



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108778888 B

(45)授权公告日 2019.11.12

(21)申请号 201780016557.6

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

(22)申请日 2017.03.17

代理人 高迪

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108778888 A

(51)Int.Cl.

(43)申请公布日 2018.11.09

B61K 9/08(2006.01)

(30)优先权数据

B60L 3/00(2019.01)

2016-058638 2016.03.23 JP

B61D 37/00(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2018.09.11

B61F 5/24(2006.01)

B61L 1/20(2006.01)

E01B 35/00(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2017/011010 2017.03.17

(56)对比文件

CN 104802826 A,2015.07.29,

CN 104309640 A,2015.01.28,

(87)PCT国际申请的公布数据
W02017/164133 JA 2017.09.28

JP 2014043149 A,2014.03.13,

US 2012199700 A1,2012.08.09,

(73)专利权人 日本制铁株式会社
地址 日本东京

JP 2014126451 A,2014.07.07,

审查员 赵益

(72)发明人 中川淳一 下川嘉之 品川大辅
后藤修 南秀树

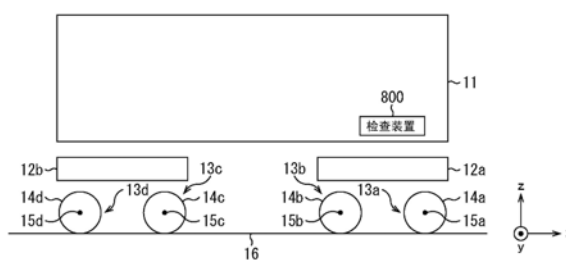
权利要求书5页 说明书23页 附图12页

(54)发明名称

检查系统、检查方法及计算机可读取存储介质

(57)摘要

检查装置(800)将轮轴(13a~13d)的偏转方向上的角位移、由滤波器求出的状态变量、和前后方向力的测量值代入到记述轮轴(13a~13d)的偏转的运动方程式中,计算轨向不平顺量。



1. 一种检查系统,其特征在于,
具有:

数据取得机构,取得计测数据,该计测数据是通过使具有车体、台车和轮轴的铁路车辆在轨道上行驶从而测量的测量值的数据;

滤波器运算机构,通过使用上述计测数据、状态方程式和观测方程式,进行使用了进行数据同化的滤波器的运算,由此决定作为在上述状态方程式中应决定的变量的状态变量;以及

轨道状态导出机构,导出反映上述轨道的状态的信息;

上述计测数据包括:上述台车及上述轮轴的左右方向的加速度的测量值、和前后方向力的测量值;

上述左右方向是与前后方向及上下方向的双方垂直的方向,该前后方向是沿着上述铁路车辆的行驶方向的方向,该上下方向是相对于上述轨道垂直的方向;

上述前后方向力是在上述轮轴与设置该轮轴的上述台车之间所配置的部件中发生的上述前后方向的力,是根据上述轮轴的偏转方向的角位移与设置该轮轴的上述台车的偏转方向的角位移的差而决定的力;

上述部件是用来支承轴箱的部件;

上述偏转方向是以上述上下方向为转动轴的转动方向;

上述状态方程式是使用上述状态变量、上述前后方向力和转换变量来记述的方程式;

上述状态变量包括上述台车的左右方向的位移及速度、上述台车的偏转方向的角位移及角速度、上述台车的滚动方向的角位移及角速度、上述轮轴的左右方向的位移及速度、以及安装在上述铁路车辆上的空气弹簧的滚动方向的角位移,不包括上述轮轴的偏转方向的角位移及角速度;

上述滚动方向是以上述前后方向为转动轴的转动方向;

上述转换变量是将上述轮轴的偏转方向的角位移和上述台车的偏转方向的角位移相互转换的变量;

上述观测方程式是使用观测变量和上述转换变量来记述的方程式;

上述观测变量包括上述台车及上述轮轴的左右方向的加速度;

上述滤波器运算机构使用上述观测变量的测量值、代入了上述前后方向力的测量值及上述转换变量的实际值的上述状态方程式、和代入了上述转换变量的实际值的上述观测方程式,决定上述观测变量的测量值与计算值的误差或该误差的期望值为最小时的上述状态变量;

上述轨道状态导出机构使用作为由上述滤波器运算机构决定的上述状态变量之一的上述台车的偏转方向的角位移、和上述转换变量的实际值,导出上述轮轴的偏转方向的角位移的估计值,使用所导出的上述轮轴的偏转方向的角位移的估计值,导出反映上述轨道的状态的信息;

将上述转换变量的实际值使用上述前后方向力的测量值导出。

2. 如权利要求1所述的检查系统,其特征在于,

上述状态方程式使用记述上述轮轴的左右方向的运动的运动方程式、记述上述台车的左右方向的运动的运动方程式、记述上述台车的偏转方向的运动的运动方程式、记述上述

台车的滚动方向的运动的运动方程式、和记述上述空气弹簧的滚动方向的运动的运动方程式构成；

记述上述轮轴的左右方向的运动的运动方程式，是代替上述轮轴的偏转方向的角位移而使用上述转换变量来记述的运动方程式；

记述上述台车的偏转方向的运动的运动方程式是代替上述轮轴的偏转方向的角位移及角速度而使用上述前后方向力来记述的运动方程式；

将上述转换变量使用上述台车的偏转方向的角位移与上述轮轴的偏转方向的角位移的差表示。

3. 如权利要求1或2所述的检查系统，其特征在于，

上述数据取得机构还取得上述车体的左右方向的加速度的测量值；

上述观测变量还包括上述车体的左右方向的加速度；

上述状态变量还具有上述车体的左右方向的位移及速度、上述车体的偏转方向的角位移及角速度、上述车体的滚动方向的角位移及角速度、以及安装在上述铁路车辆上的偏转阻尼器的偏转方向的角位移；

上述滤波器运算机构决定上述车体、上述台车及上述轮轴的左右方向的加速度的测量值与计算值的差为最小时的上述状态变量。

4. 如权利要求3所述的检查系统，其特征在于，

上述状态方程式还使用记述上述车体的左右方向的运动的运动方程式、记述上述车体的偏转方向的运动的运动方程式、记述上述车体的滚动方向的运动的运动方程式、以及记述上述偏转阻尼器的偏转方向的运动的运动方程式而构成。

5. 如权利要求1或2所述的检查系统，其特征在于，

上述观测方程式还使用记述上述轮轴的左右方向的运动的运动方程式和记述上述台车的左右方向的运动的运动方程式而构成；

记述上述轮轴的左右方向的运动的运动方程式是代替上述轮轴的偏转方向的角位移而使用上述转换变量来记述的运动方程式。

6. 如权利要求5所述的检查系统，其特征在于，

上述观测方程式还使用记述上述车体的左右方向的运动的运动方程式而构成。

7. 如权利要求1或2所述的检查系统，其特征在于，

上述轨道状态导出机构基于作为由上述滤波器运算机构决定的上述状态变量的上述台车的左右方向的位移及速度、作为由上述滤波器运算机构决定的上述状态变量的上述轮轴的左右方向的位移及速度、上述轮轴的偏转方向的角位移的上述估计值、上述前后方向力的测量值、和记述上述轮轴的偏转方向的运动的运动方程式，将上述轨道的轨向不平顺量作为反映上述轨道的状态的信息导出；

记述上述轮轴的偏转方向的运动的运动方程式包含上述前后方向力及上述轨道的轨向不平顺量作为变量。

8. 如权利要求1或2所述的检查系统，其特征在于，

上述轨道状态导出机构基于上述轮轴的偏转方向的角位移和上述状态变量中所包含的上述轮轴的左右方向的速度，将作为设置在上述轮轴上的车轮与上述轨道之间的左右方向的应力的横压作为反映上述轨道的状态的信息导出。

9. 如权利要求1或2所述的检查系统,其特征在于,
上述前后方向力,是在安装于1个上述轮轴的上述左右方向的两侧上的2个上述部件的各自中发生的力的上述前后方向的成分中的、相互为逆相位的成分。
10. 如权利要求9所述的检查系统,其特征在于,
上述部件是支承上述轴箱的连杆、或安装在支承上述轴箱的连杆上的橡胶衬套。
11. 如权利要求9所述的检查系统,其特征在于,
上述部件是支承上述轴箱的轴梁、或安装在支承上述轴箱的轴梁上的橡胶衬套。
12. 如权利要求9所述的检查系统,其特征在于,
上述部件是支承上述轴箱的板簧、或安装在支承上述轴箱的板簧上的橡胶衬套。
13. 如权利要求1或2所述的检查系统,其特征在于,
上述滤波器是卡尔曼滤波器。
14. 如权利要求1或2所述的检查系统,其特征在于,
还具有:
发送机构,将由上述数据取得机构取得的上述计测数据发送;以及
接收机构,将由上述发送机构发送的上述计测数据接收;
上述滤波器运算机构使用由上述接收机构接收到的上述计测数据、上述状态方程式和上述观测方程式,决定上述状态变量。
15. 一种检查方法,其特征在于,
具有:
数据取得工序,取得计测数据,该计测数据是通过使具有车体、台车和轮轴的铁路车辆在轨道上行驶从而测量的测量值的数据;
滤波器运算工序,通过使用上述计测数据、状态方程式和观测方程式,进行使用了进行数据同化的滤波器的运算,由此决定作为在上述状态方程式中应决定的变量的状态变量;以及
轨道状态导出工序,导出反映上述轨道的状态的信息;
上述计测数据包括:上述台车及上述轮轴的左右方向的加速度的测量值、和前后方向力的测量值;
上述左右方向是与前后方向及上下方向的双方垂直的方向,该前后方向是沿着上述铁路车辆的行驶方向的方向,该上下方向是相对于上述轨道垂直的方向;
上述前后方向力是在上述轮轴与设置该轮轴的上述台车之间所配置的部件中发生的上述前后方向的力,是根据上述轮轴的偏转方向的角位移与设置该轮轴的上述台车的偏转方向的角位移的差而决定的力;
上述部件是用来支承轴箱的部件;
上述偏转方向是以上述上下方向为转动轴的转动方向;
上述状态方程式是使用上述状态变量、上述前后方向力和转换变量来记述的方程式;
上述状态变量包括上述台车的左右方向的位移及速度、上述台车的偏转方向的角位移及角速度、上述台车的滚动方向的角位移及角速度、上述轮轴的左右方向的位移及速度、以及安装在上述铁路车辆上的空气弹簧的滚动方向的角位移,不包括上述轮轴的偏转方向的角位移及角速度;

上述滚动方向是以上述前后方向为转动轴的转动方向；

上述转换变量是将上述轮轴的偏转方向的角位移和上述台车的偏转方向的角位移相互转换的变量；

上述观测方程式是使用观测变量和上述转换变量来记述的方程式；

上述观测变量包括上述台车及上述轮轴的左右方向的加速度；

上述滤波器运算工序使用上述观测变量的测量值、代入了上述前后方向力的测量值及上述转换变量的实际值的上述状态方程式、和代入了上述转换变量的实际值的上述观测方程式，决定上述观测变量的测量值与计算值的误差或该误差的期望值为最小时的上述状态变量；

上述轨道状态导出工序使用作为由上述滤波器运算工序决定的上述状态变量之一的上述台车的偏转方向的角位移、和上述转换变量的实际值，导出上述轮轴的偏转方向的角位移的估计值，使用所导出的上述轮轴的偏转方向的角位移的估计值，导出反映上述轨道的状态的信息；

将上述转换变量的实际值使用上述前后方向力的测量值导出。

16. 一种计算机可读取存储介质，其特征在于，

存储用于使计算机执行包括以下工序的程序：

数据取得工序，取得计测数据，该计测数据是通过使具有车体、台车和轮轴的铁路车辆在轨道上行驶从而测量的测量值的数据；

滤波器运算工序，通过使用上述计测数据、状态方程式和观测方程式，进行使用了进行数据同化的滤波器的运算，由此决定作为在上述状态方程式中应决定的变量的状态变量；以及

轨道状态导出工序，导出反映上述轨道的状态的信息；

上述计测数据包括：上述台车及上述轮轴的左右方向的加速度的测量值、和前后方向力的测量值；

上述左右方向是与前后方向及上下方向的双方垂直的方向，该前后方向是沿着上述铁路车辆的行驶方向的方向，该上下方向是相对于上述轨道垂直的方向；

上述前后方向力是在上述轮轴与设置该轮轴的上述台车之间所配置的部件中发生的上述前后方向的力，是根据上述轮轴的偏转方向的角位移与设置该轮轴的上述台车的偏转方向的角位移的差而决定的力；

上述部件是用来支承轴箱的部件；

上述偏转方向是以上述上下方向为转动轴的转动方向；

上述状态方程式是使用上述状态变量、上述前后方向力和转换变量来记述的方程式；

上述状态变量包括上述台车的左右方向的位移及速度、上述台车的偏转方向的角位移及角速度、上述台车的滚动方向的角位移及角速度、上述轮轴的左右方向的位移及速度、以及安装在上述铁路车辆上的空气弹簧的滚动方向的角位移，不包括上述轮轴的偏转方向的角位移及角速度；

上述滚动方向是以上述前后方向为转动轴的转动方向；

上述转换变量是将上述轮轴的偏转方向的角位移和上述台车的偏转方向的角位移相互转换的变量；

上述观测方程式是使用观测变量和上述转换变量来记述的方程式；

上述观测变量包括上述台车及上述轮轴的左右方向的加速度；

上述滤波器运算工序使用上述观测变量的测量值、代入了上述前后方向力的测量值及上述转换变量的实际值的上述状态方程式、和代入了上述转换变量的实际值的上述观测方程式，决定上述观测变量的测量值与计算值的误差或该误差的期望值为最小时的上述状态变量；

上述轨道状态导出工序使用作为由上述滤波器运算工序决定的上述状态变量之一的上述台车的偏转方向的角位移、和上述转换变量的实际值，导出上述轮轴的偏转方向的角位移的估计值，使用所导出的上述轮轴的偏转方向的角位移的估计值，导出反映上述轨道的状态的信息；

将上述转换变量的实际值使用上述前后方向力的测量值导出。

检查系统、检查方法及计算机可读取存储介质

技术领域

[0001] 本发明涉及检查系统、检查方法及计算机可读取存储介质,特别适合于检查铁路车辆的轨道。

背景技术

[0002] 如果铁路车辆在轨道上行驶,则根据来自铁路车辆的载荷而轨道的位置变化。如果发生这样的轨道的变化,则铁路车辆有可能显示异常的动态。所以,以往通过使铁路车辆在轨道上行驶,来进行检测轨道的异常的操作。

[0003] 在专利文献1中,记载了通过3点测量法测量轨道不平顺(轨道偏差、track irregularity)量的技术。此外,在专利文献2中,记载了通过将铁路车辆的振动的数据作为观测数据应用到卡尔曼滤波器等的模型规范型估计法中、来检测铁路车辆的异常的动态的技术。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本特开昭56-19404号公报

[0007] 专利文献2:日本特开2005-67276号公报

[0008] 非专利文献

[0009] 非专利文献1:日本机械学会编,“铁道車両のダイナミクス最新の台車テクノロジー”,株式会社电气车研究,2003年1月,p.15-p.33

[0010] 非专利文献2:Ping Li et al.,“Estimation of railway vehicle suspension parameters for condition monitoring”,Control Engineering Practice 15(2007) p.43-p.55

发明内容

[0011] 发明要解决的课题

[0012] 但是,专利文献1中记载的方法是直接测量轨道不平顺的方法。因此,需要昂贵的测量装置。此外,专利文献2中记载的方法没有选定状态变量。因此,高精度地预测轨道不平顺并不容易。

[0013] 本发明是鉴于以上那样的问题而做出的,目的是能够不添加较大的成本而精度良好地检测铁路车辆的轨道不平顺。

[0014] 用来解决课题的手段

[0015] 本发明的检查系统的特征在于,具有:数据取得机构,取得计测数据,所述计测数据是通过使具有车体、台车和轮轴的铁路车辆在轨道上行驶而测量的测量值的数据;滤波器运算机构,使用上述计测数据、状态方程式和观测方程式,进行使用了进行数据同化的滤波器的运算,从而决定作为在上述状态方程式中应决定的变量的状态变量;以及轨道状态导出机构,导出反映上述轨道的状态的信息;上述计测数据包括上述台车及上述轮轴的左

右方向的加速度的测量值和前后方向力的测量值；上述左右方向是与前后方向及上下方向的双方垂直的方向，所述前后方向是沿着上述铁路车辆的行驶方向的方向，所述上下方向是相对于上述轨道垂直的方向；上述前后方向力是在配置于上述轮轴与设置了该轮轴的上述台车之间的部件中发生的上述前后方向的力，该力是根据上述轮轴的偏转方向的角位移与设置该轮轴的上述台车的偏转方向的角位移的差来决定的力；上述部件是用来支承轴箱的部件；上述偏转方向是以上述上下方向为转动轴的转动方向；上述状态方程式是使用上述状态变量、上述前后方向力和转换变量来记述的方程式；上述状态变量包括上述台车的左右方向的位移及速度、上述台车的偏转方向的角位移及角速度、上述台车的滚动方向的角位移及角速度、上述轮轴的左右方向的位移及速度、以及安装在上述铁路车辆上的空气弹簧的滚动方向的角位移，不包括上述轮轴的偏转方向的角位移及角速度；上述滚动方向是以上述前后方向为转动轴的转动方向；上述转换变量是将上述轮轴的偏转方向的角位移和上述台车的偏转方向的角位移相互转换的变量；上述观测方程式是使用观测变量和上述转换变量记述的方程式；上述观测变量包括上述台车及上述轮轴的左右方向的加速度；上述滤波器运算机构使用上述观测变量的测量值、代入了上述前后方向力的测量值及上述转换变量的实际值的上述状态方程式、和代入了上述转换变量的实际值的上述观测方程式，决定上述观测变量的测量值与计算值的误差或该误差的期望值为最小时的上述状态变量；上述轨道状态导出机构使用作为由上述滤波器运算机构决定的上述状态变量之一的上述台车的偏转方向的角位移、和上述转换变量的实际值，导出上述轮轴的偏转方向的角位移的估计值，使用所导出的上述轮轴的偏转方向的角位移的估计值，导出反映上述轨道的状态的信息；将上述转换变量的实际值使用上述前后方向力的测量值导出。

[0016] 本发明的检查方法的特征在于，具有：数据取得工序，取得计测数据，所述计测数据是通过使具有车体、台车和轮轴的铁路车辆在轨道上行驶而测量的测量值的数据；滤波器运算工序，通过使用上述计测数据、状态方程式和观测方程式，进行使用了进行数据同化的滤波器的运算，决定作为在上述状态方程式中应决定的变量的状态变量；以及轨道状态导出工序，导出反映上述轨道的状态的信息；上述计测数据包括上述台车及上述轮轴的左右方向的加速度的测量值、和前后方向力的测量值；上述左右方向是与前后方向及上下方向的双方垂直的方向，所述前后方向是沿着上述铁路车辆的行驶方向的方向，所述上下方向是相对于上述轨道垂直的方向；上述前后方向力是在配置于上述轮轴与设置了该轮轴的上述台车之间的部件中发生的上述前后方向的力，该力是根据上述轮轴的偏转方向的角位移与设置了该轮轴的上述台车的偏转方向的角位移的差来决定的力；上述部件是用来支承轴箱的部件；上述偏转方向是以上述上下方向为转动轴的转动方向；上述状态方程式是使用上述状态变量、上述前后方向力和转换变量记述的方程式；上述状态变量包括上述台车的左右方向的位移及速度、上述台车的偏转方向的角位移及角速度、上述台车的滚动方向的角位移及角速度、上述轮轴的左右方向的位移及速度、以及安装在上述铁路车辆上的空气弹簧的滚动方向的角位移，不包括上述轮轴的偏转方向的角位移及角速度；上述滚动方向是以上述前后方向为转动轴的转动方向；上述转换变量是将上述轮轴的偏转方向的角位移和上述台车的偏转方向的角位移相互转换的变量；上述观测方程式是使用观测变量和上述转换变量记述的方程式；上述观测变量包括上述台车及上述轮轴的左右方向的加速度；上述滤波器运算工序使用上述观测变量的测量值、代入了上述前后方向力的测量值及上述

转换变量的实际值的上述状态方程式、和代入了上述转换变量的实际值的上述观测方程式,决定上述观测变量的测量值与计算值的误差或该误差的期望值为最小时的上述状态变量;上述轨道状态导出工序使用作为由上述滤波器运算工序决定的上述状态变量之一的上述台车的偏转方向的角位移、和上述转换变量的实际值,导出上述轮轴的偏转方向的角位移的估计值,使用所导出的上述轮轴的偏转方向的角位移的估计值,导出反映上述轨道的状态的信息;将上述转换变量的实际值使用上述前后方向力的测量值导出。

[0017] 本发明的计算机可读取存储介质的特征在于,用于存储使计算机执行包括以下工序的工序的程序:数据取得工序,取得计测数据,所述计测数据是通过使具有车体、台车和轮轴的铁路车辆在轨道上行驶而测量的测量值的数据;滤波器运算工序,通过使用上述计测数据、状态方程式和观测方程式,进行使用了进行数据同化的滤波器的运算,决定作为在上述状态方程式中应决定的变量的状态变量;以及轨道状态导出工序,导出反映上述轨道的状态的信息;上述计测数据包括上述台车及上述轮轴的左右方向的加速度的测量值、和前后方向力的测量值;上述左右方向是与前后方向及上下方向的双方垂直的方向,所述前后方向是沿着上述铁路车辆的行驶方向的方向,所述上下方向是相对于上述轨道垂直的方向;上述前后方向力是在配置于上述轮轴与设置了该轮轴的上述台车之间的部件中发生的上述前后方向的力,该力是根据上述轮轴的偏转方向的角位移与设置了该轮轴的上述台车的偏转方向的角位移的差来决定的力;上述部件是用来支承轴箱的部件;上述偏转方向是以上述上下方向为转动轴的转动方向;上述状态方程式是使用上述状态变量、上述前后方向力和转换变量记述的方程式;上述状态变量包括上述台车的左右方向的位移及速度、上述台车的偏转方向的角位移及角速度、上述台车的滚动方向的角位移及角速度、上述轮轴的左右方向的位移及速度、以及安装在上述铁路车辆上的空气弹簧的滚动方向的角位移,不包括上述轮轴的偏转方向的角位移及角速度;上述滚动方向是以上述前后方向为转动轴的转动方向;上述转换变量是将上述轮轴的偏转方向的角位移和上述台车的偏转方向的角位移相互转换的变量;上述观测方程式是使用观测变量和上述转换变量记述的方程式;上述观测变量包括上述台车及上述轮轴的左右方向的加速度;上述滤波器运算工序使用上述观测变量的测量值、代入了上述前后方向力的测量值及上述转换变量的实际值的上述状态方程式、和代入了上述转换变量的实际值的上述观测方程式,决定上述观测变量的测量值与计算值的误差或该误差的期望值为最小时的上述状态变量;上述轨道状态导出工序使用作为由上述滤波器运算工序决定的上述状态变量之一的上述台车的偏转方向的角位移、和上述转换变量的实际值,导出上述轮轴的偏转方向的角位移的估计值,使用所导出的上述轮轴的偏转方向的角位移的估计值,导出反映上述轨道的状态的信息;将上述转换变量的实际值使用上述前后方向力的测量值导出。

附图说明

[0018] 图1是表示铁路车辆的概略的一例的图。

[0019] 图2是概念性地表示铁路车辆的构成要素的主要的运动的方向的图。

[0020] 图3是表示轨向不平顺(alignment irregularity)量的一例的图。

[0021] 图4是表示轨向不平顺量与铁路车辆的构成要素的运动的相互的作用关系的一例的图。

[0022] 图5是利用前后方向力表示轨向不平顺量与铁路车辆的构成要素的运动的相互的作用关系的一例的图。

[0023] 图6是表示决定对轮轴的偏转 (yawing) 直接作用的构成要素的运动所需要的作用关系的一例的图。

[0024] 图7是表示决定轨向不平顺量所需要的作用关系的一例的图。

[0025] 图8是表示检查装置的功能性的结构的一例的图。

[0026] 图9是表示检查装置的硬件的结构的一例的图。

[0027] 图10是表示检查装置的事前处理的一例的图。

[0028] 图11是表示检查装置的正式处理的一例的图。

[0029] 图12是表示观测数据的一例的图。

[0030] 图13是表示轨向不平顺量的实测值和计算值的一例的图。

[0031] 图14是表示检查系统的结构的一例的图。

具体实施方式

[0032] 以下,参照附图说明本发明的实施方式。

[0033] (第1实施方式)

[0034] 首先,说明第1实施方式。

[0035] 图1是表示铁路车辆的概略的一例的图。另外,在图1中,假设铁路车辆向x轴的正的方向前进(x轴是沿着铁路车辆的行驶方向的轴)。此外,设z轴是相对于轨道16(地面)垂直方向(铁路车辆的高度方向)。设y轴是相对于铁路车辆的行驶方向垂直的水平方向(与铁路车辆的行驶方向及高度方向的双方垂直的方向)。此外,假设铁路车辆是营运车辆。另外,在图1及图3中,在○之中带有●的图示,表示从纸面的里侧朝向跟前侧(眼前侧)的方向。在图1中,该方向是y轴的正方向。在图3中,该方向是z轴的正方向。

[0036] 如图1所示,在本实施方式中,铁路车辆具有车体11、台车12a、12b和轮轴13a~13d。这样,在本实施方式中,举例了在1个车体11中具备2个台车12a、12b和4组轮轴13a~13d的铁路车辆来进行说明。轮轴13a~13d具有车轴15a~15d和设置在其两端上的车轮14a~14d。在本实施方式中,举台车12a、12b是无摇枕转向架台车的情况为例进行说明。另外,在图1中,为了表述的方便,仅表示轮轴13a~13d的一方侧的车轮14a~14d,但在轮轴13a~13d的另一方侧上也设置有车轮(在图1所示的例子中,车轮合计有8个)。此外,铁路车辆具有图1所示的构成要素以外的构成要素(在后述的运动方程式中说明的构成要素等),但为了表述的方便,在图1中省略了该构成要素的图示。例如,台车12a、12b具有台车框及枕簧等。此外,在各轮轴13a~13d的左右方向的两侧配置有轴箱。此外,台车框和轴箱被轴箱支承装置相互结合。轴箱支承装置是配置在轴箱及台车框之间的装置(悬架)。轴箱支承装置将从轨道16向铁路车辆传递的振动吸收。此外,轴箱支承装置以限制轴箱相对于台车框的位置的状态支承轴箱,以抑制轴箱相对于台车框在前后方向及左右方向上移动(优选的是不发生该移动)。轴箱支承装置被配置在各轮轴13a~13d的左右方向的两侧。另外,由于铁路车辆自身能够以周知的技术实现,所以这里省略其详细的说明。

[0037] 如果铁路车辆在轨道16上行驶,则车轮14a~14d与轨道16之间的作用力(蠕变力)成为振动源,振动依次向轮轴13a~13d、台车12a、12b、车体11传递。图2是概念性地表示铁

路车辆的构成要素(轮轴13a~13d、台车12a、12b、车体11)的主要的运动的方向的图。图2所示的x轴、y轴、z轴分别与图1所示的x轴、y轴、z轴对应。

[0038] 如图2所示,在本实施方式中,举轮轴13a~13d、台车12a、12b及车体11进行以x轴为转动轴转动的运动、以z轴为转动轴转动的运动和沿着y轴的方向的运动的运动的情况为例进行说明。在以下的说明中,将以x轴为转动轴转动的运动根据需要而称作滚动(rolling),将以x轴为转动轴的转动方向根据需要而称作滚动方向,将沿着x轴的方向根据需要而称作前后方向。另外,前后方向是铁路车辆的行驶方向。在本实施方式中,假设沿着x轴的方向是铁路车辆的行驶方向。此外,将以z轴为转动轴转动的运动根据需要而称作偏转(yawing),将以z轴为转动轴的转动方向根据需要而称作偏转方向,将沿着z轴的方向根据需要而称作上下方向。另外,上下方向是相对于轨道16垂直的方向。此外,将沿着y轴的方向的运动根据需要而称作横向振动,将沿着y轴的方向根据需要而称作左右方向。另外,左右方向是与前后方向(铁路车辆的行驶方向)及上下方向(相对于轨道16垂直的方向)的双方垂直的方向。另外,铁路车辆也进行其他运动,但在本实施方式中为了使说明变简单,关于这些运动设为不考虑。但是,也可以考虑这些运动。

[0039] <运动方程式>

[0040] 以以上为前提,说明记述铁路车辆的行驶时的运动的运动方程式的一例。在本实施方式中,举铁路车辆具有21自由度的情况为例进行说明。即,假设轮轴13a~13d进行左右方向上的运动(横向振动)和偏转方向上的运动(偏转)(2×4 组=8自由度)。此外,假设台车12a、12b进行左右方向上的运动(横向振动)及偏转方向上的运动(偏转)和滚动方向上的运动(滚动)(3×2 组=6自由度)。此外,假设车体11进行左右方向上的运动(横向振动)、偏转方向上的运动(偏转)和滚动方向上的运动(滚动)(3×1 组=3自由度)。此外,假设对于台车12a、12b分别设置的空气弹簧(枕簧)进行滚动方向上的运动(滚动)(1×2 组=2自由度)。此外,假设对于台车12a、12b分别设置的偏转阻尼器进行偏转方向上的运动(偏转)(1×2 组=2自由度)。

[0041] 另外,自由度并不限定于21自由度。如果增大自由度,则计算精度提高,但计算负荷变高。此外,后述的卡尔曼滤波器的动作有可能不稳定。可以考虑这些点而适当决定自由度。此外,以下的运动方程式可以通过将各个构成要素(车体11、台车12a、12b、轮轴13a~13d)的各自的方向(左右方向、偏转方向、滚动方向)的动作例如基于非专利文献1、2的记载表示来实现。因而,这里说明各个运动方程式的概要,省略详细的说明。

[0042] 在以下的各式中,下标w表示轮轴13a~13d。(仅)带有下标w的变量表示在轮轴13a~13d间是共通的。下标w1、w2、w3、w4分别表示轮轴13a、13b、13c、13d。

[0043] 下标t、T表示台车12a、12b。(仅)带有下标t、T的变量表示在台车12a、12b间是共通的。下标t1、t2分别表示台车12a、12b。

[0044] 下标b、B表示是车体11。

[0045] 下标x表示前后方向或滚动方向,下标y表示左右方向,下标z表示上下方向或偏转方向。

[0046] 此外,在变量之上带有的“ $\cdot\cdot$ ”,“ \cdot ”分别表示2阶时间微分、1阶时间微分。

[0047] 另外,在以下的运动方程式的说明时,根据需要而将已出现的变量的说明省略。

[0048] [轮轴的横向振动]

[0049] 将记述轮轴13a~13d的横向振动(左右方向上的运动)的运动方程式用以下的(1)式~(4)式表示。

[0050] [数式1]

$$[0051] \quad m_w \ddot{y}_{w1} + \frac{f_2}{V} \dot{y}_{w1} + C_{wy} [\dot{y}_{w1} - \{\dot{y}_{t1} + a \dot{\psi}_{t1} + h_1 \dot{\phi}_{t1}\}] - f_2 \psi_{w1} + K_{wy} [y_{w1} - \{y_{t1} + a \psi_{t1} + h_1 \phi_{t1}\}] = 0 \quad \dots (1)$$

$$[0052] \quad m_w \ddot{y}_{w2} + \frac{f_2}{V} \dot{y}_{w2} + C_{wy} [\dot{y}_{w2} - \{\dot{y}_{t1} + a \dot{\psi}_{t1} + h_1 \dot{\phi}_{t1}\}] - f_2 \psi_{w2} + K_{wy} [y_{w2} - \{y_{t1} + a \psi_{t1} + h_1 \phi_{t1}\}] = 0 \quad \dots (2)$$

$$[0053] \quad m_w \ddot{y}_{w3} + \frac{f_2}{V} \dot{y}_{w3} + C_{wy} [\dot{y}_{w3} - \{\dot{y}_{t2} + a \dot{\psi}_{t2} + h_1 \dot{\phi}_{t2}\}] - f_2 \psi_{w3} + K_{wy} [y_{w3} - \{y_{t2} + a \psi_{t2} + h_1 \phi_{t2}\}] = 0 \quad \dots (3)$$

$$[0054] \quad m_w \ddot{y}_{w4} + \frac{f_2}{V} \dot{y}_{w4} + C_{wy} [\dot{y}_{w4} - \{\dot{y}_{t2} + a \dot{\psi}_{t2} + h_1 \dot{\phi}_{t2}\}] - f_2 \psi_{w4} + K_{wy} [y_{w4} - \{y_{t2} + a \psi_{t2} + h_1 \phi_{t2}\}] = 0 \quad \dots (4)$$

[0055] m_w 是轮轴13a~13d的质量。 y_{w1} (在式中, \cdot 被附加到 y_{w1} 之上(以下,关于其他变量也是同样的))是轮轴13a的左右方向上的加速度。 f_2 是横蠕变系数。 V 是铁路车辆的行驶速度。 y_{w1} (在式中, \cdot 被附加在 y_{w1} 之上(以下,关于其他变量也是同样的))是轮轴13a的左右方向上的速度。 C_{wy} 是将轴箱与轮轴相连的轴箱支承装置的左右方向上的阻尼常数。 y_{t1} 是台车12a的左右方向上的速度。 a 表示设置在台车12a、12b上的轮轴13a/13b、13c/13d间的前后方向上的距离的1/2(设置在台车12a、12b上的轮轴13a/13b、13c/13d间的距离为2a)。 ψ_{t1} 是台车12a的偏转方向上的角速度。 h_1 是车轴的中心与台车12a的重心的上下方向上的距离。 ϕ_{t1} 是台车12a的滚动方向上的角速度。 ψ_{w1} 是轮轴13a的偏转方向上的转动量(角位移)。 K_{wy} 是轴箱支承装置的左右方向的弹簧常数。 y_{w1} 是轮轴13a的左右方向上的位移。 y_{t1} 是台车12a的左右方向上的位移。 ψ_{t1} 是台车12a的偏转方向上的转动量(角位移)。 ϕ_{t1} 是台车12a的滚动方向上的转动量(角位移)。另外,将(2)式~(4)式的各变量通过按照上述的下标的意义替换(1)式的变量来表示。

[0056] [轮轴的偏转]

[0057] 将记述轮轴13a~13d的偏转的运动方程式用以下的(5)式~(8)式表示。

[0058] [数式2]

$$[0059] \quad I_{wz} \ddot{\psi}_{w1} + \frac{f_1 b^2}{V} \dot{\psi}_{w1} + C_{wx} b_1^2 \{\dot{\psi}_{w1} - \dot{\psi}_{t1}\} + \frac{f_1 b \gamma}{r} \{y_{w1} - y_{R1}\} + s_a K_{wy} \{y_{w1} - y_{t1}\} + s_a C_{wy} \{\dot{y}_{w1} - \dot{y}_{t1}\} + K_{wx} b_1^2 \{\psi_{w1} - \psi_{t1}\} = 0 \quad \dots (5)$$

$$[0060] \quad I_{wz} \ddot{\psi}_{w2} + \frac{f_1 b^2}{V} \dot{\psi}_{w2} + C_{wx} b_1^2 \{\dot{\psi}_{w2} - \dot{\psi}_{t1}\} + \frac{f_1 b \gamma}{r} \{y_{w2} - y_{R2}\} + s_a K_{wy} \{y_{w2} - y_{t1}\} + s_a C_{wy} \{\dot{y}_{w2} - \dot{y}_{t1}\} + K_{wx} b_1^2 \{\psi_{w2} - \psi_{t1}\} = 0 \quad \dots (6)$$

$$[0061] \quad I_{wz} \ddot{\psi}_{w3} + \frac{f_1 b^2}{V} \dot{\psi}_{w3} + C_{wx} b_1^2 \{\dot{\psi}_{w3} - \dot{\psi}_{t2}\} + \frac{f_1 b \gamma}{r} \{y_{w3} - y_{R3}\} + s_a K_{wy} \{y_{w3} - y_{t2}\} + s_a C_{wy} \{\dot{y}_{w3} - \dot{y}_{t2}\} + K_{wx} b_1^2 \{\psi_{w3} - \psi_{t2}\} = 0 \quad \dots (7)$$

$$\begin{aligned}
 [0062] \quad & I_{wz} \ddot{\psi}_{w4} + \frac{f_1 b^2}{v} \dot{\psi}_{w4} + C_{wx} b_1^2 \{\dot{\psi}_{w4} - \dot{\psi}_{t2}\} + \frac{f_1 b \gamma}{r} \{y_{w4} - y_{R4}\} + s_a K_{wy} \{y_{w4} - y_{t2}\} \\
 & + s_a C_{wy} \{\dot{y}_{w4} - \dot{y}_{t2}\} + K_{wx} b_1^2 \{\psi_{w4} - \psi_{t2}\} = 0 \quad \dots (8)
 \end{aligned}$$

[0063] I_{wz} 是轮轴13a~13d的偏转方向上的惯性力矩。 $\psi_{w1} \cdot \cdot$ 是轮轴13a的偏转方向上的角加速度。 f_1 是纵蠕变系数。 b 是按照在轮轴13a~13d上的2个车轮与轨道16(铁轨)的接触点之间的左右方向上的距离。 $\psi_{w1} \cdot$ 是轮轴13a的偏转方向上的角速度。 C_{wx} 是轴箱支承装置的前后方向的阻尼常数。 b_1 表示轴箱支承装置的左右方向上的间隔的1/2(相对于1个轮轴在左右设置的2个轴箱支承装置的左右方向上的间隔为 $2b_1$)。 γ 是踏面坡度。 r 是车轮14a~14d的半径。 y_{R1} 是轮轴13a的位置处的轨向不平顺(alignment irregularity, 日文: 通り狂い)量。 s_a 是从车轴15a~15d的中心到轴箱支承弹簧的前后方向上的偏移量。 y_{t1} 是台车12a的左右方向上的位移。 K_{wx} 是轴箱支承装置的前后方向的弹簧常数。另外, (6)式~(8)式的各变量通过按照上述下标的意义将(5)式的变量替换来表示。其中, y_{R2} 、 y_{R3} 、 y_{R4} 分别是轮轴13b、13c、13d的位置处的轨向不平顺量。这里, 所谓轨向不平顺, 如在日本工业标准(JIS E 1001:2001)中记载那样, 是铁轨的长度方向的左右的位移。轨向不平顺量是其位移的量。在图3中表示轮轴13a的位置处的轨向不平顺量 y_{R1} 的一例。在图3中, 举轨道16是直线轨道的情况为例进行说明。在图3中, 16a表示铁轨, 16b表示枕木。在图3中, 假设轮轴13a的车轮14a在位置301处与铁轨16a接触。轮轴13a的位置处的轨向不平顺量 y_{R1} 下的“轮轴13a的位置”, 是轮轴13a的车轮14a与铁轨16a的接触位置。轮轴13a的位置处的轨向不平顺量 y_{R1} , 是轮轴13a的车轮14a与铁轨16a的接触位置、和假定是正规的状态的情况下的铁轨16a的位置的左右方向的距离。轮轴13b、13c、13d的位置处的轨向不平顺量 y_{R2} 、 y_{R3} 、 y_{R4} 也与轮轴13a的位置处的轨向不平顺量 y_{R1} 同样地定义。

[0064] [台车的横向振动]

[0065] 将记述台车12a、12b的横向振动(左右方向上的运动)的运动方程式用以下的(9)式、(10)式表示。

[0066] [数式3]

$$\begin{aligned}
 [0067] \quad & m_T \ddot{y}_{t1} + c'_2 \{ \dot{y}_{t1} - h_4 \dot{\phi}_{t1} \} - \{ \dot{y}_b + L \dot{\psi}_b + h_5 \dot{\phi}_b \} + 2 C_{wy} \{ \dot{y}_{t1} + h_1 \dot{\phi}_{t1} \} - C_{wy} \{ \dot{y}_{w1} + \dot{y}_{w2} \} \\
 & + 2 k'_2 \{ [y_{t1} - h_2 \phi_{t1}] - [y_b + L \psi_b + h_3 \phi_b] \} + 2 K_{wy} \{ y_{t1} + h_1 \phi_{t1} \} - K_{wy} \{ y_{w1} + y_{w2} \} = 0 \\
 & \quad \dots (9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [0068] \quad & m_T \ddot{y}_{t2} + c'_2 \{ \dot{y}_{t2} - h_4 \dot{\phi}_{t2} \} - \{ \dot{y}_b + L \dot{\psi}_b + h_5 \dot{\phi}_b \} + 2 C_{wy} \{ \dot{y}_{t1} + h_1 \dot{\phi}_{t1} \} - C_{wy} \{ \dot{y}_{w3} + \dot{y}_{w4} \} \\
 & + 2 k'_2 \{ [y_{t2} - h_2 \phi_{t2}] - [y_b + L \psi_b + h_3 \phi_b] \} + 2 K_{wy} \{ y_{t2} + h_1 \phi_{t2} \} - K_{wy} \{ y_{w3} + y_{w4} \} = 0 \\
 & \quad \dots (10)
 \end{aligned}$$

[0069] m_T 是台车12a、12b的质量。 $y_{t1} \cdot \cdot$ 是台车12a的左右方向上的加速度。 c'_2 是左右运动阻尼器的阻尼常数。 h_4 是台车12a的重心与左右运动阻尼器的上下方向上的距离。 $y_b \cdot$ 是车体11的左右方向上的速度。 L 表示台车12a、12b的中心间的前后方向上的间隔的1/2(台车12a、12b的中心间的前后方向上的间隔为 $2L$)。 $\psi_b \cdot$ 是车体11的偏转方向上的角速度。 h_5 是左右运动阻尼器与车体11的重心之间的上下方向上的距离。 $\phi_b \cdot$ 是车体11的滚动方向上的角速度。 $y_{w2} \cdot$ 是轮轴13b的左右方向上的速度。 k'_2 是空气弹簧(枕簧)的左右方向的弹簧常数。 h_2 是台车12a、12b的重心与空气弹簧(枕簧)的中心之间的上下方向上的距离。 y_b 是车体

11的左右方向上的位移。 ψ_b 是车体11的偏转方向上的转动量(角位移)。 h_3 是空气弹簧(枕簧)的中心与车体11的重心之间的上下方向上的距离。 ϕ_b 是车体11的滚动方向上的转动量(角位移)。另外,(10)式的各变量通过按照上述下标的意义将(9)式的变量替换来表示。

[0070] [台车的偏转]

[0071] 将记述台车12a、12b的偏转的运动方程式用以下的(11)式、(12)式表示。

[0072] [数式4]

$$\begin{aligned}
 & I_{Tz} \ddot{\psi}_{t1} + C_{wx} b_1^2 \{\dot{\psi}_{t1} - \dot{\psi}_{w1}\} + C_{wx} b_1^2 \{\dot{\psi}_{t1} - \dot{\psi}_{w2}\} + 2C_{wy} a^2 \dot{\psi}_{t1} - C_{wy} a \{\dot{y}_{w1} - \dot{y}_{w2}\} \\
 & + K_{wx} b_1^2 \{\psi_{t1} - \psi_{w1}\} + K_{wx} b_1^2 \{\psi_{t1} - \psi_{w2}\} + 2K_{wy} a^2 \psi_{t1} - K_{wy} a \{y_{w1} - y_{w2}\} \\
 & + 2k'_0 (b'_0)^2 \{\psi_{t1} - \psi_{y1}\} + 2k''_2 b_2^2 \{\psi_{t1} - \psi_b\} = 0 \\
 & \dots (11)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & I_{Tz} \ddot{\psi}_{t2} + C_{wx} b_1^2 \{\dot{\psi}_{t2} - \dot{\psi}_{w3}\} + C_{wx} b_1^2 \{\dot{\psi}_{t2} - \dot{\psi}_{w4}\} + 2C_{wy} a^2 \dot{\psi}_{t2} - C_{wy} a \{\dot{y}_{w3} - \dot{y}_{w4}\} \\
 & + K_{wx} b_1^2 \{\psi_{t2} - \psi_{w3}\} + K_{wx} b_1^2 \{\psi_{t2} - \psi_{w4}\} + 2K_{wy} a^2 \psi_{t2} - K_{wy} a \{y_{w3} - y_{w4}\} \\
 & + 2k'_0 (b'_0)^2 \{\psi_{t2} - \psi_{y2}\} + 2k''_2 b_2^2 \{\psi_{t2} - \psi_b\} = 0 \\
 & \dots (12)
 \end{aligned}$$

[0075] I_{Tz} 是台车12a、12b的偏转方向上的惯性力矩。 $\psi_{t1} \cdot \cdot$ 是台车12a的偏转方向上的角加速度。 $\psi_{w2} \cdot$ 是轮轴13b的偏转方向上的角速度。 ψ_{w2} 是轮轴13b的偏转方向上的转动量(角位移)。 y_{w2} 是轮轴13b的左右方向上的位移。 k'_0 是偏转阻尼器的橡胶衬套刚性。 b'_0 表示相对于台车12a、12b在左右配置的2个偏转阻尼器的左右方向上的间隔的1/2(相对于台车12a、12b在左右配置的2个偏转阻尼器的左右方向上的间隔为 $2b'_0$)。 ψ_{y1} 是配置在台车12a上的偏转阻尼器的偏转方向上的转动量(角位移)。 k''_2 是空气弹簧(枕簧)的左右方向的弹簧常数。 b_2 表示相对于台车12a、12b在左右配置的2个空气弹簧(枕簧)的左右方向上的间隔的1/2(相对于台车12a、12b在左右配置的2个空气弹簧(枕簧)的左右方向上的间隔为 $2b_2$)。另外,(12)式的各变量通过按照上述下标的意义将(11)式的变量替换来表示。

[0076] [台车的滚动]

[0077] 将记述台车12a、12b的滚动的运动方程式用以下的(13)式、(14)式表示。

[0078] [数式5]

$$\begin{aligned}
 & I_{Ix} \ddot{\phi}_{t1} \\
 & + 2c_1 (b'_1)^2 \dot{\phi}_{t1} + 2c_2 b_2^2 \{\dot{\phi}_{t1} - \dot{\phi}_{a1}\} + C_{wy} h_1 [2\{\dot{y}_{t1} + h_1 \dot{\phi}_{t1}\} - \{\dot{y}_{w1} + \dot{y}_{w2}\}] \\
 & - c'_2 h_4 [\{\dot{y}_{t1} - h_4 \dot{\phi}_{t1}\} - \{\dot{y}_b + L \dot{\psi}_b + h_5 \dot{\phi}_b\}] \\
 & + 2k_1 b_1^2 \phi_{t1} + 2\lambda k_2 b_2^2 \{\phi_{t1} - \phi_{a1}\} + K_{wy} h_1 [2\{y_{t1} + h_1 \phi_{t1}\} - \{y_{w1} + y_{w2}\}] \\
 & - 2k'_2 h_2 [\{y_{t1} - h_2 \phi_{t1}\} - \{y_b + L \psi_b + h_3 \phi_b\}] \\
 & + 2k_3 b_2^2 \{\phi_{t1} - \phi_b\} = 0 \\
 & \dots (13)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& I_{Tx} \ddot{\phi}_{t2} \\
& + 2c_1 (b'_1)^2 \dot{\phi}_{t2} + 2c_2 b_2^2 \{\dot{\phi}_{t2} - \dot{\phi}_{a2}\} + C_{wy} h_1 [2\{\dot{y}_{t2} + h_1 \dot{\phi}_{t2}\} - \{\dot{y}_{w3} + \dot{y}_{w4}\}] \\
& - c'_2 h_4 [\{\dot{y}_{t2} - h_4 \dot{\phi}_{t2}\} - \{\dot{y}_b - L \dot{\psi}_b + h_5 \dot{\phi}_b\}] \\
[0080] \quad & + 2k_1 b_1^2 \phi_{t2} + 2\lambda k_2 b_2^2 \{\phi_{t2} - \phi_{a2}\} + K_{wy} h_1 [2\{y_{t2} + h_1 \phi_{t2}\} - \{y_{w3} + y_{w4}\}] \\
& - 2k'_2 h_2 [\{y_{t2} - h_2 \phi_{t2}\} - \{y_b + L \psi_b + h_3 \phi_b\}] \\
& + 2k_3 b_2^2 \{\phi_{t2} - \phi_b\} = 0 \quad \dots (14)
\end{aligned}$$

[0081] I_{Tx} 是台车12a、12b的滚动方向上的惯性力矩。 $\phi_{t1} \cdot \cdot$ 是台车12a的滚动方向上的角加速度。 c_1 是轴阻尼器的上下方向的阻尼常数。 b'_1 表示相对于台车12a、12b在左右配置的2个轴阻尼器的左右方向上的间隔的1/2(相对于台车12a、12b在左右配置的2个轴阻尼器的左右方向上的间隔为 $2b'_1$)。 c_2 是空气弹簧(枕簧)的上下方向的阻尼常数。 $\phi_{a1} \cdot \cdot$ 是配置在台车12a上的空气弹簧(枕簧)的滚动方向上的角速度。 k_1 是轴弹簧的上下方向的弹簧常数。 λ 是将空气弹簧(枕簧)的主体的容积用辅助空气室的容积除得到的值。 k_2 是空气弹簧(枕簧)的上下方向的弹簧常数。 ϕ_{a1} 是配置在台车12a上的空气弹簧(枕簧)的滚动方向上的转动量(角位移)。 k_3 是基于空气弹簧(枕簧)的有效受压面积的变化了的等价刚性。另外,(14)式的各变量通过按照上述下标的意义将(13)式的变量替换表示。其中, ϕ_{a2} 是配置在台车12b上的空气弹簧(枕簧)的滚动方向上的转动量(角位移)。

[0082] [车体的横向振动]

[0083] 将记述车体11的横向振动(左右方向上的运动)的运动方程式用以下的(15)式表示。

[0084] [数式6]

$$\begin{aligned}
& m_B \ddot{y}_b + 2c'_2 \{\dot{y}_b + h_5 \dot{\phi}_b\} - c'_2 [\{\dot{y}_{t1} + \dot{y}_{t2}\} - h_4 \{\dot{\phi}_{t1} + \dot{\phi}_{t2}\}] \\
[0085] \quad & + 4k'_2 \{y_b + h_3 \phi_b\} - 2k'_2 [\{y_{t1} + y_{t2}\} - h_2 \{\phi_{t1} + \phi_{t2}\}] = 0 \\
& \dots (15)
\end{aligned}$$

[0086] m_B 是台车12a、12b的质量。 $y_b \cdot \cdot$ 是车体11的左右方向上的加速度。 $y_{t2} \cdot \cdot$ 是台车12b的左右方向上的速度。 $\phi_{t2} \cdot \cdot$ 是台车12b的滚动方向上的角速度。 y_{t2} 是台车12b的左右方向上的位移。 ϕ_{t2} 是台车12b的滚动方向上的转动量(角位移)。

[0087] [车体的偏转]

[0088] 将记述车体11的偏转的运动方程式用以下的(16)式表示。

[0089] [数式7]

$$\begin{aligned}
& I_{Bz} \ddot{\psi}_b + 2c'_2 L^2 \dot{\psi}_b - c'_2 L \{\dot{y}_{t1} - \dot{y}_{t2}\} + c'_2 L h_4 \{\dot{\phi}_{t1} - \dot{\phi}_{t2}\} \\
[0090] \quad & + 2c_0 (b'_0)^2 \{\dot{\psi}_b - \dot{\psi}_{y1}\} + 2c_0 (b'_0)^2 \{\dot{\psi}_b - \dot{\psi}_{y2}\} \\
& + 4k'_2 L^2 \psi_b - 2k'_2 L \{y_{t1} - y_{t2}\} + 2k'_2 L h_2 \{\phi_{t1} - \phi_{t2}\} \\
& + 2k''_2 b_2^2 \{\psi_b - \psi_{t1}\} + 2k''_2 b_2^2 \{\psi_b - \psi_{t2}\} = 0 \quad \dots (16)
\end{aligned}$$

[0091] I_{Bz} 是车体11的偏转方向上的惯性力矩。 $\psi_b \cdot \cdot$ 是车体11的偏转方向上的角加速度。 c_0 是偏转阻尼器的前后方向的阻尼常数。 $\psi_{y1} \cdot \cdot$ 是配置在台车12a上的偏转阻尼器的偏转方向上的角速度。 $\psi_{y2} \cdot \cdot$ 是配置在台车12b上的偏转阻尼器的偏转方向上的角速度。 ψ_{t2} 是台

车12b的偏转方向上的转动量(角位移)。

[0092] [车体的滚动]

[0093] 将记述车体11的滚动的运动方程式用以下的(17)式表示。

[0094] [数式8]

$$\begin{aligned}
 [0095] \quad & I_{Bx} \ddot{\phi}_b + 2c_2' h_5 \{\dot{y}_b + h_5 \dot{\phi}_b\} - c_2' h_5 \{\dot{y}_{t1} + \dot{y}_{t2}\} - h_4 \{\dot{\phi}_{t1} + \dot{\phi}_{t2}\} \\
 & + 4k_2' h_3 \{y_b + h_3 \phi_b\} - 2k_2' h_3 \{y_{t1} + y_{t2}\} - h_2 \{\phi_{t1} + \phi_{t2}\} \\
 & + 2k_3 b_2^2 \{\phi_b - \phi_{t1}\} + 2k_3 b_2^2 \{\phi_b - \phi_{t2}\} \\
 & + 2k_2 b_2^2 \{\phi_b - \phi_{a1}\} + 2k_2 b_2^2 \{\phi_b - \phi_{a2}\} = 0 \quad \dots (17)
 \end{aligned}$$

[0096] I_{Bx} 是车体11的滚动方向上的惯性力矩。 $\phi_b \cdot \cdot$ 是车体11的滚动方向上的角加速度。

[0097] [偏转阻尼器的偏转]

[0098] 将记述配置在台车12a上的偏转阻尼器、配置在台车12b上的偏转阻尼器的偏转的运动方程式分别用以下的(18)式、(19)式表示。

[0099] [数式9]

$$[0100] \quad 2c_0(b_0')^2 \{\dot{\psi}_{y1} - \dot{\psi}_b\} + 2k_0'(b_0')^2 \{\psi_{y1} - \psi_{t1}\} = 0 \quad \dots (18)$$

$$[0101] \quad 2c_0(b_0')^2 \{\dot{\psi}_{y2} - \dot{\psi}_b\} + 2k_0'(b_0')^2 \{\psi_{y2} - \psi_{t2}\} = 0 \quad \dots (19)$$

[0102] ψ_{y2} 是配置在台车12b上的偏转阻尼器的偏转方向上的转动量(角位移)。

[0103] [空气弹簧(枕簧)的滚动]

[0104] 将记述配置在台车12a上的空气弹簧(枕簧)、配置在台车12b上的空气弹簧(枕簧)的滚动的运动方程式分别用以下的(20)式、(21)式表示。

[0105] [数式10]

$$[0106] \quad 2c_2 b_2^2 \{\dot{\phi}_{a1} - \dot{\phi}_{t1}\} + 2\lambda k_2 b_2^2 \{\phi_{a1} - \phi_{t1}\} + 2k_2 b_2^2 \{\phi_{a1} - \phi_b\} = 0 \quad \dots (20)$$

$$[0107] \quad 2c_2 b_2^2 \{\dot{\phi}_{a2} - \dot{\phi}_{t2}\} + 2\lambda k_2 b_2^2 \{\phi_{a2} - \phi_{t2}\} + 2k_2 b_2^2 \{\phi_{a2} - \phi_b\} = 0 \quad \dots (21)$$

[0108] $\phi_{a2} \cdot$ 是配置在台车12b上的空气弹簧(枕簧)的滚动方向上的角速度。

[0109] <轨道的轨向不平顺量与铁路车辆的运动的关系>

[0110] 图4是表示轨向不平顺(alignment irregularity, 日文: 通り狂い)量与铁路车辆的构成要素的运动的相互的作用关系的一例的图。用实线描绘的箭头线表示同一构成要素内的不同的运动间的作用关系。用实线以外的线种描绘的箭头线表示不同的构成要素的运动间的作用关系。对于各运动, 添加了在本实施方式中说明的记述该运动的运动方程式的号码。例如, 将轮轴13a~13d的偏转用(5)式~(8)式记述。轮轴13a~13d的偏转从轨向不平顺(alignment irregularity, 日文: 通り狂い)量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 、轮轴13a~13d的横向振动、台车12a、12b的横向振动、台车12a、12b的偏转受到直接作用。将台车12a、12b的横向振动用(9)式~(10)式记述。台车12a、12b的横向振动从轮轴13a~13d的横向振动、台车12a、12b的滚动、车体11的横向振动、车体11的偏转、台车12a、12b的偏转、车体11的滚动受到直接作用,

不从轮轴13a~13d的偏转受到直接作用。

[0111] 根据图4可知,轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 对于轮轴13a~13d的偏转直接地作用。该作用对于其他构成要素的运动传播作用。根据关于从轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 直接/间接地受到作用的构成要素的运动的运动方程式,制作状态方程式。此外,从与轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 关联的运动中计测可计测的状态变量,设定观测方程式。并且,通过进行使用了卡尔曼滤波器等的进行数据同化的滤波器的运算,能够计算轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 。但是,在该方法中,由于运动的自由度较大,所以滤波器的动作有可能变得不稳定。

[0112] 所以,发明者们为了使轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 的精度提高,考虑只要进行精度良好地计算轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 直接作用的轮轴13a~13d的偏转和对轮轴13a~13d的偏转直接作用的因子(包括构成要素的运动)、以及使用记述轮轴13a~13d的偏转的运动方程式来计算轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 就可以。此外,蠕变力被分解为作为前后方向的成分的纵蠕变力和作为左右方向的成分的横蠕变力。发明者们得到了纵蠕变力与轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 具有较高的相关性的认识。纵蠕变力根据在配置在轮轴13a~13b(13c~13d)与设置了该轮轴13a~13b(13c~13d)的台车12a(12b)之间的部件中发生的前后方向的力来测量。将在该部件中发生的前后方向的力称作前后方向力。因为以上,发明者们想到使用前后方向力的测量值来计算轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 的方法。

[0113] 此外,1个轮轴上的左右的车轮中的一方的车轮的纵蠕变力和另一方的车轮的纵蠕变力的同相的成分,是与制动力及驱动力对应的成分。因而,为了在铁路车辆进行加减速时也计算轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$,优选的是以与纵蠕变力的逆相成分对应的方式设定前后方向力。纵蠕变力的逆相成分,是1个轮轴上的左右的车轮中的一方的车轮的纵蠕变力和另一方的车轮的纵蠕变力的相互为逆相位的成分。即,纵蠕变力的逆相成分,是纵蠕变力的将车轴扭转的方向的成分。在此情况下,前后方向力为在安装在1个轮轴的左右方向的两侧的2个部件上发生的力的前后方向的成分中的、相互为逆相位的成分。

[0114] 以下,对以与纵蠕变力的逆相成分对应的方式决定前后方向力的情况下的前后方向力的具体例进行说明。

[0115] 在轴箱支承装置是单连杆式的轴箱支承装置的情况下,轴箱支承装置具备连杆,轴箱和台车框被用连杆连结。在该连杆的两端上安装着橡胶衬套。在此情况下,前后方向力为,在1个轮轴的左右方向的端部上分别各安装着1个的2个连杆分别受到的载荷的前后方向的成分中的、相互为逆相位的成分。此外,根据连杆的配置及结构,连杆受到前后方向、左右方向、上下方向的载荷中的主要是前后方向的载荷。因而,例如只要在各连杆上安装1个应变仪就可以。通过使用该应变仪的测量值导出该连杆受到的载荷的前后方向的成分,得到前后方向力的测量值。此外,也可以取代这种方式,将安装在连杆上的橡胶衬套的前后方向的位移用位移计测量。在此情况下,将测量出的位移与该橡胶衬套的弹簧常数的积设为前后方向力的测量值。在轴箱支承装置是单连杆式的轴箱支承装置的情况下,上述用来支承轴箱的部件为连杆或橡胶衬套。

[0116] 另外,在用安装在连杆上的应变仪测量的载荷中,有不仅是前后方向的成分、还包括左右方向的成分及上下方向的成分中的至少某一方的成分的情况。但是,即使是这样的情况,在轴箱支承装置的构造上,连杆受到的左右方向的成分的载荷及上下方向的成分的载荷与前后方向的成分的载荷相比足够小。因而,仅通过在各连杆上安装1个应变仪,就能

够得到具有在实用上被要求的精度的前后方向力的测量值。这样,有在计测出的前后方向力中包含前后方向的成分以外的成分的情况,也可以将3个以上的应变仪安装到各连杆上,以将上下方向及左右方向的应变消除。如果这样,则能够使前后方向力的测量值的精度提高。

[0117] 在轴箱支承装置是轴梁式的轴箱支承装置的情况下,轴箱支承装置具备轴梁,轴箱和台车框被用轴梁连结。轴梁也可以与轴箱一体地构成。在该轴梁的台车框侧的端部上安装着橡胶衬套。在此情况下,前后方向力为在1个轮轴的左右方向的端部上分别安装着1个的2个轴梁分别受到的载荷的前后方向的成分中的、相互为逆相位的成分。此外,根据轴梁的配置结构,轴梁除了前后方向、左右方向、上下方向的载荷中的前后方向的载荷以外,还容易受到左右方向的载荷。因而,例如在各轴梁上安装2个以上的应变仪,以使左右方向的应变被消除。使用这些应变仪的测量值导出轴梁受到的载荷的前后方向的成分,从而得到前后方向力的测量值。此外,也可以替代这种方式而用位移计来测量安装在轴梁上的橡胶衬套的前后方向的位移。在此情况下,将测量出的位移与该橡胶衬套的弹簧常数的积作为前后方向力的测量值。在轴箱支承装置是轴梁式的轴箱支承装置的情况下,上述用来支承轴箱的部件为轴梁或橡胶衬套。

[0118] 另外,在由安装在轴梁上的应变仪测量的载荷中,有不仅是前后方向及左右方向的成分、还包含上下方向的成分的情况。但是,即使在这样的情况下,在轴箱支承装置的构造上,轴梁受到的上下方向的成分的载荷与前后方向的成分的载荷及左右方向的成分的载荷相比也充分小。因而,即使不以将轴梁受到的上下方向的成分的载荷消除的方式安装应变仪,也能够得到具有在实用上被要求的精度的前后方向力的测量值。这样,有在计测出的前后方向力中包含前后方向的成分以外的成分的情况,也可以在各轴梁上安装3个以上的应变仪,以便不仅将左右方向的应变而且将上下方向的应变也消除。如果这样,则能够使前后方向力的测量值的精度提高。

[0119] 在轴箱支承装置是板簧式的轴箱支承装置的情况下,轴箱支承装置具备板簧,轴箱和台车框被用板簧连结。在该板簧的端部上安装着橡胶衬套。在此情况下,前后方向力为在1个轮轴的左右方向的端部上分别安装着1个的2个板簧各自受到的载荷的前后方向的成分中的相互为逆相位的成分。此外,通过板簧的配置结构,板簧除了前后方向、左右方向、上下方向的载荷中的前后方向的载荷以外,也容易受到左右方向的载荷及上下方向的载荷。因而,例如在各板簧上安装3个以上的应变仪,以将左右方向及上下方向的应变消除。使用这些应变仪的测量值导出板簧受到的载荷的前后方向的成分,从而得到前后方向力的测量值。此外,也可以代替这种方式,用位移计来测量安装在板簧上的橡胶衬套的前后方向的位移。在此情况下,将测量出的位移与该橡胶衬套的弹簧常数的积设为前后方向力的测量值。在轴箱支承装置是板簧式的轴箱支承装置的情况下,上述的用来支承轴箱的部件为板簧或橡胶衬套。

[0120] 另外,作为上述的位移计,可以使用周知的激光位移计或涡电流式的位移计。

[0121] 此外,这里举轴箱支承装置的方式是单连杆式、轴梁式及板簧式的情况为例说明了前后方向力。但是,轴箱支承装置的方式并不限定于单连杆式、轴梁式及板簧式。可以匹配于轴箱支承装置的方式,与单连杆式、轴梁式及板簧式同样地决定前后方向力。

[0122] 此外,以下为了使说明变简单,举对于1个轮轴得到1个前后方向力的测量值的情

况为例进行说明。即,图1所示的铁路车辆具有4个轮轴13a~13d。因而,能够得到4个前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 的测量值。

[0123] 图5是使用前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 表示轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 与铁路车辆的构成要素的运动的相互的作用关系的一例的图。关于前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 的计算式、转换变量 $e_1 \sim e_4$ 的计算式、使用了转换变量 $e_1 \sim e_4$ 时的记述轮轴13a~13d的横向振动的运动方程式、使用了前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 时的记述轮轴13a~13d的偏转的运动方程式的具体例,在后面叙述(分别参照(40)式~(43)式、(26)式~(29)式、(34)式~(37)式、(51)式~(54)式)。

[0124] 图6是根据图5的作用关系、将决定对轮轴13a~13d的偏转直接作用的构成要素的运动所需要的作用关系取出而表示的图。相应于轮轴13a~13d的偏转被排除,运动的自由度减小。此外,相应于前后方向力 $T_1 \sim T_4$,在卡尔曼滤波器等的进行数据同化的滤波器中使用的测量值增加。因而,通过进行使用了卡尔曼滤波器等的进行数据同化的滤波器的运算,计算出的运动的信息的精度提高。

[0125] 另一方面,图7是根据图5的作用关系、将决定轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 所需要的作用关系取出而表示的图。转换变量 $e_1 \sim e_4$ 和台车12a、12b的偏转的信息是已知。因而,通过使用转换变量 $e_1 \sim e_4$ 的计算式(在后述的例子中是(26)式~(29)式),计算轮轴13a~13d的偏转的信息。此时的转换变量 $e_1 \sim e_4$ 根据前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 的测量值直接导出。此外,台车12a、12b的偏转的信息使用图6的作用关系来计算。因而,根据转换变量 $e_1 \sim e_4$ 和台车12a、12b的偏转的信息计算出的轮轴13a~13d的偏转的信息的精度,与使用图4的作用关系计算的情况相比提高了。进而,轮轴13a~13d的偏转的信息、前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 、和对轮轴13a~13d的偏转直接作用的构成要素的运动(轮轴13a~13d的横向振动和台车12a、12b的横向振动)的信息是已知的。因而,通过使用记述轮轴13a~13d的偏转的运动方程式(在后述的例子中是(51)式~(54)式),计算轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 。此时的轮轴13a~13d的偏转的信息的精度如也在前面叙述那样,与使用图4的作用关系计算的情况相比提高了。此外,前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 是测量值。此外,由于对轮轴13a~13d的偏转直接作用的构成要素的运动的运动的信息使用图6的作用关系计算,所以其精度提高。因而,如以上这样计算出的轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 的精度提高。

[0126] 以下说明的检查装置800,是将如以上的认识那样使轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 的精度提高的一例具体实现的装置。

[0127] <检查装置800>

[0128] 图8是表示检查装置800的功能性的结构的一例的图。图9是表示检查装置800的硬件的结构的一例的图。图10是表示检查装置800中的事前处理的一例的图。图11是表示检查装置800中的正式处理的一例的图。在本实施方式中,如图1所示,举检查装置800被搭载到铁路车辆中的情况为例来表示。

[0129] 在图8中,检查装置800具有状态方程式存储部801、观测方程式存储部802、数据取得部803、滤波器运算部804、轨道状态计算部805及输出部806作为其功能。

[0130] 在图9中,检查装置800具有CPU901、主存储装置902、辅助存储装置903、通信电路904、信号处理电路905、图像处理电路906、I/F电路907、用户接口908、显示器909及总线910。

[0131] CPU901综合控制检查装置800的整体。CPU901使用主存储装置902作为工作区,执

行存储在辅助存储装置903中的程序。主存储装置902将数据暂时保存。辅助存储装置903不仅存储由CPU901执行的程序,而且还存储各种数据。辅助存储装置903存储后述的状态方程式及观测方程式。状态方程式存储部801及观测方程式存储部802例如通过使用CPU901及辅助存储装置903来实现。

[0132] 通信电路904是用来进行与检查装置800的外部的通信的电路。通信电路904例如接收前后方向力的测量值,及车体11、台车12a、12b及轮轴13a~13d的左右方向上的加速度的测量值的信息。通信电路904与检查装置800的外部既可以无线通信,也可以进行有线通信。通信电路904在进行无线通信的情况下被连接到设置在铁路车辆上的天线上。

[0133] 信号处理电路905对于由通信电路904接收到的信号及按照CPU901的控制输入的信号进行各种信号处理。数据取得部803例如通过使用CPU901、通信电路904及信号处理电路905来实现。此外,滤波器运算部804及轨道状态计算部805例如通过使用CPU901及信号处理电路905来实现。

[0134] 图像处理电路906对于按照CPU901的控制输入的信号进行各种图像处理。将进行了该图像处理的信号向显示器909输出。

[0135] 用户接口908是操作者对检查装置800进行指示的部分。用户接口908例如具有按钮、开关及拨号盘等。此外,用户接口908也可以具有使用了显示器909的图形用户接口。

[0136] 显示器909显示基于从图像处理电路906输出的信号的图像。I/F电路907在与连接在I/F电路907上的装置之间进行数据的交换。在图9中,表示了用户接口908及显示器909作为连接到I/F电路907上的装置。但是,连接到I/F电路907上的装置并不限于此。例如,也可以将可移动型的存储介质连接到I/F电路907上。此外,用户接口908的至少一部分及显示器909也可以处于检查装置800的外部。

[0137] 输出部806例如通过使用通信电路904及信号处理电路905、和图像处理电路906、I/F电路907及显示器909的至少某一方来实现。

[0138] 另外,CPU901、主存储装置902、辅助存储装置903、信号处理电路905、图像处理电路906及I/F电路907被连接到总线910上。这些构成要素间的通信经由总线910进行。此外,检查装置800的硬件只要能够实现后述的检查装置800的功能,并不限于图9所示的结构。

[0139] [状态方程式存储部801,S1001]

[0140] 状态方程式存储部801存储状态方程式。在本实施方式中,在状态方程式中不包含上述运动方程式中的、(5)式~(8)式的记述轮轴13a~13d的偏转的运动方程式。在(5)式~(8)式中包含轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 。将(5)式~(8)式包含在状态方程式中,在进行由后述的卡尔曼滤波器进行的滤波的情况下,需要轨道16的模型。轨向不平顺不是能够遵循物理法则记述的。因而,需要制作轨道16的模型,以使轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 的时间微分成为例如白噪声。如果这样,则轨道16的模型的不确定度有可能给由后述的卡尔曼滤波器进行的滤波的结果带来影响。此外,通过使状态方程式变少、减少状态变量,能够使后述的卡尔曼滤波器的动作稳定。

[0141] 在以上的认识下,在本实施方式中,不将(5)式~(8)式的记述轮轴13a~13d的偏转的运动方程式包含在状态方程式中,而是如以下这样构成状态方程式。

[0142] 首先,关于(9)式、(10)式的记述台车12a、12b的横向振动(左右方向上的运动)的运动方程式,(13)式、(14)式的记述台车12a、12b的滚动的运动方程式,(15)式的记述车体

11的横向振动(左右方向上的运动)的运动方程式,(16)式的记述车体11的偏转的运动方程式,(17)式的记述车体11的滚动的运动方程式,(18)式、(19)式的记述配置在台车12a上的偏转阻尼器、配置在台车12b上的偏转阻尼器的偏转的运动方程式,(20)式、(21)式的记述配置在台车12a上的空气弹簧(枕簧)、配置在台车12b上的空气弹簧(枕簧)的滚动的运动方程式,使用它们来构成状态方程式。

[0143] 另一方面,在(1)式~(4)式的记述轮轴13a~13d的横向振动(左右方向上的运动)的运动方程式,和(11)式、(12)式的记述台车12a、12b的偏转的运动方程式中,包含轮轴13a~13d的偏转方向上的转动量(角位移) $\psi_{w1} \sim \psi_{w4}$ 及角速度 $\dot{\psi}_{w1} \sim \dot{\psi}_{w4}$ 。如上述那样,在本实施方式中,不将(5)式~(8)式的记述轮轴13a~13d的偏转的运动方程式包含在状态方程式中。所以,在本实施方式中,如以下这样,使用从(1)式~(4)式及(11)式、(12)式中删除了这些变量后的式子构成状态方程式。

[0144] 首先,将轮轴13a~13d中的前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 用以下的(22)式~(25)式表示。这样,前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 根据轮轴的偏转方向的角位移 $\psi_{w1} \sim \psi_{w4}$ 与设置了该轮轴的台车的偏转方向的角位移 $\psi_{t1} \sim \psi_{t2}$ 的差来决定。

[0145] [数式11]

$$[0146] \quad T_1 = C_{wx} b_1^2 \{\dot{\psi}_{t1} - \dot{\psi}_{w1}\} + K_{wx} b_1^2 \{\psi_{t1} - \psi_{w1}\} \quad \dots (22)$$

$$[0147] \quad T_2 = C_{wx} b_1^2 \{\dot{\psi}_{t1} - \dot{\psi}_{w2}\} + K_{wx} b_1^2 \{\psi_{t1} - \psi_{w2}\} \quad \dots (23)$$

$$[0148] \quad T_3 = C_{wx} b_1^2 \{\dot{\psi}_{t2} - \dot{\psi}_{w3}\} + K_{wx} b_1^2 \{\psi_{t2} - \psi_{w3}\} \quad \dots (24)$$

$$[0149] \quad T_4 = C_{wx} b_1^2 \{\dot{\psi}_{t2} - \dot{\psi}_{w4}\} + K_{wx} b_1^2 \{\psi_{t2} - \psi_{w4}\} \quad \dots (25)$$

[0150] 如以下的(26)式~(29)式那样定义转换变量 $e_1 \sim e_4$ 。这样,转换变量 $e_1 \sim e_4$ 用台车的偏转方向的角位移 $\psi_{t1} \sim \psi_{t2}$ 与轮轴的偏转方向的角位移 $\psi_{w1} \sim \psi_{w4}$ 的差来定义。转换变量 $e_1 \sim e_4$ 是用来将台车的偏转方向的角位移 $\psi_{t1} \sim \psi_{t2}$ 和轮轴的偏转方向的角位移 $\psi_{w1} \sim \psi_{w4}$ 相互转换的变量。

[0151] [数式12]

$$[0152] \quad e_1 = \psi_{t1} - \psi_{w1} \dots (26)$$

$$[0153] \quad e_2 = \psi_{t1} - \psi_{w2} \dots (27)$$

$$[0154] \quad e_3 = \psi_{t2} - \psi_{w3} \dots (28)$$

$$[0155] \quad e_4 = \psi_{t2} - \psi_{w4} \dots (29)$$

[0156] 如果将(26)式~(29)式进行数式变形,则得到以下的(30)式~(33)式。

[0157] [数式13]

$$[0158] \quad \psi_{w1} = \psi_{t1} - e_1 \dots (30)$$

$$[0159] \quad \psi_{w2} = \psi_{t1} - e_2 \dots (31)$$

$$[0160] \quad \psi_{w3} = \psi_{t2} - e_3 \dots (32)$$

$$[0161] \quad \psi_{w4} = \psi_{t2} - e_4 \dots (33)$$

[0162] 如果将(30)式~(33)式代入到(1)式~(4)式的记述轮轴13a~13d的横向振动(左右方向上的运动)的运动方程式中,则得到以下的(34)式~(37)式。

[0163] [数式14]

$$[0164] \quad m_w \ddot{y}_{w1} + \frac{f_2}{V} \dot{y}_{w1} + C_{wy} [\dot{y}_{w1} - \{\dot{y}_{t1} + a \dot{\psi}_{t1} + h_1 \dot{\phi}_{t1}\}] - f_2 \psi_{t1} + K_{wy} [y_{w1} - \{y_{t1} + a \psi_{t1} + h_1 \phi_{t1}\}] = -f_2 e_1$$

$$\dots (34)$$

$$[0165] \quad m_w \ddot{y}_{w2} + \frac{f_2}{V} \dot{y}_{w2} + C_{wy} [\dot{y}_{w2} - \{\dot{y}_{t1} + a \dot{\psi}_{t1} + h_1 \dot{\phi}_{t1}\}] - f_2 \psi_{t1} + K_{wy} [y_{w2} - \{y_{t1} + a \psi_{t1} + h_1 \phi_{t1}\}] = -f_2 e_1$$

$$\dots (35)$$

$$[0166] \quad m_w \ddot{y}_{w3} + \frac{f_2}{V} \dot{y}_{w3} + C_{wy} [\dot{y}_{w3} - \{\dot{y}_{t2} + a \dot{\psi}_{t2} + h_1 \dot{\phi}_{t2}\}] - f_2 \psi_{t2} + K_{wy} [y_{w3} - \{y_{t2} + a \psi_{t2} + h_1 \phi_{t2}\}] = -f_2 e_3$$

$$\dots (36)$$

$$[0167] \quad m_w \ddot{y}_{w4} + \frac{f_2}{V} \dot{y}_{w4} + C_{wy} [\dot{y}_{w4} - \{\dot{y}_{t2} + a \dot{\psi}_{t2} + h_1 \dot{\phi}_{t2}\}] - f_2 \psi_{t2} + K_{wy} [y_{w4} - \{y_{t2} + a \psi_{t2} + h_1 \phi_{t2}\}] = -f_2 e_4$$

$$\dots (37)$$

[0168] 这样,通过将(1)式~(4)式的记述轮轴13a~13d的横向振动(左右方向上的运动)的运动方程式使用转换变量 $e_1 \sim e_4$ 来表现,能够将该运动方程式中包含的轮轴13a~13d的偏转方向上的转动量(角位移) $\psi_{w1} \sim \psi_{w4}$ 消除。

[0169] 如果将(22)式~(25)式代入到(11)式、(12)式的记述台车12a、12b的偏转的运动方程式中,则得到以下的(38)式、(39)式。

[0170] [数式15]

$$[0171] \quad I_{Tz} \ddot{\psi}_{t1} + 2 C_{wy} a^2 \dot{\psi}_{t1} - C_{wy} a \{\dot{y}_{w1} - \dot{y}_{w2}\}$$

$$+ 2 K_{wy} a^2 \psi_{t1} - K_{wy} a \{y_{w1} - y_{w2}\}$$

$$+ 2 k_0' (b_0')^2 \{\psi_{t1} - \psi_{y1}\} + 2 k_2'' b_2^2 \{\psi_{t1} - \psi_b\} = -T_1 - T_2$$

$$\dots (38)$$

$$[0172] \quad I_{Tz} \ddot{\psi}_{t2} + 2 C_{wy} a^2 \dot{\psi}_{t2} - C_{wy} a \{\dot{y}_{w3} - \dot{y}_{w4}\}$$

$$+ 2 K_{wy} a^2 \psi_{t2} - K_{wy} a \{y_{w3} - y_{w4}\}$$

$$+ 2 k_0' (b_0')^2 \{\psi_{t2} - \psi_{y2}\} + 2 k_2'' b_2^2 \{\psi_{t2} - \psi_b\} = -T_3 - T_4$$

$$\dots (39)$$

[0173] 这样,通过将(11)式、(12)式的记述台车12a、12b的偏转的运动方程式使用前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 表现,能够将该运动方程式中包含的轮轴13a~13d的偏转方向上的角位移 $\psi_{w1} \sim \psi_{w4}$ 及角速度 $\dot{\psi}_{w1} \sim \dot{\psi}_{w4}$ 消除。

[0174] 此外,如果将(26)式~(29)式代入到(22)式~(25)式中,则能得到以下的(40)式~(43)式。

[0175] [数式16]

$$[0176] \quad C_{wx} b_1^2 \dot{e}_1 + K_{wx} b_1^2 e_1 = T_1 \quad \dots (40)$$

$$[0177] \quad C_{wx} b_1^2 \dot{e}_2 + K_{wx} b_1^2 e_2 = T_2 \quad \dots (41)$$

$$[0178] \quad C_{wx} b_1^2 \dot{e}_3 + K_{wx} b_1^2 e_3 = T_3 \quad \dots (42)$$

$$[0179] \quad C_{wx} b_1^2 \dot{e}_4 + K_{wx} b_1^2 e_4 = T_4 \quad \dots (43)$$

[0180] 如以上那样,在本实施方式中,如(34)式~(37)式那样表示记述轮轴13a~13d的

横向振动(左右方向上的运动)的运动方程式,并且如(38)式、(39)式那样表示记述台车12a、12b的偏转的运动方程式,使用它们构成状态方程式。此外,(40)式~(43)式是常微分方程式,作为其解的转换变量 $e_1 \sim e_4$ 的实际值可以通过使用轮轴13a~13d的前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 的测量值来求出。

[0181] 将这样求出的转换变量 $e_1 \sim e_4$ 的实际值赋予(34)式~(37)式。此外,将轮轴13a~13d的前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 的测量值赋予(38)式、(39)式。

[0182] 在本实施方式中,将以下的(44)式所示的变量设为状态变量,使用(9)式、(10)式、(13)式~(21)式、(34)式~(39)式的运动方程式构成状态方程式。

[0183] [数式17]

$$[0184] \quad \text{状态变量} = \begin{bmatrix} \dot{y}_{w1} & y_{w1} & \dot{y}_{w2} & y_{w2} & \dot{y}_{w3} & y_{w3} & \dot{y}_{w4} & y_{w4} & \dot{y}_{t1} & y_{t1} & \dot{y}_{t2} & y_{t2} & \dot{\psi}_{t1} & \psi_{t1} & \dot{\psi}_{t2} & \psi_{t2} \\ \dot{\phi}_{t1} & \phi_{t1} & \dot{\phi}_{t2} & \phi_{t2} & \dot{y}_b & y_b & \dot{\psi}_b & \psi_b & \dot{\phi}_b & \phi_b & \psi_{y1} & \psi_{y2} & \phi_{a1} & \phi_{a2} \\ \dots \end{bmatrix} \quad (44)$$

[0185] 状态方程式存储部801例如将如以上那样构成的状态方程式基于由操作者进行的用户接口908的操作而输入、并存储。

[0186] [观测方程式存储部802,S1002]

[0187] 观测方程式存储部802存储观测方程式。在本实施方式中,将车体11的左右方向上的加速度、台车12a、12b的左右方向上的加速度、以及轮轴13a~13d的左右方向上的加速度作为观测变量。该观测变量是由后述的卡尔曼滤波器进行的过滤观测变量。在本实施方式中,使用(34)式~(37)式、(9)式、(10)式及(15)式的记述横向振动的运动方程式来构成观测方程式。观测方程式存储部802例如将如以上那样构成的观测方程式基于由操作者进行的用户接口908的操作而输入、并存储。

[0188] 如以上这样,将状态方程式及观测方程式存储到检查装置800中之后,数据取得部803、滤波器运算部804、轨道状态计算部805及输出部806启动。即,在图3的流程图的的事前处理结束后,图4的流程图的正式处理开始。

[0189] [数据取得部803,S1101]

[0190] 数据取得部803取得计测数据。

[0191] 在本实施方式中,数据取得部803取得车体11的左右方向上的加速度的测量值、台车12a、12b的左右方向上的加速度的测量值及轮轴13a~13d的左右方向上的加速度的测量值作为计测数据。各加速度例如通过使用分别安装在车体11、台车12a、12b及轮轴13a~13d上的应变仪、和使用该应变仪的测量值来计算加速度的运算装置来测量。另外,由于加速度的测量能够由周知的技术实现,所以省略其详细的说明。

[0192] 此外,数据取得部803取得前后方向力的测量值作为计测数据。前后方向力的测量的方法如上所述。

[0193] 数据取得部803例如通过进行与上述运算装置的通信,能够取得计测数据。

[0194] [滤波器运算部804,S1102]

[0195] 滤波器运算部804,将观测方程式设为由观测方程式存储部802存储的观测方程式,将状态方程式设为由状态方程式存储部801存储的状态方程式,通过卡尔曼滤波器,使用由数据取得部803取得的计测数据,决定(44)式中表示的状态变量。如上述那样,在本实

施方式中,在计测数据中,包括车体11的左右方向上的加速度的测量值,台车12a、12b的左右方向上的加速度的测量值,轮轴13a~13d的左右方向上的加速度的测量值,及轮轴13a~13d的前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 的测量值。

[0196] 卡尔曼滤波器是进行数据同化的方法之一。即,卡尔曼滤波器是以使能够观测的变量(观测变量)的测量值与计算值的差异小(最小)的方式来决定未观测的变量(状态变量)的值的的方法的一例。滤波器运算部804求出观测变量的测量值与计算值的差异为小(最小)的卡尔曼增益,求出此时的未观测的变量(状态变量)的值。在卡尔曼滤波器中,使用以下的(45)式的观测方程式和以下的(46)式的状态方程式。

$$[0197] \quad Y=HX+V \cdots (45)$$

$$[0198] \quad X \cdot = \Phi X+W \cdots (46)$$

[0199] 在(45)中, Y 是保存观测变量的测量值的向量。 H 是观测模型。 X 是保存状态变量的向量。 V 是观测噪声。 $X \cdot$ 表示 X 的时间微分。 Φ 是线性模型。 W 是系统噪声。另外,卡尔曼滤波器自身能够以周知的技术实现,所以省略其详细的说明。

[0200] [轨道状态计算部805,S1103]

[0201] 如果将(22)式~(25)式代入到(5)式~(8)式的记述轮轴13a~13d的偏转的运动方程式中,则得到以下的(47)式~(50)式。

[0202] [数式18]

$$[0203] \quad I_{wz} \ddot{\psi}_{w1} + \frac{f_1 b^2}{v} \dot{\psi}_{w1} + \frac{f_1 b \gamma}{r} \{y_{w1} - y_{R1}\} + s_a K_{wy} \{y_{w1} - y_{t1}\} + s_a C_{wy} \{\dot{y}_{w1} - \dot{y}_{t1}\} = T_1 \cdots (47)$$

$$[0204] \quad I_{wz} \ddot{\psi}_{w2} + \frac{f_1 b^2}{v} \dot{\psi}_{w2} + \frac{f_1 b \gamma}{r} \{y_{w2} - y_{R2}\} + s_a K_{wy} \{y_{w2} - y_{t1}\} + s_a C_{wy} \{\dot{y}_{w2} - \dot{y}_{t1}\} = T_2 \cdots (48)$$

$$[0205] \quad I_{wz} \ddot{\psi}_{w3} + \frac{f_1 b^2}{v} \dot{\psi}_{w3} + \frac{f_1 b \gamma}{r} \{y_{w3} - y_{R3}\} + s_a K_{wy} \{y_{w3} - y_{t2}\} + s_a C_{wy} \{\dot{y}_{w3} - \dot{y}_{t2}\} = T_3 \cdots (49)$$

$$[0206] \quad I_{wz} \ddot{\psi}_{w4} + \frac{f_1 b^2}{v} \dot{\psi}_{w4} + \frac{f_1 b \gamma}{r} \{y_{w4} - y_{R4}\} + s_a K_{wy} \{y_{w4} - y_{t2}\} + s_a C_{wy} \{\dot{y}_{w4} - \dot{y}_{t2}\} = T_4 \cdots (50)$$

[0207] 轨道状态计算部805根据(30)式~(33)式,计算轮轴13a~13d的偏转方向上的转动量(角位移) $\psi_{w1} \sim \psi_{w4}$ 的估计值。并且,轨道状态计算部805通过将轮轴13a~13d的偏转方向上的转动量(角位移) $\psi_{w1} \sim \psi_{w4}$ 的估计值、在滤波器运算部804中求出的(44)式中表示的状态变量、和轮轴13a~13d的前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 的测量值赋予给(47)式~(50)式,计算轮轴13a~13d的位置处的轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 。这里使用的状态变量,是台车12a~12b的左右方向的位移 $y_{t1} \sim y_{t2}$ 、台车12a~12b的左右方向的速度 $y_{t1} \cdot \sim y_{t2} \cdot$ 、轮轴13a~13d的左右方向的位移 $y_{w1} \sim y_{w4}$ 及轮轴13a~13d的左右方向的速度 $y_{w1} \cdot \sim y_{w4} \cdot$ 。

[0208] 并且,轨道状态计算部805根据轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$,计算最终的轨向不平顺量 y_R 。例如,轨道状态计算部805计算轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 中的、除了最大值和最小值以外的2个值的算术平均值,作为轨向不平顺量 y_R 。此时,轨道状态计算部805也可以对轮轴13a~13d的位置处的轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 分别取移动平均(即,经过低通滤波器),根据取得了该移动平均的轮轴13a~13d的位置处的轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$,计算最终的轨向不平顺量

y_R 。

[0209] [输出部806, S1104]

[0210] 输出部806将由轨道状态计算部805计算出的轨向不平顺量 y_R 的信息输出。此时,输出部806在轨向不平顺量 y_R 比预先设定的值大的情况下,也可以输出表示轨道16是异常的信息。作为输出的形态,例如可以采用向计算机显示器的显示、向外部装置的发送、以及向内部或外部的存储介质的存储的至少某一种。

[0211] <实施例>

[0212] 接着,说明实施例。在本实施例中,实施使图1所示那样的在1个车体11中具备2个台车12a、12b及4组轮轴13a~13d的铁路车辆以270km/h行驶的情形的数值模拟。此外,在本实施例中,假设轴箱支承装置是单连杆式的轴箱支承装置。另外,在本实施例中,将前后方向力称作单连杆力。并且,使用由该数值模拟计算出的数据,通过在本实施方式中说明的方法计算轨向不平顺量。此时,假设在数值模拟中使用的模型具有86自由度。因而,对在数值模拟中使用的模型,追加了在为了计算轨向不平顺量而使用的21自由度模型中没有设想的运动。通过这样,在本实施例中,假设得到了相当于使实际的铁路车辆行驶时的状态方程式的系统噪声。另一方面,使实际的铁路车辆行驶时的观测方程式的观测噪声依存于计测精度。在本实施例的观测数据中不包含观测噪声。因此,本实施例为设想得到了理想的计测精度的情形。

[0213] 图12是表示通过数值模拟得到的观测数据(的一部分)的图。在图12中,第1轮轴是指轮轴13a。前台车是指台车12a。横向振动加速度是指左右方向的加速度。

[0214] 图13是表示轨向不平顺量的实测值1301和计算值1302的一例的图。实测值1301是在实施数值模拟时设定的轨向不平顺量。如图13所示,轨向不平顺量的实测值1301和计算值1302在实用上在容许的水平下是一致。因而可知,通过使用本实施方式的方法,能够精度良好地计算轨向不平顺量。

[0215] 另一方面,不使用单连杆力,将(5)式~(8)式的记述轮轴13a~13d的偏转的运动方程式包含在状态方程式中,将轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 的时间微分作为白噪声进行处理,进行通过卡尔曼滤波器的滤波。结果,计算变得不稳定,得不到估计结果。

[0216] <总结>

[0217] 如以上那样,在本实施方式中,检查装置800将车体11、台车12a、12b及轮轴13a~13d的左右方向上的加速度的测量值、前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 的测量值、和转换变量 $e_1 \sim e_4$ 的实际值赋予给卡尔曼滤波器,导出状态变量($y_{w1} \cdot \sim y_{w4} \cdot$ 、 $y_{w1} \sim y_{w4}$ 、 $y_{t1} \cdot \sim y_{t2} \cdot$ 、 $y_{t1} \sim y_{t2}$ 、 $\psi_{t1} \cdot \sim \psi_{t2} \cdot$ 、 $\psi_{t1} \sim \psi_{t2}$ 、 $\phi_{t1} \cdot \sim \phi_{t2} \cdot$ 、 $\phi_{t1} \sim \phi_{t2}$ 、 $y_b \cdot$ 、 y_b 、 $\psi_b \cdot$ 、 ψ_b 、 $\phi_b \cdot$ 、 ϕ_b 、 ψ_{y1} 、 ψ_{y2} 、 ϕ_{a1} 、 ϕ_{a2})。接着,检查装置800使用上述状态变量中包含的台车12a、12b的偏转方向上的转动量(角位移) $\psi_{t1} \sim \psi_{t2}$ 、和转换变量 $e_1 \sim e_4$ 的实际值,导出轮轴13a~13d的偏转方向上的转动量(角位移) $\psi_{w1} \sim \psi_{w4}$ 。接着,检查装置800将轮轴13a~13d的偏转方向上的转动量(角位移) $\psi_{w1} \sim \psi_{w4}$ 、上述状态变量、和前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 的测量值代入到记述轮轴13a~13d的偏转的运动方程式中,计算轮轴13a~13d的位置处的轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 。并且,检查装置800根据轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$,计算最终的轨向不平顺量 y_R 。因而,作为记述轮轴13a~13d的偏转的运动方程式,不需要使用包含轨向不平顺量 $y_{R1} \sim y_{R4}$ 作为变量的运动方程式来构成状态方程式。由此,不需要制作轨道16的模型,并且能够减少状态变量的数量。在本实施方式

中,能够将模型的自由度从21自由度减少到17自由度,并且能够将状态变量的数量从38减少到30。此外,在卡尔曼滤波器中使用的测量值增加相应于前后方向力 $T_1 \sim T_4$ 的量。

[0218] 另一方面,如在实施例中说那样,如果不使用前后方向力 $T_1 \sim T_4$,而将(5)式~(8)式的记述轮轴13a~13d的偏转的运动方程式包含在状态方程式中,则计算变得不稳定,有不能得到估计结果的情况。即,如果如在专利文献2中记载的技术那样不选定状态变量,则计算变得不稳定,有不能得到估计结果的情况。此外,即便得到了估计结果,本实施方式的方法与没有选定状态变量的方法相比,提高了轨道16的不齐顺的检测精度。这是因为,在本实施方式中,实现了不将记述轮轴13a~13d的偏转的运动方程式包含在状态方程式中,以及使用前后方向力的测量值。

[0219] 此外,在本实施方式中,由于能够使用应变仪作为传感器,所以不需要特别的传感器。因而,能够不花费大的成本而精度良好地检测轨道16的异常(轨道不平顺)。此外,由于不需要使用特别的传感器,所以通过在营运车辆上安装应变仪,在营业车上搭载检查装置800,能够在营运车辆的行驶中实时地检测轨道16的不平顺。因而,即使不使检测车辆行驶,也能够检测出轨道16的不平顺。但是,也可以在检测车辆上安装应变仪,在检测车辆上搭载检查装置800。

[0220] <变形例>

[0221] 在本实施方式中,举出使用卡尔曼滤波器的情况为例进行了说明。但是,只要是使用以使观测变量的测量值与计算值的误差为最小或该误差的期望值为最小的方式导出状态变量的滤波器(即,进行数据同化的滤波器),则并不一定需要使用卡尔曼滤波器。例如,也可以使用粒子滤波器。另外,作为观测变量的测量值与计算值的误差,例如可以举出观测变量的测量值与计算值的平方误差。

[0222] 此外,在本实施方式中,以导出轨向不平顺量的情况为例进行了说明。但是,作为反映轨道16的状态的信息,只要导出反映轨道不平顺(track irregularity,日语:轨道不整)(轨道16的外观上的不良)的信息就可以,并不一定需要导出轨向不平顺量。例如,也可以除了计算轨向不平顺量以外或者代之而进行以下的(51)式~(54)式的计算,来导出铁路车辆沿直线轨道行驶时发生的横压(车轮与铁轨之间的左右方向的应力)。其中, Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 分别表示车轮14a、14b、14c、14d的横压。 f_3 表示自旋蠕变系数。

[0223] [数式19]

$$[0224] \quad Q_1 = \frac{f_2}{v} \dot{y}_{w1} - f_2 \psi_{w1} + f_2 \frac{T_1}{K_{wx} b_1^2} - f_3 \frac{\dot{\psi}_{t1}}{v} + f_3 \frac{\dot{T}_1}{K_{wx} b_1^2 v} \quad \dots (51)$$

$$[0225] \quad Q_2 = \frac{f_2}{v} \dot{y}_{w2} - f_2 \psi_{w2} + f_2 \frac{T_2}{K_{wx} b_1^2} - f_3 \frac{\dot{\psi}_{t1}}{v} + f_3 \frac{\dot{T}_2}{K_{wx} b_1^2 v} \quad \dots (52)$$

$$[0226] \quad Q_3 = \frac{f_2}{v} \dot{y}_{w3} - f_2 \psi_{w3} + f_2 \frac{T_3}{K_{wx} b_1^2} - f_3 \frac{\dot{\psi}_{t2}}{v} + f_3 \frac{\dot{T}_3}{K_{wx} b_1^2 v} \quad \dots (53)$$

$$[0227] \quad Q_4 = \frac{f_2}{v} \dot{y}_{w4} - f_2 \psi_{w4} + f_2 \frac{T_4}{K_{wx} b_1^2} - f_3 \frac{\dot{\psi}_{t2}}{v} + f_3 \frac{\dot{T}_4}{K_{wx} b_1^2 v} \quad \dots (54)$$

[0228] 此外,在本实施方式中,举出包含表示车体11的状态的状态变量的情况为例进行了说明。但是,车体11是由车轮14a~14d与轨道16之间的作用力(蠕变力)带来的振动的传输最后传递的部分。因而,例如在判断为在车体11中由其传输带来的影响较小的情况下,也

可以不包含表示车体11的状态的状态变量。在这样的情况下,(1)式~(21)式的运动方程式中的、(15)式~(17)式的记述车体11的横向振动、偏转、滚动的运动方程式,和(18)式、(19)式的记述配置在台车12a上的偏转阻尼器、配置在台车12b上的偏转阻尼器的偏转的运动方程式不再需要。此外,在(1)式~(21)式的运动方程式中,将关于车体的状态量(包含下标b的状态量)、和包括关于车体的状态量(包含下标b的状态量)在内的 $\{\}$ 内的值(例如(21)式的左边第3项的 $\{\phi_{a2}-\phi_b\}$)设为0(零)。

[0229] 此外,在本实施方式中,举出台车12a、12b是无摇枕转向架台车的情况为例进行了说明。但是,台车12a、12b并不限于无摇枕转向架台车。此外,在曲线轨道等中铁路车辆受到离心力的情况下,将运动方程式改写以包含该离心力。除此以外,根据铁路车辆的构成要素、铁路车辆受到的力及铁路车辆的运动的方向等,将运动方程式进行适当改写。即,运动方程式并不限于在本实施方式中例示的式子。

[0230] (第2实施方式)

[0231] 接着,说明第2实施方式。

[0232] 在第1实施方式中,举搭载在铁路车辆中的检查装置800计算轨向不平顺量 y_R 的情况为例进行了说明。相对于此,在本实施方式中,安装着检查装置800的一部分的功能的数据处理装置被配置在控制中心。该数据处理装置接收从铁路车辆发送的计测数据,使用接收到的计测数据计算轨向不平顺量 y_R 。这样,在本实施方式中,由铁路车辆和控制中心分担执行第1实施方式的检查装置800具有的功能。本实施方式 and 第1实施方式主要是基于此的结构及处理不同。因而,在本实施方式的说明中,关于与第1实施方式相同的部分赋予与在图1~图13中赋予的标号相同的标号等,省略详细的说明。

[0233] 图14是表示检查系统的结构的一例的图。在图14中,检查系统具有数据收集装置1410a、1410b和数据处理装置1420。在图14中,还表示数据收集装置1410a、1410b及数据处理装置1420的功能性的结构的一例。另外,数据收集装置1410a、1410b及数据处理装置1420的硬件例如能够由在图9中表示的硬件实现。因而,将数据收集装置1410a、1410b及数据处理装置1420的硬件的结构的详细的说明省略。

[0234] 在铁路车辆的各自中,各搭载1个数据收集装置1410a、1410b。数据处理装置1420被配置在控制中心。控制中心例如集中管理多个铁路车辆的运行。

[0235] <数据收集装置1410a、1410b>

[0236] 数据收集装置1410a、1410b可以由相同的结构实现。数据收集装置1410a、1410b具有数据取得部1411a、1411b和数据发送部1412a、1412b。

[0237] [数据取得部1411a、1411b]

[0238] 数据取得部1411a、1411b具有与数据取得部803相同的功能。即,数据取得部1411a、1411b取得计测数据。在本实施方式中,也与第1实施方式同样,数据取得部1411a、1411b取得车体11的左右方向上的加速度的测量值、台车12a、12b的左右方向上的加速度的测量值、轮轴13a~13d的左右方向上的加速度的测量值及前后方向力的测量值作为计测数据。用于得到这些测量值的应变仪及运算装置与在第1实施方式中说明的结构相同。

[0239] [数据发送部1412a、1412b]

[0240] 数据发送部1412a、1412b将由数据取得部1411a、1411b取得的计测数据向数据处理装置1420发送。在本实施方式中,数据发送部1412a、1412b将由数据取得部1411a、1411b

取得的计测数据通过无线通信向数据处理装置1420发送。此时,数据发送部1412a、1412b对于由数据取得部1411a、1411b取得的计测数据附加搭载着数据收集装置1410a、1410b的铁路车辆的识别号码。这样,数据发送部1412a、1412b发送附加着铁路车辆的识别号码的计测数据。

[0241] <数据处理装置1420>

[0242] [数据接收部1421]

[0243] 数据接收部1421接收由数据发送部1412a、1412b发送的计测数据。对于该计测数据,附加了作为该计测数据的发送源的铁路车辆的识别号码。

[0244] [数据存储部1422]

[0245] 数据存储部1422将由数据接收部1421接收到的计测数据存储。数据存储部1422按照每铁路车辆的识别号码存储计测数据。数据存储部1422基于铁路车辆的当前的运行状况和计测数据的接收时刻,确定该计测数据的接收时刻下的铁路车辆的位置,将所确定的位置的信息和该计测数据相互建立关联而存储。另外,数据收集装置1410a、1410b也可以收集铁路车辆的当前的位置的信息,将收集到的信息包含在计测数据中。

[0246] [数据读出部1423]

[0247] 数据读出部1423将由数据存储部1422存储的计测数据读出。数据读出部1423能够将由数据存储部1422存储的计测数据中的由操作者指定的计测数据读出。此外,数据读出部1423也能够在预先设定的定时将与预先设定的条件符合的计测数据读出。在本实施方式中,由数据读出部1423读出的计测数据例如基于铁路车辆的识别号码及位置的至少某1个来决定。

[0248] 状态方程式存储部801、观测方程式存储部802、滤波器运算部804、轨道状态计算部805及输出部806与在第1实施方式中说明的结构相同。因而,这里省略它们的详细的说明。另外,滤波器运算部804,使用由数据读出部1423读出的计测数据来代替由数据取得部803取得的计测数据,决定在(44)式中表示的状态变量。

[0249] <总结>

[0250] 如以上这样,在本实施方式中,搭载在铁路车辆中的数据收集装置1410a、1410b将计测数据收集并向数据处理装置1420发送。配置在控制中心的数据处理装置1420将从数据收集装置1410a、1410b接收到的计测数据存储,使用所存储的计测数据计算轨向不平顺量 y_R 。因而,除了在第1实施方式中说明的效果以外,例如还起到以下的效果。即,数据处理装置1420通过将计测数据在任意的定时读出,能够在任意的定时计算轨向不平顺量 y_R 。此外,数据处理装置1420能够将相同位置处的轨向不平顺量 y_R 的时间序列的变化输出。此外,数据处理装置1420能够将多个路线中的轨向不平顺量 y_R 按照每路线输出。

[0251] <变形例>

[0252] 在本实施方式中,举出了从数据收集装置1410a、1410b向数据处理装置1420直接发送计测数据的情况为例进行了说明。但是,并不一定需要这样。例如,也可以利用云计算来构建检查系统。除此以外,在本实施方式中,也能够采用在第1实施方式中说明的各种变形例。

[0253] 此外,在第1实施方式及第2实施方式中,举出在1个装置中包含状态方程式存储部801、观测方程式存储部802、滤波器运算部804、轨道状态计算部805及输出部806的情况为

例进行了说明。但是,并不一定需要这样。也可以将状态方程式存储部801、观测方程式存储部802、滤波器运算部804、轨道状态计算部805及输出部806的功能用多个装置实现。在此情况下,使用这些多个装置构成检查系统。

[0254] (其他实施方式)

[0255] 以上说明的本发明的实施方式可以通过计算机执行程序来实现。此外,记录有上述程序的计算机可读的记录介质及上述程序等的计算机程序产品也能够作为本发明的实施方式应用。作为记录介质,例如可以使用软盘、硬盘、光盘、光磁盘、CD-ROM、磁带、非易失性的存储卡、ROM等。

[0256] 此外,以上说明的本发明的实施方式都只不过表示在实施本发明时的具体化的例子,不能用它们限定性地解释本发明的技术的范围。即,本发明能够不脱离其技术思想或其主要的特征而以各种形式实施。

[0257] 产业上的可利用性

[0258] 本发明例如能够用于检查铁路车辆的轨道。

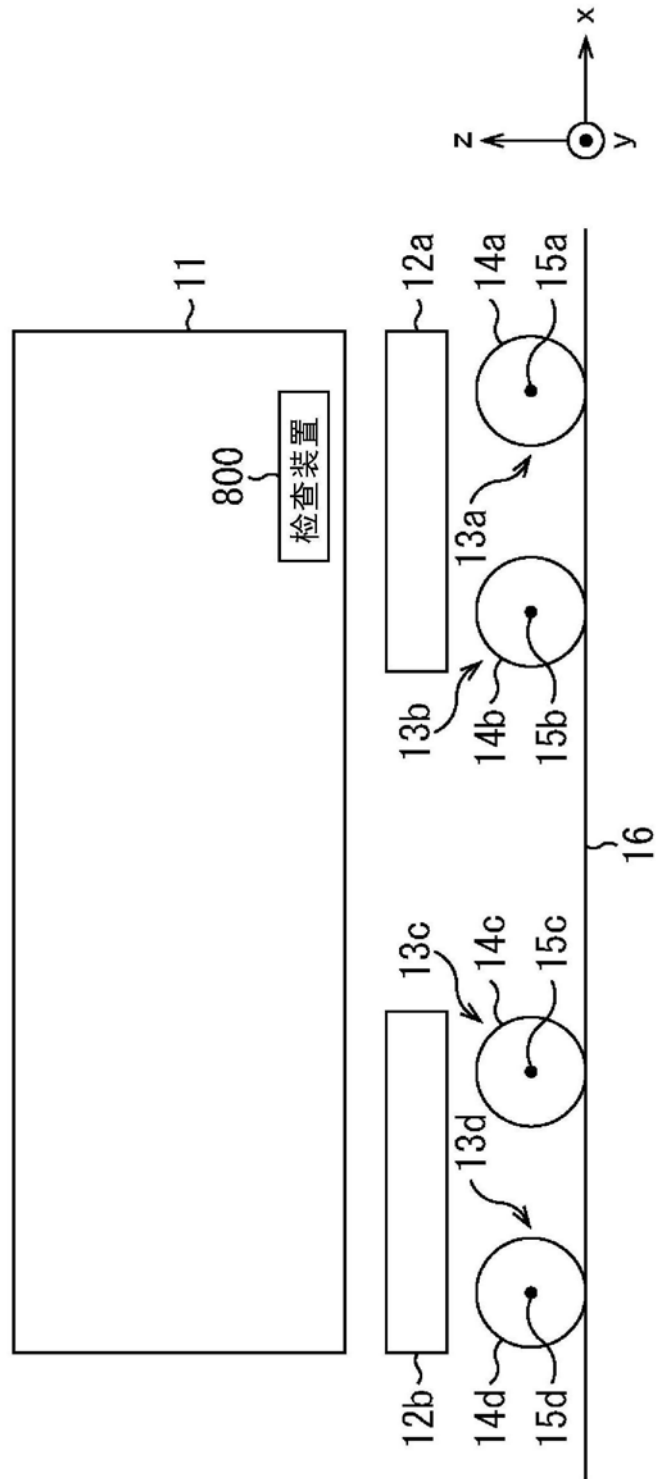


图1

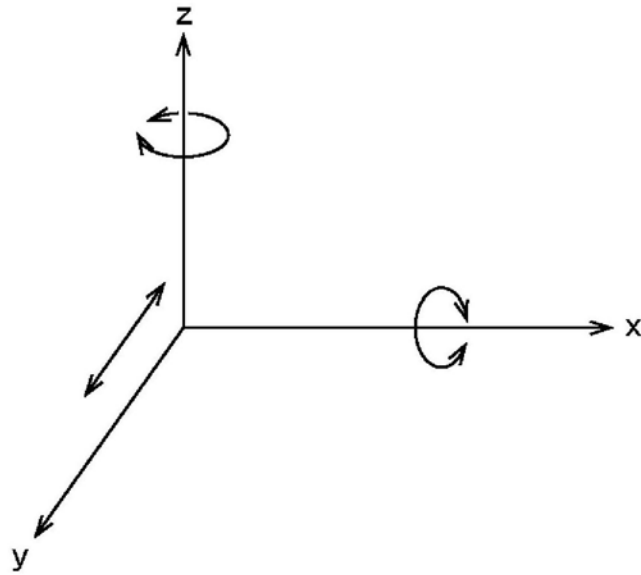


图2

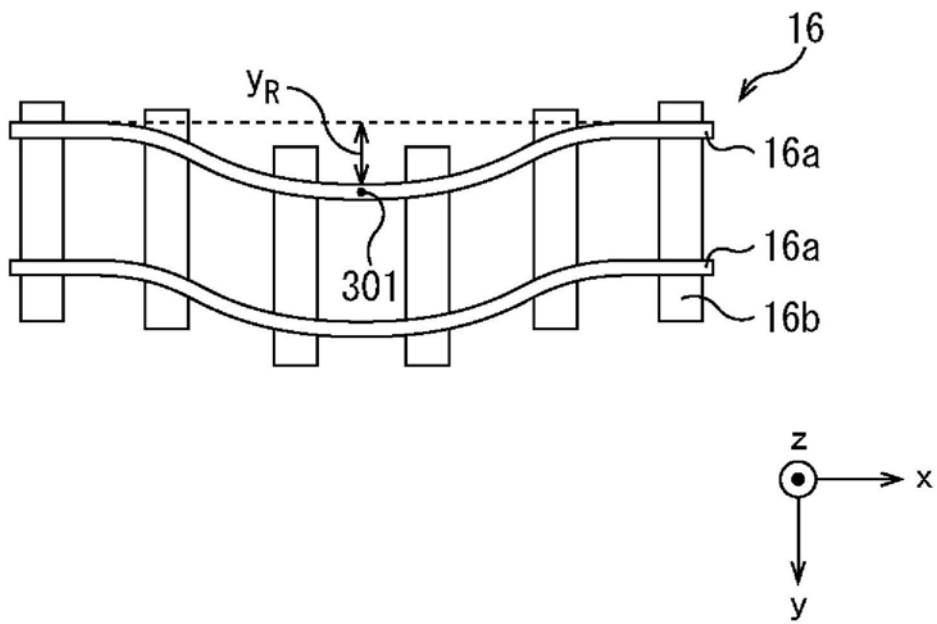


图3

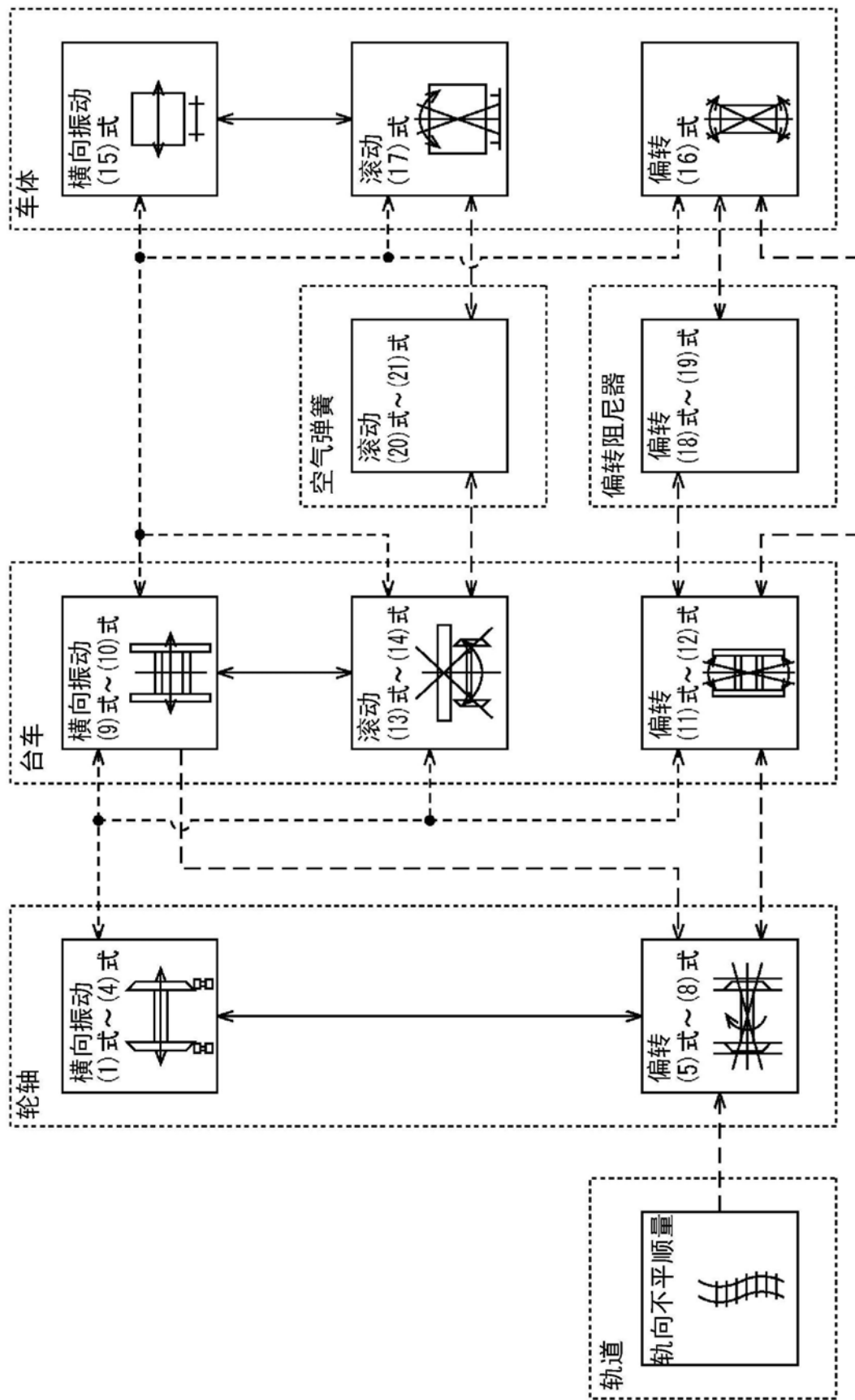


图4

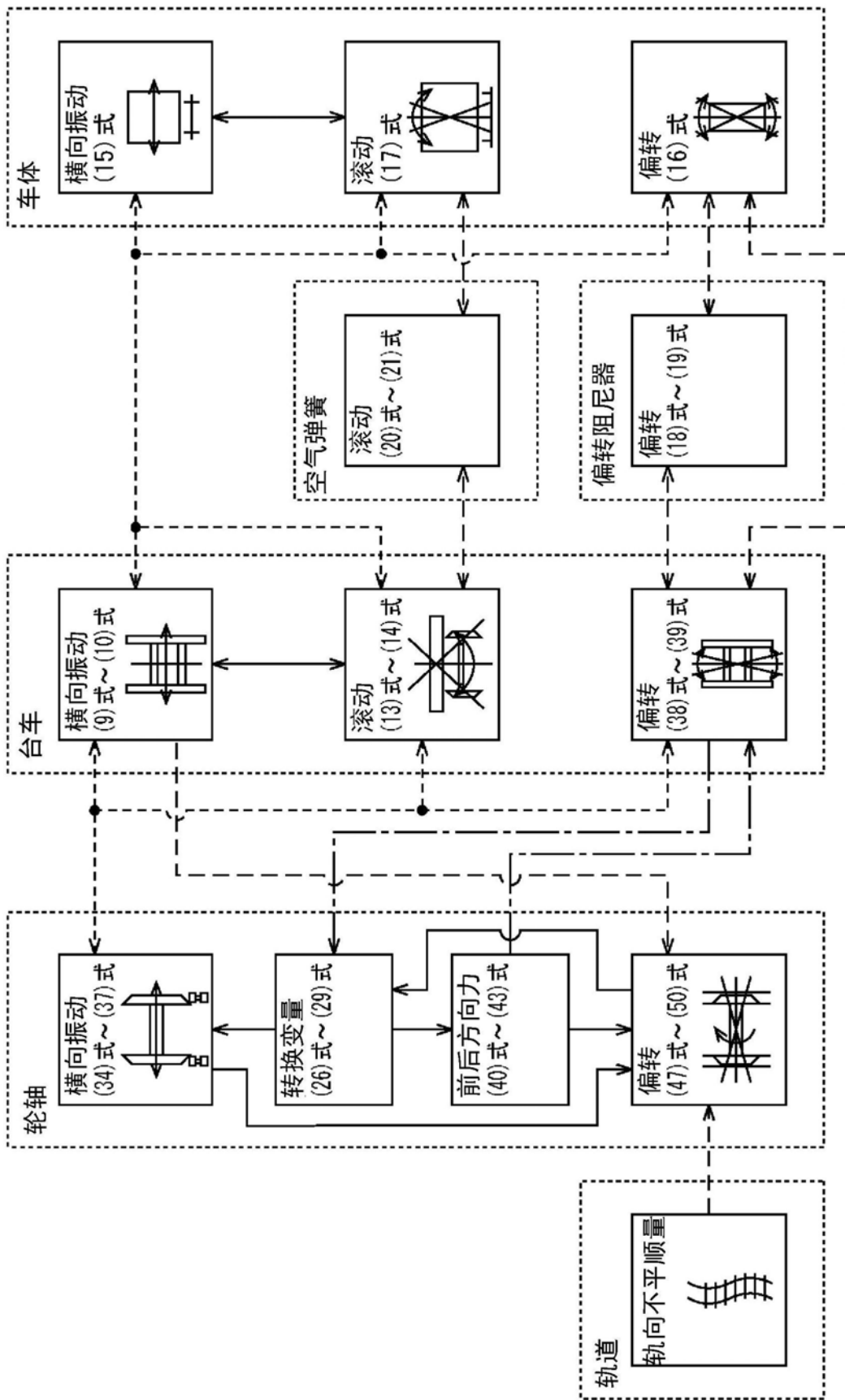


图5

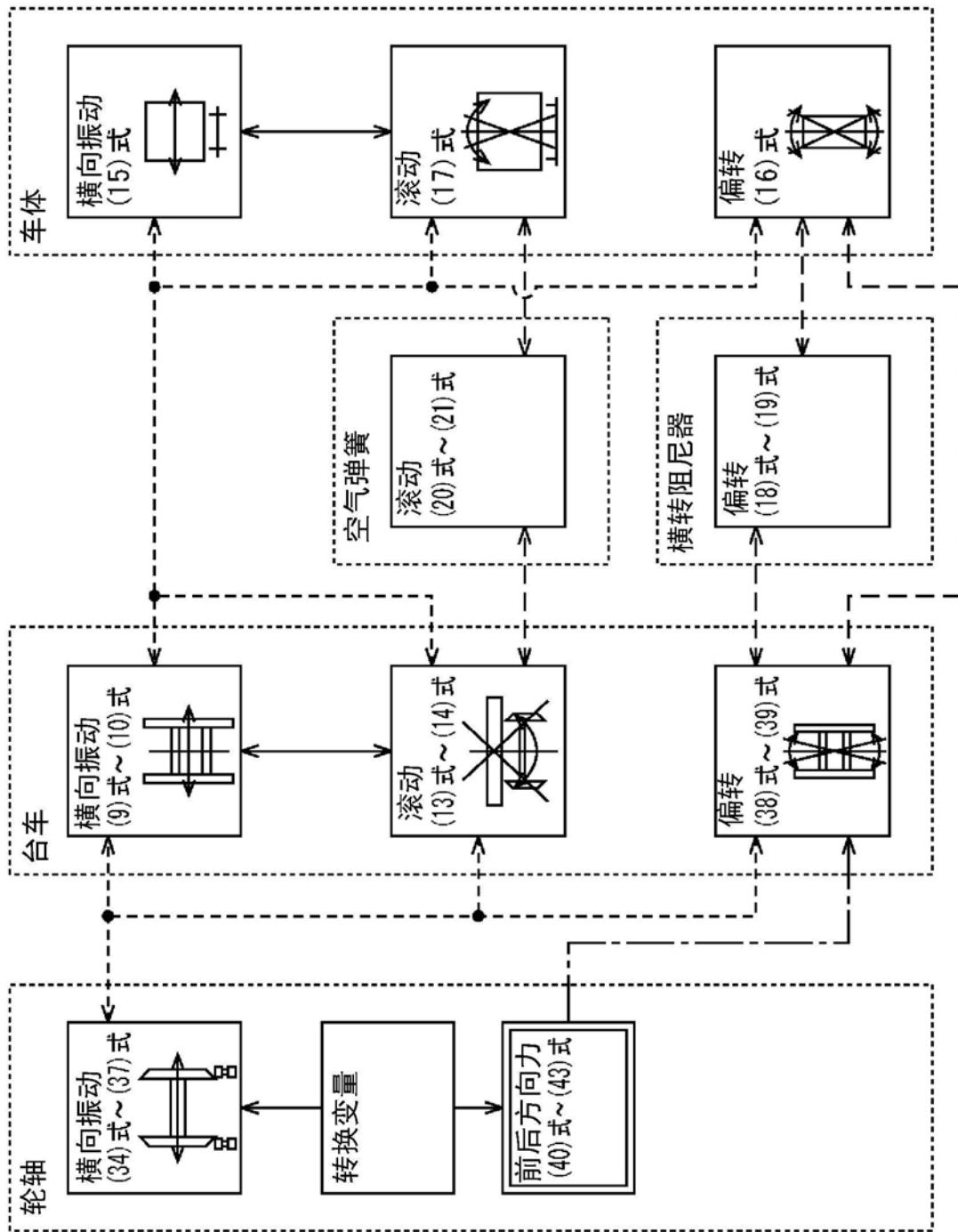


图6

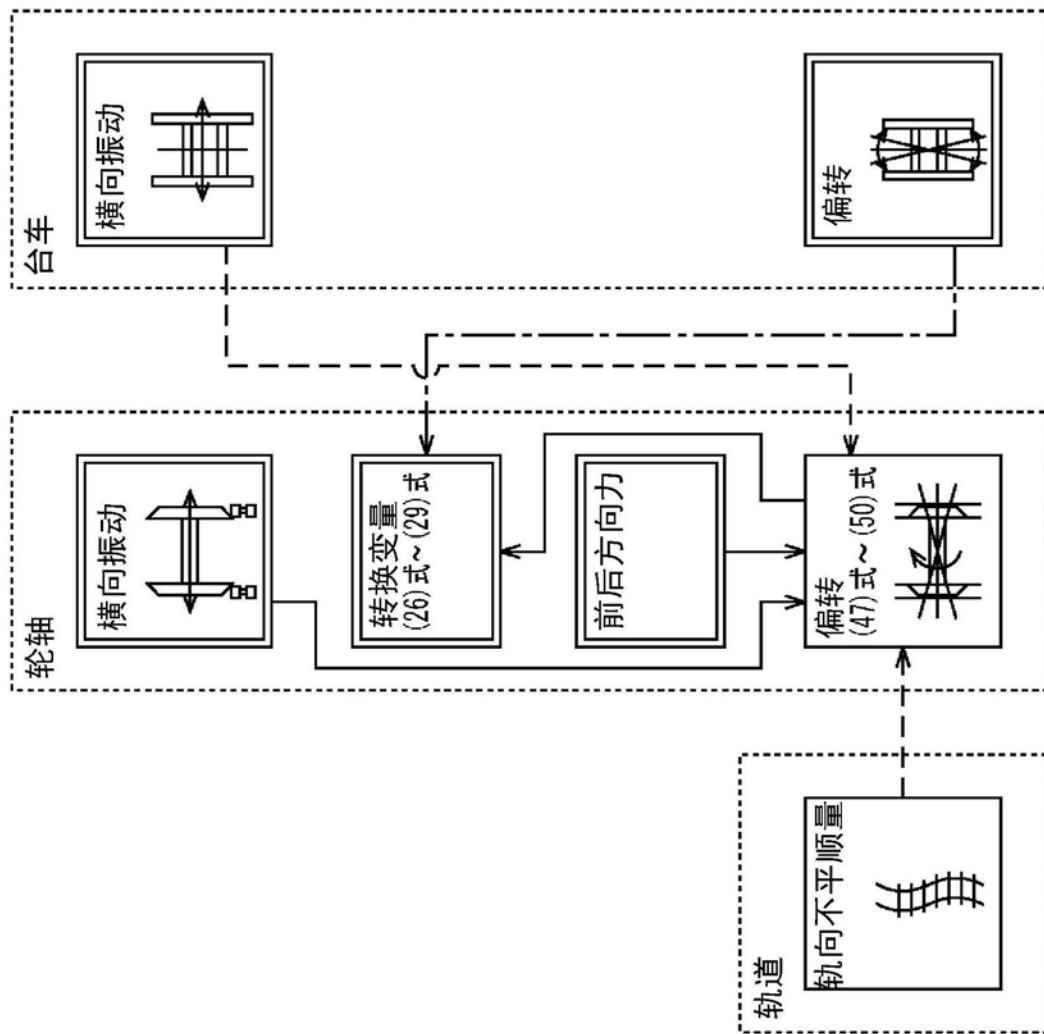


图7

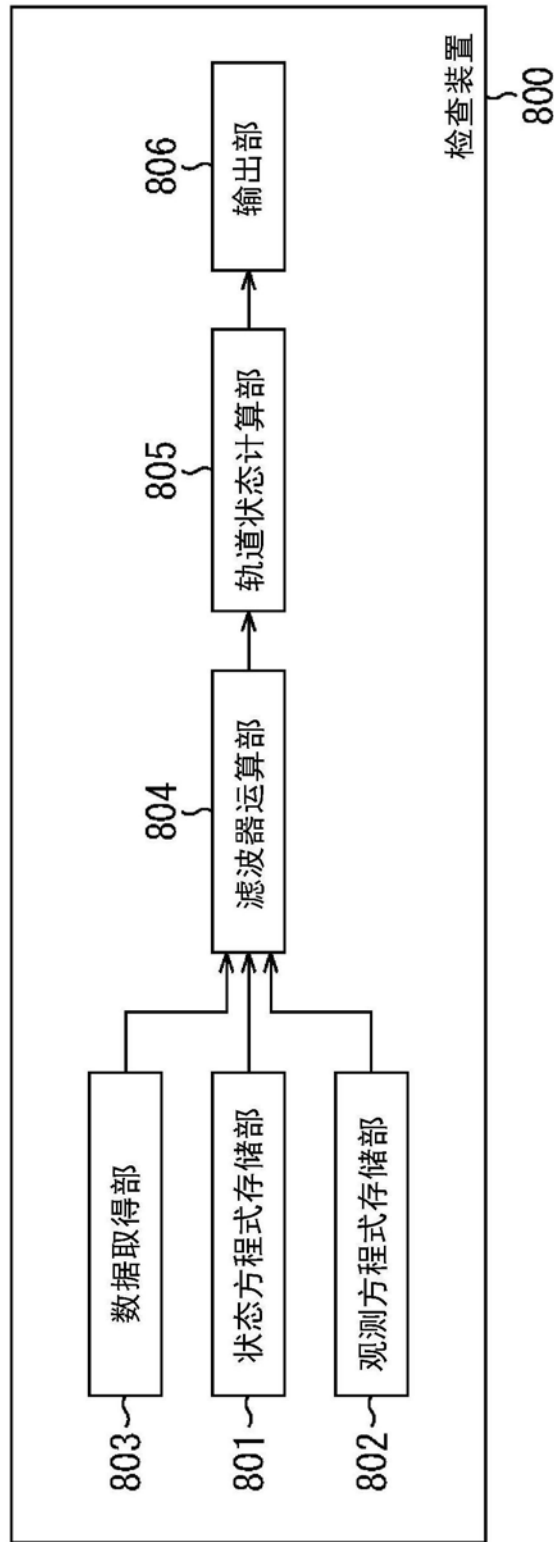


图8

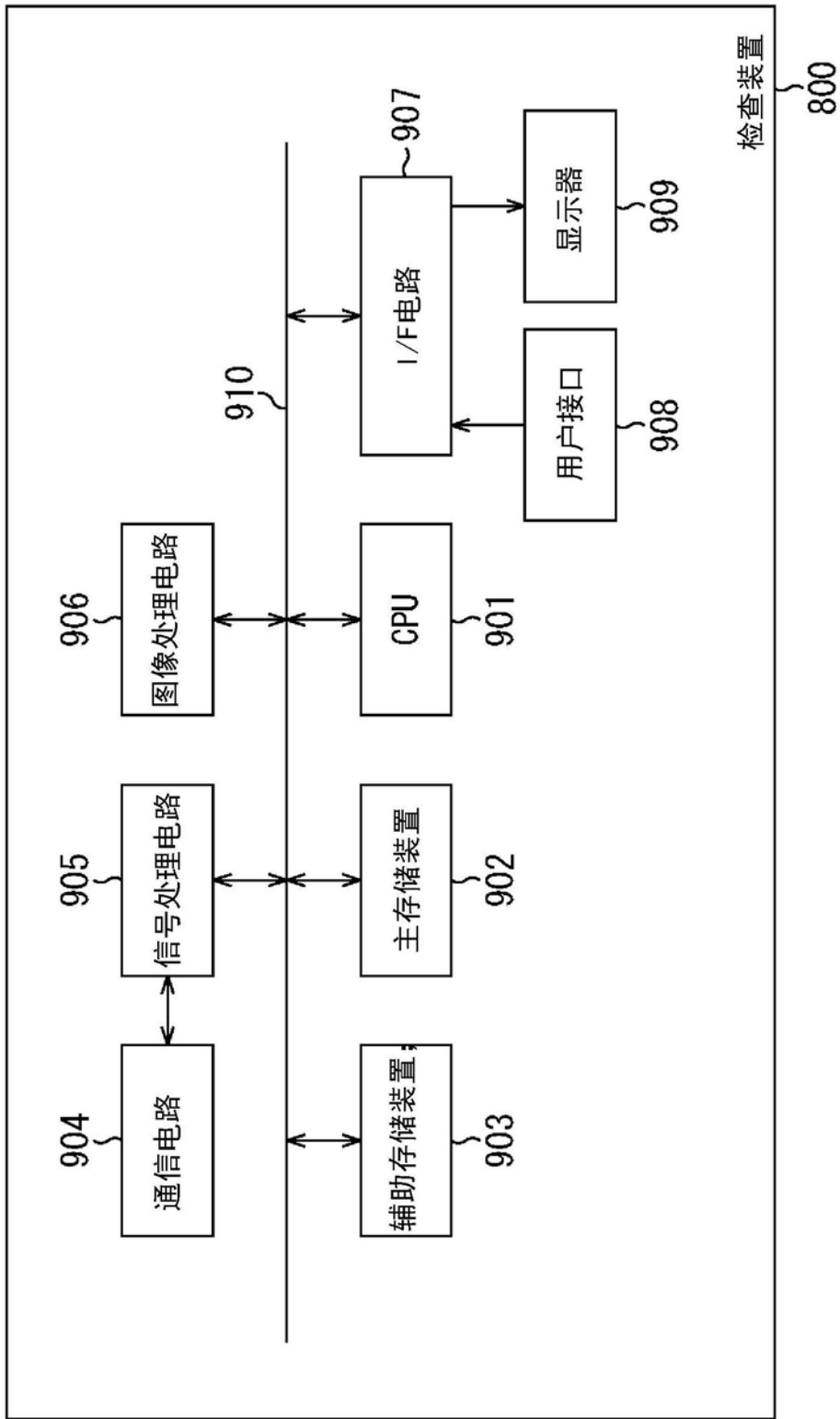


图9

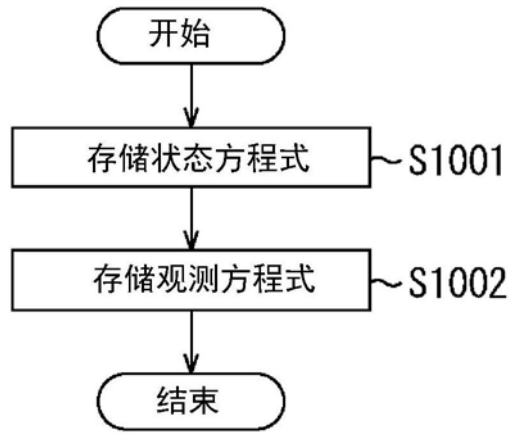


图10

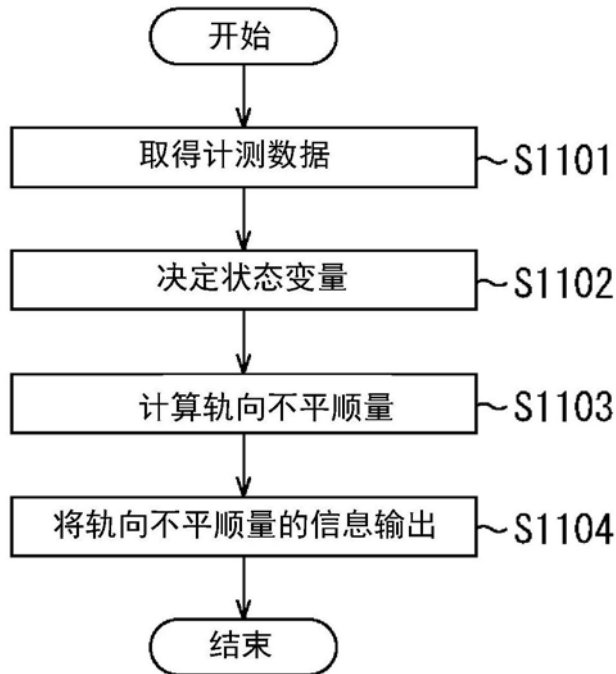


图11

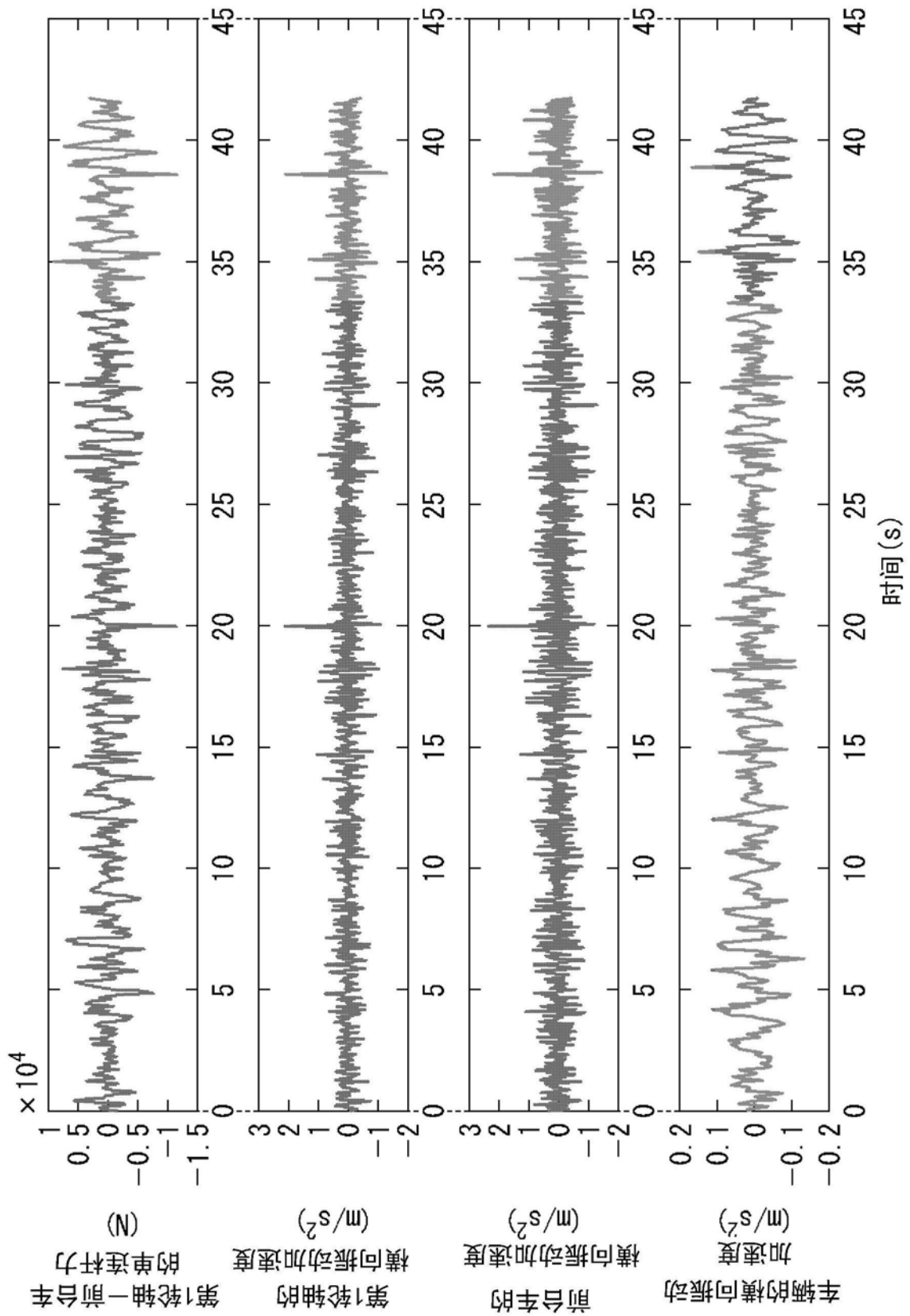


图12

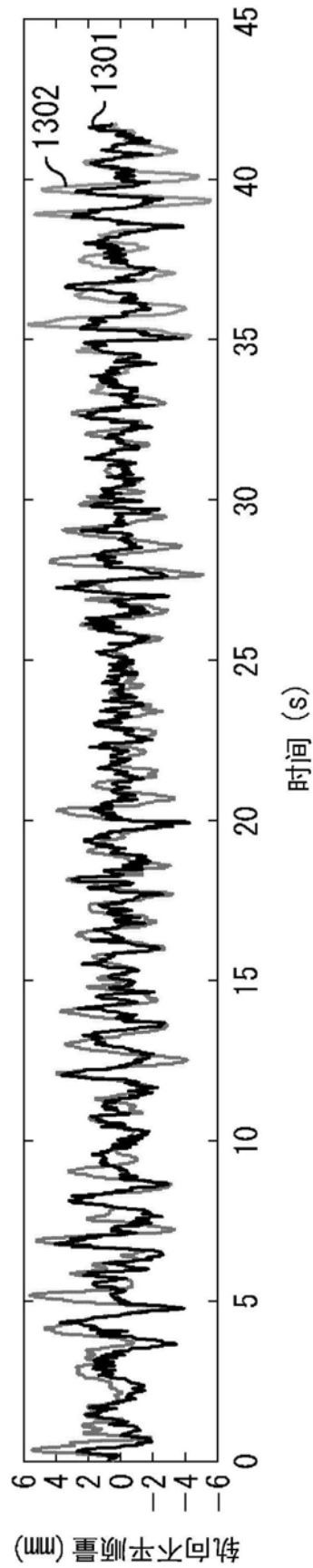


图13

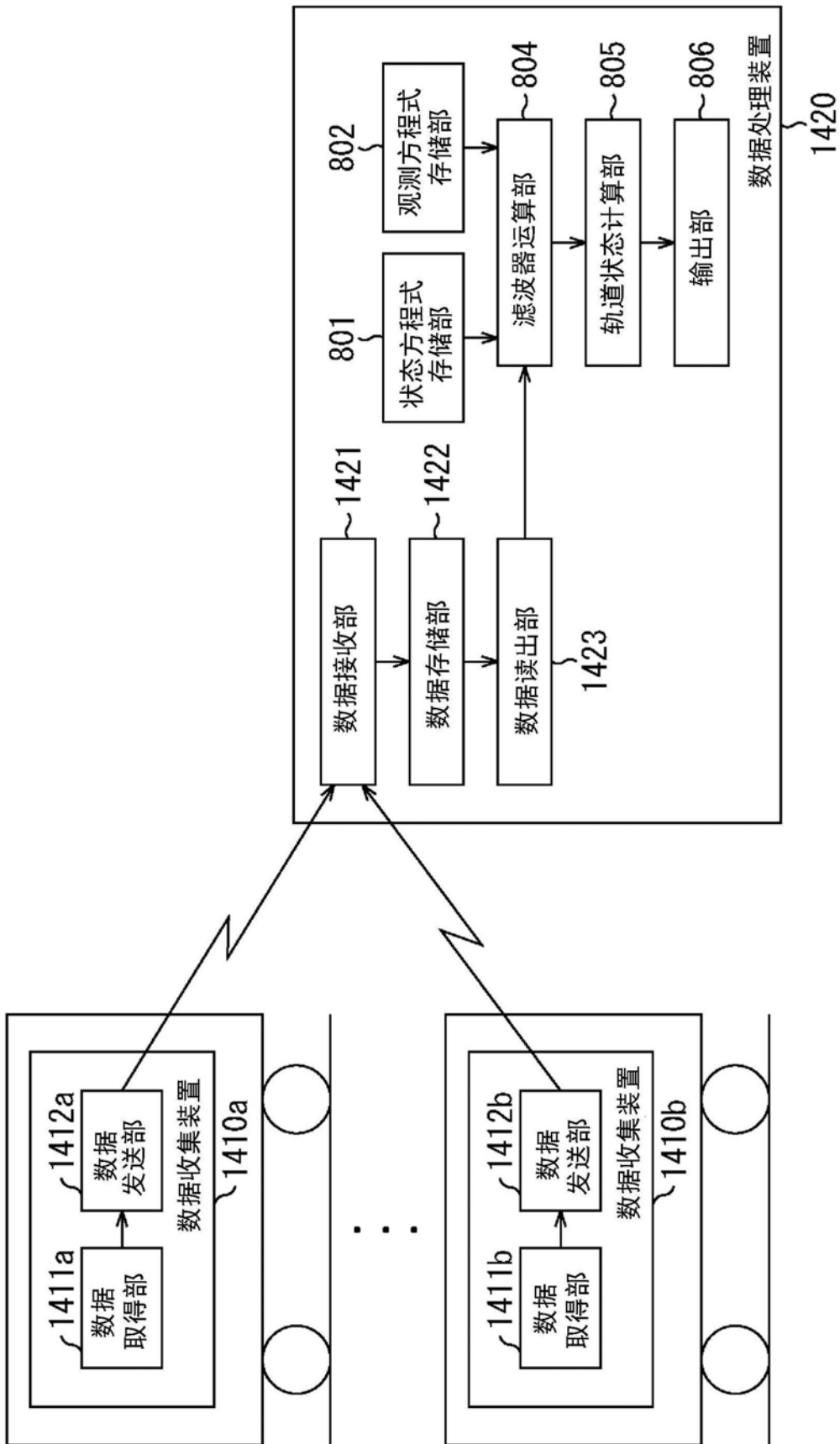


图14