



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120070537 A

(43) 申请公布日 2025.05.30

(21) 申请号 202510552690.X

G06V 20/10 (2022.01)

(22) 申请日 2025.04.29

(71) 申请人 湖南大学

地址 410082 湖南省长沙市岳麓区麓山南路1号

(72) 发明人 邓露 张程 郭晶晶

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

专利代理人 李亚茹

(51) Int.Cl.

G06T 7/60 (2017.01)

G06F 30/13 (2020.01)

G06N 5/01 (2023.01)

G06T 17/00 (2006.01)

G06V 20/17 (2022.01)

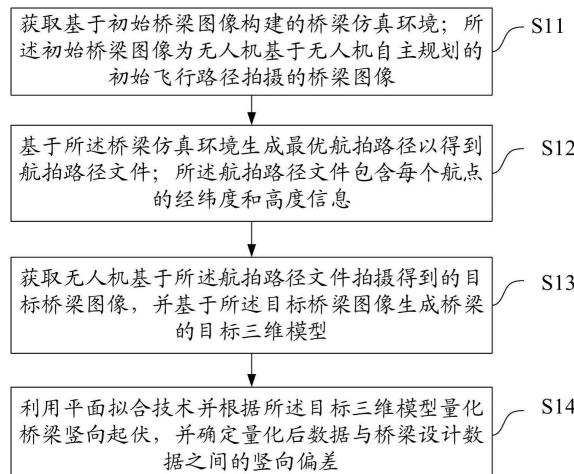
权利要求书2页 说明书11页 附图5页

### (54) 发明名称

一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法、装置、设备及介质

### (57) 摘要

本申请公开了一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法、装置、设备及介质，涉及桥梁测量技术领域，应用于桥梁线形测量系统，方法包括：获取基于初始桥梁图像构建的桥梁仿真环境；初始桥梁图像为无人机基于无人机自主规划的初始飞行路径拍摄的桥梁图像；基于桥梁仿真环境生成最优航拍路径以得到航拍路径文件；航拍路径文件包含每个航点的经纬度和高度信息；获取无人机基于航拍路径文件拍摄得到的目标桥梁图像，并基于目标桥梁图像生成桥梁的目标三维模型；利用平面拟合技术并根据目标三维模型量化桥梁竖向起伏，并确定量化后数据与桥梁设计数据之间的竖向偏差。能够降低桥梁线形测量风险和难度。



1. 一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法，其特征在于，应用于桥梁线形测量系统，所述方法包括：

获取基于初始桥梁图像构建的桥梁仿真环境；所述初始桥梁图像为无人机基于无人机自主规划的初始飞行路径拍摄的桥梁图像；

基于所述桥梁仿真环境生成最优航拍路径以得到航拍路径文件；所述航拍路径文件包含每个航点的经纬度和高度信息；

获取无人机基于所述航拍路径文件拍摄得到的目标桥梁图像，并基于所述目标桥梁图像生成桥梁的目标三维模型；

利用平面拟合技术并根据所述目标三维模型量化桥梁竖向起伏，并确定量化后数据与桥梁设计数据之间的竖向偏差。

2. 根据权利要求1所述的基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法，其特征在于，所述基于所述桥梁仿真环境生成最优航拍路径以得到航拍路径文件，包括：

基于所述桥梁仿真环境构建空间模型；

基于预定拍摄区域确定出所述空间模型中的飞行区域，并基于无人机参数确定所述飞行区域中的若干航点，根据所述航点生成初始航拍路径；

基于所述飞行区域和所述初始航拍路径完成避障处理得到避障路径；

优化所述避障路径以生成最优航拍路径得到航拍路径文件；所述最优航拍路径的路径长度小于或等于所述避障路径。

3. 根据权利要求2所述的基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法，其特征在于，所述基于所述飞行区域和所述初始航拍路径完成避障处理得到避障路径，包括：

利用A星算法，并基于所述飞行区域和所述初始航拍路径完成避障处理得到避障路径。

4. 根据权利要求2所述的基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法，其特征在于，所述优化所述避障路径以生成最优航拍路径得到航拍路径文件，包括：

利用能量消耗模型和最短路径计算模型优化所述避障路径以生成能源消耗和路径满足预设要求的最优航拍路径以得到航拍路径文件；

相应的，所述最短路径计算模型为Dijkstra算法；所述能量消耗模型为：  
$$E = k_1 \times d + k_2 \times v + k_3 \times t$$
 其中， $E$  表示能量消耗， $d$  表示飞行距离， $v$  表示飞行速度， $t$  表示飞行时间， $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  表示常数。

5. 根据权利要求2所述的基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法，其特征在于，所述基于所述桥梁仿真环境构建空间模型，包括：

基于所述桥梁仿真环境构建几何模型；所述几何模型包括利用几何形状表示的障碍物。

6. 根据权利要求1所述的基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法，其特征在于，所述获取基于初始桥梁图像构建的桥梁仿真环境，包括：

获取基于虚拟游戏引擎对桥梁的参考三维模型进行仿真后构建的初始桥梁图像对应的桥梁仿真环境；所述参考三维模型为三维重建软件基于所述初始桥梁图像构建的模型。

7. 根据权利要求1至6任一项所述的基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法，其特征在于，所述确定量化后数据与桥梁设计数据之间的竖向偏差之后，还包括：

若所述竖向偏差超出预设偏差值，则根据预设警报方式发出目标警报；所述目标警报包括超出所述预设偏差值的所述竖向偏差和所述竖向偏差对应的位置信息。

8. 一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量装置，其特征在于，应用于桥梁线形测量系统，所述装置包括：

第一获取模块，用于获取基于初始桥梁图像构建的桥梁仿真环境；所述初始桥梁图像为无人机基于无人机自主规划的初始飞行路径拍摄的桥梁图像；

文件生成模块，用于基于所述桥梁仿真环境生成最优航拍路径以得到航拍路径文件；所述航拍路径文件包含每个航点的经纬度和高度信息；

第二获取模块，用于获取无人机基于所述航拍路径文件拍摄得到的目标桥梁图像，并基于所述目标桥梁图像生成桥梁的目标三维模型；

测量模块，用于利用平面拟合技术并根据所述目标三维模型量化桥梁竖向起伏，并确定量化后数据与桥梁设计数据之间的竖向偏差。

9. 一种电子设备，其特征在于，包括：

存储器，用于保存计算机程序；

处理器，用于执行所述计算机程序，以实现如权利要求1至7任一项所述的基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法。

10. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，用于保存计算机程序；其中，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1至7任一项所述的基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法。

## 一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法、装置、设备及介质

### 技术领域

[0001] 本发明涉及桥梁测量技术领域,特别涉及一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法、装置、设备及介质。

### 背景技术

[0002] 当前,传统的桥梁线形测量设备,包括全站仪和水准仪,虽然可以完成桥梁线形的测量,但操作相对繁琐,需要搬站、设站等操作,测量过程麻烦,测量时间长;另外水准仪和全站仪的购置和维护成本相对较高,需要昂贵的仪器设备以及专业维护人员;而且在复杂的施工现场,操作人员可能需要进行高空、悬崖等危险环境中的测量工作,增加了操作的安全风险。

[0003] 综上,如何降低桥梁线形测量风险和难度是当前亟待解决的问题。

### 发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法、装置、设备及介质,能够降低桥梁线形测量风险和难度,其具体方案如下:

[0005] 第一方面,本申请公开了一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法,应用于桥梁线形测量系统,所述方法包括:

[0006] 获取基于初始桥梁图像构建的桥梁仿真环境;所述初始桥梁图像为无人机基于无人机自主规划的初始飞行路径拍摄的桥梁图像;

[0007] 基于所述桥梁仿真环境生成最优航拍路径以得到航拍路径文件;所述航拍路径文件包含每个航点的经纬度和高度信息;

[0008] 获取无人机基于所述航拍路径文件拍摄得到的目标桥梁图像,并基于所述目标桥梁图像生成桥梁的目标三维模型;

[0009] 利用平面拟合技术并根据所述目标三维模型量化桥梁竖向起伏,并确定量化后数据与桥梁设计数据之间的竖向偏差。

[0010] 可选的,所述基于所述桥梁仿真环境生成最优航拍路径以得到航拍路径文件,包括:

[0011] 基于所述桥梁仿真环境构建空间模型;

[0012] 基于预定拍摄区域确定出所述空间模型中的飞行区域,并基于无人机参数确定所述飞行区域中的若干航点,根据所述航点生成初始航拍路径;

[0013] 基于所述飞行区域和所述初始航拍路径完成避障处理得到避障路径;

[0014] 优化所述避障路径以生成最优航拍路径得到航拍路径文件;所述最优航拍路径的路径长度小于或等于所述避障路径。

[0015] 可选的,所述基于所述飞行区域和所述初始航拍路径完成避障处理得到避障路径,包括:

- [0016] 利用A星算法，并基于所述飞行区域和所述初始航拍路径完成避障处理得到避障路径。
- [0017] 可选的，所述优化所述避障路径以生成最优航拍路径得到航拍路径文件，包括：
- [0018] 利用能量消耗模型和最短路径计算模型优化所述避障路径以生成能源消耗和路径满足预设要求的最优航拍路径以得到航拍路径文件；
- [0019] 相应的，所述最短路径计算模型为Dijkstra算法；所述能量消耗模型为： $E = k_1 \times d + k_2 \times v + k_3 \times t$ ；其中， $E$ 表示能量消耗， $d$ 表示飞行距离， $v$ 表示飞行速度， $t$ 表示飞行时间， $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$ 表示常数。
- [0020] 可选的，所述基于所述桥梁仿真环境构建空间模型，包括：
- [0021] 基于所述桥梁仿真环境构建几何模型；所述几何模型包括利用几何形状表示的障碍物。
- [0022] 可选的，所述获取基于初始桥梁图像构建的桥梁仿真环境，包括：
- [0023] 获取基于虚拟游戏引擎对桥梁的参考三维模型进行仿真后构建的初始桥梁图像对应的桥梁仿真环境；所述参考三维模型为三维重建软件基于所述初始桥梁图像构建的模型。
- [0024] 可选的，所述确定量化后数据与桥梁设计数据之间的竖向偏差之后，还包括：
- [0025] 若所述竖向偏差超出预设偏差值，则根据预设警报方式发出目标警报；所述目标警报包括超出所述预设偏差值的所述竖向偏差和所述竖向偏差对应的位置信息。
- [0026] 第二方面，本申请公开了一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量装置，应用于桥梁线形测量系统，所述装置包括：
- [0027] 第一获取模块，用于获取基于初始桥梁图像构建的桥梁仿真环境；所述初始桥梁图像为无人机基于无人机自主规划的初始飞行路径拍摄的桥梁图像；
- [0028] 文件生成模块，用于基于所述桥梁仿真环境生成最优航拍路径以得到航拍路径文件；所述航拍路径文件包含每个航点的经纬度和高度信息；
- [0029] 第二获取模块，用于获取无人机基于所述航拍路径文件拍摄得到的目标桥梁图像，并基于所述目标桥梁图像生成桥梁的目标三维模型；
- [0030] 测量模块，用于利用平面拟合技术并根据所述目标三维模型量化桥梁竖向起伏，并确定量化后数据与桥梁设计数据之间的竖向偏差。
- [0031] 第二方面，本申请公开了一种电子设备，包括：
- [0032] 存储器，用于保存计算机程序；
- [0033] 处理器，用于执行所述计算机程序，以实现前述公开的基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法。
- [0034] 第三方面，本申请公开了一种计算机可读存储介质，用于保存计算机程序；其中，所述计算机程序被处理器执行时实现前述公开的基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法。
- [0035] 可见，本申请获取基于初始桥梁图像构建的桥梁仿真环境；所述初始桥梁图像为无人机基于所述初始飞行路径拍摄的桥梁图像；所述初始飞行路径为无人机航线规划系统基于无人机性能参数和原始桥梁结构三维模型构建初始飞行路径；基于所述桥梁仿真环境

生成最优航拍路径以得到航拍路径文件；所述航拍路径文件包含每个航点的经纬度和高度信息；获取无人机基于所述航拍路径文件拍摄得到的目标桥梁图像，并基于所述目标桥梁图像生成桥梁的目标三维模型；利用平面拟合技术并根据所述目标三维模型量化桥梁竖向起伏，并确定量化后数据与桥梁设计数据之间的竖向偏差。本申请完全利用无人机进行桥梁的观察和图像采集，不需要人工参与，也不需要传统的桥梁线形测量设备，降低了测量危险和难度；另外，进行两次无人机的图像采集，第一次用于路径规划，第二次用于桥梁测量，两次采集提高图像采集精度，进一步提高桥梁测量精度。

## 附图说明

[0036] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0037] 图1为本申请公开的一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法流程图；

[0038] 图2为本申请公开的一种桥梁的粗略三维模型的平面示意图；

[0039] 图3为本申请公开的一种桥梁点击位置的测量数据显示示意图；

[0040] 图4为本申请公开的一种虚拟环境下的桥面覆盖路径；

[0041] 图5为本申请公开的一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量装置结构示意图；

[0042] 图6为本申请公开的一种电子设备结构图。

## 具体实施方式

[0043] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0044] 当前，传统的桥梁线形测量设备，包括全站仪和水准仪，虽然可以完成桥梁线形的测量，但操作相对繁琐，需要搬站、设站等操作，测量过程麻烦，测量时间长；另外水准仪和全站仪的购置和维护成本相对较高，需要昂贵的仪器设备以及专业维护人员；而且在复杂的施工现场，操作人员可能需要进行高空、悬崖等危险环境中的测量工作，增加了操作的安全风险。

[0045] 为此，本申请实施例提出一种桥梁线形测量方案，能够降低桥梁线形测量风险和难度。

[0046] 本申请实施例公开了一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法，参见图1所示，该方法包括：

[0047] 步骤S11：获取基于初始桥梁图像构建的桥梁仿真环境；所述初始桥梁图像为无人机基于无人机自主规划的初始飞行路径拍摄的桥梁图像；

[0048] 本实施例中，所述获取基于初始桥梁图像构建的桥梁仿真环境，包括：获取基于虚

拟游戏引擎对桥梁的参考三维模型进行仿真后构建的初始桥梁图像对应的桥梁仿真环境；所述参考三维模型为三维重建软件基于所述初始桥梁图像构建的模型。

[0049] 需要指出的是，通过消费无人机的航线规划与图像采集，首先，通过对消费无人机自带的航线规划，能够自主设计一个覆盖桥梁各个方位的飞行路径。在航线规划的过程中，关键是要考虑桥梁的整体结构、飞行环境以及拍摄角度的需求，确保能够从不同角度采集到桥梁各个部位的清晰图像。这一部分使用的无人机可以是市面上的消费级无人机，这些无人机通常具有高性价比，并且配备了高分辨率相机、GPS定位系统（Global Positioning System，全球定位系统）等功能。通过自主飞行，无人机能够按照预定路径进行拍摄，避免了人工干预的复杂性与误差。之后，图像采集时，无人机会根据设定的飞行高度、拍摄角度以及频率，自动拍摄桥梁的多个图像。这些图像会覆盖桥梁的不同方位和细节，确保没有遗漏重要的结构信息。例如，对于大桥的悬索部分、桥墩、桥面等，图像采集的精度和全面性将直接影响后续重建和分析的准确性。

[0050] 需要指出的是，商业三维重建软件生成粗略三维模型，具体参见图2所示，为一种桥梁的粗略三维模型的平面示意图，点击桥梁模型任一位置可获取该位置的三维坐标，还可获取距离、面积和体积，当点击图2中的点击位置时，可获得图3所示的测量数据，图3为一种桥梁点击位置的测量数据显示示意图，图中，测量框内包括坐标、距离、面积、体积内容，其中坐标位置也即三维坐标，图中显示点击位置的三维坐标为28.1371988N、112.9459181E和36.616M（三个数字具体表示该点在WGS84（World Geodetic System 1984）坐标系下的纬度（单位：度）、经度（单位：度）、高度（单位：米））；需要指出的是，在图像采集完成后，系统将利用商业化的三维重建软件对采集的图像进行处理，生成一个粗略的三维模型。由于这些图像包含了GPS信息，因此重建出的三维模型不仅具有几何结构，还可以关联到实际的地理坐标。这个粗略的三维模型能够帮助初步识别桥梁的外观和大致的形态，但其精度和细节尚未达到可以进行精确分析的标准，因此需要后续的优化。

[0051] 需要指出的是，虚拟游戏引擎中创建桥梁仿真环境：粗略的三维模型被导入到虚拟游戏引擎中，生成一个交互式的桥梁仿真环境。在这个虚拟环境中，用户可以以第一人称视角或第三人称视角对桥梁进行观察。这一阶段的核心目的是利用游戏引擎的高效图形处理能力和实时计算能力，为后续的路径规划与精细化建模提供一个可视化的操作平台。

[0052] 需要指出的是，虚拟仿真：利用计算机技术创建虚拟环境，模拟真实世界的物理行为。在桥梁监测中，虚拟仿真可以用于创建一个逼真的桥梁模型，以便仿真无人机在此模型的飞行数据可以直接导入到真实无人机中。

[0053] 步骤S12：基于所述桥梁仿真环境生成最优航拍路径以得到航拍路径文件；所述航拍路径文件包含每个航点的经纬度和高度信息。

[0054] 本实施例中，所述基于所述桥梁仿真环境生成最优航拍路径以得到航拍路径文件，包括：基于所述桥梁仿真环境构建空间模型；基于预定拍摄区域确定出所述空间模型中的飞行区域，并基于无人机参数确定所述飞行区域中的若干航点，根据所述航点生成初始航拍路径；基于所述飞行区域和所述初始航拍路径完成避障处理得到避障路径；优化所述避障路径以生成最优航拍路径得到航拍路径文件；所述最优航拍路径的路径长度小于或等于所述避障路径。

[0055] 需要指出的是，本申请通过在虚拟环境中对桥梁结构进行精确分析，系统能够使

用桥面覆盖路径规划算法,自动生成最优的航拍路径。路径规划的核心目标是确保无人机在拍摄过程中尽可能全面地覆盖桥梁的每个重要部分,并最大程度地减少飞行路径上的冗余或重复,从而提高数据采集的效率和精度。参见图4所示,为一种虚拟环境下的桥面覆盖路径示意图,黑线即为路径,图片右上方四个圆形的图像表示无人机,其他内容在此不再具体阐述。

[0056] 在一种实施例中,桥面覆盖路径规划时需要输入的数据主要包括桥梁结构的三维模型,也即空间模型(包含障碍物信息)、无人机的性能参数(飞行速度、电池容量、最大航程等)、拍摄要求(航点间距、拍摄角度、拍摄分辨率)以及环境参数(如风速等);具体的,输入:Bridge Model:包含桥梁的几何模型,包括桥面、支架、桥墩等。Drone Model:包括最大飞行高度、最大飞行速度、飞行时间、电池消耗率等。Flight Area:桥梁的监测区域,包括具体的拍摄区域(如桥面、桥墩)。Obstacles:障碍物位置(桥墩、支架、钢索等)及其尺寸。Energy Model:无人机在不同速度下的能量消耗。KML File:用于输出路径的标准格式文件。

[0057] 本实施例中,所述基于所述桥梁仿真环境构建空间模型,包括:基于所述桥梁仿真环境构建几何模型;所述几何模型包括利用几何形状表示的障碍物。

[0058] 需要指出的是,此处的三维模型与步骤1中的三维模型不同,是基于通过给定的桥梁结构和障碍物数据,构建一个空间障碍模型。每个障碍物可以用矩形、圆形或多边形来表示,具体,其边界应包括支架、桥墩、钢索等。需要指出的是,几何模型不会直接影响后续的桥面识别,反而会起到支持作用。例如,桥面就是一个简单的矩形,路灯简化成一个细圆柱。后续通过目标分割从几何形状里边识别出桥面,确定出桥面中的航点和各个飞行区域,检查飞行区域是否有效,若无效则说明超出了允许的飞行区域,达到桥面之外,则调整飞行区域在桥面上,若都有效,则进行初步路径生成,具体的,通过扫描桥面并将每个拍摄点作为航点,生成初步的路径。路径初步规划的目标是覆盖整个桥梁区域,并确保拍摄覆盖每一个重要区域。扫描路径生成时,采用“锯齿型”扫描路径策略,在桥梁的两侧生成路径,以确保图像能够从不同角度覆盖整个桥面。需要指出的是,航点间距设置时,基于摄像头的拍摄分辨率和桥梁的几何复杂性,确定航点间的间隔。在桥梁平直部分,航点间距可设置较大;而在拱形或复杂部分,航点间距需要减小。

[0059] 本实施例中,在初步路径规划后,加入避障处理,确保无人机不会与障碍物发生碰撞。所述基于所述飞行区域和所述初始航拍路径完成避障处理得到避障路径,包括:利用A星算法,并基于所述飞行区域和所述初始航拍路径完成避障处理得到避障路径。在具体应用中,路径规划的每一步都需要计算当前航点与目标航点之间的障碍物距离,并根据障碍物的大小和形态调整航线。在局部避障时,若无人机在飞行过程中接近障碍物(如悬索),可以利用基于反向运动学的局部避障策略,调整飞行路径,避免碰撞。

[0060] 具体的,还可以在A星算法的基础上设定新的算法,可称为SOA算法,具体的,SOA算法相对于A星算法的改进优势如下所示:(1)静态障碍物优化:所有障碍物位置和形状在规划开始前已知,路径规划过程中直接基于这些静态信息进行计算。特点:无需动态更新避障区域,计算量更低;(2)专注于单一目标(避障):不涉及复杂的多目标优化,仅关注生成一条有效且合法的避障路径。特点:简单高效,适合约束明确的场景(如无人机桥面巡检)。

[0061] SOA算法的具体伪代码如下所示:

[0062] SOA\_algorithm(initial\_path,obstacles,flight\_area):

- [0063] 初始化open\_list和cost\_map#存储待处理点和代价值；
- [0064] 将initial\_path起点加入open\_list；
- [0065] while open\_list不为空：
- [0066]     current=取出open\_list 中代价最低的点；
- [0067]     如果current是路径终点：
- [0068]     返回重建的路径；
- [0069]         for neighbor in current的邻居：
- [0070]         如果邻居在飞行区域外或与障碍物冲突：
- [0071]             continue#跳过无效点；
- [0072]         计算到邻居的新代价；
- [0073]         如果新代价更优或邻居未访问过：
- [0074]         更新cost\_map,记录路径,加入open\_list；
- [0075]     返回“无有效路径”#无法找到路径时。

[0076] 本实施例中,所述优化所述避障路径以生成最优航拍路径得到航拍路径文件,包括:利用能量消耗模型和最短路径计算模型优化所述避障路径以生成能源消耗和路径满足预设要求的最优航拍路径以得到航拍路径文件;相应的,所述最短路径计算模型为Dijkstra算法;所述能量消耗模型为:  $E = k_1 \times d + k_2 \times v + k_3 \times t$ ;其中,  $E$  表示能量消耗,  $d$  表示飞行距离,  $v$  表示飞行速度,  $t$  表示飞行时间,  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  表示常数。

[0077] 需要指出的是,通过计算飞行路径的最短距离来减少不必要的飞行。利用Dijkstra算法计算最短路径。在计算路径时考虑飞行速度对能量消耗的影响,合理设定飞行速度,避免过高或过低的飞行速度。根据无人机的电池容量,限制最大飞行时间或距离。当飞行距离超过电池承载的最大航程时,系统会建议更换电池或中途补充能量。另外,在避障和最短路径规划的基础上,进一步精简路径,通过路径合并(保证没有障碍物)减少航点之间的冗余。例如,两个相邻的航点如果之间没有障碍物且可以直接飞行,则可以将这两个航点合并为一个新的航点。

[0078] 具体的,还可以在Dijkstra算法的基础上设定新的算法,可称为OD算法,具体的OD算法相对于传统Dijkstra算法的改进优势如下所示:(1)支持关键点压缩,减少冗余存储;改进点:只记录路径中的关键节点(如起点、转折点和终点),忽略直线上的冗余中间节点。优势:减少了存储路径的空间开销;提高了路径表示的可读性,适合路径展示和后续优化。(2)批处理邻居节点,提升效率;改进点:对邻居节点的处理采用批量计算和过滤机制(如先检查合法性再计算代价)。优势:减少了无效节点的计算开销;提升了算法在大规模图上的运行效率。

- [0079] OD算法的伪代码如下所示:
- [0080] OD\_algorithm(graph,start,goal,light\_area):
- [0081]     初始化open\_list=PriorityQueue()#优先队列,用于存储待处理节点;
- [0082]     初始化cost\_map=空字典#记录起点到每个节点的最小代价;
- [0083]     初始化came\_from=空字典#记录每个节点的前驱节点;
- [0084]     将(0,start)加入open\_list;

```
[0085]     cost_map[start]=0;
[0086]     while open_list不为空:
[0087]         current=从open_list中取出代价最低的节点;
[0088]         如果current==goal:
[0089]             返回重建路径(came_from,start,goal);
[0090]             for neighbor in current的所有邻居:
[0091]                 如果neighbor不在flight_area中:
[0092]                     continue#跳过不合法的节点;
[0093]                     新代价=cost_map[current] + graph[current][neighbor];
[0094]                     如果neighbor未被访问或新代价更小:
[0095]                         cost_map[neighbor]=新代价;
[0096]                         将(新代价,neighbor)加入open_list;
[0097]                         came_from[neighbor]=current;
[0098]             返回"无法找到路径"。
[0099]     需要指出的是,路径规划算法不仅需要考虑飞行路径的最短或最经济性,还会依据桥梁结构的复杂性、拍摄角度要求等因素进行动态调整。例如,对于桥梁的拱形或悬挂部分,算法可能会规划出特殊的飞行路径,以确保从多个角度对这些部分进行拍摄,避免盲区;一旦路径规划完成,系统会自动导出所有航点的GPS信息为.kml文件,这是一个标准的地理信息文件格式,能够兼容大多数无人机导航系统。这个文件中包含了每个航点的精确位置(经纬度和高度信息),并指导无人机按照预定路径进行精准飞行。
[0100]     在一种具体实施例中,使用A星算法和算法的路径规划的伪代码如下所示: def generate_path(bridge_model,drone_model,obstacles,energy_model, flight_area):
[0101]         #步骤1:建模:
[0102]         bridge_points=extract_bridge_points(bridge_model);
[0103]         obstacles=extract_obstacles(bridge_model);
[0104]         #步骤2:检查飞行区域是否有效:
[0105]         if not is_valid_flight_area(flight_area,bridge_points):
[0106]             raise ValueError("桥梁模型超出了允许的飞行区域");
[0107]         #步骤3:初步路径生成:
[0108]         initial_path=scan_bridge(bridge_points,drone_model,flight_area);
[0109]         #步骤4:避障路径生成:
[0110]         obstacle_free_path=S0A_algorithm(initial_path,obstacles,flight_
area);
[0111]         #步骤5:节能优化:
[0112]         optimized_path=optimize_energy(obstacle_free_path,drone_model,energy_
model, flight_area);
[0113]         #步骤6:输出路径:
[0114]         kml_file = generate_kml(optimized_path);
[0115]         return kml_file;
```

```
[0116] def is_valid_flight_area(flight_area, bridge_points):  
[0117]     #判断桥梁的监测区域是否在飞行区域内;  
[0118]     for point in bridge_points:  
[0119]         if not is_within_area(flight_area,point):  
[0120]             return False;  
[0121]     return True;  
[0122] def is_within_area(flight_area,point):  
[0123]     #检查一个点是否在飞行区域内;  
[0124]     #Flight Area是一个多边形或矩形,这里用简单的点在多边形内判断示意;  
[0125]     return is_point_in_polygon(flight_area, point);  
[0126] def a_star_algorithm(path, obstacles, flight_area):  
[0127]     #使用A星算法生成避障路径,确保路径在飞行区域内;  
[0128]     #这里的A星算法会考虑飞行区域的边界;  
[0129]     Pass;  
[0130] def optimize_energy(path,drone_model,energy_model,flight_area):  
[0131]     #基于能量模型对路径进行优化,并确保路径完全在飞行区域内;  
[0132]     total_energy=0;  
[0133]     optimized_path=[ ];  
[0134]     for i in range(1,len(path)):  
[0135]         if not is_within_area(flight_area,path[i]):  
[0136]             continue#如果航点超出了飞行区域,跳过该航点;  
[0137]             segment_distance=calculate_distance(path[i-1],path[i]);  
[0138]             energy_consumed=energy_model(segment_distance,drone_model);  
[0139]             total_energy+=energy_consumed;  
[0140]             optimized_path.append(path[i]);  
[0141]         if total_energy>drone_model.battery_capacity:  
[0142]             return optimized_path#Add recharge points or suggest energy-saving routes.  
[0143]     return optimized_path.
```

[0144] 步骤S13:获取无人机基于所述航拍路径文件拍摄得到的目标桥梁图像,并基于所述目标桥梁图像生成桥梁的目标三维模型。

[0145] 本实施例中,无人机沿最优路径拍摄桥面图像:用户将.kml文件导入到无人机控制系统中,机器人通过GPS自动导航,按照规划路径自主飞行。无人机会依照设计的航线拍摄桥面的图片,确保覆盖到桥梁的每个关键部分;之后,精细化三维建模与竖向起伏分析:通过无人机采集的高精度图像,结合图像重建技术和三维点云数据,可以生成精细化的桥梁三维模型。与初步的粗略三维模型相比,精细化模型具备更高的分辨率和更细致的桥梁结构细节。

[0146] 步骤S14:利用平面拟合技术并根据所述目标三维模型量化桥梁竖向起伏,并确定量化后数据与桥梁设计数据之间的竖向偏差。

[0147] 本实施例中,使用平面拟合技术,可以对桥面的竖向起伏进行量化分析。通过拟合算法,将桥面的点云数据与设计图纸上的理想平面进行比对,得出竖向偏差(即桥面起伏)。当这些偏差超出设计标准范围时,系统会发出预警,提示可能存在的结构问题,提醒工程师及时进行检查、维修或调整。

[0148] 本实施例中,所述确定量化后数据与桥梁设计数据之间的竖向偏差之后,还包括:若所述竖向偏差超出预设偏差值,则根据预设警报方式发出目标警报;所述目标警报包括超出所述预设偏差值的所述竖向偏差和所述竖向偏差对应的位置信息。

[0149] 需要指出的是,如果桥梁的线形与设计线形之间出现较大偏差,系统能够自动识别并显示出具体的偏差位置和数值。这对于桥梁的维护和安全监测至关重要。通过实时监测与分析,桥梁管理方可以及时发现潜在的安全隐患,如桥面沉降、变形、裂缝等问题,从而采取必要的修复或加固措施,避免结构性故障发生。

[0150] 需要指出的是,本申请基于虚拟仿真与智能路径规划驱动的无人机桥梁线形测量技术,通过虚拟环境的精准建模与路径规划,能够显著提高测量精度和效率,减少传统人工测量的误差与冗余,优化数据采集过程。无人机通过自动规划最优飞行路径,避开障碍物并最大化覆盖桥梁结构,从而提升测量的全面性和准确性。与传统的人工测量相比,测量时间通常能减少约50%-70%,而成本则节约约60%-80%,该技术不仅降低了人工成本和设备投入,还提高了飞行安全性,避免了人工接触高风险区域。同时,通过三维建模与实时监控,能够及时发现桥梁的结构偏差,支持智能化的桥梁维护和修复决策,增强了数据的可持续性和长期管理能力。此外,系统的自动化与适应性确保了其广泛应用于各类桥梁的测量任务,具备较强的适应性与智能化水平,推动了桥梁检测领域的现代化发展。

[0151] 需要指出的是,还容易通过其他技术完成桥梁测量,具体的:地面激光扫描技术:激光扫描仪可以在地面或桥梁上安装,并通过多个视角获取数据,进行三维建模。虽然这种技术能够提供高精度的数据,但存在一些缺点。首先,尽管激光扫描技术能够获得高精度的数据,但其覆盖范围较为有限,通常需要在不同的位置反复扫描才能确保桥梁的完整数据采集,这使得扫描过程较为耗时且需要大量人工干预。其次,地面激光扫描仪的有效性依赖于扫描角度和视野的限制,在桥梁的高空部分或复杂结构区域,扫描仪的视角可能受到限制,导致某些部分的数据采集不完全,进而影响最终模型的精度。再者,激光扫描仪通常需要通过工作人员将设备运送到桥梁现场,并进行操作,这可能会涉及到安全风险,特别是在高架桥或复杂环境中。

[0152] 可见,本申请获取基于初始桥梁图像构建的桥梁仿真环境;所述初始桥梁图像为无人机基于所述初始飞行路径拍摄的桥梁图像;所述初始飞行路径为无人机航线规划系统基于无人机性能参数和原始桥梁结构三维模型构建初始飞行路径;基于所述桥梁仿真环境生成最优航拍路径以得到航拍路径文件;所述航拍路径文件包含每个航点的经纬度和高度信息;获取无人机基于所述航拍路径文件拍摄得到的目标桥梁图像,并基于所述目标桥梁图像生成桥梁的目标三维模型;利用平面拟合技术并根据所述目标三维模型量化桥梁竖向起伏,并确定量化后数据与桥梁设计数据之间的竖向偏差。本申请完全利用无人机进行桥梁的观察和图像采集,不需要人工参与,也不需要传统的桥梁线形测量设备,降低了测量危险和难度;另外,进行两次无人机的图像采集,第一次用于路径规划,第二次用于桥梁测量,两次采集提高图像采集精度,进一步提高桥梁测量精度。

[0153] 相应的,本申请实施例还公开了一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量装置,参见图5所示,该装置包括:

[0154] 第一获取模块11,用于获取基于初始桥梁图像构建的桥梁仿真环境;所述初始桥梁图像为无人机基于无人机自主规划的初始飞行路径拍摄的桥梁图像;

[0155] 文件生成模块12,用于基于所述桥梁仿真环境生成最优航拍路径以得到航拍路径文件;所述航拍路径文件包含每个航点的经纬度和高度信息;

[0156] 第二获取模块13,用于获取无人机基于所述航拍路径文件拍摄得到的目标桥梁图像,并基于所述目标桥梁图像生成桥梁的目标三维模型;

[0157] 测量模块14,用于利用平面拟合技术并根据所述目标三维模型量化桥梁竖向起伏,并确定量化后数据与桥梁设计数据之间的竖向偏差。

[0158] 其中,关于上述各个模块更加具体的工作过程可以参考前述实施例中公开的相应内容,在此不再进行赘述。

[0159] 可见,本申请获取基于初始桥梁图像构建的桥梁仿真环境;所述初始桥梁图像为无人机基于所述初始飞行路径拍摄的桥梁图像;所述初始飞行路径为无人机航线规划系统基于无人机性能参数和原始桥梁结构三维模型构建初始飞行路径;基于所述桥梁仿真环境生成最优航拍路径以得到航拍路径文件;所述航拍路径文件包含每个航点的经纬度和高度信息;获取无人机基于所述航拍路径文件拍摄得到的目标桥梁图像,并基于所述目标桥梁图像生成桥梁的目标三维模型;利用平面拟合技术并根据所述目标三维模型量化桥梁竖向起伏,并确定量化后数据与桥梁设计数据之间的竖向偏差。本申请完全利用无人机进行桥梁的观察和图像采集,不需要人工参与,也不需要传统的桥梁线形测量设备,降低了测量危险和难度;另外,进行两次无人机的图像采集,第一次用于路径规划,第二次用于桥梁测量,两次采集提高图像采集精度,进一步提高桥梁测量精度。

[0160] 进一步的,本申请实施例还提供了一种电子设备。图6是根据一示例性实施例示出的电子设备20结构图,图中的内容不能认为是对本申请的使用范围的任何限制。

[0161] 图6为本申请实施例提供的一种电子设备20的结构示意图。该电子设备20,具体可以包括:至少一个处理器21、至少一个存储器22、显示屏23、输入输出接口24、通信接口25、电源26和通信总线27。其中,所述存储器22用于存储计算机程序,所述计算机程序由所述处理器21加载并执行,以实现前述任一实施例公开的基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法中的相关步骤。另外,本实施例中的电子设备20具体可以为电子计算机。

[0162] 本实施例中,电源26用于为电子设备20上的各硬件设备提供工作电压;通信接口25能够为电子设备20创建与外界设备之间的数据传输通道,其所遵循的通信协议是能够适用于本申请技术方案的任意通信协议,在此不对其进行具体限定;输入输出接口24,用于获取外界输入数据或向外界输出数据,其具体的接口类型可以根据具体应用需要进行选取,在此不进行具体限定。

[0163] 另外,存储器22作为资源存储的载体,可以是只读存储器、随机存储器、磁盘或者光盘等,其上所存储的资源可以包括计算机程序221,存储方式可以是短暂存储或者永久存储。其中,计算机程序221除了包括能够用于完成前述任一实施例公开的由电子设备20执行的基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法的计算机程序之外,还可以进一步包括能够用于完成其他特定工作的计算机程序。

[0164] 进一步的,本申请实施例还公开了一种计算机可读存储介质,用于存储计算机程序;其中,所述计算机程序被处理器执行时实现前述公开的基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法。

[0165] 关于该方法的具体步骤可以参考前述实施例中公开的相应内容,在此不再进行赘述。

[0166] 本申请书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其它实施例的不同之处,各个实施例之间相同或相似部分互相参见即可对于实施例公开的装置而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0167] 专业人员还可以进一步意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、计算机软件或者二者的结合来实现,为了清楚地说明硬件和软件的可互换性,在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

[0168] 结合本文中所公开的实施例描述的方法或算法的步骤可以直接用硬件、处理器执行的软件模块,或者二者的结合来实施。软件模块可以置于随机存储器(RAM)、内存、只读存储器(ROM)、电可编程ROM、电可擦除可编程ROM、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质中。

[0169] 最后,还需要说明的是,在本文中,诸如第一和第一等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0170] 以上对本申请所提供的一种基于虚拟仿真与无人机自主飞行的桥梁线形测量方法、装置、设备、存储介质进行了详细介绍,本文中应用了具体个例对本申请的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本申请的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本申请的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本申请的限制。

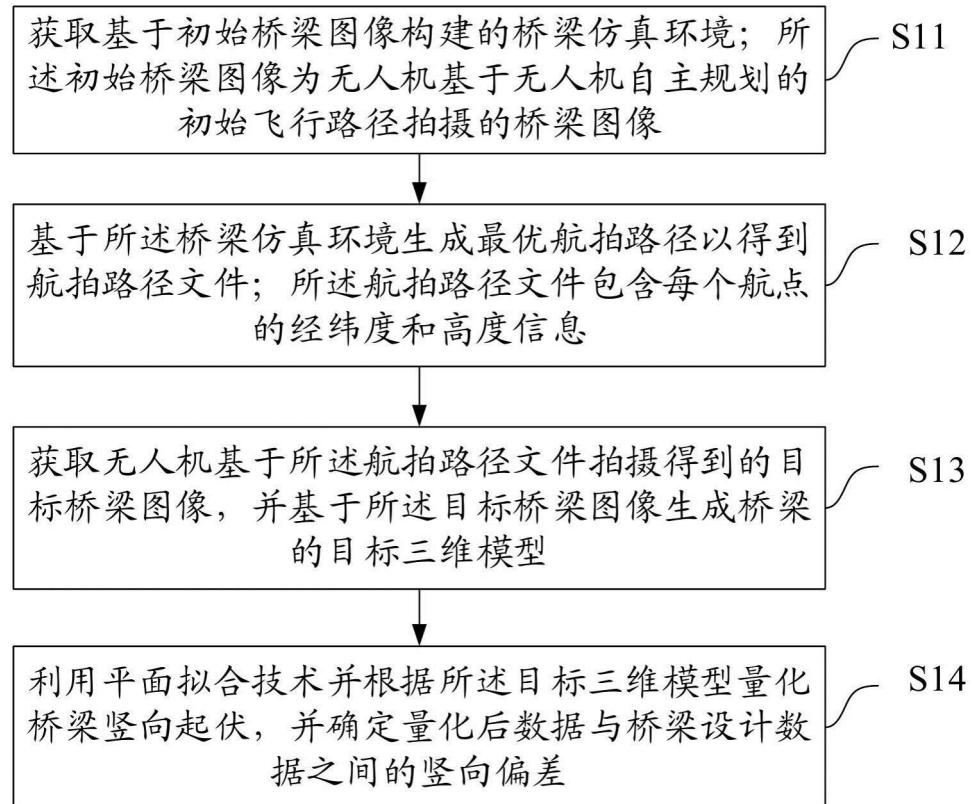




图2

测量



图3

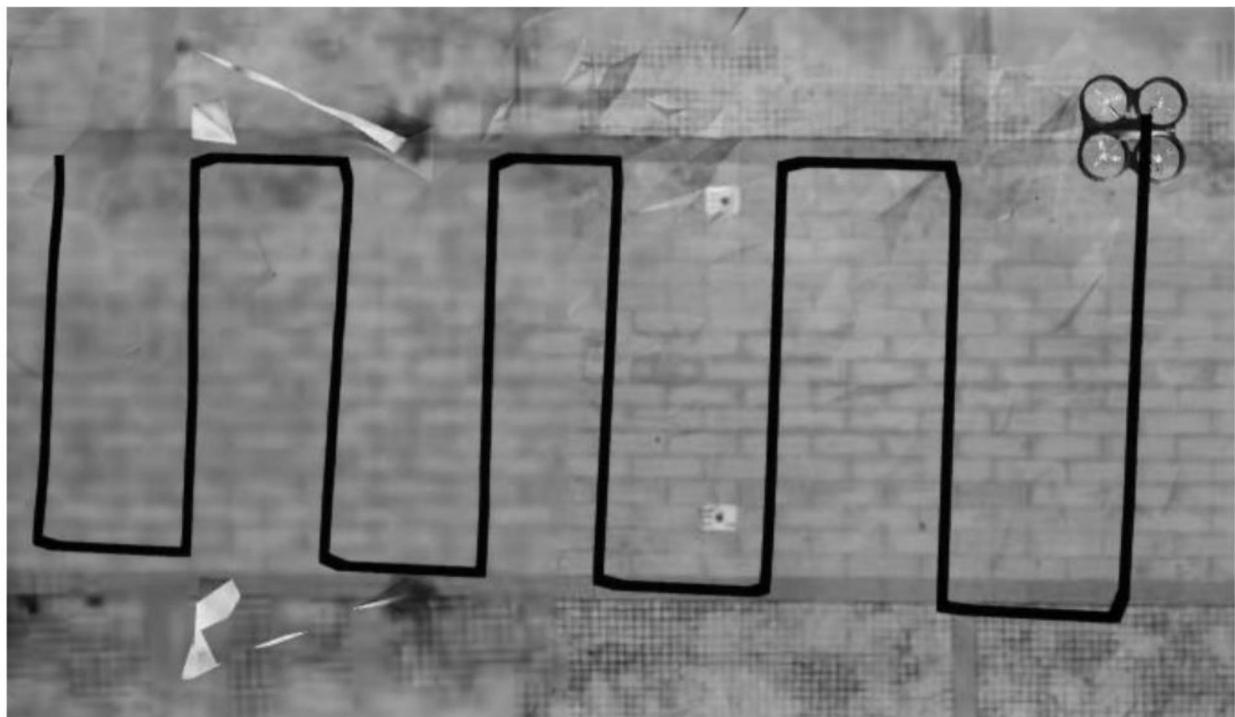


图4



图5

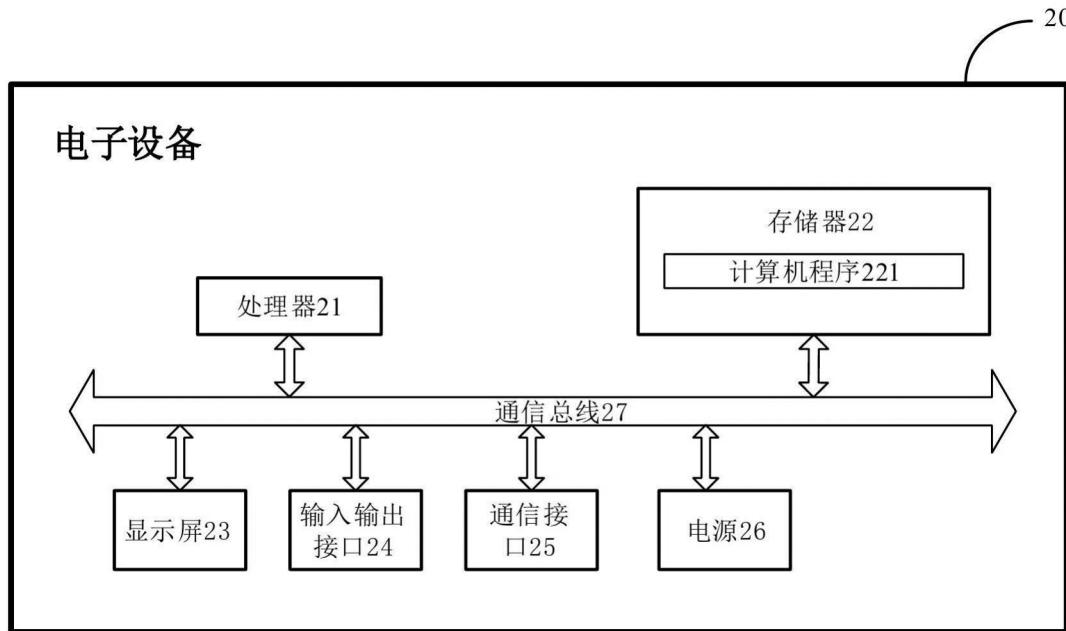


图6