(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119072667 A
(43)申请公布日 2024.12.03

(21)申请号 202280094125.8
(22)申请日 2022.03.29
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.09.24
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2022/015595 2022.03.29
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/188018 JA 2023.10.05
(71)申请人 三菱电机株式会社
地址 日本东京
(72)发明人 高野直人 窟泽洋一
(74)专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司 11112
专利代理师 何立波 张天舒
(51)Int.Cl.
G05B 23/02(2006.01)

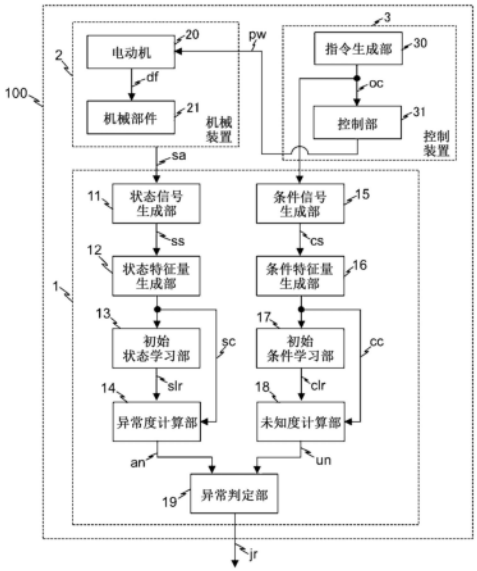
权利要求书3页 说明书35页 附图19页

(54)发明名称

异常检测装置、机械系统及异常检测方法

(57)摘要

为了在对机械装置的状态进行检测的情况下进行错误少的异常检测,具有:状态信号生成部(11),其对机械装置(2)的状态进行检测而作为状态信号;条件信号生成部(15),其生成对机械装置的运转状况进行检测而作为运转条件所得到的条件信号;状态特征量生成部(12),其根据状态信号而生成状态特征量;条件特征量生成部(16),其根据条件信号而生成条件特征量;初始状态学习部(13),其基于初始学习用状态特征量进行学习,作为初始状态学习结果进行输出;初始条件学习部(17),其基于初始学习用条件特征量进行学习,输出初始条件学习结果;异常度计算部(14),其基于初始状态学习结果或追加状态学习结果即状态学习结果和检测用状态特征量对异常度进行计算;以及未知度计算部(18),其基于初始条件学习结果或追加条件学习结果即条件学习结果和检测用条件特征量,对未知度进行计算。



CN 119072667 A

1.一种异常检测装置,其具有:

状态信号生成部,其生成按照时间序列对机械装置的状态进行检测而得到的状态信号;

条件信号生成部,其生成按照时间序列对表示所述机械装置的运转状况的运转条件进行检测而得到的条件信号;

状态特征量生成部,其基于所述状态信号而生成状态特征量;

条件特征量生成部,其基于所述条件信号而生成条件特征量;

初始状态学习部,其将基于初始状态学习时的所述状态特征量即初始学习用状态特征量进行学习得到的结果作为初始状态学习结果进行输出;

初始条件学习部,其将基于初始条件学习时的所述条件特征量即初始学习用条件特征量进行学习得到的结果作为初始条件学习结果进行输出;

异常度计算部,其取得所述初始状态学习结果或追加状态学习结果而作为状态学习结果,基于所述状态学习结果和检测时的所述状态特征量即检测用状态特征量,对异常度进行计算;以及

未知度计算部,其取得所述初始条件学习结果或追加条件学习结果而作为条件学习结果,基于所述条件学习结果和所述检测时的所述条件特征量即检测用条件特征量,对未知度进行计算。

2.根据权利要求1所述的异常检测装置,其中,

具有异常判定部,该异常判定部基于所述异常度和所述未知度对所述机械装置的异常进行检测。

3.根据权利要求2所述的异常检测装置,其中,

所述异常判定部在所述异常度大于预先确定的第1阈值、所述未知度小于预先确定的第2阈值的情况下,将所述机械装置的状态判定为异常。

4.根据权利要求1至3中任一项所述的异常检测装置,其特征在于,

所述条件特征量生成部生成根据多个时间点的所述条件信号计算出的多个统计量而作为所述条件特征量。

5.根据权利要求1至4中任一项所述的异常检测装置,其特征在于,

所述条件特征量生成部生成通过时间序列的所述条件信号的频率解析得到的频率特性而作为所述条件特征量。

6.根据权利要求1至5中任一项所述的异常检测装置,其特征在于,

所述机械装置被电动机驱动而进行动作,

所述运转条件是对所述电动机的位置、所述电动机的速度、所述电动机的加速度、所述电动机的跃度、所述电动机的驱动力之中的至少任一个的时间响应的形状进行规定的控制信号。

7.根据权利要求1至6中任一项所述的异常检测装置,其特征在于,

具有追加条件学习部,

所述追加条件学习部具有:

条件特征量存储部,其对所述检测用条件特征量进行存储;

条件学习判定部,其基于所述未知度而判定是否执行追加条件学习;

条件特征量提取部,其在所述条件学习判定部判定为执行所述追加条件学习的情况下,从所述条件特征量存储部对所述追加条件学习所使用的所述检测用条件特征量进行提取;以及

追加条件学习执行部,其将基于提取出的所述检测用条件特征量执行所述追加条件学习而得到的结果作为所述追加条件学习结果进行输出。

8.根据权利要求7所述的异常检测装置,其特征在于,

所述未知度计算部在所述追加条件学习执行部输出了所述追加条件学习结果的情况下,将所述条件学习结果更新为从所保持的所述条件学习结果输出的所述追加条件学习结果,在执行所述条件学习结果的更新后,基于更新后的所述条件学习结果和在更新后从所述条件特征量生成部输出的所述检测用条件特征量,对所述未知度进行计算。

9.根据权利要求7所述的异常检测装置,其特征在于,

所述条件学习判定部判定为在所述未知度超过预先确定的第3阈值的情况下,执行所述追加条件学习,判定为在所述未知度小于或等于预先确定的第3阈值的情况下,不执行所述追加条件学习。

10.根据权利要求7或8所述的异常检测装置,其特征在于,

所述条件学习判定部判定为仅在所述未知度以按照时间序列连续地预先确定的次数超过预先确定的阈值的情况下,执行所述追加条件学习。

11.根据权利要求7所述的异常检测装置,其特征在于,

具有追加状态学习部,

所述追加状态学习部具有:

状态特征量存储部,其对所述检测用状态特征量进行存储;

状态学习判定部,其基于所述未知度而判定是否执行追加状态学习;

状态特征量提取部,其在所述状态学习判定部判定为执行所述追加状态学习的情况下,从所述状态特征量存储部对所述追加状态学习所使用的所述检测用状态特征量进行提取;以及

追加状态学习执行部,其将基于提取出的所述检测用状态特征量执行所述追加状态学习而得到的结果作为所述追加状态学习结果进行输出。

12.一种机械系统,其具有:

机械装置;

状态信号生成部,其生成按照时间序列对所述机械装置的状态进行检测而得到的状态信号;

条件信号生成部,其生成按照时间序列对表示所述机械装置的运转状况的运转条件进行检测而得到的条件信号;

状态特征量生成部,其基于所述状态信号而生成状态特征量;

条件特征量生成部,其基于所述条件信号而生成条件特征量;

初始状态学习部,其将基于初始状态学习时的所述状态特征量即初始学习用状态特征量进行学习得到的结果作为初始状态学习结果进行输出;

初始条件学习部,其将基于初始条件学习时的所述条件特征量即初始学习用条件特征量进行学习得到的结果作为初始条件学习结果进行输出;

异常度计算部,其取得所述初始状态学习结果或追加状态学习结果而作为状态学习结果,基于所述状态学习结果和检测时的所述状态特征量即检测用状态特征量对异常度进行计算;以及

未知度计算部,其取得所述初始条件学习结果或追加条件学习结果而作为条件学习结果,基于所述条件学习结果和所述检测时的所述条件特征量即检测用条件特征量对未知度进行计算。

13.一种异常检测方法,其具有:

状态信号生成工序,生成按照时间序列对机械装置的状态进行检测而得到的状态信号;

条件信号生成工序,生成按照时间序列对表示所述机械装置的运转状况的运转条件进行检测而得到的条件信号;

状态特征量生成工序,基于所述状态信号而生成状态特征量;

条件特征量生成工序,基于所述条件信号而生成条件特征量;

初始状态学习工序,将基于初始状态学习时的所述状态特征量即初始学习用状态特征量进行学习得到的结果作为初始状态学习结果进行输出;

初始条件学习工序,将基于初始条件学习时的所述条件特征量即初始学习用条件特征量进行学习得到的结果作为初始条件学习结果进行输出;

异常度计算工序,取得所述初始状态学习结果或追加状态学习结果而作为状态学习结果,基于所述状态学习结果和检测时的所述状态特征量即检测用状态特征量对异常度进行计算;以及

未知度计算工序,取得所述初始条件学习结果或追加条件学习结果而作为条件学习结果,基于所述条件学习结果和所述检测时的所述条件特征量即检测用条件特征量对未知度进行计算。

异常检测装置、机械系统及异常检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及机械装置的异常的检测。

背景技术

[0002] 在机械装置中设置传感器,对来自所设置的传感器的信号进行解析,对在生产设备中发生的故障、劣化等进行检测的异常检测,在实现机械装置的高效的运转方面是重要的技术。通过进行异常检测,从而在由于机械装置的部件的历时劣化、干扰等而在机械装置发生了异常时,对异常进行检测而能够进行机械装置的运转条件的变更、机械装置的停止、修理等对应。作为机械装置的部件的例子,能够举出滚珠丝杠、减速机、轴承、泵等。另外,作为在机械装置中发生的异常的例子,能够举出摩擦的增加、振动的发生、框体的损坏等。

[0003] 作为对异常进行检测的技术的一个例子,存在被称为异常检测(Anomaly detection)、偏离值检测(Outlier detection)等的技术。在该异常检测技术中,执行对正常时的传感器信号的特性进行学习的机器学习而生成模型。而且,使用生成的模型,对在成为异常检测的对象的监视对象的时间段得到的传感器信号从正常时的传感器信号起的乖离程度定量地进行评价而对异常进行检测。

[0004] 根据该异常检测技术,存在即使在事先无法取得异常发生时的传感器信号的情况下,也能够对异常的发生进行检测这一优点。另一方面,在取得学习所使用的传感器信号时的机械装置的运转条件和监视对象的时间段的运转条件不同的情况下,在该技术中,存在由于运转条件的差异而发生误检测这一课题。在专利文献1中,公开了下述技术,即,通过机器学习对异常度进行计算,并且使用表示机械装置的负荷条件的负荷数据而调整对正常或异常进行判断的异常度的阈值。在专利文献1中记载的技术的目的在于,提高环境条件、负荷条件等变化的情况下的故障的预测精度。

[0005] 在专利文献1中记载的控制装置,在机械设备正常的状态下取得机械设备的状态所涉及的测量值和机械设备的负荷条件,作为学习数据而使用该测量值,通过机器学习生成训练好的模型。另外,在专利文献1中记载的控制装置,取得从机械设备正常的状态至异常的状态为止的机械设备的状态所涉及的测量值,使用所取得的该测量值和生成的训练好的模型而取得第1阈值。

[0006] 而且,在专利文献1中记载的控制装置,取得评价时的机械设备的状态所涉及的测量值和机械设备的负荷条件。而且,在专利文献1中记载的控制装置,基于所取得的评价时的负荷条件、训练好的模型生成时的负荷条件及第1阈值而取得第2阈值。而且,在专利文献1中记载的控制装置,基于训练好的模型、评价时的机械设备的状态所涉及的测量值和第2阈值,对评价时的机械设备的状态进行判定。

[0007] 而且,专利文献1的控制装置,基于学习模型生成时和评价时的负荷条件的差异将第1阈值向第2阈值进行校正,将学习模型生成时和评价时之间的机械设备的变化反映给第2阈值,由此抑制误检测的发生。

[0008] 在专利文献1所记载的控制装置中,没有准确地计算第2阈值,判定的结果变得不

准确。特别地,在学习模型生成时和判定时的状态的变化没有出现于负荷条件的差异等情况下,判定的结果变得不准确。

[0009] 如以上说明所述,在专利文献1的控制装置中,在对运转条件变化的机械装置的状态进行检测的情况下,存在无法进行误检测少的异常检测这一课题。

[0010] 专利文献1:日本特开2021—086220号公报

发明内容

[0011] 如以上说明所述,在对运转条件变化的机械装置的状态进行检测的情况下,存在无法执行误检测、遗漏等错误的判定结果的输出少的异常检测这一课题。

[0012] 本发明所涉及的异常检测装置具有:状态信号生成部,其生成按照时间序列对机械装置的状态进行检测而得到的状态信号;条件信号生成部,其生成按照时间序列对表示机械装置的运转状况的运转条件进行检测而得到的条件信号;状态特征量生成部,其基于状态信号而生成状态特征量;条件特征量生成部,其基于条件信号而生成条件特征量;初始状态学习部,其将基于初始状态学习时的状态特征量即初始学习用状态特征量进行学习得到的结果作为初始状态学习结果进行输出;初始条件学习部,其将基于初始条件学习时的条件特征量即初始学习用条件特征量进行学习得到的结果作为初始条件学习结果进行输出;异常度计算部,其取得初始状态学习结果或追加状态学习结果而作为状态学习结果,基于状态学习结果和检测时的状态特征量即检测用状态特征量对异常度进行计算;以及未知度计算部,其取得初始条件学习结果或追加条件学习结果而作为条件学习结果,基于条件学习结果和检测时的条件特征量即检测用条件特征量对未知度进行计算。

[0013] 本发明所涉及的机械系统具有:机械装置;状态信号生成部,其生成按照时间序列对机械装置的状态进行检测而得到的状态信号;条件信号生成部,其生成按照时间序列对表示机械装置的运转状况的运转条件进行检测而得到的条件信号;状态特征量生成部,其基于状态信号而生成状态特征量;条件特征量生成部,其基于条件信号而生成条件特征量;初始状态学习部,其将基于初始状态学习时的状态特征量即初始学习用状态特征量进行学习得到的结果作为初始状态学习结果进行输出;初始条件学习部,其将基于初始条件学习时的条件特征量即初始学习用条件特征量进行学习得到的结果作为初始条件学习结果进行输出;异常度计算部,其取得初始状态学习结果或追加状态学习结果而作为状态学习结果,基于状态学习结果和检测时的状态特征量即检测用状态特征量对异常度进行计算;以及未知度计算部,其取得初始条件学习结果或追加条件学习结果而作为条件学习结果,基于条件学习结果和检测时的条件特征量即检测用条件特征量对未知度进行计算。

[0014] 本发明所涉及的异常检测方法具有:状态信号生成工序,生成按照时间序列对机械装置的状态进行检测而得到的状态信号;条件信号生成工序,生成按照时间序列对表示机械装置的运转状况的运转条件进行检测而得到的条件信号;状态特征量生成工序,基于状态信号而生成状态特征量;条件特征量生成工序,基于条件信号而生成条件特征量;初始状态学习工序,将基于初始状态学习时的状态特征量即初始学习用状态特征量进行学习得到的结果作为初始状态学习结果进行输出;初始条件学习工序,将基于初始条件学习时的条件特征量即初始学习用条件特征量进行学习得到的结果作为初始条件学习结果进行输出;异常度计算工序,取得初始状态学习结果或追加状态学习结果而作为状态学习结果,基

于状态学习结果和检测时的状态特征量即检测用状态特征量对异常度进行计算;以及未知度计算工序,取得初始条件学习结果或追加条件学习结果而作为条件学习结果,基于条件学习结果和检测时的条件特征量即检测用条件特征量对未知度进行计算。

[0015] 发明的效果

[0016] 根据本发明,在对运转条件变化的机械装置的状态进行检测的情况下,能够执行误检测、遗漏等错误的判定结果的输出少的异常检测。

附图说明

[0017] 图1是表示实施方式1所涉及的机械系统的结构的一个例子的图。

[0018] 图2是例示实施方式1所涉及的机械装置及控制装置的结构的图。

[0019] 图3是表示将实施方式1所涉及的机械系统所具有的处理电路由处理器及存储器构成的情况下的结构例的图。

[0020] 图4是表示将实施方式1所涉及的机械系统所具有的处理电路由专用的硬件构成的情况下的结构例的图。

[0021] 图5是表示实施方式1所涉及的电动机速度和电动机转矩的时间波形的一个例子的图。

[0022] 图6是表示实施方式1所涉及的连续的定位的电动机速度和电动机转矩的时间波形的一个例子的图。

[0023] 图7是表示实施方式1所涉及的连续的定位的电动机速度和电动机转矩的时间波形的一个例子的图。

[0024] 图8是表示实施方式1所涉及的自动编码器的一个例子的图。

[0025] 是表示实施方式1所涉及的现有的异常检测装置的异常度和判定结果的时间变化的图。

[0026] 图9是表示从实施方式1所涉及的异常检测装置省略异常判定部后的结构的一个例子的图。

[0027] 图10是从实施方式1所涉及的异常检测装置省略异常判定部后的结构所生成的异常度及判定结果的时间变化的一个例子。

[0028] 图11是从实施方式1所涉及的异常检测装置省略异常判定部后的结构所生成的异常度、未知度及判定结果的时间变化的与图10不同的另一个例子。

[0029] 图12是表示实施方式1所涉及的异常检测装置所生成的异常度、未知度及判定结果的时间变化的图。

[0030] 图13是表示实施方式1所涉及的异常判定部的动作流程的一个例子的图。

[0031] 图14是表示实施方式1所涉及的机械系统的结构的一个例子的框图。

[0032] 图15是表示实施方式2所涉及的机械系统的结构的一个例子的框图。

[0033] 图16是表示实施方式2所涉及的追加条件学习部的结构的一个例子的框图。

[0034] 图17是表示实施方式2所涉及的追加状态学习部的结构的一个例子的框图。

[0035] 图18是表示实施方式2所涉及的追加条件学习部的动作的一个例子的流程图。

[0036] 图19是表示实施方式2所涉及的追加状态学习部的动作的一个例子的流程图。

[0037] 图20是表示从实施方式2所涉及的异常检测装置省略追加条件学习部及追加状态

学习部后的结构所生成的异常度、未知度及判定结果的时间变化的一个例子的图。

[0038] 图21是从实施方式2所涉及的异常检测装置省略追加状态学习部后的结构所生成的异常度、未知度及判定结果的时间变化的一个例子的图。

具体实施方式

[0039] 下面,基于附图对实施方式详细地进行说明。此外,以下说明的实施方式为例示,本发明的范围并不受以下说明的实施方式限定。另外,以下说明的实施方式能够适当组合而执行。

[0040] 实施方式1

[0041] 图1是表示本实施方式所涉及的机械系统100的结构的一个例子的图。机械系统100具有:异常检测装置1,其对在机械装置2中发生的异常进行检测;机械装置2;以及控制装置3,其对机械装置2进行控制。异常检测装置1具有生成状态信号ss的状态信号生成部11、及生成状态特征量sc的状态特征量生成部12。另外,异常检测装置1具有:初始状态学习部13,其基于状态特征量sc而执行学习,输出初始状态学习结果slr;以及异常度计算部14,其对异常度an进行计算。

[0042] 另外,异常检测装置1具有:条件信号生成部15,其生成条件信号cs;条件特征量生成部16,其生成条件特征量cc;以及初始条件学习部17,其基于条件特征量cc而执行学习,输出初始条件学习结果clr。另外,异常检测装置1具有:未知度计算部18,其对未知度un进行计算;以及异常判定部19,其基于异常度an及未知度un,关于机械装置2的状态而判定是异常还是正常。

[0043] 在这里,由初始条件学习部17执行的初始状态学习及实施方式2所记载的追加状态学习,分别是状态学习的一个方式。另外,检测用状态信号dss、初始学习用状态信号lss、实施方式2所记载的追加学习用状态信号alss分别是状态信号ss的一个方式。初始学习用状态特征量lsc、检测用状态特征量dsc分别是状态特征量的一个方式。另外,初始状态学习结果slr、追加状态学习结果aslr分别是状态学习结果的一个方式。另外,有时将初始状态学习、初始条件学习称为初始学习。

[0044] 初始条件学习及实施方式2所记载的追加条件学习分别是条件学习的一个方式。检测用条件信号dcs、初始学习用条件信号lcs、实施方式2所记载的追加学习用状态信号alss分别是条件信号cs的一个方式。初始学习用条件特征量lcc、检测用条件特征量dcc分别是条件特征量cc的一个方式。初始条件学习结果clr及实施方式2所记载的追加条件学习结果aclr是条件学习结果的一个方式。

[0045] 图1的机械装置2具有:电动机20,其产生驱动力df;以及机械部件21,其由驱动力df驱动。控制装置3具有:指令生成部30,其输出运转条件oc;以及控制部31,其基于运转条件oc,将电力pw朝向机械装置2输出。作为机械装置2的例子,能够举出电子部件安装机、半导体制造装置、工业用机器人、食品制造装置、包装机械、输送装置、自动门、冲压机械、辊式供给器、空调设备、发电机等。

[0046] 例示出机械装置2及控制装置3的动作。指令生成部30生成运转条件oc,其成为对机械装置2的动作进行规定的控制信号。指令生成部30基于运转条件oc将电力pw向机械装置2供给。电动机20使用电力pw,针对机械部件21产生驱动力df,对机械装置2进行驱动。机

械部件21只要是通过驱动力df进行动作的部件即可。作为机械部件21的例子,能够举出通过电动机20的驱动力df进行动作的可动部件、将可动部件间进行连接的部件等。

[0047] 图2是例示本实施方式所涉及的机械装置2及控制装置3的结构的图。图2所示的机械装置2具有滚珠丝杠201、联轴器202、伺服电动机轴203及与图1的电动机20相对应的伺服电动机204。在这里,图1的驱动力df在图2的例示中,与伺服电动机204所产生的驱动转矩相对应。滚珠丝杠201具有:可动部2011,滚珠丝杠轴2013旋转,由此该可动部2011移动;引导部2012,其对可动部2011的移动的方向进行限制;以及滚珠丝杠轴2013。

[0048] 滚珠丝杠轴2013、伺服电动机轴203分别与联轴器202机械地连接。而且,伺服电动机204所产生的驱动转矩即驱动力df从伺服电动机轴203经由联轴器202而传递至滚珠丝杠轴2013。滚珠丝杠201将旋转动作通过螺纹机构而变换为直线动作,使可动部2011如图2所示的箭头那样在2个方向移动。引导部2012在能够使可动部2011在箭头的方向移动的状态下进行辅助,以使得对移动进行限制,由此使可动部2011的动作的精度提高。此外,可动部2011与机械部件21(未图示)连接,机械部件21与机械装置2的目的相应地动作。

[0049] 图2所示的指令生成部30具有PLC(Programmable Logic Controller)301。PLC 301生成使伺服电动机204动作的指令,向驱动器311输出。作为指令的例子,能够举出对伺服电动机204的位置、速度、转矩等进行指示的信号。另外,该指令与图1的运转条件oc相对应。根据需要,可以进一步在PLC 301设置PC(Personal Computer)401。在图2的例子中,PC 401朝向PLC 301输出与机械装置2的动作相关的命令。作为PC 401,例如可以使用工业用PC(Factory Automation PC或Industrial PC)。

[0050] 控制部31具有驱动器311及电流传感器310。另外,在机械装置2中安装有对伺服电动机204的旋转角度进行测量的编码器205。电流传感器310对从驱动器311供给至伺服电动机204的驱动电流进行测量。该驱动电流与图1的电力pw相对应。

[0051] 驱动器311基于电流传感器310的测量值及编码器205的测量值而进行伺服电动机204的反馈控制,将驱动电流供给至伺服电动机204。换言之,驱动器311通过执行反馈控制,从而使伺服电动机204的动作追随PLC 301所生成的指令。PLC 301所生成的指令如前所述,与图1的运转条件oc相对应。

[0052] 此外,在图1、图2的例示中,为了对机械装置2的状态进行检测所使用的状态信号ss是电动机转矩mt。本实施方式的状态信号ss并不限定于该例。状态信号ss只要是包含与机械装置2的状态相关的信息的信号即可。作为状态信号ss的例子,能够举出位置、速度、加速度、电流、电压、转矩、力、压力、声音、光量等通过设置于机械装置2的传感器或设置于机械装置2的周边的传感器对物理量进行测量而得到的信号。另外,状态信号ss可以是图像信息的信号。

[0053] 另外,在图2的例示中,作为状态量sa的取得所使用的传感器的例子,例示出编码器205及电流传感器310,但状态量sa的取得所使用的传感器并不限定于此。作为状态量sa的取得所使用的传感器的例子,能够举出激光位移计、角度编码器、陀螺仪传感器、振动计、加速度传感器、电压计、转矩传感器、压力传感器、传声器、光传感器、照相机等。这些传感器无需一定与机械装置2、电动机20等接近设置,如果能够生成状态量sa,则可以设置于任意的场所。例如可以构成为将加速度传感器设置于引导部2012的外表面,将加速度传感器所测量出的加速度作为状态信号ss进行输出。在这里,引导部2012的外表面是与配置有可动

部2011的一侧相反侧的面。

[0054] 另外,如图2所示,指令生成部30可以具有对PLC 301的状态进行显示的PLC用显示器402,可以具有对PC 401的状态进行显示的PC用显示器403。此外,伺服电动机204等驱动源可以相对于一个机械装置2而设置多个。另外,驱动器311根据需要,可以相对于一个机械装置2而设置多个。另外,可以是单一PLC 301集中地使机械装置2动作,也可以是多个PLC 301协调而使机械装置2动作。以上是与图2所示的机械装置2及控制装置3的例示有关的说明。

[0055] 此外,成为异常检测装置1的异常检测的对象的机械装置2并不限定于在图2中举出的例示。另外,成为异常检测的对象的异常的种类也并不限定于在图2中举出的例示。异常检测装置1能够遍及在机械装置2中发生的全部现象而被广泛应用。能够将在机械装置2中发生的事件、在机械装置2中发生的现象、机械装置2的状态等视作异常。作为能够视作异常的现象的例子,能够举出异物向机械装置2的混入、机械装置2的框体的损坏、脂状物的劣化、材料的剥离、工件的不良、流体的问题、装置的设置不良、组装不良等。另外,也可以将发生了大于或等于2个现象的状况检测为异常。

[0056] 图3是表示构成本实施方式所涉及的机械系统100所具有的处理电路由处理器1151及存储器1152的情况下的结构例的图。例如,图1所示的异常检测装置1、控制装置3、图2所示的驱动器311等可以具有图3的处理电路。在处理电路由处理器1151及存储器1152构成的情况下,异常检测装置1、控制装置3、驱动器311等的处理电路的各功能通过软件、固件或软件和固件的组合实现。软件或固件被记述为程序,储存于存储器1152。在处理电路中,在存储器1152中存储的程序由处理器1151读出而执行,由此实现各功能。即,在异常检测装置1、控制装置3、驱动器311等具有处理电路的情况下,处理电路具有存储器1152,该存储器1152用于对异常检测装置1、控制装置3、驱动器311等的处理最终得以执行的程序进行储存。另外,这些程序可以说使计算机执行异常检测装置1、控制装置3、驱动器311等所执行的顺序及方法。

[0057] 在这里,处理器1151可以是被称为CPU(Central Processing Unit)、处理装置、运算装置、微处理器、微型计算机或DSP(Digital Signal Processor)的运算单元。存储器1152例如可以是RAM、ROM(Read Only Memory)、闪存、EPROM(Erasable Programmable ROM)、EEPROM(注册商标)(Electrically EPROM)等非易失性或易失性的半导体存储器。另外,也可以将存储器1152构成为磁盘、软盘、光盘、压缩盘、迷你盘或DVD(Digital Versatile Disc)等存储单元。

[0058] 图4是表示将本实施方式所涉及的机械系统100所具有的处理电路由专用的硬件构成的情况下的结构例的图。例如图1所示的异常检测装置1、控制装置3、图2所示的驱动器311等,可以具有图4的处理电路。在处理电路由专用的硬件构成的情况下,图4所示的处理电路1161例如可以是单一电路、复合电路、被程序化的处理器、被并行程序化的处理器、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)、FPGA(Field Programmable Gate Array)或它们的组合。机械系统100所具有的处理电路可以针对每个功能,通过处理电路1161实现图1所示的异常检测装置1、控制装置3、驱动器311等的多个功能,也可以将多个功能汇总而通过处理电路1161实现。此外,异常检测装置1、控制装置3、驱动器311、PLC 401等也可以经由网络连接。另外,异常检测装置1、控制装置3、驱动器311、PLC 401等之中的至少

任一个可以存在于云服务器上。

[0059] 此外,也能够从图2的结构省略驱动器311、PLC 301、PC 401等。例如可以取代驱动器311、PLC 301、PC 401等,另外准备用于实施异常检测装置1的异常检测的设备,由该设备执行异常检测装置1的动作。例如准备具有电池、微型计算机、传感器、显示器及通信功能的设备,由该设备通过传声器取得机械装置2所发出的声音而作为状态信号ss。而且,异常检测装置1可以基于该状态信号ss对机械装置2的状态进行检测。

[0060] 另外,在图2的结构例中,也能够省略PLC用显示器402、PC用显示器403等。另外,在图2的结构例中,可以取代这些显示装置,使用驱动器311、PLC 301所具有的LED等对伺服电动机204、滚珠丝杠201等的状态进行显示。另外,可以使用LED等对与状态有关的正常、异常的判定结果进行显示。另外,也可以构成为不对状态、与状态有关的判定结果等进行显示,在判定为发生了异常的情况下,停止伺服电动机204的驱动。

[0061] 另外,在图2的说明中,从设置于伺服电动机204的编码器205取得伺服电动机204的速度,但本实施方式并不限定于如上所述的方式。例如在图1的结构中,可以将来自向电动机20发出驱动命令的指令生成部30的控制信号作为运转条件oc使用,条件信号生成部15生成电动机速度而作为条件信号cs。

[0062] 另外,在图2的例示中,对伺服电动机204是旋转型的伺服电动机的例子进行了说明,但在将图1的电动机20设为旋转型以外的电动机的情况下,也能够应用本实施方式的异常检测装置1。作为旋转型以外的电动机的例子,能够举出线性的伺服电动机、感应电动机、步进电动机、有刷电动机、超声波电动机等。另外,在取代电动机而采用与电动机不同的驱动源的情况下,也能够应用本实施方式的异常检测装置1。作为电动机以外的驱动源的例子,例如机械装置2也可以由汽油发动机、喷气发动机、火箭发动机、燃气轮机等内燃机进行驱动。如上所述,驱动源并不限定于由电力驱动。

[0063] 而且,机械装置2也可以由风力、地热、水力等自然能源驱动。例如机械装置2可以是风力发电装置、地热发电装置、水力发电装置等。在按照针对电动机、内燃机等的指令对机械装置2进行驱动的情况下,能够将该指令利用为运转条件oc。指令不包含大量干扰,因此将指令利用为运转条件oc,由此异常检测装置1能够高精度地检测异常。另外,异常检测装置1能够抑制误检测、遗漏等的发生并检测异常。机械装置2例如如风力发电装置那样,在由自然能源驱动的情况下,机械系统100有时不包含控制装置3。

[0064] 另外,例示出在图1的机械装置2中,作为结构要素而包含滚珠丝杠201及联轴器202的情况,但机械装置2的结构要素并不限定于这些要素。作为滚珠丝杠201及联轴器202以外的机械装置2的结构要素的例子,能够举出减速机、引导部、传动带、螺杆、泵、轴承、框体等。如上所述,针对多样的机械装置2,能够应用异常检测装置1。

[0065] 例示出异常检测装置1的动作。在图2的例示中,将由滚珠丝杠201的滑动部的劣化引起的振动增加、摩擦增加等作为由异常检测装置1检测的异常的例子。状态信号生成部11取得使用传感器等对在机械装置2中发生的物理现象进行检测而得到的状态量sa,作为时间序列的状态信号ss进行输出。在这里,物理现象是能够关于机械装置2使用传感器等进行检测的量。例如可以将状态量sa设为在机械装置2中发生的故障、劣化等的影响所表现出的量。也可以将状态量sa设为能够对机械装置2的状态、在机械装置2中发生的故障、劣化等进行检测的量。另外,也可以将异常检测装置1的结构构成为状态量sa与机械装置2的状态、在

机械装置2中发生的故障、劣化等具有相关性的量。

[0066] 在本实施方式中,时间序列的信号设为关于多个时间点分别具有相关联的信息的信号。例如如果对时间序列的信号的多个时间点之中的某时间点进行指定,则可以将与该时间点相对应的信号或信号所示的值决定的信号作为时间序列的信号。

[0067] 在这里,将状态信号生成部11在初始状态学习时间中对机械装置2的状态进行检测而得到的状态信号ss称为初始学习用状态信号lss。在这里,初始状态学习时间优选是机械装置2处于正常状态的时间。另外,将状态信号生成部11对机械装置2的状态进行检测的异常检测的对象的时间设为检测时间。而且,将在该检测时间中状态信号生成部11所检测出的状态信号ss称为检测用状态信号dss。此外,初始状态学习时间和检测时间之间的关系不受限定,但在检测时间比初始状态学习时间靠后的情况下,具有能够将初始状态学习的结果利用于异常的检测这一优点。

[0068] 在图2的例示中,将根据在作为电动机20的一个例子的伺服电动机204中流动的电流的值而计算出的驱动转矩的值设为状态量sa。另外,状态信号生成部11使用电流传感器310对驱动电流的值进行测量,将该电流值换算为伺服电动机204所产生的驱动转矩的值即转矩值,设为状态信号ss。状态量sa可以与机械装置2的举动、时间等相应地时时刻刻发生变化。

[0069] 另外,状态特征量生成部12按照时间序列取得状态信号ss。而且,根据时间序列的状态信号ss而生成状态特征量sc。状态特征量sc优选是对表示机械装置2的状态的特征进行提取而得到的量。状态特征量sc可以不是时间序列的信号,但优选按照时间序列生成。另外,状态特征量生成部12可以关于包含状态信号ss被生成的多个时间点的组分别将状态特征量sc一个一个地生成。另外,状态特征量生成部12可以关于状态信号ss被生成的多个时间点分别将状态特征量sc一个一个地生成。在这里,将状态特征量生成部12根据初始学习用状态信号lss而生成的状态特征量sc称为初始学习用状态特征量lsc。另外,将状态特征量生成部12根据检测用状态信号dss而生成的状态特征量sc称为检测用状态特征量dsc。

[0070] 将初始状态学习部13基于初始学习用状态特征量lsc执行学习的学习结果作为初始状态学习结果slr进行输出。将该初始状态学习部13所执行的学习称为初始状态学习。例如初始状态学习部13可以关于初始学习用状态信号lss的特性而生成模型,将模型的构造、参数等作为初始状态学习结果slr进行输出。此外,在异常检测装置1中,可以取代初始状态学习部13而具有执行初始状态学习后的学习模型、输出完成的初始状态学习结果slr等。例如,可以具有基于由本实施方式中说明的初始状态学习部13输出的初始状态学习结果slr的模型。在具有训练好的学习模型、输出完成的初始状态学习结果slr等的情况下,能够不执行初始状态学习,而是利用初始状态学习的结果。

[0071] 异常度计算部14基于检测用状态特征量dsc及初始状态学习结果slr对异常度an进行计算。异常度计算部14可以将检测用状态信号dss的特性和初始学习用状态信号lss的特性的乖离程度计算为异常度an。另外,异常度计算部14可以将检测用状态特征量dsc的特性和初始学习用状态特征量lsc的特性的差异计算为异常度an。

[0072] 另外,例如初始状态学习结果slr包含模型的构造、模型的参数等。在该情况下,异常度计算部14根据该模型的构造、该模型的参数等而生成模型。而且,异常度计算部14可以对将初始学习用状态特征量lsc输入至该模型的情况下的输出、和将检测用状态特征量dsc

输入至该模型的情况下的输出的差异进行计算而作为异常度an。

[0073] 条件信号生成部15取得机械装置2的运转条件而作为运转条件oc，生成为条件信号cs。运转条件oc只要表示机械装置2的运转状况即可。在图1、图2的说明中，运转条件oc设为电动机20的速度的设定值或指令值、电动机20的加速度的设定值或指令值、电动机20的移动距离的设定值或指令值等。另外，在图1、2的说明中，条件信号cs设为是速度的指令、且作为时间序列的信号的指令速度ds。而且，将条件信号cs设为按照时间序列取得运转条件oc的信号。作为运转条件oc及条件信号cs的其他例，能够举出跃度、负荷的大小、外部气体温度、压力、流量等。

[0074] 在这里，将条件信号生成部15在初始条件学习时间中对机械装置2的状态进行检测而得到的条件信号cs称为初始学习用条件信号lcs。在这里，初始条件学习时间优选是机械装置2处于正常状态的时间。另外，将条件信号生成部15在机械装置2的状态的检测对象的时间即检测时间中检测出的条件信号cs称为检测用条件信号dcs。

[0075] 初始条件学习时间和检测时间之间的关系不受限定，但能够将初始条件学习的结果利用于异常检测，因此检测时间优选是比初始条件学习时间靠后的时间。在这里，初始状态学习时间和初始条件学习时间无需一定一致。另一方面，检测用状态信号dss的说明中的检测时间与检测用条件信号dcs的说明中的检测时间一致。

[0076] 条件特征量生成部16根据初始学习用条件信号lcs而生成初始学习用条件特征量lcc。例如条件特征量生成部16可以从初始学习用条件信号lcs对表示初始条件学习时间中的运转条件oc的特性的特征进行提取，生成为初始学习用条件特征量lcc。初始条件学习部17基于初始学习用条件特征量lcc执行学习，将学习的结果作为初始条件学习结果clr进行输出。将由该初始条件学习部17执行的学习称为初始条件学习。有时将初始条件学习、初始状态学习等称为初始学习。

[0077] 例如初始条件学习部17可以基于初始学习用条件特征量lcc，将初始条件学习时间中的运转条件oc的特性进行模型化，将模型的构造、参数等作为初始条件学习结果clr进行输出。另外，在异常检测装置1中，可以取代初始条件学习部17而具有训练好的学习模型、输出的初始条件学习结果clr等。在异常检测装置1具有训练好的学习模型、输出的初始条件学习结果clr等的情况下，能够不执行学习，而是利用学习的结果在短时间执行高精度的异常检测。另外，能够减少计算的负荷。例如训练好的学习模型可以是基于初始条件学习部17所输出的初始条件学习结果clr的模型。

[0078] 未知度计算部18基于初始条件学习结果clr和检测用条件信号dcs对未知度un进行计算。未知度un可以是表示初始学习用条件信号lcs和检测用条件信号dcs的乖离程度的量。另外，未知度计算部18可以对检测用条件特征量dcc和初始学习用条件特征量lcc的特性的乖离程度进行计算而作为未知度un。

[0079] 另外，例如初始条件学习结果clr包含模型的构造、模型的参数等。在该情况下，未知度计算部18根据该模型的构造、该模型的参数等生成模型。而且，未知度计算部18可以对将初始学习用条件特征量lcc输入至该模型的情况下的输出、和将检测用条件特征量dcc输入至该模型的情况下的输出的差异进行计算而作为未知度un。

[0080] 异常判定部19基于异常度an和未知度un，判定是否在机械装置2中发生了异常，作为判定结果jr进行输出。例如异常判定部19可以在异常度an大于预先确定的第1阈值、且未

知度un小于预先确定的第2阈值的情况下,判定为机械装置2的状态异常。

[0081] 而且,在异常度an小于或等于第1阈值的情况下、未知度un大于或等于第2阈值的情况下这2个情况的任意情况下,异常判定部19可以判定为机械装置2的状态正常。在这里,异常度an小于或等于第1阈值的情况是异常度an小于第1阈值或与第1阈值相同的情况。另外,未知度un大于或等于第2阈值的情况是未知度un大于第2阈值或与第2阈值相同的情况。

[0082] 此外,异常检测装置1也能够设为是不具有异常判定部19的方式。在该情况下,异常检测装置1的外部的装置可以执行异常判定部19的处理。另外,可以由作业者执行异常判定部19的处理。另外,异常判定部19对异常度an及未知度un进行机器学习而作为学习数据,生成模型。而且,异常判定部19可以基于生成的模型和在成为机械装置2的异常检测的对象的检测时间中取得的异常度an及未知度un进行判定。另外,异常检测装置1可以具有对判定结果jr、未知度un、异常度an等进行显示的显示部。

[0083] 图5是表示本实施方式所涉及的电动机速度ms和电动机转矩mt的时间波形的一个例子的图。条件信号生成部15生成指令速度ds而作为条件信号cs。在图5(a)中,将由条件信号生成部15作为条件信号cs生成的指令速度ds的时间序列的波形通过点线即虚线表示。指令速度ds是通过由指令生成部30生成的运转条件oc规定出的电动机的指令速度ds。另外,在图5(a)中,在指令速度ds的基础上,将根据编码器205的测量结果计算出的电动机速度ms通过实线表示。在图5(b)中,示出状态信号生成部11作为状态信号ss生成的电动机转矩mt的时间序列的波形。图5(a)及图5(b)的横轴表示时间。图5(a)的时间轴上的带有标号的点和带有与该标号相同标号的处于图5(b)的时间轴上的点指定出相同的时刻。

[0084] 对图5(a)所示的指令速度ds的时间变化进行说明。在从时刻tr0至时刻tr1为止之间,指令速度ds为0。在从时刻tr1至时刻tr2为止之间,指令速度ds成为以恒定的加速度进行加速这一指令。而且,在时刻tr1为0的指令速度ds在时刻tr2达到速度Vcmd。在从时刻tr2至时刻tr3为止之间,指令速度ds保持为速度Vcmd。指令速度ds在从时刻tr3至时刻tr4为止之间,指令速度ds成为以恒定的加速度进行减速的指令。在时刻tr3为速度Vcmd的指令速度ds在时刻tr4成为0。而且,在从时刻tr4至时刻tr5为止之间,指令速度ds维持为0。

[0085] 图5(a)的电动机速度ms是电动机20的速度的实测值。换言之,电动机速度ms是图2的伺服电动机204的速度的实测值。伺服电动机204由指令生成部30、即由图2的驱动器311进行控制,以使得电动机速度ms追随指令速度ds。指令速度ds和电动机速度ms之间的关系依赖于指令生成部30的结构而变化。在图5(a)中,例示出电动机速度ms相对于指令速度ds稍微延迟地追随的情况。在图5(b)中,将根据电流传感器310的测量值计算出的电动机转矩mt的时间序列的波形通过实线表示。从电流传感器310直接得到的信号设为是对在图2的伺服电动机204内流过的三相的电流进行测量而得到的信号(三相的电流,未图示)。状态信号生成部11对该三相的电流实施变换,生成图5(b)所示的电动机转矩mt而作为状态信号ss。

[0086] 如图5的例示所示,可以针对机械装置2适当地设置传感器。另外,传感器可以是状态信号生成部11所包含的结构,也可以是异常检测装置1所包含的结构。另外,状态信号生成部11可以适当地进行针对传感器的测量值的变换。可以在图5的说明中例示出的传感器的基础上,或取代传感器,状态信号生成部11基于对在机械部件21中产生的转矩、力、振动、速度、位置、光量、声音等的值进行检测的传感器的测量结果而生成状态信号ss。另外,作为传感器的例子,能够举出转矩传感器、力传感器、振动传感器、陀螺仪传感器、编码器、激光

位移计、光传感器、传声器等。此外,状态信号生成部11可以将由电流传感器310检测出的三相的电流值直接生成为状态信号ss。另外,状态信号生成部11可以将从编码器205得到的伺服电动机204的旋转角度、或根据旋转角度通过数值微分等求出的电动机速度ms生成为状态信号ss。

[0087] 对状态信号ss的时间序列的变化进行说明。使用图5(a)说明的电动机转矩mt的时间序列的波形,成为在从时刻tr1至时刻tr2为止之间对伺服电动机204的加速进行指示的波形。而且,在从时刻tr3至时刻tr4为止之间,成为对伺服电动机204的减速进行指示的波形。与其相对应,图5(b)所示的电动机转矩mt,在从时刻tr1至时刻tr2为止之间增加。另外,图5(b)所示的电动机转矩mt,在从时刻tr3至时刻tr4为止之间减少。

[0088] 在图5(b)的时间波形中,示出了作用有摩擦力,由此电动机转矩mt依赖于电动机速度ms而变化的情形。例如在从时刻tr1至时刻tr2之间,电动机速度ms尽管维持以相同的加速度进行加速的状态,但随着电动机速度ms变大,电动机转矩mt变大。

[0089] 在图5(a)及图5(b)中,例示出从伺服电动机204停止的状态起实施被称为定位的单次驱动时的波形。在图5的例示中,例示出定位的次数为1次的情况,但也可以执行多次定位。另外,在图5中,对通过伺服电动机204执行机械部件21的定位的情况下的动作进行了说明,但本实施方式的异常检测装置1的应用对象并不限定于定位动作。例如在速度控制、转矩控制等与定位动作不同的控制中,也能够应用本实施方式的异常检测装置1。另外,例如在没有追随指令进行控制的机械装置2的异常检测中,也能够应用本实施方式的异常检测装置1。

[0090] 另外,在图5的例示中,例示出包含指令速度ds成为恒定的时间的情况。换言之,在图5的例示中,例示出指令速度ds的时间波形成为梯形形状的形状的情况。本实施方式的异常检测装置1在没有指令速度ds成为恒定的时间的情况下,即,在波形成为三角形等情况下,也能够应用于指令速度ds的时间波形不是梯形形状的情况。另外,在图5的例示中,例示出加速时的速度的斜率恒定,即指令速度ds的加速度成为接近矩形的形状的情况。但是,异常检测装置1所能够应用的结构并不依赖于指令的时间序列的波形而受到限定。例如,为了抑制与急加速相伴的振动的发生,关于执行施加对跃度设置上限的限制的控制的情况下的指令速度ds的加速度的波形,也能够应用本实施方式的异常检测装置1。另外,为了抑制机械装置2的振动,关于对指令实施了滤波处理等的结构,也能够应用本实施方式的异常检测装置1。

[0091] 另外,在图2的例示中,例示出将PLC 301所生成的向伺服电动机204的指令作为运转条件oc,但运转条件oc并不限定于向电动机20的指令。运转条件oc只要包含与机械装置2的运转相关的信息即可。另外,优选对与异常的发生的有无相关性小的量、且对状态信号ss或状态量sa作为干扰而施加影响的量进行选择而作为运转条件oc。

[0092] 条件信号cs所包含的信息,优选是难以成为在机械装置2中发生的异常的原因的信息。而且,条件信号cs所包含的信息,优选是有可能对状态信号ss作为干扰而施加影响的信息。优选构成条件信号生成部15,以使得生成上述条件信号cs。

[0093] 另外,优选在异常的发生为有的状态和异常的发生为无的状态下,运转条件oc的检测值或条件信号cs不大幅地变化。另外,即使在有异常的情况下的未知度un和无异常的情况下的未知度un之间产生了错误的情况下,也优选该差异是不会引起超过设置于未知度

un的阈值的变化这一程度的差异。

[0094] 异常判定部19将机械装置2是否处于未知的状况的判定结果对控制装置3进行输出。在取得了机械装置2处于未知的状况这一判定结果的情况下,指令生成部30输出将机械装置2变更为已知的状况的运转条件oc。而且,异常判定部19在基于未知度un的值,得到机械装置2处于已知的状况这一判定结果后,可以基于未知度un及异常度an进行异常检测。在这里,异常判定部19可以取代将判定结果,而是将未知度un输出至控制装置3,控制装置3判定机械装置2是处于未知的状况、还是处于已知的状况。

[0095] 在异常检测装置1中,设置对机械装置2是否处于未知的状况的判定结果jr进行显示的显示部,在处于未知的状况的情况下,作业者可以进行切换为将机械装置2变更为已知的状况的运转条件oc的操作。在这里,可以取代判定结果jr,而是将未知度un在显示部进行显示,作业者判定是否处于未知的状况。

[0096] 作为条件信号cs所包含的信息的例子,能够举出外部气体温度、与机械装置2相关的振动值、机械装置2所处理的工件的质量、在机械装置2的操作时向机械装置2的输入等。在这里,与机械装置2相关的振动值是与在与机械装置2的至少一部分接触时发生的振动相关的值。另外,可以将与机械装置2相关的振动值设为使机械装置2的至少一部分发生振动或激励振动所涉及的振动相关的值。作为上述例子,能够举出设置有机械装置2的地面、台架、周围的空气等。作为与振动相关的数值的例子,能够举出振动的振幅、频率及它们的组合。条件信号生成部15能够基于这些信息而生成条件信号cs。当然,可以将多个种类的信息组合而生成条件信号cs。

[0097] 对状态特征量生成部12及条件特征量生成部16的动作进行说明。图6、图7是表示本实施方式所涉及的连续的定位的指令速度ds和电动机转矩mt的时间波形的一个例子的图。在图6(a)、图7(a)中,示出了条件信号生成部15作为条件信号cs而输出的指令速度ds的时间波形。在图6(a)中,示出了从时刻0秒至时刻10秒为止的范围的时间波形,在图7(a)中,示出了从时刻10秒至时刻20秒为止的范围的时间波形。在图6(b)、图7(b)中,示出了状态信号生成部11作为状态信号ss而输出的电动机转矩mt的时间波形。在图6(b)中,示出了从时刻0秒至时刻10秒为止的范围的时间波形,在图7(b)中,示出了从时刻10秒至时刻20秒为止的范围的时间波形。

[0098] 图6(a)、图6(b)、图7(a)及图7(b)的横轴表示时间,单位为秒(s)。图6(a)的时间轴上的带有标号的位置和带有与该标号相同的标号的图6(b)的时间轴上的位置成为相同的时刻。图7(a)的时间轴上的带有标号的位置和带有与该标号相同的标号的图7(b)的时间轴上的位置成为相同的时刻。图6(a)及图7(a)的纵轴表示指令速度ds,单位为转速每分钟(r/min(round per minute))。图6(b)及图7(b)的纵轴表示电动机转矩mt,单位为牛顿米(Nm)。

[0099] 图5图示出1次定位,与此相对,在图6及图7中,图示出10次连续的定位。将该10次定位分别称为定位D1至定位D10。从定位D1至定位D10,指令的速度、加速时的加速度、减速时的加速度、移动距离等之中的至少一个彼此不同。例如,在定位D1处,最大速度为3200r/min,在定位D2处,最大速度为2200r/min。

[0100] 另外,在定位D2处,加速时的加速度大,减速时的加速度小于定位D1。另外,在定位D2处,加速时的加速度的绝对值小于定位D1,减速时的加速度的绝对值大于定位D1。另外,定位D3的伺服电动机204的移动的方向与定位D1不同,速度的方向成为负。另外,在定位D3

处,移动距离比定位D1、定位D2小,指令速度ds即运转条件oc的时间波形的形状成为三角形。如上所述,从定位D1至定位D10的指令速度ds的形状彼此不同。而且,指令生成部30所生成的运转条件oc在从定位D1至定位D10之间彼此不同。

[0101] 指令生成部30与机械装置2的动作的状况相应地生成运转条件oc。例如在机械装置2是输送装置的情况下,处于优选提高输送工序的效率的状况,因此指令生成部30优选生成以尽可能短的时间完成每次定位的运转条件oc。另外,在处于需要减少晃动、冲击等而输送工件的状况的情况下,指令生成部30对速度、加速度、跃度等设置上限,以速度、加速度、跃度等不超过该上限的方式生成运转条件oc。另外,例如在机械装置2是电子部件安装机,处于电子部件的设置位置频繁地变更的状况的情况下,指令生成部30生成移动距离、移动方向针对每个定位而不同的运转条件oc。

[0102] 状态特征量生成部12基于电动机转矩mt,生成状态特征量sc。将电动机转矩mt的一个例子在图6(b)及图7(b)示出。状态特征量生成部12优选在按照时间序列生成的多个状态特征量sc之间,以状态特征量sc的变量的数量成为相同的方式生成状态特征量sc。在这里,状态特征量sc的变量的数量例如可以是状态特征量sc各自所具有的可变参数、参数的数量等。该多个参数在多个状态特征量sc之间能够取彼此不同的值。通过对多个状态特征量sc进行比较,从而对机械装置2的状态的变化进行检测,因此在状态特征量sc之间变量的数量相同的情况能够更容易地高精度进行比较。生成的状态特征量sc输入至初始状态学习部13及异常度计算部14,基于状态特征量sc,通过初始状态学习部13执行学习。而且,通过异常度计算部14执行异常度an的计算。

[0103] 例如状态特征量生成部12将在相等的时间间隔的N的时间点取得从时刻ts1至时刻te1为止之间的电动机转矩mt的时间序列信号设为1组状态特征量sc1。此时的电动机转矩mt的采样数即状态特征量sc的变量的数量成为N。将从时刻ts1至时刻te1为止之间称为处理时间。例示出具体的数值。例如在采样周期为1毫秒(ms)、时刻te1为1501ms、时刻ts1为1700ms的情况下,状态特征量sc成为变量的数量N=100的矢量。在这里举出的状态特征量sc1只不过是一个例子,本实施方式并不限定于如上所述的方式。采样周期、处理的开始时间ts1、处理的结束时间te1等能够适当地变更。例如可以将N设为大的值,跨越多个定位而生成1组状态特征量sc。另外,状态量sa、状态特征量sc、运转条件oc、条件特征量cc等时间序列的信号并不限定于相等的时间间隔的信号。例如可以仅在需要取得大量数据的部分处,将时间序列信号的时间间隔设定得短。

[0104] 状态特征量生成部12一边变更设为对象的时间、一边依次生成状态特征量sc。将从图6的时刻ts2至时刻te2为止的电动机转矩mt设为第2组状态特征量sc2。此时,为了使状态特征量sc的变量的数量与N一致,可以是从成为处理的开始时刻和结束时刻之间的间隔的从时刻te2减去时刻ts2而得到的值(te2-ts2)、和从时刻te1减去时刻ts1而得到的值(te1-ts1)成为相同的值。

[0105] 同样地,状态特征量生成部12根据在图6所示的定位D3的实施中取得的电动机转矩mt而生成状态特征量sc3。另外,根据在定位D4的实施中取得的电动机转矩mt而生成状态特征量sc4。另外,根据在图7所示的定位D8的实施中取得的电动机转矩mt而生成状态特征量sc8。

[0106] 在图6、图7的例示中,根据状态特征量sc1而生成状态特征量sc8的多个处理时间

彼此不重复,但本实施方式并不限定于生成状态特征量sc的时间彼此不重复的情况。例如时刻ts1和时刻ts2之间的关系可以是先、后、同时的任意者,能够自由地选择。

[0107] 如上所述,多个处理时间可以彼此重复。例如可以将执行采样的时间、即处理时间视作一个窗(窗口),将该处理时间的开始时刻以通过等间隔执行的采样的时间间隔即采样时间将窗错开而进行采样,设为状态特征量sc。例如在将采样时间设为1毫秒,将成为一个窗的采样数的状态特征量sc的变量的数量N设为100的情况下,计算出的状态特征量sc成为采样数之中的99%重复、1%不同的情况。如上所述,将通过将规定的采样数依次错开的窗而实施采样的方法称为滑动窗口法。可以采用该滑动窗口法。

[0108] 在图6、图7的例示中,将按照时间序列得到的状态信号ss以预先确定的采样数采样而作为1组状态特征量sc进行输出。例示出与图6、图7的例示不同的状态特征量sc的生成方法。例如根据时间序列的条件信号cs,计算多个统计量而设为1组状态特征量sc或条件特征量cc。可以将针对作为状态量sa而检测出的时间序列信号应用统计性的算法而得到的数值作为统计量。另外,也可以是从一定数量的标本数据概括其特征而得到的值。在这里,关于统计性的算法、概况的方法,存在多个方法。作为统计量的例子,能够举出平均、标准偏差、分散、均方根、最大值、最小值、峰值、波高率、峰度、偏度等。

[0109] 另外,也可以针对时间序列的信号而实施频率解析,设为状态特征量sc或条件特征量cc。例如也可以对通过频率解析得到的特定的频率的增益、特定的频率的相位等进行测量而设为状态特征量sc或条件特征量cc。在状态特征量sc或条件特征量cc的计算时进行如统计量的计算、频率解析这样的处理的情况下,特征量的计算所使用的信号的处理时间之间的采样数无需一定设为相同。另一方面,所计算的状态特征量sc或条件特征量cc的变量的数量优选设为相同。

[0110] 状态特征量生成部12将按照时间序列得到的状态信号ss以预先确定的采样数进行排列而作为1组状态特征量sc进行输出。在如上所述的情况下,状态特征量sc1、状态特征量sc2、状态特征量sc3、状态特征量sc4、状态特征量sc8与各自的运转条件oc相应地,包含与机械装置2的状态相关的信息,成为由多个变量构成的矢量。

[0111] 例如在状态特征量sc1和状态特征量sc2中,伺服电动机204的速度不同。另外,状态特征量sc3包含伺服电动机204的速度不恒定、伺服电动机204加速的时间。另外,定位D4包含有伺服电动机204加速的时间、速度恒定的时间、减速的时间,状态特征量sc4关于加速的时间进行采样。另外,状态特征量sc8的伺服电动机204的移动距离微小,最大速度也小。

[0112] 如上所述,在各种运转条件oc下被应用的机械装置2中,难以预先关于全部运转条件oc的组合而实施学习。也能够采用在以预先指定出的速度的范围所包含的速度使伺服电动机204动作的时间,或以预先确定的加速度的范围所包含的加速度使伺服电动机204动作的时间中提取数据的方法。在该方法中,能够取得稳定的数据,但存在取出信号的处理繁琐这一课题。另外,根据运转条件oc,有可能发生无法检测异常的情况。

[0113] 而且,据本发明人所知,如上所述对作为按照时间序列取得的许多变量而被测量的检测对象的运转状况、和作为按照时间序列取得的许多变量而被测量的学习时的运转状况之间的乖离的程度定量地评价的方法不存在。另外,难以对前述的2个状况之间的乖离定量地进行评价这一课题也没有被意识到。在这里,在图6、图7的例示中,成为检测对象的运转状况被表现为时间序列的检测用条件信号dcs。另外,初始学习时间的运转状况被表现为

初始学习用条件信号lcs。

[0114] 条件特征量生成部16基于初始学习用条件信号lcs而生成初始学习用条件特征量lcc。另外,基于检测用条件信号dcs而生成检测用条件特征量dcc。在图6的例子中,将图6(a)、图7(a)所示的指令速度ds设为条件信号cs。而且,条件特征量生成部16将多个处理时间各自所包含的指令速度ds设为检测用条件特征量dcc。

[0115] 条件特征量生成部16将从执行定位D1的时刻ts1至时刻te1为止之间的1组指令速度ds的时间序列信号设为条件特征量cc1。另外,将从执行定位D2的时刻ts2至时刻te2为止之间的1组指令速度ds设为条件特征量cc2。另外,将从执行定位D3的时刻ts3至时刻te3为止之间的1组指令速度ds设为条件特征量cc3。另外,将从执行定位D4的时刻ts4至时刻te4为止之间的1组指令速度ds设为条件特征量cc4(在图6中显示为条件特征量cc4)。另外,将从执行定位D8的时刻ts8至时刻te8为止之间的1组指令速度ds设为条件特征量cc8。在这里,条件特征量cc1、条件特征量cc2、条件特征量cc3、条件特征量cc4、条件特征量cc8各自可以作为检测用条件特征量dcc,也可以作为初始学习用条件特征量lcc。

[0116] 如以上说明所述,由条件特征量生成部16生成的检测用条件特征量dcc1、检测用条件特征量dcc2、检测用条件特征量dcc3、检测用条件特征量dcc4及检测用条件特征量dcc8,各自与检测用状态特征量dsc1、检测用状态特征量dsc2、检测用状态特征量dsc3、检测用状态特征量dsc4及检测用状态特征量dsc8依次对应。在这里,检测用条件特征量dcc和检测用状态特征量dsc对应,是指各自的生成所使用的状态信号ss和运转条件oc在相同的处理时间的期间被检测到。

[0117] 此外,在图6及图7的例示中,为了容易理解,将指令速度ds和电动机转矩mt的采样频率设为相同。另外,将一组状态特征量sc的变量的数量和一组条件特征量cc的变量的数量设为相同。但是,本实施方式并不限定于如上所述的方式。例如条件信号cs的采样频率和状态信号ss的采样频率可以不同。另外,例如一组状态特征量sc的变量的数量和一组条件特征量cc的变量的数量可以彼此不同。此外,如果构成为对应的检测用状态特征量dsc和检测用条件特征量dcc各自的计算所使用的检测用状态信号dss和检测用条件信号dcs在相同的处理时间的期间被取得,则能够基于在相同的处理时间取得的数据,对异常度an及未知度un进行计算,因此能够更准确地进行异常检测。

[0118] 另外,条件特征量生成部16生成条件特征量cc的方法和状态特征量生成部12生成状态特征量sc的方法可以相同,也可以不同。例如,关于条件特征量cc的生成方法,可以使用统计量的计算,作为状态特征量sc的生成方法而使用频率解析。

[0119] 初始状态学习部13基于初始学习用状态特征量lsc而执行学习,将学习的结果作为初始状态学习结果slr进行输出。另外,初始条件学习部17基于初始学习用条件特征量lcc而执行学习,将学习的结果作为初始条件学习结果clr进行输出。图8是表示本实施方式所涉及的自动编码器(Autoencoder)的一个例子的图。

[0120] 自动编码器是神经网络模型的一种,在图8中例示的自动编码器具有由节点X1至X3构成的输入层、由节点Y1和Y2构成的中间层、由节点Z1至Z3构成的输出层。图8的自动编码器的节点分别在将权重W11至W26作为参数所赋予的多个边缘处结合。根据图8的自动编码器,基于输入至输入层的值,对经由边缘连接的下一层的节点传递通过在边缘所设定的函数而计算出的值,最终从输出层得到结果。

[0121] 即,神经网络作为整体而构成了一个复杂的函数。自动编码器是无教师学习器的一种,以输入至输入层的数据和从输出层输出的数据接近的方式对各参数(权重)进行学习。输入的数据准备多个,针对任意的数据对作为权重的参数进行调整,以使得输入和输出之间的误差变小,由此网络不断对输入的信号的特性进行学习。

[0122] 在图8的例示中,为了容易理解,将输入层的节点数设为3,将输出层的节点数设为3,但输入输出的节点数无需与设为对象的输入的变量的数量N(例如在图6的例示中为N=100)相匹配,输入输出的节点数例如在图6、7的例示中,可以分别为100。另外,为了进行说明,在图8的例示中,将中间层的节点数设为2,将中间层的总数设为1,但中间层的节点数及层数并不限定于此。

[0123] 初始状态学习部13以如果对网络输入了作为初始学习用状态特征量lsc的状态特征量sc1,则作为输出而得到状态特征量sc1的推定值即sc1'的方式对神经网络进行学习。而且,将学习后的神经网络模型作为初始状态学习结果slr进行输出。初始状态学习结果slr只要能够确定模型即可,例如可以是模型的参数、模型的构造等。初始条件学习部17以如果对网络输入了作为初始学习用条件特征量lcc的条件特征量cc1,则作为输出而得到条件特征量cc1的推定值即cc1'的方式对神经网络进行学习。将学习后的神经网络模型作为初始条件学习结果clr进行输出。初始条件学习结果clr只要能够确定模型即可,例如可以是模型的参数、模型的构造等。

[0124] 在图8中,作为初始状态学习部13、初始条件学习部17的例示,对使用自动编码器的结构进行了说明,但本实施方式并不限定于该结构。作为与自动编码器不同的初始状态学习部13、初始条件学习部17的结构的例子,能够举出自组织映射(Self-organizing map,SOM)、MT法(Mahalanobis Taguchi Method)、主成分分析(principal component analysis,PCA)、1类支持向量机(One class support vector machine,OCSVM)、k近邻法(k Nearest Neighbors method)、孤立森林(Isolation Forest)等。在与上述例示出的方法不同的方法中,如果是预先对输入的特征量进行学习,能够对在学习后得到的特征量的特性和训练好的特征量的特性以何种程度乖离进行评价的学习的方法,则也能够作为初始状态学习部13或初始条件学习部17的学习方法使用。

[0125] 在图8的例示中,设为初始状态学习部13和初始条件学习部17具有相同的构造而进行了说明。初始状态学习部13和初始条件学习部17的构造无需一定相同,也可以将不同的学习方法组合。但是,在状态特征量sc和条件特征量cc保持相同的复杂性的情况下,优选初始状态学习部13和初始条件学习部17由具有相同程度的说明能力的学习方法构成。例如优选将初始状态学习部13和初始条件学习部17的神经网络的节点数、边缘数设为相同。另外,优选将初始状态学习部13和初始条件学习部17的输入数据的数量设为相同。

[0126] 对异常度计算部14和未知度计算部18的动作进行说明。异常度计算部14基于初始状态学习结果slr和检测用状态信号dss对异常度an进行计算。可以将异常度an设为初始学习用状态信号lss和检测用状态信号dss的乖离的程度。例如,异常度计算部14对使用初始状态学习结果slr而构成的模型输入检测用状态特征量dsc。而且,可以对初始学习用状态特征量lsc和检测用状态特征量dsc的乖离的程度进行计算,将该乖离的程度、表示乖离的程度的信息等作为异常度an。

[0127] 如图8的例示所示,在学习使用自动编码器的情况下,例如可以将输入至自动编码

器的状态特征量sc和从自动编码器输出的状态特征量sc的推定值之差作为异常度an。状态特征量sc和状态特征量sc的推定值都是矢量,因此两者的差也成为矢量。在图8的例示中,对异常度an进行评价而作为标量值,因此将两者的差即残差矢量的平方和的平方根设为异常度an。

[0128] 作为使用了自动编码器的异常度an的计算方法,还存在下述方法,即,不将如前所述的输入和输出之差,而是将学习时的中间层的值和评价时的中间层的值之差设为异常度an。在中间层的节点为一个的情况下,可以对学习时的中间层的平均值和推断时(检测时)的中间层的值之差进行计算,将差的大小作为异常度an。在中间层存在多个节点的情况下,与对前述的输入输出之差进行计算的情况同样地,将从各自的推断时的中间层的值减去学习时的中间层的平均值而得到的残差矢量的平方和的平方根设为异常度an。

[0129] 在学习方法中,在使用自组织映射的情况下,可以将量子化误差(minimum quantization error,MQE)作为异常度an使用。在使用主要成分分析的情况下,可以将T2统计量、Q统计量作为异常度an使用。在使用1类支持向量机的情况下,可以将映射后的空间上的从原点起的距离作为异常度an使用。在使用k近邻法的情况下,可以将希望评价的特征量和从希望评价的特征量起的距离近的k个训练好的特征量之间的距离作为异常度an。

[0130] 未知度计算部18基于初始条件学习结果clr和检测用条件信号dcs,对初始学习用条件信号lcs和检测用条件信号dcs的乖离的程度即未知度un进行计算。例如未知度计算部18使用初始条件学习结果clr而构成模型。而且,针对构成的模型输入检测用条件特征量dcc,对从构成的模型的输出和检测用条件特征量dcc的乖离的程度进行计算。可以将该乖离的程度作为未知度un。

[0131] 如图8的例示所示,在将自动编码器用于学习的情况下,可以将输入的检测用条件特征量dcc和从模型输出的推定值之差作为未知度un。检测用条件特征量dcc和从模型输出的检测用条件特征量dcc的推定值都是矢量,因此矢量之差也成为矢量。因此,对未知度un进行评价而作为标量值,因此可以将矢量之差即残差矢量的平方和的平方根作为未知度un。

[0132] 图9是表示从本实施方式所涉及的异常检测装置1省略异常判定部19后的结构的一个例子的图。将从异常检测装置1的结构省略异常判定部19后的结构称为异常检测装置1p。在图9中,对与图1相同的结构要素、信号标注同一标号。

[0133] 异常检测装置1p从图1所示的异常检测装置1的结构省略了条件信号生成部15、条件特征量生成部16、初始条件学习部17及未知度计算部18这4个结构要素。另外,在异常检测装置1p中,取代图1所示的异常检测装置1的异常判定部19,具有异常判定部19a。对异常判定部19a和异常判定部19的差异点进行说明。异常判定部19基于异常度an及未知度un执行判定。另一方面,异常判定部19a不使用未知度un,而是基于异常度an执行判定。

[0134] 异常检测装置1p关于除了上述以外的点,与异常检测装置1相同。图10是表示从本实施方式所涉及的异常检测装置1省略异常判定部19后的结构所生成的异常度an及判定结果jr的时间变化的一个例子。换言之,图10是异常检测装置1p所生成的异常度an及判定结果jr的时间变化的一个例子。图11是从本实施方式所涉及的异常检测装置1省略异常判定部19后的结构所生成的异常度an、未知度un及判定结果jr的时间变化的与图10不同的另一个例子。换言之,图11是异常检测装置1p所生成的异常度an及判定结果jr的时间变化的一

个例子。

[0135] 而且,关于图10、图11的判定结果jr,由异常检测装置1p的异常判定部19a输出了判定结果jr。另一方面,后面记述的图12是异常检测装置1的异常判定部19使用未知度un进行异常判定的动作。对两者进行比较,对使用未知度un的效果进行说明。

[0136] 图10、图11的横轴表示时间,单位为时间(hr)。图10(a)及图11(a)是异常度an的时间变化。图10(a)及图11(a)的纵轴表示异常度an。图10(b)及图11(b)是判定结果jr的时间变化。图10(b)及图11(b)的纵轴表示判定结果jr。在图10(a)和图10(b)中,时间轴上的带有相同标号的2个位置表示相同的时刻。另外,在图11(a)和图11(b)中,时间轴上的带有相同标号的2个位置表示相同的时刻。

[0137] 图10的例示是以每1个小时为单位对从开始异常检测装置1p的运转起ta1的时间经过的时刻即时刻ta1至时刻tg1为止的异常度an的值进行了绘制。在从开始异常检测装置1p的运转起至时刻ta1为止之间,机械装置2的初始状态学习的完成结束。在从时刻ta1至时刻td1为止之间,异常度an虽然包含一定量的波动,但全部绘制于0至1之间,大致示出了时间变化小的特性。另外,在从时刻td1至时刻tg1为止之间,异常度an随着运转时间的经过而逐渐地增加。这反映出在时刻td1以后,机械装置2逐渐地劣化。异常度an在时刻te1初次超过1,在时刻tf1以后,异常度an全部超过1。

[0138] 在图10(a)的例示中,将异常判定部19a对判定结果jr进行计算时所使用的异常度an的阈值THF1设为1。异常判定部19a在异常度an的值超过阈值THF1的情况下,判定为异常。而且,在异常度an的值与阈值THF1相同或低于阈值THF1的情况下,判定为正常。

[0139] 并且,在图10(a)中,将机械装置2的真的异常度TRUE1通过粗线的实线进行图示。真的异常度TRUE1是基于将干扰的影响完全地排除后的状态量sa的异常度an,是用于使说明容易理解的假想的异常度an。在各时间点,是将干扰的影响完全地排除而取得检测用的状态量sa,并且基于该状态量sa,在计算出检测用状态特征量dsc及异常度an的情况下得到的异常度an。作为干扰的例子,例如在初始状态学习时和检测时,能够举出对机械装置2的运转条件oc进行了变更等。在该情况下,将运转条件oc恢复为初始状态学习时,对检测用的状态量sa进行测量,由此能够排除干扰。在现实中,在难以排除干扰或无法排除干扰的情况下,在这里,将在假定为能够排除干扰而计算真的异常度的情况下计算的异常度an称为真的异常度TRUE1。此外,真的异常度TRUE1与异常检测装置1p所推定出的异常度an不同。另外,真的异常度TRUE1不受运转条件oc等的干扰影响。一般性的异常检测装置的理想的动作,可以说以对该真的异常度TRUE1进行推定而检测异常为目的。换言之,在异常度an正确地表示机械装置2的状态的情况下,异常度an成为与真的异常度TRUE1相同的值。对真的异常度TRUE1进行检测是理想情况,但实际的异常检测装置会受到干扰的影响,因此经常无法对真的异常度TRUE1进行检测。在图10中,为了容易理解而绘制出真的异常度TRUE1,无需一定对真的异常度TRUE1进行计算。

[0140] 在图10(b)中,以每1个小时为单位对通过异常检测装置1p得到的判定结果jr的时间变化进行了绘制。在机械装置2正常的情况下,将判定结果jr设为0,在机械装置2异常的情况下,将判定结果jr设为1。关于通过异常判定部19a得到的判定结果jr的输出方式,并不限定于如上所述的方式。判定结果jr的输出方式也可以能够根据判定结果jr对正常、异常的类别进行判别。另外,也可以能够知晓异常的程度。

[0141] 另外,在判定结果jr的输出方式中,不仅是包含判定结果jr的信息在内的信号的输出、判定结果jr向作业者的显示(包含不显示的情况)、警报的发出(例如警笛等声音、红灯等)、警报的停止(包含没有输出警报的情况)等,还包含机械装置2的停止、机械装置2的运转速度的减少、与机械装置2连接的装置的停止、机械装置2的维护装置的发动指示等。

[0142] 在图10(b)的例示中,从时刻ta1至时刻te1为止的判定结果jr成为表示正常的值即正常值。即,判定结果jr的值成为0。而且,判定结果jr在时刻te1,至少一次从正常值向异常值变化。从时刻te1至时刻tf1为止的判定结果jr由于异常度an的波动而混合有正常值和异常值。

[0143] 根据图10(a),机械装置2在时刻td1开始劣化,在时刻td1以后,劣化逐渐地加剧。时刻td1以后的判定结果jr为异常值不对应于误检测(将正常状态判定为异常)。以上,如说明所述,在机械装置2处于图10所示的状况的情况下,能够通过异常检测装置1p,不发生误检测地实施异常检测。即,如果机械装置2处于图10所示的状况,则在异常检测中即使不利用未知度un,也不会发生误检测。另外,异常检测装置1p能够输出与真的异常度TRUE1接近的异常度an。

[0144] 对图11进行说明。如前述所述,图11是通过异常检测装置1p检测出的结果的一个例子。而且,图11所示的时间段和图10所示的时间段彼此不同。在图11的例示中,在时刻td1',机械装置2的劣化开始,在时刻td1'以后,机械装置2逐渐地劣化。而且,在从时刻tb1'至时刻tc1'为止之间,电动机20的速度变更为与初始状态学习时的电动机20的速度不同的值。而且,除了从时刻tb1'至时刻tc1'为止之间,在从时刻ta1'至时刻tg1'为止之间的时间设为电动机的速度与学习时的电动机的速度相同。

[0145] 图11(a)示出了异常度an的时间变化。图11(b)示出了判定结果jr的时间变化。图11(a)及图11(b)的横轴表示时间,单位为时间(hr)。在图11(a)的时间轴和图11(b)的时间轴中,同一标号所示的时刻是相同的时刻。另外,在图11的例子中,示出了开始异常检测装置1p的运转,从ta1'的时间经过的时刻即时刻ta1'至时刻tg1'为止的数据。而且,对在时刻ta1'之前,初始状态学习部13的初始状态学习完成的情况进行说明。

[0146] 在图11(a)中,纵轴表示异常度an,以每1个小时为单位绘制出异常度an的数据点。在从时刻ta1'至时刻tb1'为止之间和从时刻tc1'至时刻td1'为止之间,异常度an虽然包含一定量的波动,但全部绘制于0至1的范围,大概示出了时间变化小的特性。

[0147] 另外,在从时刻td1'至时刻tg1'为止之间,示出了异常度an虽然包含一定量的波动,但随着运转时间的经过而逐渐地增加的特性。对图10(a)和图11(a)的差异进行说明。在图11(a)中,在从时刻tb1'至时刻tc1'为止之间,异常度an超过1。另一方面,在图10(a)中,在从时刻ta1至时刻td1为止之间,异常度an维持为低于1的值。图11(a)的从时刻tb1'至时刻tc1'为止之间的异常度an的增加不是由机械装置2中的劣化引起的。该异常度an的增加是由从时刻tb1'至时刻tc1'为止之间的运转条件变更为初始学习时,即,运转条件oc被变更而引起的。

[0148] 如图11(a)所示,将与异常度an有关的阈值THF1'设为1。而且,阈值THF1'根据机械装置2正常的情况下的异常度an的分布而决定。并且,在图11(a)中,将机械装置2的真的异常度TRUE1'通过粗的实线表示。与图11的真的异常度TRUE1'有关的说明,由于与在图10的说明中记载的与真的异常度TRUE1有关的说明相同,因此省略。

[0149] 另外,图11(b)在纵轴绘制出判定结果jr。图11(b)的判定结果jr是将以每1个小时为单位所取得的数据点之间通过线连结而示出的。在图11(b)中,作为判定结果jr的方式的一个例子,在机械装置2正常的情况下,将判定结果jr的值绘制为0,在机械装置2异常的情况下,将判定结果jr的值绘制为1。

[0150] 异常判定部19a将图10(a)的异常度an和阈值THF1'进行比较,在异常度an小于或等于阈值THF1'的情况下,将机械装置2的状态判定为正常,将判定结果jr设为0。另一方面,在异常度an超过阈值THF1'的情况下,将机械装置2的状态视作异常,将判定结果jr设为1。在这里,异常度an小于或等于阈值THF1'是指异常度an的值低于阈值THF1',或异常度an的值与阈值THF1'相同。

[0151] 如图11(b)所示,异常判定部19a关于从时刻ta1'至时刻tb1'为止之间和从时刻tc1'至时刻te1'为止之间的2个时间段,作为判定结果jr,作为表示正常的值而输出0。而且,在从时刻tb1'至时刻tc1'为止之间,由于异常度an超过1,因此异常判定部19a作为判定结果jr而将表示异常的值1进行输出。

[0152] 对图10、图11进行对比,如说明所述,在图10的例示中,检测时的运转条件oc维持为与初始学习时相同。另一方面,在图11的例示中,在检测时间的一部分时间段,运转条件oc变更为初始状态学习时。而且,在图10的例示中,在异常检测装置1p的检测结果中没有发生误检测。另一方面,在图11的例示中,由于上述运转条件oc的从初始学习时的变更,在异常检测装置1p的检测结果中发生了误检测。在这里,将在机械装置2正常的情况下机械装置2输出异常这一判定结果的这一事件称为误检测。

[0153] 根据图10、图11的对比,在运转条件oc在初始状态学习时和检测时的不同的时间段包含于检测时间的情况下,在不利用未知度un而输出判定结果jr的异常检测装置1p中有可能发生误检测。

[0154] 使用图12,对本实施方式的异常检测装置1的异常判定部19的动作进行说明。图12是表示本实施方式所涉及的异常检测装置1所生成的异常度an、未知度un及判定结果jr的时间变化的图。在图12中,示出了在时刻td1"以后,机械装置2逐渐地劣化的情况下的时间变化。另外,在从图12的时刻tb1"至时刻tc1"为止之间,电动机20的速度变更为与初始学习时不同的设定。而且,在从图12的时刻ta1"至时刻tb1"为止之间、及从时刻tc1"至时刻tg1"为止之间,电动机20的速度成为与初始学习时相同的设定。

[0155] 图12(a)示出了异常度an的时间变化。图12(b)示出了未知度un的时间变化。图12(c)示出了判定结果jr的时间变化。图12(a)、图12(b)及图12(c)的横轴表示时间,单位为时间(hr)。图12(a)、图12(b)、图12(c)的时间轴上的时刻之中的带有相同标号的时刻表示相同的时刻。在图12的例示中,示出了从开始异常检测装置1的运转起经过ta1"的时间后的时刻即时刻ta1"至时刻tg1"为止的数据。此外,设为在时刻ta1"之前与机械装置2有关的初始学习、即初始状态学习及初始条件学习完成。

[0156] 图12(a)的异常度an以每1个小时为单位绘制出数据点。在图12(a)的从时刻ta1"至时刻tb1"为止之间和从时刻tc1"至时刻td1"为止之间,异常度an的值虽然包含一定量的波动,但全部处于0至1之间的范围,值的变化小。另外,异常度an在从时刻td1"至时刻tg1"为止之间,随着时间的经过而逐渐地增加。

[0157] 另外,在图12(a)中,在从时刻tb1"至时刻tc1"为止之间,异常度an超过1。该时间

段的异常度an的增大与对图11(a)的从时刻tb1’至时刻tc1’之间的异常度an进行说明的内容相同。即,图12(a)的从时刻tb1”至时刻tc1”为止之间的异常度an的增大,不是由在机械装置2中发生了劣化引起的异常度an的增加,而是由运转的条件、换言之由运转条件oc的变更引起的。即,与图11的从时刻tb1’至时刻tc1’之间同样地,是由在图12的从时刻tb1”至时刻tc1”之间,电动机20的速度相对于初始学习时发生了变更而引起的。

[0158] 在图12中,在从时刻tb1”至时刻tc1”为止之间,机械装置2的劣化没有发生。如上所述,尽管不是异常的状态,但在从时刻tb1”至时刻tc1”为止之间取得的状态特征量sc的特性,与初始状态学习时的状态特征量sc的特性不同。由于该状态特征量sc的从初始学习时的变化,图11(a)所示的异常度an成为超过THF1”的大的值。

[0159] 另外,图12的异常度an在时刻te1”成为超过1的值,在时刻tf1”之后的时刻,异常度an全部超过1。如图12(a)所示,将与异常度有关的阈值THF1”设为1。此外,阈值THF1”可以根据机械装置2正常时的异常度an的分布等而决定。并且,在图12(a)中,与异常检测装置1所输出的异常度an不同,将不会被运转条件oc等的干扰影响的机械装置2的真的异常度TRUE1”通过粗线的实线表示。与真的异常度TRUE1”有关的说明和与图10的真的异常度TRUE1有关的说明相同。

[0160] 图12(b)的纵轴是由未知度计算部18计算出的未知度un。在图12(b)中,在从时刻ta1”至时刻tb1”为止之间、及从时刻tc1”至时刻tg1”为止之间,未知度un全部绘制于0至1之间。另一方面,在从时刻tb1”至时刻tc1”为止之间,未知度un全部绘制于1至2之间。如图12(b)所示,将与未知度un有关的阈值THU1”设为1。

[0161] 阈值THU1”可以根据实施初始条件学习时的未知度un的分布等而决定。可以根据实施初始条件学习时的未知度un的分布而决定阈值THU1”,由此能够根据未知度un而判定异常度an是否准确地表示机械装置2的状态。例如异常判定部19在检测时间中计算出的未知度un和初始条件学习时的未知度un的分布之间的乖离大的情况下,可以根据未知度un而判断为异常度an没有准确地表示机械装置2的状态。另外,例如异常判定部19在计算出的未知度un和初始条件学习时的未知度un的分布之间的乖离小的情况下,可以根据未知度un而判断为异常度an准确地表示机械装置2的状态。

[0162] 另外,图12(c)的纵轴表示由异常判定部19判定出的机械装置2的异常有无的判定结果jr。判定结果jr在图12(c)的例示中,是将以每1个小时为单位而计算的数据点通过线连结而绘制出的。作为判定结果jr的输出方式的一个例子,在机械装置2的状态正常的情况下,将判定结果jr设为0,在机械装置2的状态异常的情况下,将判定结果jr设为1。本实施方式的判定结果jr的输出方式并不限定于如上所述的方式。

[0163] 异常判定部19将图12(a)所示的异常度an和阈值THF1”进行比较。另外,将图11(b)所示的未知度un和阈值THU1”进行比较。而且,异常判定部19在异常度an超过阈值THF1”、且未知度un小于或等于阈值THU1”的情况下,将机械装置2的状态视作异常,将判定结果jr设为1。

[0164] 在上述以外的情况下,将机械装置2的状态视作正常,将判定结果jr设为0。在这里,上述以外的情况是以下所记载的第1情况或第2情况的至少任一者。第1情况是异常度an小于或等于阈值THF1”的情况。第2状态是未知度un超过阈值THU1”的情况。

[0165] 异常判定部19在输出判定结果jr时,利用未知度un。如图12(c)所示,异常判定部

19在从时刻ta1”至时刻te1”为止之间,作为判定结果jr而输出表示正常的值0。而且,在异常检测装置1中没有发生误检测。另一方面,在图11中说明的异常判定部19a没有利用未知度un。而且,异常判定部19a如图11(b)所示,在从时刻tb1’至时刻tc1’为止之间,作为判定结果jr而生成表示异常的值1。而且,在异常检测装置1a中发生了误检测。如上所述,根据将图12和图11对比的说明,本实施方式的异常检测装置1通过利用未知度un,从而能够执行误检测少的异常检测。

[0166] 此外,如上述所示,可以取代对异常度an和未知度un各自设定阈值的异常判定部19的结构,而是使用实施将异常度an除以未知度un的处理而得到的值(将异常度an除以未知度un而得到的值。即,an/un)等,将运转条件oc的差异反映于判定结果jr的输出,由此构成不易发生误检测的异常检测装置1。例如针对将异常度an除以未知度un而得到的值设置阈值。而且,在该值超过阈值的情况下,判定为异常。另外,在将异常度an除以未知度un而得到的值小于或等于阈值的情况下,判定为正常。

[0167] 图13是表示本实施方式所涉及的异常判定部19的动作流程的一个例子的图。在步骤S101中,异常判定部19取得由异常度计算部14计算出的异常度an、和由未知度计算部18计算出的未知度un的组。一组异常度an和未知度un优选相对应。换言之,异常度an和未知度un优选基于在相同的检测时间之间取得的信息。即,异常度an的生成所使用的检测用状态信号dss和未知度un的生成所使用的检测用条件信号dcs,优选在相同的检测时间被取得。另外,例如在将运转电动机20时的指令速度ds作为检测用条件信号dcs而计算出未知度un的情况下,将通过该指令速度ds使电动机20运转时的转矩作为检测用状态信号dss而决定异常度an。如上所述,优选异常度an和未知度un相对应。

[0168] 未知度un的生成所使用的检测用条件信号dcs和异常度an的生成所使用的检测用状态信号dss相对应,由此能够高精度地执行异常检测。另外,能够执行误检测、遗漏等发生少的异常检测。

[0169] 接下来,在步骤S102中,异常判定部19在异常度an超过阈值THF1”、且未知度un小于或等于阈值THU1”的情况下,向步骤S103进入。在其以外的情况下,进入至步骤S104。在这里,未知度un小于或等于阈值THU1”的情况是未知度un与阈值THU1”相同的情况或未知度un小于阈值THU1”的情况的任一者。步骤S102成为异常判定部19实施是异常或正常的判定的步骤。

[0170] 在步骤S103中,异常判定部19将表示在机械装置2中发生了异常的判定结果作为判定结果jr进行输出。在步骤S104中,异常判定部19将表示机械装置2正常的判定结果作为判定结果jr进行输出。步骤S103、步骤S104可以包含根据需要,通过接口等将判定结果jr通知给用户的动作。以上是图12的动作流程的说明。

[0171] 图14是表示本实施方式所涉及的机械系统100x的结构的一个例子的框图。使用图14例示出本实施方式的变化。下面,主要对与异常检测装置1的差异点进行说明。机械系统100x具有异常检测装置1x。异常检测装置1x与异常检测装置1的不同点在于,在从多个机械装置2-1进行机械装置2-n的监视时,将学习模型通用化。在多个机械装置2-1至机械装置2-n具有大致同等的特性的情况下,使用本实施方式的图14进行说明的异常检测装置1x的效果被更大地发挥。

[0172] 作为上述同等的特性的例子,例如能够举出机械装置2-1至机械装置2-n以相同的

规格被制造,通过不同的运转条件oc进行运转的情况。另外,作为其他例子,能够举出下述情况,即,对机械装置2-1至机械装置2-n进行驱动的电动机是共通的,专门对由电动机的动作引起的异常进行检测,运转条件oc、状态量sa与电动机或电动机的驱动对象相关。异常检测装置1x取得来自机械装置2-k(k为1至n的整数)的状态信号ss-k。另外,取得来自控制装置3-k的运转条件oc-k。

[0173] 初始状态学习部13x基于初始学习用状态特征量1sc-1而输出初始状态学习结果slr-1。而且,异常度计算部14x基于初始状态学习结果slr-1及检测用状态特征量dsc-k,对与机械装置2-k有关的异常度an-k进行输出。

[0174] 另外,初始条件学习部17x基于初始学习用条件特征量1cc-1而输出初始条件学习结果clr-1。而且,未知度计算部18x基于初始条件学习结果clr-1及检测用条件特征量dcc-k,对与机械装置2-k有关的未知度un-k进行输出。

[0175] 异常判定部19基于异常度an-k及未知度un-k,对与机械装置2-k有关的判定结果jr-k进行输出。异常检测装置1x将从k=1至n为止的机械装置2-k的学习模型通用化,因此与关于从k=1至n为止的机械装置2-k分别准备出计算模型的情况相比,能够减小计算负荷。另外,能够将初始状态学习时的数据并行地准备多个。以上是与图14所示的本实施方式的变化有关的说明。

[0176] 对图1所示的本实施方式的异常检测装置1的变化进行说明。在图13的流程图中,分别关于异常度an和未知度un,各设置1个阈值。可以对异常度an及未知度un的值设置多个阈值而将其分隔为多个范围,基于包含异常度an的范围和包含未知度un的范围的组合,判定是异常还是正常。

[0177] 另外,在图13的流程图中,将异常和正常这2种的任一者作为判定结果jr进行输出,但异常判定部19也可以构成为与异常度an和未知度un相应地,对大于或等于3种判定结果jr进行输出。例如可以构成为决定重度的异常、轻度的异常、轻度的进一步需要观察的正常、不需要观察的正常这4个阶段的判定结果jr。而且,此时,可以构成为对上述异常度an或未知度un设置多个阈值。另外,在图13的流程图中,使用1组异常度an和未知度un而执行异常的检测,但也可以对异常度an和未知度un的组计算多组,关于各组,将是异常状态或是正常状态的判定结果进行输出。在这里,可以与组相应地使用不同的异常度an,也可以使用相同的异常度an。另外,可以与组相应地使用不同的未知度un,也可以使用相同的未知度un。此外,以上说明的变形例也能够彼此组合而实施。

[0178] 专利文献1的控制装置使用单一数值,换言之,使用单一标量值对负荷条件定量地进行表现。在专利文献1的控制装置中,在无法通过单一数值的负荷条件进行表现的情况下,第2阈值的值变得不准确,在判定的结果中也容易发生误检测、遗漏等。作为无法将机械装置的状态的变化通过负荷条件进行表现的情况下的例子,举出机械设备的状态在时间上复杂地变化的情况、机械设备的负荷条件相同、外部环境变化的情况等。根据本实施方式的异常检测装置1,进行利用了时间序列的信号的条件学习。因此,即使在学习模型生成时和评价时(检测时)之间发生了复杂的变化的情况下,也能够准确地进行判定。

[0179] 在本实施方式中说明的异常检测装置1的一个例子,具有状态信号生成部11、条件信号生成部15、状态特征量生成部12、条件特征量生成部16、初始状态学习部13、初始条件学习部17、异常度计算部14及未知度计算部18。

[0180] 状态信号生成部11生成按照时间序列对机械装置2的状态进行检测而得到的状态信号ss。条件信号生成部15生成按照时间序列对表示机械装置2的运转状况的运转条件进行检测而得到的条件信号cs。状态特征量生成部12基于状态信号ss生成状态特征量sc。条件特征量生成部16基于条件信号cs生成条件特征量cc。初始状态学习部13将基于初始状态学习时的状态特征量sc即初始学习用状态特征量lsc进行学习的结果作为初始状态学习结果slr进行输出。

[0181] 初始条件学习部17将基于初始条件学习时的条件特征量cc即初始学习用条件特征量lcc进行学习的结果作为初始条件学习结果clr进行输出。异常度计算部14取得初始状态学习结果slr或追加状态学习结果aslr而作为状态学习结果,基于状态学习结果和检测时的状态特征量sc即检测用状态特征量dsc对异常度an进行计算。未知度计算部18取得初始条件学习结果clr或追加条件学习结果aclr而作为条件学习结果,基于条件学习结果和检测时的条件特征量cc即检测用条件特征量dcc对未知度un进行计算。在这里,优选条件特征量cc的检测时和状态特征量sc的检测时相同。

[0182] 另外,本实施方式的异常检测装置1可以具有异常判定部19。异常判定部19基于异常度an和未知度un对机械装置2的异常进行检测。另外,上述异常判定部19可以在异常度an大于预先确定的第1阈值、未知度un小于预先确定的第2阈值的情况下,将机械装置2的状态判定为异常。另外,在异常度an小于或等于第1阈值或未知度un大于或等于第2阈值的情况下,将机械装置2的状态判定为正常。

[0183] 另外,条件特征量生成部16可以生成根据多个时间点的条件信号cs计算出的多个统计量而作为条件特征量cc。另外,条件特征量生成部16可以生成通过时间序列的条件信号cs的频率解析得到的频率特性而作为条件特征量cc。另外,机械装置2可以被电动机20驱动而进行动作。而且,运转条件oc可以是对电动机20的位置、电动机20的速度、电动机20的加速度、电动机20的跃度、电动机20的驱动力之中的至少任一个的时间响应的形状进行规定的控制信号。

[0184] 在本实施方式中说明的机械系统的一个例子,具有机械装置2、状态信号生成部11、条件信号生成部15、状态特征量生成部12、条件特征量生成部16、初始状态学习部13、初始条件学习部17、异常度计算部14及未知度计算部18。

[0185] 状态信号生成部11生成按照时间序列对机械装置2的状态进行检测而得到的状态信号ss。条件信号生成部15生成按照时间序列对表示机械装置2的运转状况的运转条件进行检测而得到的条件信号cs。状态特征量生成部12基于状态信号ss生成状态特征量sc。条件特征量生成部16基于条件信号cs生成条件特征量cc。初始状态学习部13将基于初始状态学习时的状态特征量sc即初始学习用状态特征量lsc进行学习的结果,作为初始状态学习结果slr进行输出。

[0186] 初始条件学习部17将基于初始条件学习时的条件特征量cc即初始学习用条件特征量lcc进行学习的结果,作为初始条件学习结果clr进行输出。异常度计算部14取得初始状态学习结果slr或追加状态学习结果aslr而作为状态学习结果,基于状态学习结果和检测时的状态特征量sc即检测用状态特征量dsc对异常度an进行计算。未知度计算部18取得初始条件学习结果clr或追加条件学习结果aclr而作为条件学习结果,基于条件学习结果和检测时的条件特征量cc即检测用条件特征量dcc对未知度un进行计算。在这里,优选条件

特征量cc的检测时和状态特征量sc的检测时相同。

[0187] 在本实施方式中进行说明的异常检测方法的一个例子,具有状态信号生成工序、条件信号生成工序、状态特征量生成工序、条件特征量生成工序、初始状态学习工序、初始条件学习工序、异常度计算工序、未知度计算工序。

[0188] 状态信号生成工序生成按照时间序列对机械装置2的状态进行检测而得到的状态信号ss。条件信号生成工序生成按照时间序列对表示机械装置2的运转状况的运转条件进行检测而得到的条件信号cs。状态特征量生成工序基于状态信号ss生成状态特征量sc。条件特征量生成部16基于条件信号cs生成条件特征量cc。初始状态学习工序将基于初始状态学习时的状态特征量sc即初始学习用状态特征量lsc进行学习的结果,作为初始状态学习结果slr进行输出。

[0189] 初始条件学习工序将基于初始条件学习时的条件特征量cc即初始学习用条件特征量lcc进行学习的结果,作为初始条件学习结果clr进行输出。异常度计算工序取得初始状态学习结果slr或追加状态学习结果aslr而作为状态学习结果,基于状态学习结果和检测时的状态特征量sc即检测用状态特征量dsc对异常度an进行计算。未知度计算工序取得初始条件学习结果clr或追加条件学习结果aclr而作为条件学习结果,基于条件学习结果和检测时的条件特征量cc即检测用条件特征量dcc对未知度un进行计算。在这里,优选条件特征量cc的检测时和状态特征量sc的检测时相同。

[0190] 此外,在本实施方式中,对误检测的抑制进行了说明,但关于遗漏的抑制,也能够与误检测同样地进行抑制。此外,在本发明中,关于没有发生异常的正常的机械装置2,将输出异常的判定结果jr的情况称为误检测。另一方面,针对发生了异常的机械装置2,将输出正常的判定结果jr的情况称为遗漏。另外,在判定结果以重度的异常、轻度的异常、正常这3个阶段输出等情况下,即使在输出大于或等于3个判定结果的情况下,也能够与误检测的抑制同样地,对错误的判定结果的输出进行抑制。如以上说明所述,根据本实施方式中的异常检测装置1,即使在机械装置2的运转条件变化的情况下,也能够执行误检测、遗漏等错误的判定结果的输出少的异常检测。另外,在执行初始状态学习时的机械装置2的运转条件和成为异常检测的对象的机械装置2的运转条件不同的情况下,也能够抑制误检测、遗漏等错误的判定结果的输出的发生。在本实施方式中所说明的方式中,即使在初始学习用条件信号lcs和检测用条件信号dcs不同的情况下,也能够对误检测、遗漏等错误的判定结果的输出的发生进行抑制。在这里,如果是本实施方式,则运转的条件是运转条件oc。在这里,本发明的错误的判定结果的输出不仅包含向作业者的显示、表示判定结果的信号的输出等错误的情况,还包含机械装置2的运转状态的变更错误的情况。

[0191] 根据本实施方式中的异常检测装置,在对在机械装置2中发生的异常进行检测的系统中,即使针对运转条件复杂地变化的机械装置2,也能够抑制误检测、遗漏等错误的判定结果的输出。

[0192] 实施方式2.

[0193] 图15是表示本实施方式所涉及的机械系统100a的结构的一个例子的框图。在机械系统100a中,取代实施方式1的异常检测装置1而具有异常检测装置1a。异常检测装置1a在异常检测装置1的结构要素的基础上,还具有追加条件学习部22及追加状态学习部23。另外,在异常检测装置1a中,取代未知度计算部18而具有未知度计算部18a。另外,在异常检测

装置1a中,取代异常度计算部14而具有异常度计算部14a。另外,在异常检测装置1a中,取代异常判定部19而具有异常判定部19a。关于如上所述的点,异常检测装置1a与异常检测装置1不同。在图15中,对与实施方式1的图1相同的结构要素或对应的结构要素标注相同的标号。

[0194] 图16是表示本实施方式所涉及的追加条件学习部22的结构的一个例子的框图。追加条件学习部22具有对条件特征量cc进行存储的条件特征量存储部221、及判定是否执行追加的条件学习即追加条件学习的条件学习判定部222。另外,追加条件学习部22具有提取条件特征量cc的条件特征量提取部223、及执行追加条件学习的追加条件学习执行部224。追加条件学习执行部224关于由条件特征量提取部223提取出的检测用条件特征量dcc而执行追加条件学习。

[0195] 图17是表示本实施方式所涉及的追加状态学习部23的结构的一个例子的框图。追加状态学习部23具有对状态特征量sc进行存储的状态特征量存储部231、及分别关于未知度un判定是否执行追加的状态学习即追加状态学习的状态学习判定部232。另外,追加状态学习部23具有对状态特征量sc进行提取的状态特征量提取部233、及执行追加状态学习的追加状态学习执行部234。追加状态学习执行部234关于由状态特征量提取部233提取出的检测用状态特征量dsc而执行追加状态学习。

[0196] 例示出图16所示的追加条件学习部22的各结构要素的方式。条件特征量存储部221在一定时间的期间对检测用条件特征量dcc进行存储。在这里,检测用条件特征量dcc按照时间序列输出多个。而且,未知度计算部18a分别基于初始条件学习结果clr和按照时间序列输出的多个检测用条件特征量dcc,将未知度un按照时间序列输出多个。条件学习判定部222分别关于该多个未知度un,执行是否执行追加条件学习的判定。例如条件学习判定部222可以将所取得的未知度un与预先确定的阈值(第3阈值)相比较。

[0197] 例示出条件学习判定部222的动作。将多个未知度un之中的一个设为未知度un-i(i为大于或等于1的整数)。而且,将多个未知度un之中的一个、且与未知度un-i不同的未知度un设为未知度un-j(j为与i不同的大于或等于1的整数)。在这里,i及j各自设为是未知度un-i及未知度un-j的自变量。比较的结果为,未知度un-i小于或等于第3阈值,未知度un-j大于第3阈值。在该情况下,条件学习判定部222输出自变量i,不输出自变量j。以上是条件学习判定部222的动作的例示。

[0198] 条件特征量提取部223取得由条件学习判定部222输出的自变量i。而且,从条件特征量存储部221所存储的多个检测用条件特征量dcc中,对与所取得的自变量i相对应的检测用条件特征量dcc-i进行提取。追加条件学习执行部224执行基于提取出的检测用条件特征量dcc-i的条件学习。将该条件学习称为追加条件学习。在实施方式1中说明的初始条件学习及追加条件学习包含于条件学习。换言之,初始条件学习及追加条件学习分别是条件学习的一个方式。

[0199] 由追加条件学习执行部224执行的追加条件学习的方式,可以除了取代初始学习用条件特征量lcc而基于检测用条件特征量dcc进行条件学习这一点,与在实施方式1中说明的初始条件学习的方式相同。另外,在实施方式1中说明的初始条件学习的变形例,也能够应用于追加条件学习。此外,可以通过与初始条件学习相同的方式进行追加条件学习,也能够通过不同的方式进行,但优选是相同的方式。将追加条件学习和初始条件学习设为相

同的方式,由此以追加条件学习后的未知度un与追加条件学习前的未知度un相同的方式进行计算,因此在由异常判定部19a执行的判断中,能够具有一惯性。前述的由异常判定部19a执行的判断是基于异常度an及未知度un的异常检测的判断。在这里,将追加条件学习的结果称为追加条件学习结果alcr。如前所述,初始条件学习结果clr及追加条件学习结果alcr包含于条件学习结果。在图16的例示中,追加条件学习执行部224输出与自变量i相对应的追加条件学习结果alcr-i。以上,是与图16所示的追加条件学习部22的结构要素有关的说明。

[0200] 并且,对由追加条件学习执行部224输出追加条件学习结果alcr后的处理进行说明。如图15所示,未知度计算部18a将条件学习结果从初始条件学习结果clr更新为追加条件学习结果alcr。而且,未知度计算部18a基于更新后的条件学习结果即追加条件学习结果alcr、和在更新后所取得的检测用条件特征量dcc,对未知度un进行计算。在图15的例示中,未知度计算部18a的未知度un的计算方法在加条件学习结果alcr的取得前后,除了取代初始条件学习结果clr而是使用追加条件学习结果alcr以外设为相同而进行了说明。可以在追加条件学习结果alcr的取得前后,使未知度un的计算方法变化。关于异常判定部19a的动作,在追加状态学习部23的说明之后进行记述。

[0201] 此外,在图16的例示中,为了将未知度un和条件特征量cc(在该情况下为检测用条件特征量dcc)相关联,在未知度un-i中设置有自变量i。但是,为了将未知度un和条件特征量cc相关联,也可以利用与自变量不同的方式。例如可以使用能够附带于数据的与自变量i不同的标号、记号等进行关联。另外,例如也可以取代自变量,对条件信号cs、条件特征量cc、未知度un等彼此对应的一组数据附带相同的编号而关联。另外,将未知度un-i的计算所使用的条件特征量cc设为条件特征量cc-i,将为了求出条件特征量cc-i所使用的运转条件oc设为运转条件oc-i。在该情况下,可以取代自变量i而是将取得运转条件oc-i的时刻附带于未知度un、条件特征量cc,由此相关联。

[0202] 接下来,例示出图17所示的追加状态学习部23的方式。追加状态学习部23具有状态特征量存储部231、状态学习判定部232、状态特征量提取部233及追加状态学习执行部234。状态特征量存储部231在一定时间的期间对检测用状态特征量dsc进行存储。在这里,在图17的例示中,检测用状态特征量dsc按照时间序列输出多个。另一方面,未知度计算部18a分别基于初始条件学习结果clr和按照时间序列输出的多个检测用条件特征量dcc,将未知度un按照时间序列输出多个。状态学习判定部232分别关于从未知度计算部18a输出的多个未知度un,执行是否执行追加状态学习的判定。

[0203] 例示出状态学习判定部232的动作。例如状态学习判定部232可以将所取得的未知度un与预先确定的阈值(第4阈值)相比较。将多个未知度un之中的一个设为未知度un-m(m为大于或等于1的整数)。而且,将多个未知度un之中的一个、且与未知度un-m不同的一个设为未知度un-n(n为与m不同的大于或等于1的整数)。在这里,m及n分别设为未知度un-m及未知度un-n的自变量。比较的结果为,未知度un-m小于或等于第4阈值,未知度un-n大于第4阈值。在该情况下,条件学习判定部222输出自变量m,不输出自变量n。以上是状态学习判定部232的动作的例示。

[0204] 状态特征量提取部233从状态特征量存储部231所存储的多个检测用状态特征量dsc中,对与由状态学习判定部232输出的自变量(在图17的例示中为自变量m)相对应的检

测用状态特征量dsc-m进行提取。追加状态学习执行部234执行基于提取出的检测用状态特征量dsc-m的状态学习。将该状态学习称为追加状态学习。如前述所述,在实施方式1中所说明的初始状态学习及在本实施方式中进行说明的追加状态学习包含于状态学习。换言之,初始状态学习及追加状态学习分别是状态学习的一个方式。

[0205] 如图17的例示所示,追加状态学习的方式可以除了取代初始学习用状态特征量lsc而是基于检测用状态特征量dsc进行状态学习这一点以外,与在实施方式1中说明的初始状态学习的方式相同。此外,也可以通过与初始状态学习相同的方式进行追加状态学习,也能够通过不同的方式进行,但优选设为相同的方式。通过将追加状态学习和初始状态学习设为相同的方式,从而以追加状态学习后的异常度an与追加状态学习前的异常度an相同的方式进行计算,因此在由异常判定部19a执行的判断时能够具有一惯性。前述的由异常判定部19a执行的判断,是基于异常度an及未知度un的异常检测的判断。此外,在实施方式1中说明的初始状态学习的变形例也能够应用于追加状态学习。

[0206] 在这里,将追加状态学习的结果称为追加状态学习结果aslr。初始状态学习结果slr及追加状态学习结果aslr包含于状态学习结果。在图17的例示中,追加状态学习执行部234输出了与自变量m相对应的追加状态学习结果aslr-m。以上是与图17所示的追加状态学习部23的各结构要素有关的说明。

[0207] 并且,例示出与输出的追加状态学习结果aslr有关的处理。如图15所示,异常度计算部14a将保持的状态学习结果从初始状态学习结果slr更新为追加状态学习结果aslr。而且,异常度计算部14a基于更新后的状态学习结果即追加状态学习结果aslr、和在更新后所取得的检测用状态特征量dsc而输出异常度an。在这里,在状态学习结果的更新前后,异常度计算部14a的异常度an的计算方法可以相同,也可以不同。在更新前后将异常度an的计算方法设为相同的情况下,能够使异常度an具有一贯性。

[0208] 并且,异常判定部19a与在实施方式1中说明的异常判定部19同样地,基于异常度an及未知度un而输出判定结果jr。在这里,异常判定部19a所取得的异常度an及未知度un是在未知度计算部18a对条件学习结果进行更新、且异常度计算部14a对状态学习结果进行更新之后输出的。如以上说明所述,本实施方式的异常检测装置1a,在初始条件学习的基础上还执行追加条件学习,在初始状态学习的基础上还执行追加状态学习。

[0209] 在这里,条件学习判定部222可以将使用追加条件学习结果aclr而计算出的未知度un进一步用于是否进行追加条件学习的判定,对条件学习结果进行更新。另外,状态学习判定部232也可以将使用追加状态学习结果aslr而计算出的未知度un进一步用于是否进行追加状态学习的判定,适当地对状态学习结果进行更新。此外,在追加状态学习部23中,可以将未知度un和状态特征量sc通过自变量以外的方式相关联,这与追加条件学习部22中的未知度un和条件特征量cc的关联相同。

[0210] 图18是表示追加条件学习部22的动作的一个例子的流程图。作为前提,在图18的开始(START)之前的初始学习时间之间,初始条件学习部17基于初始学习用条件特征量lcc而输出了初始条件学习结果clr。而且,未知度计算部18a具有初始条件学习结果clr。

[0211] 以下说明的是检测时间的动作。此时,异常检测装置1a正在执行异常检测。条件特征量生成部16基于检测时间中的运转条件oc而生成检测用条件特征量dcc。检测用条件特征量dcc包含于条件特征量cc,因此在图15中示出了条件特征量cc的标号。

[0212] 在步骤S2021中,条件特征量存储部221对检测用条件特征量dcc进行存储。在步骤S2022中,条件学习判定部222使自变量增加一个。例如,随着时间的经过而依次对按照时间序列取得的检测用条件特征量dcc附带自变量。可以将该自变量从在图16中说明的自变量i-1向自变量i进行更新。在步骤S2023中,条件学习判定部222判定未知度un-i是否大于在图16中说明的第3阈值。该阈值可以是与异常判定部19a判定是否适合基于异常度an进行正常或异常的判定的阈值相同的值,也可以是不同的值。异常判定部19a判定是否适合基于异常度an进行正常或异常的判定的阈值,例如是在实施方式1的图12的动作例中说明的阈值THU1"那样的值。在将该阈值设为与异常判定部19a基于异常度an进行正常或异常的判定相同的值的情况下,在异常判定部19a不适合进行正常或异常的判定的情况下,执行追加条件学习,因此是适合的。

[0213] 在未知度un-i小于或等于阈值的情况下,关于自变量i的未知度un-i,判断为无需进行追加条件学习,追加条件学习部22向步骤S2022进入。在该情况下,不关于自变量i执行追加条件学习,未知度计算部18a所具有的条件学习结果不被更新而被维持。而且,未知度un的计算继续,基于未知度计算部18a所具有的条件学习结果和检测用条件特征量dcc进行。在该情况下,自变量的增加在步骤S2022中再次被执行,条件学习判定部222关于更新后的自变量i+1的未知度un判定是否实施追加条件学习。

[0214] 在步骤S2023中,在未知度un-i大于阈值的情况下,向步骤S2024进入。在步骤S2024中,条件特征量提取部223取得自变量i,从条件特征量存储部221对与自变量i相对应的条件特征量cc、换言之对检测用条件特征量dcc-i进行提取。而且,追加条件学习部22向步骤S2025进入。在步骤S2025中,追加条件学习执行部224基于由条件特征量提取部223提取出的检测用条件特征量dcc-i,输出追加条件学习结果aclr-i。

[0215] 在进入至步骤S2025的情况下,未知度计算部18a将至此为止保持的条件学习结果向追加条件学习结果aclr-i进行更新。以上是图18所示的追加条件学习部22的动作流程。在条件学习结果的更新被执行后,未知度计算部18a基于更新后的条件学习结果、和在更新后所取得的检测用条件特征量dcc对未知度un进行计算。该未知度计算部18a的处理直至条件学习结果接下来被更新为止,关于在条件特征量生成部16中生成的检测用条件特征量dcc分别被执行。

[0216] 此外,在图18所示的例示中,追加条件学习执行部224基于检测用条件特征量dcc-i,输出追加条件学习结果aclr-i。但是,本实施方式并不限定于如上所述的方式。能够自由地对追加条件学习所使用的检测用条件特征量dcc的数量及检测用条件特征量dcc的自变量进行选择。例如可以对在检测用条件特征量dcc-i之后取得的多个数据进行选择。如果举出一个例子,则是对从检测用条件特征量dcc-i+1至检测用条件特征量dcc-i+100为止的数据数为100的数据进行提取。而且,可以基于提取出的100个数据而输出追加条件学习结果aclr-i。而且,在提取数据的期间,条件学习判定部222可以构成判断为不进行条件学习结果的更新。

[0217] 另外,例如图18是条件特征量存储部221等对初始条件学习所使用的初始学习用条件特征量lcc进行存储。而且,在图18的步骤S2025中,追加条件学习执行部224可以基于所存储的初始学习用条件特征量lcc、和然后所取得的检测用条件特征量dcc-i而执行追加条件学习。追加条件学习执行部224将初始学习用条件特征量lcc作为学习数据的一部分而

利用于追加条件学习,由此即使在取得的检测用条件特征量dcc的量不充分的情况下,也能够弥补数据的不足而进行学习。

[0218] 另外,也可以取代条件学习判定部222,而是由异常判定部19a判断是否执行追加条件学习。换言之,可以在异常判定部19a判定为未知度un大于阈值的情况下,追加条件学习部22执行追加条件学习。如果是如上所述的方式,则在异常判定部19a处于不适合进行正常或异常的判定的未知的状况的情况下,进行追加条件学习,因此能够高效地进行异常检测。另外,在如上所述的方式的情况下,也能够省略条件学习判定部222。

[0219] 另外,条件学习判定部222只要基于所要执行的未知度un而判断是否执行追加条件学习即可,其方法并不限定于使用图18说明的方法。例如关于未知度un而设定阈值。而且,可以关于按照时间序列所取得的多个un分别执行未知度un是否超过该阈值的判断,在未知度un以预先确定的次数连续地超过阈值的情况下,判定为执行追加条件学习。另外,追加条件学习执行部224可以取得多个与超过阈值的未知度un相对应的检测用条件特征量dcc,基于所取得的多个检测用条件特征量dcc而实施追加条件学习。通过如上所述的方式,如果进行是否执行追加条件学习的判定,则能够通过按照时间序列连续的多个未知度un的值而判断追加条件学习是否需要执行,因此存在关于追加条件学习是否需要执行而不易发生错误的判断这一优点。

[0220] 如上述所示,通过实施追加条件学习,从而在计算出未知的运转条件oc、检测用条件特征量dcc等的情况下,异常检测装置1a取得未知的运转条件oc、检测用条件特征量dcc等信息。而且,能够执行与未知的运转条件oc、检测用条件特征量dcc等相对应的异常检测。由此,能够针对多样的运转条件oc、多样的检测用条件特征量dcc,执行误检测、遗漏等错误的判定结果的输出少的异常检测。

[0221] 图19是表示本实施方式所涉及的追加状态学习部23的动作的一个例子的流程图。作为前提,在图19的开始(START)之前的初始学习时间之间,初始状态学习部13基于初始学习用状态特征量lsc而输出了初始状态学习结果slr。而且,异常度计算部14a具有初始状态学习结果slr。

[0222] 以下说明的是初始学习时间之后的检测时间的动作。此时,异常检测装置1a正在执行异常检测。状态特征量生成部12基于检测时间中的状态量sa而生成检测用状态特征量dsc。检测用状态特征量dsc包含于状态特征量sc,因此在图15中,示出了状态特征量sc的标号。

[0223] 在步骤S2151中,状态特征量存储部231对检测用状态特征量dsc进行存储。在步骤S2152中,例如状态学习判定部232使自变量增加一个。例如随着时间的经过而依次对按照时间序列取得的检测用状态特征量dsc附带自变量。将该自变量从在图17中说明的自变量m-1向自变量m进行更新。在步骤S2153中,状态学习判定部232判定未知度un-m是否大于预先确定的阈值。该阈值可以与异常判定部19a基于异常度an而判定是异常还是正常化时所使用的阈值相同,也可以是不同的值。在将该状态学习判定部232的阈值设为与基于异常度an而判定是异常还是正常化时所使用的阈值相同的值的情况下,在异常判定部19a不适合进行正常或异常的判定的情况下,由于执行追加状态学习,因此是适合的。另外,可以将该状态学习判定部232的阈值设为与条件学习判定部222的阈值相同,也可以是不同的值。在设为相同值的情况下,能够省略条件学习判定部222、状态学习判定部232的一者。另外,能

够减轻计算负荷。并且,在执行追加条件学习的情况下,还执行追加状态学习,因此状态学习结果、条件学习结果被同时更新。在如上所述的情况下,异常度计算部14a使用与未知度计算部18a所使用的更新后的条件学习结果相匹配的更新后的状态学习结果,因此能够进行更高精度的异常检测。

[0224] 在未知度un-m小于或等于预先确定的阈值的情况下,关于自变量m的未知度un-m,判断为无需进行追加状态学习,追加状态学习部23向步骤S2152进入。在该情况下,关于自变量m,不执行追加状态学习,异常度计算部14a所使用的状态学习结果不被更新而被维持。而且,异常度an的计算继续,基于异常度计算部14a所保持的状态学习结果和检测用状态特征量dsc进行。再次,在步骤S2152中,自变量从m向m+1进行更新,状态学习判定部232关于下一个自变量m+1,判定是否实施追加状态学习。

[0225] 在步骤S2153中,在未知度un-m大于阈值的情况下,追加状态学习部23向步骤S2154进入。在步骤S2154中,状态特征量提取部233取得自变量m,从状态特征量存储部231对与自变量m相对应的状态特征量sc、换言之对检测用状态特征量dsc-m进行提取。而且,追加状态学习部23向步骤S2155进入。在步骤S2155中,追加状态学习执行部234基于由状态特征量提取部233提取出的检测用状态特征量dsc-m,输出追加状态学习结果aslr-m。以上是图19所示的追加状态学习部23的动作流程。

[0226] 在进入至步骤S2155的情况下,异常度计算部14a将至此为止保持的状态学习结果向追加状态学习结果aslr-m进行更新。在状态学习结果的更新被执行后,异常度计算部14a基于更新后的状态学习结果、和在更新后所取得的检测用状态特征量dsc对异常度an进行计算。基于该更新后的状态学习结果和在更新后所取得的检测用状态特征量dsc对异常度an进行计算的异常度计算部14a的处理,在直至状态学习结果接下来被更新为止之间,关于在状态特征量生成部12中生成的检测用状态特征量dsc分别被执行。

[0227] 此外,在图19所示的例示中,追加状态学习执行部234基于检测用状态特征量dsc-m,输出追加状态学习结果aslr-m,但并不限定于如上所述的方式。追加状态学习所使用的状态特征量sc能够自由地选择。例如可以以从检测用状态特征量dsc-m+1至检测用状态特征量dsc-m+100为止的方式,将在检测用状态特征量dsc-m之后生成的100个检测用条件特征量dcc用于追加状态学习。可以基于它们而输出追加状态学习结果aslr-m。

[0228] 追加状态学习部23在构成为针对在追加条件学习部22中进行了追加条件学习而得到的未知度un执行追加状态学习的情况下,不仅能够对未知度计算部18a所保持的条件学习结果,还能够对异常度计算部14a所保持的状态学习结果进行更新。因此,能够实现更准确的异常检测。能够实现误检测、遗漏等错误的判定结果的输出更少的异常检测等。此外,也可以构成为,仅执行追加条件学习部22的追加条件学习,不进行异常度计算部14a中的状态学习结果的更新。换言之,可以维持省略追加状态学习部23,异常度计算部14a基于初始状态学习结果slr和检测用状态特征量dsc对异常度an进行计算的结构。在如上所述的结构中,在判定为未知的运转条件oc的情况下对条件学习结果进行更新,因此如果与不具有追加条件学习部22的结构、例如在实施方式1中说明的异常检测装置1相比较,则能够进行误检测、遗漏等错误的判定结果的输出少的异常检测。

[0229] 接下来,为了对追加条件学习的效果进行说明,进行从异常检测装置1a省略追加状态学习部23后的结构和从异常检测装置1a省略追加状态学习部23及追加条件学习部22

后的结构的对比。在下面的说明中,作为从异常检测装置1a省略追加状态学习部23及追加条件学习部22后的结构的一个例子,对使用图1说明的实施方式1的异常检测装置1的结构及动作进行说明。

[0230] 图20是表示从本实施方式所涉及的异常检测装置1a省略追加条件学习部22及追加状态学习部23后的结构所生成的异常度an、未知度un及判定结果jr的时间变化的一个例子的图。在图20中,作为不具有追加条件学习部22及追加状态学习部23的结构的一个例子,示出了在实施方式1中说明的异常检测装置1的检测结果。另外,图21是表示从本实施方式所涉及的异常检测装置1a省略追加状态学习部23后的结构所生成的异常度an、未知度un及判定结果jr的时间变化的一个例子的图。图21是通过从异常检测装置1a省略追加状态学习部23后的结构对机械装置2的状态进行检测而得到的结果。下面,进行图20和图21的对比。

[0231] 取得图20所示的数据时的机械装置2的状态,设为是在直至时刻td2为止在机械装置2不发生劣化,在时刻td2以后,机械装置2逐渐地劣化。另外,在从时刻tb2至时刻tc2为止之间、及从时刻td2至时刻tg2为止之间,电动机的速度被变更为与初始学习时不同的设定。而且,在从时刻ta2至时刻tb2为止的时间、及从时刻tc2至时刻td2为止的时间,运转条件oc、即电动机的速度与初始学习时相同。

[0232] 图20(a)及图21(a)示出了异常度an的时间变化。异常度an的数据点以每1个小时为单位进行了绘制。图20(b)及图21(b)示出了未知度un的时间变化。图20(c)及图21(c)示出了判定结果jr的时间变化。图20及图21的横轴表示时间,单位为时间(hr)。在从图20(a)至图20(c)的时间轴中,带有相同标号的位置表示相同的时刻。另外,在从图21(a)至图21(c)的时间轴中,带有相同标号的位置表示相同的时刻。

[0233] 在图20的例示中,示出了从各个异常检测装置的运转开始起时间ta2经过的时刻即时刻ta2至时刻tg2为止的数据。而且,在图20所示的例示中,在从异常检测装置各自的运转的开始时刻至检测时间开始的时刻ta2为止之间,执行初始条件学习及初始状态学习。

[0234] 在图20(a)中,从时刻ta2至时刻td2为止之间的异常度an虽然包含一定量的波动,但全部绘制于0至1之间,大致变化小。另外,在图20(a)中,在从时刻td2至时刻tg2为止之间,异常度an随着运转时间的经过而逐渐地增大。在图20(a)中,将与异常度an有关的阈值THF2设为1。阈值THF2根据机械装置2正常的情况下的异常度an的分布等而决定。并且,在图20(a)中,为了容易理解,将机械装置2的真的异常度TRUE2通过实线表示。与真的异常度TRUE2有关的说明与在图10中说明的真的异常度TRUE1的说明相同,因此省略。

[0235] 在图20(b)的从时刻ta2至时刻tb2为止之间及从时刻tc2至时刻td2为止之间,未知度un全部绘制于0至1之间。另一方面,在从时刻tb2至时刻tc2为止之间、及从时刻td2至时刻tg2为止之间,未知度un全部绘制于1至2之间的范围。在图20(b)中,将与未知度un有关的阈值即阈值THU2设为1。另外,图20(c)的判定结果jr是将以每1个小时为单位的数据点通过线连结而绘制的。在机械装置2正常的情况下,判定结果jr显示出0这一值。另外,在机械装置2异常的情况下,判定结果jr显示出1这一值。此外,判定结果jr的输出方式并不限定于如上所述的方式。

[0236] 在图20的例示中,异常判定部19与实施方式1的图12的说明同样地,输出了判定结果jr。因此,如图20(b)所示,判定结果jr在从时刻ta2至时刻tg2为止的全部期间,异常度an小于或等于1,因此判定结果jr成为表示正常的0的值。另一方面,在图20(a)的时刻td2之后

的时刻,真的异常度TRUE2逐渐地增大。

[0237] 如上所述,根据图20的判定结果jr、即异常检测装置1的判定结果jr,发生了将机械装置2异常的状态判定为正常状态的遗漏。该遗漏的发生是由在时刻td2以后,对机械装置2应用与初始学习时的运转条件oc不同的运转条件oc而引起的。换言之,由于检测用条件信号dcs和初始学习用条件信号lcs不同而发生了遗漏。

[0238] 接下来,对图21的例示进行说明。在图21的例示中,示出了从异常检测装置的运转开始起时间ta2'经过的时刻即时刻ta2'至时刻tg2'为止的数据。而且,在图21所示的例示中,在从异常检测装置各自的运转的开始时刻至检测时间开始的时刻ta2'为止之间,执行初始条件学习及初始状态学习。在图21中,在时刻td2'以后,机械装置2逐渐地劣化。另外,在图21中,在从时刻tb2'至时刻tc2'为止的时间、及从时间td2'至tg2'为止的时间,电动机的速度被变更为与初始学习时不同的设定。即,相对于初始学习时的运转条件oc,对检测时的运转条件oc进行了变更。而且,在从时刻ta2'至时刻tb2'为止的时间、及从时刻tc2'至时刻td2'为止的时间,电动机的速度设为与初始学习时相同。即,设定为与初始学习时的运转条件oc相同的运转条件oc。

[0239] 在图21(a)中,时刻ta2'是在开始异常检测装置1a的运转后,时间ta2'经过的时刻。另外,时刻tg2'是在开始异常检测装置1a的运转后,时间tg2'经过的时刻。此外,设为在时刻ta2'之前的时刻,机械装置2正常的情况下的初始状态学习及初始条件学习完成。在图21(a)中,将异常度an的数据点以每1个小时为单位进行了绘制。

[0240] 在图21(a)中,在从时刻ta2'至时刻tb2'为止之间、及从时刻tb2'至时刻td2'为止之间,异常度an的值绘制于0至1之间。而且,另一方面,在图21(a)中,在时刻tb2'的时间点,异常度an被绘制为值Fv。值Fv成为超过1的值。另外,在图21(a)中,在从时刻td2'至时刻tg2'为止之间,异常度an随着运转时间的经过而增加。

[0241] 在图21(a)中,将异常度an的阈值THF2'设定为1。阈值THF2'是预先确定的阈值。阈值THF2'可以根据机械装置2正常的状态下的异常度an的分布等而决定。另外,在图21(a)中,在异常检测装置1a推定出的异常度an的基础上,将不受运转条件oc等干扰影响的机械装置2的真的异常度TRUE2'通过粗线表示。与真的异常度TRUE2'有关的说明和与在实施方式1的图10中说明的真的异常度TRUE1有关的说明相同,因此省略。

[0242] 另外,在图21(b)中,在从时刻ta2'至时刻tb2'为止之间、及从时刻tb2'至时刻td2'为止之间的期间,未知度un绘制于0至1之间。另一方面,在时刻tb2'的时间点,未知度un绘制为位值Uv。位置Uv示出了在时刻tb2',未知度un的值成为超过1的值。

[0243] 在图21的例示中,在时刻tb2'的时间点,追加条件学习部22执行追加条件学习。因此,在时刻tb2'之后的时间中,抑制了未知度un的增加。另一方面,在图20的例示中,没有追加条件学习部22,不进行条件学习结果的更新。由此,在时刻tb2之后的时间中,基于初始条件学习结果clr的未知度un继续输出。因此,在从时刻tb2至tc2之间、及从时刻td2至时刻tg2之间的时间中,未知度un成为大于1的值。

[0244] 如图21(b)所示,在时刻tb2'之后的时间中,未知度un的增加被抑制,其结果,图21(c)的判定结果jr与图20(c)不同,能够将机械装置2的异常度an的增加正确地检测为异常。

[0245] 如以上说明所述,异常检测装置1a基于未知度un而判断是否需要追加条件学习。而且,在需要的情况下,能够对条件学习结果进行更新。因此,即使在运转条件oc变化的情

况下,也能够通过条件学习结果的更新而执行误检测及遗漏少的异常检测。另外,异常检测装置1a基于未知度un而判断是否需要追加状态学习。而且,在需要的情况下,能够对状态学习结果进行更新。因此,即使在伴随运转条件oc的变化而状态量sa变化的情况下,也能够通过状态学习结果的更新而执行误检测及遗漏少的异常检测。通过这些结构,异常检测装置1a即使在机械装置2的运转条件oc变化的情况下,也能够抑制误检测及遗漏。另外,异常检测装置1a基于时间序列的检测用条件信号dcs而判断是否执行追加条件学习、追加状态学习等。由此,即使在运转条件oc依赖于时间而复杂地变化的情况下,也能够准确地判断是否需要执行追加条件学习、追加状态学习等。另外,在使用时间序列的检测用条件信号dcs而执行追加条件学习、追加状态学习的情况下,在运转条件oc依赖于时间而复杂地变化的情况下,异常检测装置1a也能够对准确的未知度un、异常度an等进行计算。因此,能够抑制误检测、遗漏等错误的判定结果的输出,并且高精度地对异常进行检测。此外,在本实施方式中,对误检测、遗漏的抑制进行了说明,但并不限定于此。例如与实施方式1同样地,在判定结果以重度的异常、轻度的异常、正常这3个阶段输出等情况下,即使在输出大于或等于3个判定结果的情况下,也能够抑制错误的判定结果的输出。

[0246] 本实施方式的异常检测装置1a在实施方式1中所说明的异常检测装置1的结构要素的基础上,可以还具有追加条件学习部22。该追加条件学习部22具有条件特征量存储部221、条件学习判定部222、条件特征量提取部223、追加条件学习执行部224。

[0247] 条件特征量存储部221对检测用条件特征量dcc进行存储。条件学习判定部222基于未知度un判定是否执行追加条件学习。条件特征量提取部223在条件学习判定部222判定为执行追加条件学习的情况下从条件特征量存储部221对追加条件学习所使用的检测用条件特征量dcc进行提取。追加条件学习执行部224将基于提取出的检测用条件特征量dcc执行追加条件学习的结果作为追加条件学习结果aclr进行输出。

[0248] 本实施方式的异常检测方法,在实施方式1中所说明的异常检测方法的工序的基础上,可以还具有追加条件学习工序。该追加条件学习工序具有条件特征量存储工序、条件学习判定工序、条件特征量提取工序、追加条件学习执行工序。

[0249] 条件特征量存储工序对检测用条件特征量dcc进行存储。条件学习判定工序基于未知度un判定是否执行追加条件学习。条件特征量提取工序在条件学习判定工序中判定为执行追加条件学习的情况下,从在条件特征量存储工序中存储的检测用条件特征量dcc中对追加条件学习所使用的检测用条件特征量dcc进行提取。追加条件学习执行工序将基于提取出的检测用条件特征量dcc执行追加条件学习的结果作为追加条件学习结果aclr进行输出。

[0250] 未知度计算部18a可以在由追加条件学习执行部224输出追加条件学习结果aclr的情况下,从保持有条件学习结果的条件学习结果更新为追加条件学习结果aclr。而且,未知度计算部18a可以在执行条件学习结果的更新后,基于更新后的条件学习结果和在更新后从条件特征量生成部输出的检测用条件特征量dcc对未知度un进行计算。

[0251] 条件学习判定部222判定为在未知度un超过预先确定的第3阈值的情况下,执行追加条件学习。而且,判定为在未知度un小于或等于预先确定的第3阈值的情况下,不执行追加条件学习。

[0252] 条件学习判定部222可以只在多个未知度un以按照时间序列连续的预先确定的次

数超过预先确定的阈值的情况下,判定为执行追加条件学习。

[0253] 本实施方式的异常检测装置1a,在实施方式1中所说明的异常检测装置1的结构要素的基础上,可以还具有追加状态学习部23。追加状态学习部23具有状态特征量存储部231、状态学习判定部232、状态特征量提取部233及追加状态学习执行部234

[0254] 状态特征量存储部231对检测用状态特征量dsc进行存储。状态学习判定部232基于未知度un判定是否执行追加状态学习。状态特征量提取部233在状态学习判定部232判定为执行追加状态学习的情况下,从状态特征量存储部231对追加状态学习所使用的检测用状态特征量dsc进行提取。追加状态学习执行部234将基于提取出的检测用状态特征量dsc执行追加状态学习的结果作为追加状态学习结果aslr进行输出。

[0255] 本实施方式的异常检测方法在实施方式1中所说明的异常检测方法所具有的工序的基础上,可以还具有追加状态学习工序。追加状态学习工序具有状态特征量存储工序、状态学习判定工序、状态特征量提取工序及追加状态学习执行工序。

[0256] 状态特征量存储工序对检测用状态特征量dsc进行存储。状态学习判定工序基于未知度un判定是否执行追加状态学习。状态特征量提取工序在状态学习判定工序中判定为执行追加状态学习的情况下,从在状态特征量存储工序中存储的检测用状态特征量dsc对追加状态学习所使用的检测用状态特征量dsc进行提取。追加状态学习执行工序将基于提取出的检测用状态特征量dsc执行追加状态学习的结果作为追加状态学习结果aslr进行输出。

[0257] 如以上说明所述,根据本实施方式,能够提供在对运转条件变化的机械装置2的状态进行检测的情况下,误检测及遗漏少的异常检测装置。另外,在需要的情况下实施追加条件学习,由此能够对未知度计算部18a所保持的条件学习结果进行更新。另外,可以在需要的情况下实施追加状态学习,由此对异常度计算部14a所保持的条件学习结果进行更新。由此,在对运转条件变化的机械装置2的状态进行检测的情况下,能够进行更准确的异常检测。另外,能够减少误检测及遗漏的发生。

[0258] 标号的说明

[0259] 1、1a异常检测装置,2机械装置,3控制装置,11状态信号生成部,12状态特征量生成部,13初始状态学习部,14异常度计算部,15条件信号生成部,16条件特征量生成部,17初始条件学习部,18未知度计算部,19异常判定部,20电动机,22追加条件学习部,23追加状态学习部,201滚珠丝杠,202可动部,203引导部,204滚珠丝杠轴,202联轴器,203伺服电动机轴,204伺服电动机,205编码器,221条件特征量存储部,222条件学习判定部,223条件特征量提取部,224追加条件学习执行部,231状态特征量存储部,232状态学习判定部,233状态特征量提取部,234追加状态学习执行部,310电流传感器,311驱动器,301PLC,401PC,402PLC用显示器,403PC用显示器,cc条件特征量,clr条件学习结果,cs条件信号,df驱动力,jr判定结果,oc运转条件,电力pw,状态量sa,状态特征量sc,状态学习结果slr,状态信号ss。

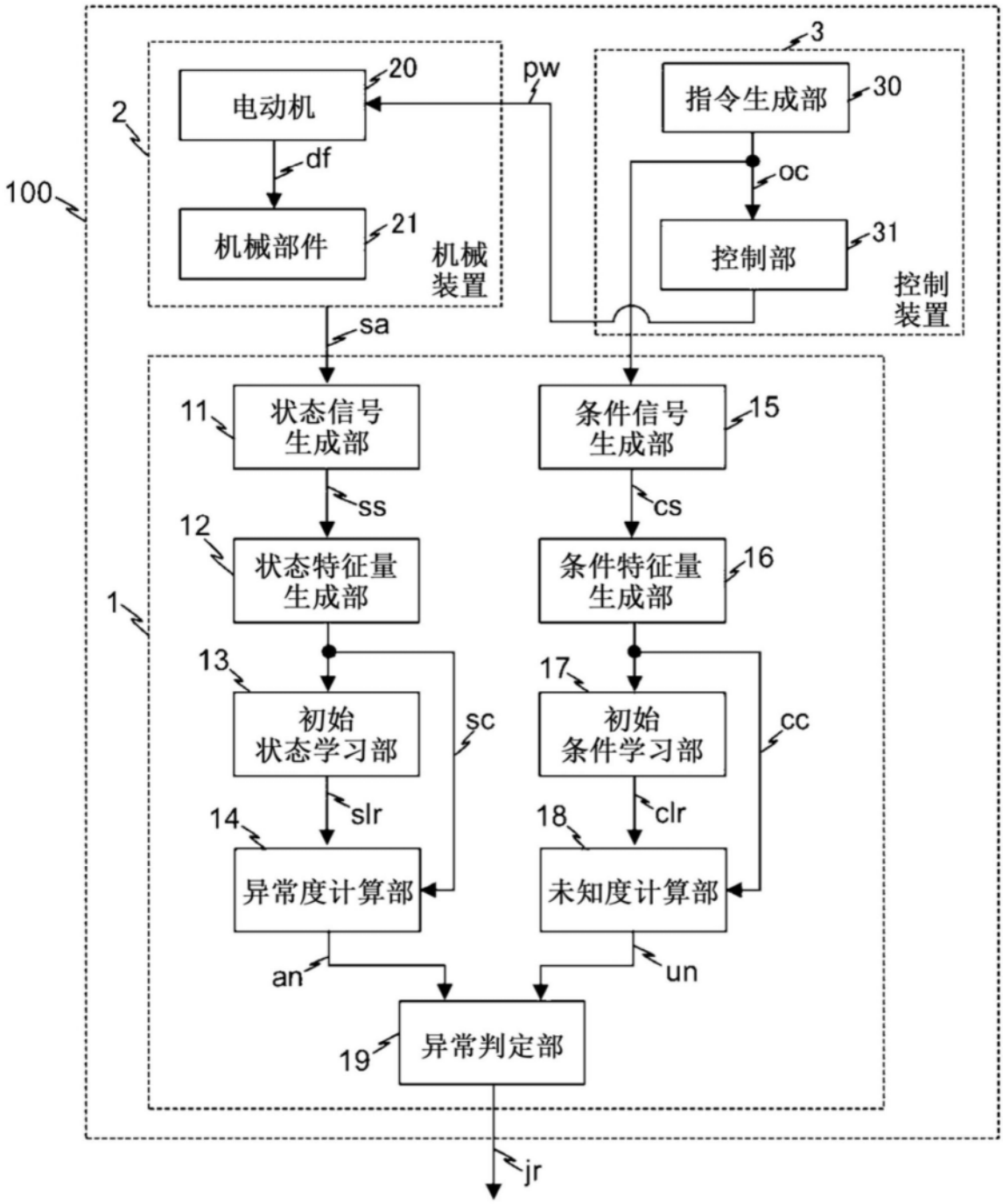

100
1
2
3
电动机
20
df
机械部件
21
机械装置
pw
指令生成部
30
oc
控制部
31
控制装置
sa
11
状态信号生成部
ss
12
状态特征量生成部
13
初始状态学习部
sc
slr
14
异常度计算部
an
15
条件信号生成部
cs
16
条件特征量生成部
17
初始条件学习部
cc
clr
18
未知度计算部
un
19
异常判定部
jr

图1

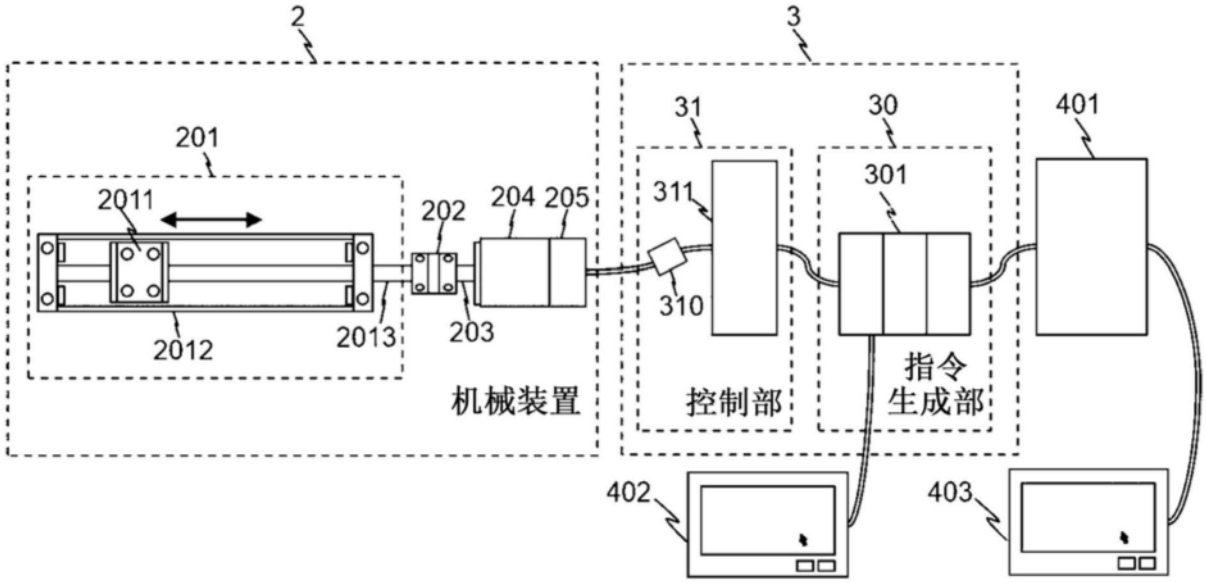

2
3
201
2011
202
204
205
31
30
401
311
301
310
2012
2013
203
机械装置
控制部
指令
生成部
402
403

图2

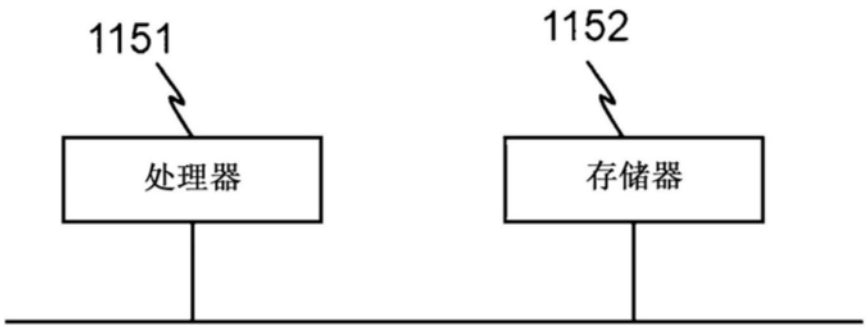

1151
1152
处理器
存储器

图3

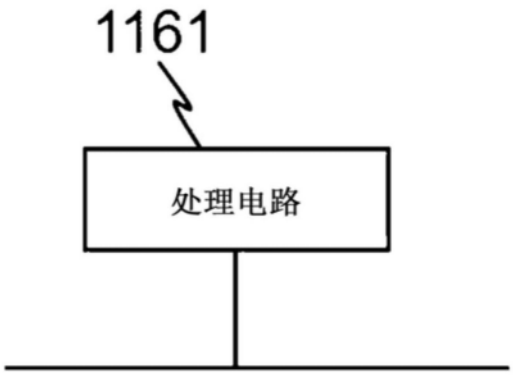

1161
处理电路

图4

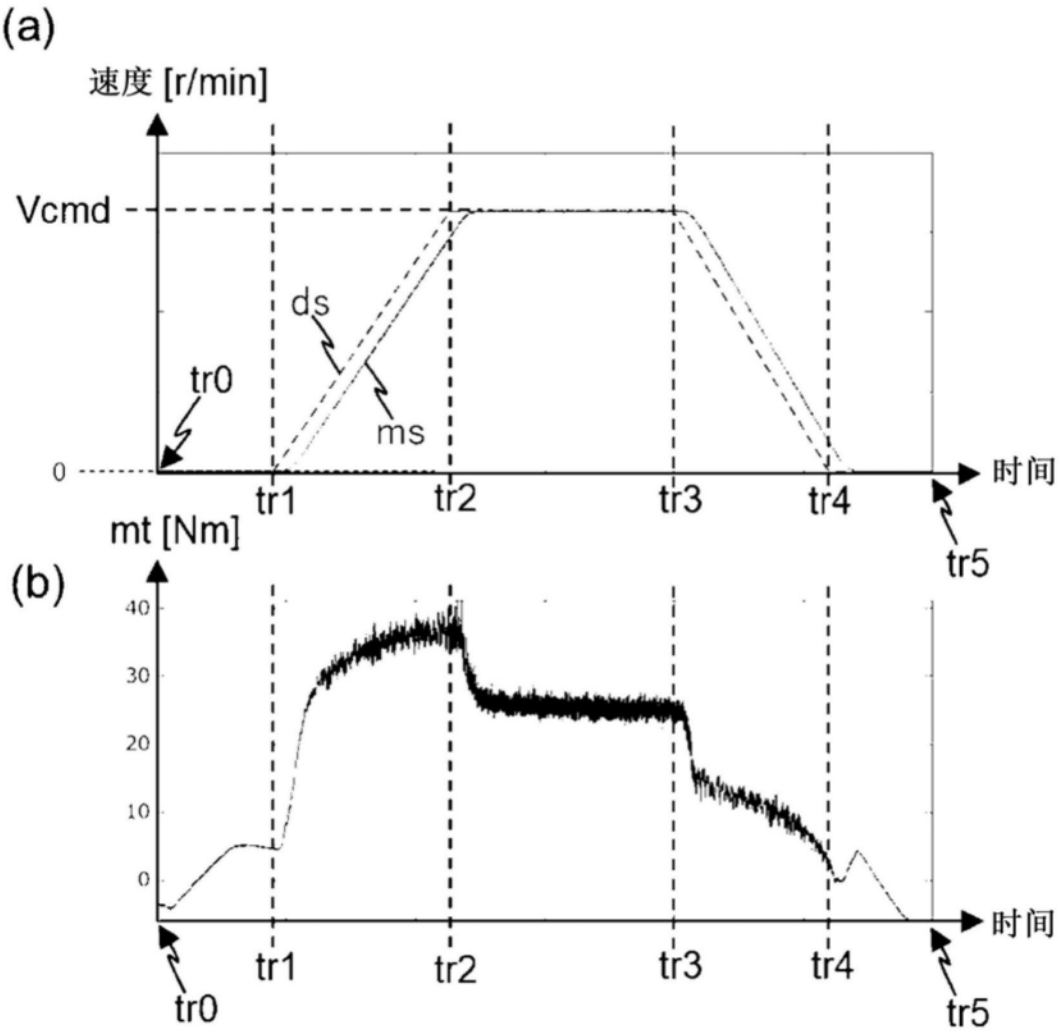

(a)
速度 [r/min]
Vcmd
ds
ms
tr0
0
tr1
tr2
tr3
tr4
tr5
时间
mt [Nm]
(b)
40
30
20
10
0
tr0
tr1
tr2
tr3
tr4
tr5
时间

图5

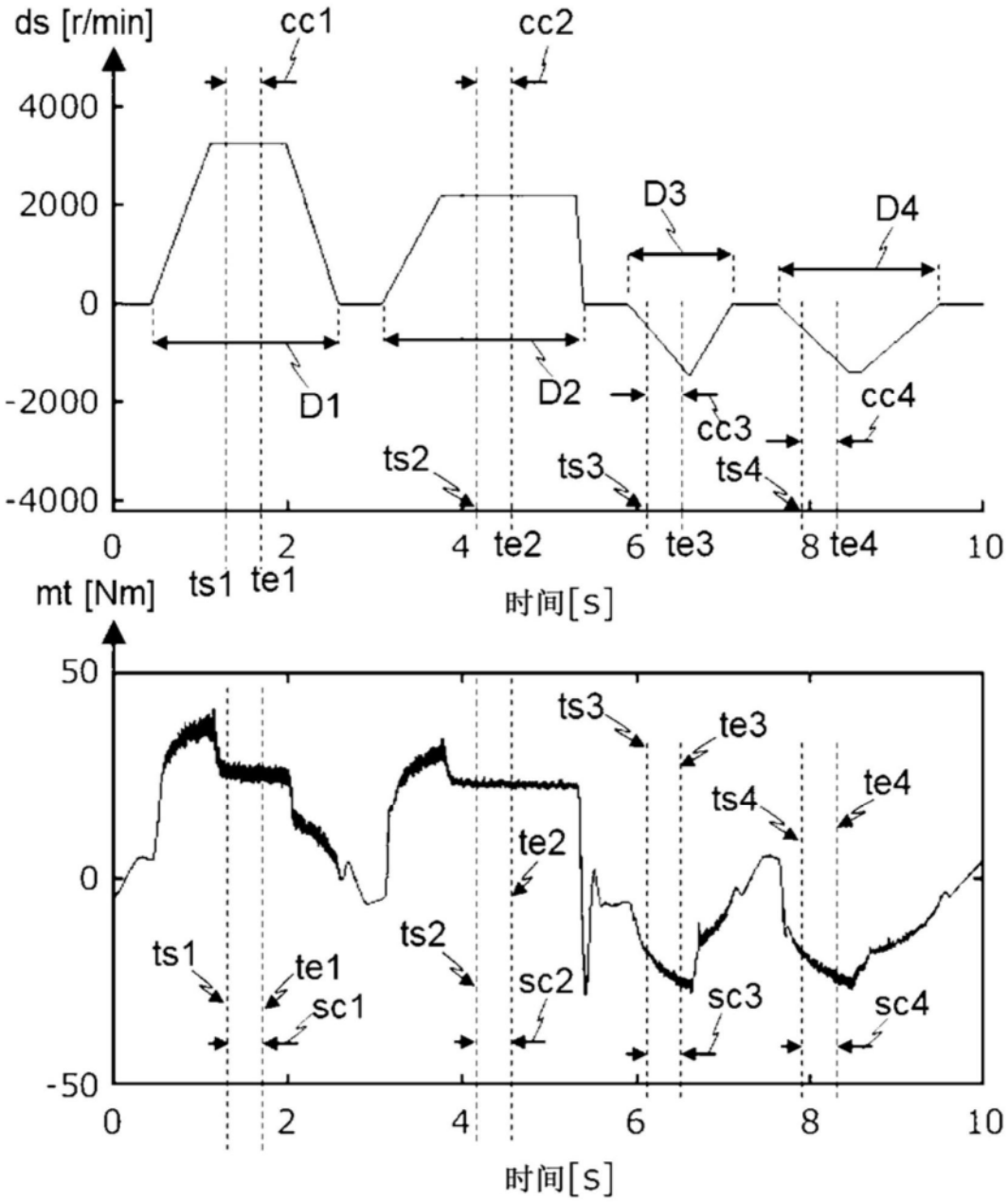

ds [r/min]
cc1
cc2
4000
2000
0
-2000
-4000
D1
D2
D3
D4
cc3
cc4
ts2
ts3
ts4
0
2
4
te2
6
te3
8
te4
10
ts1
te1
时间[s]
mt [Nm]
50
0
-50
ts3
te3
ts4
te4
te2
ts2
ts1
te1
sc1
sc2
sc3
sc4
0
2
4
6
8
10
时间[s]

图6

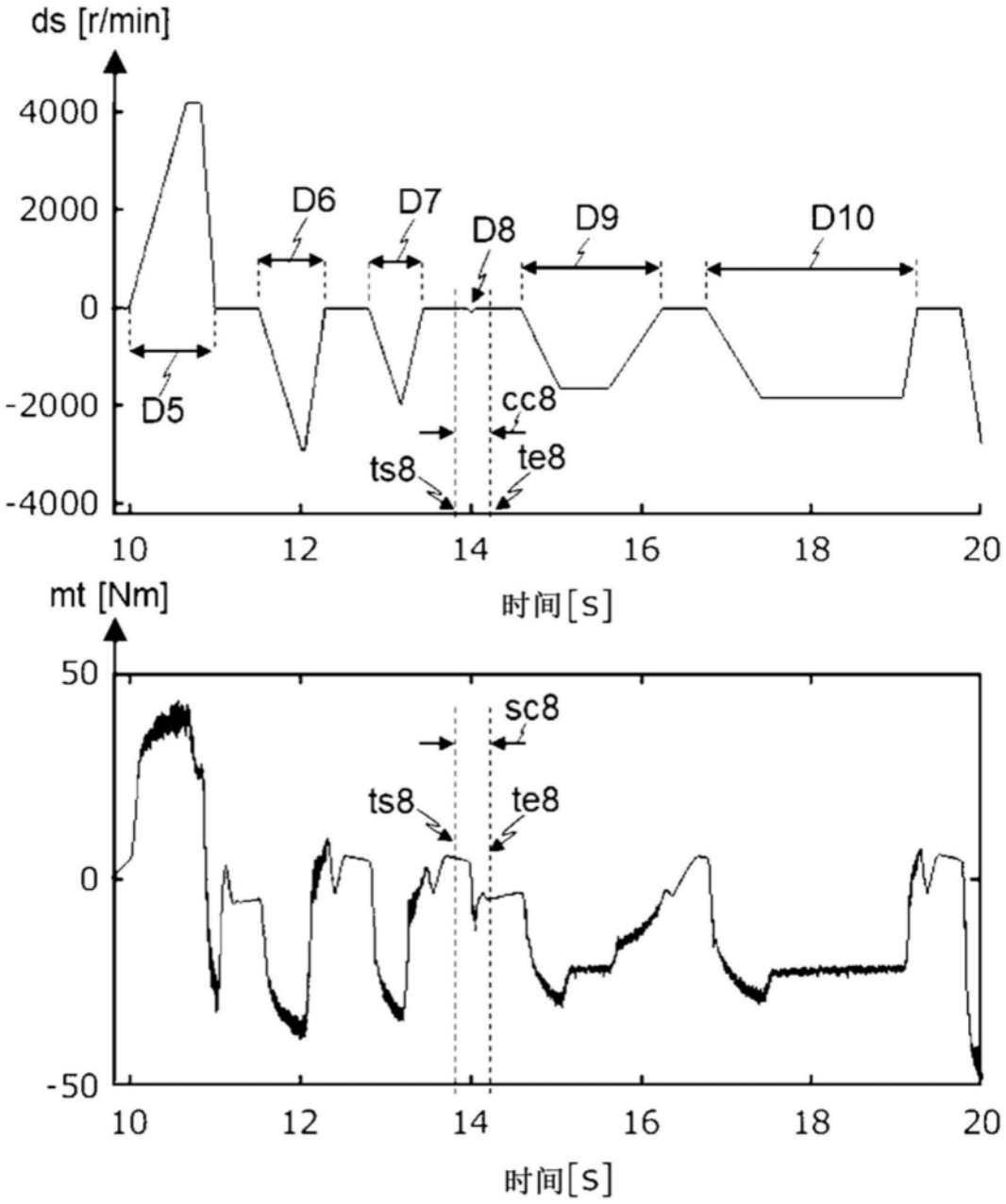

ds [r/min]
4000
2000
0
-2000
-4000
D5
D6
D7
D8
D9
D10
cc8
ts8
te8
10
12
14
16
18
20
时间[s]
mt [Nm]
50
0
-50
sc8
ts8
te8
10
12
14
16
18
20
时间[s]

图7

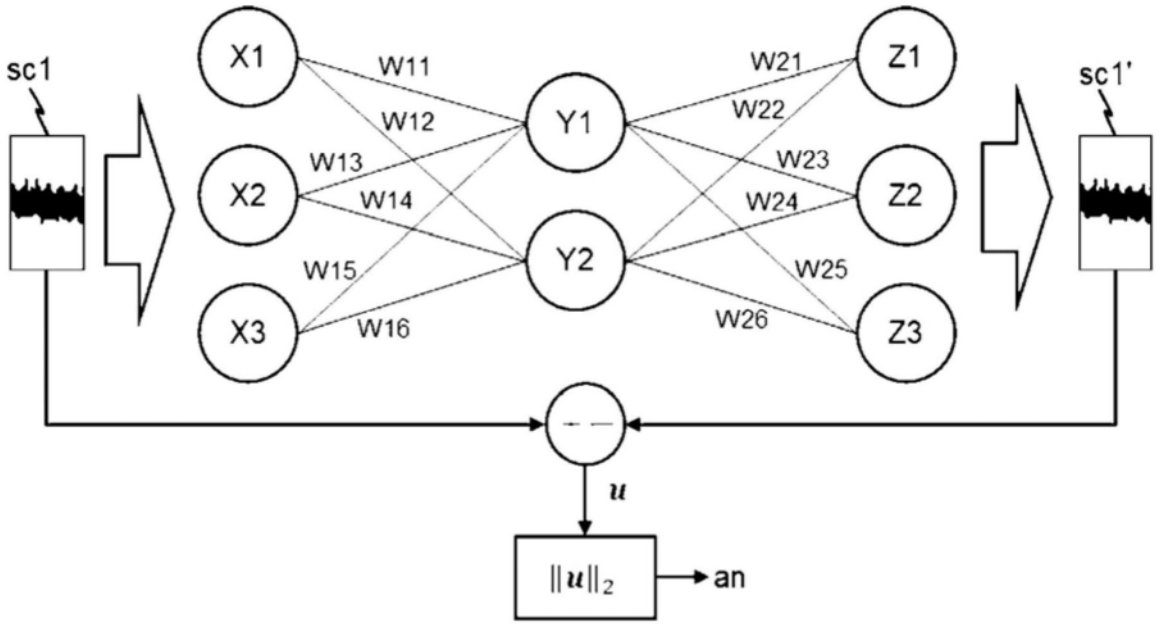

sc1
X1
X2
X3
W11
W12
W13
W14
W15
W16
Y1
Y2
W21
W22
W23
W24
W25
W26
Z1
Z2
Z3
sc1'
u
$\|u\|_2$
an

图8

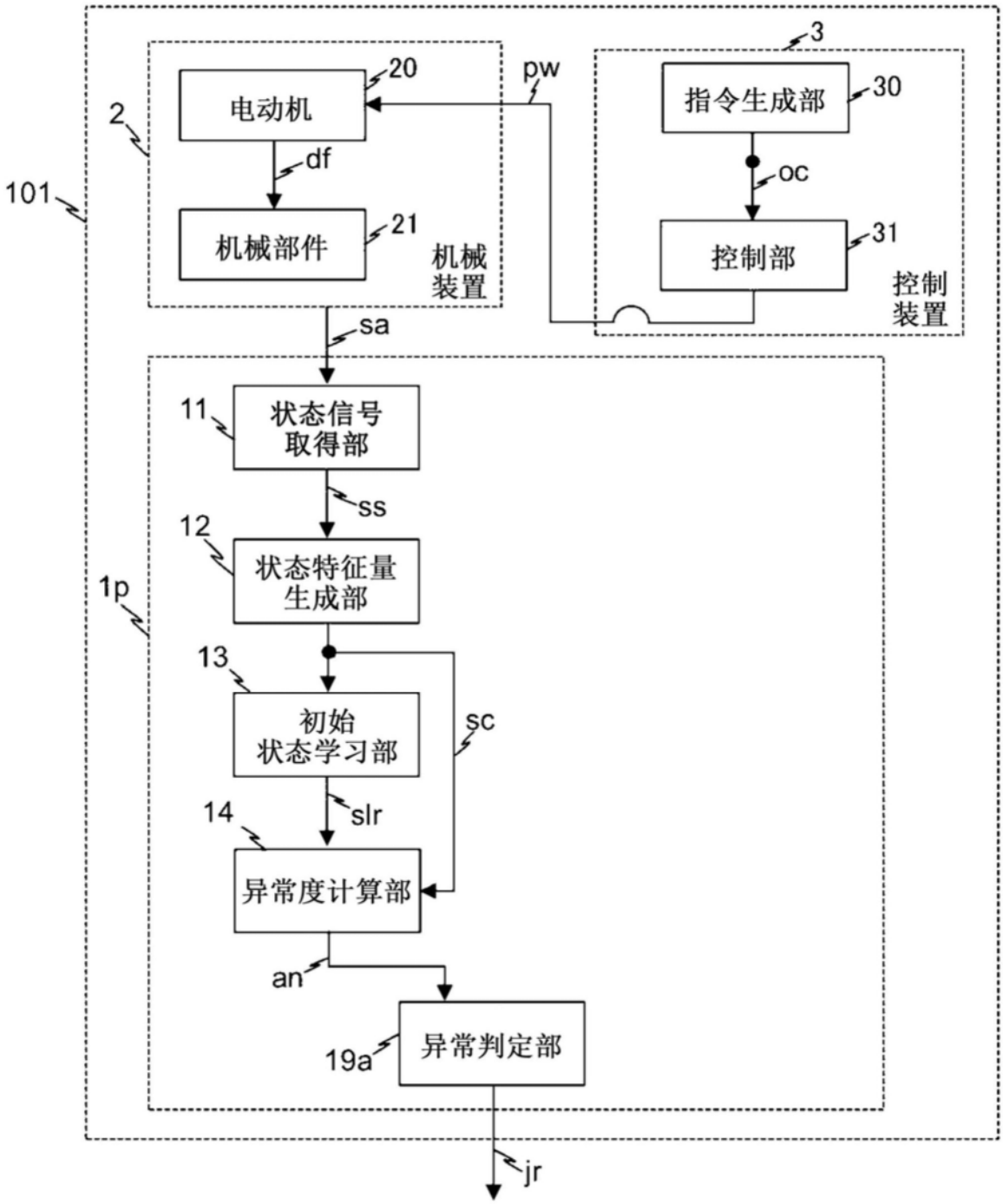

101
2
电动机
20
df
机械部件
21
机械装置
pw
3
指令生成部
30
oc
控制部
31
控制装置
sa
1p
11
状态信号取得部
ss
12
状态特征量生成部
13
初始状态学习部
sc
slr
14
异常度计算部
an
19a
异常判定部
jr

图9

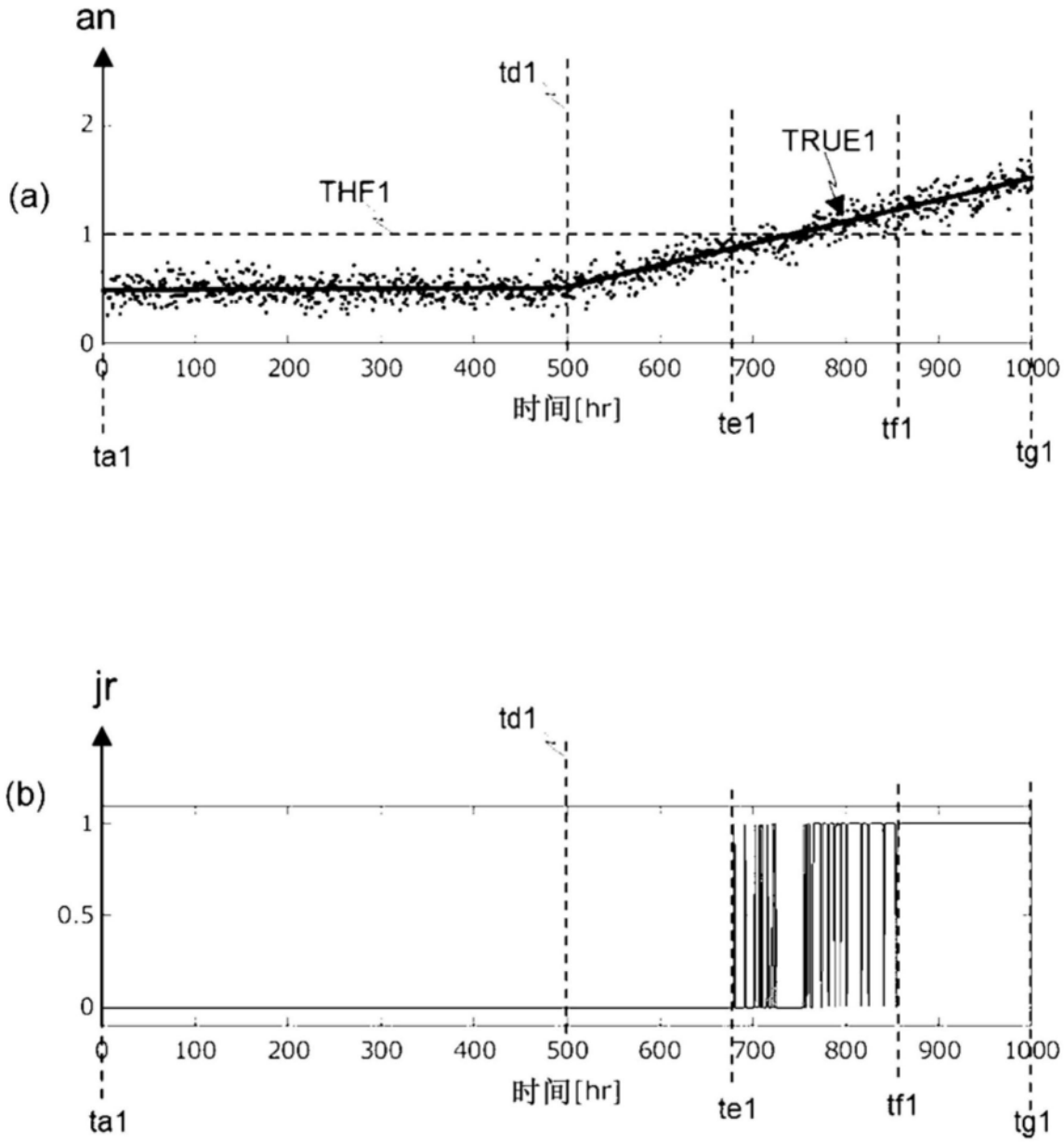

an
td1
TRUE1
THF1
(a)
2
1
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
时间[hr]
ta1
te1
tf1
tg1
jr
td1
(b)
1
0.5
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
时间[hr]
ta1
te1
tf1
tg1

图10

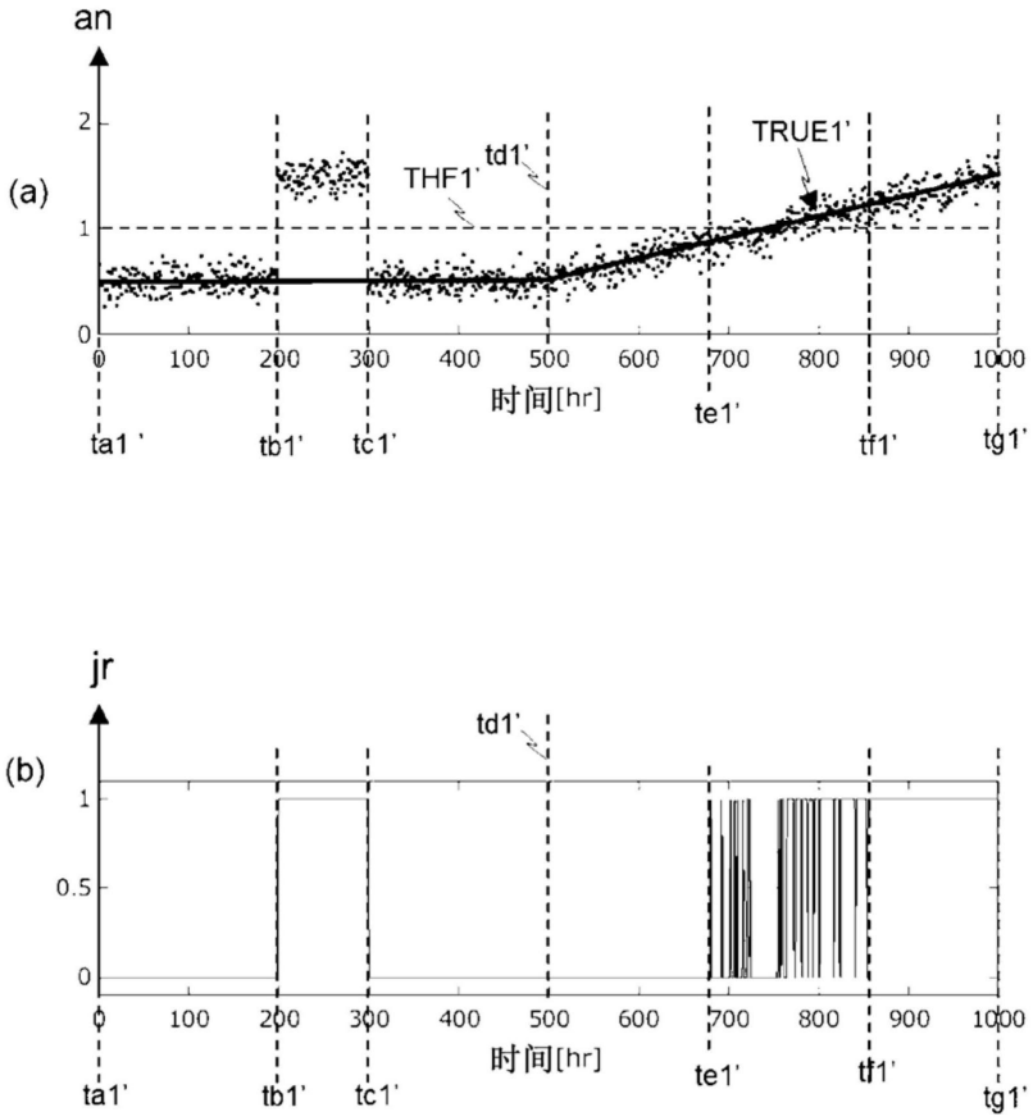

an
(a)
2
1
0
THF1'
td1'
TRUE1'
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
时间[hr]
ta1'
tb1'
tc1'
te1'
tf1'
tg1'
jr
(b)
td1'
1
0.5
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
时间[hr]
ta1'
tb1'
tc1'
te1'
tf1'
tg1'

图11

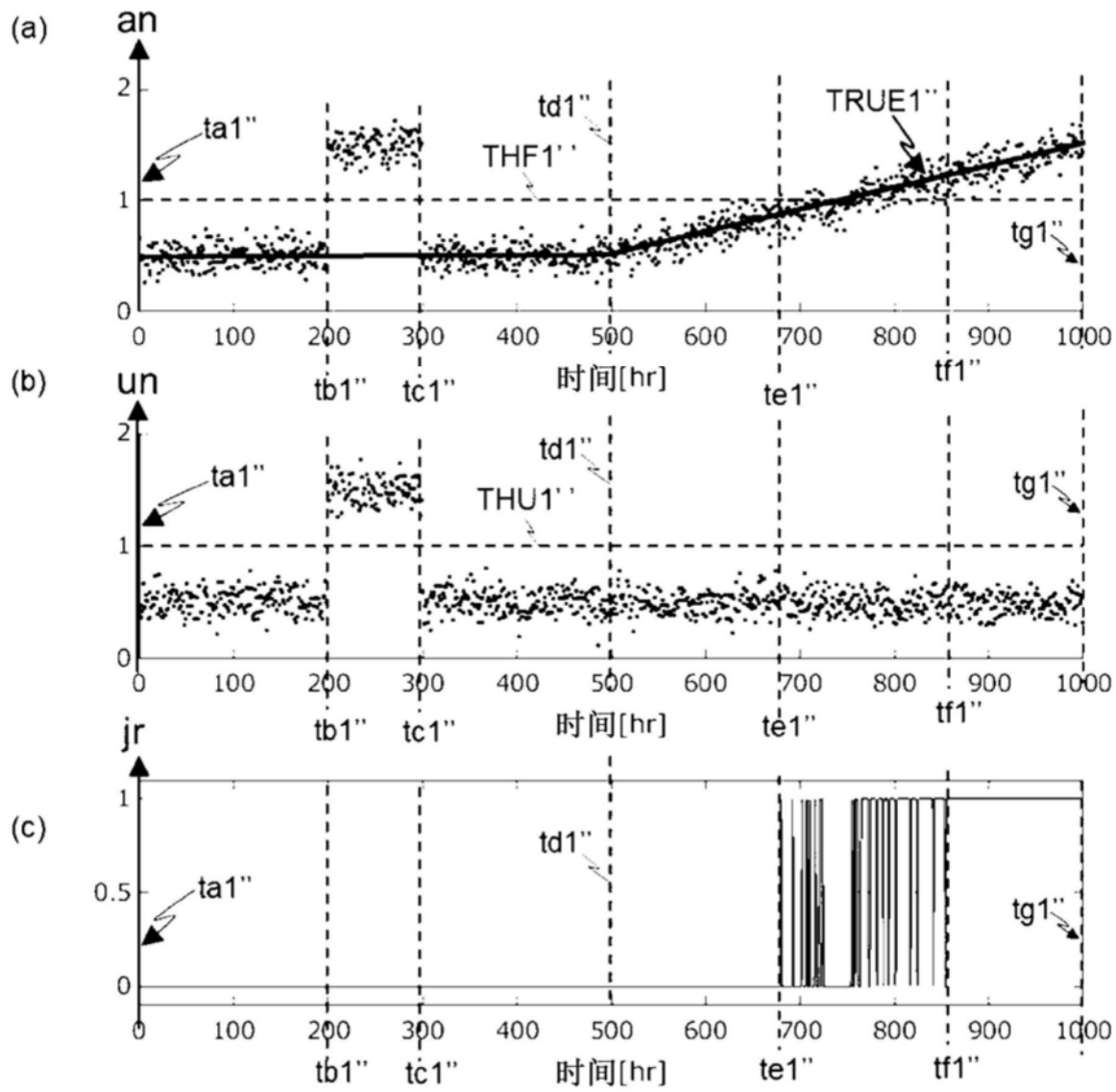

(a)
an
2
1
0
ta1''
td1''
THF1''
TRUE1''
tg1''
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
时间[hr]
tb1'' tc1'' te1'' tf1''
(b)
un
2
1
0
ta1''
td1''
THU1''
tg1''
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
时间[hr]
tb1'' tc1'' te1'' tf1''
(c)
jr
1
0.5
0
ta1''
td1''
tg1''
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
时间[hr]
tb1'' tc1'' te1'' tf1''

图12

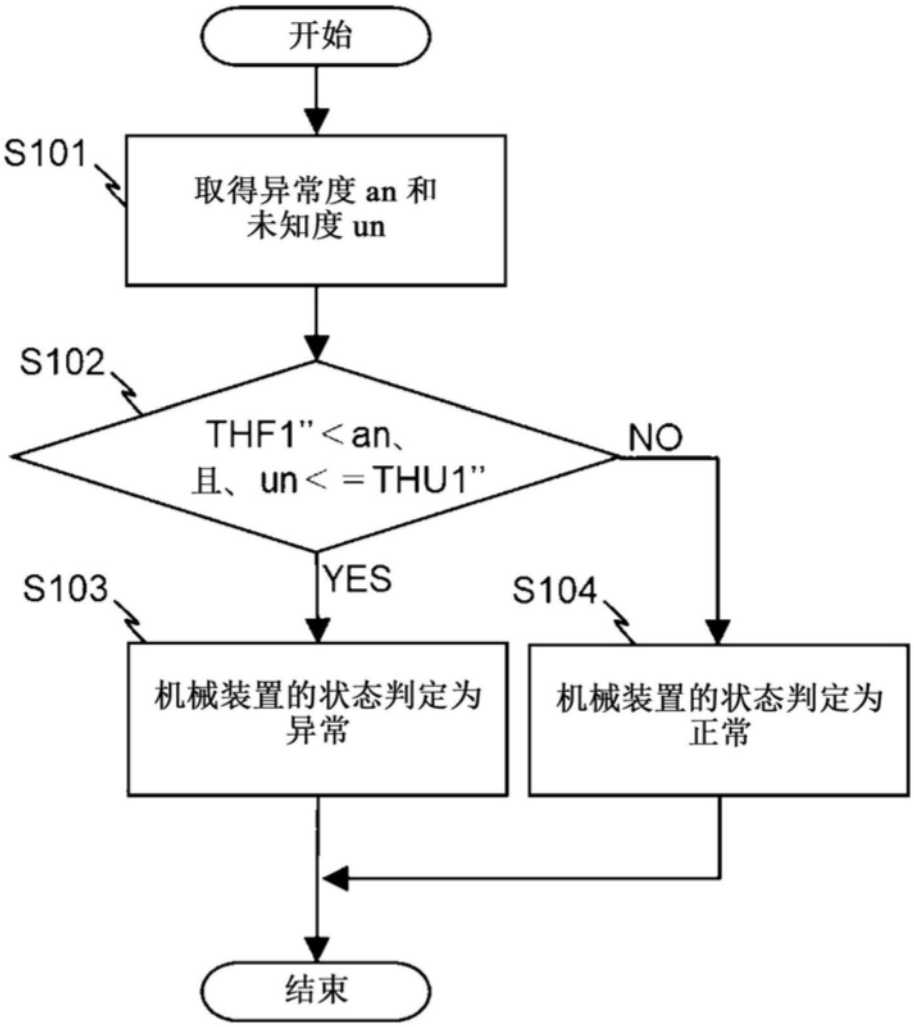

开始
S101
取得异常度 an 和
未知度 un
S102
THF1" < an、
且、 un < = THU1"
NO
YES
S103
机械装置的状态判定为
异常
S104
机械装置的状态判定为
正常
结束

图13

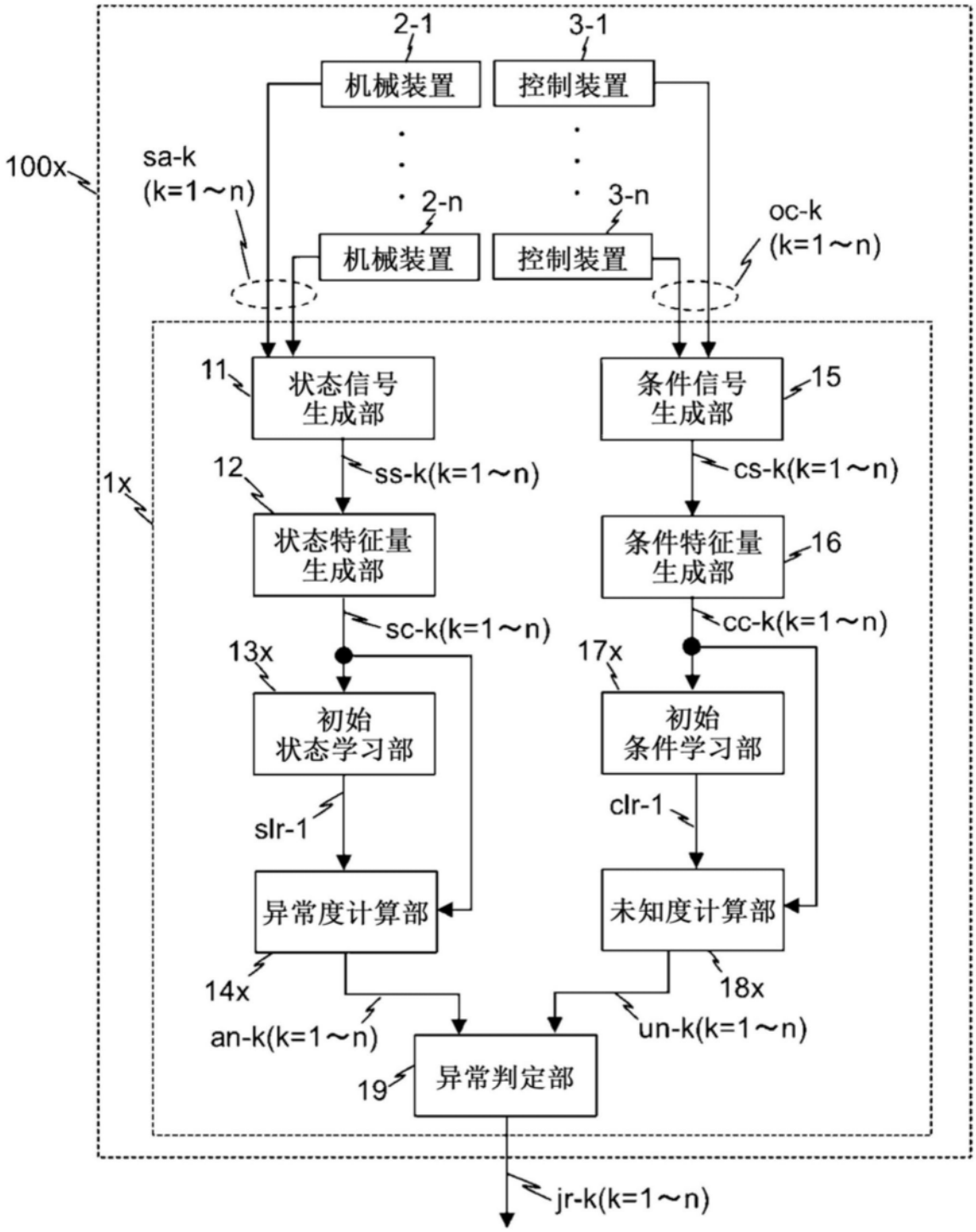

2-1
3-1
机械装置
控制装置
100x
sa-k
(k=1～n)
2-n
3-n
oc-k
(k=1～n)
机械装置
控制装置
11
状态信号
生成部
条件信号
生成部
15
12
ss-k(k=1～n)
cs-k(k=1～n)
1x
状态特征量
生成部
条件特征量
生成部
16
sc-k(k=1～n)
cc-k(k=1～n)
13x
17x
初始
状态学习部
初始
条件学习部
slr-1
clr-1
异常度计算部
未知度计算部
14x
18x
an-k(k=1～n)
un-k(k=1～n)
19
异常判定部
jr-k(k=1～n)

图14

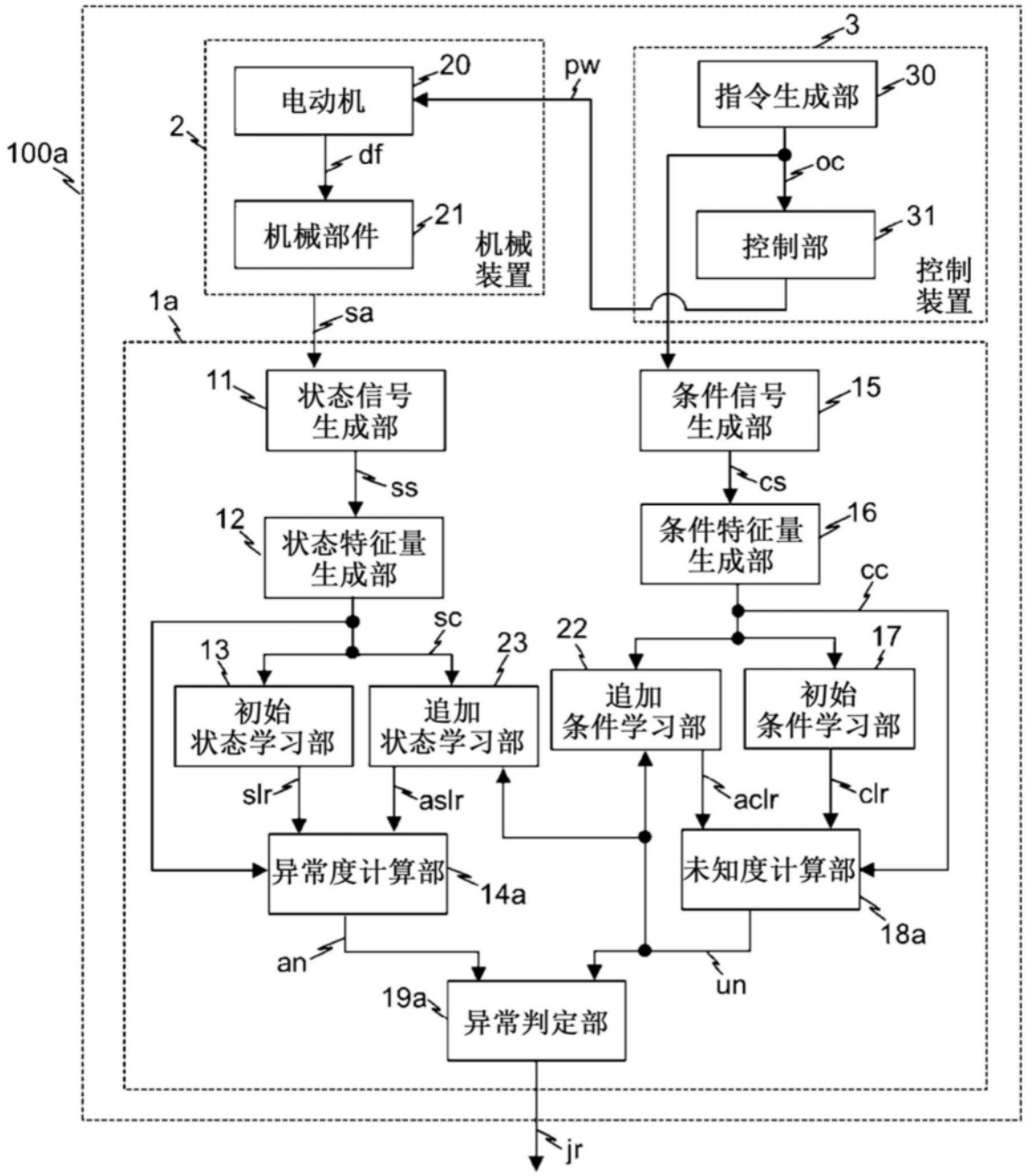

100a
2
电动机
20
df
机械部件
21
机械装置
pw
3
指令生成部
30
oc
控制部
31
控制装置
1a
sa
11
状态信号生成部
ss
12
状态特征量生成部
sc
13
初始状态学习部
23
追加状态学习部
slr
aslr
异常度计算部
14a
an
19a
异常判定部
jr
15
条件信号生成部
cs
16
条件特征量生成部
cc
22
追加条件学习部
17
初始条件学习部
aclr
clr
未知度计算部
18a
un

图15

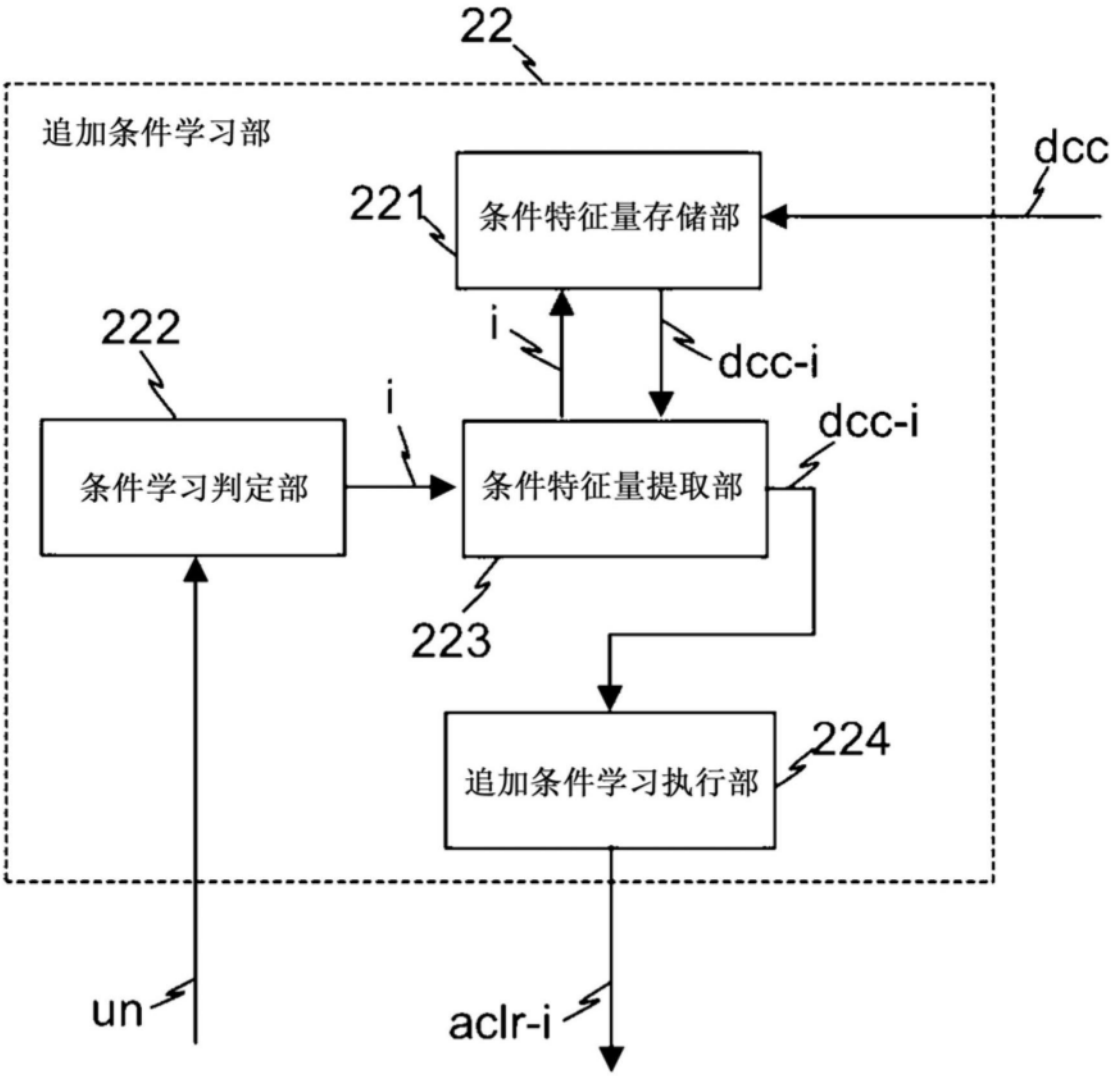

22
追加条件学习部
dcc
221
条件特征量存储部
222
i
dcc-i
i
dcc-i
条件学习判定部
条件特征量提取部
223
224
追加条件学习执行部
un
aclr-i

图16

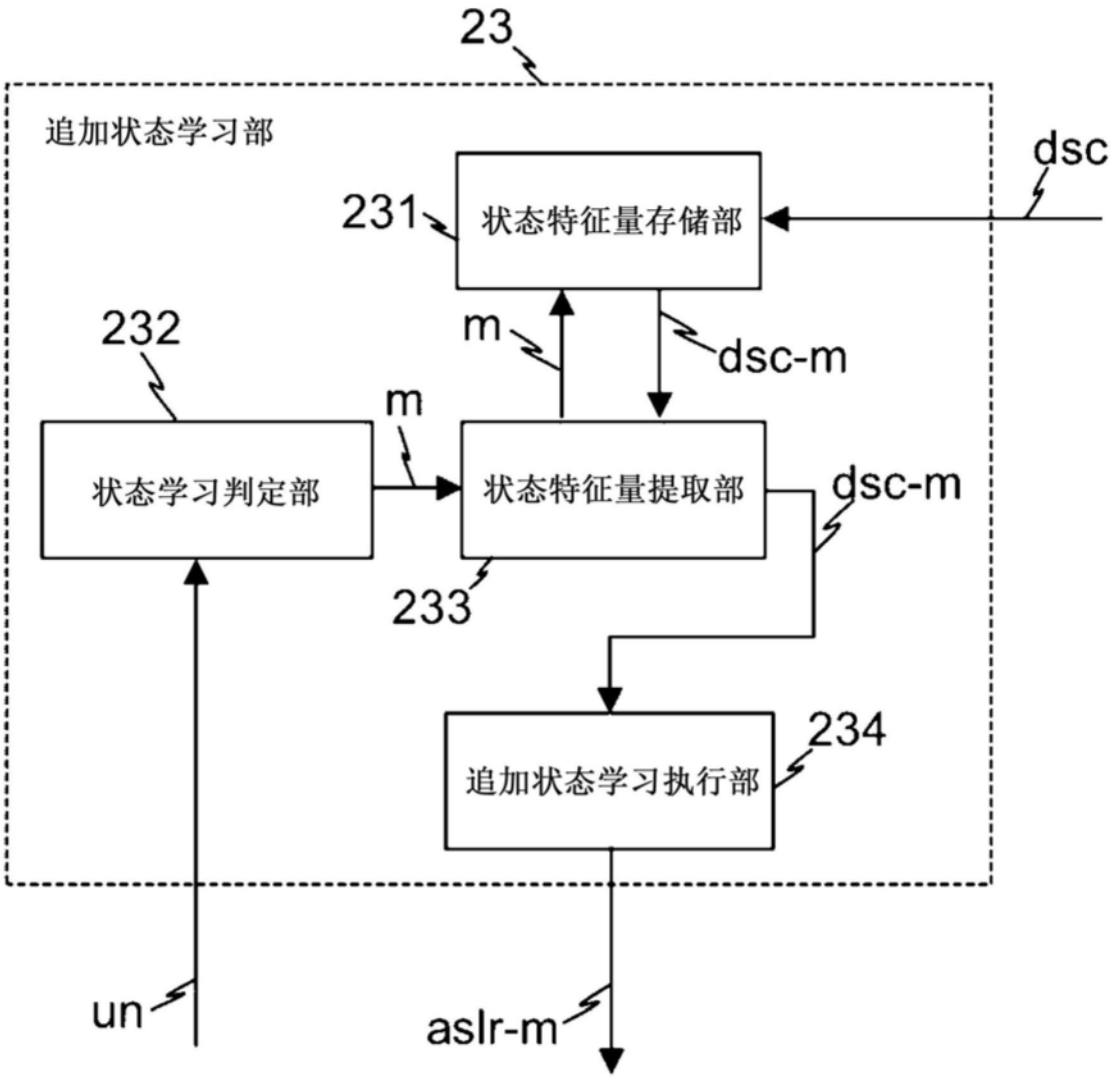

23
追加状态学习部
dsc
231
状态特征量存储部
232
m
dsc-m
m
状态学习判定部
状态特征量提取部
dsc-m
233
234
追加状态学习执行部
un
aslr-m

图17

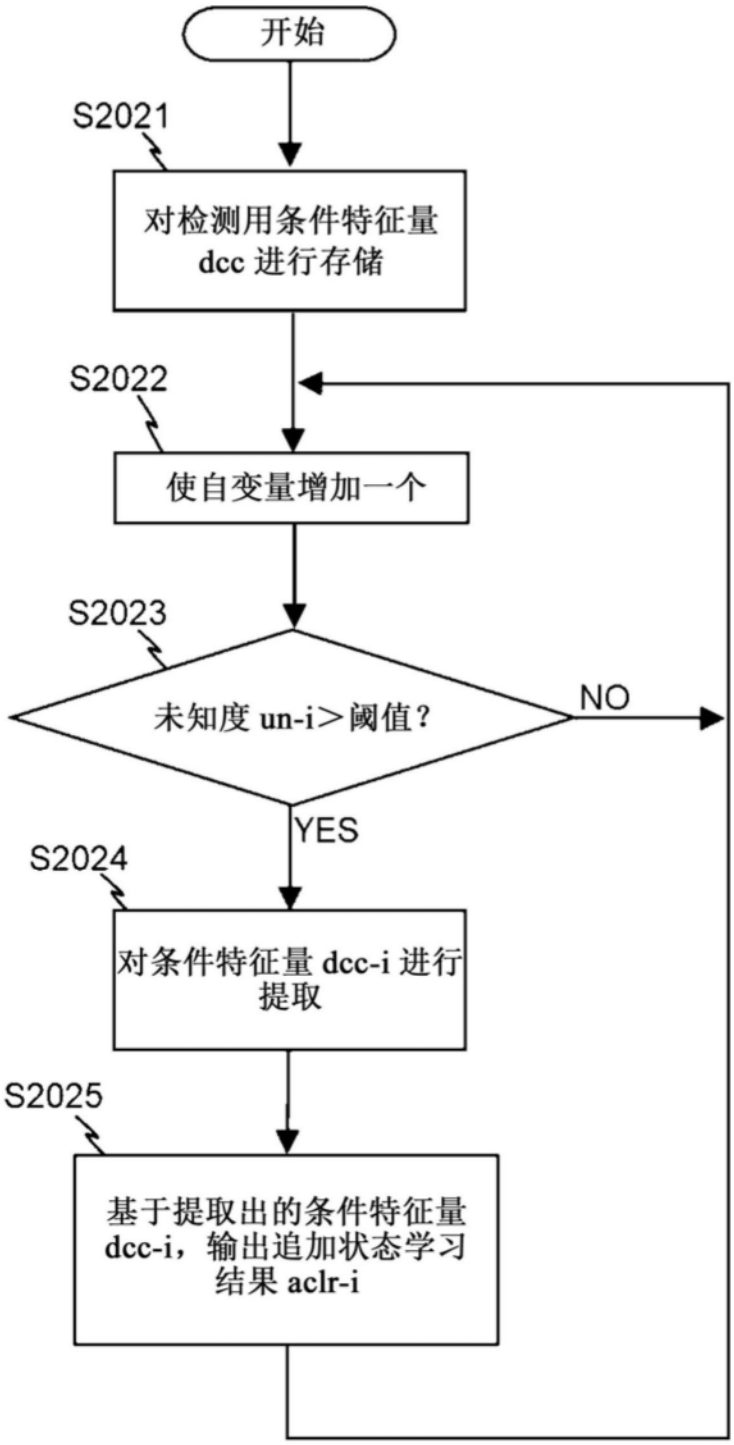

开始
S2021
对检测用条件特征量dcc进行存储
S2022
使自变量增加一个
S2023
未知度un-i＞阈值？
NO
YES
S2024
对条件特征量dcc-i进行提取
S2025
基于提取出的条件特征量dcc-i，输出追加状态学习结果aclr-i

图18

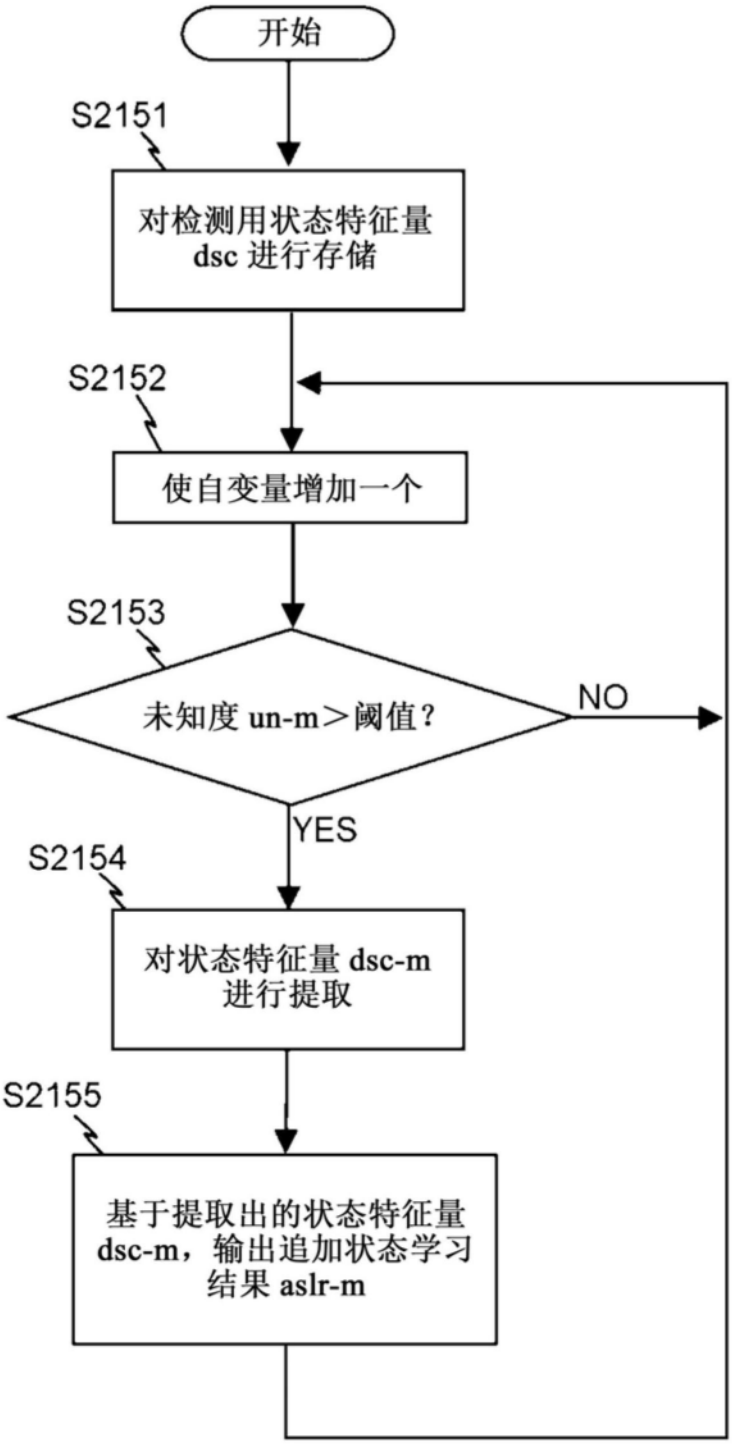

开始
S2151
对检测用状态特征量 dsc 进行存储
S2152
使自变量增加一个
S2153
未知度 un-m＞阈值？
NO
YES
S2154
对状态特征量 dsc-m 进行提取
S2155
基于提取出的状态特征量 dsc-m，输出追加状态学习结果 aslr-m

图19

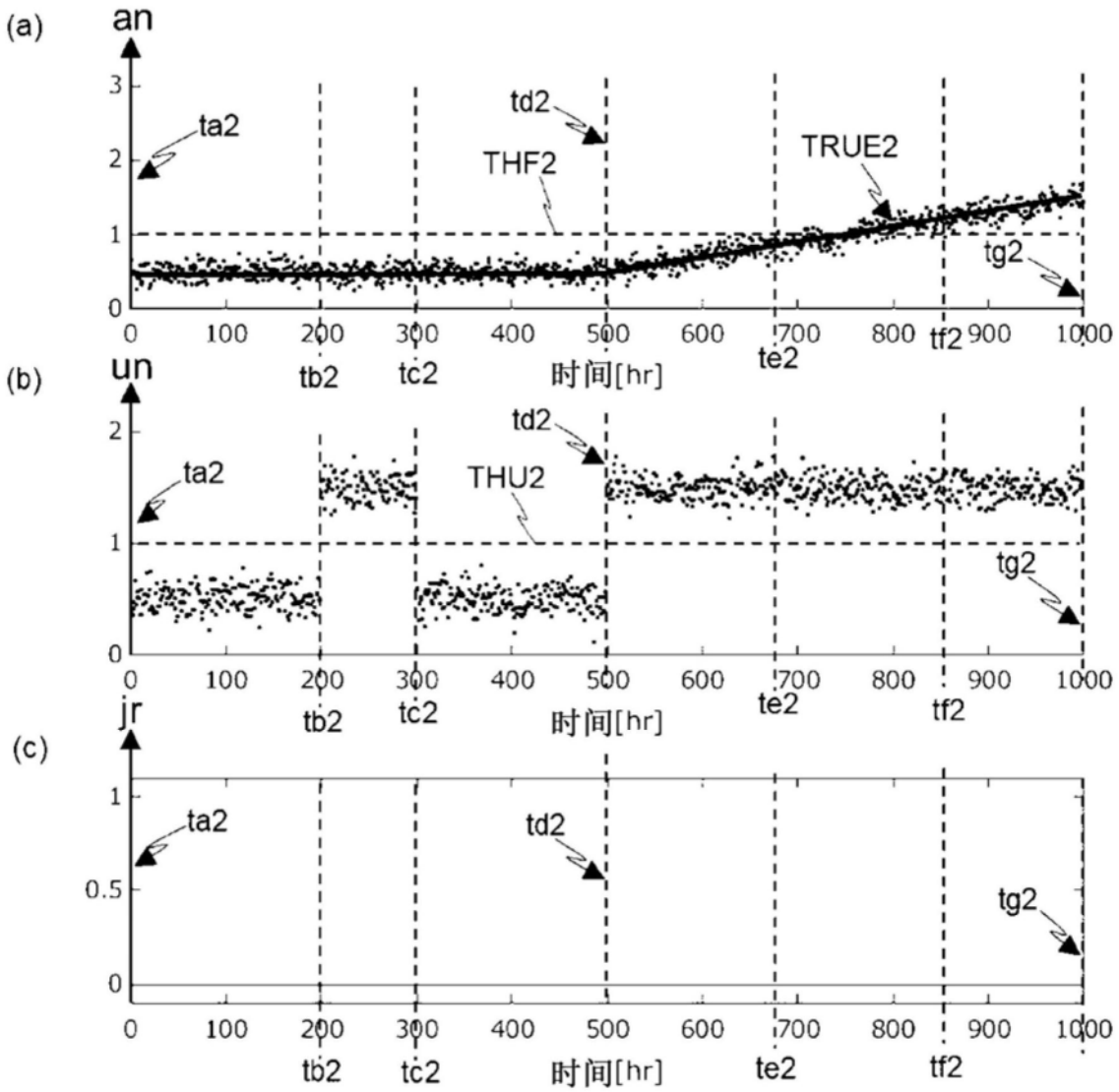

(a)
an
ta2
td2
THF2
TRUE2
tg2
tb2
tc2
时间[hr]
te2
tf2
(b)
un
ta2
td2
THU2
tg2
tb2
tc2
时间[hr]
te2
tf2
(c)
jr
ta2
td2
tg2
tb2
tc2
时间[hr]
te2
tf2

图20

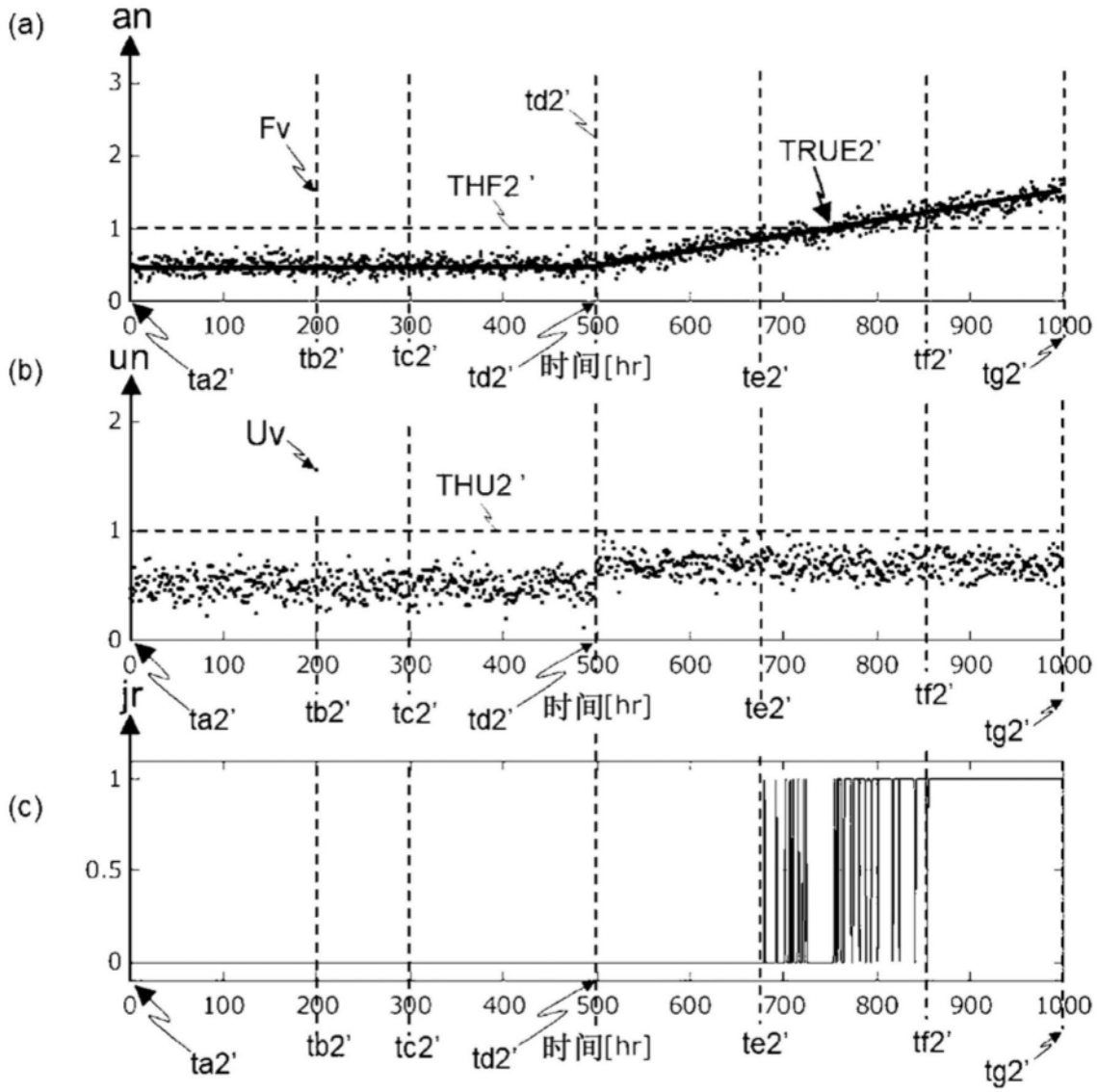

(a)
an
Fv
td2'
THF2 '
TRUE2'
ta2'
tb2'
tc2'
td2'
时间[hr]
te2'
tf2'
tg2'
(b)
un
Uv
THU2 '
jr
(c)

图21