



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119213374 A

(43) 申请公布日 2024. 12. 27

(21) 申请号 202280096195.7

(22) 申请日 2022.05.23

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2024.11.18(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2022/021128 2022.05.23(87) PCT国际申请的公布数据
W02023/228253 JA 2023.11.30(71) 申请人 三菱电机株式会社
地址 日本

(72) 发明人 池田辽辅 高币一树

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所
有限公司 11038
专利代理师 朱龙

(51) Int.Cl.

G05B 19/4155 (2006.01)

B23Q 15/00 (2006.01)

B23Q 17/00 (2006.01)

G05B 19/404 (2006.01)

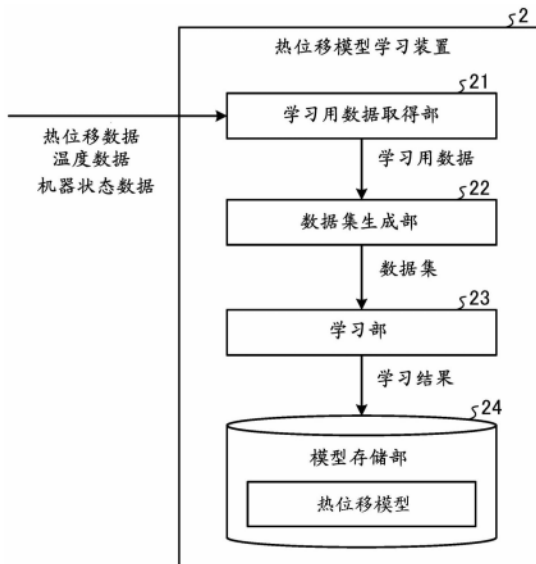
权利要求书3页 说明书14页 附图15页

(54) 发明名称

热位移模型学习装置、热位移估计装置、加工系统及加工方法

(57) 摘要

热位移模型学习装置 (2) 的特征在于,具备:学习用数据取得部 (21),取得学习用数据,所述学习用数据将输入数据和热位移数据按时间建立对应,所述输入数据至少包含表示机床的时间序列的温度的温度数据,所述热位移数据表示机床的时间序列的热位移量;数据集生成部 (22),生成从学习用数据中提取出所述学习用数据的一部分而得到的数据集;以及学习部 (23),使用数据集,生成用于根据机床的输入数据估计热位移量的已学习的热位移模型,数据集生成部 (22) 生成数据集,使得在多个数据集至少两个数据集中,提取的时间区间的时间长度彼此不同。



1. 一种热位移模型学习装置,其特征在于,具备:

学习用数据取得部,取得学习用数据,所述学习用数据将输入数据和热位移数据按时间建立对应,所述输入数据至少包含表示机床的时间序列的温度的温度数据,所述热位移数据表示所述机床的时间序列的热位移量;

数据集生成部,生成从所述学习用数据中提取出所述学习用数据的一部分而得到的数据集;以及

学习部,使用所述数据集生成已学习的热位移模型,所述已学习的热位移模型用于根据机床的所述输入数据估计所述热位移量,

所述数据集生成部生成所述数据集,使得在多个所述数据集中的至少两个所述数据集中,提取的时间区间的时间长度彼此不同。

2. 根据权利要求1所述的热位移模型学习装置,其特征在于,

除了所述温度数据之外,所述输入数据还包含表示所述机床的运行状态的机器状态数据。

3. 根据权利要求1或2所述的热位移模型学习装置,其特征在于,

所述学习部优化所述热位移模型的内部参数,以使热位移量的估计值与对应于输入到所述热位移模型的所述输入数据的所述热位移数据之差最小化,从而生成已学习的所述热位移模型,所述热位移量的估计值是输入了包含在所述数据集中的所述输入数据的情况下的热位移模型的输出。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的热位移模型学习装置,其特征在于,还具备:

推理用数据取得部,取得推理用数据,所述推理用数据是至少包含表示所述机床的时间序列的温度的温度数据的用于推理的输入数据;以及

推理部,使用所述热位移模型,根据从所述推理用数据取得部输入的所述推理用数据,输出所述机床的所述热位移量的估计值。

5. 根据权利要求4所述的热位移模型学习装置,其特征在于,

除了所述温度数据之外,所述推理用数据还包含表示所述机床的运行状态的机器状态数据。

6. 根据权利要求2或5所述的热位移模型学习装置,其特征在于,

所述机器状态数据表示调整所述机床的温度的周边设备的工作状态以及所述机床中配备的致动器的动作状态。

7. 根据权利要求1至3中任一项所述的热位移模型学习装置,其特征在于,

所述学习用数据取得部从多台所述机床取得所述学习用数据,

所述学习部按每个所述机床生成所述热位移模型。

8. 根据权利要求1至3中任一项所述的热位移模型学习装置,其特征在于,

所述学习用数据取得部从多台所述机床取得所述学习用数据,

所述学习部按每个所述机床生成所述热位移模型,并且将所生成的所述热位移模型与特征信息建立对应并进行存储,所述特征信息是表示所述机床的特征的信息,至少包含作为为了生成所述热位移模型而使用的所述学习用数据的取得源的所述机床的型号。

9. 根据权利要求8所述的热位移模型学习装置,其特征在于,还具备:

推理用数据取得部,取得推理用数据,所述推理用数据是至少包含表示推理对象的机

床的时间序列的温度的温度数据的用于推理的输入数据;以及

推理部,使用多个所述热位移模型中的与所述推理对象的机床相同型号的所述热位移模型,根据从所述推理用数据取得部输入的所述推理用数据来输出所述推理对象的机床的所述热位移量的估计值。

10.根据权利要求9所述的热位移模型学习装置,其特征在于,

除了所述型号之外,所述特征信息还包含表示所述机床的动作条件的信息,

所述推理部使用基于从与所述推理对象的机床相同型号的机床即从所述动作条件与所述推理对象的机床类似的机床取得的所述学习用数据而生成的所述热位移模型,输出所述推理对象的机床的所述热位移量的估计值。

11.一种热位移估计装置,其特征在于,具备:

热位移模型取得部,取得由权利要求1所述的热位移模型学习装置完成了学习的所述热位移模型;

推理用数据取得部,取得估计用数据,所述估计用数据是至少包含表示所述机床的时间序列的温度的温度数据的用于推理的输入数据;以及

推理部,使用由所述热位移模型取得部取得的所述热位移模型,根据从所述推理用数据取得部输入的所述输入数据来输出所述热位移量的估计值。

12.一种加工系统,其特征在于,具备:

权利要求1至10中任一项所述的热位移模型学习装置,或权利要求11所述的热位移估计装置;以及

所述机床,

所述机床具备:

刀具;

主轴,使所述刀具或加工对象物旋转;以及

进给轴,使所述刀具和所述加工对象物之间的相对位置变化,

通过所述刀具对所述加工对象物进行去除加工。

13.一种加工方法,是使用机床的加工方法,所述机床具备刀具、使所述刀具或加工对象物旋转的主轴、以及使所述刀具和所述加工对象物之间的相对位置变化的进给轴,通过所述刀具对所述加工对象物进行去除加工,所述加工方法的特征在于,包括:

取得学习用数据的步骤,所述学习用数据将输入数据和热位移数据按时间建立对应,所述输入数据至少包含表示所述机床的时间序列的温度的温度数据,所述热位移数据表示所述机床的时间序列的热位移量;

生成从所述学习用数据中提取出所述学习用数据的一部分而得到的数据集的步骤;

使用所述数据集来生成已学习的热位移模型的步骤,所述已学习的热位移模型用于根据机床的所述输入数据估计所述热位移量;

使用已学习的所述热位移模型,根据至少包含所述温度数据的用于推理的输入数据来估计所述热位移量的步骤;

使用所述热位移量的估计值,修正驱动所述机床的所述主轴的致动器和驱动所述进给轴的致动器中的至少一方的操作量的步骤;以及

使用修正后的所述操作量,进行所述去除加工的步骤,

在生成所述数据集的步骤中,生成所述数据集,使得在多个所述数据集中的至少两个所述数据集中,提取的时间区间的时间长度彼此不同。

热位移模型学习装置、热位移估计装置、加工系统及加工方法

技术领域

[0001] 本公开涉及一种用于修正机床的热位移的热位移模型学习装置、热位移估计装置、加工系统以及加工方法。

背景技术

[0002] 机床是驱动进给轴而使加工对象物与刀具的相对位置变化从而将称为工件的加工对象物去除加工成为所希望的形状的加工装置。以铣床、车床等为代表的机床将刀具或加工对象物安装于主轴,在使主轴旋转的状态下进行加工。机床具备用于驱动进给轴和主轴的致动器、以及产生用于驱动致动器的电力的伺服放大器等。具备致动器的机床通过位置检测器测定进给轴的位置,并通过进行控制以使实际的位置与指令的位置一致来进行定位。

[0003] 在机床加工工件时,在机床中会产生热。例如,致动器和伺服放大器在将电力转换为动力时产生热。另外,在切削、研磨之类的加工中,伴随着材料的变形、摩擦等产生热。另外,在使进给轴动作时产生的摩擦也产生热。当这些热传递到以立柱、床身为代表的机床的结构物时,机床的机械结构的温度上升,发生热膨胀。这种由热膨胀引起的结构物的变形被称为热位移。另外,也有结构物的温度不均等变化的情况,在这种情况下,根据结构物中的位置而产生不同的热位移,从而有时会产生结构物的倾倒、歪斜、扭曲等单纯伸缩之外的位移。已知这种热位移会使机床的定位精度下降,因此有时刀具与工件的相对位置会产生误差,加工精度下降。

[0004] 专利文献1公开了一种技术,该技术能够使用在机床的加工期间取得的测算数据和热位移量的实测值,通过机器学习,根据测算数据来估计热位移量。具体地,专利文献1中公开的机器学习装置具备:测算数据取得部,取得测算数据组;热位移量取得部,取得热位移量的实测值;存储部,将测算数据组作为输入数据并且将热位移量的实测值作为标签相互关联,作为训练数据进行存储;以及计算式学习部,通过使用训练数据进行机器学习,设定基于测算数据组算出热位移量的热位移量预测计算式。存储部将测算数据组作为训练数据在规定的期间进行存储。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1:日本特开2019-111648号公报

发明内容

[0008] 发明要解决的问题

[0009] 然而,根据上述现有技术,存在以下问题:在存储部存储训练数据的期间对于机床中产生的热位移不适当的情况下,机床中产生的热位移量的估计精度可能降低。例如,某个热源产生的热引起热位移之前的时间受到与其他热源的位置关系、周围环境等的影响。因此,在存储的期间过短的情况下,在学习时,有时影响热位移的测算数据未被包含在所存储

的训练数据中,热位移量的估计精度降低。另外,在存储的期间过长的情况下,在学习时,由于错误地学习包含在该数据中并对热位移贡献少的测算数据,有时热位移量的估计精度降低。

[0010] 本公开是鉴于上述情况而完成的,其目的在于得到一种能够提高热位移量的估计精度的热位移模型学习装置。

[0011] 用于解决问题的手段

[0012] 为了解决上述问题并实现目的,本公开的热位移模型学习装置的特征在于,具备:学习用数据取得部,取得学习用数据,所述学习用数据将输入数据和热位移数据按时间建立对应,所述输入数据至少包含表示机床的时间序列的温度的温度数据,所述热位移数据表示机床的时间序列的热位移量;数据集生成部,生成从学习用数据中提取出学习用数据的一部分而得到的数据集;以及学习部,使用数据集,生成用于根据机床的输入数据估计热位移量的已学习的热位移模型,数据集生成部生成数据集,使得在多个数据集中的至少两个数据集中,提取的时间区间的时间长度彼此不同。

[0013] 发明的效果

[0014] 根据本公开,起到能够提高热位移量的估计精度的效果。

附图说明

[0015] 图1是表示实施方式1的加工系统的结构的图。

[0016] 图2是表示实施方式1的机床的功能结构的图。

[0017] 图3是表示实施方式1的机床中的温度传感器的设置位置的一例的图。

[0018] 图4是机床的运行状态的变化的一例的说明图。

[0019] 图5是表示实施方式1的热位移模型学习装置的功能结构的图。

[0020] 图6是数据集的生成方法的第一例的说明图。

[0021] 图7是数据集的生成方法的第二例的说明图。

[0022] 图8是数据集的生成方法的第三例的说明图。

[0023] 图9是热位移模型的学习方法的说明图。

[0024] 图10是神经网络的说明图。

[0025] 图11是用于说明图5所示的热位移模型学习装置的动作的流程图。

[0026] 图12是表示实施方式2的加工系统的结构的图。

[0027] 图13是表示实施方式2的机床的功能结构的图。

[0028] 图14是表示实施方式2的热位移估计装置的功能结构的图。

[0029] 图15是用于说明图12所示的加工系统的动作的流程图。

[0030] 图16是表示硬件结构的一例的图。

[0031] 图17是表示实施方式2的变形例的热位移模型学习装置的功能结构的图。

[0032] 图18是表示实施方式3的加工系统的结构的图。

[0033] 图19是表示实施方式4的加工系统的结构的图。

具体实施方式

[0034] 以下,基于附图,对本公开的实施方式的热位移模型学习装置、热位移估计装置、

加工系统以及加工方法进行详细说明。

[0035] 实施方式1.

[0036] 图1是表示实施方式1的加工系统100-1的结构的图。加工系统100-1具有机床1和热位移模型学习装置2。机床1是通过刀具对加工对象物进行去除加工的加工装置。热位移模型学习装置2基于从机床1取得的热位移数据、温度数据以及机器状态数据,学习用于根据输入数据估计热位移量的热位移模型。

[0037] 图2是表示实施方式1的机床1的功能结构的图。机床1具有:进给轴11,设置有加工工件W的刀具T,使刀具T和工件W之间的相对位置变化;进给轴电机12,作为驱动进给轴11的致动器;主轴13,使刀具T或工件W旋转;主轴电机14,作为驱动主轴13的致动器;控制装置15,控制机床1;周边设备16,作为用于抑制致动器驱动时的发热的冷却设备;温度传感器TS,用于测定机床1的温度;以及位移传感器DS,测定刀具T和工件W之间的相对位置。

[0038] 位移传感器DS设置于机床1,以能够检测刀具T和工件W之间的相对位置。位移传感器DS测定相对位置,并将测定出的相对位置作为热位移数据输出至热位移模型学习装置2。位移传感器DS是能够检测至少一个轴向方向上的位移的传感器即可,例如能够使用三角测算方式的激光传感器、TOF(Time Of Flight,飞行时间)方式的激光传感器。另外,也可以采用设置正交的多个位移传感器来检测多个轴向方向的位移的结构。

[0039] 温度传感器TS设置于机床1。温度传感器TS检测温度,并将检测到的温度作为温度数据输出至热位移模型学习装置2。图2中图示了一个温度传感器TS,但优选加工系统100-1具备多个温度传感器TS。优选温度传感器TS设置在估计为温度变化大的场所、估计为对热位移造成的影响大的场所。此外,优选在机床1的外部也设置温度传感器TS,以使温度传感器TS能够测定设置机床1的空间的温度。

[0040] 图3是表示实施方式1的机床1中温度传感器TS的设置位置的一例的图。图3所示的机床1是铣床型的加工装置,在床身17上设置有Y轴的进给轴电机12和工作台TA,在工作台TA上载置工件W。此外,机床1在立柱18上设置有X轴和Z轴的进给轴电机12、主轴13和主轴电机14。图3的黑圆示出了温度传感器TS的设置位置的一例。如上所述,温度传感器TS的设置场所可以是估计为温度变化大的场所、以及估计为对热位移造成的影响大的场所。作为估计为温度变化大的场所的一例,可举出用于使X、Y、Z轴驱动的进给轴电机12以及使主轴13旋转的主轴电机14等驱动机构。作为估计为对热位移造成的影响大的场所的一例,可举出床身17、立柱18、进给螺杆19之类的机床1的结构物。温度传感器TS可以设置在结构物的顶点、位于多个顶点之间的点、以及内侧等。

[0041] 返回图2的说明。周边设备16是冷却设备,为了冷却机床1并防止热位移而设置。周边设备16在机床1的结构物、工件W以及刀具T与位于机床1外部的外部空气之间进行热交换。例如,周边设备16包括射出用于冷却工件W的切削油的冷却(Coolant)装置、使对设置于机床1的热交换管进行冷却的制冷剂循环的泵等。周边设备16将周边设备16的动作信息输出至控制装置15。

[0042] 周边设备16的动作信息至少包含表示有无周边设备16的动作的工作状态。除了工作状态之外,周边设备16的动作信息还可以包含消耗电力、周边设备16的动力等。这里,周边设备16的动作信息中包含的工作状态能够用数值来表示。例如,工作状态“1”表示“周边设备16正在动作的状态”,工作状态“0”表示“周边设备16停止的状态”。

[0043] 加工程序是为了使机床1的进给轴11、主轴13以及周边设备16进行期望的动作而向控制装置15发出的一系列命令语句。具体地,加工程序能够包含表示进给轴11的位置指令、进给轴11的速度指令、主轴13的转速指令、周边设备16的工作及停止指令等的信息。

[0044] 控制装置15读入加工程序,并对加工程序中记述的指令进行解析。此外,控制装置15生成对进给轴11的指令位置和指令速度,以使进给轴11进行期望的动作,并对进给轴电机12赋予操作量。另外,控制装置15生成对主轴13的指令速度以使主轴13进行期望的动作,并对主轴电机14赋予操作量。

[0045] 此外,控制装置15将表示机床1的运行状态的机器状态数据输出至热位移模型学习装置2。机器状态数据是表示机床1的运行状态的数据,例如,表示调整机床1的温度的周边设备16的工作状态和机床1所具备的致动器的动作状态。具体地,机器状态数据至少包含对进给轴11的指令位置、对进给轴11的指令速度、对主轴13的指令速度以及周边设备16的动作信息中的一种以上的信息。

[0046] 另外,当机床1上设置有位置检测器的情况下,控制装置15可以进行反馈控制,以使由位置检测器检测到的实际位置与指令位置之间的差值、或实际速度与指令速度之间的差值为0。在这种情况下,机器状态数据能够包含进给轴11的实际位置、进给轴11的实际速度和主轴13的实际速度中的一种以上的信息。

[0047] 这里,对机床1的内外产生的热以及热的交换进行说明。控制装置15驱动进给轴电机12和主轴电机14时所提供的电能的一部分成为损耗热。此外,在进给轴11和主轴13的动作时,由于机械摩擦而产生损耗热。这些损耗热具有使机床1的结构物的温度上升的作用,但同时也被周边设备16冷却。另外,在刀具T和工件W之间进行加工时产生加工热。此外,当机床1的主体与周围环境之间存在温度差时,机床1的结构物的温度根据该温差随时间变化。在上述机床1的内外产生的发热、散热、强制冷却引起结构物的温度变化,从而结构物产生热膨胀和热应变。作为结果,这种结构物的热变化成为刀具T和工件W之间的加工误差。在本公开中,由于机床1的热变化而产生的刀具T和工件W之间的加工误差被称为热位移。

[0048] 接下来,对机床的运行状态进行说明。图4是机床1的运行状态的变化的一例的说明图。图4示出了机床1接通电源并按照加工程序进行运行,到切断电源为止的运行状态的变化。

[0049] 图4示出了作为机床1的构成元素的主轴13、进给轴11、以及周边设备16各自的工作状态和加工程序执行状态随时间的推移的例子。图4的横轴表示时间,t0至t9表示时刻。从时刻t0到时刻t9的细节将后述。加工程序执行状态示出了机床1是正在进行程序运行还是处于停止。程序运行是指机床1按照加工程序中记载的指令进行动作。机床1进行用于某个加工的程序运行,当程序运行结束时,由作业者进行工件W的更换等作业。之后,按照进行用于下一加工的程序运行这样的流程进行作业。

[0050] 在图4所示的例子中,在时刻t0接通机床1的电源,在时刻t9切断机床1的电源。从时刻t0到时刻t1之间表示开始基于加工程序的运行之前的待机状态。另外,从时刻t8到时刻t9之间表示从基于加工程序的运行结束起至机床1的电源被切断为止。

[0051] 另外,如加工程序执行状态所示,时刻t1到时刻t5之间进行基于加工程序#1的程序运行,时刻t6到时刻t8之间进行基于加工程序#2的程序运行。当执行这些加工程序时,作为主轴13的转速的主轴速度、作为进给轴11的速度的进给速度以及周边设备16的工作状态

随时间变化。

[0052] 图4的“主轴速度”表示主轴13的转速。这里,在图4中,将主轴13以每分钟1000转进行旋转的状态表示为“S1000”。如图4的主轴速度所示,主轴电机14在时刻t1到时刻t4之间以每分钟1000转的转速旋转,在时刻t4到时刻t5之间以每分钟3000转的转速旋转,在时刻t6到时刻t8之间以每分钟3000转的转速旋转。当主轴13旋转时,从主轴电机14和主轴13的结构产生热。主轴速度越高,主轴13的发热量越大。由于主轴速度根据加工程序的命令而变化,因此主轴13的发热量也根据加工程序而变化。

[0053] 图4的“进给速度”示出了进给轴11的移动速度。这里,在图4中,将进给轴11每分钟动作100mm的状态表示为“F100”。如图4的进给速度所示,进给轴电机12在时刻t1到时刻t3之间以使进给轴11每分钟动作100mm的转速旋转,在时刻t3到时刻t5之间以使进给轴11每分钟动作300mm的转速旋转,在时刻t6到时刻t8之间以使进给轴11动作300mm的转速旋转。当进给轴11动作时,进给轴电机12和进给轴11的结构产生热。进给速度越快,发热量越大。由于进给速度根据加工程序的命令而变化,因此进给轴11的发热量也根据加工程序而变化。

[0054] 图4的“周边设备的工作状态”表示用于冷却机床1的周边设备16是在工作期间还是在停止期间。周边设备16在加工期间并不总是工作,而是按照加工程序中记载的命令来工作或停止。在图4的周边设备的工作状态的例子中,在时刻t2到时刻t5之间周边设备16工作,在时刻t5到时刻t7之间周边设备16停止,在时刻t7到时刻t8之间周边设备16工作。当周边设备16工作时,热从机床1向机床1的外部环境移动,机床1被冷却。由于周边设备16的工作状态根据加工程序的命令而变化,因此基于周边设备16的冷却的状态也根据加工程序而变化。

[0055] 如使用图4所说明的,由于在进给轴11和主轴13上产生的热和基于周边设备16的冷却的状态不恒定,因此机床1的热位移量也根据加工程序而随时间变化。

[0056] 此外,还存在如时刻t5和时刻t6之间那样的不实施基于加工程序的运行的时间。在时刻t5和时刻t6之间,例如当作业者进行工件W的拆装或者实施机床1的机内的清扫时,有时机床1因换产调整作业而停止。在这样的机床1停止的情况下,由于主轴13、进给轴11和周边设备16的动作状况与程序运行中不同,因此产生的热位移量也表现出与程序运行中不同的倾向。

[0057] 如以上说明的那样,进给轴11和主轴13的速度以及周边设备16的工作状态对热位移的产生造成影响。在本实施方式中,将时刻t0到时刻t1的区间、时刻t1到时刻t2的区间这样的机床1的动作状态不同的各区间定义为运行动作单位。运行动作单位的时间长度根据加工程序中记载的命令的定时而变化,因此是可变长度。

[0058] 另外,虽然在图4中示出了机床1运行两种不同的加工程序的例子,但至少执行加工程序1次以上即可,加工程序的种类和执行次数不限于该例。

[0059] 另外,机床1也可以在切断电源后再次接通电源来运行加工程序。在这种情况下,将从切断电源到再次接通电源的时间区间定义为一个运行动作单位。

[0060] 接下来,对热位移模型学习装置2的功能结构进行说明。图5是表示实施方式1的热位移模型学习装置2的功能结构的图。热位移模型学习装置2使用机床1在运行中输出的数据来学习热位移模型,该热位移模型用于根据至少包含温度数据的输入数据来估计热位移

量。

[0061] 热位移模型学习装置2具有学习用数据取得部21、数据集生成部22、学习部23以及模型存储部24。

[0062] 学习用数据取得部21取得机床1输出的热位移数据、温度数据和机器状态数据,并且生成与所取得的数据在时间上同步的学习用数据。这里,温度数据和机器状态数据是包含在输入数据中的信息的一例。输入数据至少包含温度数据。学习用数据是以恒定的时间周期排列热位移数据、温度数据和机器状态数据的时间序列数据。这里,恒定的时间周期表示学习用数据取得部21中预先设定的采样周期。学习用数据取得部21从机床1接收与至少一个区间以上的运行动作单位相对应的时间区间的数据,生成学习用数据。学习用数据取得部21将生成的学习用数据输出至数据集生成部22。

[0063] 数据集生成部22基于机床1的运行状态检测特定的时刻,以检测到的时刻为基准,从学习用数据中提取热位移数据、温度数据和机器状态数据,并将提取出的数据汇总为一组数据集,将多组数据集向学习部23输出。在下文中,将数据集生成部22检测的特定的时刻称为提取基准时刻。使用图4说明提取基准时刻。数据集生成部22将时刻 $t_1 \sim t_8$ 的各时刻作为机床1的运行状态发生了变化的时刻进行检测。另外,在图4中,将提取基准时刻设为主轴速度、进给速度、周边设备16的工作状态的变化以及加工程序的开始和结束中的某一个发生了变化的时刻,但是提取基准时刻不限于这些例子。例如,子程序的调用和结束的定时、更换刀具T的定时等也能够视为机床1的运行状态的变化。另外,在加工程序预先指示了运行状态的变化定时的情况下,数据集生成部22可以读取该信息。另外,数据集生成部22可以在时间上插入到两个提取基准时刻之间地添加设定新的提取基准时刻。

[0064] 数据集生成部22以提取基准时刻为基准,从学习用数据中提取学习用数据的一部分并生成数据集。

[0065] 图6是数据集的生成方法的第一例的说明图。使用图6,说明数据集生成部22根据学习用数据生成数据集的方法的第一例。图6示出了在提取基准时刻 t_1 是数据提取的初期基准时刻的情况下从学习用数据提取的数据集 $\#a_1 \sim \#a_n$ 。输入数据 $\#a_1 \sim \#a_n$ 是将提取基准时刻 t_1 设为初期时刻的温度数据和机器状态数据。当将第 i 个输入数据设为输入数据 $\#a_i$ 时,输入数据 $\#a_i$ 的时间区间从输入数据 $\#a_{i-1}$ 的时间区间的末端起在时间上向后方延长预定的时间延长宽度 T_1 。输入数据 $\#a_2$ 的时间长度比输入数据 $\#a_1$ 的时间长度长了时间延长宽度 T_1 。另外,输入数据 $\#a_3$ 的时间长度比输入数据 $\#a_2$ 的时间长度长了时间延长宽度 T_1 。即,在将输入数据 $\#a_1$ 的时间宽度设为 T 的情况下,输入数据 $\#a_i$ 的时间宽度为“ $T + (i-1)T_1$ ”。输入数据 $\#a_1 \sim \#a_n$ 是以提取基准时刻 t_1 为始端的各个时间宽度“ $T + (i-1)T_1$ ”的时间区间的数据。训练数据 $\#a_1 \sim \#a_n$ 是输入数据 $\#a_1 \sim \#a_n$ 各自的末端时刻的热位移数据。如图6所示,数据集生成部22从一个提取基准时刻 t_1 生成多组数据集 $\#a_1 \sim \#a_n$ 。通过以上的处理,数据集生成部22能够生成数据集,使得从一个提取基准时刻 t_1 生成的多个数据集 $\#a_1 \sim \#a_n$ 各自的提取的时间区间的长度不同。数据集生成部22针对包含在学习数据中的多个提取基准时刻分别进行上述处理。另外,如数据集 $\#a_n$ 那样,末端时刻可以超过作为提取基准时刻 t_1 的下一个提取基准时刻的 t_2 。

[0066] 图7是数据集的生成方法的第二例的说明图。使用图7说明数据集生成部22根据学习用数据生成数据集的方法的第二例。图7示出了在提取基准时刻 t_2 是数据提取的末端基

准时刻的情况下从学习用数据提取出的数据集 $\#b1 \sim \#bn$ 。输入数据 $\#b1 \sim \#bn$ 是以提取基准时刻 $t2$ 为末端时刻的温度数据和机器状态数据。当将第 i 个输入数据设为输入数据 $\#bi$ 时,输入数据 $\#bi$ 的时间区间从输入数据 $\#bi-1$ 的时间区间的始端起在时间上向后方延长预定的时间延长宽度 $T1$ 。与第一例同样地,在将输入数据 $\#b1$ 的时间宽度设为 T 的情况下,输入数据 $\#bi$ 的时间宽度为“ $T+(i-1)T1$ ”。输入数据 $\#b1 \sim \#bn$ 是以提取基准时刻 $t2$ 为末端的各个时间宽度“ $T+(i-1)T1$ ”的时间区间的数据。训练数据 $\#b1 \sim \#bn$ 是输入数据 $\#b1 \sim \#bn$ 各自的末端时刻的热位移数据。如图7所示,数据集生成部22从一个提取基准时刻 $t2$ 生成多组数据集 $\#b1 \sim \#bn$ 。通过以上的处理,数据集生成部22能够生成数据集,使得从一个提取基准时刻 $t2$ 生成的多个数据集 $\#b1 \sim \#bn$ 各自的提取的时间区间的长度不同。数据集生成部22对包含在学习数据中的多个提取基准时刻分别进行上述处理。另外,如数据集 $\#bn$ 所示,初期时刻可以回溯至比作为提取基准时刻 $t2$ 之前的提取基准时刻的 $t1$ 更早的时刻。

[0067] 图8是数据集的生成方法的第三例的说明图。在第三例中,数据集生成部22生成数据集,使得包含在所有数据集中的数据的集合均匀地包含取得数据的整体。具体而言,数据集生成部22通过将从提取基准时刻 $t1$ 到提取基准时刻 $t1$ 的下一个提取基准时刻 $t2$ 之间等间隔地分割为 n 个,生成数据集。 n 是自然数。图8示出了在提取基准时刻 $t1$ 为数据提取的初期基准时刻的情况下从提取基准时刻 $t1$ 与末端的提取基准时刻 $t2$ 之间的学习用数据中提取的数据集 $\#c1 \sim \#cn$ 。输入数据 $\#c1$ 是以提取基准时刻 $t1$ 为初期时刻并且以时刻 $t1+(t2-t1)/n$ 为末端时刻的温度数据和机器状态数据。此外,输入数据 $\#c2$ 是以时刻 $t1+(t2-t1)/n$ 为初期时刻并且以时刻 $t1+2 \times (t2-t1)/n$ 为末端时刻的温度数据和机器状态数据。输入数据 $\#ci$ 是以时刻 $t1+(i-1) \times (t2-t1)/n$ 为初期时刻并且以时刻 $t1+i \times (t2-t1)/n$ 为末端时刻的温度数据和机器状态数据。训练数据 $\#c1 \sim \#cn$ 是输入数据 $\#c1 \sim \#cn$ 各自的末端时刻的热位移数据。通过以上处理,数据集生成部22能够以从提取基准时刻 $t1$ 到时刻 $t2$ 之间没有重复且均匀地包含在输入数据中的方式生成数据集。数据集生成部22对包含在学习数据中的多个提取基准时刻分别执行上述处理。另外,在第三例中,对于在提取基准时刻 $t1$ 到 $t2$ 之间生成的数据集 $\#c1 \sim \#cn$,提取的时间区间的长度是均匀的。然而,如图4所示,相邻的提取基准时刻之间的时间长度并不均匀,数据集生成部22生成数据集时提取的时间区间的长度取决于相邻的两个提取基准时刻之间的时间长度来确定。因此,通过对所有提取基准时刻分别进行上述处理,作为整体,生成提取的时间区间的长度不同的多个数据集。

[0068] 在上述数据集的生成方法的第一例~第三例中,训练数据 $\#a1 \sim \#an$ 、 $\#b1 \sim \#bn$ 、 $\#c1 \sim \#cn$ 被设为与输入数据 $\#a1 \sim \#an$ 、 $\#b1 \sim \#bn$ 、 $\#c1 \sim \#cn$ 的末端时刻对应的一个时刻的热位移数据,但是训练数据的时间长度不限定于一个时刻,也可以是时间序列数据。例如,训练数据 $\#a1 \sim \#an$ 、 $\#b1 \sim \#bn$ 、 $\#c1 \sim \#cn$ 可以是具有与输入数据 $\#a1 \sim \#an$ 、 $\#b1 \sim \#bn$ 、 $\#c1 \sim \#cn$ 相同的时间长度的时间序列数据。

[0069] 另外,在上述数据集的生成方法的第一例中,从输入数据 $\#a1$ 到输入数据 $\#an$,与输入数据 $\#a1$ 相当的时间区间 $\#a1$ 被选择 n 次并作为输入数据被采用。与此相对,延长区间 $\#a2$ 作为输入数据被采用的次数为 $(n-1)$ 次,延长区间 $\#an$ 作为输入数据被采用的次数仅为1次。同样地,在第二例中,与输入数据 $\#b1$ 相当的时间区间 $\#b1$ 从输入数据 $\#b1$ 到输入数据 $\#bn$ 被选择 n 次并作为输入数据被采用。与此相对,延长区间 $\#b2$ 作为输入数据被采用的次数为 $(n-1)$ 次,延长区间 $\#bn$ 作为输入数据被采用的次数仅为1次。即,在以提取基准时刻为时间

基准而生成的多个输入数据中,存在提取次数多的区间和提取次数少的区间。数据集生成部22在从各提取基准时刻生成数据集时,遍及整个学习用数据地将各时间区间和延长区间的提取次数均匀化。具体地,在组合以各提取基准时刻为基准生成的所有数据集的组时,在时间区间的提取次数的偏差为容许值以上的情况下,数据集生成部22执行直方图均等化处理。这里,直方图均等化处理可以采用公知的算法。通过这种处理,数据集生成部22能够遍及整个学习用数据地将数据提取次数的偏差均匀化。由此,数据集生成部22生成的数据集的整个组不会从学习用数据中仅提取特定的区间,能够生成均匀地反映包含在学习用数据中的运行状态的多个数据集。另外,虽然这里说明了着眼于输入数据的提取次数的均匀化,但是也可以着眼于训练数据而将提取次数均匀化。

[0070] 如以上所说明的,在上述数据集的生成方法的第一例~第三例中,基于机床1的运行状态发生了变化的提取基准时刻,能够生成提取的时间区间的长度不同的多个数据集。此外,在第三例中,生成数据集,使得包含在所有数据集中的数据的集合均匀地包含所有取得数据。由此,在以下说明的学习部23进行热位移模型的学习时,能够均匀地将学习用数据整体设为学习的对象,进而起到如下效果:抑制模型仅与一部分数据一致的过学习,提高热位移模型的泛化性能。

[0071] 另外,在上述数据集的生成方法的第三例中,举出了将相邻的两个提取基准时刻之间等间隔地分割为 n 个的例子,但将相邻的两个提取基准时刻之间按非恒定的时间长度以输入数据不重复的方式分割,也具有与第三例相同的效果。

[0072] 接下来,说明学习部23。图9是热位移模型的学习方法的说明图。学习部23具有如下功能:使用包含在数据集生成部22所生成的数据集集中的输入数据和训练数据,学习用于根据输入数据估计热位移量的热位移模型。学习部23在内部具有热位移模型,当按时间序列输入包含在数据集集中的输入数据时,该热位移模型按时间序列输出热位移量。学习部23优化热位移模型的内部参数,使得作为热位移模型的输出的热位移量的估计值与包含在数据集集中的训练数据之差最小化。由此,学习部23进行能够根据输入数据估计热位移量的热位移模型的同定,并作为已学习的热位移模型输出。

[0073] 在热位移模型学习装置2中,其特征在于,数据集生成部22输出的数据集具有可变长度。即,在数据集生成部22输出的多个数据集集中的至少两个数据集中,提取的时间区间的长度彼此不同。因此,学习部23使用与可变长度的输入数据对应的热位移模型。学习部23例如按照神经网络,通过所谓的有监督学习,来学习热位移量。这里,有监督学习是指通过将输入和结果的数据的组即学习用数据提供给学习装置来学习学习用数据中的特征并根据输入推理结果的方法。这里,说明学习部23使用RNN(Recurrent Neural Network:循环神经网络)来学习热位移模型例子。

[0074] RNN是一种神经网络,所述神经网络具有将中间层的输出输入到递归地输出了其结果的层的结构。学习部23例如能够使用图10所示的结构的神经网络。图10是神经网络的说明图。图10所示的神经网络是RNN,所述RNN的输入层由 x_1 到 x_n 的 n 个输入组成,中间层由 h_1 到 h_m 的 m 个节点组成,输出层由 y_1 的一个输出组成。这里,图10的上部的图示出了神经网络在时刻 $t-1$ 的状态,图10的下部的图示出了神经网络在时刻 t 的状态。时刻 t 的中间层将加权和向输出层输出,所述加权和是根据时刻 t 的输入层的输入算出的值与根据从时刻 $t-1$ 的中间层输入的值算出的项的加权和。这里,若将组合时刻 t 的输入层 x_1 到 x_n 而成的向量设为

x_t , 将组合时刻 t 的中间层 h_1 到 h_m 而成的向量设为 h_t , 则 h_t 能够由以下的数学式 (1) 表示。另外, 在数学式 (1) 中, 若将向量 x_t 的维度设为 n 并且将向量 h_t 的维度设为 m , 则 W 变成 $n \times m$ 维的线性变换矩阵。此外, R 表示 $M \times M$ 维的线性变换矩阵, b 表示偏置向量, g 表示激活函数。

[0075] $h_t = g(Wx_t + Rh_{t-1} + b) \cdots (1)$

[0076] 学习部23使用通过时间误差反向传播方法 (backpropagation through time), 调整神经网络的权重, 使得作为输出的热位移量与热位移数据一致。

[0077] 另外, 虽然图10中示出了以输入层为 n 维、中间层为 m 维、输出层为 1 维构成的神经网络的例子, 但各层的维度不限于此例, 能够是任意的维度。此外, 虽然图10示出了中间层为一层的神经网络的例子, 但是中间层的数量可以是多个。

[0078] 另外, 学习部23为了提高热位移模型的泛化性能, 也可以使用在学习时随机排除神经元的“舍弃 (dropout)”, 以及通过监视误差尽早中断学习的“早期中断 (early stopping)”之类的方法。

[0079] 另外, 虽然在上文中说明了在 RNN 中也使用埃尔曼网络 (elman net) 的例子, 但也可以使用作为其他公知的 RNN 的 LSTM (Long Short Term Memory, 长短期记忆) 或 GRU (Gated Recurrent Unit, 门控循环单元) 来构建热位移模型并进行学习。作为又一方法, 学习部23可以通过使用自回归模型的回归分析来进行学习。

[0080] 图11是用于说明图5所示的热位移模型学习装置2的动作的流程图。热位移模型学习装置2通过执行图11所示的处理, 能够生成已学习的热位移模型。

[0081] 热位移模型学习装置2的学习用数据取得部21从机床1取得热位移数据、温度数据以及机器状态数据 (步骤S101)。学习用数据取得部21使所取得的热位移数据、温度数据和机器状态数据在时间上对应并生成学习用数据 (步骤S102)。

[0082] 数据集生成部22根据学习用数据生成多组数据集 (步骤S103)。学习部23使用数据集来进行热位移模型的内部参数的优化, 以使当输入包含在数据集中的输入数据时输出的热位移量与包含在数据集中的训练数据一致, 从而进行热位移模型的学习 (步骤S104)。

[0083] 如以上所说明的, 根据实施方式1, 数据集生成部22生成多个种类的可变长度的数据集, 并且在多个数据集中的至少两个数据集中, 使用提取的时间区间的长度彼此不同的数据集进行热位移模型的学习。由此, 热位移模型学习装置2能够使用数据集进行热位移模型的学习, 能够提高热位移量的估计精度, 其中, 所述数据集是对机床1中产生的热位移使用适当的时间长度的时间区间而生成的。这里, 热位移模型学习装置2不依赖于机床1的运行持续时间, 能够提高热位移量的估计精度。

[0084] 机床1根据各种工件 W 的完成形状, 在加工程序的时间长度是可变长度的基础上, 按照运行模式不同的加工程序进行动作。为了生成能够精度良好地估计热位移量的热位移模型, 需要根据加工程序得到用于学习的数据集并且时间长度是可变长度。

[0085] 在实施方式1中, 学习部23用于学习热位移模型的数据集是以基于加工程序而运行的机床1的运行状态变化的时刻为基础来生成的。因此, 实施方式1中的热位移模型学习装置2能够使用以实际加工中的机床1的运行状态的变化为时间基准的数据集来执行热位移模型的学习。因此, 热位移模型能够学习反映了机床的运行状态的输入输出关系。

[0086] 此外, 在使用上述数据集的生成方法的第一例和第二例的情况下, 数据集生成部22通过从学习用数据中提取从定义为提取基准时刻的时刻起具有预定的时间延长宽度 $T1$

的倍数的时间宽度的数据,能够生成数据集。

[0087] 此外,由于热位移模型是时间上的递归模型,因此除了在算出了热位移量的估计值的时刻输入的输入数据之外,还能够以算出受到该时刻的过去的输入数据所包含的信息的影响的热位移量的方式进行学习。因此,热位移模型学习装置2能够不仅包含算出热位移的瞬间的温度数据和机器状态数据,而且能够包含这些数据的随时间变化的影响地进行学习。

[0088] 实施方式2.

[0089] 图12是表示实施方式2的加工系统100-2的结构的图。实施方式2的加工系统100-2具有机床1A、热位移模型学习装置2以及热位移估计装置3。加工系统100-2除了实施方式1的加工系统100-1的结构之外,还具有热位移估计装置3,并且具有机床1A来代替加工系统100-1的机床1。

[0090] 除了将已学习的热位移模型输出至热位移估计装置3之外,热位移模型学习装置2所进行的处理与实施方式1相同,因此这里省略说明。热位移估计装置3取得由热位移模型学习装置2生成的已学习的热位移模型和至少包含表示推理对象的机床1A的时间序列的温度的温度数据的用于推理的输入数据。热位移估计装置3使用热位移模型,根据输入数据生成推理对象的机床1A的热位移量的估计值。热位移估计装置3将热位移量的估计值输出至机床1A。

[0091] 机床1A除了机床1的功能之外,还具有向热位移估计装置3输出温度数据和机器状态数据的功能、以及基于热位移估计装置3输出的热位移量的估计值来进行热位移的修正的功能。

[0092] 图13是表示实施方式2的机床1A的功能结构的图。除了代替机床1的控制装置15而具有控制装置15A之外,机床1A的结构与机床1相同。控制装置15A基于热位移估计装置3输出的热位移量的估计值,来修正驱动主轴13的主轴电机14和驱动进给轴11的进给轴电机12中的至少一方的操作量,从而修正热位移。机床1A使用修正后的操作量进行去除加工。

[0093] 图14是表示实施方式2的热位移估计装置3的功能结构的图。热位移估计装置3具有推理用数据取得部31、热位移模型取得部32以及推理部33。

[0094] 推理用数据取得部31从推理对象的机床1A取得温度数据和机器状态数据,并将在时间上使所取得的温度数据和机器状态数据同步了的数据作为推理用数据输出至推理部33。推理用数据至少包含温度数据,生成为与已学习的热位移模型在学习时使用的输入数据相同的数据的集合。此外,推理用数据以与用热位移模型学习装置2生成的学习用数据相同的时间周期逐次输出。

[0095] 热位移模型取得部32从热位移模型学习装置2的模型存储部24取得用于推理的已学习的热位移模型。热位移模型取得部32将所取得的热位移模型输出至推理部33。

[0096] 推理部33使用已学习的热位移模型,从包含在推理用数据中的输入数据输出热位移量的估计值。推理部33将热位移量的估计值输出至机床1A。推理部33通过将包含在推理用数据中的机器状态数据以与学习时相同的数据结构和时间周期输入至已学习的热位移模型中,能够以与输入相同的时间周期算出热位移量的估计值。推理部33以与推理用数据的输入间隔相同的周期向机床1A的控制装置15A输出算出的热位移量的估计值。

[0097] 机床1A的控制装置15A接收推理部33输出的热位移量的估计值,例如修正进给轴

11的位置指令,以抵消热位移量的估计值所示的热位移。然后,使用修正后的位置指令使作为进给轴11的致动器的进给轴电机12动作。位置指令的修正在每个推理用数据的输入间隔被更新。

[0098] 图15是用于说明图12所示的加工系统100-2的动作的流程图。加工系统100-2的热位移模型学习装置2进行热位移模型生成处理(步骤S121)。另外,步骤S121的处理相当于图11所示的步骤S101~S104的处理。这些处理在实施修正热位移的加工之前实施。

[0099] 机床1A使修正热位移的对象的加工的程序运行开始(步骤S122)。步骤S123以后的处理在进行修正热位移的对象的加工的实施期间进行。

[0100] 推理用数据取得部31接收在机床1A的加工期间逐次输出的温度数据和机器状态数据,根据接收到的数据生成推理用数据(步骤S123)。推理用数据具有与步骤S121中生成的热位移模型的输入数据相同的数据结构。生成的推理用数据以与热位移模型学习装置2中生成的学习用数据相同的时间周期向推理部33逐次输出。

[0101] 推理部33使用热位移模型,根据推理用数据来估计热位移量(步骤S124)。热位移量的估计值以与步骤S123中生成的推理用数据相同的时间周期算出,向机床1A的控制装置15A输出。

[0102] 机床1A的控制装置15A使用热位移量的估计值来修正向致动器的操作量,从而修正位置指令并进行加工(步骤S125)。机床1A判断成为修正热位移的对象的加工的程序运行是否已结束(步骤S126)。在程序运行未结束的情况下(步骤S126:否),返回到步骤S123,加工系统100-2重复步骤S123到步骤S126的处理。在程序运行已结束的情况下(步骤S126:是),加工系统100-2结束处理。

[0103] 如以上所说明的,实施方式2的加工系统100-2具有使用已学习的热位移模型来估计热位移量的热位移估计装置3。此外,机床1A基于热位移量的估计值来修正机床1A的致动器的操作量,以抵消估计值所示的热位移。

[0104] 另外,推理部33能够对逐次输入的推理用数据逐次算出热位移量的估计值并输出至机床1A。因此,无论机床1A执行的加工程序所需要的时间为多长的时间,都能够估计热位移量。此外,由于根据作为时间递归模型的热位移模型算出热位移量的估计值,因此能够不仅包含算出热位移量的估计值的瞬间的温度数据和机器状态数据,而且能够包含这些数据的随时间变化的影响地估计热位移量。因此,机床1A能够不依赖于从运行开始起的经过时间,精度良好地修正热位移。

[0105] 另外,作为另一方法,在图15所示的步骤S126中,判断机床1A的电源是否被切断,加工系统100-2也可以在机床1A的电源被切断之前返回步骤S123并继续处理。在这种情况下,即使在连续多次实施程序运行的情况下,也能够继续修正热位移。

[0106] 这里,说明热位移模型学习装置2的硬件结构。实施方式1和实施方式2的热位移模型学习装置2例如通过计算机系统来实现。热位移模型学习装置2可以由一个计算机系统实现,也可以由多个计算机系统实现。例如,热位移模型学习装置2可以由云系统实现。在云系统中,能够任意设定计算机系统的硬件和各功能的服务器等装置之间的划分。例如,一台计算机系统可以具有作为多个装置的功能,也可以用多台计算机系统具有作为一个装置的功能。

[0107] 说明实现热位移模型学习装置2的计算机系统的结构例。图16是表示硬件结构的

一例的图。如图16所示,该计算机系统具备控制部101、输入部102、存储部103、显示部104、通信部105和输出部106,它们经由系统总线107连接。

[0108] 在图16中,控制部101例如是CPU(Central Processing Unit,中央处理单元)等。控制部101执行记述了本实施方式的热位移模型学习装置2实施的各处理的热位移模型学习程序。输入部102例如由键盘、鼠标等构成,用于计算机系统的用户进行各种信息的输入。存储部103包括RAM(Random Access Memory,随机存取存储器)、ROM(Read Only Memory,只读存储器)等各种存储器以及硬盘等存储装置,存储由上述控制部101执行的程序、在处理过程中得到的必要数据等。另外,存储部103也作为程序的暂时性存储区域来使用。显示部104由LCD(Liquid Crystal Display:液晶显示面板)等构成,对计算机系统的用户显示各种画面。通信部105是实施通信处理的通信电路等。通信部105也可以由与多个通信方式分别对应的多个通信电路构成。输出部106是向打印机、外部存储装置等外部装置输出数据的输出接口。

[0109] 另外,图16是一例,计算机系统的结构不限于图16的例子。例如,计算机系统可以不具备输出部106。此外,在热位移模型学习装置2由多个计算机系统实现的情况下,这些计算机系统可以不全是图16所示的计算机系统。例如,一部分计算机系统可以不具备图16所示的显示部104、输出部106和输入部102中的至少一个。

[0110] 这里,说明在变成能够执行记述了实施方式1和实施方式2的热位移模型学习装置2的處理的热位移模型学习程序的状态之前的计算机系统的动作例。上述结构的计算机系统例如从设置在未图示的CD(Compact Disc,压缩盘)-ROM驱动器或DVD(Digital Versatile Disc,数字通用盘)-ROM驱动器中的CD-ROM或DVD-ROM中,将热位移模型学习程序安装于存储部103。然后,在执行热位移模型学习程序时,将从存储部103读出的热位移模型学习程序存放在成为存储部103的主存储装置的区域中。在这种状态下,控制部101按照存放在存储部103中的热位移模型学习程序来执行作为实施方式1和实施方式2的热位移模型学习装置2的处理。

[0111] 另外,在上述说明中,使用CD-ROM或DVD-ROM作为记录介质来提供记述了热位移模型学习装置2中的处理的程序,但不限于此,根据计算机系统的结构、提供的程序的容量等,例如,可以使用经由通信部105而由互联网等传输介质提供的程序。

[0112] 实施方式1和实施方式2的热位移模型学习程序使计算机执行如下步骤:取得学习用数据的步骤,所述学习用数据将至少包含表示机床1的时间序列的温度的温度数据的输入数据和表示机床1的时间序列的热位移量的热位移数据按时间建立对应;生成从学习用数据中提取出学习用数据的一部分而得到的数据集的步骤;以及使用数据集来生成用于根据机床1A的输入数据估计热位移量的已学习的热位移模型的步骤。这里,在生成数据集的步骤中,生成数据集,使得在多个数据集中的至少两个数据集中提取的时间区间的时间长度彼此不同。

[0113] 图5所示的学习用数据取得部21由图16所示的通信部105实现,图5所示的模型存储部24是图16所示的存储部103的一部分,图5所示的数据集生成部22和学习部23由图16所示的控制部101实现。

[0114] 与热位移模型学习装置2同样,热位移估计装置3也由一个或多个计算机系统实现。用于使热位移估计装置3执行实施方式2中记述的动作用的程序与上述的热位移模型学习

程序同样,由存储介质、传输介质等提供并安装在计算机系统中。由此,实现热位移估计装置3中的上述动作。

[0115] 图14所示的推理用数据取得部31和热位移模型取得部32由图16所示的通信部105实现,图14所示的推理部33由图16所示的控制部101实现。

[0116] 另外,图5及图14所示的各装置中的功能的划分是一例,如果加工系统100-1、100-2能够进行上述动作,则各装置中的功能的划分不限于图5和图14所示的例子。例如,如以下变形例所示,可以将热位移模型学习装置2和热位移估计装置3统合,并使得热位移模型学习装置2还具有作为热位移估计装置3的功能。

[0117] 图17是表示实施方式2的变形例的热位移模型学习装置2A的功能结构的图。热位移模型学习装置2A除了热位移模型学习装置2的功能之外,还具有热位移估计装置3的功能。关于各构成元素的功能已在图14中进行了说明,因此这里省略说明。在图17所示的结构中,在由一个计算机系统实现热位移模型学习装置2A的功能的情况下,通过计算机系统内部的数据的交换来实现热位移模型取得部32的功能。

[0118] 实施方式3.

[0119] 图18是表示实施方式3的加工系统100-3的结构的图。加工系统100-3具有多台机床1和设置在服务器上的热位移模型学习装置2B。热位移模型学习装置2B基于从多个机床1接收的热位移数据、温度数据和机器状态数据来进行热位移模型的学习。机床1的功能与实施方式1相同,热位移模型学习装置2B的功能除对每个机床1进行多个机床1的热位移模型的学习之外,与实施方式1相同。

[0120] 实施方式4.

[0121] 图19是表示实施方式4的加工系统100-4的结构的图。加工系统100-4具有多台机床1、1A、设置在服务器上的热位移模型学习装置2B、以及热位移估计装置3B。

[0122] 机床1是学习对象的加工装置,除了对热位移模型学习装置2B输出特征信息之外与实施方式1的机床1相同,其中,所述特征信息是至少包含机床1的型号的表示机床1的特征的信息。机床1A是估计对象的加工装置,除了对热位移估计装置3B输出特征信息之外与实施方式2的机床1A相同,其中,所述特征信息是至少包含机床1A的型号的表示机床1A的特征的信息。

[0123] 热位移模型学习装置2B除了从机床1接收特征信息之外,与实施方式3的热位移模型学习装置2B相同,具有:学习用数据取得部21B,基于从多个机床1接收的数据生成学习用数据;以及模型存储部24B,将多个热位移模型分别与作为学习用数据的取得源的机床1的特征信息建立对应并存储。热位移估计装置3B具有热位移模型取得部32B来代替热位移估计装置3的热位移模型取得部32。热位移模型取得部32B具有模型选择部321,所述模型选择部321基于从推理对象的机床1A接收到的特征信息,从模型存储部24B中存储的多个热位移模型中选择推理部33使用的热位移模型。

[0124] 这里,特征信息至少包含型号,除了型号之外,能够包含设置机床1、1A的工厂的环境、设置条件等表示机床1、1A的状态的信息。模型选择部321能够选择基于从与推理对象的机床1A相同型号的机床1取得的数据而生成的热位移模型,所述机床1与推理对象的机床1A的状态类似。由此,即使在没有根据推理对象的机床1A自身的数据生成的热位移模型的情况下,也能够使用根据与机床1A相同型号的机床1即使用的环境等类似的机床1的数据而生

成的热位移模型,得到热位移量的估计值。

[0125] 另外,在上文中,说明了热位移模型取得部32B具有模型选择部321的结构,但也可以是如下结构:热位移模型取得部32B从模型存储部24B取得多个种类的热位移模型,并且推理部33从使用多个种类的热位移模型算出的多个热位移的估计值中,基于特征信息选择输出的估计值。

[0126] 以上实施方式所示的结构表示一例,也能够与另外的公知技术组合,能够将实施方式彼此组合,也能够在不脱离主旨的范围内省略、变更结构的一部分。

[0127] 例如,热位移模型学习装置2和热位移估计装置3的功能可以内置在机床1中。另外,在如实施方式3及实施方式4那样使用从多个机床1取得的数据来学习热位移模型的情况下,热位移模型学习装置2B可以从在相同区域使用的多个机床1取得学习用数据,也可以利用从在不同区域独立动作的多个机床1收集的学习用数据来学习热位移模型。另外,还能够将收集学习用数据的机床1在中途添加到对象中或从对象中移除。此外,可以将已经学习了关于某机床1的热位移模型的热位移模型学习装置2应用于另一机床1,重新学习关于该另一机床1的热位移模型并更新。

[0128] 附图标记说明

[0129] 1、1A机床;2、2A、2B热位移模型学习装置;3、3B热位移估计装置;11进给轴;12进给轴电机;13主轴;14主轴电机;15、15A控制装置;16周边设备;17床身;18立柱;19进给螺杆;21、21B学习用数据取得部;22数据集生成部;23学习部;24、24B模型存储部;31推理用数据取得部;32、32B热位移模型取得部;33推理部;100-1、100-2、100-3、100-4加工系统;101控制部;102输入部;103存储部;104显示部;105通信部;106输出部;321模型选择部;DS位移传感器;T刀具;TA工作台;TS温度传感器;W工件。

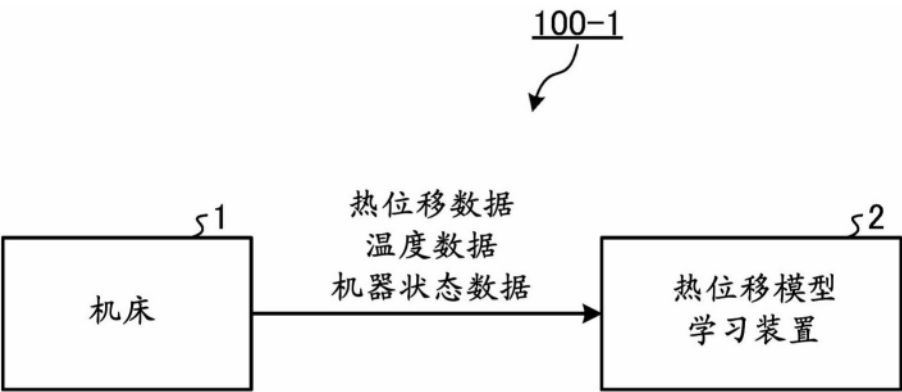


图1

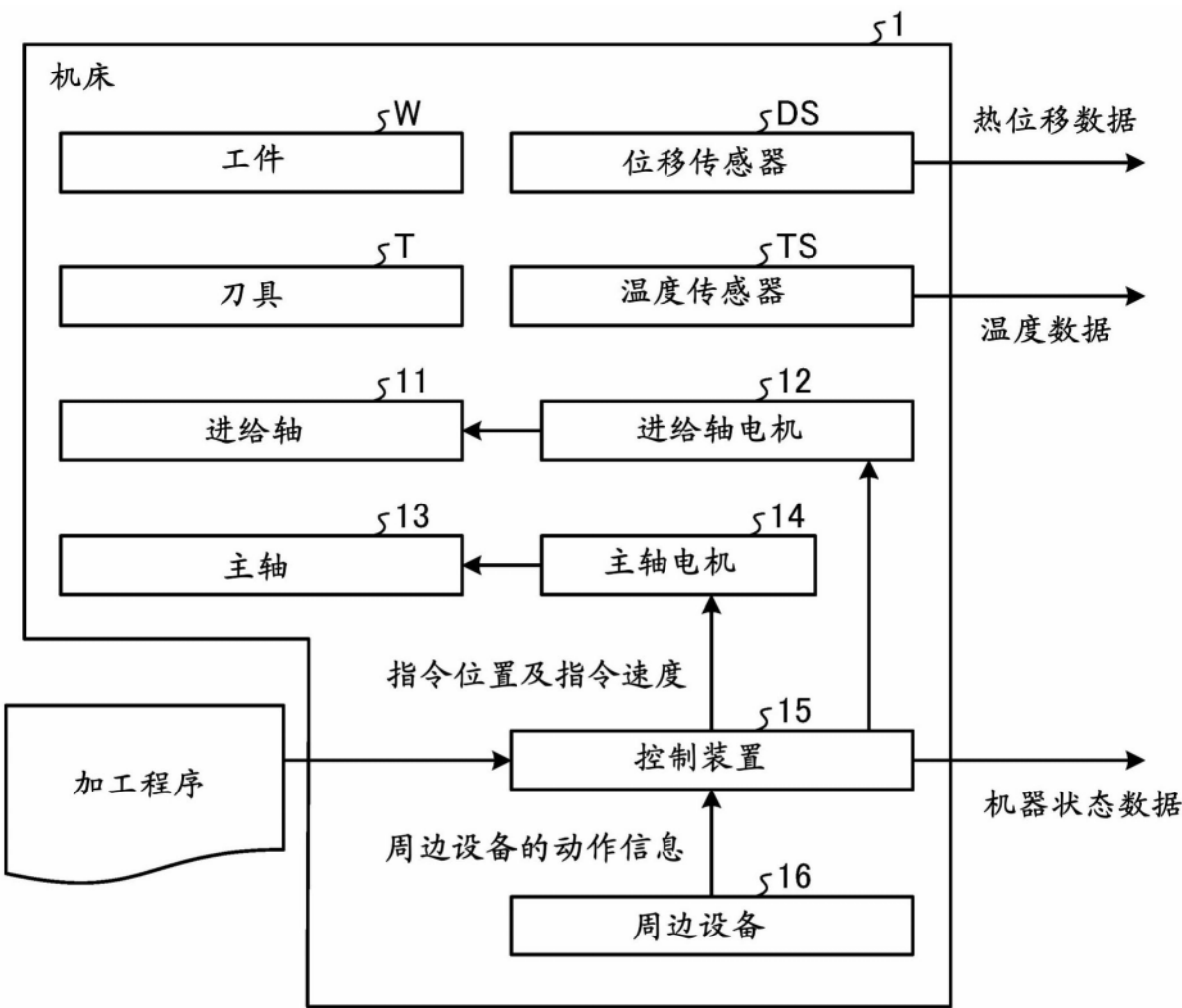


图2

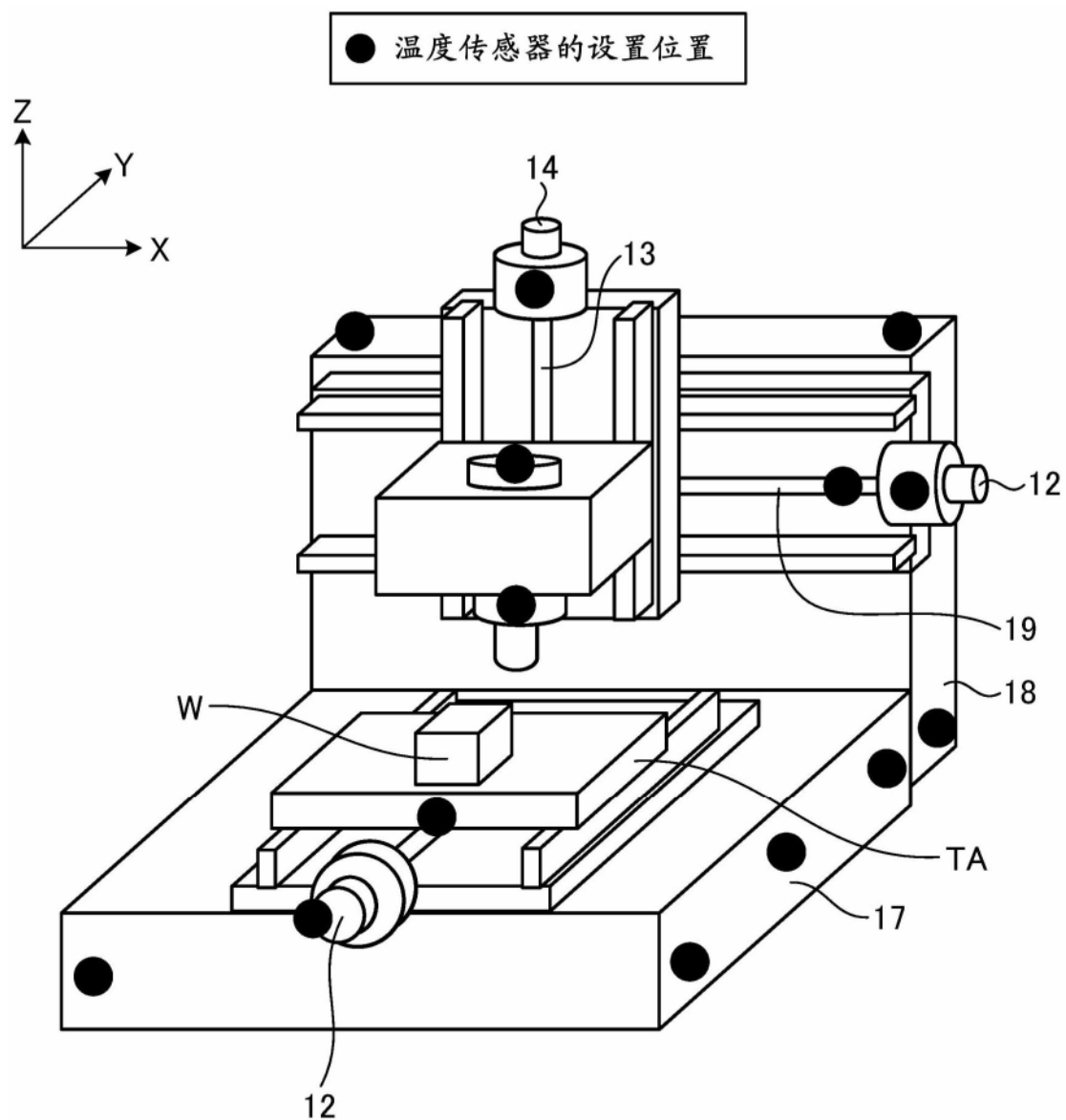


图3

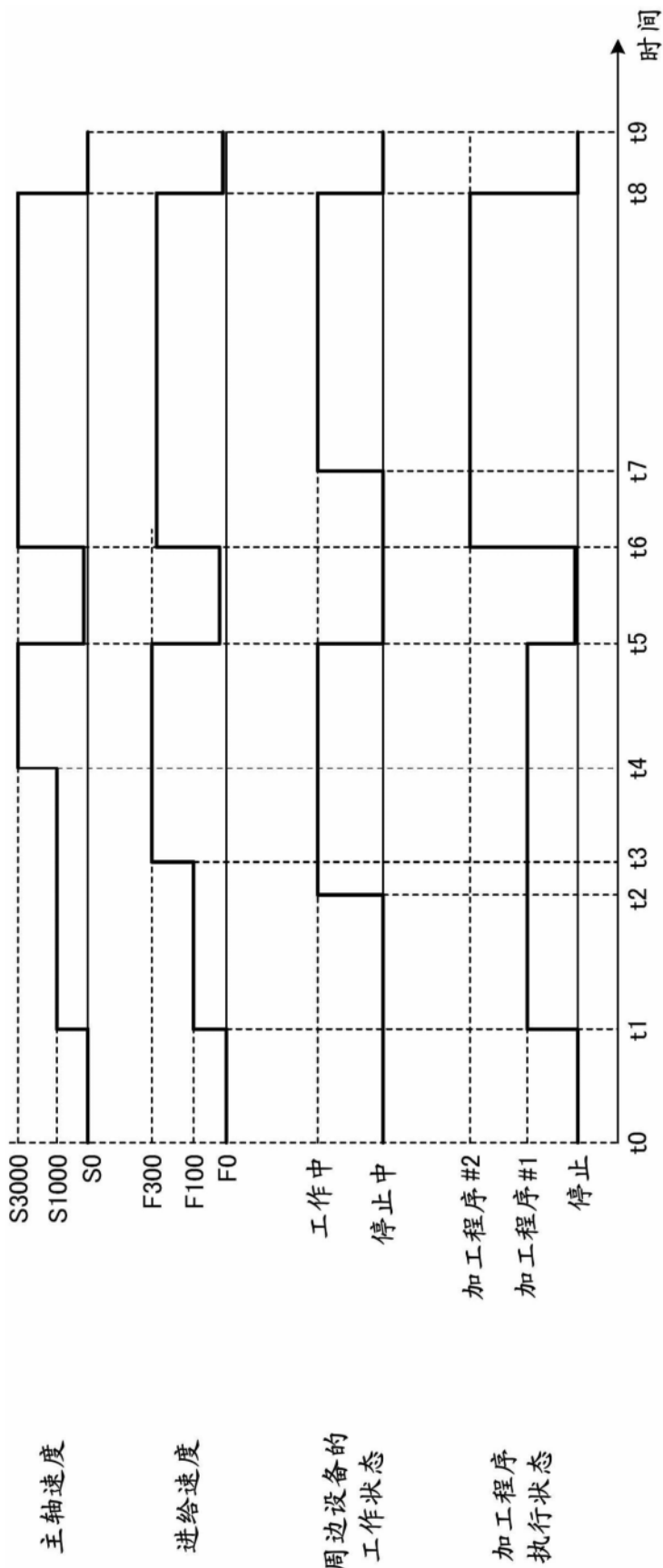


图4

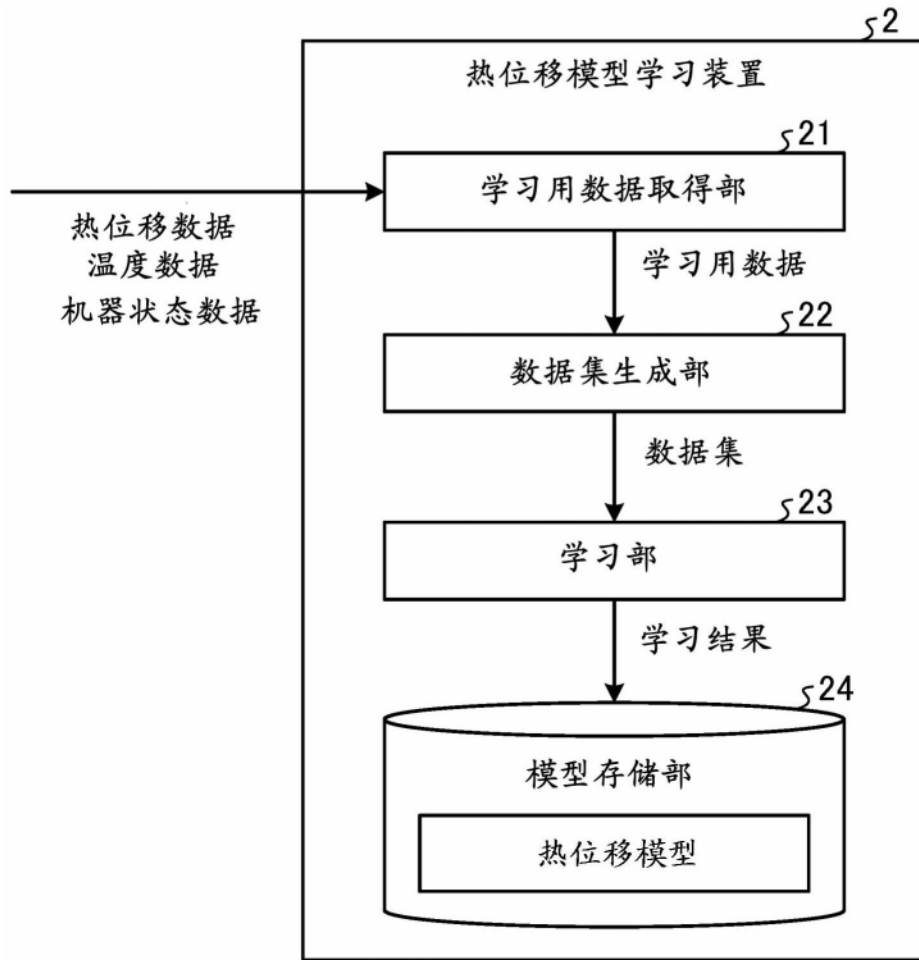


图5

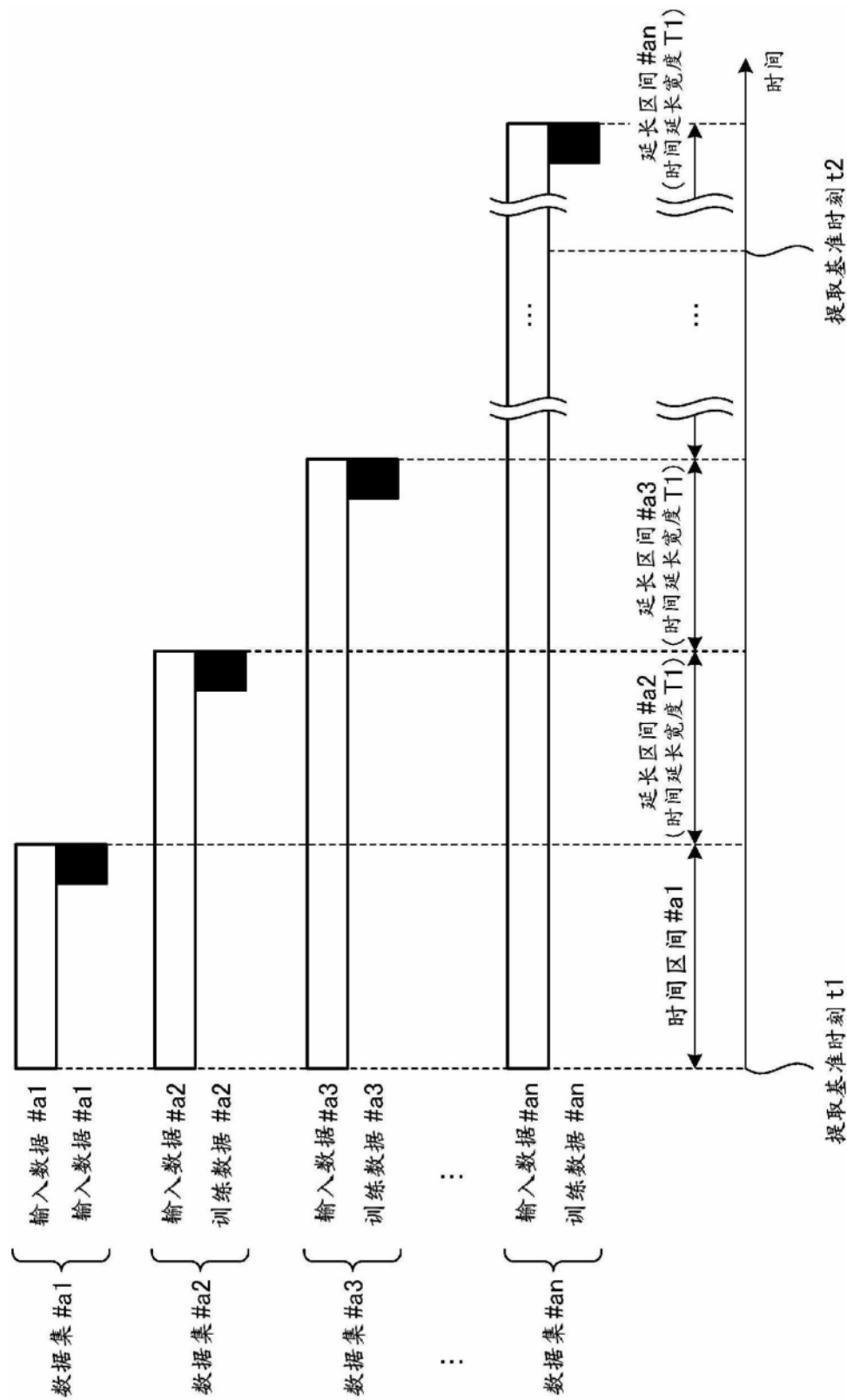


图6

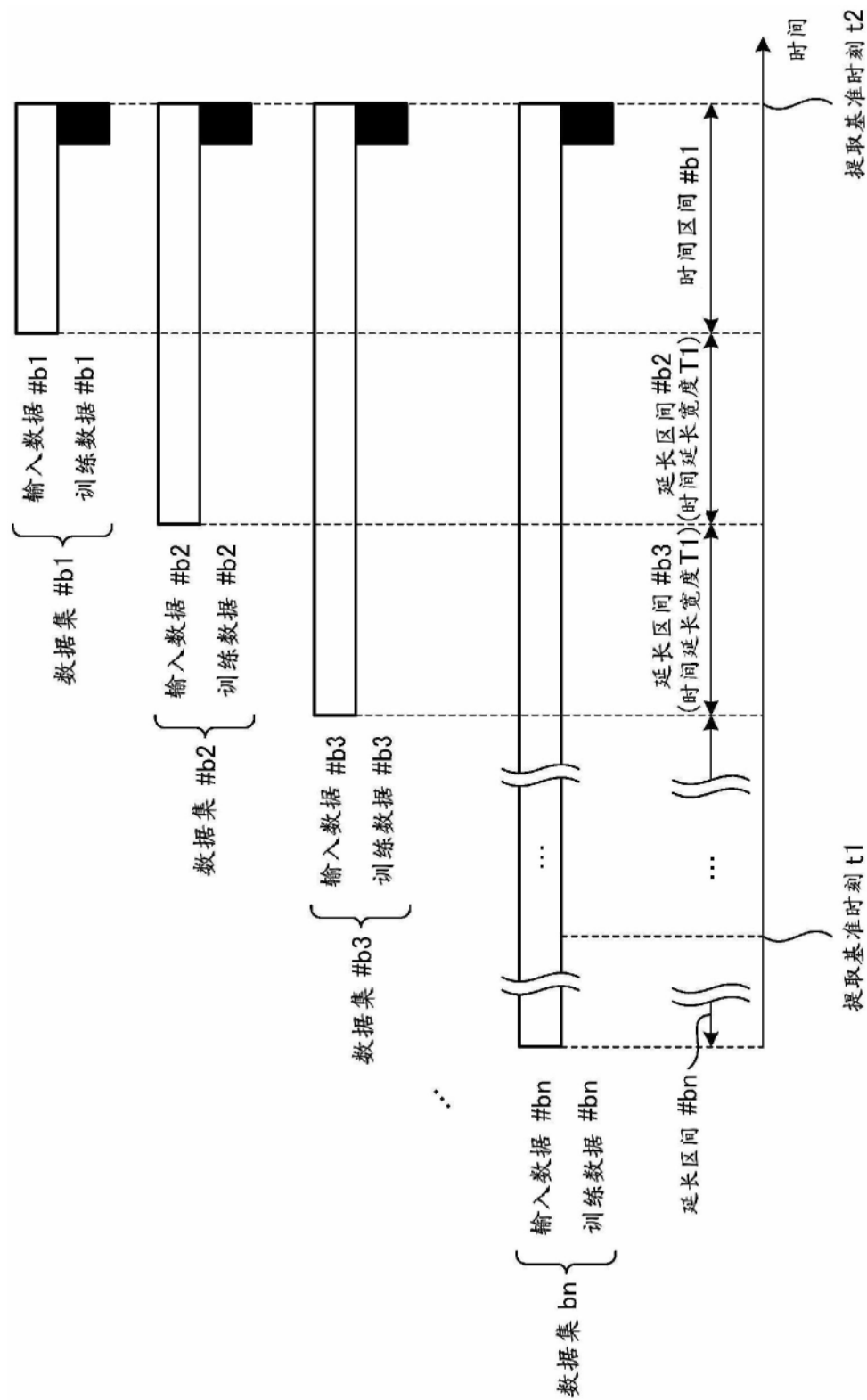


图7

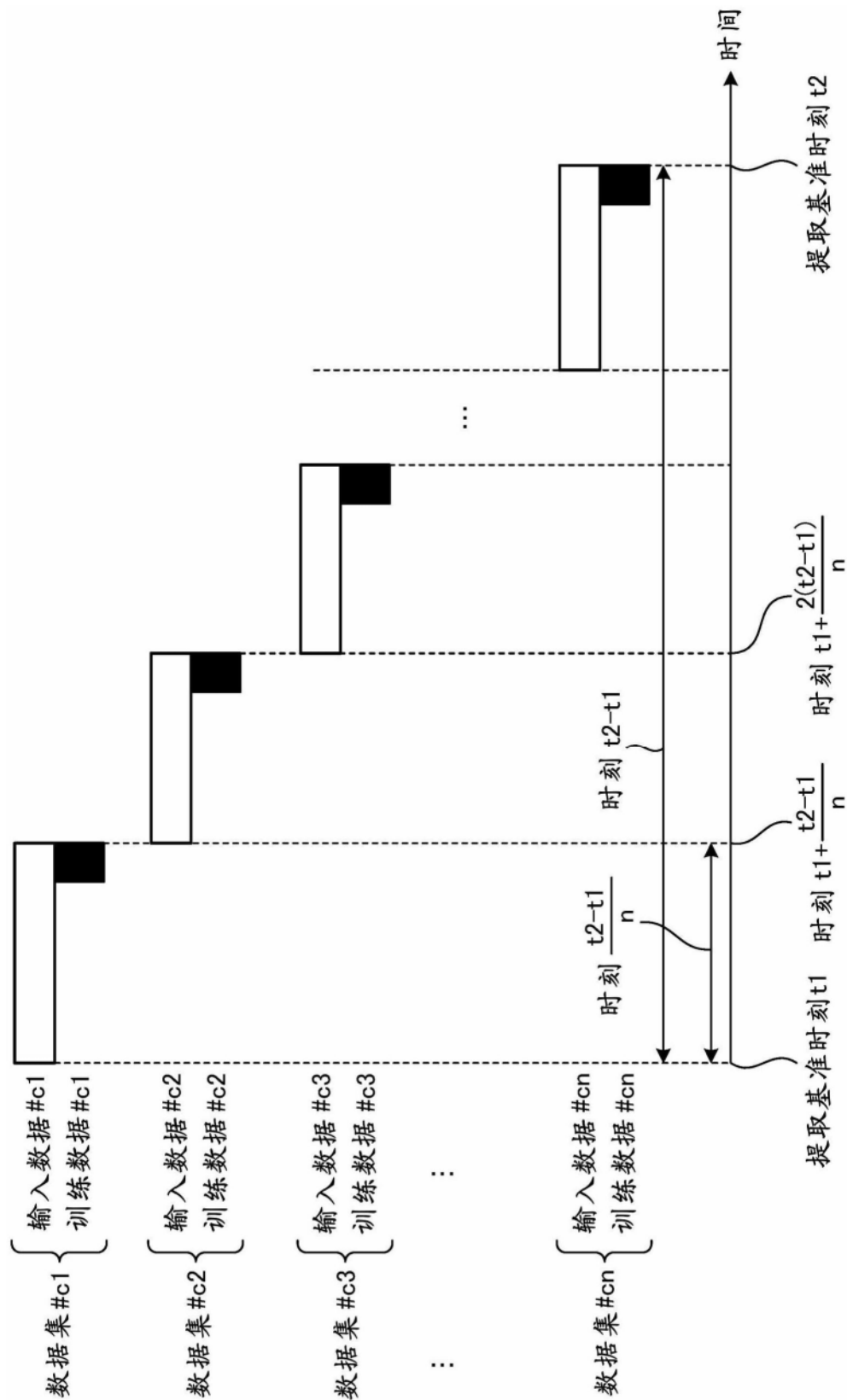


图8

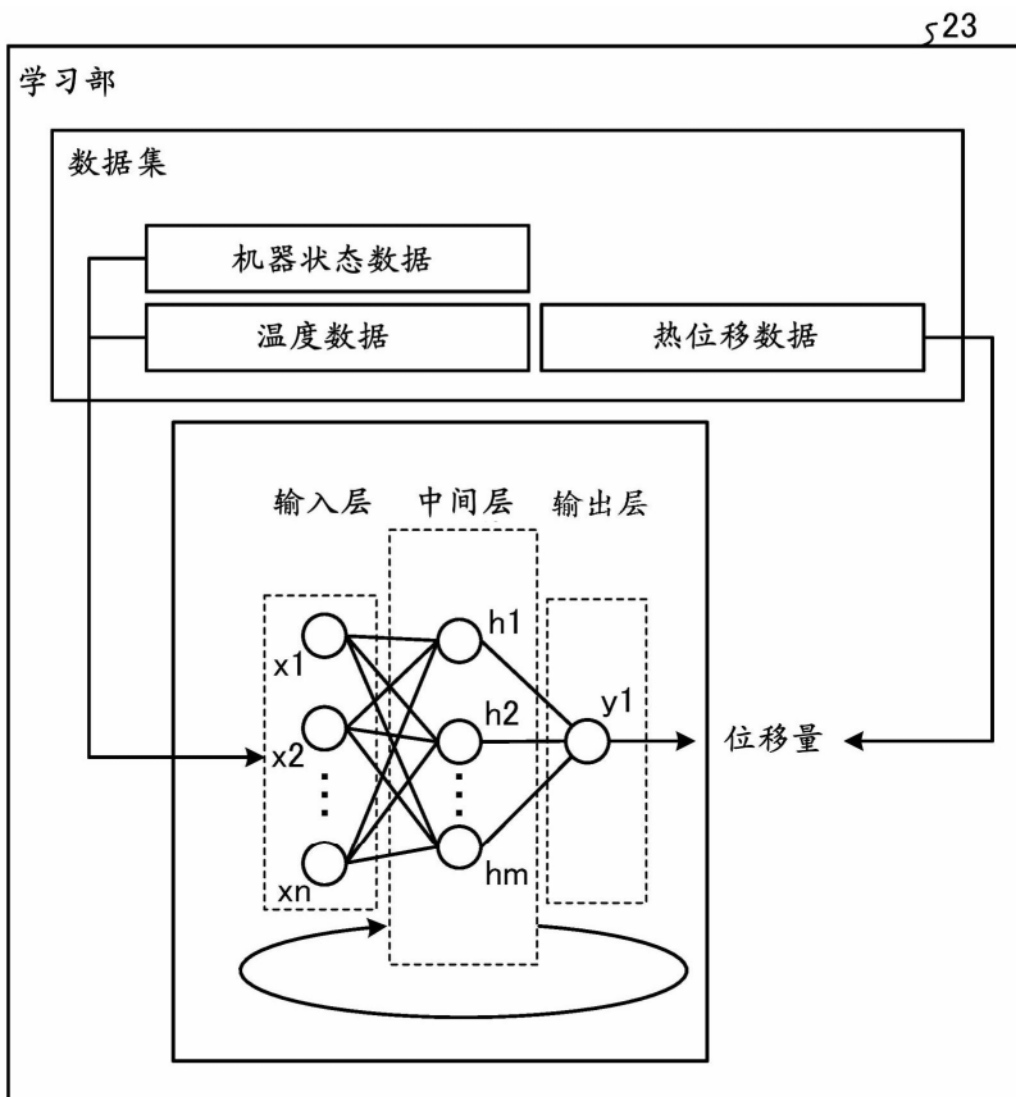


图9

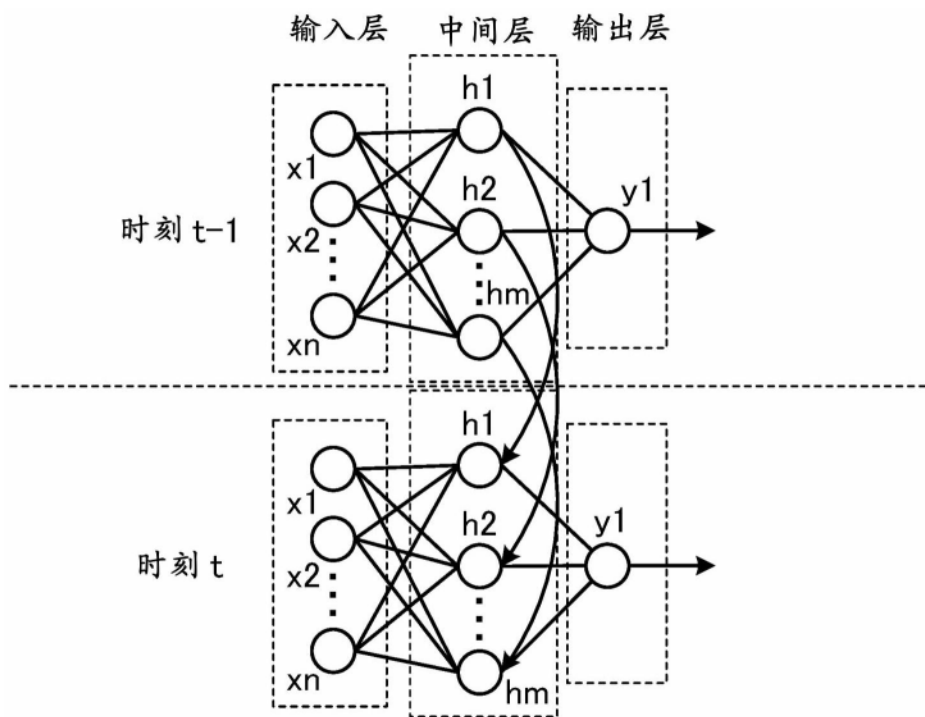


图10

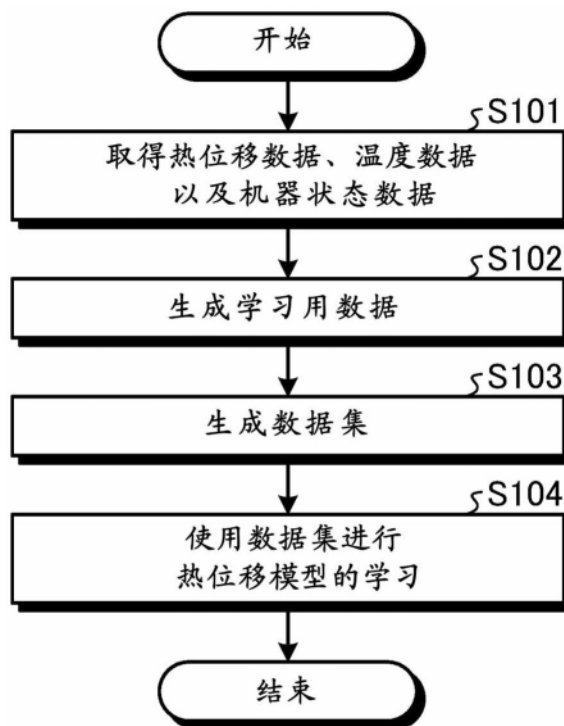


图11

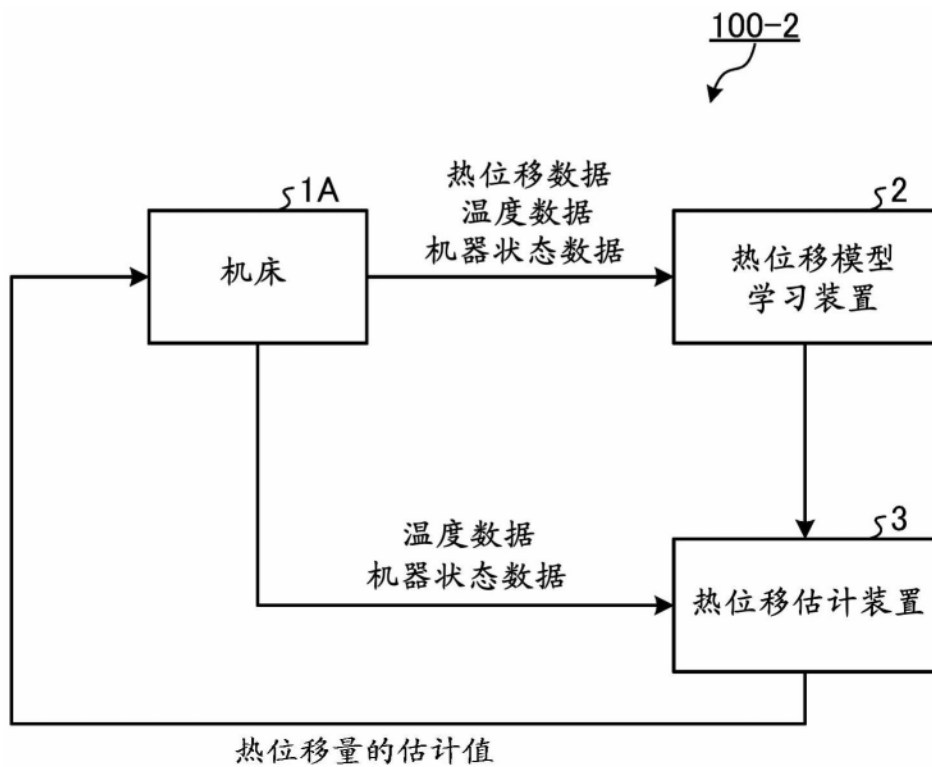


图12

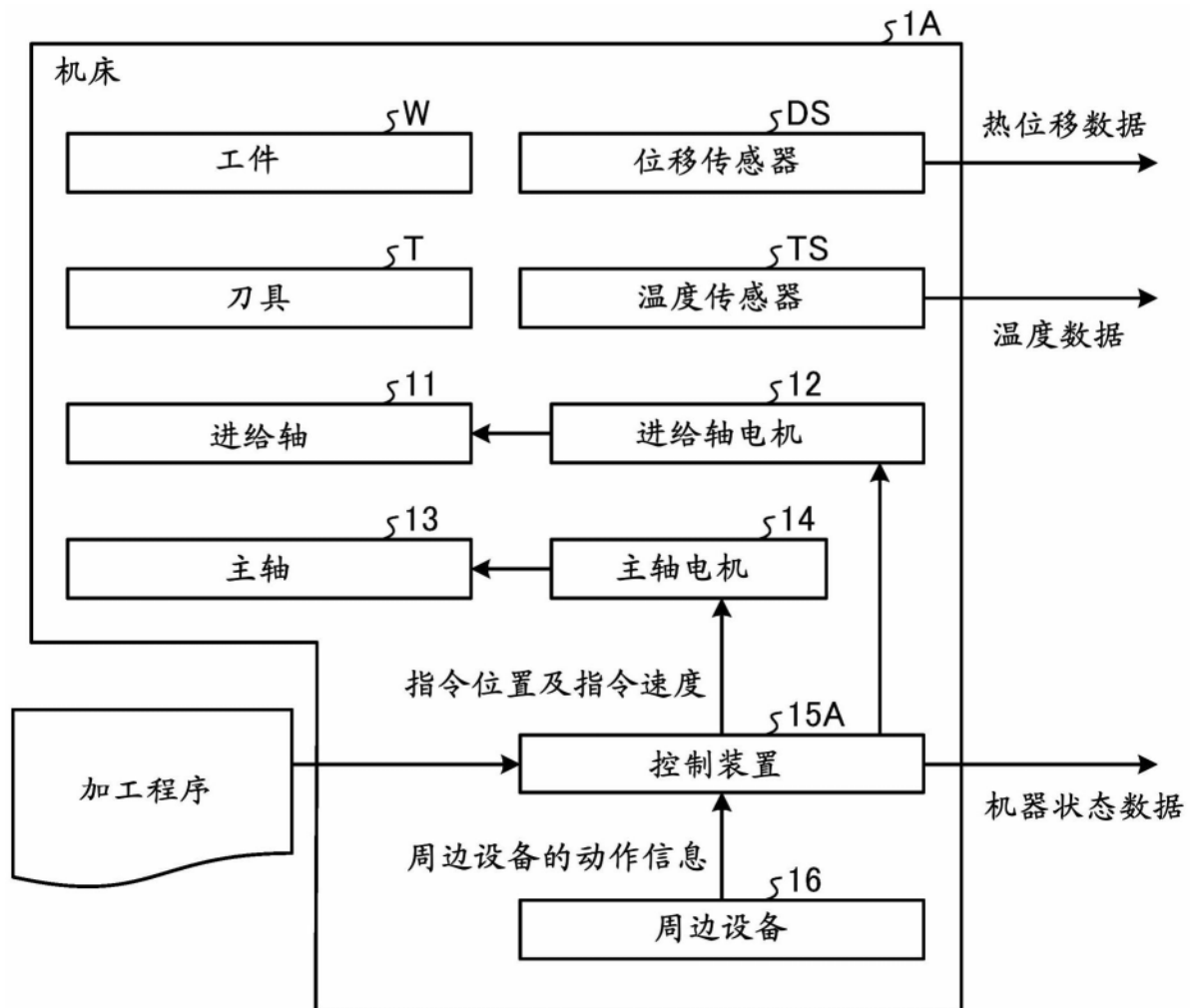


图13

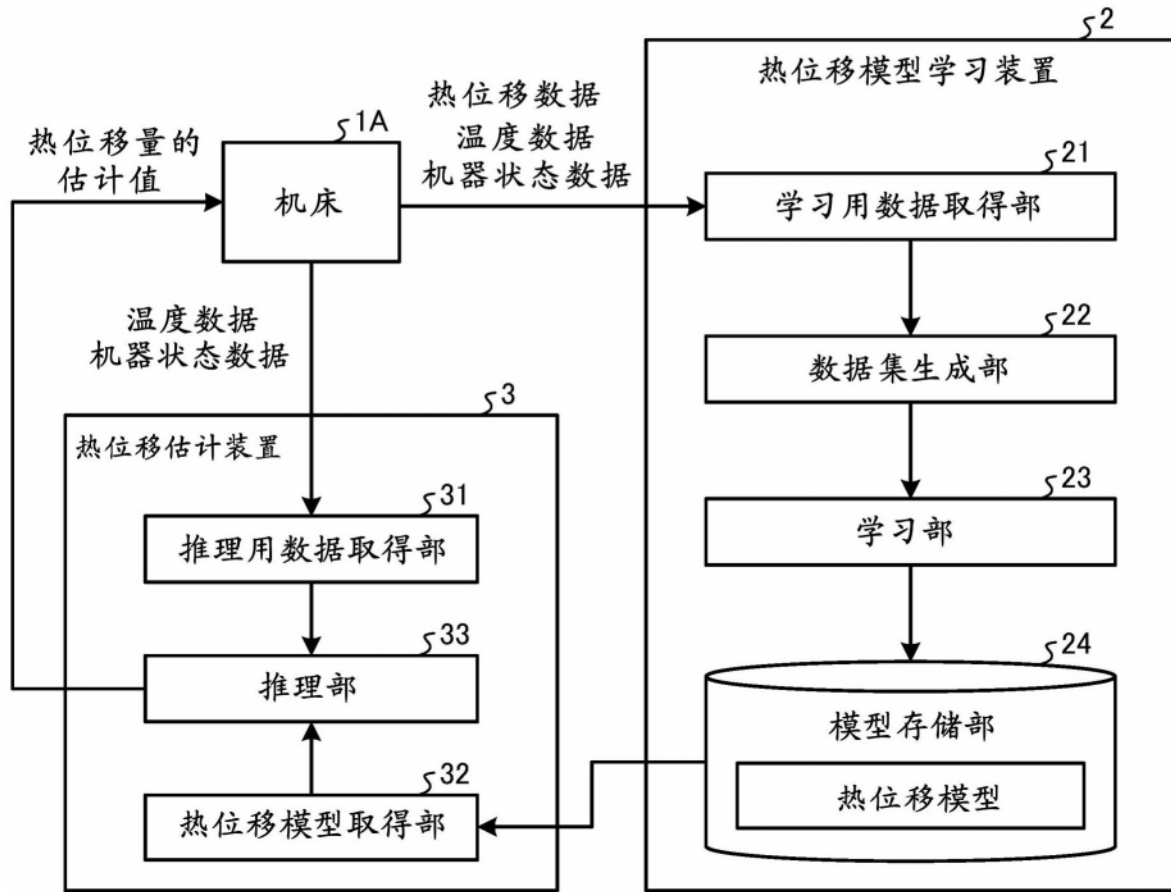


图14

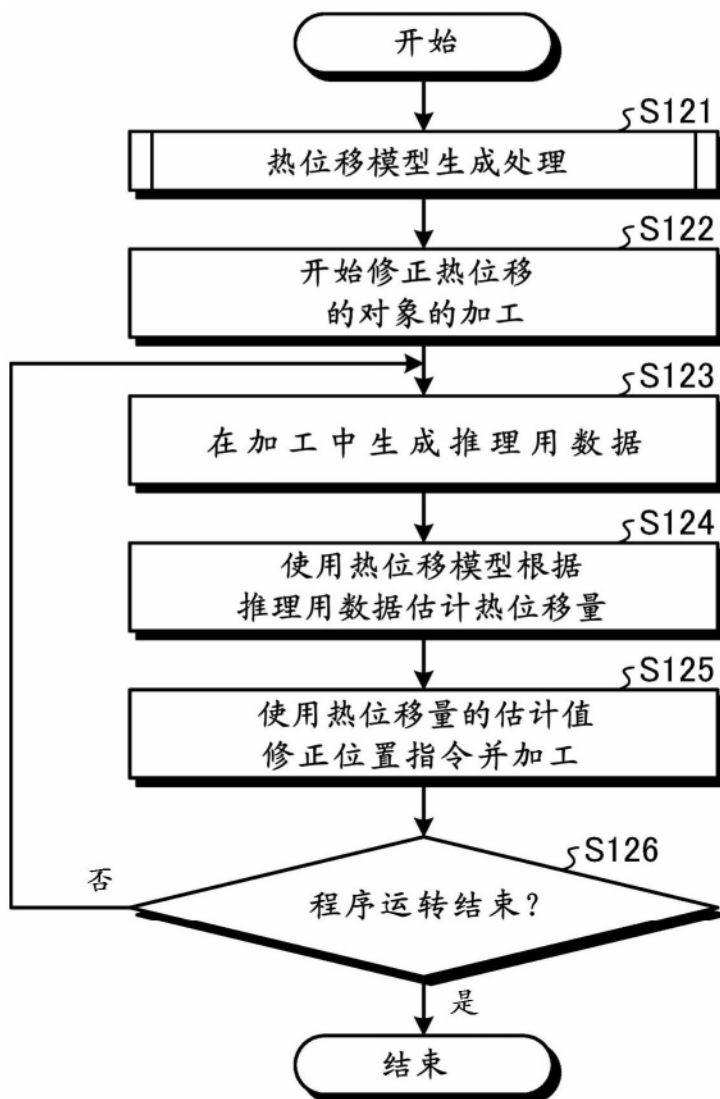


图15

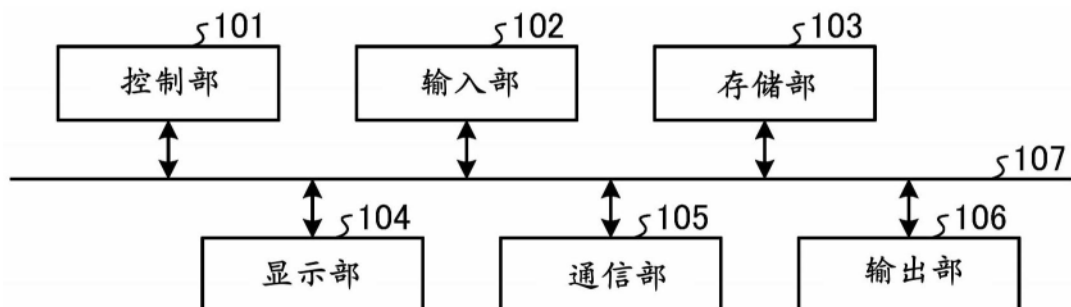


图16

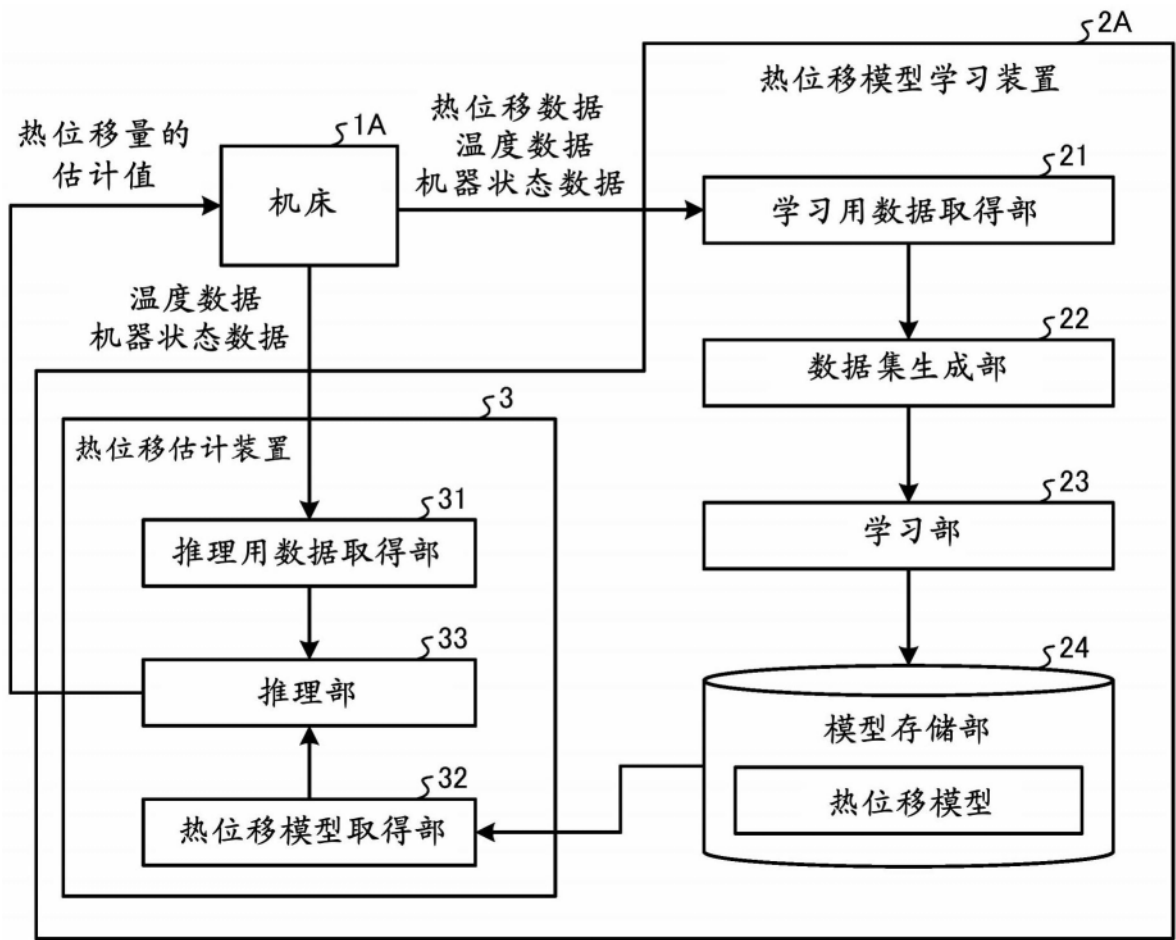


图17

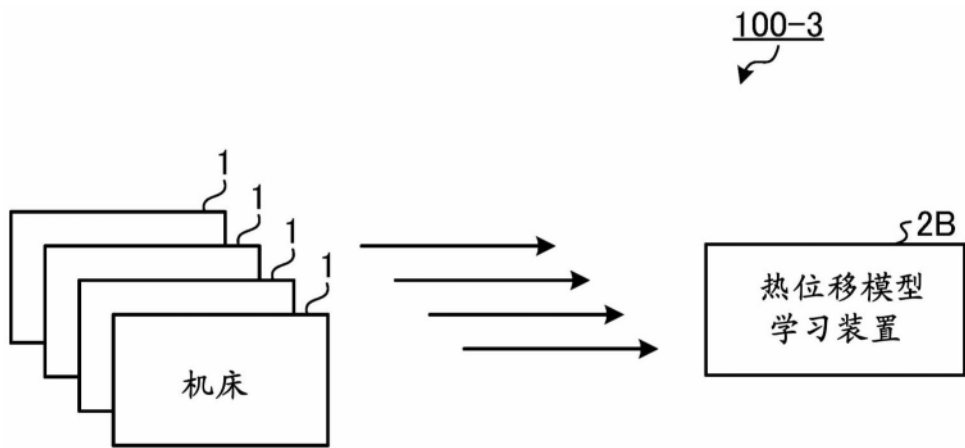


图18

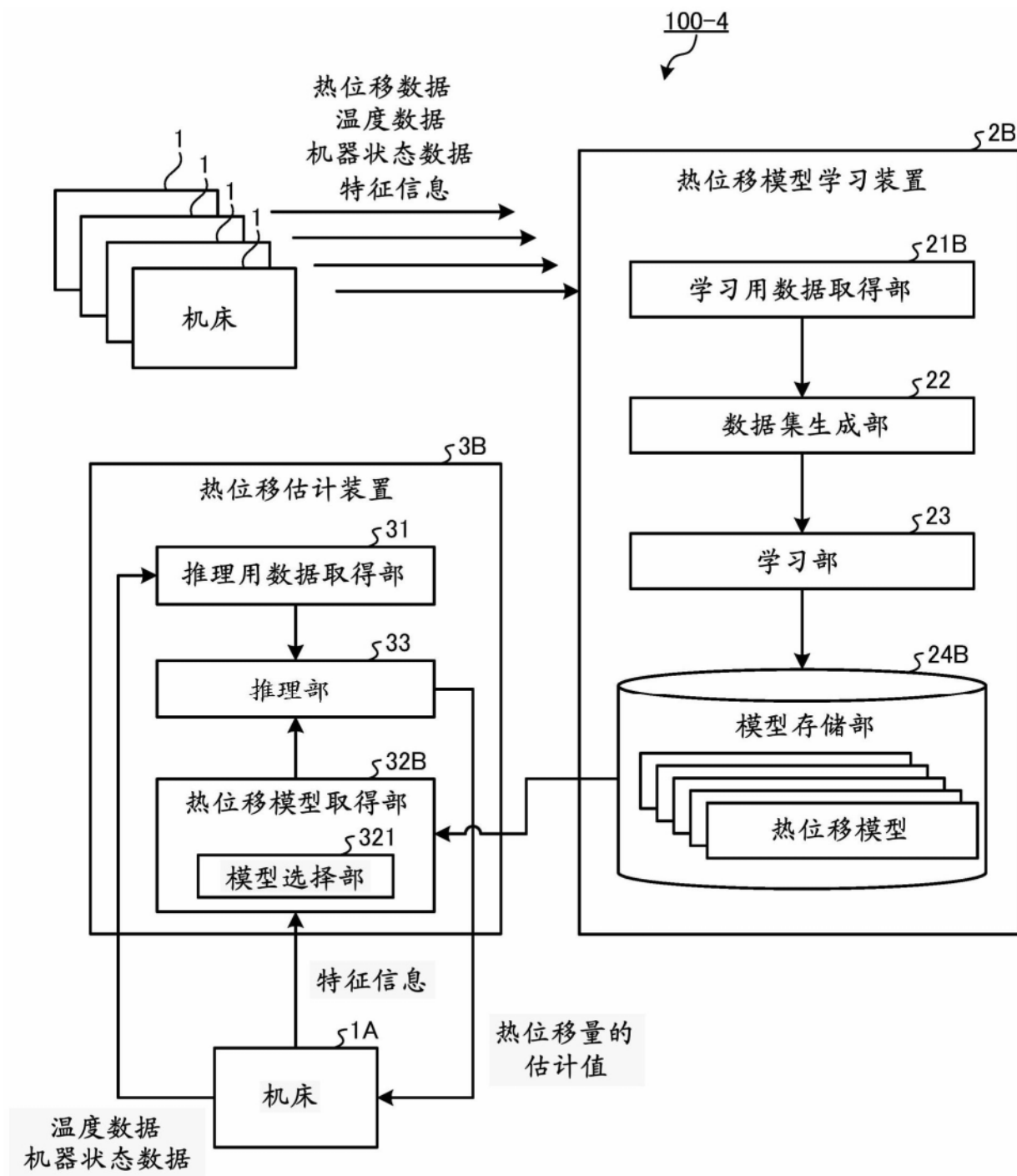


图19