



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113983954 B

(45) 授权公告日 2023.08.11

(21) 申请号 202111215626.0

CN 105155372 A, 2015.12.16

(22) 申请日 2021.10.19

CN 103399326 A, 2013.11.20

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 101306691 A, 2008.11.19

申请公布号 CN 113983954 A

CN 109080648 A, 2018.12.25

EP 1079029 A2, 2001.02.28

(43) 申请公布日 2022.01.28

CN 101809407 A, 2010.08.18

(73) 专利权人 中铁大桥科学研究院有限公司

CN 101962925 A, 2011.02.02

地址 430034 湖北省武汉市建设大道103号

CN 103477187 A, 2013.12.25

专利权人 中铁大桥局集团有限公司

CN 103645490 A, 2014.03.19

(72) 发明人 梅秀道 喻越 张越 史晶

CN 106292417 A, 2017.01.04

叶仲韬 胡俊亮 郭翠翠 王胡鹏

CN 106499217 A, 2017.03.15

董鹏飞 王凡凡

CN 107299568 A, 2017.10.27

CN 107462910 A, 2017.12.12

(74) 专利代理机构 武汉智权专利代理事务所

CN 108444432 A, 2018.08.24

(特殊普通合伙) 42225

CN 109594439 A, 2019.04.09

专利代理师 何伟

CN 109883313 A, 2019.06.14

(51) Int. Cl.

CN 110220512 A, 2019.09.10

G01B 11/24 (2006.01)

CN 110764114 A, 2020.02.07

G01B 11/00 (2006.01)

CN 112762888 A, 2021.05.07

G01C 5/00 (2006.01)

CN 103821054 A, 2014.05.28

G01S 19/14 (2010.01)

G01S 19/41 (2010.01)

朱顺生;肖根旺.孟加拉帕德玛大桥独立测量坐标系统技术研究.世界桥梁.2017,(05),第25-28+35页.

(56) 对比文件

CN 201173773 Y, 2008.12.31

审查员 熊洁

KR 100721764 B1, 2007.05.25

权利要求书2页 说明书8页 附图2页

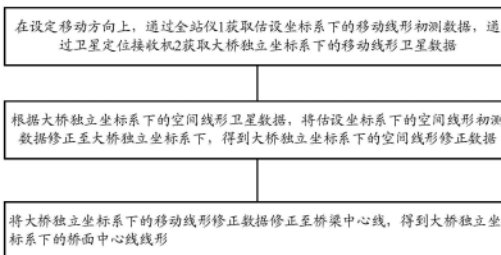
(54) 发明名称

一种测量桥面线形的方法及装置

标系下的桥面中心线线形。能够解决现有技术中采用全站仪测量前需要通过已知坐标的后视点建立坐标系,而现场因素限制常常不具备通视条件,导致测量困难的问题。

(57) 摘要

本发明涉及桥梁建设技术领域,具体涉及一种测量桥面线形的方法及装置,该方法包括以下步骤:在设定移动方向上,通过全站仪获取估设坐标系下的空间线形初测数据,通过全球定位接收机获取大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据;根据大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据,将估设坐标系下的空间线形初测数据修正至大桥独立坐标系下,得到大桥独立坐标系下的空间线形修正数据;将大桥独立坐标系下的空间线形修正数据修正至桥梁中心线,得到大桥独立坐



CN 113983954 B

1. 一种测量桥面线形的方法,其特征在于,包括以下步骤:

在设定移动方向上,通过全站仪(1)获取估设坐标系下的空间线形初测数据,通过全球定位接收机(2)获取大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据;

根据大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据,将估设坐标系下的空间线形初测数据修正至大桥独立坐标系下,得到大桥独立坐标系下的空间线形修正数据,具体包括:

将空间线形初测数据和空间线形卫星数据进行系统对时,得到空间线形初测数据和空间线形卫星数据的时差;

根据时差、空间线形初测数据和空间线形卫星数据的高程,将估设坐标系下的空间线形初测数据修正至大桥独立坐标系下,得到大桥独立坐标系下的空间线形修正数据,具体包括:

根据时差,将空间线形初测数据和空间线形卫星数据的时间同步;

将空间线形卫星数据的高程替换成时间同步后同一时刻的空间线形初测数据的高程,作为大桥独立坐标系下空间线形修正数据的高程;

将空间线形初测数据的平面坐标修正至大桥独立坐标系下,得到大桥独立坐标系下空间线形修正数据的平面坐标,根据坐标变换公式 $\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_0 - \Delta x \\ y_0 - \Delta y \end{pmatrix}$ ,令时间同步后同一时刻的空间线形初测数据和空间线形卫星数据平面坐标的差值 $\Delta x$ 和 $\Delta y$ 为0,确定估设坐标系下与大桥独立坐标系之间的转角 $\alpha$ ,其中, $x$ 和 $y$ 为大桥独立坐标系下的平面坐标, $x_0$ 和 $y_0$ 为估设坐标系下的平面坐标,为时间同步后同一时刻的空间线形初测数据和空间线形卫星数据平面坐标的差值;

根据估设坐标系下与大桥独立坐标系之间的转角 $\alpha$ ,和时间同步后各个时刻的空间线形初测数据和空间线形卫星数据平面坐标的差值 $\Delta x$ 和 $\Delta y$ ,得到大桥独立坐标系下空间线形修正数据的平面坐标;

将大桥独立坐标系下的空间线形修正数据修正至桥梁中心线,得到大桥独立坐标系下的桥面中心线线形。

2. 如权利要求1所述的一种测量桥面线形的方法,其特征在于:所述的在设定移动方向上,通过全站仪(1)获取估设坐标系下的空间线形初测数据,通过全球定位接收机(2)获取大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据,具体包括:

将全球定位接收机(2)和棱镜(3)固定在移动载具(4)上,使移动载具(4)沿设定方向移动;

通过全站仪(1)追踪所述移动载具(4)上的棱镜(3),获取估设坐标系下的空间线形初测数据,同时通过全球定位接收机(2)获取空间大地坐标系下的空间线形空间数据;

利用大桥控制网,建立卫星定位监测控制网,得到从空间大地坐标系到大桥独立坐标系的坐标转换参数,将空间大地坐标系下的空间线形空间数据转换为大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据。

3. 如权利要求1所述的一种测量桥面线形的方法,其特征在于,在系统对时前,还包括步骤:将空间线形初测数据和空间线形卫星数据进行插值,获取两组数据量相同的数据组。

4. 如权利要求1所述的一种测量桥面线形的方法,其特征在于,所述的将空间线形初测数据和空间线形卫星数据进行系统对时,得到空间线形初测数据和空间线形卫星数据的时

差,具体包括:

根据空间线形初测数据和空间线形卫星数据中高程线形进行相关性求解;

当空间线形初测数据和空间线形卫星数据中高程线形之间的相关系数最大时,得到空间线形初测数据和空间线形卫星数据的时差。

5.如权利要求1所述的一种测量桥面线形的方法,其特征在于,所述的将大桥独立坐标系下的空间线形修正数据修正至桥梁中心线,得到大桥独立坐标系下的桥面中心线线形,具体包括:

根据横坡,将空间线形修正数据的高程修正至桥梁中心线,得到桥梁中心线处的相对高程;

根据桥梁中心线处的相对高程和已知控制点高程,得到桥梁中心线的绝对高程;

桥梁中心线的绝对高程和平面坐标,得到大桥独立坐标系下的桥面中心线线形。

6.如权利要求5所述的一种测量桥面线形的方法,其特征在于,所述的根据横坡,将空间线形修正数据的高程修正至桥梁中心线,得到桥梁中心线处的相对高程,具体包括:

根据公式 $z_c = f(x, y) + p \cdot |y - y_c|$ ,得到桥梁中心线处的相对高程 $z_c$ ,其中, $x$ 和 $y$ 大桥独立坐标系下的平面坐标, $x$ 为纵桥向坐标,即里程方向坐标, $y$ 为横桥向坐标, $f(x, y)$ 为大桥独立坐标系下的平面坐标 $(x, y)$ 对应的高程, $p$ 为横坡, $y_c$ 为桥梁中心线横坐标。

7.一种测量桥面线形的装置,用于实施如权利要求1所述的测量桥面线形的方法,其特征在于,包括:

移动载具(4),用于在桥面上沿设定移动方向移动;

棱镜(3),其设置在移动载具(4)上,随移动载具(4)沿设定移动方向一起移动;

全站仪(1),其架设在桥面上,用于追踪锁定棱镜(3),并测量其空间坐标;

全球定位接收机(2),其固定在移动载具(4)上,用于随移动载具(4)的移动实时测量其空间坐标。

## 一种测量桥面线形的方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及桥梁工程技术领域,具体涉及一种测量桥面线形的方法及装置。

### 背景技术

[0002] 在大跨度桥梁施工过程及运营期定期检测中,主梁的线形是桥梁结构的重要参数,对评价桥梁结构的施工质量及后期运营状态,检验桥梁结构的受力特性具有重要的理论价值,但采用传统的方法测量大跨度主梁线形时,需要多次转站,效率低,测量时间过长,导致测量结果包含了不可忽略的结构温度变形,因此需要一种方便快捷准确测量主梁线形的方法。

[0003] 卫星导航系统动态实时差分技术(GNSS-RTK)可以进行动态测量,高程坐标精度为 $\pm 15\text{mm}$ 。但实际应用中存在以下问题:桥塔、斜拉索等结构构件对卫星信号造成遮挡从而会影响卫星信号质量;多路径效应使得多次测量之间数据吻合性差,滤波之后的往返高程差可达 $10\text{cm}$ ,不满足主梁线形测量的要求。测量机器人(RTS)具有自动化、智能化、数据存储操作方便、界面友好、精度高,可在一定角度范围自动搜索棱镜,使得夜间等视线不佳场合的测量不再困难,显著提高测量效率同时降低人工对准误差;还可以在棱镜以一定速度运动状态下保持对棱镜的锁定,实现动态测量,可用于桥面线形的快速测量。

[0004] 但全站仪测量前需要通过已知坐标的后视点建立坐标系,而现场因素限制常常不具备通视条件,给全站仪的测量造成很大困扰。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术中存在的缺陷,本发明的目的在于提供一种测量桥面线形的方法即装置,能够解决现有技术中采用全站仪测量前需要通过已知坐标的后视点建立坐标系,而现场因素限制常常不具备通视条件,导致测量困难的问题。

[0006] 为达到以上目的,本发明采取的技术方案是:

[0007] 本发明提供一种测量桥面线形的方法,包括以下步骤:

[0008] 在设定移动方向上,通过全站仪获取估设坐标系下的空间线形初测数据,通过全球定位接收机获取大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据;

[0009] 根据大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据,将估设坐标系下的空间线形初测数据修正至大桥独立坐标系下,得到大桥独立坐标系下的空间线形修正数据;

[0010] 将大桥独立坐标系下的空间线形修正数据修正至桥梁中心线,得到大桥独立坐标系下的桥面中心线线形。

[0011] 在一些可选的方案中,所述的在设定移动方向上,通过全站仪获取估设坐标系下的空间线形初测数据,通过全球定位接收机获取大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据,具体包括:

[0012] 将全球定位接收机和棱镜固定在移动载具上,使移动载具沿设定方向移动;

[0013] 通过全站仪追踪所述移动载具上的棱镜,获取估设坐标系下的空间线形初测数

据,同时通过全球定位接收机获取空间大地坐标系下的空间线形空间数据;

[0014] 利用大桥控制网,建立卫星定位监测控制网,得到从空间大地坐标系到大桥独立坐标系的坐标转换参数,将空间大地坐标系下的空间线形空间数据转换为大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据。

[0015] 在一些可选的方案中,所述的根据大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据,将估设坐标系下的空间线形初测数据修正至大桥独立坐标系下,得到大桥独立坐标系下的空间线形修正数据,具体包括:

[0016] 将空间线形初测数据和空间线形卫星数据进行系统对时,得到空间线形初测数据和空间线形卫星数据的时差;

[0017] 根据时差、空间线形初测数据和空间线形卫星数据的高程,将估设坐标系下的空间线形初测数据修正至大桥独立坐标系下,得到大桥独立坐标系下的空间线形修正数据。

[0018] 在一些可选的方案中,在系统对时前,还包括步骤:将空间线形初测数据和空间线形卫星数据进行插值,获取两组数据量相同的数据组。

[0019] 在一些可选的方案中,所述的将空间线形初测数据和空间线形卫星数据进行系统对时,得到空间线形初测数据和空间线形卫星数据的时差,具体包括:

[0020] 根据空间线形初测数据和空间线形卫星数据中高程线形进行相关性求解;

[0021] 当空间线形初测数据和空间线形卫星数据中高程线形之间的相关系数最大时,得到空间线形初测数据和空间线形卫星数据的时差。

[0022] 在一些可选的方案中,所述的根据时差、空间线形初测数据和空间线形卫星数据的高程,将估设坐标系下的空间线形初测数据修正至大桥独立坐标系下,得到大桥独立坐标系下的空间线形修正数据,具体包括:

[0023] 根据时差,将空间线形初测数据和空间线形卫星数据的时间同步;

[0024] 将空间线形卫星数据的高程替换成时间同步后同一时刻的空间线形初测数据的高程,作为大桥独立坐标系下空间线形修正数据的高程;

[0025] 将空间线形初测数据的平面坐标修正至大桥独立坐标系下,得到大桥独立坐标系下空间线形修正数据的平面坐标。

[0026] 在一些可选的方案中,所述的将空间线形初测数据的平面坐标修正至大桥独立坐标系下,得到大桥独立坐标系下空间线形修正数据的平面坐标,具体包括:

[0027] 根据坐标变换公式 
$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\Delta x \\ -\Delta y \end{pmatrix}$$
,令时间同步后同一时刻的

空间线形初测数据和空间线形卫星数据平面坐标的差值 $\Delta x$ 和 $\Delta y$ 为,确定估设坐标系下与大桥独立坐标系之间的转角 $\alpha$ ,其中, $x$ 和 $y$ 为大桥独立坐标系下的平面坐标, $x$ 和 $y$ 为估设坐标系下的平面坐标,为时间同步后同一时刻的空间线形初测数据和空间线形卫星数据平面坐标的差值;

[0028] 根据估设坐标系下与大桥独立坐标系之间的转角 $\alpha$ ,和时间同步后各个时刻的空间线形初测数据和空间线形卫星数据平面坐标的差值 $\Delta x$ 和 $\Delta y$ ,得到大桥独立坐标系下空间线形修正数据的平面坐标。

[0029] 在一些可选的方案中,所述的将大桥独立坐标系下的空间线形修正数据修正至桥梁中心线,得到大桥独立坐标系下的桥面中心线线形,具体包括:

[0030] 根据横坡,将空间线形修正数据的高程修正至桥梁中心线,得到桥梁中心线处的相对高程;

[0031] 根据桥梁中心线处的相对高程和已知控制点高程,得到桥梁中心线的绝对高程;

[0032] 桥梁中心线的绝对高程和平面坐标,得到大桥独立坐标系下的桥面中心线线形。

[0033] 在一些可选的方案中,所述的根据横坡,将空间线形修正数据的高程修正至桥梁中心线,得到桥梁中心线处的相对高程,具体包括:

[0034] 根据公式 $z_c = f(x, y) + p \cdot |y - y_c|$ ,得到桥梁中心线处的相对高程 $z_c$ ,其中, $x$ 和 $y$ 大桥独立坐标系下的平面坐标, $x$ 为纵桥向坐标,即里程方向坐标, $y$ 为横桥向坐标, $f(x, y)$ 为大桥独立坐标系下的平面坐标 $(x, y)$ 对应的高程, $p$ 为横坡, $y_c$ 为桥梁中心线横坐标。

[0035] 另一方面,本发明还提供一种测量桥面线形的装置,用于实施上述的测量桥面线形的方法,其特征在于,包括:

[0036] 移动载具,用于在桥面上沿设定移动方向移动;

[0037] 棱镜,其设置在移动载具上,随移动载具沿设定移动方向一起移动;

[0038] 全站仪,其架设在桥面上,用于追踪锁定棱镜,并测量其空间坐标;

[0039] 全球定位接收机,其固定在移动载具上,用于随移动载具的移动实时测量其空间坐标。

[0040] 与现有技术相比,本发明的优点在于:本申请通过将移动小车与全站仪和GNSS-RTK进行组合,通过修正后棱镜的横坐标将高程修正至桥轴线处的高程,再结合已知点高程将其修正至绝对高程,避免了全站仪和GNSS-RTK单独工作时的不足,提高了测量精度和采样率,解决了长时间长距离大范围的主梁线形测量作业时需要通过已知坐标的后视点建立坐标系对现场环境要求较高、测量误差大、效率低的问题。

## 附图说明

[0041] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案,下面将对实施例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申请的一些实施例,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,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0042] 图1为本发明实施例中测量桥面线形的方法的流程图;

[0043] 图2为本发明实施例中测量桥面线形的装置的示意图;

[0044] 图3为本发明实施例中测量桥面线形的方法的原理示意图。

[0045] 图中:1、全站仪;2、全球定位接收机;3、棱镜;4、移动载具。

## 具体实施方式

[0046] 为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本申请的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0047] 以下结合附图对本发明的实施例作进一步详细说明。

[0048] 如图1和图2所示,本发明提供一种测量桥面线形的方法,包括以下步骤:

[0049] S1:在设定移动方向上,通过全站仪1获取估设坐标系下的空间线形初测数据,通过全球定位接收机2获取大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据。

[0050] 在一些可选的实施例中,步骤S1具体包括:

[0051] S11:将全球定位接收机2和棱镜3固定在移动载具4上,使移动载具4沿设定方向移动。

[0052] 在本实施例中,全站仪1采样频率可根据实际情况进行设置,可在一定角度范围自动搜索移动载具4上的棱镜3,可显著提高测量效率同时降低人工对准误差;还可以在棱镜3以一定速度运动状态下保持对棱镜3的锁定,实现动态测量。GNSS-RTK和全站仪的采样频率可根据现场实际情况设置成一致,可方便后续的系统对时。

[0053] S12:通过全站仪1追踪所述移动载具4上的棱镜3,获取估设坐标系下的空间线形初测数据,同时通过全球定位接收机2获取空间大地坐标系下的空间线形空间数据。

[0054] 在本实施例中,将全球定位接收机2和棱镜3固定在同一个移动载具上,可保证测得数据轨迹一致,全球定位接收机为GNSS-RTK接收机。

[0055] S13:利用大桥控制网,建立卫星定位监测控制网,得到从空间大地坐标系到大桥独立坐标系的坐标转换参数,将空间大地坐标系下的空间线形空间数据转换为大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据。

[0056] 如图1和图3所示,0-NEH为空间大地坐标系,0为坐标原点,N为北坐标,E为东坐标,H为高程坐标。桥梁工程中,平面大地坐标系常用北京54坐标系或西安80坐标系,高程系统常采用黄海高程。空间大地坐标系是一种全局坐标系,桥梁工程的勘察设计交付成果常在大地坐标系中体现。为了使用方便,常采用大桥独立坐标系,将桥轴线(a-a)作为x轴,横桥向为y轴,高程为z轴,如图2中的 $P_0$ 坐标系。利用大桥控制网,建立GNSS-RTK监测网络,得到从大地坐标系到大桥独立坐标系的坐标转换参数,用于GNSS-RTK测量及监测的坐标转换中。关于GNSS-RTK的坐标转换已有成熟的方法。

[0057] 现有技术中,采用全站仪测量桥面的线形,需要将全站仪精确设站,根据大桥控制网中的已知坐标控制点,建立坐标系。但由于测站与控制点之间常常不通视,不能精确建站。GNSS-RTK多路径效应显著,用于测量桥面线形的精度太低而不满足要求。

[0058] 所以本发明将GNSS-RTK与全站仪组合运用,在本发明组合测量方法下,全站仪采用近似方向建站方法。

[0059] 本例中,估设坐标系即全站仪采用近似方向建站方法下的坐标系。建站时目测桥轴线方向为x轴方向建站,坐标系x轴与桥轴线的夹角为 $\alpha$ ,因此不需要与已知坐标的后视点建站。当桥梁的跨度太大时,可分段建站,图1所示,第一次在 $P_1$ 建站,坐标系x轴与桥轴线的夹角为 $\alpha_1$ ;第二次在 $P_2$ 建站,坐标系x轴与桥轴线的夹角为 $\alpha_2$ 。

[0060] 用R表示全站仪,用G表示全球定位接收机。则通过全站仪1追踪移动载具4上的棱镜3,测得的估设坐标系下的空间线形初测数据为 $L_R = R(x_R, y_R, z_R; t_R)$ ,其中, $x_R$ 为估设坐标系下的里程方向坐标, $y_R$ 为估设坐标系下的横桥向坐标, $z_R$ 为估设坐标系下的高程, $t_R$ 为估设坐标系下各个坐标的时间参数;通过全球定位接收机2获取空间大地坐标系下的空间线形空间数据后,转换为大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据为 $L_G = G(x_G, y_G, z_G; t_G)$ ,其中, $x_G$ 为大桥独立坐标系下的里程方向坐标, $y_G$ 为大桥独立坐标系下的横桥向坐标, $z_G$ 为大桥独立坐标系下的高程, $t_G$ 为大桥独立坐标系下各个坐标的时间参数。

[0061] S2:根据大桥独立坐标系下的空间线形卫星数据,将估设坐标系下的空间线形初测数据修正至大桥独立坐标系下,得到大桥独立坐标系下的空间线形修正数据。

[0062] 在一些可选的实施例中,步骤S2具体包括:

[0063] S20:将空间线形初测数据和空间线形卫星数据进行插值,获取两组数据量相同的数据组。

[0064] 在本实施例中,由于GNSS-RTK和全站仪可能存在丢包现象,会造成数据量缺失,需要对采集的数据进行重采样,补全丢失的数据。

[0065] 本例中,GNSS-RTK和全站仪的采样频率一致,两组数据补全后各个时刻的间隔也一致。采用重采样公式: $w_1 = \text{interp1}[t_0, w_0, t_1]$ 将丢包的数据补全, $\text{interp1}$ 为线性插值函数, $w_0$ 为空间线形初测数据或空间线形卫星数据中 $t_0$ 时刻的坐标 $x_0, y_0, z_0$ , $t_1$ 为与采样率吻合丢失数据的标准时刻, $w_1$ 为空间线形初测数据或空间线形卫星数据中 $t_1$ 时刻的坐标 $x_1, y_1, z_1$ 。经过上述处理后,两种测量结果 $L_R$ 、 $L_G$ 的数据量一致,两组数据量相同的数据组。

[0066] S21:将空间线形初测数据和空间线形卫星数据进行系统对时,得到空间线形初测数据和空间线形卫星数据的时差。

[0067] 该步骤具体包括:根据空间线形初测数据和空间线形卫星数据中高程线形进行相关性求解。当空间线形初测数据和空间线形卫星数据中高程线形之间的相关系数最大时,得到空间线形初测数据和空间线形卫星数据的时差。

[0068] 在实施例中, $L_G$ 中的时间为GNSS标准时间, $L_R$ 中的时间为全站仪时间,二者存在偏差;需要求解 $L_R$ 相对于 $L_G$ 的时间偏差,从而实现两种测量结果的同步。

[0069] 由图1可知,GNSS-RTK和全站仪的测量结果中的高程与平面坐标系的具体定向无关,两种测量手段的高程曲线形状一致。另外,GNSS-RTK测量结果中包含多路径效应,多路径效应具有高度的环境相关性;GNSS-RTK测量结果具有相对较大的误差和不同位置处的独立性。因此,可采用一定里程范围内的高程曲线的相关系数确定全站仪时差。根据公式:

[0070]  $\Delta t = \arg \max_{\Delta t} \{ \text{corr}[L_R(z_R; t_R + \Delta t)], L_G(z_G; t_G) ] \}$

[0071] 得到空间线形初测数据和空间线形卫星数据的时差 $\Delta t$ ,式中, $\text{corr}$ 为相关系数函数;两种高程曲线取最大相关系数时的时差 $\Delta t$ 即为所求。 $\text{corr}[L_R(z_R; t_R + \Delta t)], L_G(z_G; t_G) ]$ 即为相关性求解, $\arg \max_{\Delta t}$ 表示: $\text{corr}[L_R(z_R; t_R + \Delta t)], L_G(z_G; t_G) ]$ 两种高程曲线取最大相关系数时, $\Delta t$ 的值。

[0072] S22:根据时差、空间线形初测数据和空间线形卫星数据的高程,将估设坐标系下的空间线形初测数据修正至大桥独立坐标系下,得到大桥独立坐标系下的空间线形修正数据。

[0073] 步骤S22具体包括:

[0074] S221:根据时差,将空间线形初测数据和空间线形卫星数据的时间同步。

[0075] 在本实施例中,将 $\Delta t$ 代入式 $L_R = R(x_R, y_R, z_R; t_R)$ 中,即可使 $L_R$ 与 $L_G$ 的时间实现同步。

[0076] S222:将空间线形卫星数据的高程替换成时间同步后同一时刻的空间线形初测数据的高程,作为大桥独立坐标系下空间线形修正数据的高程。

[0077] 在本实施例中,由于已将空间线形卫星数据和空间线形初测数据的各个数据的时间已经同步,所以可以直接将精度较高的全站仪测得空间线形初测数据的高程作为大桥独



立坐标系下空间线形修正数据的高程。

[0078] S223:将空间线形初测数据的平面坐标修正至大桥独立坐标系下,得到大桥独立坐标系下空间线形修正数据的平面坐标。该步骤具体包括:

[0079] 根据坐标变换公式 $\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_0 - \Delta x \\ y_0 - \Delta y \end{pmatrix}$ ,令时间同步后同一时刻的

空间线形初测数据和空间线形卫星数据平面坐标的差值 $\Delta x$ 和 $\Delta y$ 为0,确定估设坐标系下与大桥独立坐标系之间的转角 $\alpha$ ,其中, $x$ 和 $y$ 为大桥独立坐标系下的平面坐标, $x_0$ 和 $y_0$ 为估设坐标系下的平面坐标,为时间同步后同一时刻的空间线形初测数据和空间线形卫星数据平面坐标的差值。

[0080] 本例中,同样根据公式:

[0081]  $\alpha = \arg \max_{\alpha} \{ \text{corr} [L_R(x_R, y_R)], L_G(x_G, y_G) \}$ 求解,当两种平面曲线取最大相关系数时的转角 $\alpha$ 即为所求。 $[L_R(x_R, y_R)], L_G(x_G, y_G)$ 分别为空间线形初测数据和空间线形卫星数据平面坐标。

[0082] 根据估设坐标系下与大桥独立坐标系之间的转角 $\alpha$ ,和时间同步后各个时刻的空间线形初测数据和空间线形卫星数据平面坐标的差值 $\Delta x$ 和 $\Delta y$ ,得到大桥独立坐标系下空间线形修正数据的平面坐标。

[0083] 在本实施例中,将转角 $\alpha$ ,和时间同步后各个时刻的空间线形初测数据和空间线形卫星数据平面坐标的差值 $\Delta x$ 和 $\Delta y$ ,代入 $L_R = R(x_R, y_R)$ ,即可实现全站仪初步建站的估设坐标系向大桥独立坐标系的坐标变换,得到变换后大桥独立坐标系下空间线形修正数据的平面坐标 $X_R = X(x_{Rx}, y_{Rx})$ 。

[0084] S3:将大桥独立坐标系下的空间线形修正数据修正至桥梁中心线,得到大桥独立坐标系下的桥面中心线线形。

[0085] 在一些可选的实施例中,步骤S3具体包括:

[0086] S31:根据横坡,将空间线形修正数据的高程修正至桥梁中心线,得到桥梁中心线处的相对高程。

[0087] 在一些可选的实施例中,根据公式 $z_c = f(x, y) + p \cdot |(y - y_c)|$ ,得到桥梁中心线处的相对高程 $z_c$ ,其中, $x$ 和 $y$ 大桥独立坐标系下的平面坐标, $x$ 为纵桥向坐标,即里程方向坐标, $y$ 为横桥向坐标, $f(x, y)$ 为大桥独立坐标系下的平面坐标 $(x, y)$ 对应的高程, $p$ 为横坡, $y_c$ 为桥梁中心线坐标。

[0088] S32:根据桥梁中心线处的相对高程和已知控制点高程,得到桥梁中心线的绝对高程。

[0089] 具体地,根据公式 $z_{cx} = z_c + z_0$ ,得到桥梁中心线的绝对高程 $z_{cx}$ ,其中, $z_0$ 为已知控制点高程。已知控制通常设在墩顶,所以在全站仪建站时,很难通视,墩顶已知控制点的坐标变化缓慢,可定期采用精密测量手段获得。

[0090] S33:桥梁中心线的绝对高程和平面坐标,得到大桥独立坐标系下的桥面中心线线形 $X_R = X(x_{Rx}, y_{Rx}, z_{cx})$ 。

[0091] 由于获取的数据为间隔时间对应的数据,即在里程方向是间隔的点数据,若需要获取未在间隔点上已知里程方向点的高程数据,可通过插值获取。具体地,根据公式: $x_{cm} = \text{interp1}[x_{Rx}, z_{cx}, x_{cm}]$ 求得,其中, $\text{interp1}$ 为线形插值函数, $x_{Rx}$ 为采集到数据的里程方向的

坐标(处于间隔点上),  $z_{cx}$  为  $x_{Rx}$  对应的高程,  $x_{cm}$  为未在间隔点上的里程方向坐标,  $z_{cm}$  为  $x_{cm}$  对应的高程。

[0092] 再次参见图3,当桥梁的跨度太大时,可分段建站,按照全站仪第一次在  $P_1$  建站进行数据处理,第二次在  $P_2$  建站时应注意  $x$  轴方向与桥轴线大里程方向相反。

[0093] 本发明还提供一种测量桥面线形的装置,用于实施测量桥面线形的方法,包括:移动载具4、棱镜3、全站仪1和全球定位接收机2。

[0094] 移动载具4用于在桥面上沿设定移动方向移动;棱镜3设置在移动载具4上,随移动载具4沿设定移动方向一起移动;全站仪1架设在桥面上,用于追踪锁定棱镜3,并测量其空间坐标;全球定位接收机2固定在移动载具4上,用于随移动载具4的移动实时测量其空间坐标。

[0095] 下面给出具体的实施例:

[0096] 采用型号为TS60的全站仪,其标称参数包括测角精度  $0.5''$ ,连续测距精度  $3\text{mm}+1.5\text{ppm}$ ,连续测量时间间隔  $0.15\text{s}$ ,动态跟踪目标距离  $1.5\sim 1000\text{m}$ ,转速  $180^\circ/\text{s}$ 。采用  $360^\circ$  小棱镜。GNSS接收机型号为CHI70。移动载具为电动小汽车。二者采样率均设置为  $5\text{Hz}$ ,全站仪数据存储在闪存,接收机数据存储在小汽车内笔记本电脑中。接收机、全站仪、笔记本电脑均采用自带电池供电。GNSS接收机与棱镜固定于小汽车顶部。

[0097] 测试试验在某大桥进行,桥面铺装已施工完毕。由于主跨跨中为高程最高点,全桥桥面线形分南、北两次测量。全站仪均布置在主塔下方靠近边护栏桥面处,确保小车通过该断面时横向仍有一定的距离。针对小车行驶速度、全站仪与接收机采样率、不同时段及不同工况进行了多次测试,得出以下初步结论。全站仪保持对棱镜稳定锁定的最大速度约为  $25\text{km/h}$ 、即  $7\text{m/s}$ ,速度过大时容易失锁。全站仪采样率设置为  $10\text{Hz}$  时数据的实际时间间隔并不稳定,接收机采样率  $10\text{Hz}$  时也容易导致数据丢失,最终均设置为  $5\text{Hz}$  后数据采集稳定。

[0098] 此时桥面铺装完成但尚未开始车道标线施工且路灯没有安装,故小汽车在桥面行驶时难以保持直线。共进行了3次测量,北塔里程为  $370\text{m}$ ,总测量里程范围为  $787\text{m}$ ;总高差约  $9.5\text{m}$ 。可见最大高程差在  $[-1.0\ 1.5]\text{cm}$  区间,其中超过  $1\text{cm}$  的差值发生在主跨约  $600\text{m}$  以后区域。测站所在的  $370\text{m}$  里程附近高程差波动较大且出现反号,可能与  $360^\circ$  棱镜对中点位置转换有关。上述高程差是仪器误差、棱镜误差、桥面不平顺等的综合体现,该精度能满足大跨径斜拉桥整体线形测量的要求。

[0099] 综上所述,本申请采用数据融合处理的方法,根据GNSS-RTK测量的空间坐标修正棱镜的平面坐标,通过修正后棱镜的横坐标将高程修正至桥轴线处的高程,再结合已知点高程将其修正至绝对高程。通过将移动小车与全站仪和GNSS-RTK进行组合,避免了全站仪和GNSS-RTK单独工作时的不足,提高了测量精度和采样率,解决了长时间长距离大范围的主梁线形测量作业时需要通过已知坐标的后视点建立坐标系对现场环境要求较高、测量误差大、效率低的问题。

[0100] 在本申请的描述中,需要说明的是,术语“上”、“下”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本申请和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本申请的限制。除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是机械连接,也可以是电连

接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

[0101] 需要说明的是,在本申请中,诸如“第一”和“第二”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。

[0102] 以上所述仅是本申请的具体实施方式,使本领域技术人员能够理解或实现本申请。对这些实施例的多种修改对本领域的技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本申请的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本申请将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所申请的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

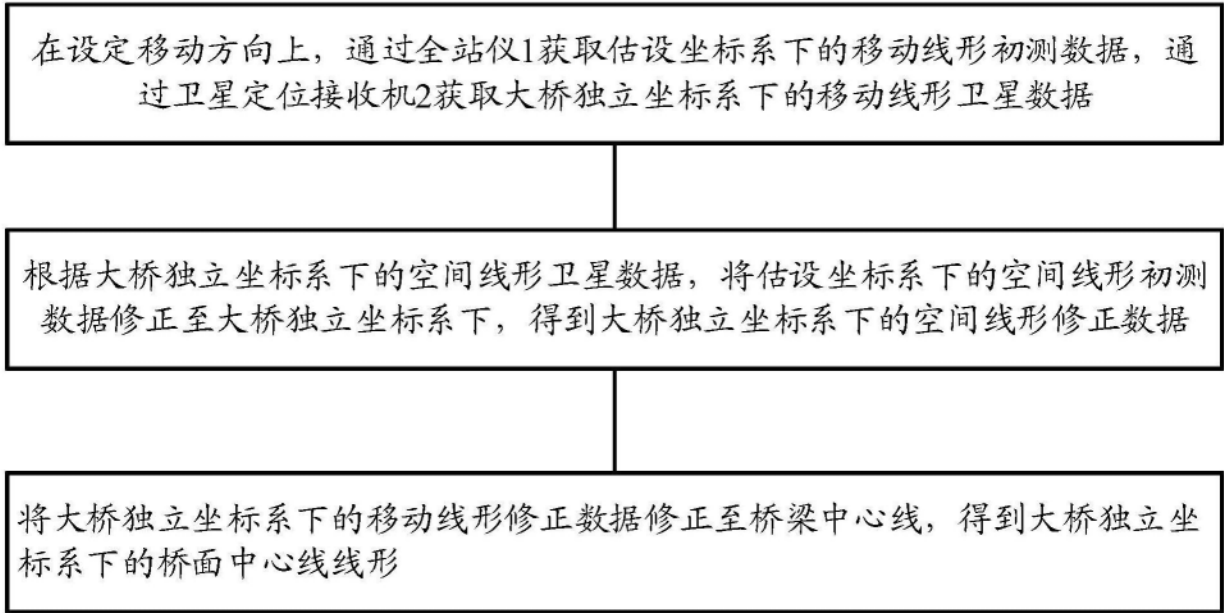


图1

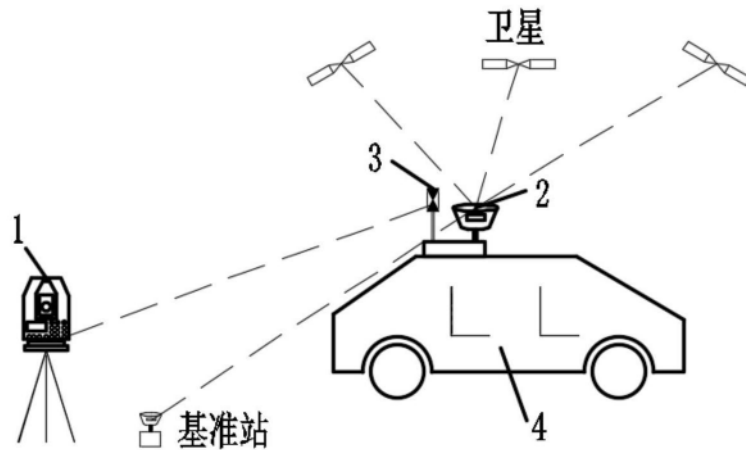


图2

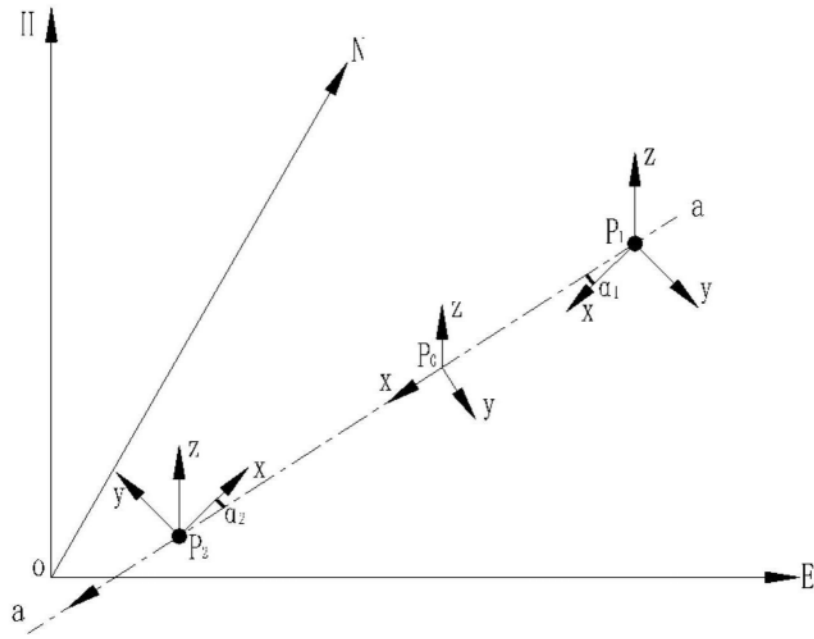


图3