



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110769984 B

(45) 授权公告日 2022.09.02

(21) 申请号 201880041042.6

(22) 申请日 2018.06.19

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110769984 A

(43) 申请公布日 2020.02.07

(30) 优先权数据
2017-121331 2017.06.21 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.12.19

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2018/023280 2018.06.19

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/235812 JA 2018.12.27

(73) 专利权人 川崎重工业株式会社
地址 日本兵库县

(72) 发明人 坪井信高

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
专利代理师 周宏志 卢英日

(51) Int.Cl.
B25J 9/10 (2006.01)
B25J 13/08 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 101396829 A, 2009.04.01
US 2015277426 A1, 2015.10.01
JP 2005349555 A, 2005.12.22
JP 2013202762 A, 2013.10.07
US 2014084840 A1, 2014.03.27

审查员 石峰

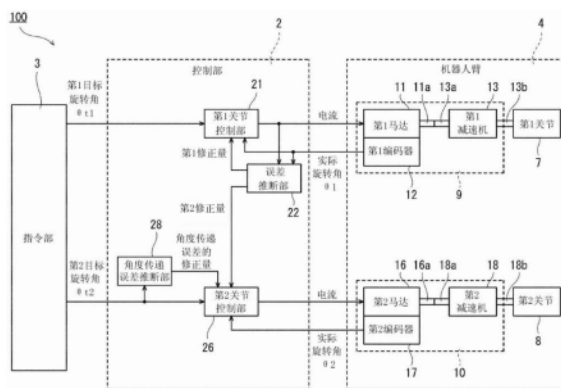
权利要求书3页 说明书10页 附图5页

(54) 发明名称

机器人系统和机器人系统的控制方法

(57) 摘要

本发明具备：第1关节控制部(21)，基于从上一级装置输入的对第1马达(11)的第1动作目标与第1马达的输出轴(11a)的实际动作的偏差，计算向第1马达供给的第1电流值，并且基于第1电流值向第1马达供给电流，从而控制第1马达的输出轴的动作；第2关节控制部(26)，基于从上一级装置输入的对第2马达(16)的第2动作目标与第2马达的输出轴(16a)的实际动作的偏差，计算向第2马达供给的第2电流值，并且基于第2电流值向第2马达供给电流，从而控制第2马达的输出轴的动作；以及误差推断部(27)，基于第1电流值和第1马达的输出轴的实际动作，推断由机器人臂(4)的弯曲和/或扭曲引起的第2关节(8)的运动的误差，第2关节控制部以补偿第2关节的角度误差来控制第2马达的输出轴的旋转角的方式计算第2电流值。



CN 110769984 B

1. 一种机器人系统,其特征在于,
所述机器人系统具备:
机器人臂,包括多个关节,所述多个关节包括第1关节和第2关节;
第1关节驱动部,具有输出轴与所述第1关节连接并使所述第1关节转动的第1马达;
第1探测部,取得所述第1马达的所述输出轴的实际动作的信息,
第1关节控制部,基于从上一级装置输入的对所述第1马达的第1动作目标与所述第1马达的所述输出轴的所述实际动作的偏差,计算向所述第1马达供给的第1电流值,并且基于该第1电流值向所述第1马达供给电流,从而控制所述第1马达的所述输出轴的动作;
第2关节驱动部,具有输出轴与所述第2关节连接并使所述第2关节转动的第2马达;
第2探测部,取得所述第2马达的所述输出轴的实际动作的信息;
第2关节控制部,基于从所述上一级装置输入的对所述第2马达的第2动作目标与所述第2马达的所述输出轴的所述实际动作的偏差,计算向所述第2马达供给的第2电流值,并且基于该第2电流值向所述第2马达供给电流,从而控制所述第2马达的所述输出轴的动作;以及
误差推断部,基于所述第1电流值和所述第1马达的所述输出轴的所述实际动作,推断由所述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的所述第2关节的运动的误差,
所述第2关节控制部以补偿由所述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的所述第2关节的运动的误差来控制所述第2马达的所述输出轴的运动的方式计算所述第2电流值。
2. 根据权利要求1所述的机器人系统,其中,
所述第1探测部所取得的所述实际动作的信息是所述第1马达的所述输出轴的角度位置、角速度和角加速度中的至少任意一个,
所述第1动作目标是对所述第1马达的位置指令、速度指令和加速度指令中的至少任意一个,
所述第1动作目标与所述第1马达的所述输出轴的所述实际动作的所述偏差是位置偏差、速度偏差和加速度偏差中的至少任意一个,
所述第2探测部所取得的所述实际动作的信息是所述第2马达的所述输出轴的角度位置、角速度和角加速度中的至少任意一个,
所述第2动作目标是对所述第2马达的位置指令、速度指令和加速度指令中的至少任意一个,
所述第2动作目标与所述第2马达的所述输出轴的所述实际动作的所述偏差是位置偏差、速度偏差和加速度偏差中的至少任意一个,
由所述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的所述第2关节的运动的误差是角度误差、角度速度误差和角加速度误差中的至少任意一个。
3. 根据权利要求1或2所述的机器人系统,其中,
所述误差推断部基于由所述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的包括所述第1关节和所述第2关节在内的系统的耦合振动的多个固有振动频率中的固有振动频率小的一固有振动频率,来推断由所述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的所述第2关节的运动的误差。
4. 根据权利要求1~3中任一项所述的机器人系统,其中,
所述第2关节驱动部还包括输入轴与所述第2马达的所述输出轴连接并且输出轴与所

述第2关节连接的减速机,并且所述第2马达经由该减速机使所述第2关节转动,

还具备推断所述第2马达的所述输出轴的旋转角与所述减速机的所述输出轴的旋转角之间的角度传递误差的角度传递误差推断部,

所述第2关节控制部以补偿所述角度传递误差、和由所述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的所述第2关节的动作的误差来控制所述第2马达的所述输出轴的动的方式计算所述第2电流值。

5. 根据权利要求4所述的机器人系统,其中,

所述误差推断部具有:第1误差推断部,基于所述第1电流值和所述第1马达的所述输出轴的所述实际动作,推断由所述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的所述第2关节的动作的误差;和第2误差推断部,基于所述第2电流值和所述第2马达的所述输出轴的所述实际动作,推断由所述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的所述第2关节的动作的误差,

所述第2关节控制部具有:第1模式,以补偿所述角度传递误差、和所述第1误差推断部所推断出的由所述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的所述第2关节的动作的误差来控制所述第2马达的所述输出轴的动的方式计算所述第2电流值;和第2模式,以补偿所述第2误差推断部所推断出的由所述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的所述第2关节的动作的误差来控制所述第2马达的所述输出轴的动的方式计算所述第2电流值,

还具有对所述第2关节控制部进行指示而切换所述第1模式和所述第2模式的动作模式切换部。

6. 根据权利要求5所述的机器人系统,其中,

若所述机器人臂的作业端的动作速度变为规定的速度以下,则所述动作模式切换部切换为所述第1模式。

7. 一种机器人系统的控制方法,

所述机器人系统具备:

机器人臂,包括多个关节,所述多个关节包括第1关节和第2关节;

第1关节驱动部,具有输出轴与所述第1关节连接并使所述第1关节转动的第1马达;

第1探测部,取得所述第1马达的所述输出轴的实际动作的信息;

第1关节控制部,控制所述第1马达的所述输出轴的动作;

第2关节驱动部,具有输出轴与所述第2关节连接并使所述第2关节转动的第2马达;

第2探测部,探测用于检测所述第2马达的所述输出轴的实际旋转角的事件;以及

第2关节控制部,控制所述第2马达的所述输出轴的动作,

所述机器人系统的控制方法的特征在于,

具有:

基于从上一级装置输入的对所述第1马达的第1动作目标与所述第1马达的所述输出轴的所述实际动作的偏差,计算向所述第1马达供给的第1电流值的步骤;

基于所述第1电流值和所述第1马达的所述输出轴的所述实际动作,推断由所述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的所述第2关节的动作的误差的步骤;

基于从所述上一级装置输入的对所述第2马达的第2动作目标与所述第2马达的所述输出轴的所述实际动作的偏差,计算向所述第2马达供给的第2电流值,并且以补偿所述第2关节的动作的误差来控制所述第2马达的所述输出轴的旋转角的方式计算所述第2电流值的

步骤;以及

基于所述第2电流值向所述第2马达供给电流的步骤。

机器人系统和机器人系统的控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及机器人系统和机器人系统的控制方法。

背景技术

[0002] 以往,公知有能够提高机器人臂末端的振动抑制效果的机器人控制装置(例如参照专利文献1)。

[0003] 该机器人控制装置将具有弹性机构的机器人臂作为控制对象,具有对马达的角度进行比例积分控制而向马达输出电流指令值的角速度控制系统,并具有:观察器(observer),具有机器人臂的非线性动力学模型,将马达的角度速度和电流指令值作为输入,从而推断轴扭转角速度、连杆的角加速度;和状态反馈部,根据由观察器推断的连杆的角速度与马达的角速度之差,计算轴扭转角速度,并向角速度控制系统反馈。

[0004] 专利文献1:日本特开2015-30076号公报

[0005] 然而,在专利文献1中记载的机器人控制装置基于推断对象关节所包括的马达的角度速度和对马达的电流指令值,对推断对象关节的轴扭转角速度进行推断,因此当在对马达的电流指令值中包括有其他的补偿要素时,有时不能推断轴扭转角速度。

发明内容

[0006] 为了解决上述课题,本发明的一个形态所涉及的机器人系统具备:机器人臂,包括多个关节,上述多个关节包括第1关节和第2关节;第1关节驱动部,具有输出轴与上述第1关节连接并使上述第1关节转动的第1马达;第1探测部,取得上述第1马达的上述输出轴的实际动作的信息;第1关节控制部,基于从上一级装置输入的对上述第1马达的第1动作目标与上述第1马达的上述输出轴的上述实际动作的偏差,计算向上述第1马达供给的第1电流值,并且基于该第1电流值向上述第1马达供给电流,从而控制上述第1马达的上述输出轴的动作;第2关节驱动部,具有输出轴与上述第2关节连接并使上述第2关节转动的第2马达;第2探测部,取得上述第2马达的上述输出轴的实际动作的信息;第2关节控制部,基于从上述上一级装置输入的对上述第2马达的第2动作目标与上述第2马达的上述输出轴的上述实际动作的偏差,计算向上述第2马达供给的第2电流值,并且基于该第2电流值向上述第2马达供给电流,从而控制上述第2马达的上述输出轴的动作;以及误差推断部,基于上述第1电流值和上述第1马达的上述输出轴的上述实际动作,推断由上述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的上述第2关节的运动的误差,上述第2关节控制部以补偿由上述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的上述第2关节的运动的误差来控制上述第2马达的上述输出轴的动作的方式计算上述第2电流值。

[0007] 根据该结构,能够防止进行由机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的第2关节的运动的误差的补偿的控制与其他的控制干涉。由此,能够有效地抑制机器人臂的振动,从而能够使机器人臂的作业端的轨迹精度提高。

[0008] 本发明起到使机器人臂的作业端的轨迹精度提高的效果。

附图说明

- [0009] 图1是示意性地表示实施方式1所涉及的机器人系统的结构例的图。
- [0010] 图2是示意性地表示图1的机器人系统的控制系统的结构例的框图。
- [0011] 图3是角度传递误差的说明图。
- [0012] 图4是示意性地表示实施方式2所涉及的机器人系统的控制系统的结构例的框图。
- [0013] 图5是表示图4的机器人系统的动作模式切换部的动作例的流程图。

具体实施方式

[0014] 一个形态所涉及的机器人系统具备：机器人臂，包括多个关节，上述多个关节包括第1关节和第2关节；第1关节驱动部，具有输出轴与上述第1关节连接并使上述第1关节转动的第1马达；第1探测部，取得上述第1马达的上述输出轴的实际动作的信息；第1关节控制部，基于从上一级装置输入的对上述第1马达的第1动作目标与上述第1马达的上述输出轴的上述实际动作的偏差，计算向上述第1马达供给的第1电流值，并且基于该第1电流值向上述第1马达供给电流，从而控制上述第1马达的上述输出轴的动作；第2关节驱动部，具有输出轴与上述第2关节连接并使上述第2关节转动的第2马达；第2探测部，取得上述第2马达的上述输出轴的实际动作的信息；第2关节控制部，基于从上述上一级装置输入的对上述第2马达的第2动作目标与上述第2马达的上述输出轴的上述实际动作的偏差，计算向上述第2马达供给的第2电流值，并且基于该第2电流值向上述第2马达供给电流，从而控制上述第2马达的上述输出轴的动作；以及误差推断部，基于上述第1电流值和上述第1马达的上述输出轴的上述实际动作，推断由上述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的上述第2关节的运动的误差，上述第2关节控制部以补偿由上述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的上述第2关节的运动的误差来控制上述第2马达的上述输出轴的运动的方式计算上述第2电流值。

[0015] 根据该结构，能够防止进行由机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的第2关节的运动的误差的补偿的控制与其他的控制干涉。由此，能够有效地抑制机器人臂的振动，从而能够使机器人臂的作业端的轨迹精度提高。

[0016] 也可以构成为：上述第1探测部所取得的上述实际动作的信息是上述第1马达的上述输出轴的角度位置、角速度和角加速度中的至少任意一个，上述第1动作目标是对上述第1马达的位置指令、速度指令和加速度指令中的至少任意一个，上述第1动作目标与上述第1马达的上述输出轴的上述实际动作的上述偏差是位置偏差、速度偏差和加速度偏差中的至少任意一个，上述第2探测部所取得的上述实际动作的信息是上述第2马达的上述输出轴的角度位置、角速度和角加速度中的至少任意一个，上述第2动作目标是对上述第2马达的位置指令、速度指令和加速度指令中的至少任意一个，上述第2动作目标与上述第2马达的上述输出轴的上述实际动作的上述偏差是位置偏差、速度偏差和加速度偏差中的至少任意一个，由上述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的上述第2关节的运动的误差是角度误差、角度速度误差和角加速度误差中的至少任意一个。

[0017] 根据该结构，能够适当地补偿由机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的第2关节的运动的误差。

[0018] 也可以构成为：上述误差推断部基于由上述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的包括上述第1关节和上述第2关节在内的系统的耦合振动的多个固有振动频率中的固有振动

频率小的一固有振动频率,来推断由上述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的上述第2关节的运动的误差。

[0019] 根据该结构,能够适当地抑制由机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的机器人臂的振动。

[0020] 也可以构成为:上述第2关节驱动部还包括输入轴与上述第2马达的上述输出轴连接并且输出轴与上述第2关节连接的减速机,并且上述第2马达经由该减速机使上述第2关节转动,还具备推断上述第2马达的上述输出轴的旋转角与上述减速机的上述输出轴的旋转角之间的角度传递误差的角度传递误差推断部,上述第2关节控制部以补偿上述角度传递误差和由上述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的上述第2关节的运动的误差来控制上述第2马达的上述输出轴的运动的方式计算上述第2电流值。

[0021] 根据该结构,能够防止角度传递误差补偿与由机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的运动的误差的补偿的干涉。由此,能够一起使用两补偿,从而能够有效地抑制机器人臂的振动。

[0022] 也可以构成为:上述误差推断部具有:第1误差推断部,基于上述第1电流值和上述第1马达的上述输出轴的上述实际动作,推断由上述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的上述第2关节的运动的误差;和第2误差推断部,基于上述第2电流值和上述第2马达的上述输出轴的上述实际动作,推断由上述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的上述第2关节的运动的误差,上述第2关节控制部具有:第1模式,以补偿上述角度传递误差、和上述第1误差推断部所推断出的由上述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的上述第2关节的运动的误差来控制上述第2马达的上述输出轴的运动的方式计算上述第2电流值;和第2模式,以补偿上述第2误差推断部所推断出的由上述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的上述第2关节的运动的误差来控制上述第2马达的上述输出轴的运动的方式计算上述第2电流值,还具有对上述第2关节控制部进行指示而切换上述第1模式和上述第2模式的动作模式切换部。

[0023] 根据该结构,通过根据条件适当地切换模式,能够适当地抑制机器人臂的振动。

[0024] 也可以构成为:若上述机器人臂的作业端的动作速度变为规定的速度以下,则上述动作模式切换部切换为上述第1模式。

[0025] 根据该结构,能够在执行要求精度的作业时减少角度传递误差的影响。

[0026] 对于一个形态所涉及的机器人系统的控制方法而言,上述机器人系统具备:机器人臂,包括多个关节,上述多个关节包括第1关节和第2关节;第1关节驱动部,具有输出轴与上述第1关节连接并使上述第1关节转动的第1马达;第1探测部,取得上述第1马达的上述输出轴的实际动作的信息;第1关节控制部,控制上述第1马达的上述输出轴的动作;第2关节驱动部,具有输出轴与上述第2关节连接并使上述第2关节转动的第2马达;第2探测部,探测用于检测上述第2马达的上述输出轴的实际旋转角的事件;以及第2关节控制部,控制上述第2马达的上述输出轴的动作,其中,上述机器人系统的控制方法具有:基于从上一级装置输入的对上述第1马达的第1动作目标与上述第1马达的上述输出轴的上述实际动作的偏差,计算向上述第1马达供给的第1电流值的步骤;基于上述第1电流值和上述第1马达的上述输出轴的上述实际动作,推断由上述机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的上述第2关节的运动的误差的步骤;基于从上述上一级装置输入的对上述第2马达的第2动作目标与上述第2马达的上述输出轴的上述实际动作的偏差,计算向上述第2马达供给的第2电流值,并且以

补偿上述第2关节的动作用的误差来控制上述第2马达的上述输出轴的旋转角的方式计算上述第2电流值的步骤;以及基于上述第2电流值向上述第2马达供给电流的步骤。

[0027] 根据该结构,能够防止进行由机器人臂的弯曲和/或扭曲引起的第2关节的动作用的误差的补偿的控制与其他的控制干涉。由此,能够有效地抑制机器人臂的振动,从而能够使机器人臂的作业端的轨迹精度提高。

[0028] 以下,参照附图对实施方式1进行说明。此外,本发明并不限定于以下的实施方式。另外,以下,在所有的附图中,对相同或者相当的要素标注相同的附图标记,并省略其重复的说明。

[0029] (实施方式1)

[0030] 图1是示意性地表示实施方式1所涉及的机器人系统100的结构例的图。

[0031] 如图1所示,机器人系统100具备机器人1、控制部2以及指令部3。

[0032] [机器人的结构例]

[0033] 机器人1是多关节型机器人的工业用机器人(多关节机器人)。

[0034] 机器人1包括基部30、机器人臂4以及机械手5。基部30例如固定并载置于地面上,支承机器人臂4和机械手5。

[0035] 机器人臂4具有多个关节,并连结为基端部能够相对于基部30进行转动。对于机器人臂4的关节而言,多个关节从基端部朝向末端部连成一系列。在机器人臂4的多个关节中,一个关节构成第1关节7(例如第2轴),与第1关节7不同的另外一个关节(例如第3轴)构成第2关节8。第1关节7与第2关节8构成为能够位于相互干涉的姿势。第1关节7与第2关节8相互干涉的姿势是指公式(1)所涉及的动力学方程式的惯性矩阵的相互惯性系数大的姿势。

[0036] [公式1]

$$[0037] \quad \mathbf{T} = \mathbf{I}\ddot{\boldsymbol{\phi}} + \mathbf{H} + \mathbf{G} \quad \dots (1)$$

[0038] 其中,

[0039] T是施加于基端侧关节和末端侧关节的扭矩的矢量 $\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix}$,

[0040] I是惯性矩阵 $\begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} \\ I_{21} & I_{22} \end{bmatrix}$,并且 I_{12} 和 I_{21} 是相互惯性系数,

[0041] $\boldsymbol{\phi}$ 是基端侧关节和末端侧关节的加速度的矢量 $\begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{bmatrix}$,

[0042] H是科里奥利效应和离心力,

[0043] G是重力矢量。

[0044] 图2是示意性地表示图1的机器人系统100的控制系统的结构例的框图。此外,在图2中,省略了除第1关节7和第2关节8以外的关节的图示。

[0045] 如图2所示,机器人臂4的各关节具有驱动关节的驱动部。各驱动部具有:减速机,输出轴与对应的关节(转动轴)连接;驱动源即伺服马达,输出轴与减速机的输入轴连接,并且经由减速机使对应的关节转动;以及编码器,探测伺服马达的输出轴的旋转角。这样,伺服马达的输出轴经由减速机与对应的关节连接。另外,编码器取得伺服马达的输出轴的实际动作的信息。在本实施方式中,编码器探测伺服马达的输出轴的角度位置,并基于该角度位置,检测伺服马达的输出轴的实际旋转角。在本实施方式中,第2关节8的减速机即第2减

减速机18例如是波动齿轮装置(哈默纳科(注册商标))。另外,第1关节7的减速机例如是角度传递误差比波动齿轮装置少的减速机。

[0046] 以下,为了便于说明,将驱动第1关节7的伺服马达、减速机以及编码器分别称为第1马达11、第1减速机13以及第1编码器(第1探测部)12,这些构成第1关节驱动部9。另外,将驱动第2关节8的伺服马达、减速机以及编码器分别称为第2马达16、第2减速机18以及第2编码器(第2探测部)17,这些构成第2关节驱动部10。此外,在本实施方式中旋转角是指角度位置,但并不限于此。也可以是角度位置的时间微分值即角速度或角加速度。

[0047] 第2减速机18所涉及的波动齿轮装置具备刚性齿轮、柔性齿轮以及波发生器。刚性齿轮是刚性的内齿齿轮,例如与壳体一体设置。柔性齿轮是具有挠性的外齿齿轮,并与刚性齿轮啮合。柔性齿轮其齿数比刚性齿轮少,并与输出轴18b连接。波发生器是与柔性齿轮的内侧接触的椭圆状的凸轮,并与输入轴18a连接。而且,通过使输入轴旋转,波发生器使柔性齿轮与刚性齿轮的啮合位置移动,柔性齿轮根据刚性齿轮与柔性齿轮的齿数差绕旋转轴旋转,并且输出轴进行旋转。波动齿轮装置由于小型轻便、高减速比、高扭矩容量、无齿隙等特征而具有适于机器人的驱动机构的减速机的特性。

[0048] 然而,如图3所示,在波动齿轮装置等减速机,由于加工误差等,产生角度传递误差,即在向减速机输入的输入旋转角上乘以减速比而得的理论上的输出旋转角、与实际的输出旋转角之差。该角度传递误差表现为伴随着输入轴的旋转而周期性地变化。这样的减速机输出轴的角度传递误差ATE能够通过使用了以下的公式(2)所涉及的函数的模型来近似地表达。

[0049] [公式2]

$$[0050] \quad ATE = A \sin(f\theta + \phi) \cdots (2)$$

[0051] 其中,

[0052] A是角度传递误差模型函数的振幅,

[0053] f是角度传递误差模型函数的频率(马达的输出轴每旋转一周的角度传递误差的波的数量),

[0054] θ 是伺服马达的输出轴(减速机的输入轴)的旋转角,

[0055] ϕ 是角度传递误差模型函数的相位。

[0056] 如图1所示,机械手5构成为能够进行物品的保持等规定的动作,并安装于机器人臂4的末端部。

[0057] [控制部的结构例]

[0058] 如图2所示,控制部2控制各关节,例如包括微型控制器、CPU、ASIC、FPGA等可编程逻辑器件(PLD)等的运算器。运算器可以由集中控制的单独的运算器构成,也可以由相互配合来进行分散控制的多个运算器构成。控制部2包括第1关节控制部21、第2关节控制部26、误差推断部22以及角度传递误差推断部28。第1关节控制部21、第2关节控制部26、误差推断部22以及角度传递误差推断部28是通过未图示的运算部执行规定的控制程序来实现的功能模块。此外,控制部2由与指令部3分体的运算器构成,但也可以一体地构成。

[0059] 第1关节控制部21是PI控制器(比例积分控制器),基于从指令部3(上一级装置)输入的对第1马达11的第1目标旋转角(第1动作目标) θ_{t1} 、与第1编码器12检测到的第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 的偏差,计算向第1马达11供给的第1电流值。而且,基于第1电

流值向第1马达11供给电流从而控制第1马达11的输出轴11a的旋转角。即,第1关节控制部21进行以使第1目标旋转角 θ_{t1} 与实际旋转角 θ_1 的偏差接近0,使第1马达11的输出轴11a的旋转角接近第1目标旋转角 θ_{t1} 的控制为基础的第1马达11的反馈控制。

[0060] 另外,第1关节控制部21在计算第1电流值的过程中,以补偿误差推断部22推断出的由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第1关节7的角度误差来控制第1马达11的输出轴11a的旋转角的方式计算第1电流值(详细内容进行后述)。

[0061] 第2关节控制部26是PI控制器,基于从指令部3输入的对第2马达16的第2目标旋转角(第2动作目标) θ_{t2} 、与第2编码器17检测到的第2马达16的输出轴16a的实际旋转角 θ_2 的偏差,计算向第2马达16供给的第2电流值。而且,基于第2电流值向第2马达16供给电流从而控制第2马达16的输出轴16a的旋转角。即,第2关节控制部26进行以使第2目标旋转角 θ_{t2} 与实际旋转角 θ_2 的偏差接近0,使第2马达16的输出轴16a的旋转角接近第2目标旋转角 θ_{t2} 的控制为基础的第2马达16的反馈控制。

[0062] 另外,第2关节控制部26在计算第2电流值的过程中,以补偿误差推断部22推断出的由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第2关节8的角度误差来控制第2马达16的输出轴16a的旋转角的方式计算第2电流值(详细内容进行后述)。

[0063] 并且,第2关节控制部26在计算第2电流值的过程中,以补偿角度传递误差推断部28推断出的第2马达16的输出轴16a的旋转角与第2减速机18的输出轴18b的旋转角之间的角度传递误差来控制第2马达16的输出轴16a的旋转角的方式计算第2电流值(详细内容进行后述)。

[0064] 误差推断部22基于向第1马达11供给的第1电流值和第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 ,推断由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第1关节7和第2关节8的角度误差(动作的误差)。而且,基于推断出的第1关节7的角度误差计算用于修正第1电流值的第1修正量。并且,基于推断出的第2关节8的角度误差计算用于修正第2电流值的第2修正量。

[0065] 即,误差推断部22使用将第1电流值和第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 作为输入,并输出由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第1关节7和第2关节8的角度误差的模型,计算由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第1关节7和第2关节8的角度误差。

[0066] 然而,若由于机器人臂4的动作,而机器人臂4发生弯曲或扭曲而振动,则由于机器人臂4的弯曲和/或扭曲,导致在根据基于第1电流值向第1马达11供给了电流时的输出轴11a的扭矩求出的第1马达11的输出轴11a的理论上的旋转角、与第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 之间产生偏差。因此,能够基于第1电流值、和第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 推断机器人臂4的弯曲和/或扭曲,并且能够推断由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的各关节的角度误差。

[0067] 在本实施方式中,预先规定将第1电流值和第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 作为输入,并输出由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第1关节7和第2关节8的角度误差的模型,误差推断部22使用该模型,基于第1电流值和第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 ,计算由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第1关节7和第2关节8的角度误差。

[0068] 对于该模型,例如也可以构建预先测量第1电流值、第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 、以及第1关节7及第2关节8的角度误差的关系,根据该测量值将第1电流值、第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 作为输入,从而推断第1关节7的角度误差和第2关节8的

角度误差的模型。另外,也可以使用根据将与第1电流值对应的电流供给至第1马达11时的输出轴11a的扭矩、与第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 的关系,推断第1关节7的角度误差和第2关节8的角度误差的动力学模型,通过解析计算第1关节7和第2关节8的角度误差。

[0069] 并且,误差推断部22计算用于补偿推断出的第1关节7的角度误差的第1修正量、和用于补偿第2关节8的角度误差的第2修正量。将第1修正量和第2修正量分别向第1关节控制部21和第2关节控制部26输入。

[0070] 而且,第1关节控制部21在基于第1目标旋转角 θ_{t1} 与第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 的偏差计算第1电流值的过程中,通过加上第1修正量,从而计算对误差推断部22推断出的第1关节7的角度误差进行了补偿的第1电流值。

[0071] 另外,第2关节控制部26在基于第2目标旋转角 θ_{t2} 与第2马达16的输出轴16a的实际旋转角 θ_2 的偏差计算第2电流值的过程中,通过加上第2修正量,从而计算对误差推断部22推断出的第2关节8的角度误差进行了补偿的第2电流值。

[0072] 并且,误差推断部22基于与由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的包括第1关节7和第2关节8在内的系统的耦合振动的多个固有振动频率中的固有振动频率小的一固有振动频率对应的固有值,推断第2关节8的角度误差。在由第1关节7和第2关节8构成的系统的情况下,基于与两个固有振动频率中的小的固有振动频率对应的固有值,推断第2关节8的角度误差。

[0073] 即,第1关节7和第2关节8的振动表现为两个自由度的耦合振动,并表现为两个固有振动模式的重叠。与两个固有振动模式的固有振动频率中的固有振动频率小的一固有振动频率对应的模式是第1关节7和第2关节8向彼此相同的旋转方向摇动的第1模式,另一个模式是第1关节7和第2关节8向彼此相反的旋转方向摇动的第2模式。在本实施方式中,仅根据从与推断对象关节不同的关节(第1关节7)取得的信息对推断对象关节(第2关节8)的振动进行推断,因此不能对两个振动模式进行推断。因此,基于与对机器人臂4的作业端(机械手5)的轨迹精度的降低给予的影响更大的第1模式对应的固有振动频率即包括第1关节7和第2关节8在内的系统的耦合振动的多个固有振动频率中的固有振动频率小的一固有振动频率,推断第2关节8的角度误差,由此能够使机器人臂4的作业端(机械手5)的轨迹精度有效地提高。

[0074] 角度传递误差推断部28推断第2马达16的输出轴16a的旋转角与第2减速机18的输出轴18b的旋转角之间的角度传递误差。

[0075] 即,角度传递误差推断部28基于对上述公式(2)所涉及的角度传递误差的周期性的变动进行建模而得的周期函数,推断对第2减速机18的输入旋转角即第2马达16的输出轴16a的旋转角、与第2减速机18的输出旋转角即第2减速机18的输出轴18b的旋转角之间的角度传递误差。而且,角度传递误差推断部28为了补偿角度传递误差(为了消除角度传递误差),计算应向第2马达16的输出轴16a施加的修正量。

[0076] 例如,已判明对波动齿轮装置的角度传递误差给予特别大的影响的是频率 f 为2所涉及的成分。因此,也可以将由波动齿轮装置构成的第2减速机18的频率 f 规定为2,使用与该频率 f 对应的另外辨识的振幅 A 、相位 ϕ 并基于上述公式(1)来计算修正量。这样,角度传递误差推断部28基于第2目标旋转角 θ_{t2} 推断角度传递误差,计算用于补偿第2关节8的角度

误差传递误差的修正量。

[0077] 而且,第2关节控制部26在基于第2目标旋转角 θ_{t2} 与第2马达16的输出轴16a的实际旋转角 θ_2 的偏差计算第2电流值的过程中,通过加上用于补偿角度传递误差推断部28推断出的第2关节8的角度传递误差的修正量,从而计算对误差推断部22推断出的第2关节8的角度误差、和角度传递误差推断部28推断出的第2关节8的角度传递误差进行了补偿的第2电流值。这样,第2关节控制部26通过前馈控制进行角度传递误差的补偿。

[0078] 然而,通过加上用于角度传递误差推断部28补偿第2关节8的角度传递误差的修正量,第2电流值的变化成为将由进行了角度传递误差的补偿引起的变化、与由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的变化合成后的变化。即使欲基于该第2电流值推断由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第2关节8的角度误差,也不能辨别第2电流值所包括的角度传递误差的补偿成分、和由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第2电流值的变化所涉及的成分,从而有时在第2关节8的角度误差的推断中产生错误。然而,在本实施方式中,误差推断部22构成为:基于与第2关节8不同的关节并且不包括角度传递误差的补偿成分的第1关节7的第1电流值,推断第2关节的角度误差,因此能够防止对第2关节8的角度传递误差的补偿、与由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第2关节8的角度误差的推断发生干涉,从而防止在第2关节8的角度误差的推断中产生错误而导致机器人臂4的振动的抑制失败。由此,能够一起使用第2关节8的角度传递误差的补偿、和由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的角度误差的补偿,从而能够使机器人臂4的轨迹精度进一步提高。

[0079] 这样,构成为:通过前馈控制进行第2关节8的角度传递误差的补偿,通过反馈控制进行由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第2关节8的角度误差的补偿。

[0080] 指令部3基于动作程序,生成并输出对各关节的位置指令即各关节的目标旋转角。在各关节的目标旋转角中包括对第1马达11的第1目标旋转角 θ_{t1} 、和对第2马达16的第2目标旋转角 θ_{t2} 。将输出的目标旋转角向包括第1关节控制部21和第2关节控制部26在内的关节控制部输入。

[0081] 如以上说明的那样,对于机器人系统100而言,误差推断部22推断由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的关节的角度误差,第1关节控制部21和第2关节控制部26计算补偿了角度误差的电流值,因此能够使机器人臂4的作业端的轨迹精度提高。

[0082] 另外,对于机器人系统100而言,误差推断部22根据向包括于第1关节7的第1马达11的第1电流值、和第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 ,计算第2关节8的角度误差,因此能够防止对第2关节8的角度传递误差的补偿与由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第2关节8的角度误差的推断干涉,从而能够一起使用第2关节8的角度传递误差的补偿、和由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的角度误差的补偿,能够使机器人臂4的轨迹精度进一步提高。

[0083] (实施方式2)

[0084] 以下围绕与实施方式1的不同点对实施方式2的结构、动作进行叙述。

[0085] 图4是示意性地表示实施方式2所涉及的机器人系统200的控制系统的结构例的框图。

[0086] 在上述实施方式1中,机器人系统100的控制部2包括第1关节控制部21、第2关节控制部26以及误差推断部22。与此相对地,在本实施方式中,机器人系统200包括第1关节控制

部221、第2关节控制部226、第1误差推断部222、第2误差推断部229以及动作模式切换部230。第1误差推断部222构成为与上述实施方式1所涉及的误差推断部22相同，因此省略其详细的说明。

[0087] 第2误差推断部229基于向第1马达11供给的第1电流值和第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 ，推断由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第1关节7的角度误差。而且，基于推断出的第1关节7的角度误差，计算用于修正第1电流值的第3修正量。另外，第2误差推断部229基于向第2马达16供给的第2电流值和第2马达16的实际旋转角 θ_2 ，推断由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的第2关节8的角度误差。而且，基于推断出的第2关节8的角度误差，计算用于修正第2电流值的第4修正量。将第3修正量和第4修正量分别向第1关节控制部221和第2关节控制部226输入。

[0088] 动作模式切换部230生成后述的第1模式和第2模式的切换指令，生成的切换指令向第1关节控制部221和第2关节控制部226输入。

[0089] 而且，第1关节控制部221具有第1模式和第2模式。在第1模式中，第1关节控制部221以补偿第1误差推断部222推断出的第1关节7的角度误差来控制第1马达11的输出轴11a的旋转角的方式计算第1电流值。即，在第1模式中，第1关节控制部221在基于第1目标旋转角 θ_{t1} 与第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 的偏差计算第1电流值的过程中，通过加上第1修正量，从而计算对第1误差推断部222推断出的第1关节7的角度误差进行了补偿的第1电流值。另外，在第2模式中，第1关节控制部221以补偿第2误差推断部229推断出的第1关节7的角度误差来控制第1马达11的输出轴11a的旋转角的方式计算第1电流值。即，在第2模式中，第1关节控制部221在基于第1目标旋转角 θ_{t1} 与第1马达11的输出轴11a的实际旋转角 θ_1 的偏差计算第1电流值的过程中，通过加上第3修正量，计算对第2误差推断部229推断出的第1关节7的角度误差进行了补偿的第1电流值。

[0090] 另外，第2关节控制部226具有第1模式和第2模式两个动作模式。在第1模式中，第2关节控制部226以补偿角度传递误差和第1误差推断部222推断出的第2关节8的角度误差来控制第2马达16的输出轴16a的旋转角的方式计算第2电流值。即，在第1模式中，第2关节控制部226在基于第2目标旋转角 θ_{t2} 与第2马达16的输出轴16a的实际旋转角 θ_2 的偏差计算第2电流值的过程中，通过加上角度传递误差的修正量和第2修正量，从而计算对角度传递误差、和第1误差推断部222推断出的第2关节8的角度误差进行了补偿的第2电流值。另外，在第2模式中，第2关节控制部226以补偿第2误差推断部229推断出的第2关节8的角度误差来控制第2马达16的输出轴16a的旋转角的方式计算第2电流值。即，在第2模式中，第2关节控制部226在基于第2目标旋转角 θ_{t2} 与第2马达16的输出轴16a的实际旋转角 θ_2 的偏差计算第2电流值的过程中，通过加上第4修正量，从而计算对第2误差推断部229推断出的第2关节8的角度误差进行了补偿的第2电流值。

[0091] 即，对于第2关节8，第1模式是进行与上述实施方式1中的误差推断部22的动作处理相同的处理的模式，并且是以进行角度传递误差的补偿、和第1误差推断部222计算出的第2关节8的角度误差的补偿来控制第2马达16的输出轴16a的旋转角的方式计算第2电流值，从而控制第2马达16的动作的模式。与此相对地，第2模式是以不进行角度传递误差的补偿而是进行第2误差推断部229计算出的第2关节8的角度误差的补偿来控制第2马达16的输出轴16a的旋转角的方式计算第2电流值，从而控制第2马达16的动作的模式。

[0092] 图5是表示动作模式切换部230的动作例的流程图。

[0093] 而且,动作模式切换部230对第1关节控制部221和第2关节控制部226进行指示而切换第1模式和第2模式。而且,动作模式切换部230构成为:若机器人臂4的作业端(机械手5)的动作速度变为规定的速度以下,则切换为第1模式。在本实施方式中,如图5所示,动作模式切换部230判定是否为机器人臂4的作业端的动作速度慢于规定的速度并且选择了第2模式作为动作模式的状态(步骤S11)。然后,若动作模式切换部230判定为是机器人臂4的作业端的动作速度慢于规定的速度并且选择了第2模式作为动作模式的状态(在步骤S11中,是),生成将动作模式切换为第1模式的切换指令(步骤S12)。然后,动作模式切换部230使处理结束。由此,在执行电弧焊接等要求精度的作业时,不仅能够使用由机器人臂4的弯曲和/或扭曲引起的角度误差的补偿,还能够一起使用角度传递误差的补偿,从而能够使轨迹精度提高。

[0094] 另一方面,若动作模式切换部230判定为是机器人臂4的作业端的动作速度快于规定的速度、或者选择了第1模式作为动作模式的状态(在步骤S11中,否),则接下来,动作模式切换部230判定是否为机器人臂4的作业端的动作速度快于规定的速度并且选择了第1模式作为动作模式的状态(步骤S13)。然后,若动作模式切换部230判定为是机器人臂4的作业端的动作速度快于规定的速度并且选择了第1模式作为动作模式的状态(在步骤S13中,是),则生成将动作模式切换为第2模式的切换指令(步骤S13)。然后,动作模式切换部230使处理结束。由此,在进行由角度传递误差引起的轨迹精度的降低不会成为问题那样的快速作业时,能够提高稳定性。

[0095] 另一方面,若动作模式切换部230判定为是机器人臂4的作业端的动作速度慢于规定的速度、或者选择了第2模式作为动作模式的状态(在步骤S13中,否),则使处理结束。然后,动作模式切换部230以规定的周期时间反复执行上述处理。其他的结构与上述实施方式1相同,因此省略其详细的说明。

[0096] 根据上述说明,对于本领域技术人员来说,本发明的许多改进、其他的实施方式是显而易见的。因此,上述说明应仅作为例示来解释,并且是以向本领域技术人员教导执行本发明的最优的形态的目的而提供的。只要不脱离本发明的精神,就能够实质地变更其构造和/或功能的详细内容。

[0097] 附图标记说明

[0098] 1…机器人;2…控制部;3…指令部;4…机器人臂;7…第1关节;8…第2关节;9…第1关节驱动部;10…第2关节驱动部;11…第1马达;11a…(第1马达的)输出轴;12…第1编码器;13…第1减速机;13a…(第1减速机的)输入轴;13b…(第1减速机的)输出轴;16…第2马达;16a…(第2马达的)输出轴;17…第2编码器;18…第2减速机;18a…(第2减速机的)输入轴;18b…(第2减速机的)输出轴;21…第1关节控制部;22…第1角度误差推断部;26…第2关节控制部;27…第2角度误差推断部;28…角度传递误差推断部;100…机器人系统。

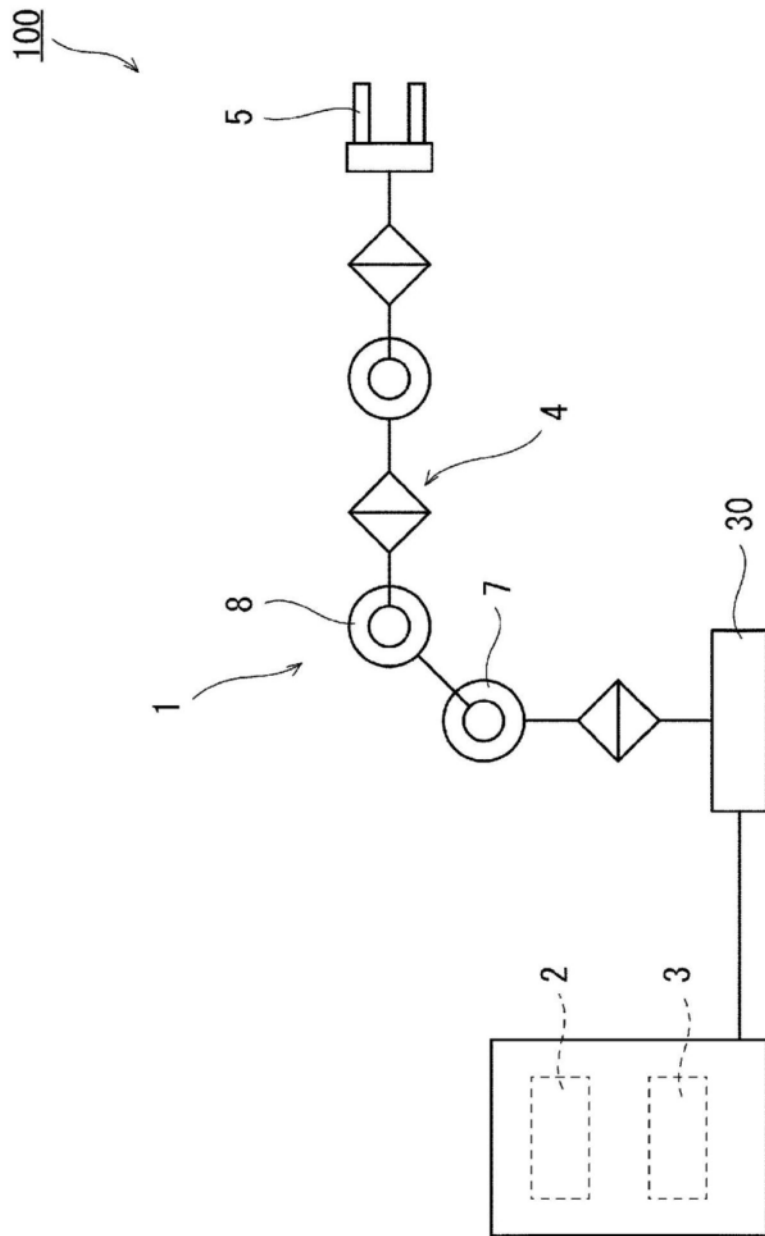


图1

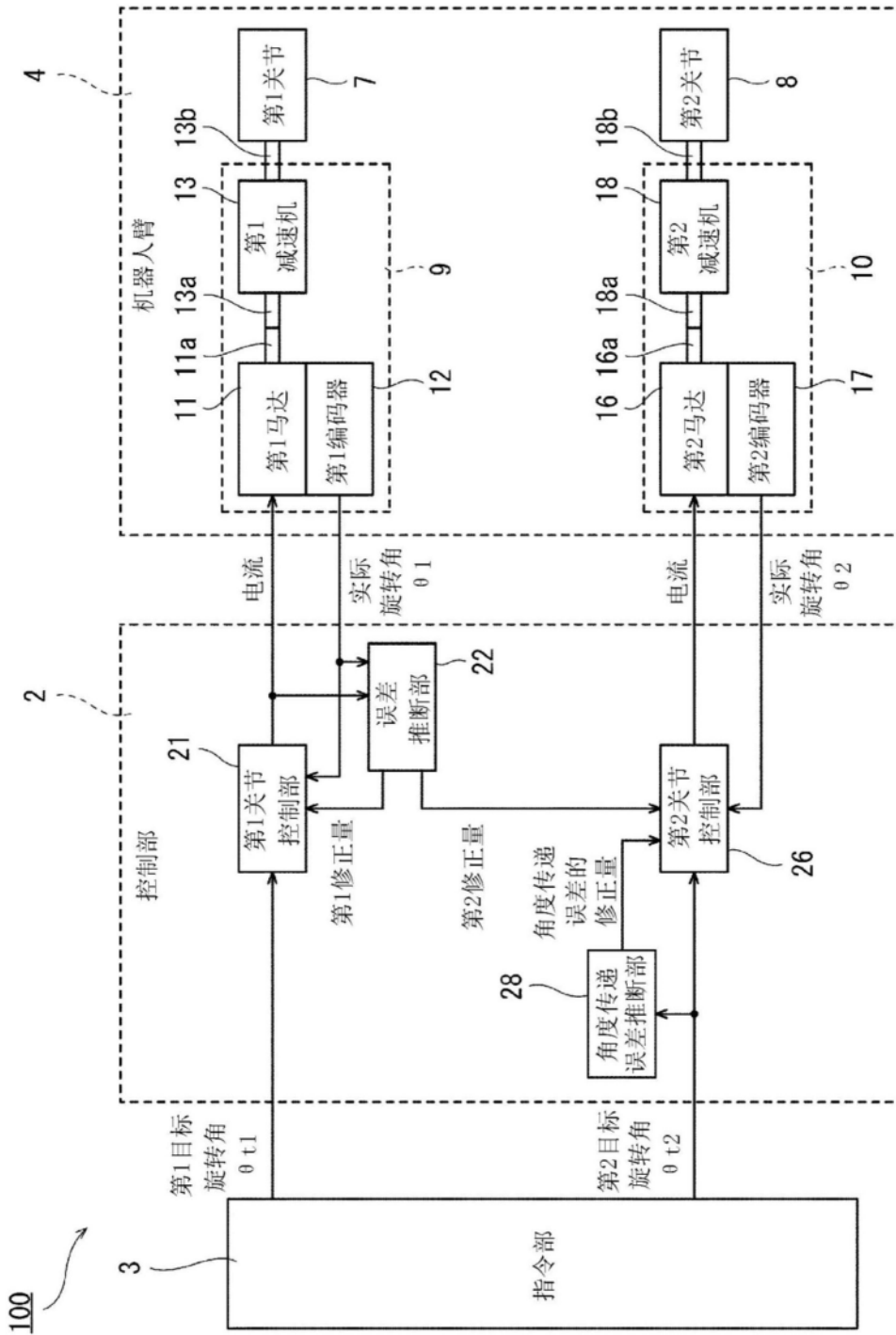


图2

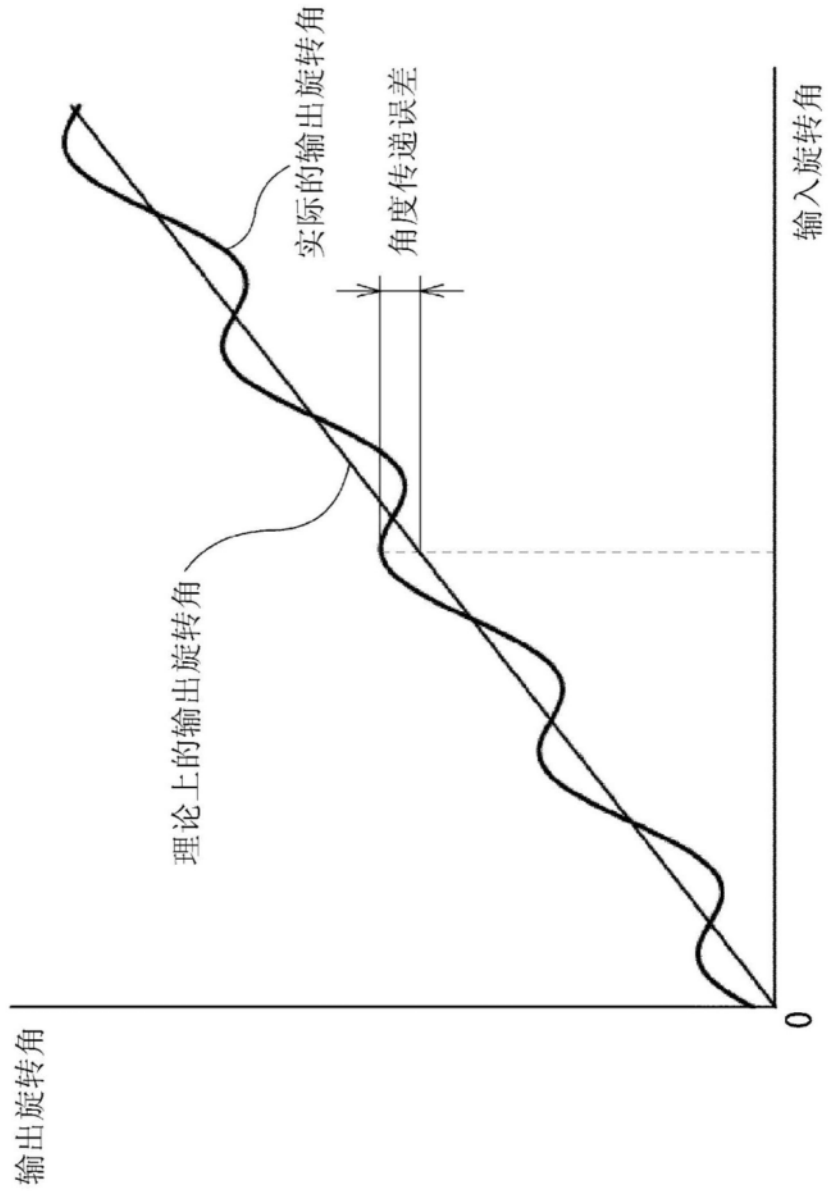


图3

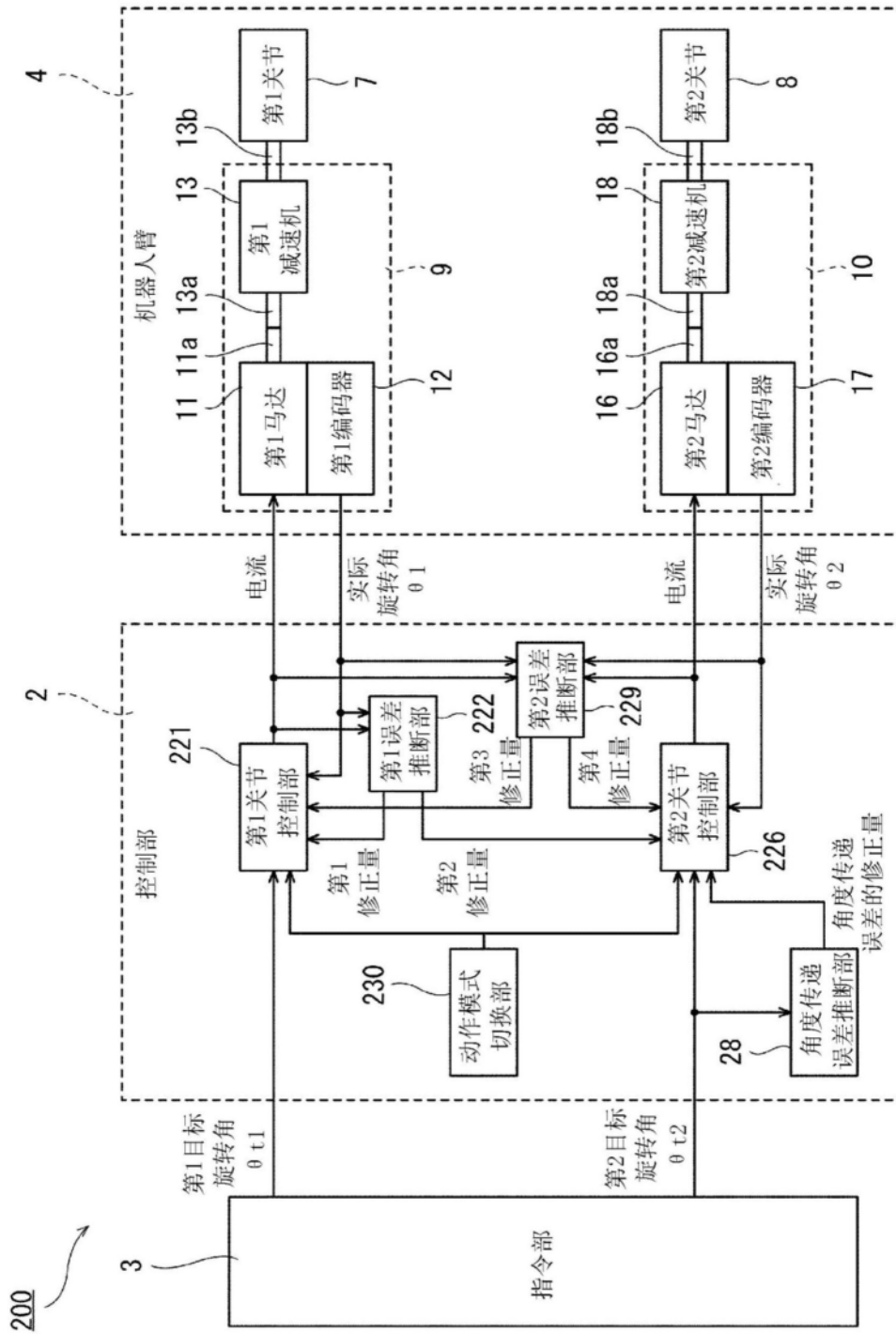


图4

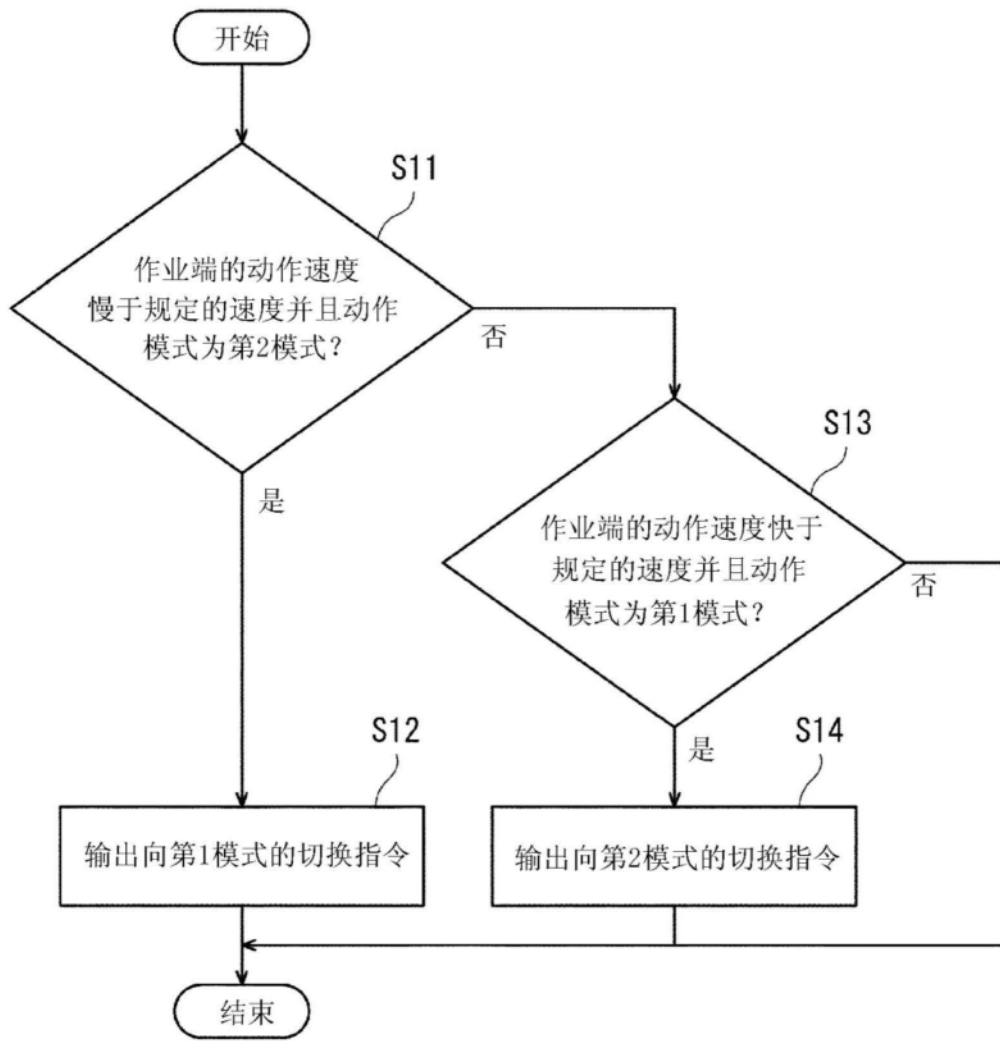


图5