



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109507879 B

(45) 授权公告日 2020.12.01

(21) 申请号 201811064380.X

(22) 申请日 2018.09.12

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109507879 A

(43) 申请公布日 2019.03.22

(30) 优先权数据
2017-177995 2017.09.15 JP

(73) 专利权人 发那科株式会社
地址 日本山梨县

(72) 发明人 饭岛一宪

(74) 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司 11243
代理人 范胜杰 金慧善

(51) Int.Cl.

G05B 13/04 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 105703691 A, 2016.06.22

CN 105322862 A, 2016.02.10

CN 106338967 A, 2017.01.18

CN 105103437 A, 2015.11.25

US 6469975 B1, 2002.10.22

CN 106003018 A, 2016.10.12

审查员 朱艳华

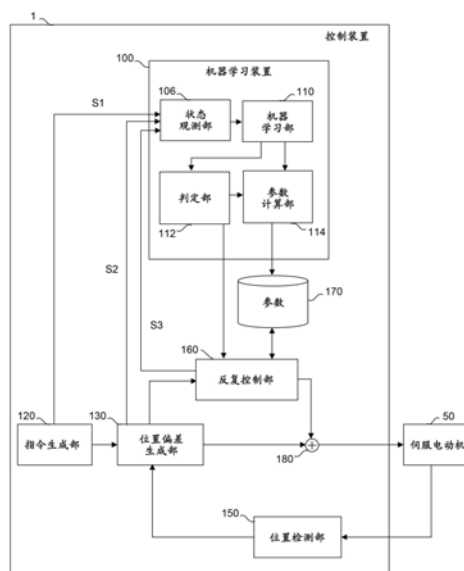
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

控制装置以及机器学习装置

(57) 摘要

本发明提供一种控制装置以及机器学习装置。控制装置具有：反复控制部，其根据电动机的每个控制周期的位置指令、该位置指令与电动机的位置之差即位置偏差、反复控制用的参数来计算位置补偿值；机器学习装置，其对该反复控制部计算的位置补偿值进行预测，机器学习装置根据位置指令、位置偏差、和位置补偿值来构筑学习模型使目标函数最小化。



1. 一种控制装置,其对由电动机驱动的加工机进行控制,其特征在于,所述控制装置具有:

指令生成部,其生成所述电动机的每个控制周期的位置指令;

位置检测部,其检测所述电动机的位置;

位置偏差生成部,其生成位置偏差,该位置偏差为所述指令生成部生成的位置指令值与所述位置检测部检测出的所述电动机的位置之差;

反复控制部,其根据所述位置偏差生成部生成的位置偏差和反复控制用的参数,来计算位置补偿值;以及

机器学习装置,其对所述反复控制部计算的位置补偿值进行预测,

所述机器学习装置根据所述位置指令、所述位置偏差和所述位置补偿值来构筑学习模型以使目标函数最小化,

所述机器学习装置在无法使所述目标函数最小化时,将所述反复控制部的动作无效化。

2. 根据权利要求1所述的控制装置,其特征在于,

所述机器学习装置的学习模型是结合多个感知器而得的非线性模型,

所述机器学习装置决定所述非线性模型的结合的权值以使所述目标函数最小。

3. 根据权利要求2所述的控制装置,其特征在于,

所述机器学习装置在能够使所述目标函数最小化时,根据所述非线性模型的结合的权值来决定反复控制用的参数。

控制装置以及机器学习装置

技术领域

[0001] 本发明涉及控制装置以及机器学习装置,尤其涉及进行基于机器学习的反复学习控制可能性判别以及自动调整的控制装置以及机器学习装置。

背景技术

[0002] 在反复指令相同样式的指令而进行加工等时,作为将控制偏差收敛至接近于零而提升加工精度的方法已知反复学习控制。该以往进行的反复学习控制是以固定样式周期来反复指示相同样式,将根据前一个一样式周期中的各控制周期的位置偏差求出的校正数据存储于学习存储器,对当前样式周期的各控制周期的位置偏差加上存储于学习存储器的前一个一样式周期中的对应的控制周期的校正数据,由此,将位置偏差收敛为零(参照日本特开平07-104823号公报以及日本特开平06-309021号公报等)。反复学习控制例如像活塞车床那样,在截面形状是相同样式而反复执行该同一样式的指令时等是有效的。

[0003] 但是,进行了反复学习控制时的控制行为还依赖于动作形状、速度等,因此,难以简单地决定用于使控制对象的动作稳定的参数,有经验的作业员为了使控制行为稳定而需要反复进行参数的调整和控制对象的动作的试行。此外,有时因控制的内容、对象的不同而使用反复学习控制并不适合,但是使用反复学习控制是否适合即使是有经验的作业员也无法立即进行判断,只能够从反复进行上述参数的调整而得的结果中进行判断。

发明内容

[0004] 因此,本发明的目的在于提供一种控制装置以及机器学习装置,针对具有非线性特性的控制对象判定能否应用反复学习控制以及决定反复学习控制用的参数。

[0005] 本发明涉及的控制装置对由电动机驱动的加工机进行控制,具有:指令生成部,其生成所述电动机的每个控制周期的位置指令;位置检测部,其检测所述电动机的位置;位置偏差生成部,其生成位置偏差,该位置偏差为所述指令生成部生成的位置指令值与所述位置检测部检测出的所述电动机的位置之差;反复控制部,其根据所述位置偏差生成部生成的位置偏差值和反复控制用的参数,来计算位置补偿值;以及机器学习装置,其对所述反复控制部计算的位置补偿值进行预测。并且,所述机器学习装置根据所述位置指令、所述位置偏差和所述位置补偿值来构筑学习模型以使目标函数最小化。

[0006] 所述机器学习装置将该学习模型设为结合多个感知器而得的非线性模型,并决定所述非线性模型的结合的权值以使所述目标函数最小。此外,所述机器学习装置也可以在能够使所述目标函数最小化时,根据所述非线性模型的结合的权值来决定反复控制用的参数。

[0007] 所述机器学习装置在无法使所述目标函数最小化时,将所述反复控制部的动作无效化。

[0008] 根据本发明,由于不需要反复学习控制中的调整试行而获得最终的控制条件,因此可以去掉调整过程中的振动行为的风险。此外,即使是定量稳定性评价困难的控制对象,

也可以获得稳定性的评价价值。

附图说明

- [0009] 图1是本发明的一实施方式涉及的控制装置的概略硬件结构图。
[0010] 图2是图1的控制装置的概略功能框图。
[0011] 图3是例示多层感知器的图。
[0012] 图4是表示图2的控制装置执行的处理流程的概要的流程图。

具体实施方式

- [0013] 图1是表示第一实施方式涉及的控制装置的主要部分的概略硬件结构图。
[0014] 控制装置1例如可以作为控制加工机的控制装置而实装。本实施方式涉及的控制装置1具有的CPU11是对控制装置1进行整体控制的处理器。CPU11经由总线20读出存储于ROM12的系统程序,并按照该系统程序来对控制装置1整体进行控制。将临时的计算数据、显示数据、以及操作员经由未图示的输入部输入的各种数据等暂时存储于RAM13中。
[0015] 非易失性存储器14构成为如下存储器:例如通过未图示的电池而被备份等,即使断开控制装置1的电源也可以保持存储状态。在非易失性存储器14中存储有经由接口15读入的反复控制有关的程序、经由后述的显示器/MDI单元70输入的程序等。存储于非易失性存储器14的反复控制有关的程序可以在利用时在RAM13中展开。此外,在ROM12中预先写入控制装置1的动作所需的各种系统程序(包含用于控制与后述的机器学习装置100的交换的系统程序)。
[0016] 接口15是用于将控制装置1与适配器等外部设备72连接的接口。从外部设备72侧读入反复控制有关的程序、各种参数等。此外,在控制装置1内编辑而得的反复控制有关的程序、各种参数等可以经由外部设备72存储于外部存储单元。可编程机器控制器(PMC)16通过内置于控制装置1的系统程序,经由I/O单元17向加工机的周边装置(例如,刀具更换用机械臂这样的致动器)输出信号而进行控制。此外,受理加工机本体所配备的操作盘的各种开关等的信号,在进行了这些所需的信号处理之后,转发给CPU11。
[0017] 显示器/MDI单元70是具有显示器、键盘等的手动数据输入装置,接口18受理来自显示器/MDI单元70的键盘的指令、数据而转发给CPU11。接口19与具有手动驱动各轴时使用的手动脉冲产生器的操作盘71连接。
[0018] 用于控制加工机具有的轴的轴控制电路30接受来自CPU11的轴的移动指令量,将轴的指令输出给伺服放大器40。伺服放大器40接受该指令,驱动使加工机具有的轴移动的伺服电动机50。轴的伺服电动机50内置有位置/速度检测器,将来自该位置/速度检测器的位置/速度反馈信号反馈给轴控制电路30,进行位置/速度的反馈控制。另外,在图1的硬件结构图中,只是仅示出了一个轴控制电路30、伺服放大器40、伺服电动机50,但是准备实际成为控制对象的加工机所具备的轴的数量对应的数量。
[0019] 主轴控制电路60接受对加工机的主轴旋转指令,将主轴速度信号输出给主轴放大器61。主轴放大器61接受该主轴速度信号,使加速机的主轴电动机62以所指令的转速旋转,驱动刀具。
[0020] 主轴电动机62与位置编码器63结合,位置编码器63与主轴的旋转同步地输出反馈

脉冲,该反馈脉冲通过CPU11被读取。

[0021] 接口21是用于将控制装置1与机器学习装置100连接的接口。机器学习装置100具有:统一控制机器学习装置100整体的处理器101、存储系统程序等的ROM102、用于进行机器学习有关的各处理中的临时存储的RAM103、以及用于存储学习模型等的非易失性存储器104。机器学习装置100可以经由接口21观测控制装置1能够取得的各信息(例如,从CPU11输入到轴控制电路30的轴的移动指令量、位置指令值、从伺服电动机50获得的位置/速度反馈值等)。此外,控制装置1根据从机器学习装置100输出的值来判定反复学习控制是否能够应用于控制对象的控制、决定反复学习控制用的参数。

[0022] 图2是一实施方式涉及的控制装置1与机器学习装置100的概略功能框图。

[0023] 图2所示的各功能模块通过图1所示的控制装置1具有的CPU11和机器学习装置100的处理器101执行各自的系统程序,并按控制周期T来对控制装置1和机器学习装置100的各部(轴控制电路30等)的动作进行控制来实现。

[0024] 控制装置1具有如下功能:在反复控制的周期L内进行控制使伺服电动机50的位置以预定的图案移动。本实施方式的控制装置1具有:指令生成部120、位置偏差生成部130、位置检测部150、反复控制部160。

[0025] 指令生成部120根据从存储于非易失性存储器14的反复控制有关的程序读出的指令,生成控制装置1的每一个控制周期T的伺服电动机50的位置指令,将生成的位置指令输出给位置偏差生成部130和机器学习装置100。

[0026] 位置偏差生成部130生成从指令生成部120接受的针对伺服电动机50的位置指令与位置检测部150检测出的伺服电动机50的位置之差即位置偏差,并将生成的位置偏差输出给伺服电动机50、反复控制部160、机器学习装置100。

[0027] 指令生成部120、位置偏差生成部130和位置检测部150是用于进行以往执行的位置反馈控制的结构。在反复学习控制中,除了这些结构之外还追加了反复控制部160。

[0028] 反复控制部160根据从位置偏差生成部130接受的每一个控制周期T的位置偏差与存储于参数存储部170的参数来计算位置补偿值,将计算出的位置补偿值输出。反复控制部160在进行了机器学习装置100涉及的学习模型的构筑时,使用当前存储于参数存储部170的参数(在控制装置1的动作初期,由作业员等设定的初期参数)来计算出位置补偿值,此外,在机器学习装置100涉及的学习模型的构筑结束,判定为能够应用反复学习控制时,使用由机器学习装置100来决定、且存储于参数存储部170的控制参数来计算出位置补偿值。反复控制部160输出的位置补偿值在加法器180中与从位置偏差生成部130输出的位置偏差相加,相加而得的结果输出给伺服电动机50。反复控制部160是日本特开平07-104823号公报和日本特开平06-309021号公报等现有技术所公开的反复学习控制用的结构,其详细的动作已经公知,因此省略本说明书中的详细说明。

[0029] 另一方面,控制装置1具有的机器学习装置100进行基于从指令生成部120输出的每一个控制周期T的位置指令与从位置偏差生成部130输出的每一个控制周期T的位置偏差的所谓的机器学习,根据该学习结果来判定应用反复学习控制的可能性、决定反复学习控制用的参数(存储于参数存储部170的参数)。

[0030] 如图2的功能模块所示,控制装置1具有的机器学习装置100具有:状态观测部106,其观测从指令生成部120输出的每一个控制周期T的位置指令数据S1以及从位置偏差生成

部130输出的每一个控制周期T的位置偏差数据S2作为状态变量S；机器学习部110，其进行基于状态变量S的机器学习；判定部112，其根据机器学习部110进行的机器学习的结果来判定应用反复学习控制的可能性；以及参数计算部114，其根据机器学习部110进行的学习结果来计算反复学习控制用的参数并输出。

[0031] 状态观测部106观测进行了基于存储于参数存储部170的参数的反复学习控制的状态下的、从指令生成部120输出的每一个控制周期T的位置指令数据S1、从位置偏差生成部130输出的每一个控制周期T的位置偏差数据S2、表示从反复控制部160输出的位置补偿值的位置补偿值数据S3作为状态变量。状态观测部106在进行基于机器学习部110的学习期间，观测从指令生成部120输出的每一个控制周期T的位置指令数据S1、从位置偏差生成部130输出的每一个控制周期T的位置偏差数据S2、表示从反复控制部160输出的位置补偿值的位置补偿值数据S3。

[0032] 机器学习部110按照统称为机器学习的任意学习算法，根据状态观测部106观测出的位置指令数据S1、位置偏差数据S2和位置补偿值数据S3，生成针对反复学习的学习模型（即，进行机器学习）。机器学习部110构筑进行了基于存储于参数存储部170的参数的反复学习控制的状态下的、基于指令值（位置指令数据S1）、反馈值（位置偏差数据S2）、与其对应的响应（位置补偿值数据S3）的学习模型。在机器学习部110构筑的学习模型中，例如可以使用图3所例示那样的、结合了多个感知器的非线性模型。这样的情况下，通过调整机器学习参数w（感知器间的结合的权值，图3中权值行列w1、w2、w3）来进行基于机器学习部110的学习模型的构筑（机器学习），以使以下数学式（1）所示的损失函数L(w)的值最小化。

$$[0033] \quad L(\mathbf{w}) = \sum_{i=1}^N l(r^i, y_i^i; \mathbf{w}) \rightarrow \min \quad \dots \dots (1)$$

[0034] 机器学习部110根据状态观测部106观测到的状态变量S反复进行使上述损失函数L(w)的值最小化的工序，例如在可以将损失函数L(w)的值设为预先决定的预定阈值以下时，将可以构筑学习模型的意思输出，结束学习模型的构筑（机器学习）。另一方面，机器学习部110根据状态观测部106观测出的状态变量S来反复进行使上述损失函数L(w)的值最小化的工序，例如在通过预先决定的预定次数的最小化的工序无法使损失函数L(w)的值低于预先决定的规定阈值以下时（即，学习模型的构筑没有收敛时），将无法构筑学习模型的意思输出，结束学习模型的构筑（机器学习）。

[0035] 判定部112根据来自机器学习部110的学习模型的构筑的成功或失败的输出，来判定应用反复学习控制的可能性。判定部112在基于机器学习部110的学习模型的构筑成功时，判定为能够应用针对通常控制系统的反复学习控制，将其意思输出。另一方面，判定部112在基于机器学习部110的学习模型的构筑失败时，判定为不能够应用针对该控制系统的反复学习控制，将反复控制部160的动作关闭。

[0036] 参数计算部114在判定部112判定为能够应用针对通常控制系统的反复学习控制时，使用预先设定的映射函数，将机器学习部110构筑出的学习模型的机器学习参数w变换为反复学习控制用的参数p。在参数计算部114为了从机器学习参数w变换为反复学习控制用的参数p而使用的映射函数中利用从学习模型的机器学习参数和控制参数求出的映射函数即可，该学习模型的机器学习参数是通过预先实验等，在能够应用反复学习控制的通常控制系统中由机器学习部110构筑出的学习模型的机器学习参数，所述控制参数是针对该

通常控制系统应用反复学习控制,通过该反复学习控制学习到的控制参数。

[0037] 另外,由机器学习部110构筑出的学习模型(已学习模型)也能够沿用于进行相同的反复控制的其他控制装置。例如,在设置有多个对相同的产品进行加工的相同型号的加工机的工厂等处,可以在一台控制装置1上进行基于上述机器学习部110的学习模型的构筑,根据构筑出的已学习模型将由参数计算部114计算出的反复学习控制用的参数 p 设定给控制各加工机的控制装置并进行利用。

[0038] 图4是在本实施方式的控制装置1上执行的处理的概略流程图。

[0039] • [步骤SA01]控制装置1判定机器学习部110是否正在构筑学习模型。在机器学习部110正在构筑学习模型时,向步骤SA01转移处理,在基于机器学习部110的学习模型的构筑结束时,向步骤SA07转移处理。

[0040] • [步骤SA02]指令生成部120根据从存储于非易失性存储器14的反复控制有关的程序读出的指令,生成控制装置1的每一个控制周期 T 的伺服电动机50的位置指令,将生成的位置指令输出给位置偏差生成部130和机器学习装置100。

[0041] • [步骤SA03]位置检测部150检测伺服电动机50的位置。

[0042] • [步骤SA04]位置偏差生成部130生成通过步骤SA02生成的针对伺服电动机50的位置指令与通过步骤SA03生成的伺服电动机50的位置之差即位置偏差。

[0043] • [步骤SA05]反复控制部160根据通过步骤SA04生成的位置偏差和存储于参数存储部170的参数,来计算出位置补偿值。

[0044] 另外,虽然没有向反复控制部160输入位置指令值,但是有时也通过位置指令值来校正位置补偿值(动作速度的过载(override))。机器学习装置100应该是针对反复控制的行为的模拟器,该情况下若机器学习装置100不接受位置指令值则无法进行模拟。

[0045] • [步骤SA06]机器学习部110根据通过步骤SA02生成的伺服电动机50的位置指令(状态观测部106观测到的位置指令)、通过步骤SA041820204的位置偏差(状态观测部106观测出的位置偏差)、通过步骤SA05计算出的位置补偿值(状态观测部106观测出的位置补偿值),来构筑学习模型。

[0046] • [步骤SA07]判定部112判定基于机器学习部110的学习模型的构筑是否收敛。在学习模型的构筑收敛时,向步骤SA08转移处理,在学习模型的构筑没有收敛时向步骤SA09转移处理。

[0047] • [步骤SA08]判定部112作为能够反复学习控制,将基于反复控制部160的反复学习控制关闭。参数计算部114将机器学习部110构筑出的学习模型的机器学习参数 w 变换为控制参数 p ,将变换而得的控制参数 p 存储于参数存储部170。

[0048] • [步骤SA09]判定部112判定为无法进行反复学习控制,将基于反复控制部160的反复学习控制关闭。

[0049] 在本发明的一实施方式涉及的控制装置1中,在机器学习部110的学习模型的构筑(机器学习参数的探索试行)过程中,如果损失函数 $L(w)$ 的值收敛为最小值则自动获得反复学习的参数,例如,在进行活塞车床中的反复控制时,在主轴转速设定于适当的速度域时,损失函数 $L(w)$ 的值收敛,但是在设定于超速域时,损失函数 $L(w)$ 的值没有收敛而发散,因此,可以从机器学习部110的动作中掌握无法应用反复学习的情况。

[0050] 以上,对本发明的实施方式进行了说明,但是本发明并非只局限于上述实施方式

的示例,可以通过增加适当的变更以各种方式来实施。

[0051] 例如,机器学习装置100执行的学习算法、机器学习装置100执行的运算算法等不限于上述算法,可以采用各种算法。

[0052] 此外,在上述实施方式中,控制装置1与机器学习装置100作为具有不同CPU(处理器)的装置进行了说明,但是机器学习装置100也可以通过控制装置1具有的CPU11和存储于ROM12的系统程序来实现。

[0053] 并且,在上述实施方式中,构筑基于作为输入的位置指令值(位置指令数据S1)、反馈值(位置偏差数据S2)、与其对应的响应(位置补偿值数据S3)的学习模型,但是为了更强烈地反映电动机等的动特性,可以将转矩指令值与电动机电流等用于输入值。

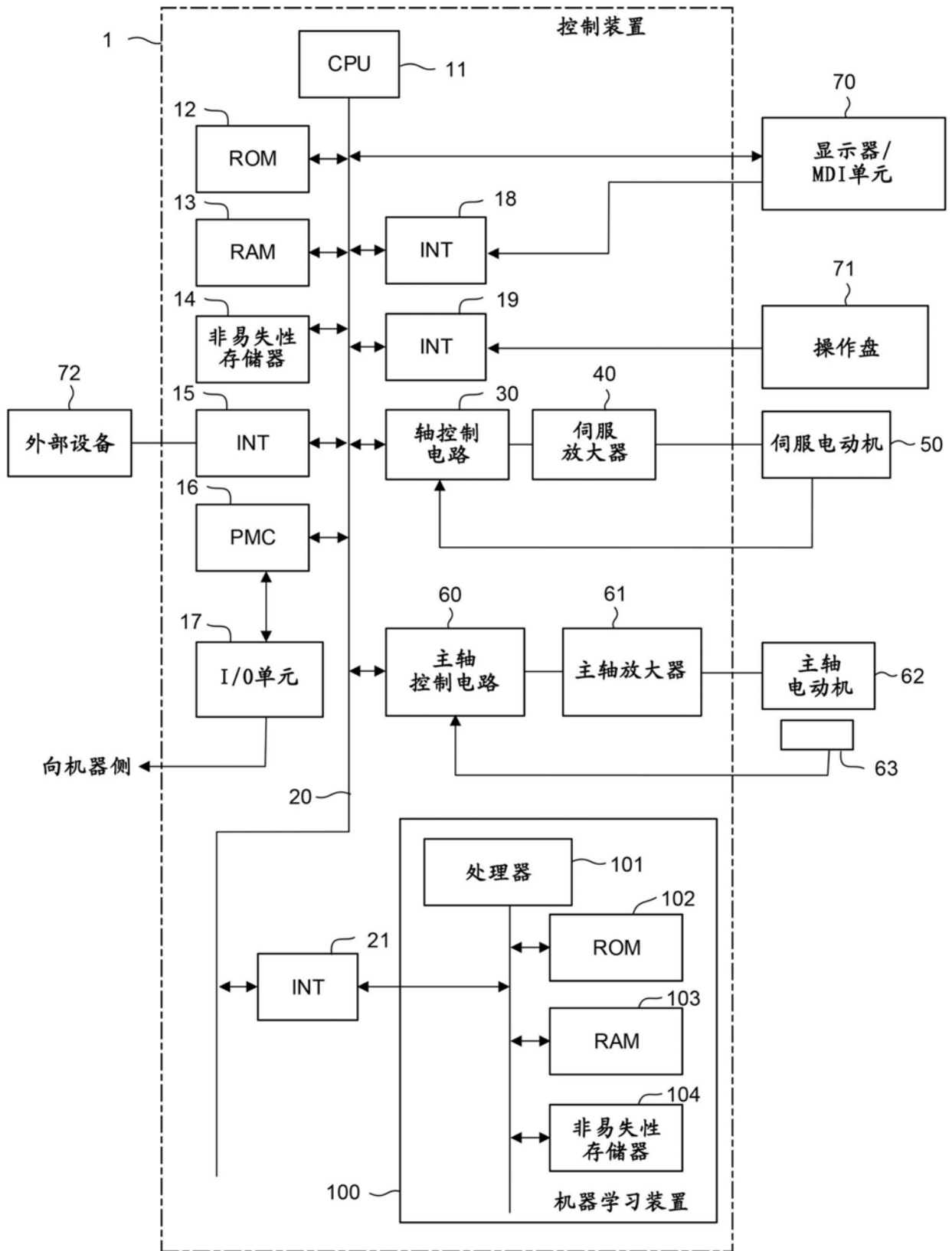


图1

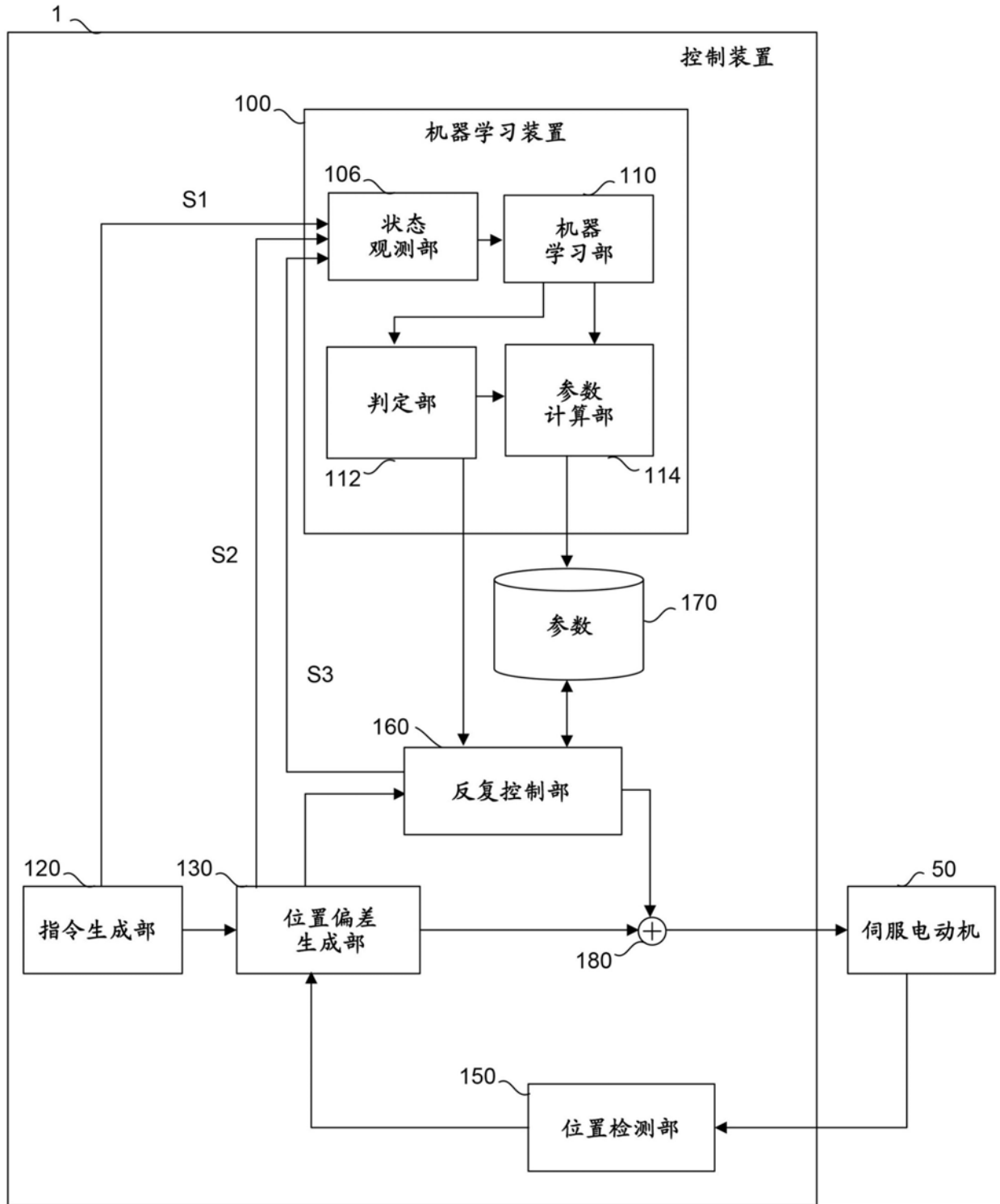


图2

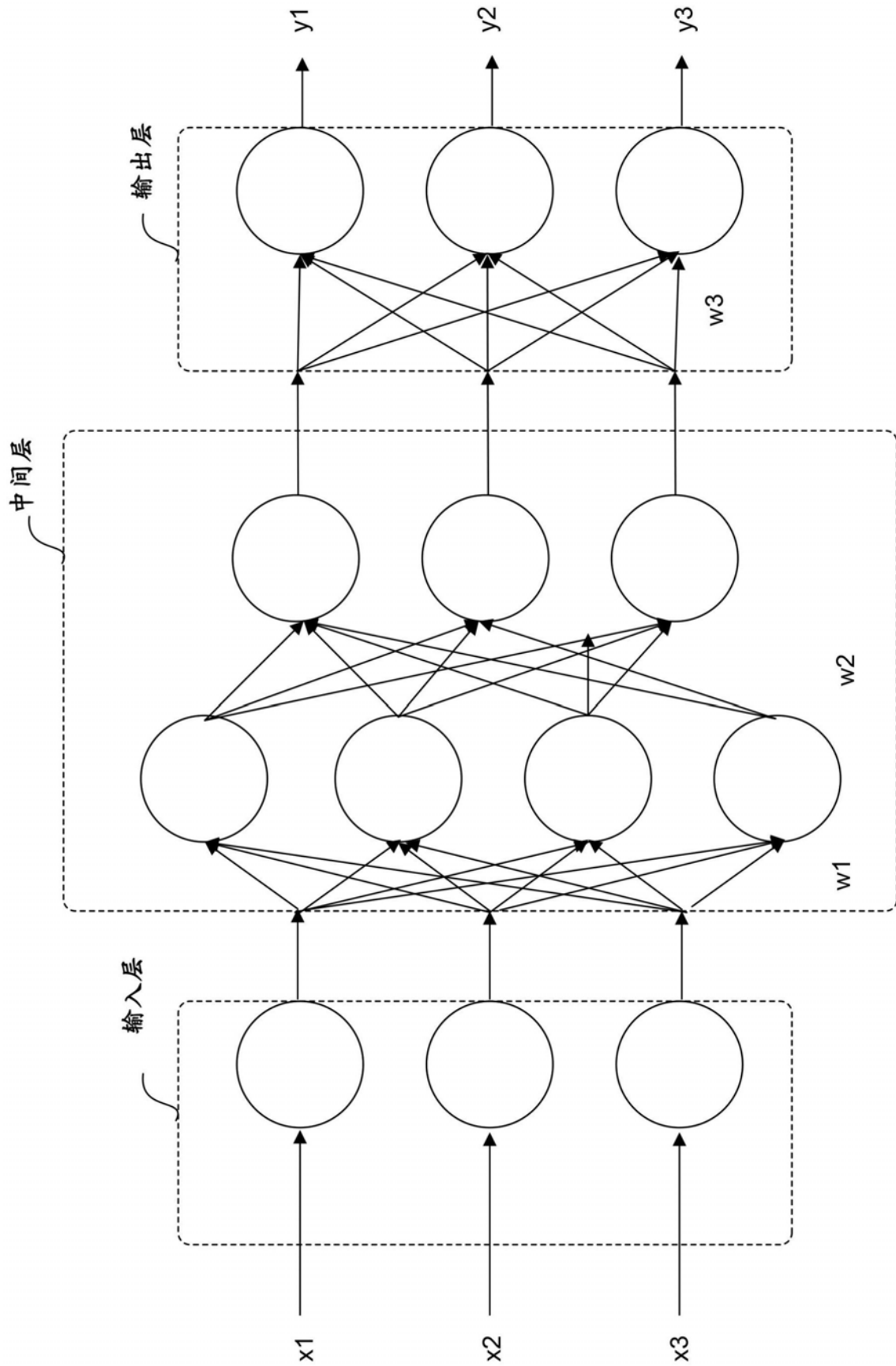


图3

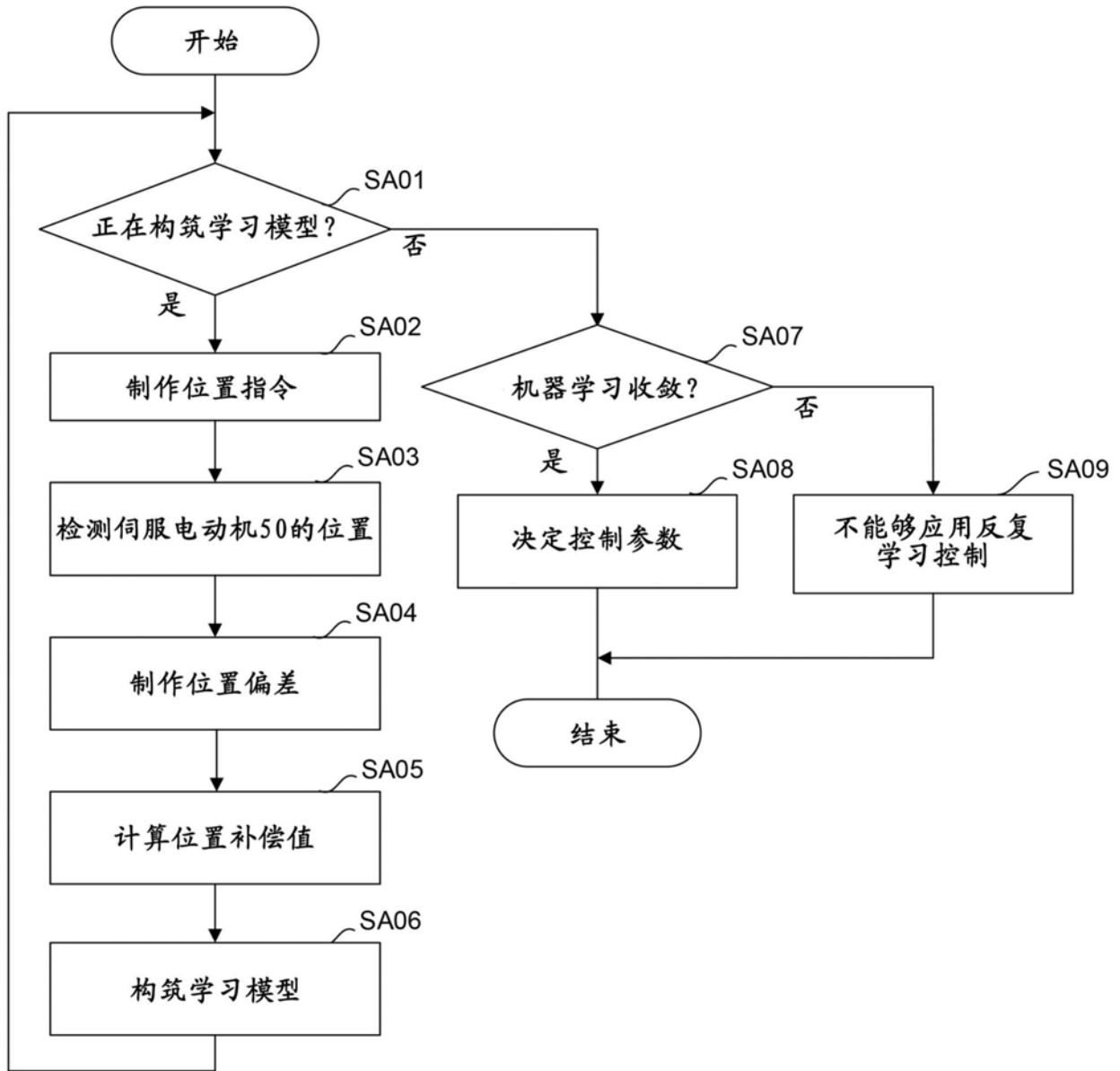


图4