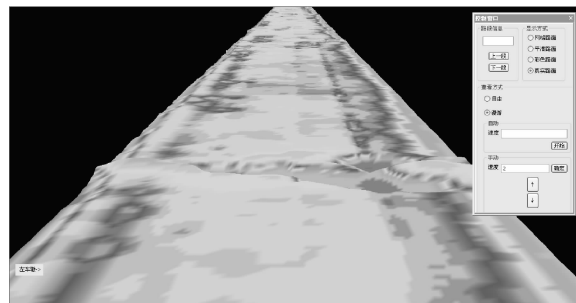


图10 基于对数映射高程晕渲的三维彩色路面坑洼

Fig. 10 3D colored road potholes based on logarithmic mapping elevation shading

由图9、图10可以看出,采用基于对数映射晕渲的三维彩色路面能很好地显示路面信息,在路面质量较差时,显示坑洼的同时又能很好的显示平整路段信息,而在相对平整的路段也能很好地反映路面的高低起伏,而且不夸张。

重构的三维彩色路面不仅可以有效地显示道路

特性,还可以动态地指出路面病害位置,实时显示车辙的长度、宽度、深度以及坑槽的体积、长度、宽度、深度和位置。图 11 为路面质量评价图,图中框内指示的是 2 个坑槽,箭头指示车辙位置。

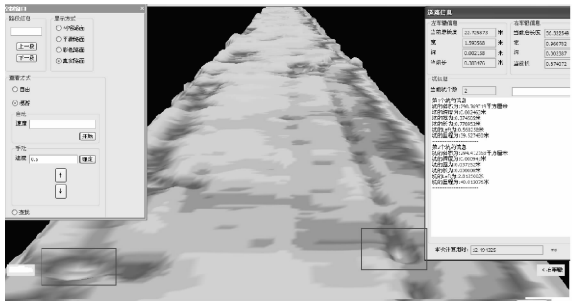


图 11 路面质量评价
Fig. 11 Quality evaluation of road

4 结 语

(1)采用基于线性高程晕渲方法重构的彩色路面,在相对平整的路段,夸大了路面的高低起伏,得到的彩色路面比较夸张;在路面质量较差、有较大坑洼和拥包的路面,在夸张显示坑洼的同时却忽略了路段的局部平整特性。

(2)基于对数映射的三维路面高程晕渲方法,依据路面平均高度值将测得的路面相对高程归一化,再将归一化后的相对高程进行对数映射,最后将变换后的数据线性等分成 20 个路面晕渲色层。在 $-10\sim+10\text{ mm}$ 的相对高程范围内对应 10 个色层,表征路面的平整特性, $-10\sim-100\text{ mm}$ 和 $+10\sim+100\text{ mm}$ 的相对高程对应另外 10 个色层,用于表征路面的变形类病害,没有出现夸张效果。

(3)采用不同变换矩阵,得到不同的效果,应用时可同时采用多种晕渲方法达到不同的效果。

(4)基于路面三维重建,可以得到路面的三维变形类病害信息,由此计算出的变形类病害体积和采用对数映射晕渲显示的效果比较一致,对路面评价和制定养护规划具有重要意义。

参考文献:

References:

[1] 贺安之,徐友仁.激光三维路面状况检测系统的应用[J].中国公路,2004(20):155-156.
HE An-zhi,XU You-ren. Application of the laser 3D pavement measurement system[J]. China Highway, 2004(20):155-156. (in Chinese)

[2] 梁新成,张 军,徐 瑞.三角级数法的路面重构仿真研究[J].汽车工程学报,2011,1(5):442-447.
LIANG Xin-cheng,ZHANG Jun,XU Rui. Study of

road reconstruction with trigonometric series method [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2011,1(5):442-447. (in Chinese)

[3] 曹 毓,冯 莹,杨云涛,等. RANSAC 平面估计算法在路面物体体积测量中的应用[J]. 传感技术学报, 2012,25(3):413-416.
CAO Yu,FENG Ying,YANG Yun-tao,et al. Application of plane estimation algorithm based on RANSAC in volume measurement of object on road surface[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2012, 25 (3):413-416. (in Chinese)

[4] Yu S J,Sukumar S R,Koschan A F,et al. 3D reconstruction of road surfaces using an integrated multi-sensory approach[J]. Optics and Lasers in Engineering,2007,45(7):808-818.

[5] 彭 博,WANG K C P,陈 成,等. 基于 1 mm 精度路面三维图像的裂缝种子自动识别算法[J]. 中国公路学报,2014,27(12):23-32.
PENG Bo,WANG K C P,CHEN Cheng,et al. Automatic recognition algorithm for crack seeds based on 1 mm resolution 3D pavement images[J]. China Journal of Highway and Transport, 2014, 27(12): 23-32. (in Chinese)

[6] 汪花梅. 基于 OpenGL 的三维数字路面系统设计与实现[D]. 西安:长安大学,2011.
WANG Hua-mei. Design and implementation of 3D digital road system based on OpenGL [D]. Xi'an: Chang'an University,2011. (in Chinese)

[7] Ueckermann A,Oeser M. Approaches for a 3D assessment of pavement evenness data based on 3D vehicle models[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering; English Edition,2015,2(2):68-80.

[8] 啜二勇. 国外路面自动检测系统发展综述[J]. 交通标准化,2009,24(17):96-99.
CHUO Er-yong. Development summary of international pavement surface distress automatic survey system[J]. Transport Standardization, 2009, 24(17): 96-99. (in Chinese)

[9] 左小清,李清泉,唐炉亮. 公路三维模型建立与数据组织[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2004,29(2):179-183.
ZUO Xiao-qing,LI Qing-quan,TANG Lu-liang. 3D modeling and data organization of highway[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2004,29(2):179-183. (in Chinese)

[10] 陈望婷,朱 庆. 地形三维可视化中的彩色地貌晕渲图多模式色彩设计[J]. 测绘信息工程,2006,31(6):47-49.
CHEN Wang-ting,ZHU Qing. Design of multi-model colour in colored hill-shading for terrain 3D visualization [J]. Journal of Geomatics,2006,31(6):47-49. (in Chinese)