



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115908525 B

(45) 授权公告日 2023. 10. 20

(21) 申请号 202211483582.4

G06T 7/70 (2017.01)

(22) 申请日 2022.11.24

G06T 7/62 (2017.01)

G01B 11/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115908525 A

(43) 申请公布日 2023.04.04

(73) 专利权人 深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司

地址 518131 广东省深圳市龙华区民治街道龙塘社区星河传奇花园三期商厦1栋C座1210

专利权人 深圳市交通科学研究院有限公司

(72) 发明人 周子益 孟安鑫 刘星 阙倩 李鋈元

(74) 专利代理机构 哈尔滨市伟晨专利代理事务所(普通合伙) 23209

专利代理师 李冬爽

(56) 对比文件

CN 107883891 A, 2018.04.06

CN 113469990 A, 2021.10.01

CN 105133471 A, 2015.12.09

CN 108664715 A, 2018.10.16

CN 112200779 A, 2021.01.08

CN 114037837 A, 2022.02.11

CN 113529546 A, 2021.10.22

US 2015169966 A1, 2015.06.18

张剑. “基于三维重建技术的沥青路面坑槽检测技术研究”. 《中国优秀硕士学位论文全文数据库(工程科技 II 辑)》. 2021, (第2期), 第C034-80页.

(续)

审查员 胡婷

(51) Int. Cl.

G06T 7/521 (2017.01)

G06T 7/30 (2017.01)

G06T 7/66 (2017.01)

权利要求书4页 说明书10页 附图3页

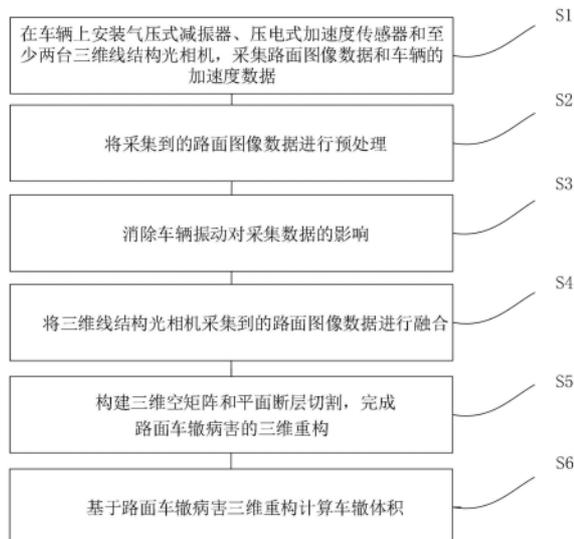
(54) 发明名称

一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法

(57) 摘要

本发明提出一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法,属于车辙体积计算技术领域。包括以下步骤:S1. 在车辆上安装气压式减振器、压电式加速度传感器和至少两台三维线结构光相机,采集路面图像数据和车辆的加速度数据;S2. 将采集到的路面图像数据进行预处理;S3. 消除车辆振动对采集数据的影响;S4. 将三维线结构光相机采集到的路面图像数据进行融合;S5. 构建三维空矩阵和平面断层切割,完成路面车辙病害的三维重构;S6. 基于路面车辙病害三维重构计算车辙体积。本发明解决了现有技术中存在的路面车辙的体积计算资源多、速度慢、计

算精度低技术问题。



CN 115908525 B

[转续页]

[接上页]

(56) 对比文件

张晓宇.“基于激光三维扫描的路面表观三维重构与构造深度指标提取”.《中国优秀硕士学位论文全文数据库(工程技术II辑)》.2022,(第6期),第C034-117页.

Yumin tan et al.“UAV Photogrammetry-Based 3D Road Distress Detection”.

《International Journal of Geo-Information》.2019,第8卷(第9期),第1-24页.

Jilu Li et al.“Investigation on the Micro Deformation Mechanism of Asphalt Mixtures under High Temperatures Based on a Self-Developed Laboratory Test”.

《materials》.2020,第13卷(第7期),第1-20页.

1. 一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1. 在车辆上安装减振器、加速度传感器和至少两台三维线结构光相机,采集路面图像数据和车辆的加速度数据;

S2. 将采集到的路面图像数据进行预处理;

S3. 消除车辆振动对采集数据的影响,具体是,将加速度传感器采集到的加速度数据作为修正值,对三维结构光相机采集到的路面图像数据进行修正,如下公式:

$$me^2+ce1+ke2=F(t)$$

其中, m 为压电晶体的质量 kg , c 为胶层的阻尼系数 $N \cdot s/m$, k 为压电晶体的刚度系数 N/m , e 为压电晶体的位移 m , $e1$ 为压电晶体的速度 m/s , $e2$ 为压电晶体的加速度 m/s^2 , $F(t)$ 为作用于压电式加速度传感器的外力;

S4. 将三维线结构光相机采集到的路面图像数据进行融合,包括以下步骤:

S41. 将待融合的三维点云图A1、A2分别进行平面投影,投影后的图像记为B1、B2;

S42. 对图像B1和B2分别进行傅里叶变换:

$$F(u, v) = \sum_{q=0}^{M-1} \sum_{r=0}^{N-1} f(q, r) e^{-j2\pi(\frac{uq}{M} + \frac{vr}{N})}$$

其中, $f(q, r)$ 代表图像像素矩阵, M 和 N 为图像像素矩阵的行和列, $q=0, 1 \cdots M-1, r=0, 1 \cdots N-1$; $F(u, v)$ 表示 $f(q, r)$ 的傅里叶变换,转换为三角函数表示方法,其中, u 和 v 用于确定正余弦的频率; j 表示复数;

S43. 基于傅里叶变换后的图像,分别计算B1和B2的功率谱P1、P2和相位值 $\Phi 1$ 和 $\Phi 2$;

功率谱计算方法如下:

$$P(u, v) = |F(u, v)|^2 = R^2(u, v) + I^2(u, v)$$

其中, $P(u, v)$ 为 $F(u, v)$ 的功率谱, $R(u, v)$ 和 $I(u, v)$ 分别为 $F(u, v)$ 的实部和虚部;

相位计算方法如下:

$$\phi(u, v) = \arctan \left[\frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right]$$

S44. 以图像B1为基准,通过图像B2刚性变换的方式,进行两幅图像的配准;

S45. 记录下相位匹配值的最大值 Φ_{max} ,记录B2m往B1方向平移的平移矩阵 T_M ;

S46. 记录相位匹配最大值对应的图像B2m的 T_{max} 和 R_{max} ;

$$T_{max} = T1 + T_M$$

$$R_{max} = R$$

其中, T_M 为B2m往B1方向平移的平移矩阵; T_{max} 表示最大平移矩阵; R_{max} 表示最大旋转矩阵;

S47. 计算图像B1和B2m的重叠区域,记为矩形区域C;

S48. 依据面积,对矩形区域C进行8等分,分割完成后,出现15个分割点;

S49. 分别提取15个分割点位置,在三维点云图A1和A2中对应的高度值,分别计算高度的平均值H1和H2;

S410. 计算高差 $\Delta H = H1 - H2$;定义向上为正方向,向下为负方向;

S411. 以A1为基准,将A2通过平移矩阵 T_{max} 、旋转矩阵 R_{max} 和竖向移动位移 ΔH 的位置

变换,实现三维点云图A1和A2的配准融合,融合后的图像记为A3;

S5. 构建三维空矩阵和平面断层切割,完成路面车辙病害的三维重构,包括以下步骤:

S51. 采用垂直投影的方式,将三维车辙图像进行垂直投影,得到车辙的二维图像;

S52. 用卷积计算的方式,提取车辙的边缘,包括以下步骤:

S521. 建立卷积矩阵 U_x, U_y ,分别如下:

$$U_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$U_y = \begin{bmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{bmatrix}$$

S522. 将车辙二维图像分别与矩阵 U_x, U_y 进行卷积运算,将卷积最大值作为输出值,运算结果为车辙图像的边缘;

S53. 绘制车辙边缘的外接矩形,提取外接矩形的长度H和宽度W;

S54. 提取三维车辙图像中,车辙病害的最大深度,记为D;

S55. 建立一个空的三维矩阵J,三维矩阵的尺寸与车辙病害的长度、宽度和深度保持一致,三维矩阵的行数为W,列数为H,页数为D;矩阵内部元素均设置为0;

S56. 提取采集到的三维车辙图像,采用平面A逐层切割图像的方式,记录全部层位的切割断面位置;

S57. 将切割位置映射到S55所述的三维矩阵J中,切割断面区域的元素全部设置为1,即构建得到三维车辙形成的三维矩阵;

S6. 基于路面车辙病害三维重构计算车辙体积 V_R ,包括以下步骤:

S61. 建立虚拟平面VS,虚拟平面VS与行车方向和道路平面垂直;

S62. 提取车辙三维矩阵的第一页矩阵MWH1,其中,W方向为道路横断面方向,H方向为行车方向;

S63. 选取第一页矩阵MWH1的第一列向量对应的全部元素,依次编号为 N_1, N_2, \dots, N_S ;

S64. 将虚拟平面VS移动至 N_1 位置,记录虚拟平面VS与三维矩阵的切割平面为 VN_1 ;

S65. 以 N_1 点为起点, N_1 点的元素为0,搜索与 N_1 点上方、下方、左方、右方、左上、右上、左下、右下共8个方向相连的元素为0的点,并记录;

S66. 以 N_1 点与8个方向相连的元素为0的点为基准点,搜索与8个方向相连的元素为0的点,并记录;

S67. 重复S66,直至无法搜索到与8个方向相连点的下方、左下、右下3个方向元素为0的点,停止搜索;

S68. 统计S65~S67记录点的数量,记为 NN_1 ;

S69. 依次将虚拟平面VS移动至点 N_2, \dots, N_H 上,并重复S64~S68,依次得到全部记录下来的元素为0的点的数量 $NN_2, NN_3, \dots, NN_{H-1}, NN_H$;

S610. 基于元素为0的点的数量与车辙体积间的关系,计算得到车辙的体积 V_R ,具体公式如下:

$$V_R = \sum_{a=1}^H N_{Na} \times S_{ar} \times l_a$$

式中, N_{Na} 为元素为0的点的数量; Na 为矩阵MWH1的第一列向量对应的元素点; S_{ar} 为点云图中, 四个点围成的面积; l_a 为矩阵MWH1的第一列向量中相邻元素间的距离。

2. 根据权利要求1所述的一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法, 其特征在于,

采集路面图像数据的方法是: 驾驶车辆且将车速控制在70km/h内, 利用三维线结构光相机采集路面图像;

采集车辆的加速度数据的方法是: 采用加速度传感器采集车辆多个方向的加速度数据。

3. 根据权利要求2所述的一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法, 其特征在于, S2具体是, 包括以下步骤:

S21. 对图像进行变换;

将小波分解层数设置为10, 小波基选择Haar, 如下公式:

$$\psi(V) = \begin{cases} 1, 0 \leq V < 1/2 \\ -1, 1/2 \leq V < 1 \\ 0, V < 0 \text{ 或 } V \geq 1 \end{cases}$$

其中, V 为支撑域的范围, ψ 为小波基的值;

S22. 对图像进行增强;

S23. 对图像进行编码压缩。

4. 根据权利要求3所述的一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法, 其特征在于, S44具体是, 包括以下步骤:

S441. 以图像B1的形心坐标 (x_1, y_1) 为坐标系原点0, 沿图像长轴方向定义为x轴方向, 沿图像短轴方向定位为y轴方向;

S442. 确定图像B2的形心坐标 (x_2, y_2) ;

S443. 以图像B1的形心位置为基准, 通过沿y轴平移B2图像, 实现两张图像的形心在同一y轴高度, 平移向量为T1, 图像B2平移后的图像记为B2m, 平移前后的图像位置关系如下:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} + T1$$

$$T1 = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix}$$

其中, t_x 为沿x方向的平移距离; t_y 为沿y方向的平移距离;

S444. 以图片形心为旋转基准点, 旋转角度记为 α , 旋转后, 保证B2的长轴与B1的长轴共线, 旋转后的位置与初始位置间的关系如下:

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

其中, (x_0, y_0) 为初始位置, (x_2', y_2') 为旋转后的位置, α 为旋转角度, R 为旋转矩阵;

S445. 以图像B1为基准, 以B2m指向B1的方向为B2m的移动方向, 将图像B2m向B1方向移动, 当B2m与B1交叉时, 移动的步长调整为1像素; 此时, 开始计算B2m与B1相位匹配值 Φ , 相位匹配值计算方法采用传统的傅里叶-梅林变换。

5. 一种电子设备, 其特征在于, 包括存储器和处理器, 存储器存储有计算机程序, 所述的处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1-4任一项所述的一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法的步骤。

6. 一种计算机可读存储介质, 其上存储有计算机程序, 其特征在于, 所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1-4任一项所述的一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法。

一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法

技术领域

[0001] 本申请涉及车辙体积计算方法,尤其涉及一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法,属于车辙体积计算技术领域。

背景技术

[0002] 路面病害的识别和修复是道路养护工作的重要内容,路面病害中,车辙对车辆的安全行驶影响较大,车辙变形产生的“沟槽效应”,不仅会引起车体倾斜、颠簸,而且加速了车辆的损耗。而雨天车辙积水,降低了路面的磨擦系数,也降低了车辆的可操纵性和稳定性,甚至引发交通事故。因此,车辙变形直接关系到道路为用户提供的舒适性、安全性、快捷性等服务水平,关系到道路本身的使用寿命。车辙修复过程中,修复材料的用量是保障修复质量的重要因素之一。受到环境、荷载、养护状态等因素的影响,不同时期、不同地区、不同路段的车辙数量、车辙损伤程度等均存在较大差异,这些差异直接导致车辙修复材料工程量的需求不同。对应车辙养护而言,少量的车辙修复材料无法满足修复需求,会引发车辙的进一步发育和扩展,威胁行车安全;过量的车辙修复材料会导致资源浪费,违背了可持续发展战略。

[0003] 传统的车辙修复材料工程量计算方法中,通常通过计算车辙的体积得到,具体分为3类,具体如下:

[0004] (1)人工直尺测量。此类方法为接触式测量方法,通过将横断面尺放置在测定断面上,目光平视测记横断面尺与路面之间的距离,根据测定读数绘制断面图,计算出车辙深度和宽度,然后估算出车辙的体积。此类方法操作简单,但速度慢、效率低,测量数据少,仅能采用抽样的方式进行测量,计算结果主观性强,误差较大。

[0005] (2)图像处理技术。此类方法为非接触式测量方法,通过相机拍摄车辙图像,采用图像处理的方式,计算车辙的面积,通过估算车辙整体的深度信息,计算车辙的体积。此类方法计算速度快,可全面、完整地识别出路面的车辙,但车辙深度估计不准确,车辙体积计算误差较大。

[0006] (3)激光测距技术。通常采用5~13个激光传感器,同时采集不同激光传感器对应点位的车辙深度,结合传感器间的间距,计算得到车辙体积。此类方法检测速度快,但检测精度受到激光传感器检测位置的影响较大,检测精度不稳定。

[0007] 为此,有研究人员提出了一种基于路面连续激光点云的车辙精细三维特征提取方法(CN110675392A),该方法基于路面激光点云的高度、坡度、坡向信息,结合图像处理方法,提取得到车辙平面轮廓线和横断面轮廓线,进而联合表达车辙三维特征。然而,此类方法需要对海量的三维点云数据直接进行处理,计算工作量巨大,对计算机的算力要求高、成本高,无法推广至日常的道路检测业务中。同时,采用轮廓线的方式对车辙的体积进行计算时,涉及到三维体积信息到一维信息和二维信息的转换,转换过程中会由于维度的差异,引发信息提取的差异,导致车辙体积计算不准确。

[0008] 因此,现有的车辙体积计算方法无法满足车辙体积数字化检测的要求。亟需一种

准确采集道路车辙信息、精确计算车辙体积的计算方法,精确指导车辙修复材料的工程量需求,同时实现精准修复车辙病害、最大程度节约养护材料用量、降低养护成本的目的。

发明内容

[0009] 在下文中给出了关于本发明的简要概述,以便提供关于本发明的某些方面的基本理解。应当理解,这个概述并不是关于本发明的穷举性概述。它并不是意图确定本发明的关键或重要部分,也不是意图限定本发明的范围。其目的仅仅是以简化的形式给出某些概念,以此作为稍后论述的更详细描述的前序。

[0010] 鉴于此,为解决现有技术中存在的路面车辙的体积计算资源多、速度慢、计算精度低技术问题,本发明提供一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法

[0011] 方案一:一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法,包括以下步骤:

[0012] S1. 在车辆上安装气压式减振器、压电式加速度传感器和至少两台三维线结构光相机,采集路面图像数据和车辆的加速度数据;

[0013] S2. 将采集到的路面图像数据进行预处理;

[0014] S3. 消除车辆振动对采集数据的影响;

[0015] S4. 将三维线结构光相机采集到的路面图像数据进行融合;

[0016] S5. 构建三维空矩阵和平面断层切割,完成路面车辙病害的三维重构;

[0017] S6. 基于路面车辙病害三维重构计算车辙体积 V_R ,包括以下步骤:

[0018] S61. 建立虚拟平面 VS ,虚拟平面 VS 与行车方向和道路平面垂直;

[0019] S62. 提取车辙三维矩阵的第一页矩阵 $MWH1$,其中, W 方向为道路横断面方向, H 方向为行车方向;

[0020] S63. 选取第一页矩阵 $MWH1$ 的第一列向量对应的全部元素,依次编号为 $N1, N2, \dots, NH$;

[0021] S64. 将虚拟平面 VS 移动至 $N1$ 位置,记录虚拟平面 VS 与三维矩阵的切割平面为 $VN1$;

[0022] S65. 以 $N1$ 点为起点, $N1$ 点的元素为0,搜索与 $N1$ 点上方、下方、左方、右方、左上、右上、左下、右下共8个方向相连的元素为0的点,并记录;

[0023] S66. 以 $N1$ 点与8个方向相连的元素为0的点为基准点,搜索与8个方向相连的元素为0的点,并记录;

[0024] S67. 重复S66,直至无法搜索到与8个方向相连点的下方、左下、右下3个方向元素为0的点,停止搜索;

[0025] S68. 统计S65~S67记录点的数量,记为 $NN1$;

[0026] S69. 依次将虚拟平面 VS 移动至点 $N2, \dots, NH$ 上,并重复S64~S68,依次得到全部记录下来元素为0的点的数量 $NN2, NN3, \dots, NNH-1, NNH$;

[0027] S610. 基于元素为0的点的数量与车辙体积间的关系,计算得到车辙的体积 V_R ,具体公式如下:

$$[0028] \quad V_R = \sum_{a=1}^H N_{Na} \times S_{ar} \times l_a$$

[0029] 式中, N_{Na} 为元素为0的点的数量; Na 为矩阵 $MWH1$ 的第一列向量对应的元素点; S_{ar} 为点云图中,四个点围成的面积; l_a 为矩阵 $MWH1$ 的第一列向量中相邻元素间的距离。

[0030] 优选的,采集路面图像数据的方法是:驾驶车辆且将车速控制在70km/h内,利用三维线结构光相机采集路面图像;

[0031] 采集车辆的加速度数据的方法是:采用压电式加速度传感器采集车辆多个方向的加速度数据。

[0032] 优选的,S2具体是,包括以下步骤:

[0033] S21.对图像进行变换;

[0034] 将小波分解层数设置为10,小波基选择Haar,如下公式:

$$[0035] \quad \psi(V) = \begin{cases} 1, 0 \leq V < 1/2 \\ -1, 1/2 \leq V < 1 \\ 0, V < 0 \text{ 或 } V \geq 1 \end{cases}$$

[0036] 其中,V为支撑域的范围, ψ 为小波基的值;

[0037] S22.对图像进行增强;

[0038] S23.对图像进行编码压缩。

[0039] 优选的,S3具体是,将压电式加速度传感器采集到的加速度数据作为修正值,对三维结构光相机采集到的路面图像数据进行修正,如下公式:

$$[0040] \quad me^2 + ce1 + ke2 = F(t)$$

[0041] 其中,m为压电晶体的质量kg,c为胶层的阻尼系数N·s/m,k为压电晶体的刚度系数N/m,e为压电晶体的位移m,e1为压电晶体的速度m/s,e2为压电晶体的加速度m/s²,F(t)为作用于压电式加速度传感器的外力N。

[0042] 优选的,S4具体是,包括以下步骤:

[0043] S41.将待融合的三维点云图A1、A2分别进行平面投影,投影后的图像记为B1、B2;

[0044] S42.对图像B1和B2分别进行傅里叶变换:

$$[0045] \quad F(u, v) = \sum_{q=0}^{M-1} \sum_{r=0}^{N-1} f(q, r) e^{-j2\pi(\frac{uq}{M} + \frac{vr}{N})}$$

[0046] 其中,f(q,r)代表图像像素矩阵,M和N为图像像素矩阵的行和列,q=0,1···M-1,r=0,1···N-1;F(u,v)表示f(q,r)的傅里叶变换,可以转换为三角函数表示方法,其中,u和v用于确定正余弦的频率;j表示复数;

[0047] S43.基于傅里叶变换后的图像,分别计算B1和B2的功率谱P1、P2和相位值 $\Phi 1$ 和 $\Phi 2$;

[0048] 功率谱计算方法如下:

$$[0049] \quad P(u, v) = |F(u, v)|^2 = R^2(u, v) + I^2(u, v)$$

[0050] 其中,P(u,v)为F(u,v)的功率谱,R(u,v)和I(u,v)分别为F(u,v)的实部和虚部;

[0051] 相位计算方法如下:

$$[0052] \quad \phi(u, v) = \arctan \left[\frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right]$$

[0053] S44.以图像B1为基准,通过图像B2刚性变换的方式,进行两幅图像的配准;

[0054] S45.记录下相位匹配值的最大值 Φ_{\max} ,记录B2m往B1方向平移的平移矩阵 T_m ;

[0055] S46.记录相位匹配最大值对应的图像B2m的 T_{\max} 和 R_{\max} ;

$$[0056] \quad T_{\max} = T1 + T_M$$

$$[0057] \quad R_{\max} = R$$

[0058] 其中, T_M 为 B2m 往 B1 方向平移的平移矩阵; T_{\max} 表示最大平移矩阵; R_{\max} 表示旋转矩阵;

[0059] S47. 计算图像 B1 和 B2m 的重叠区域, 记为矩形区域 C;

[0060] S48. 依据面积, 对矩形区域 C 进行 8 等分, 分割完成后, 出现 15 个分割点;

[0061] S49. 分别提取 15 个分割点位置, 在三维点云图 A1 和 A2 中对应的高度值, 分别计算高度的平均值 H1 和 H2;

[0062] S410. 计算高差 $\Delta H = H1 - H2$; 定义向上为正方向, 向下为负方向;

[0063] S411. 以 A1 为基准, 将 A2 通过平移矩阵 T_{\max} 、旋转矩阵 R_{\max} 和竖向移动位移 ΔH 的位置变换, 实现三维点云图 A1 和 A2 的配准融合, 融合后的图像记为 A3。

[0064] 优选的, S44 具体是, 包括以下步骤:

[0065] S441. 以图像 B1 的形心坐标 (x_1, y_1) 为坐标系原点 0, 沿图像长轴方向定义为 x 轴方向, 沿图像短轴方向定位为 y 轴方向;

[0066] S442. 确定图像 B2 的形心坐标 (x_2, y_2) ;

[0067] S443. 以图像 B1 的形心位置为基准, 通过沿 y 轴平移 B2 图像, 实现两张图像的形心在同一 y 轴高度, 平移向量为 T1, 图像 B2 平移后的图像记为 B2m, 平移前后的图像位置关系如下:

$$[0068] \quad \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} + T1$$

$$[0069] \quad T1 = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix}$$

[0070] 其中, t_x 为沿 x 方向的平移距离; t_y 为沿 y 方向的平移距离;

[0071] S444. 以图片形心为旋转基准点, 旋转角度记为 α , 旋转后, 保证 B2 的长轴与 B1 的长轴共线, 旋转后的位置与初始位置间的关系如下:

$$[0072] \quad \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}$$

$$[0073] \quad R = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

[0074] 其中, (x_0, y_0) 为初始位置, (x_2, y_2) 为旋转后的位置, α 为旋转角度, R 为旋转矩阵;

[0075] S445. 以图像 B1 为基准, 以 B2m 指向 B1 的方向为 B2m 的移动方向, 将图像 B2m 向 B1 方向移动, 当 B2m 与 B1 交叉时, 移动的步长调整为 1 像素; 此时, 开始计算 B2m 与 B1 相位匹配值 Φ , 相位匹配值计算方法采用传统的傅里叶-梅林变换。

[0076] 优选的, S5 具体是, 包括以下步骤:

[0077] S51. 采用垂直投影的方式, 将三维车辙图像进行垂直投影, 得到车辙的二维图像;

[0078] S52. 用卷积计算的方式, 提取车辙的边缘, 包括以下步骤:

[0079] S521. 建立卷积矩阵 U_x, U_y , 分别如下:

$$[0080] \quad U_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$[0081] \quad U_y = \begin{bmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{bmatrix}$$

[0082] S522. 将车辙二维图像分别与矩阵 U_x, U_y 进行卷积运算, 将卷积最大值作为输出值, 运算结果为车辙图像的边缘;

[0083] S53. 绘制车辙边缘的外接矩形, 提取外接矩形的长度 H 和宽度 W ;

[0084] S54. 提取三维车辙图像中, 车辙病害的最大深度, 记为 D ;

[0085] S55. 建立一个空的三维矩阵 J , 三维矩阵的尺寸与车辙病害的长度、宽度和深度保持一致, 三维矩阵的行数为 W , 列数为 H , 页数为 D ; 矩阵内部元素均设置为0;

[0086] S56. 提取采集到的三维车辙图像, 采用平面 A 逐层切割图像的方式, 记录全部层位的切割断面位置;

[0087] S57. 将切割位置映射到S55所述的三维矩阵 J 中, 切割断面区域的元素全部设置为1, 即构建得到三维车辙形成的三维矩阵。

[0088] 方案二: 一种电子设备, 包括存储器和处理器, 存储器存储有计算机程序, 所述的处理器执行所述计算机程序时实现方案一所述一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法的步骤。

[0089] 方案三: 一种计算机可读存储介质, 其上存储有计算机程序, 所述计算机程序被处理器执行时实现方案一所述的一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法。

[0090] 本发明的有益效果如下:

[0091] (2) 车辙体积的计算全面覆盖所有车辙位置信息, 没有对车辙信息进行简化处理, 计算精度高;

[0092] (2) 通过车辆防震、压电式加速度传感器数据的修正, 可获取高精度的路面三维数据, 尤其是深度方向的数据, 精度更高;

[0093] (3) 双相机采集数据的融合方法快速易行、普适性强, 且占用计算资源少;

[0094] (4) 路面车辙病害的三维重构和尺寸提取方法更加快速、便捷, 占用计算资源少。

附图说明

[0095] 此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解, 构成本申请的一部分, 本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请, 并不构成对本申请的不当限定。在附图中:

[0096] 图1为一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法示意图;

[0097] 图2为以图像 $B1$ 的形心坐标为坐标系原点 O , 沿图像长轴方向定义为 x 轴方向, 沿图像短轴方向定位为 y 轴方向的坐标示意图;

[0098] 图3为平移前后图像的位置关系示意图;

[0099] 图4为旋转角度示意图;

[0100] 图5为旋转后 $B1$ 和 $B2m$ 共线示意图。

具体实施方式

[0101] 为了使本申请实施例中的技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图对本申请的示例性实施例进行进一步详细的说明,显然,所描述的实施例仅是本申请的一部分实施例,而不是所有实施例的穷举。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0102] 实施例1、参照图1-图5说明本实施方式,一种基于路面车辙病害三维重构的车辙体积计算方法,包括以下步骤:

[0103] S1.在车辆上安装气压式减振器、压电式加速度传感器和至少两台三维线结构光相机;采集路面图像数据和车辆的加速度数据;

[0104] 采集路面图像数据:驾驶车辆且将车速控制在70km/h内,利用三维线结构光相机采集路面图像;

[0105] 采集车辆的加速度数据:采用压电式加速度传感器采集车辆多个方向的加速度数据;

[0106] S2.将采集到的路面图像数据进行预处理;

[0107] 对图像进行预处理的方法是:

[0108] S21.对图像进行变换;

[0109] 将小波分解层数设置为10,小波基选择Haar,如下公式:

$$[0110] \quad \psi(V) = \begin{cases} 1, 0 \leq V < 1/2 \\ -1, 1/2 \leq V < 1 \\ 0, V < 0 \text{ 或 } V \geq 1 \end{cases}$$

[0111] 其中,V为支撑域的范围, ψ 为小波基的值;

[0112] 采用小波变换的方式,处理采集到的路面三维数据,实现时域信息到频域信息的转变,进而提取道路表面的频率特征;同时,在频域上对路面信息进行处理时,可以减小计算量,获得更佳的处理效果。

[0113] S22.对图像进行增强;

[0114] 图像在形成、传输和记录中,由于成像系统、传输介质和设备的不完善,导致图像质量下降;因此,为了提高图像的质量,去除噪声、提高图像的清晰度,采用传统的高斯滤波法对图像进行增强。

[0115] S23.对图像进行编码压缩。

[0116] 图像编码压缩技术可减少描述图像的数据量,以便节省图像传输、处理时间和减少所占用的存储器容量,因此,采用哈夫曼编码方式,实现图像的压缩。

[0117] S3.消除车辆振动对采集数据的影响;

[0118] 将压电式加速度传感器采集到的加速度数据作为修正值,对三维结构光相机采集到的路面图像数据进行修正,如下公式:

$$[0119] \quad me^2 + ce1 + ke2 = F(t)$$

[0120] 其中,m为压电晶体的质量kg,c为胶层的阻尼系数N·s/m,k为压电晶体的刚度系数N/m,e为压电晶体的位移m,e1为压电晶体的速度m/s,e2为压电晶体的加速度m/s²,F(t)为作用于压电式加速度传感器的外力N;

[0121] 通常,道路检测通过车载相机的形式进行,因此,车辆行驶过程中,相机采集图像

的质量影响车辙病害的分析效果;对于三维图像而言,深度方向的信息受到车辆振动的影响较大;因此,提出通过数据处理和加装防振设备两种方式组合的方法,消除车辆振动对数据造成的影响。

[0122] 在车辆上安装气压式减振器,可将路面颠簸引起的振动由防振设备吸收,有效减小车载相机的振动。

[0123] S4.将三维线结构光相机采集到的路面图像数据进行融合;

[0124] 由于单相机的拍摄范围有限,无法覆盖单个车道的宽度,本实施例采用两台相机协同拍摄的,开展路面信息的采集工作;两台相机同时拍摄时,需要将两台相机的图像融合成一张图像,由于采集到的是三维图像,两张三维图像进行融合时,受到点云数量的影响,图像融合过程工作量大、计算时间长,融合效果易受到深度信息的影响;而路表的深度信息易受到采集过程的干扰,与平面信息相比,深度方向上点云的完美匹配更加困难;因此,将三维线结构光相机采集到的路面图像数据进行融合,具体包括以下步骤:

[0125] S41.将待融合的三维点云图A1、A2分别进行平面投影,投影后的图像记为B1、B2;

[0126] S42.对图像B1和B2分别进行傅里叶变换:

$$[0127] \quad F(u,v) = \sum_{q=0}^{M-1} \sum_{r=0}^{N-1} f(q,r) e^{-j2\pi(\frac{uq}{M} + \frac{vr}{N})}$$

[0128] 其中, $f(q,r)$ 代表图像像素矩阵, M 和 N 为图像像素矩阵的行和列, $q=0,1\cdots M-1,r=0,1\cdots N-1$; $F(u,v)$ 表示 $f(x,y)$ 的傅里叶变换,可以转换为三角函数表示方法,其中, u 和 v 用于确定正余弦的频率; j 表示复数;

[0129] S43.基于傅里叶变换后的图像,分别计算B1和B2的功率谱P1、P2和相位值 $\Phi 1$ 和 $\Phi 2$;

[0130] 功率谱计算方法如下:

$$[0131] \quad P(u,v) = |F(u,v)|^2 = R^2(u,v) + I^2(u,v)$$

[0132] 其中, $P(u,v)$ 为 $F(u,v)$ 的功率谱, $R(u,v)$ 和 $I(u,v)$ 分别为 $F(u,v)$ 的实部和虚部;

[0133] 相位计算方法如下:

$$[0134] \quad \phi(u,v) = \arctan \left[\frac{I(u,v)}{R(u,v)} \right]$$

[0135] S44.以图像B1为基准,通过图像B2刚性变换的方式,进行两幅图像的配准,包括以下步骤:

[0136] S441.以图像B1的形心坐标 (x_1,y_1) 为坐标系原点 O ,沿图像长轴方向定义为 x 轴方向,沿图像短轴方向定位为 y 轴方向;坐标系示意图参照图2;

[0137] S442.确定图像B2的形心坐标 (x_2,y_2) ;

[0138] S443.以图像B1的形心位置为基准,通过沿 y 轴平移B2图像,实现两张图像的形心在同一 y 轴高度,平移向量为 $T1$,图像B2平移后的图像记为 $B2_m$,平移前后的图像位置关系如下:平移前后图像的位置关系示意图参照图3;

$$[0139] \quad \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} + T1$$

$$[0140] \quad T1 = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix}$$

[0141] 其中, t_x 为沿x方向的平移距离; t_y 为沿y方向的平移距离;

[0142] S444. 以图片形心为旋转基准点, 旋转角度记为 α , 旋转后, 保证B2的长轴与B1的长轴共线, 旋转后的位置与初始位置间的关系如下:

$$[0143] \quad \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}$$

$$[0144] \quad R = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

[0145] 其中, (x_0, y_0) 为初始位置, (x_2, y_2) 为旋转后的位置, α 为旋转角度, R 为旋转矩阵; 旋转角度示意图参照图4, 旋转后B1和B2m共线示意图参照图5;

[0146] S445. 以图像B1为基准, 以B2m指向B1的方向为B2M的移动方向, 将图像B2m向B1方向移动, 当B2m与B1交叉时, 移动的步长调整为1像素; 此时, 开始计算B2m与B1相位匹配值 Φ , 相位匹配值计算方法采用传统的傅里叶-梅林变换。

[0147] S45. 记录下相位匹配值的最大值 Φ_{\max} , 记录B2m往B1方向平移的平移矩阵 T_m ;

[0148] S46. 记录相位匹配最大值对应的图像B2m的 T_{\max} 和 R_{\max} ;

$$[0149] \quad T_{\max} = T1 + T_M$$

$$[0150] \quad R_{\max} = R$$

[0151] 其中, T_M 为B2m往B1方向平移的平移矩阵; T_{\max} 表示最大平移矩阵; R_{\max} 表示旋转矩阵;

[0152] S47. 计算图像B1和B2m的重叠区域, 记为矩形区域C;

[0153] S48. 依据面积, 对矩形区域C进行8等分, 分割完成后, 出现15个分割点;

[0154] S49. 分别提取15个分割点位置, 在三维点云图A1和A2中对应的高度值, 分别计算高度的平均值 $H1$ 和 $H2$;

[0155] S410. 计算高差 $\Delta H = H1 - H2$; 定义向上为正方向, 向下为负方向;

[0156] S411. 以A1为基准, 将A2通过平移矩阵 T_{\max} 、旋转矩阵 R_{\max} 和竖向移动位移 ΔH 的位置变换, 实现三维点云图A1和A2的配准融合, 融合后的图像记为A3。

[0157] S5. 构建三维空矩阵和平面断层切割, 完成路面车辙病害的三维重构;

[0158] S51. 采用垂直投影的方式, 将三维车辙图像进行垂直投影, 得到车辙的二维图像;

[0159] S52. 用卷积计算的方式, 提取车辙的边缘, 包括以下步骤:

[0160] S521. 建立卷积矩阵 U_x, U_y , 分别如下:

$$[0161] \quad U_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$[0162] \quad U_y = \begin{bmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{bmatrix}$$

[0163] S522. 将车辙二维图像分别与矩阵 U_x, U_y 进行卷积运算, 将卷积最大值作为输出值, 运算结果为车辙图像的边缘;

[0164] S53. 绘制车辙边缘的外接矩形, 提取外接矩形的长度 H 和宽度 W ;

[0165] S54. 提取三维车辙图像中, 车辙病害的最大深度, 记为 D ;

[0166] S55. 建立一个空的三维矩阵 J , 三维矩阵的尺寸与车辙病害的长度、宽度和深度保持一致, 三维矩阵的行数为 W , 列数为 H , 页数为 D ; 矩阵内部元素均设置为0;

[0167] S56. 提取采集到的三维车辙图像, 采用平面 A 逐层切割图像的方式, 记录全部层位的切割断面位置;

[0168] S57. 将切割位置映射到S55所述的三维矩阵 J 中, 切割断面区域的元素全部设置为1, 即构建得到三维车辙形成的三维矩阵。

[0169] S6. 基于路面车辙病害三维重构计算车辙体积 V_R , 包括以下步骤:

[0170] S61. 建立虚拟平面 VS , 虚拟平面 VS 与行车方向和道路平面垂直;

[0171] S62. 提取车辙三维矩阵的第一页矩阵 MWH_1 , 其中, W 方向为道路横断面方向, H 方向为行车方向;

[0172] S63. 选取第一页矩阵 MWH_1 的第一列向量对应的全部元素, 依次编号为 N_1, N_2, \dots, N_H ;

[0173] S64. 将虚拟平面 VS 移动至 N_1 位置, 记录虚拟平面 VS 与三维矩阵的切割平面为 VN_1 ;

[0174] S65. 以 N_1 点为起点, N_1 点的元素为0, 搜索与 N_1 点上方、下方、左方、右方、左上、右上、左下、右下共8个方向相连的元素为0的点, 并记录;

[0175] S66. 以 N_1 点与8个方向相连的元素为0的点为基准点, 搜索与8个方向相连的元素为0的点, 并记录;

[0176] S67. 重复S66, 直至无法搜索到与8个方向相连点的下方、左下、右下3个方向元素为0的点, 停止搜索;

[0177] S68. 统计S65~S67记录点的数量, 记为 NN_1 ;

[0178] S69. 依次将虚拟平面 VS 移动至点 N_2, \dots, N_H 上, 并重复S64~S68, 依次得到全部记录下来元素为0的点的数量 $NN_2, NN_3, \dots, NN_{H-1}, NN_H$;

[0179] S610. 基于元素为0的点的数量与车辙体积间的关系, 计算得到车辙的体积 V_R , 具体公式如下:

$$[0180] \quad V_R = \sum_{a=1}^H N_{Na} \times S_{ar} \times l_a$$

[0181] 式中, N_{Na} 为元素为0的点的数量; N_a 为矩阵 MWH_1 的第一列向量对应的元素点; S_{ar} 为点云图中, 四个点围成的面积; l_a 为矩阵 MWH_1 的第一列向量中相邻元素间的距离。

[0182] 实施例2、本发明的计算机装置可以是包括有处理器以及存储器等装置, 例如包含中央处理器的单片机等。并且, 处理器用于执行存储器中存储的计算机程序时实现上述方法的步骤。

[0183] 所称处理器可以是中央处理单元 (Central Processing Unit, CPU), 还可以是其他通用处理器、数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP)、专用集成电路 (Application Specific Integrated Circuit, ASIC)、现成可编程门阵列 (Field-Programmable Gate Array, FPGA) 或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

[0184] 所述存储器可主要包括存储程序区和存储数据区, 其中, 存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序 (比如声音播放功能、图像播放功能等) 等; 存储数据区可存储根据手机的使用所创建的数据 (比如音频数据、电话本等) 等。此外, 存储器可以包括高速随机存取存储器, 还可以包括非易失性存储器, 例如硬盘、内存、插接式硬盘, 智能存储卡 (Smart Media Card, SMC), 安全数字 (Secure Digital, SD) 卡, 闪存卡 (Flash Card)、至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他易失性固态存储器件。

[0185] 实施例3、计算机可读存储介质实施例

[0186] 本发明的计算机可读存储介质可以是被计算机装置的处理器所读取的任何形式的存储介质, 包括但不限于非易失性存储器、易失性存储器、铁电存储器等, 计算机可读存储介质上存储有计算机程序, 当计算机装置的处理器读取并执行存储器中所存储的计算机程序时, 可以实现上述方法的步骤。

[0187] 所述计算机程序包括计算机程序代码, 所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读介质可以包括: 能够携带所述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器 (ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器 (RAM, Random Access Memory)、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是, 所述计算机可读介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减, 例如在某些司法管辖区, 根据立法和专利实践, 计算机可读介质不包括电载波信号和电信信号。

[0188] 尽管根据有限数量的实施例描述了本发明, 但是受益于上面的描述, 本技术领域内的技术人员明白, 在由此描述的本发明的范围内, 可以设想其它实施例。此外, 应当注意, 本说明书中使用的语言主要是为了可读性和教导的目的而选择的, 而不是为了解释或者限定本发明的主题而选择的。因此, 在不偏离所附权利要求书的范围和精神的情况下, 对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。对于本发明的范围, 对本发明所做的公开是说明性的, 而非限制性的, 本发明的范围由所附权利要求书限定。

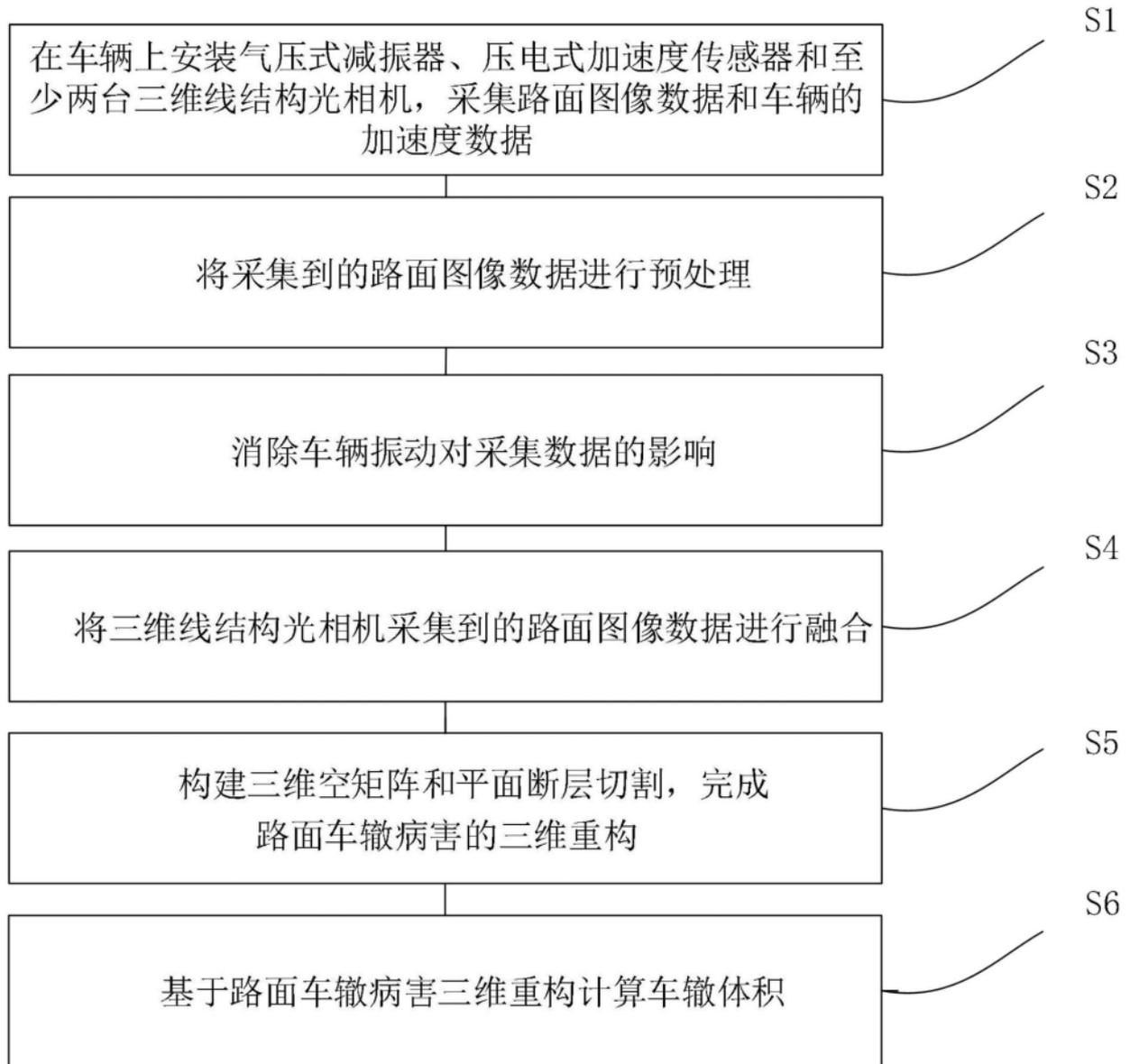


图1

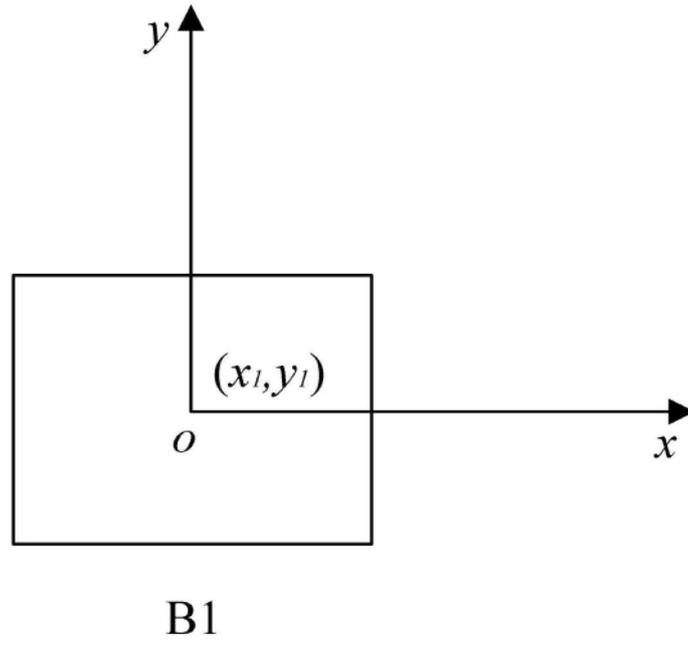


图2

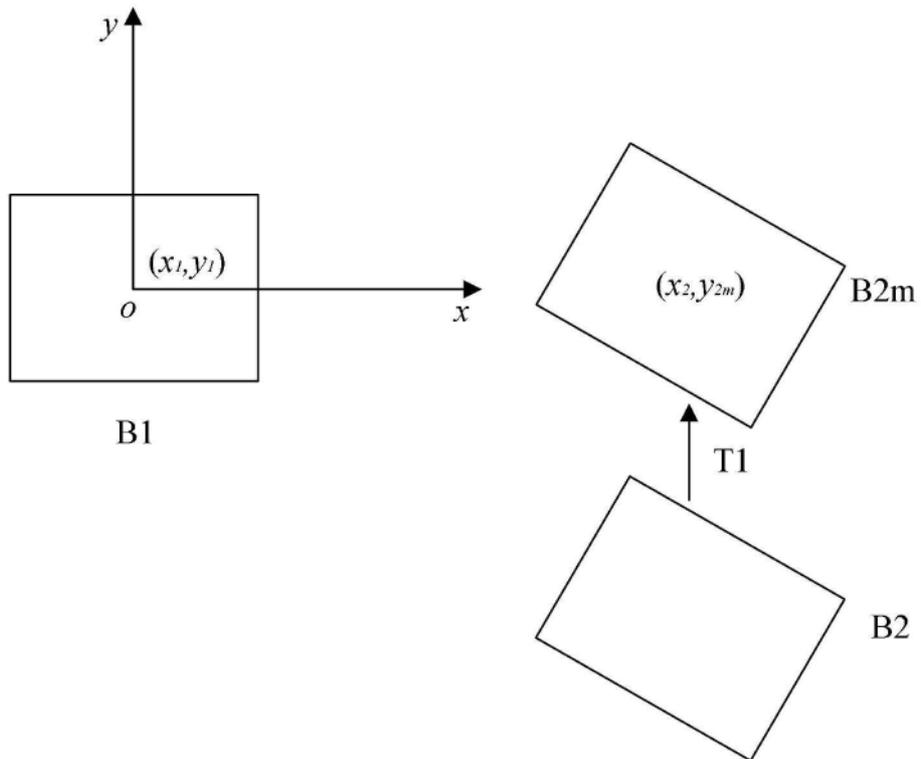


图3

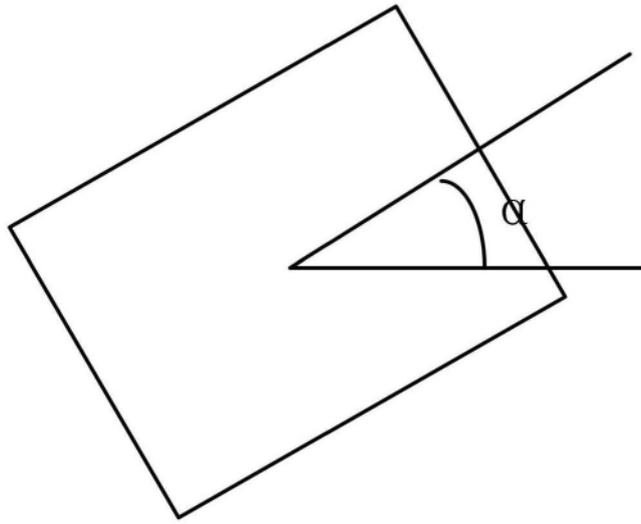


图4

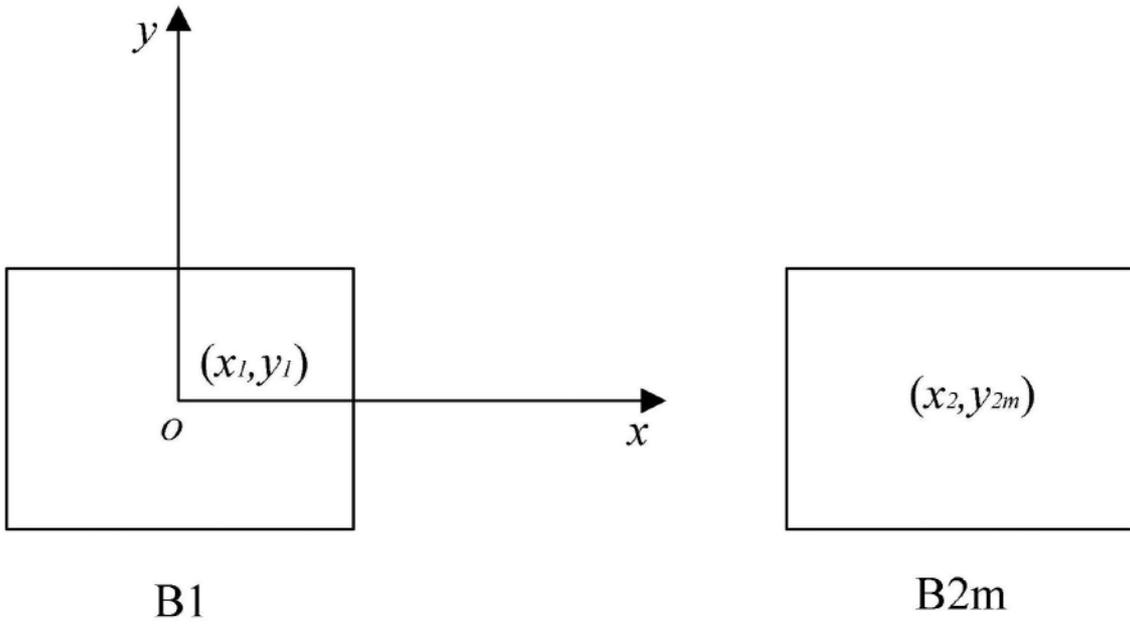


图5