



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107610094 B

(45)授权公告日 2020.04.03

(21)申请号 201710653515.5

(22)申请日 2017.08.02

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107610094 A

(43)申请公布日 2018.01.19

(73)专利权人 长安大学
地址 710064 陕西省西安市雁塔区二环南路中段126号

(72)发明人 沙爱民 李伟 孙朝云 邵娜娜
郝雪丽 张欣 马志丹

(74)专利代理机构 西安恒泰知识产权代理事务
所 61216

代理人 黄小梧

(51)Int.Cl.

G06T 7/00(2017.01)

G06T 5/00(2006.01)

G06K 9/62(2006.01)

(56)对比文件

CN 104504388 A,2015.04.08,

CN 106204497 A,2016.12.07,

CN 104636750 A,2015.05.20,

CN 105825169 A,2016.08.03,

JP 2009294163 A,2009.12.17,

KR 101492336 B1,2015.02.11,

Ulrike Exner 等.Monoclinic and triclinic 3D flanking structures around elliptical cracks.《Journal of Structural Geology》.2010,第2009-2021页.

孙朝云 等.基于椭圆模型聚类的路面裂缝定位方法.《公路》.2016,第41-46页.

李伟 等.基于3D数据和双尺度聚类算法的路面裂缝检测.《华南理工大学学报(自然科学版)》.2015,第43卷(第8期),第99-105页.

李伟 等.基于路面3D数据的裂缝类型判断方法.《中国公路学报》.2015,第28卷(第11期),第21-28页.

审查员 李秋萍

权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

基于椭球立体表征的裂缝三维检测方法

(57)摘要

基于椭球立体表征的裂缝三维检测方法。本发明公开了基于视频流的路面裂缝动态检测方法,包括以下步骤:步骤1,读取路面三维图像数据矩阵;步骤2,对路面三维图像数据矩阵进行预处理,得到预处理后三维图像数据;步骤3,对预处理后的三维图像数据矩阵进行滤波处理,得到去噪后的三维图像数据矩阵;步骤4:提取去噪后的三维图像数据矩阵的每行数据,提取出完整的路面裂缝;步骤5,将路面裂缝划分为多个裂缝区域,求取每个附加深度的椭圆模型的表征参数;步骤6,根据表征参数对所有附加深度的椭圆模型进行聚类,得到聚类后的裂缝;步骤7,计算聚类后的裂缝的裂缝特征值,将裂缝分为网状裂缝和线性裂缝。本发明降低了计算量,复杂度,对细

节信息丢失、虚假深度裂缝等原因造成的裂缝段,能够准确还原为完整裂缝。

1. 基于椭球立体表征的裂缝三维检测方法, 包括:

步骤1, 读取路面三维图像数据矩阵;

步骤2, 对路面三维图像数据矩阵进行预处理, 得到预处理后三维图像数据;

步骤3, 对预处理后的三维图像数据矩阵进行滤波处理, 得到去噪后的三维图像数据矩阵;

步骤4: 提取去噪后的三维图像数据矩阵的每行数据, 分别进行smooth平滑处理和曲线拟合处理, 得到平滑曲线和拟合曲线; 根据得到的平滑曲线和拟合曲线提取基准线, 即为路面的横断面轮廓线, 将每一行的数据处理后, 最终提取出完整的路面裂缝;

其特征在于, 还包括以下步骤:

步骤5, 将路面裂缝划分为多个裂缝区域, 再将每个裂缝区域转化为附加深度的椭圆模型, 每个附加深度的椭圆模型与其对应的裂缝区域具有等价归一化二阶中心距, 求取每个附加深度的椭圆模型的表征参数, 所述表征参数包括: 椭圆中心点坐标、偏转角、长轴的长度、短轴的长度和深度;

步骤6, 根据表征参数对所有附加深度的椭圆模型进行聚类, 得到聚类后的裂缝;

所述根据表征参数对所有附加深度的椭圆模型进行聚类, 包括:

步骤61, 对所有附加深度的椭圆模型进行编号, 将所有附加深度的椭圆模型标记为未归类模型;

步骤62, 将未归类模型中长轴最长的附加深度的椭圆模型标记为当前起始聚类模型, 当前起始聚类模型的编号为 m , $m=1, 2, \dots, M$, M 为所有附加深度的椭圆模型的数量;

步骤621, 将除过当前起始聚类模型后未归类模型中编号最小的附加深度的椭圆模型标记为待聚类模型, 待聚类模型的编号为 m' , $m' \neq m$, $m'=1, 2, \dots, M$;

步骤622, 若当前起始聚类模型的表征参数与待聚类模型的表征参数满足聚类准则条件, 则执行步骤623; 否则, 执行步骤624;

所述聚类准则条件为: $(\text{条件1} \cup \text{条件2}) \cap \text{条件3} \cap \text{条件4}$;

其中,

条件1为: $(|O_a - O_b| \leq 30) \cup (|O_a - O_b| \geq 150)$;

条件2为: $(\left((|O_a - O_b| > 30) \cap (|O_a - O_b| < 150) \right) \cap \left(\min(L_a, L_b) \leq \frac{1}{10} \max(L_a, L_b) \right))$;

条件3为: $|D_a - D_b| < \frac{1}{5} \max(D_a, D_b)$;

条件4为: $\sqrt{(XC_a - XC_b)^2 + (YC_a - YC_b)^2} < \max(L_a, L_b)$, XC_a 为中心点 C_a 的横坐标, YC_a 为中心点 C_a 的纵坐标, XC_b 为中心点 C_b 的横坐标, YC_b 为中心点 C_b 的纵坐标;

其中, C_a 为当前起始聚类模型的中心点、 O_a 为当前起始聚类模型的偏转角、 L_a 为当前起始聚类模型的长轴、 S_a 为当前起始聚类模型的短轴、 D_a 为当前起始聚类模型的深度; C_b 为待聚类模型的中心点、 O_b 为待聚类模型的偏转角、 L_b 为待聚类模型的长轴、 S_b 为待聚类模型的短轴、 D_b 为待聚类模型的深度;

步骤623, 将待聚类模型标记为已归类模型, 令待聚类模型的编号 $m'=m$, 执行步骤624;

步骤624, 重复步骤621至623, 直至未归类模型中的所有模型都被作为待聚类模型;

步骤63,重复步骤62,直至所有未归类模型中的所有模型都被标记为已归类模型;

步骤7,计算聚类后的裂缝的裂缝特征值,所述裂缝特征值包括裂缝长宽比R、裂缝块度H,根据裂缝特征值将裂缝分为网状裂缝和线性裂缝。

2.如权利要求1所述的基于椭球立体表征的裂缝三维检测方法,其特征在于,步骤5中求取每个附加深度的椭圆模型的表征参数,包括:

步骤51,将路面裂缝划分成多个连通域,每个连通域即为一个裂缝区域;

步骤52,任选一裂缝区域作为当前裂缝区域,计算当前裂缝区域对应的附加深度的椭圆模型的表征参数,包括:

通过式(1)计算椭圆中心点坐标 (μ_x, μ_y) :

$$(\mu_x, \mu_y) = \left(\frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \right) \quad (1)$$

其中, x_i, y_i 分别为当前裂缝区域中第*i*个像素点的坐标值, N 为当前裂缝区域中像素点的总数;

通过式(2)计算偏转角度 O :

$$O = \begin{cases} \frac{180}{\pi} \times \tan^{-1} \left(\frac{\mu_{xx} + \mu_{yy} + \Delta}{2\mu_{yy}} \right), & \text{if } \mu_{xx} < \mu_{yy} \\ \frac{180}{\pi} \times \tan^{-1} \left(\frac{2\mu_{yy}}{\mu_{xx} + \mu_{yy} + \Delta} \right) & \text{if } \mu_{xx} \geq \mu_{yy} \end{cases} \quad (2)$$

其中,偏转角度 O 是指椭圆长轴与水平方向的夹角, $\mu_{xx} = \sum_{i=1}^N x_i^2 / N$,

$\mu_{yy} = \sum_{i=1}^N y_i^2 / N$, $\mu_{xy} = \sum_{i=1}^N x_i y_i / N$; Δ 为当前裂缝区域中数值的二阶中心距,

$$\Delta = \sqrt{(\mu_{xx} - \mu_{yy})^2 + 4 \times \mu_{xy}^2};$$

通过式(3)得到长轴的长度 L :

$$L = 2 \times \sqrt{2[\mu_{xx} + \mu_{yy} + \Delta]} \quad (3)$$

通过式(4)得到短轴的长度 S :

$$S = 2 \times \sqrt{2[(\mu_{xx} + \mu_{yy}) - \Delta]} \quad (4)$$

将当前裂缝区域中所有裂缝像素点处的裂缝深度值按照 $[\text{dep}_{\min}, \text{dep}_{\min}+0.01)$, $[\text{dep}_{\min}+0.01, \text{dep}_{\min}+0.02)$, \dots , $[\text{dep}_{\max}-0.01, \text{dep}_{\max}]$ 进行区间划分,找到每一裂缝深度值区间内所对应的裂缝像素点个数最多的区间 d ,将区间 d 的中值作为当前裂缝区域对应的附加深度的椭圆模型的深度 D ;其中, dep_{\max} 为所有裂缝像素点处的裂缝深度值中最大的裂缝深度值, dep_{\min} 为所有裂缝像素点处的裂缝深度值中最小的裂缝深度值;

步骤53,重复步骤52,直至得到所有裂缝区域所对应的附加深度的椭圆模型的表征参数。

3.如权利要求1所述的基于椭球立体表征的裂缝三维检测方法,其特征在于,所述步骤7中根据裂缝特征值将裂缝分为网状裂缝和线性裂缝,包括:

步骤71,若裂缝块度 H 满足:

$(\max(h_{x1}, h_{x2}, \dots, h_{xm}) \geq h_0 \cup \max(h_{y1}, h_{y2}, \dots, h_{yn}) \geq h_0) \cap (\frac{m}{I} \geq h_1 \cup \frac{n}{J} \geq h_1)$, 则该裂缝为网状裂缝; 否则, 执行步骤72;

其中, $h_{x1}, h_{x2}, \dots, h_{xm}$ 为水平方向上的裂缝块度, m 为水平方向裂缝块度的数量, $h_{y1}, h_{y2}, \dots, h_{yn}$ 为垂直方向上的裂缝块度, n 为垂直方向裂缝块度的数量, I 是裂缝区域的行数, J 是裂缝区域的列数, h_0 是块度的阈值, h_1 是块度数量的阈值;

步骤72, 若裂缝长宽比 R 满足: $R < R_0 \cap |r| < r_0$, 则该裂缝为网状裂缝; 否则该裂缝为线性裂缝;

其中, $r = \frac{\sum_{t=1}^T x_t y_t - T \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\sum_{t=1}^T x_t^2 - T \bar{x}^2)(\sum_{t=1}^T y_t^2 - T \bar{y}^2)}}$, R_0 为长宽比的阈值, r_0 为相关系数的阈值, T 为裂缝像素点的

数量, x_t 为第 t 个裂缝像素点的行号, y_t 为第 t 个裂缝像素点的列号, \bar{x} 为裂缝像素点行号的平均值, \bar{xy} 为裂缝像素点行号与列号乘积的平均值。

基于椭球立体表征的裂缝三维检测方法

技术领域

[0001] 本发明属于道路工程领域,涉及一种图像处理技术,具体提出了基于椭球立体表征的裂缝三维检测方法。

背景技术

[0002] 随着我国公路事业的迅猛发展,特别是高速公路里程的不断增长,公路在国民日常生活中发挥的作用越来越大,公路事业的发展极大地促进了我国经济的发展。由于公路及相关设施大都裸露于自然界,除受到交通荷载等各种力系的作用外,还直接或者间接地遭受光照、雨、雪、风、温度变化等各种自然因素的作用,由此会产生各种路面病害。路面裂缝类病害是路面各类病害中最常见、最早期发生并且最容易发生的病害之一,在恰当的时间对裂缝病害进行处理,不仅可以大大节约路面养护的成本,而且可以最大化地延长道路的使用周期。

[0003] 传统的裂缝检测主要依靠人工目视检测,这种检测方法不仅具有极高的危险性,而且检测结果有很强的主观性,同时成本高昂、耗时耗力。因此,研究高效且准确的路面自动化裂缝检测技术十分必要,对路面破损状况评估、道路养护有着很大的现实意义和重要价值。

[0004] 路面是一个三维实体,由于受到目前检测技术的限制,用于裂缝病害的检测技术大多是二维检测技术。二维检测技术依赖于路面图像的色彩或强度信息来识别路面裂缝病害,容易受到轮胎印迹、光照、油污、阴影、水渍等的影响。随着近年来公路事业的迅速发展,公路路面的评价体系也在不断完善,智能交通系统与路面管理系统对路面裂缝检测技术的要求也在不断提高,传统的二维检测技术由于存在的一些缺陷无法满足这些要求。三维检测系统中的成像系统可以利用高度信息对高度信息存在明显差别的路面裂缝进行全面的评价,克服了二维检测系统的缺陷,因而受到广泛的应用。

[0005] 目前现有的路面裂缝三维检测技术大都采用基于光学三维信息的获取方法来获取裂缝的深度信息。这种方法有一定的局限性,其局限性主要表现在:在采集裂缝深度信息的过程中,存在相当一部分的虚假深度裂缝信息(所谓虚假深度裂缝是指实际路面裂缝中广泛存在的部分裂缝段被尘土等异物填充后的裂缝),即采集到的路面裂缝深度信息中存在虚假深度现象。

发明内容

[0006] 针对上述问题,本发明针对三维裂缝检测中虚假深度裂缝进行研究,根据三维路面裂缝的检测要求,针对虚假深度裂缝的数据特点,结合数字图像处理技术,提出了一种基于椭球立体表征的裂缝三维检测方法。

[0007] 本发明所采用的技术方案是,

[0008] 基于椭球立体表征的裂缝三维检测方法,包括:

[0009] 步骤1,读取路面三维图像数据矩阵;

[0010] 步骤2,对路面三维图像数据矩阵进行预处理,得到预处理后三维图像数据;

[0011] 步骤3,对预处理后的三维图像数据矩阵进行滤波处理,得到去噪后的三维图像数据矩阵;

[0012] 步骤4:提取去噪后的三维图像数据矩阵的每行数据,分别进行smooth平滑处理和曲线拟合处理,得到平滑曲线和拟合曲线;根据得到的平滑曲线和拟合曲线提取基准线,即为路面的横断面轮廓线,将每一行的数据处理后,最终提取出完整的路面裂缝;

[0013] 步骤5,将路面裂缝划分为多个裂缝区域,再将每个裂缝区域转化为附加深度的椭圆模型,每个附加深度的椭圆模型与其对应的裂缝区域具有等价归一化二阶中心距,求取每个附加深度的椭圆模型的表征参数,所述表征参数包括:椭圆中心点坐标、偏转角、长轴的长度、短轴的长度和深度;

[0014] 步骤6,根据表征参数对所有附加深度的椭圆模型进行聚类,得到聚类后的裂缝;

[0015] 所述根据表征参数对所有附加深度的椭圆模型进行聚类,包括:

[0016] 步骤61,对所有附加深度的椭圆模型进行编号,将所有附加深度的椭圆模型标记为未归类模型;

[0017] 步骤62,将未归类模型中长轴最长的附加深度的椭圆模型标记为当前起始聚类模型,当前起始聚类模型的编号为 $m, m=1, 2, \dots, M, M$ 为所有附加深度的椭圆模型的数量;

[0018] 步骤621,将除过当前起始聚类模型后未归类模型中编号最小的附加深度的椭圆模型标记为待聚类模型,待聚类模型的编号为 $m', m' \neq m, m'=1, 2, \dots, M$;

[0019] 步骤622,若当前起始聚类模型的表征参数与待聚类模型的表征参数满足聚类准则条件,则执行步骤623;否则,执行步骤624;

[0020] 所述聚类准则条件为:(条件1 \cup 条件2) \cap 条件3 \cap 条件4;

[0021] 其中,

[0022] 条件1为:($|O_a - O_b| \leq 30$) \cup ($|O_a - O_b| \geq 150$);

[0023] 条件2为:($(|O_a - O_b| > 30) \cap (|O_a - O_b| < 150)$) \cap ($\min(L_a, L_b) \leq \frac{1}{10} \max(L_a, L_b)$);

[0024] 条件3为: $|D_a - D_b| < \frac{1}{5} \max(D_a, D_b)$;

[0025] 条件4为: $\sqrt{(XC_a - XC_b)^2 + (YC_a - YC_b)^2} < \max(L_a, L_b)$, XC_a 为中心点 C_a 的横坐标, YC_a 为中心点 C_a 的纵坐标, XC_b 为中心点 C_b 的横坐标, YC_b 为中心点 C_b 的纵坐标;

[0026] 其中, C_a 为当前起始聚类模型的中心点、 O_a 为当前起始聚类模型的偏转角、 L_a 为当前起始聚类模型的长轴、 S_a 为当前起始聚类模型的短轴、 D_a 为当前起始聚类模型的深度; C_b 为待聚类模型的中心点、 O_b 为待聚类模型的偏转角、 L_b 为待聚类模型的长轴、 S_b 为待聚类模型的短轴、 D_b 为待聚类模型的深度;

[0027] 步骤623,将待聚类模型标记为已归类模型,令待聚类模型的编号 $m' = m$,执行步骤624;

[0028] 步骤624,重复步骤621至623,直至未归类模型中的所有模型都被作为待聚类模型;

[0029] 步骤63,重复步骤62,直至所有未归类模型中的所有模型都被标记为已归类模型;

[0030] 步骤7,计算聚类后的裂缝的裂缝特征值,所述裂缝特征值包括裂缝长宽比R、裂缝块度H,根据裂缝特征值将裂缝分为网状裂缝和线性裂缝。

[0031] 进一步地,步骤5中求取每个附加深度的椭圆模型的表征参数,包括:

[0032] 步骤51,将路面裂缝划分成多个连通域,每个连通域即为一个裂缝区域;

[0033] 步骤52,任选一裂缝区域作为当前裂缝区域,计算当前裂缝区域对应的附加深度的椭圆模型的表征参数,包括:

[0034] 通过式(1)计算椭圆中心点坐标 (μ_x, μ_y) :

$$[0035] \quad (\mu_x, \mu_y) = \left(\frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \right) \quad (1)$$

[0036] 其中, x_i 、 y_i 分别为当前裂缝区域中第*i*个像素点的坐标值, N 为当前裂缝区域中像素点的总数;

[0037] 通过式(2)计算偏转角度 θ :

$$[0038] \quad \theta = \begin{cases} \frac{180}{\pi} \times \tan^{-1} \left(\frac{\mu_{xx} + \mu_{yy} + \Delta}{2\mu_{xy}} \right), & \text{if } \mu_{xx} < \mu_{yy} \\ \frac{180}{\pi} \times \tan^{-1} \left(\frac{2\mu_{xy}}{\mu_{xx} + \mu_{yy} + \Delta} \right) & \text{if } \mu_{xx} \geq \mu_{yy} \end{cases} \quad (2)$$

[0039] 其中,偏转角度 θ 是指椭圆长轴与水平方向的夹角, $\mu_{xx} = \sum_{i=1}^N x_i^2 / N$,

$\mu_{yy} = \sum_{i=1}^N y_i^2 / N$, $\mu_{xy} = \sum_{i=1}^N x_i y_i / N$; Δ 为当前裂缝区域中数值的二阶中心距,

$$\Delta = \sqrt{(\mu_{xx} - \mu_{yy})^2 + 4 \times \mu_{xy}^2};$$

[0040] 通过式(3)得到长轴的长度L:

$$[0041] \quad L = 2 \times \sqrt{2[\mu_{xx} + \mu_{yy} + \Delta]} \quad (3)$$

[0042] 通过式(4)得到短轴的长度S:

$$[0043] \quad S = 2 \times \sqrt{2[(\mu_{xx} + \mu_{yy}) - \Delta]} \quad (4)$$

[0044] 将当前裂缝区域中所有裂缝像素点处的裂缝深度值按照 $[\text{dep}_{\min}, \text{dep}_{\min}+0.01)$, $[\text{dep}_{\min}+0.01, \text{dep}_{\min}+0.02)$, \dots , $[\text{dep}_{\max}-0.01, \text{dep}_{\max}]$ 进行区间划分,找到每一裂缝深度值区间内所对应的裂缝像素点个数最多的区间d,将区间d的中值作为当前裂缝区域对应的附加深度的椭圆模型的深度D;其中, dep_{\max} 为所有裂缝像素点处的裂缝深度值中最大的裂缝深度值, dep_{\min} 为所有裂缝像素点处的裂缝深度值中最小的裂缝深度值;

[0045] 步骤53,重复步骤52,直至得到所有裂缝区域所对应的附加深度的椭圆模型的表征参数。

[0046] 进一步地,所述步骤7中根据裂缝特征值将裂缝分为网状裂缝和线性裂缝,包括:

[0047] 步骤71,若裂缝块度H满足:

$$[0048] \quad (\max(h_{x1}, h_{x2}, \dots, h_{xm}) \geq h_0 \cup \max(h_{y1}, h_{y2}, \dots, h_{yn}) \geq h_0) \cap \left(\frac{m}{l} \geq h_1 \cup \frac{n}{j} \geq h_1 \right),$$

则该裂缝为网状裂缝;否则,执行步骤72;

[0049] 其中, $h_{x1}, h_{x2}, \dots, h_{xm}$ 为水平方向上的裂缝块度, m 为水平方向裂缝块度的数量, $h_{y1}, h_{y2}, \dots, h_{yn}$ 为垂直方向上的裂缝块度, n 为垂直方向裂缝块度的数量, I 是裂缝区域的行数, J 是裂缝区域的列数, h_0 是块度的阈值, h_1 是块度数量的阈值;

[0050] 步骤72, 若裂缝长宽比 R 满足: $R < R_0 \cap |r| < r_0$, 则该裂缝为网状裂缝; 否则该裂缝为线性裂缝;

[0051] 其中, $r = \frac{\sum_{t=1}^T x_t y_t - T \overline{xy}}{\sqrt{\sum_{t=1}^T x_t^2 - T \overline{x}^2}}$, R_0 为长宽比的阈值, r_0 为相关系数的阈值, T 为裂缝像素

点的数量, x_t 为第 t 个裂缝像素点的行号, y_t 为第 t 个裂缝像素点的列号, \overline{x} 为裂缝像素点行号的平均值, \overline{xy} 为裂缝像素点行号与列号乘积的平均值。

[0052] 本发明的有益效果是:

[0053] (1) 本发明在分析采集到的路面三维数据的结构特征后, 提出了一种基于主轮廓线的曲线拟合滤波算法, 该算法使用标准差与曲线拟合相结合的方法准确地提取出数据横断面(或纵断面)的主轮廓, 能够在保留路面有效数据的基础上, 最大化地降低噪声等无用信息的干扰。

[0054] (2) 本发明依据裂缝高度值与背景路面高度值的差异性, 结合平滑处理与曲线拟合进行滤波后数据的主轮廓线提取, 能够准确、全面地对目标裂缝二维定位信息进行提取, 并进一步提取三维深度信息。

[0055] (3) 在对断裂裂缝进行特性分析后, 本发明初始化裂缝段为裂缝基本单元, 使用附加深度椭圆模型立体表征裂缝基本单元, 并制定相应的聚类准则, 引入聚类技术进行高阶裂缝模型的构建, 使用附加深度椭圆模型立体表征裂缝基本单元, 无需关注每一裂缝像素点, 这大大降低了计算量, 复杂度; 使用聚类技术进行高阶裂缝模型的构建, 对细节信息丢失、虚假深度裂缝等原因造成的裂缝段, 能够准确还原为完整裂缝, 即可以对裂缝模型参数的获取、类别的判定提供了坚实可靠的支持。

附图说明

[0056] 图1为经过预处理后的路面裂缝图像;

[0057] 图2(a)为聚类前的附加深度的椭圆模型; 图2(b)为聚类后的附加深度的椭圆模型;

[0058] 图3为计算裂缝长宽比的示意图。

具体实施方式

[0059] 下面通过附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0060] 实施例1

[0061] 本实施例提供了一种基于椭球立体表征的裂缝三维检测方法, 包括:

[0062] 步骤1, 读取路面三维图像数据矩阵;

[0063] 步骤2, 对路面三维图像数据矩阵进行预处理, 得到预处理后三维图像数据;

[0064] 步骤3,对预处理后的三维图像数据矩阵进行滤波处理,得到去噪后的三维图像数据矩阵;

[0065] 步骤4:提取去噪后的三维图像数据矩阵的每行数据,分别进行smooth平滑处理和曲线拟合处理,得到平滑曲线和拟合曲线;根据得到的平滑曲线和拟合曲线提取基准线,即为路面的横断面轮廓线,将每一行的数据处理后,最终提取出完整的路面裂缝,如图1;

[0066] 上述步骤的详细方法请参见发明人在前期申请的发明专利(申请号:

[0067] 2016105751203)。

[0068] 步骤5,根据步骤4提取出的路面裂缝,将路面裂缝划分为多个裂缝区域,再将每个裂缝区域转化为附加深度的椭圆模型,每个附加深度的椭圆模型与其对应的裂缝区域具有等价归一化二阶中心距,求取每个附加深度的椭圆模型的特征参数,所述特征参数包括:椭圆中心点坐标、偏转角、长轴的长度、短轴的长度和深度;

[0069] 如图1所示的路面裂缝图像转化为附加深度的椭圆模型即为图2(a)。

[0070] 步骤5中求取每个附加深度的椭圆模型的特征参数,包括:

[0071] 步骤51,将路面裂缝划分成多个连通域,每个连通域即为一个裂缝区域;

[0072] 步骤52,任选一裂缝区域作为当前裂缝区域,计算当前裂缝区域对应的附加深度的椭圆模型的特征参数,包括:

[0073] 通过式(1)计算椭圆中心点坐标 (μ_x, μ_y) :

$$[0074] \quad (\mu_x, \mu_y) = \left(\frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \right) \quad (1)$$

[0075] 其中, x_i, y_i 分别为当前裂缝区域中第*i*个像素点的坐标值, N 为当前裂缝区域中像素点的总数;

[0076] 通过式(2)计算偏转角度 θ :

$$[0077] \quad \theta = \begin{cases} \frac{180}{\pi} \times \tan^{-1} \left(\frac{\mu_{xx} + \mu_{yy} + \Delta}{2\mu_{xy}} \right), & \text{if } \mu_{xx} < \mu_{yy} \\ \frac{180}{\pi} \times \tan^{-1} \left(\frac{2\mu_{xy}}{\mu_{xx} + \mu_{yy} + \Delta} \right) & \text{if } \mu_{xx} \geq \mu_{yy} \end{cases} \quad (2)$$

[0078] 其中,偏转角度 θ 是指椭圆长轴与水平方向的夹角, $\mu_{xx} = \sum_{i=1}^N x_i^2 / N$,

$\mu_{yy} = \sum_{i=1}^N y_i^2 / N$, $\mu_{xy} = \sum_{i=1}^N x_i y_i / N$; Δ 为当前裂缝区域中数值的二阶中心距,

$$\Delta = \sqrt{(\mu_{xx} - \mu_{yy})^2 + 4 \times \mu_{xy}^2};$$

[0079] 通过式(3)得到长轴的长度 L :

$$[0080] \quad L = 2 \times \sqrt{2[\mu_{xx} + \mu_{yy} + \Delta]} \quad (3)$$

[0081] 通过式(4)得到短轴的长度 S :

$$[0082] \quad S = 2 \times \sqrt{2[(\mu_{xx} + \mu_{yy}) - \Delta]} \quad (4)$$

[0083] 将当前裂缝区域中所有裂缝像素点处的裂缝深度值按照 $[\text{dep}_{\min}, \text{dep}_{\min} + 0.01)$,

$[\text{dep}_{\min}+0.01, \text{dep}_{\min}+0.02), \dots, [\text{dep}_{\max}-0.01, \text{dep}_{\max}]$ 进行区间划分, 找到每一裂缝深度值区间内所对应的裂缝像素点个数最多的区间d, 将区间d的中值作为当前裂缝区域对应的附加深度的椭圆模型的深度D; 其中, dep_{\max} 为所有裂缝像素点处的裂缝深度值中最大的裂缝深度值, dep_{\min} 为所有裂缝像素点处的裂缝深度值中最小的裂缝深度值;

[0084] 步骤53, 重复步骤52, 直至得到所有裂缝区域所对应的附加深度的椭圆模型的特征参数。

[0085] 步骤6, 根据特征参数对所有附加深度的椭圆模型进行聚类, 得到聚类后的完整裂缝, 如图2(b);

[0086] 所述根据特征参数对所有附加深度的椭圆模型进行聚类, 包括:

[0087] 步骤61, 对所有附加深度的椭圆模型进行编号, 将所有附加深度的椭圆模型标记为未归类模型;

[0088] 本实施例中的编号原则为: 选取中心点坐标位于矩阵左上角的附加深度椭圆模型作为起始模型, 使用自然数1作为标记编号, 计算剩余模型中心点距离1号模型中心点的距离, 将距离最近的模型使用自然数2进行标记编号, 并以当前模型中心点坐标为参照寻找3号模型, 不断循环, 直到所有附加深度的椭圆模型都被编号;

[0089] 步骤621, 将除过当前起始聚类模型后未归类模型中编号最小的附加深度的椭圆模型标记为待聚类模型, 待聚类模型的编号为 m' , $m' \neq m$, $m' = 1, 2, \dots, M$;

[0090] 步骤622, 若当前起始聚类模型的特征参数与待聚类模型的特征参数满足聚类准则条件, 则执行步骤623; 否则, 执行步骤624;

[0091] 所述聚类准则条件为: (条件1 \cup 条件2) \cap 条件3 \cap 条件4;

[0092] 其中,

[0093] 条件1为: $(|O_a - O_b| \leq 30) \cup (|O_a - O_b| \geq 150)$;

[0094] 条件2为: $\left((|O_a - O_b| > 30) \cap (|O_a - O_b| < 150) \right) \cap \left(\min(L_a, L_b) \leq \frac{1}{10} \max(L_a, L_b) \right)$;

[0095] 条件3为: $|D_a - D_b| < \frac{1}{5} \max(D_a, D_b)$;

[0096] 条件4为: $\sqrt{(XC_a - XC_b)^2 + (YC_a - YC_b)^2} < \max(L_a, L_b)$, XC_a 为中心点 C_a 的横坐标, YC_a 为中心点 C_a 的纵坐标, XC_b 为中心点 C_b 的横坐标, YC_b 为中心点 C_b 的纵坐标;

[0097] 其中, C_a 为当前起始聚类模型的中心点、 O_a 为当前起始聚类模型的偏转角、 L_a 为当前起始聚类模型的长轴、 S_a 为当前起始聚类模型的短轴、 D_a 为当前起始聚类模型的深度; C_b 为待聚类模型的中心点、 O_b 为待聚类模型的偏转角、 L_b 为待聚类模型的长轴、 S_b 为待聚类模型的短轴、 D_b 为待聚类模型的深度;

[0098] 步骤623, 将待聚类模型标记为已归类模型, 令待聚类模型的编号 $m' = m$, 执行步骤624;

[0099] 步骤624, 重复步骤621至623, 直至未归类模型中的所有模型都被作为待聚类模型;

[0100] 步骤63, 重复步骤62, 直至所有未归类模型中的所有模型都被标记为已归类模型;

[0101] 步骤7, 计算完整裂缝的裂缝特征值, 所述裂缝特征值包括裂缝长宽比R、裂缝块度

H,根据裂缝特征值将裂缝分为网状裂缝和线性裂缝。

[0102] 根据裂缝特征值将裂缝分为网状裂缝和线性裂缝的具体方法,包括:

[0103] 步骤71,若裂缝块度H满足:

[0104] $(\max(h_{x1}, h_{x2}, \dots, h_{xm}) \geq h_0 \cup \max(h_{y1}, h_{y2}, \dots, h_{yn}) \geq h_0) \cap (\frac{m}{I} \geq h_1 \cup \frac{n}{J} \geq h_1)$, 则该裂

缝为网状裂缝;否则,执行步骤72;

[0105] 其中, $h_{x1}, h_{x2}, \dots, h_{xm}$ 为水平方向上的裂缝块度, m 为水平方向裂缝块度的数量, $h_{y1}, h_{y2}, \dots, h_{yn}$ 为垂直方向上的裂缝块度, n 为垂直方向裂缝块度的数量, I 是裂缝区域的行数, J 是裂缝区域的列数, h_0 是块度的阈值, h_1 是块度数量的阈值;

[0106] 步骤72,若裂缝长宽比 R 满足: $R < R_0 \cap |r| < r_0$,则该裂缝为网状裂缝;否则该裂缝为线性裂缝;

[0107] 如图3所示为裂缝的长 L 和裂缝的宽 S , $R=L/S$;

[0108] 其中, $r = \frac{\sum_{t=1}^T x_t y_t - T \bar{x} \bar{y}}{\sum_{t=1}^T x_t^2 - T \bar{x}^2}$, R_0 为长宽比的阈值, r_0 为相关系数的阈值, T 为裂缝像素

点的数量, x_t 为第 t 个裂缝像素点的行号, y_t 为第 t 个裂缝像素点的列号, \bar{x} 为裂缝像素点行号的平均值, \bar{xy} 为裂缝像素点行号与列号乘积的平均值。

[0109] 本实施例中, $R_0=10, r_0=0.3$ 。



图1

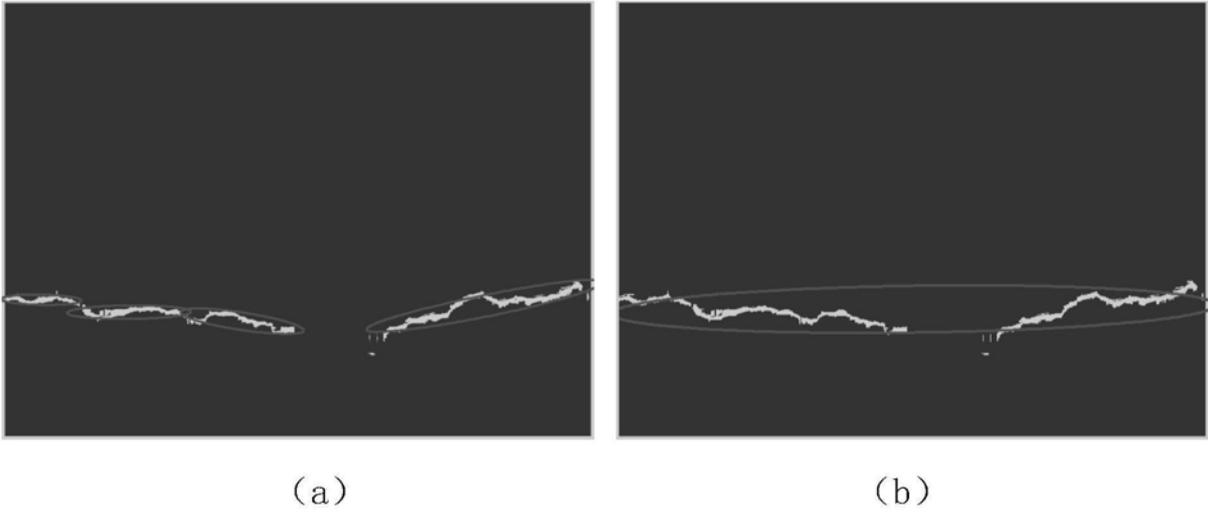


图2

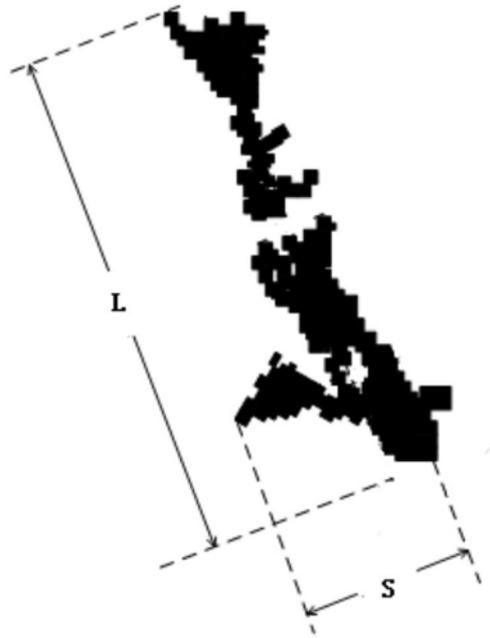


图3