

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G05B 19/418 (2006.01)

G05B 19/19 (2006.01)

B25J 9/16 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510107887.5

[43] 公开日 2006 年 4 月 5 日

[11] 公开号 CN 1755562A

[22] 申请日 2005.9.29

[21] 申请号 200510107887.5

[30] 优先权

[32] 2004.9.29 [33] JP [31] 2004-285344

[71] 申请人 发那科株式会社

地址 日本山梨

[72] 发明人 加藤哲朗 土田行信 永山敦朗

一之濑雅一 浜田敏彦

[74] 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司

代理人 郝庆芬

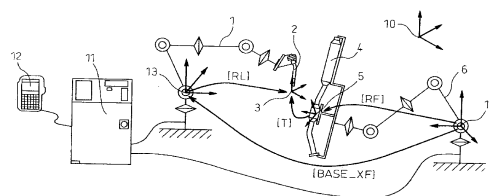
权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 16 页

[54] 发明名称

机器人轨迹控制方法

[57] 摘要

本发明涉及一种机器人轨迹控制方法，其在把持工件的机器人和安装了作业刀具的机器人的协同动作中，即使在插补动作中也能够容易地使作业刀具获得希望的位置以及姿势。对安装在引导机器人上的作业刀具设定的第一刀具坐标系的位置以及姿势协同控制多台机器人，以使在对把持在随动机器人上的工件设定的第二刀具坐标系上描绘出希望的轨迹。对两机器人进行示教，在再生运转时，根据关于引导机器人的插补位置数据、两机器人的相对位置数据计算关于随动机器人的插补位置数据。也可以用于手动进给的操作。如果对插补位置数据施行过滤处理则可以使轨迹平滑。



1. 一种机器人轨迹控制方法，其是安装了作业刀具（2）的引导机器人（1）和至少一台把持了作为所述作业刀具（2）的作业对象的工件（4）的随动机器人（6）协同作业时的轨迹控制方法，其特征在于，

包括对所述引导机器人（1）设定的第一刀具坐标系（3）的位置以及姿势根据所述引导机器人（1）的位置以及姿势的变化控制所述随动机器人（6）的位置以及姿势，使其在对所述随动机器人（6）设定的第二刀具坐标系（5）上描绘出希望的轨迹。

2. 根据权利要求1所述的机器人轨迹控制方法，其特征在于，包括：

对所述引导机器人（1）以及所述随动机器人（6）的各个作业位置进行示教制作示教点列；

在再生运转时，在每一插补时间对在所述引导机器人（1）的示教点的第一刀具坐标系（3）的位置及姿势进行插补，计算所述插补时间内的所述引导机器人（1）的第一刀具坐标系（3）的插补位置以及插补姿势；

插补所述引导机器人（1）的第一刀具坐标系（3）相对于示教点处的所述随动机器人（6）的第二刀具坐标系（5）的相对位置以及相对姿势，求出所述插补时间内的该相对位置以及相对姿势；

根据所述引导机器人（1）的第一刀具坐标系（3）的插补位置以及插补姿势和所述插补时间内的相对位置以及相对姿势计算所述随动机器人（6）的第二刀具坐标系（5）的插补位置以及插补姿势；

控制所述引导机器人（1）以及所述随动机器人（6）的各关节，以使保持该计算出的所述引导机器人（1）以及所述随动机器人（6）的第一以及第二刀具坐标系（3，5）的位置以及姿势。

3. 根据权利要求1所述的机器人轨迹控制方法，其特征在于，

包括在通过手动进给使所述引导机器人（1）的位置以及姿势发生了变化时，控制所述随动机器人（6）的位置以及姿势，以使保持和所述引导机器人（1）的相对位置以及相对姿势。

4. 根据权利要求1所述的机器人轨迹控制方法，其特征在于，

包括手动进给所述随动机器人(6),以使对所述随动机器人(6)设定的第二坐标系(5)在对所述引导机器人(1)设定的第一刀具坐标系(3)上向希望的方向平移以及旋转。

5. 根据权利要求1所述的机器人轨迹控制方法,其特征在于,包括对于一台引导机器人(1)的动作,多台随动机器人(6)随动进行协同作业。

6. 根据权利要求1所述的机器人轨迹控制方法,其特征在于,包括通过一台控制装置(11)协同控制全部的所述引导机器人(1)以及所述随动机器人(6)。

7. 根据权利要求1所述的机器人轨迹控制方法,其特征在于,包括通过多台控制装置(11)控制所述引导机器人(1)以及所述随动机器人(6),通过在各控制装置间进行通信来进行协同控制。

8. 根据权利要求1所述的机器人轨迹控制方法,其特征在于,
包括:

对表示所述引导机器人(1)的第一刀具坐标系(3)的插补位置以及插补姿势的时间系列的数据实施过滤处理;

根据表示实施所述过滤处理前的引导机器人(1)的第一刀具坐标系(3)的插补位置以及插补姿势的数据、以及所述插补时间内的相对位置以及相对姿势计算所述随动机器人(6)的第二刀具坐标系(5)的插补位置以及插补姿势;

在所述计算后对表示所述随动机器人(6)的第二刀具坐标系(5)的插补位置以及插补姿势的时间系列数据实施过滤处理。

9. 根据权利要求1所述的机器人轨迹控制方法,其特征在于,
包括:

对表示所述引导机器人(1)的第一刀具坐标系(3)的插补位置以及插补姿势的时间系列的数据实施过滤处理;

对表示所述插补时间内的相对位置以及相对姿势的时间系列数据实施过滤处理;

根据实施了所述过滤处理后的引导机器人(1)的插补位置以及插补姿势、以及实施了所述过滤处理后的相对位置以及相对姿势,计算所述随动机器人(6)的第二刀具坐标系(5)的插补位置以及插补姿势。

机器人轨迹控制方法

技术领域

本发明涉及一种通过多台机器人的协同动作进行作业的机器人轨迹控制方法，例如涉及在通过多台机器人的协同动作进行焊接作业时，为在安装了焊枪的机器人和把持着作为焊接作业对象的工件的机器人之间实现希望的轨迹的轨迹控制方法。

背景技术

近年来，越来越多地通过控制多台机器人使其协同动作（以下也称为“协同控制”）来进行由一台机器人无法进行的作业。作为典型的作业例，可以举出通过协同控制安装了焊枪的机器人和把持着作为焊接作业对象的工件的机器人，沿工件上规定的轨迹（对应焊接线）进行焊接的作业。对于这样的协同控制，例如在专利第 3098618 号公报中记载的方法中，公开了对把持在机器人上的工件设定规定的工件基准点，对该工件基准点决定安装在其他机器人上的作业刀具的位置姿势的方法。

即，采用了如图 1 所示的把持着工件 4 的机器人 6 引导协同作业，安装了作业刀具 2 的机器人 1 随动于机器人 6 的动作的控制方法。

另外，在专利第 2691985 号公报中提出了一种方法，如图 2 所示，由相对于大地把刀具 2 固定在恒定位置上的装置 7 进行固定，对刀具设定的刀具坐标系 3 控制把持工件 4 的机器人 6 以使其在对工件 4 设定的坐标系 5 上描绘出希望的轨迹。

此外，与后面叙述的本发明的第五实施例相关联，作为在多个机器人控制装置之间控制多个机器人时的通信方法的公开文献，具有专利第 3538362 号公报。

然而，在上述现有技术中存在以下的问题。

首先，在专利第 3098618 号公报中提出的控制方法中，虽然可以在示教的各点得到希望的作业刀具的位置以及姿势，但是在再生运行时，相对大地保持希望的作业刀具的姿势非常困难。这是由于各示教点列之间的作业刀具

的插补姿势随动于把持工件的机器人的各示教点列之间的插补位置以及姿势来决定。

图 3a~3c 是说明这一情况的图，图 3a 表示在示教点 8 的状态，图 3b 表示在示教点 8 和示教点 9 之间的插补点的状态，图 3c 表示在示教点 9 的状态。在示教点 8 (图 3a) 以及示教点 9 (图 3c)，相对于在大地上固定的坐标系 (世界坐标系) 10，可将作业刀具 2 示教为希望的姿势 (例如使 $\theta_a = \theta_c$)。但是，在示教点 8 和 9 之间的插补操作 (图 3b) 中，因为安装了作业刀具 2 的机器人是随动侧，所以即使能够维持工件 4 和作业刀具 2 的相对姿势，但为了相对固定在大地上的坐标系 10 维持作业刀具 2 的姿势来进行示教，除非大量增加示教点使相邻的示教点之间的间隔非常窄，否则一般很困难。

勿庸置疑，大量增加示教点会在作业效率上产生大问题，所以在实际中很难采用。为在焊接作业中保证高的焊接质量，相对大地恒定地保持作业刀具的姿势十分重要，但是在上述专利第 3098618 号公报中提出的控制方法不能说充分满足这一要求。

另外，在上述专利第 2691985 号公报中提出的控制方法中，确实能够相对大地恒定地保持作业刀具的姿势，同时对作业刀具设定的坐标系可以使把持工件的机器人在对工件设定的坐标系上描绘出希望的轨迹。但是，由于作业刀具被固定在限定的位置以及姿势，因此存在仅能应对简单形状的工件的问题。

发明内容

本发明是鉴于在现有技术中包含的这些问题而发明的，其目的在于提供一种机器人轨迹控制方法，它在由多台机器人进行协同作业时，即使在插补动作中，也能够容易地使安装了作业刀具的机器人得到所希望的位置及姿势。

本发明一改现有的考虑方法，通过采用下面的机器人轨迹控制方法解决了上述问题。所述方法为，在把持工件的一个或者多个机器人通过安装了作业刀具的机器人的协同动作进行电弧焊接等作业时，把安装了作业刀具的机器人作为引导机器人，把把持工件的机器人作为随动机器人，对引导机器人设定的第一刀具坐标系的位置及姿势控制这些机器人，以使其在对随动机器人设定的第二刀具坐标系上描绘出希望的轨迹。

通过采用这种方法，即使在相邻示教点之间的插补点也可容易地进行示教，使作业刀具的位置及姿势成为希望的位置及姿势。此外，在本说明书中，“在引导机器人上设定的刀具坐标系”或者“第一刀具坐标系”是代表在该引导机器人上安装的作业刀具的位置、姿势的坐标系，具有固定相对于该作业刀具的相对位置·姿势的原点和坐标轴。众所周知，第一刀具坐标系的原点被称为刀具尖端点，不一定要在作业刀具上。如果考虑到刀具尖端点是具有方向的话，刀具尖端点代表第一刀具坐标系的位置和姿势（即，在引导机器人上安装的作业刀具的位置和姿势）。在以下的说明中，该第一刀具坐标系也称为“对作业刀具设定的坐标系”。

另一方面，“在随动机器人上设定的刀具坐标系”或者“第二刀具坐标系”是把该随动机器人把持的工件比作在通常的机器人学中所说的“刀具”，代表其位置、姿势的坐标系，具有固定相对该工件的相对位置·姿势的原点和坐标轴。与对引导机器人设定的第一刀具坐标系相同，将该原点称为刀具尖端点，考虑到它是具有方向的话，刀具尖端点代表第二刀具坐标系的位置和姿势（即，由随动机器人把持的工件的位置和姿势）。在以下的说明中，该第二刀具坐标系也称为“对工件设定的坐标系”。

更具体地说，本发明提供一种机器人轨迹控制方法，在安装了作业刀具的引导机器人和至少一台把持作为所述作业刀具的作业对象的工件的随动机器人协同地进行作业时的机器人轨迹控制方法中，对所述引导机器人设定的第一刀具坐标系的位置以及姿势根据所述引导机器人的位置以及姿势的变化控制所述随动机器人的位置以及姿势，以使其在对所述随动机器人设定的第二刀具坐标系上描绘出希望的轨迹。

该控制方法可以包括：示教所述引导机器人以及所述随动机器人的各个作业位置制作示教点列；在再生运行时，在每一插补时间对在所述引导机器人的示教点的第一刀具坐标系的位置及姿势进行插补，计算在所述插补时间内的所述引导机器人的第一刀具坐标系的插补位置以及插补姿势；对所述引导机器人的第一刀具坐标系相对于示教点处的所述随动机器人的第二刀具坐标系的相对位置以及相对姿势进行插补，求出所述插补时间内的该相对位置以及相对姿势；根据所述引导机器人的第一刀具坐标系的插补位置以及插补

姿势和所述插补时间内的相对位置以及相对姿势计算所述随动机器人的第二刀具坐标系的插补位置以及插补姿势；控制所述引导机器人以及所述随动机器人的各关节，来保持该计算出的所述引导机器人以及所述随动机器人的第一以及第二刀具坐标系的位置以及姿势。

在通过手动进给变化所述引导机器人的位置以及姿势时，所述控制方法还可以包含控制所述随动机器人的位置以及姿势来保持和所述引导机器人的相对位置以及相对姿势。

所述控制方法可以包含手动进给所述随动机器人，以使在对所述引导机器人设定的第一刀具坐标系上使对所述随动机器人设定的第二坐标系向希望的方向平移以及旋转。

另外，控制方法也可以包含多台随动机器人随动于一台引导机器人的动作进行协同作业。

在该控制方法中，所述引导机器人以及所述随动机器人全部可以通过一台控制装置协同控制，也可以通过多台控制装置控制所述引导机器人以及所述随动机器人。在后面一种情况下，可以通过在各控制装置之间进行通信来进行协同控制。

关于通过协同动作的轨迹控制，也可以使用通过过滤处理的平滑化的方法。例如，控制方法可以包括：对表示所述引导机器人的第一刀具坐标系的插补位置以及插补姿势的时间系列的数据实施过滤；根据表示实施所述过滤处理之前的引导机器人的第一刀具坐标系的插补位置以及插补姿势的数据、以及所述插补时间内的相对位置以及相对姿势计算所述随动机器人的第二刀具坐标系的插补位置以及插补姿势；在所述计算后对表示所述随动机器人的第二刀具坐标系的插补位置以及插补姿势的时间系列的数据实施过滤处理。

或者，控制方法也可以包括：对表示所述引导机器人的第一刀具坐标系的插补位置以及插补姿势的时间系列的数据实施过滤处理；对表示所述插补时间内的相对位置以及相对姿势的时间系列的数据实施过滤处理；根据实施了所述过滤处理后的引导机器人的插补位置以及插补姿势、以及实施了所述过滤处理后的相对位置以及相对姿势计算所述随动机器人的第二刀具坐标系的插补位置以及插补姿势。

附图说明

通过参照附图对以下恰当的实施例进行说明，本发明的上述或者其他的
目的、特征以及优点会变得更加明确。

图 1 是关于通过两台机器人的协同动作实施的焊接作业的现有技术方案
的一个例子。

图 2 是关于通过两台机器人的协同动作实施的焊接作业的现有技术方案
的另外一个例子。

图 3a~3c 说明在根据现有技术的协同控制中相对大地保持作业刀具的姿
势十分困难，图 3a 表示在示教点 8 的状态，图 3b 表示在示教点 8 和示教点
9 之间的插补点的状态，图 3c 表示在示教点 9 的状态。

图 4 是在本发明的第一实施例中所采用的系统的概略结构图。

图 5 是机器人控制装置以及机器人机构部的框图。

图 6 是记载机器人的设置以及设定作业的步骤的概要的流程图。

图 7 是记载示教作业时的步骤的概要的流程图。

图 8a 以及 8b 是示教作业の説明图，图 8a 描绘第 k 号示教点，图 8b 描
绘第 k + 1 号示教点。

图 9 是说明再生操作时的处理的流程图，

图 10 是说明再生操作时的路径计划的流程图，

图 11 是说明在再生动作时的动作插补中，采用了第一过滤方式时的处理
概要的流程图。

图 12 是说明在再生动作时的动作插补中，采用了第二过滤方式时的处理
概要的流程图。

图 13 是关于本发明的第二实施例の説明图。

图 14 是说明手动进给时的处理概要的流程图。

图 15 是关于本发明的第三实施例の説明图，

图 16 是关于本发明的第四实施例の説明图，

图 17 是关于本发明的第五实施例の説明图，

具体实施方式

下面顺序参照图 4~图 17，对根据本发明的几个实施例进行说明。把在

引导机器人上安装的作业刀具（适当地简称为“刀具”）作为电弧焊接中使用的焊枪进行说明，但根据作业的种类可以置换为其他的作业刀具（例如激光加工头，密封焊枪等）。

首先，图 4 表示在第一实施例中采用的系统的概略结构。该系统包含安装作为作业刀具 2 的焊枪的具有 6 个自由度的多关节机器人 1，把持作为焊接对象的工件 4 的具有 6 个自由度的多关节机器人 6，和用于控制机器人 1 以及机器人 6 的控制装置 11。在控制装置 11 上连接用于进行示教作业的示教操作盘 12。

另外，作为为控制机器人的轨迹而使用的坐标系，定义：成为安装了刀具 2 的机器人 1 的位置基准的，根据机器人 1 的设置位置唯一决定的第一基准坐标系（固定在机器人 1 的底座上的坐标系）13；成为把持工件 4 的机器人 6 的位置基准的，根据机器人 6 的设置位置唯一决定的第二基准坐标系（固定在机器人 6 的底座上的坐标系）14；对刀具 2 设定的，和刀具 2 一起移动的第一刀具坐标系（表示机器人 1 的刀具尖端点的位置和姿势的坐标系）3；对于工件 4 设定的，和工件 4 一起移动的第二刀具坐标系（在把工件 4 比作机器人 6 的“刀具”设定的刀具坐标系中，表示机器人 6 的刀具尖端点的位置和姿势）5。此外，用符号 10 表示的坐标系是相对大地固定的坐标系（世界坐标系）。

图 5 表示机器人控制装置 11 以及机器人机构部 25 的结构。此外，机器人机构部 25 汇总机器人 1 和机器人 6 的机构部进行简略的表示，对每一个轴举例表示各机器人的伺服电动机。

机器人控制装置 11 具有中央运算处理装置（以下称为 CPU）15。在 CPU15 中，通过总线 20 连接由 ROM 形成的存储器 16、由 RAM 形成的存储器 17、非易失性存储器 18、用于外部装置的输入输出装置 19、用于示教操作盘 12 的接口 21、伺服控制部 23 和 CPU15 的共有存储器 22。在 ROM16 中存储对包含机器人控制装置 11 自身的整个系统进行控制的程序。RAM17 用于暂时存储 CPU15 进行处理所使用的数据。在非易失性存储器 18 中存储包含后述的动作指令（动作语句）的机器人 1、6 的动作程序数据、和有关系统各部的动作的各种设定值等。

此外,伺服控制部 23 从安装在各个电动机上的各个传感器(脉冲编码器) 28 取得在机器人机构部 25 的各个手臂(机器人 1 的各个手臂和机器人 6 的各个手臂) 27 的关节部安装的各个电动机 26 的位置信息,根据在 CPU15 中生成的动作指令和来自传感器 28 的反馈数据,通过伺服放大器 24 控制各个电动机 26 的动作。

下面,根据图 6 的流程,对机器人的设置及设定进行说明。在步骤 S101,准备图 4 中的安装刀具 2 的机器人 1 以及把持工件 4 的机器人 6,在步骤 S102,在通过所述刀具 2 对所述工件 4 进行作业的距离上设置这些机器人。当设置机器人时,前述各机器人的基准坐标系 13 及 14 的位置以及姿势相对大地恒定地确定。

接着在步骤 S103,设定协同作业的机器人的主从关系。如上所述,根据本发明的特征,安装刀具 2 的机器人 1 为协同作业中的引导机器人,把持作为刀具 2 的作业对象的工件 4 的机器人 6 为协同作业中的随动机器人。设定该主从关系,存储在图 5 中的非易失性存储器 18 中。进而,在步骤 S104,通过校准求出图 4 中的机器人 1 以及 6 的相对位置关系。

该校准是众所周知的。即,如同历来所进行的那样,在要进行校准的两台机器人的手腕上安装用于校准的棒,在把其前端设定为刀具中心点(TCP)之后,在不在同一直线上的空间 3 点上(成为以 3 点为顶点的三角形),使所述用于校准的棒的前端吻合,在各自机器人的基准坐标系中求出其位置。

然后,根据求得的引导机器人 1 的第一基准坐标系 13 上的 3 个位置数据和随动机器人 6 的第二基准坐标系 14 上的 3 个位置数据,计算引导机器人 1 的第一基准坐标系 13 对于随动机器人 6 的第二基准坐标系 14 的相对位置以及相对姿势。作为同次坐标系变换行列式[BASE_XF]存储在图 5 的非易失性存储器 18 中。如公式(1)那样记载行列式[BASE_XF]的行列要素。这里,分别在 $1x \sim 1z$ 上附加了上角标 $base_xf$ 的元素表示第一基准坐标系 13 对于第二基准坐标系 14 的相对位置。另外,分别在 $nx \sim nz$ 、 $ox \sim oz$ 、 $ax \sim az$ 上附加了上角标 $base_xf$ 的元素表示第一基准坐标系 13 对于第二基准坐标系 14 的相对姿势。

$$[BASE_XF] = \begin{bmatrix} n_x^{base_xf} & o_x^{base_xf} & a_x^{base_xf} & l_x^{base_xf} \\ n_y^{base_xf} & o_y^{base_xf} & a_y^{base_xf} & l_y^{base_xf} \\ n_z^{base_xf} & o_z^{base_xf} & a_z^{base_xf} & l_z^{base_xf} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{公式 1})$$

下面，根据图 7 所示的流程对关于示教作业的作业流进行说明。首先，在步骤 S201，决定由此制作的动作程序的名字。在图 5 中的非易失性存储器 18 中存储所决定的动作程序名。接着，在步骤 S202 对附加在各示教点的指针进行初始化。然后，在步骤 S203，通过操作示教操作盘 12 的手动进给，使图 4 中安装了刀具 2 的机器人 1 进行动作，对机器人 1 进行定位以使刀具 2 成为希望的位置以及姿势。

在步骤 204，通过操作示教操作盘 12 的手动进给使机器人 6 进行动作，对机器人 6 进行定位以使图 4 中的作为作业对象的工件 4 相对在步骤 S203 已定位的刀具 2 成为希望的位置以及姿势。在步骤 S205，确认图 4 中的安装了刀具 2 的机器人 1 和把持工件 4 的机器人 6 是否被定位在希望的位置，如果是希望的位置则进入到步骤 S206。如果不是希望的位置则返回到步骤 S203，进行位置的修正。在步骤 S206，存储第 k 号 (k=1、2...) 的示教点。

这里，使用图 8a 以及图 8b 对在图 5 中的非易失性存储器 18 中存储的数据进行说明。图 8a 描绘第 k 号的示教点，图 8b 描绘第 k+1 号的示教点。

首先，通过第 k 号示教点 29 的存储作业，在第 k 号示教点的对刀具 2 设定的第一刀具坐标系 3 的，相对安装了刀具 2 的机器人的第一基准坐标系 13 的同次坐标系变换行列式 [RL(k)] 如下所述 (公式 2)。这里，分别在 1 (k) x ~ 1 (k) z 上附加了上角标 RL 的元素是在第一基准坐标系 13 上表示的第一刀具坐标系 3 的位置，分别在 n (k) x ~ n (k) z、o (k) x ~ o (k) z、a (k) x ~ a (k) z 上附加了上角标 RL 的元素是在第一基准坐标系 13 上表示的第一刀具坐标系 3 的姿势。这些元素根据机器人 1 的当前位置数据求得。

另外，在第 k 号示教点的，对工件 4 设定的第二刀具坐标系 5 的，相对把持工件 4 的机器人的第二基准坐标系 14 的同次坐标系变换行列式 [RF(k)]

用下述（公式3）表示。这里，公式（3）中的各行列要素和（公式2）的情况相同，根据机器人6的当前位置数据求得。

$$[RL(k)] = \begin{bmatrix} n(k)_x^{RL} & o(k)_x^{RL} & a(k)_x^{RL} & l(k)_x^{RL} \\ n(k)_y^{RL} & o(k)_y^{RL} & a(k)_y^{RL} & l(k)_y^{RL} \\ n(k)_z^{RL} & o(k)_z^{RL} & a(k)_z^{RL} & l(k)_z^{RL} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{公式 2})$$

$$[RF(k)] = \begin{bmatrix} n(k)_x^{RF} & o(k)_x^{RF} & a(k)_x^{RF} & l(k)_x^{RF} \\ n(k)_y^{RF} & o(k)_y^{RF} & a(k)_y^{RF} & l(k)_y^{RF} \\ n(k)_z^{RF} & o(k)_z^{RF} & a(k)_z^{RF} & l(k)_z^{RF} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{公式 3})$$

而且，当使用（公式1）～（公式3）时，可以根据下述（公式4）计算在第k号示教点处的，对刀具2设定的第一刀具坐标系3的，相对对工件4设定的第二刀具坐标系5的同次坐标系变换行列式[T(k)]。（公式4）的右边用（公式5）表示。

$$[T(k)] = [RF(k)]^{-1} [BASE_XF] [RL(k)] \quad (\text{公式 4})$$

$$= \begin{bmatrix} n(k)_x^T & o(k)_x^T & a(k)_x^T & l(k)_x^T \\ n(k)_y^T & o(k)_y^T & a(k)_y^T & l(k)_y^T \\ n(k)_z^T & o(k)_z^T & a(k)_z^T & l(k)_z^T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{公式 5})$$

这样，通过步骤S206中的第k号示教点的存储操作，在图5中的非易失性存储器18中，在动作程序中与示教点的指针k相对应地存储引导机器人的位置以及姿势数据、以及引导机器人和随动机器人的相对位置以及相对姿

势数据。接着在步骤 S207，指定朝向所述示教点时的动作形式和速度。在动作形式中，还附加表示已示教过的点为需要协同动作的点的的数据。动作形式以及动作速度的数据也与示教点的指针 k 相对应地存储在图 5 中的非易失性存储器 18 中。

进而，在步骤 S208，判断是否需要追加示教点，如果需要追加示教点，则对指针 $k + 1$ 的示教点重复进行从步骤 S203 开始的作业。由此，图 8 中，对于第 $(k + 1)$ 号示教点 30，计算与上述（公式 2）、（公式 3）、（公式 5）相对应的行列式 $[RL(k)]$ 、 $[RF(k)]$ 、 $[T(k)]$ ，在图 5 中的非易失性存储器 18 中存储 $[RL(k)]$ 、 $[T(k)]$ 。

重复进行与需要的示教点个数为相等次数的上述步骤 S203 到步骤 S208 的操作，在步骤 S208，在判断为不需要追加示教点的时刻示教作业结束。

下面根据图 9 所示的流程对再生动作时的处理流进行说明。

首先，在步骤 S301，从图 5 中的非易失性存储器 18 中读出已指定的动作程序（在这里为上述已示教的程序），在步骤 S302，从已读出的程序的开头每次一行地读取程序行。

在步骤 S303，如程序行不存在，则在该时刻程序的再生结束，如果行存在，则进入到步骤 S304。在步骤 S304，判断读出的行是否是动作指令，如是动作指令，则进入到步骤 S306。如不是动作指令，则通过步骤 S305 执行逻辑处理，为读出下一行而返回到步骤 S302。

接着在步骤 S306，进行路径计划，关于路径计划的方法，使用图 10 所示的流程来说明。首先，在步骤 S401，从在该行中已编程的引导机器人的示教目标位置减去移动开始位置（当前位置），计算引导机器人的移动距离。这里，所谓已编程的示教目标位置是在所述示教作业中已记录的（在图 7 的步骤 S206 记录的）引导机器人的位置。

接着，在步骤 S402，用已编程的动作速度除在步骤 S401 计算出的引导机器人的移动距离，来计算引导机器人的移动时间。这里，所谓已编程的动作速度是在所述示教作业中已记录的（在图 7 的步骤 S207 中记录的）引导机器人的指令动作速度。

在读出的程序的动作指令是协同动作的情况下，随动机器人的示教目标

位置作为与引导机器人的相对位置被进行存储。因此，在步骤 S404，根据引导机器人的示教目标位置和示教的相对位置计算随动机器人的示教目标位置。在计算中可以使用上述（公式 4）。

在动作指令不是协同动作的情况下，因为记录了第二台机器人的示教目标位置，所以不需要步骤 S404。

而且，在步骤 S405 以及 S406，和引导机器人相同，计算随动机器人的移动距离以及移动时间。即，从随动机器人的示教目标位置中减去移动开始位置（当前位置），计算随动机器人的移动距离，用已编程的动作速度除计算出的随动机器人的移动距离，来计算随动机器人的移动时间。此外，在不是协同动作的情况下，代替步骤 S405 以及 S406 执行步骤 S407 以及 S408，但计算方法相同。

这里，为了使两台机器人同步，要进行使移动时间吻合的处理。在步骤 S409，当判定为两台机器人的移动时间相同时，则取该值为最终的移动时间。两台机器人的移动时间不同时，在步骤 S410，从两台机器人的移动时间中取长的一方作为最终的移动时间。在计划的最后，在步骤 S411，用计算周期（动作插补单位时间，通常设定为 ms；称为 ITP）除计算出的移动时间来计算动作插补点数量。以上是路径计划的实施方法。

这里，返回到再生动作时的处理流（图 9 的流程）。当在步骤 S306 进行上述路径计划时，在步骤 S307 对表示当前的插补点的变量 i 进行初始化。在步骤 S308，如果到现在的插补点数量未达到在路径计划中计算出的插补点数量，则执行步骤 S309 以后的动作插补的处理。

关于在步骤 S309 执行的动作插补的方法，参照图 11 的流程。首先，在步骤 S501，用插补点数量除在路径计划的步骤 S401 求得的引导机器人的移动距离，将所得到的值乘以把当前的插补点数量的指针 i 加上 1 之后的值（ $i + 1$ ），将乘积与该行中的引导机器人的移动开始位置相加，计算引导机器人的插补位置数据。

接着，在步骤 S502 判断是否是协同动作，如果是协同动作，则在步骤 S503，与步骤 S501 相同地对引导机器人和随动机器人的相对位置计算已插补的相对位置数据。在不是协同动作的情况下，不需要步骤 S503。最后在步

骤 S504, 根据所述引导机器人的插补位置数据以及已插补的相对位置数据计算随动机器人的插补位置数据。插补位置数据在每个处理周期 (ITP) 以时间系列输出, 但是通过对其实施过滤处理 (平滑处理) 后交给伺服控制部, 可以确保两机器人的轨迹的平滑。

过滤处理的各种方式为众所周知的, 但在这里考虑两种过滤方式 (第一以及第二过滤方式)。首先, 在采用第一过滤方式的情况下, 在步骤 S505, 对引导机器人和随动机器人的所述计算出的插补位置数据执行过滤处理。

另外, 在使用第二过滤方式的情况下, 使用图 12 的流程简单地说明。首先, 与使用第一过滤方式的情况比较, 在步骤 S601, 对引导机器人的插补位置数据执行过滤处理, 而且在步骤 S603 对相对位置数据执行过滤处理。然后, 使用这些被分别执行了过滤处理的引导机器人的插补位置数据和插补相对位置数据, 在步骤 S604 计算随动机器人的插补位置数据。因此, 在第二过滤方式的流程 (图 12) 中, 不需要相当于第一过滤方式的流程 (图 11) 中的步骤 S505 的步骤。

当动作插补结束时在图 9 的步骤 S310, 根据引导机器人和随动机器人的各个插补位置数据求出在第 i 插补点的机器人手臂各轴的移动量 (从上次插补点的移动量), 向伺服控制部进行指令 (步骤 S311), 在表示当前的插补点数量的指针上加 1 (步骤 S312)。

以上, 从步骤 S309 到 S312 是在 1 个动作插补时间内进行的处理, 重复进行该处理与插补点数量为相等的次数, 与操作程序中相应行有关的动作插补结束。在动作插补结束后, 返回步骤 S302 读出程序中的下一行, 重复步骤 S302 到 S312 直到到达程序的结束行, 如果到达了程序的结束行, 程序再生结束。

以上是关于本发明第一实施例的说明。下面, 对相当于第一实施例的第二到第五实施例进行说明。此外, 对于和第一实施例共同的要素用共同的符号进行指示, 关于共同的事项省略重复的说明。

在本发明的第二实施例中, 对通过手动进给的操作进行叙述。这里, 在图 13 中, 考虑通过手动进给使第一刀具坐标系 3 相对引导机器人 1 的第一基准坐标系 13 进行正交动作, 所述第一刀具坐标系 3 是对安装了刀具 2 的引导

机器人 1 的刀具 2 设定的。

可以对应这样的手动进给，对随动机器人 6 把持的工件 4 设定的第二刀具坐标系 5 控制随动机器人 6，以使其保持和对刀具 2 设定的第一刀具坐标系 3 的相对位置以及相对姿势。本实施例中的控制不是对有关引导机器人 1 的移动指令进行了示教的程序，除了根据来自示教操作盘 12 的指令这一点外，基本上与程序的再生动作没有变化的地方，处理流的概要为图 14 的流程。

在手动进给的情况下，通过按下示教操作盘 12 的手动进给按钮使机器人进行动作。在步骤 S701，判断是否已按动了示教操作盘的手动进给按钮，在已按动了的情况下，根据按钮的按下时间以及已指定的手动进给的方向制订路径计划（步骤 S702）。步骤 S705 的动作插补在所述图 11 中的步骤 S503 或图 12 中的步骤 S603 中进行以使相对位置数据始终保持恒定。

在本发明的第三实施例中，如图 15 所示，控制随动机器人 6，以使通过手动进给使对随动机器人 6 把持的工件 4 设定的第二刀具坐标系 5 在对安装了刀具 2 的引导机器人 1 的刀具 2 设定的第一刀具坐标系 3 上向希望的方向平移（方向 1）以及旋转（方向 2）。本实施例的特征为：对安装在引导机器人 1 上的刀具 2，设定了作为随动机器人 6 的动作基准的坐标系。本实施例中的处理流和图 14 所示的相同。但是，步骤 S705 的动作插补在上述图 11 中的步骤 S503 或者图 12 中的步骤 S603 中，根据通过手动进给按钮指定了的动作方向计算相对位置数据。

如图 16 所示，本发明的第四实施例在第一实施例中，使协同作业的随动侧的机器人 6 为多台。这些机器人全部由一台机器人控制装置 11 控制。本实施例中的各事项除引导机器人 1 和随动机器人 6 的设置关系的校准、示教作业、再生处理中关于随动机器人的处理为多台机器人这些之外，和第一实施例相同。

最后，如图 17 所示，本发明的第五实施例在第一到第四实施例中，使用多台控制装置 11 控制引导机器人 1 和随动机器人 6，通过使用通信路径 13 连接各控制装置 11 在各控制装置之间进行通信，由此进行同步协同控制。作为通信方法，例如可以使用专利第 3538362 号公报中的方法。

根据涉及本发明的机器人轨迹控制方法，将安装了作业刀具的机器人作

为引导机器人，将把持工件的机器人作为随动机器人，以动作插补时间单位使作业刀具的位置以及姿势为希望的位置以及姿势，同时可以实现协同动作，以使关于作业刀具固定的坐标系在对工件固定的坐标系上描绘出希望的轨迹。

另外，根据本发明可以期待以下特有的效果。

(1) 在把本发明应用在焊接作业的情况下，可以在示教中没有困难地使焊枪的位置以及姿势和希望的位置以及姿势吻合，可以期待焊接的高质量。

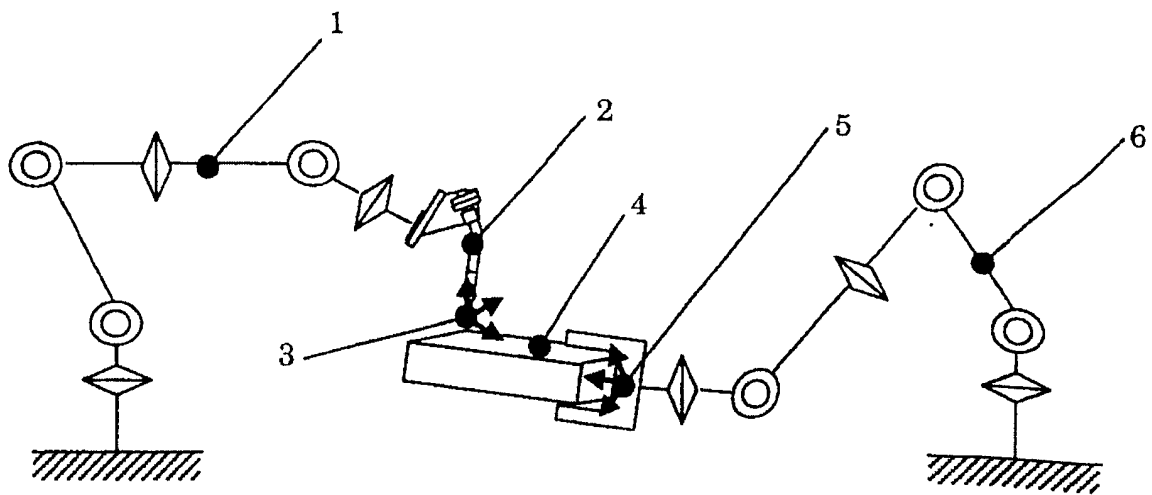
(2) 根据本发明，因为以动作插补时间单位计算对作业刀具设定的坐标系和对工件设定的坐标系的相对位置以及相对姿势，所以可以在动作中始终按希望的轨迹控制相对位置以及姿势。

(3) 根据本发明，可以一面保持引导机器人和随动机器人的相对位置以及相对姿势一面手动进给引导机器人，以及可以进行手动进给使对工件设定的坐标系在对引导机器人的刀具设定的坐标系上，在任意的方向上平移以及旋转。因此，通过手动进给操作多台机器人时的操作性提高。

(4) 通过对引导机器人随动控制多台机器人，可以进行更加多样的作业。

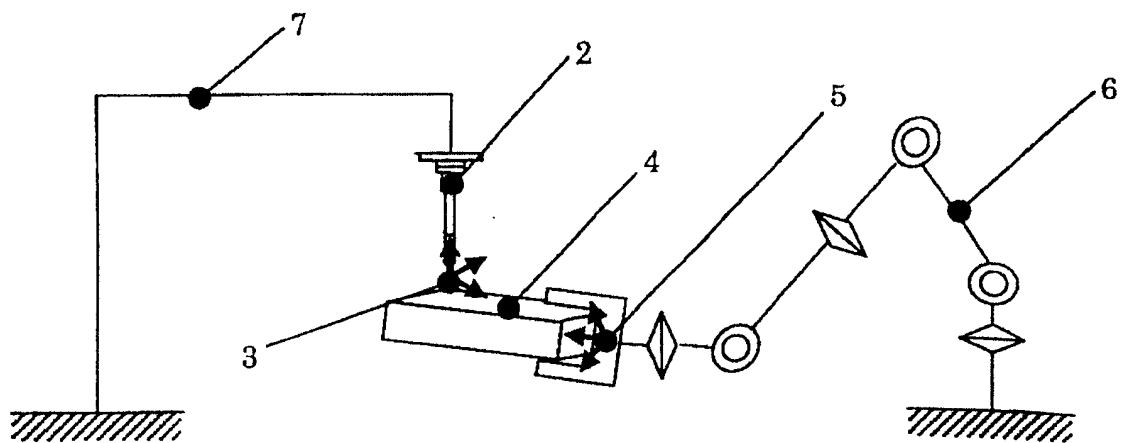
(5) 控制进行协同作业的各个机器人的控制装置可以是多台，也可以是一台。因此，如果控制装置是一台那么可以降低系统的装置成本；如果是多台可以将已有的独立的控制装置用于协同控制系统。

参照为说明而选定的特定的实施例对本发明进行了说明，但是本领域的技术人员应该清楚，在不脱离本发明的基本概念以及范围的情况下可以进行多种变更。



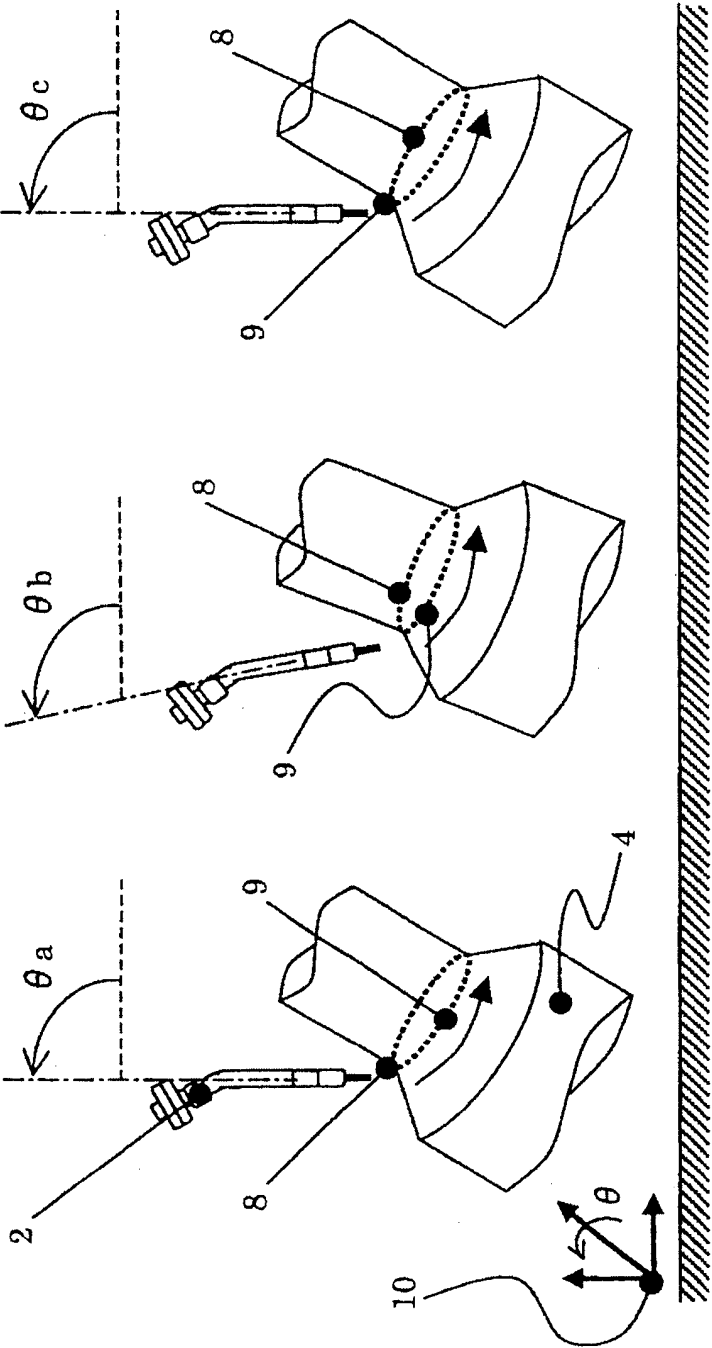
现有技术

图 1



现有技术

图 2



现有技术

图 3c

现有技术

图 3b

现有技术

图 3a

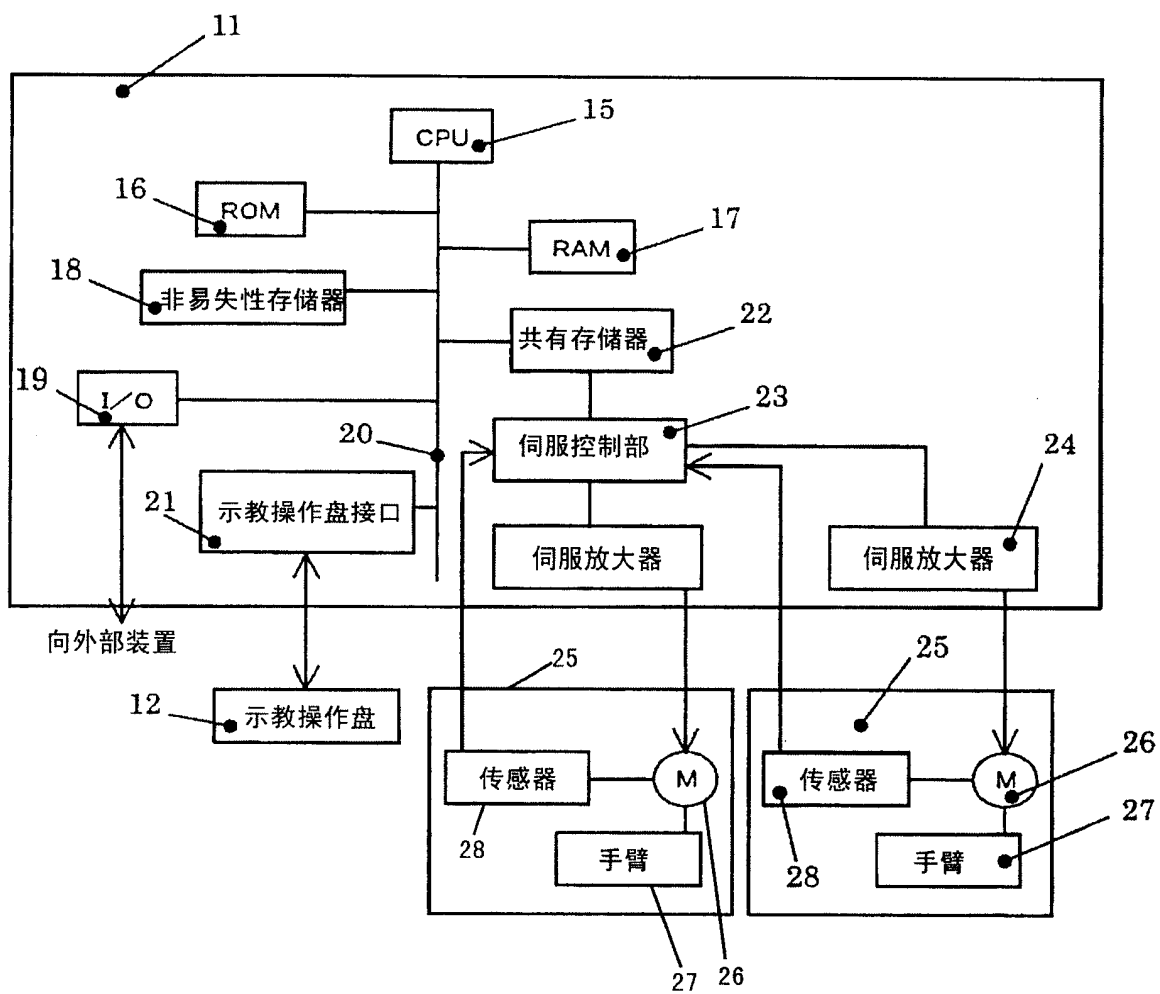


图 5

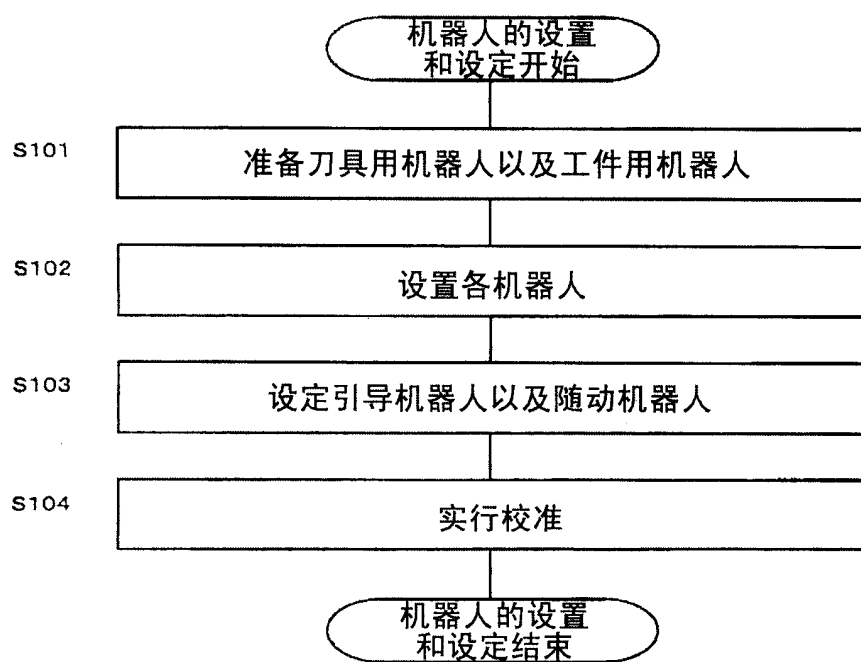


图 6

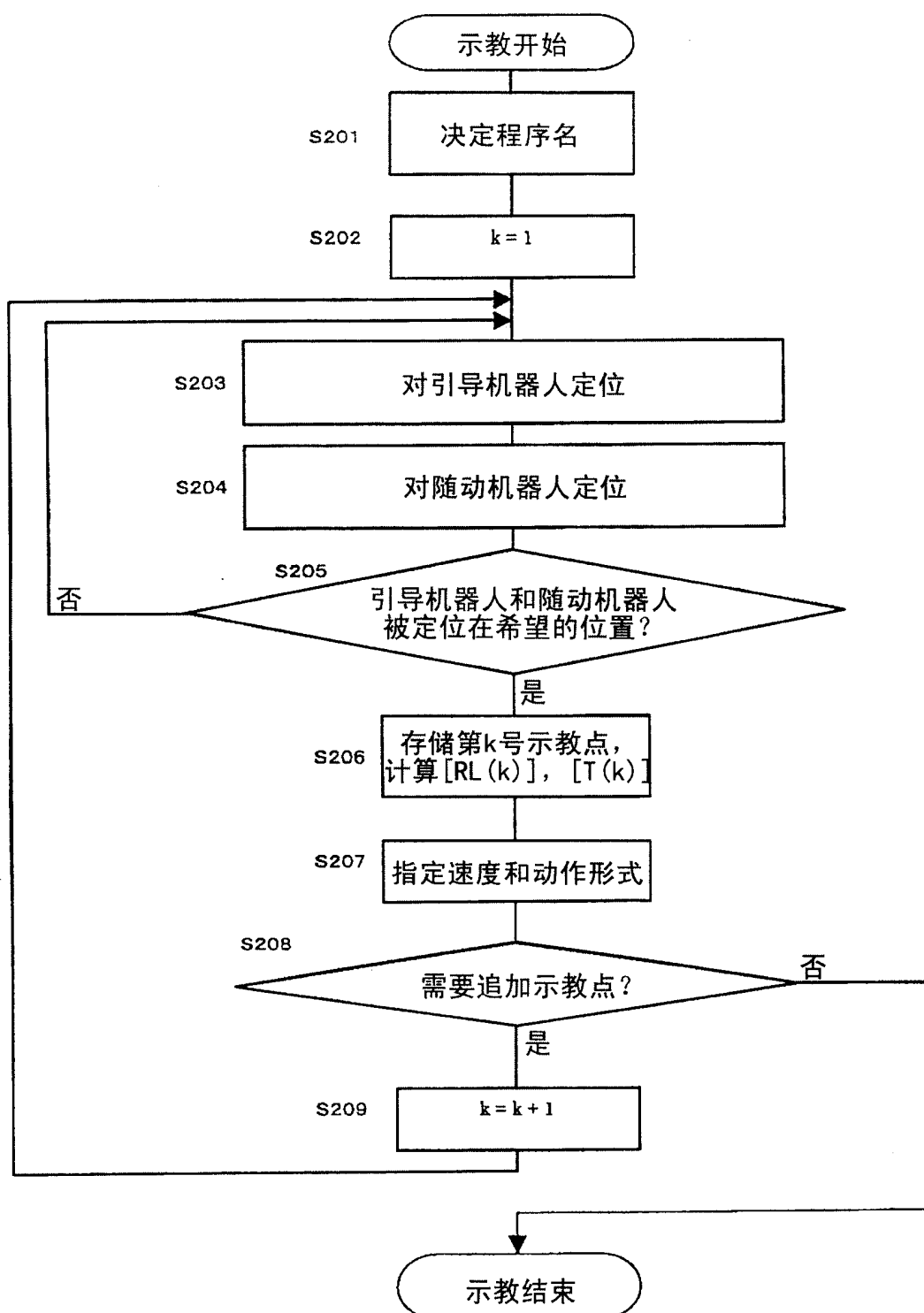


图 7

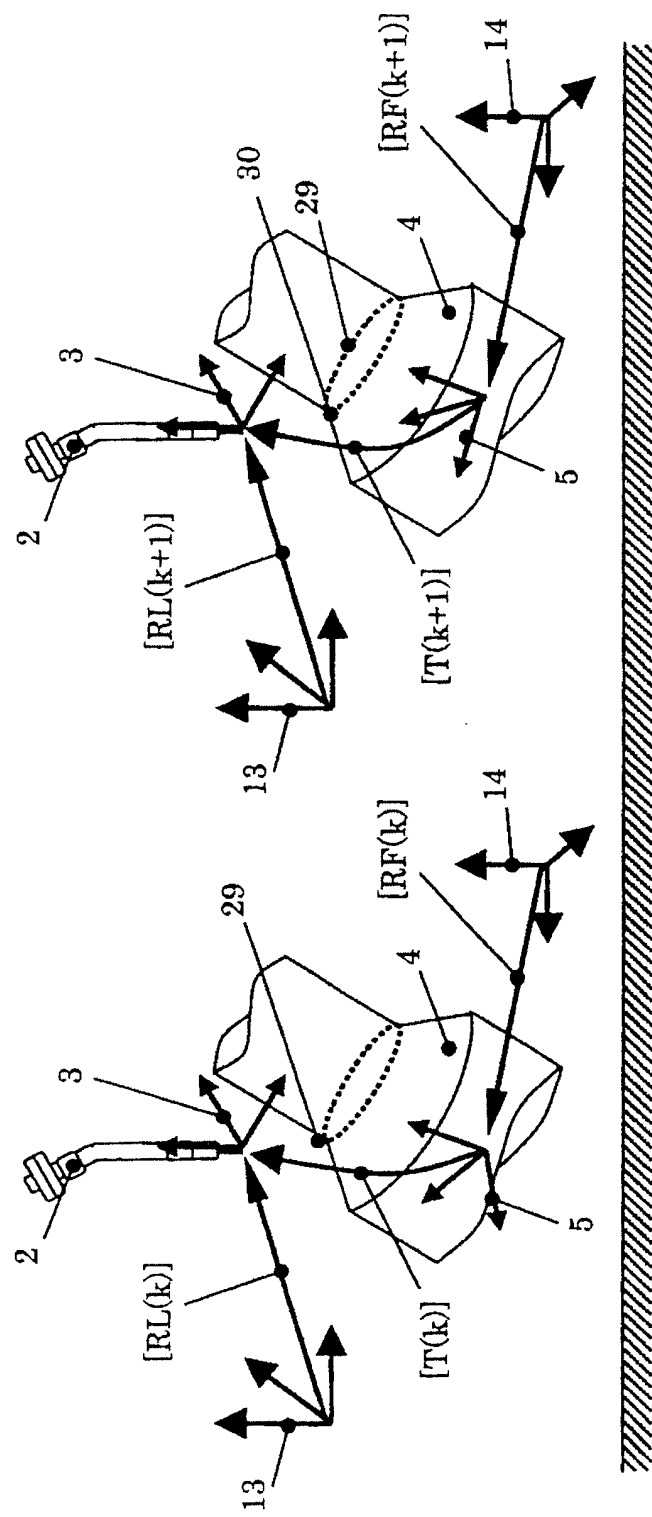


图 8b

图 8a

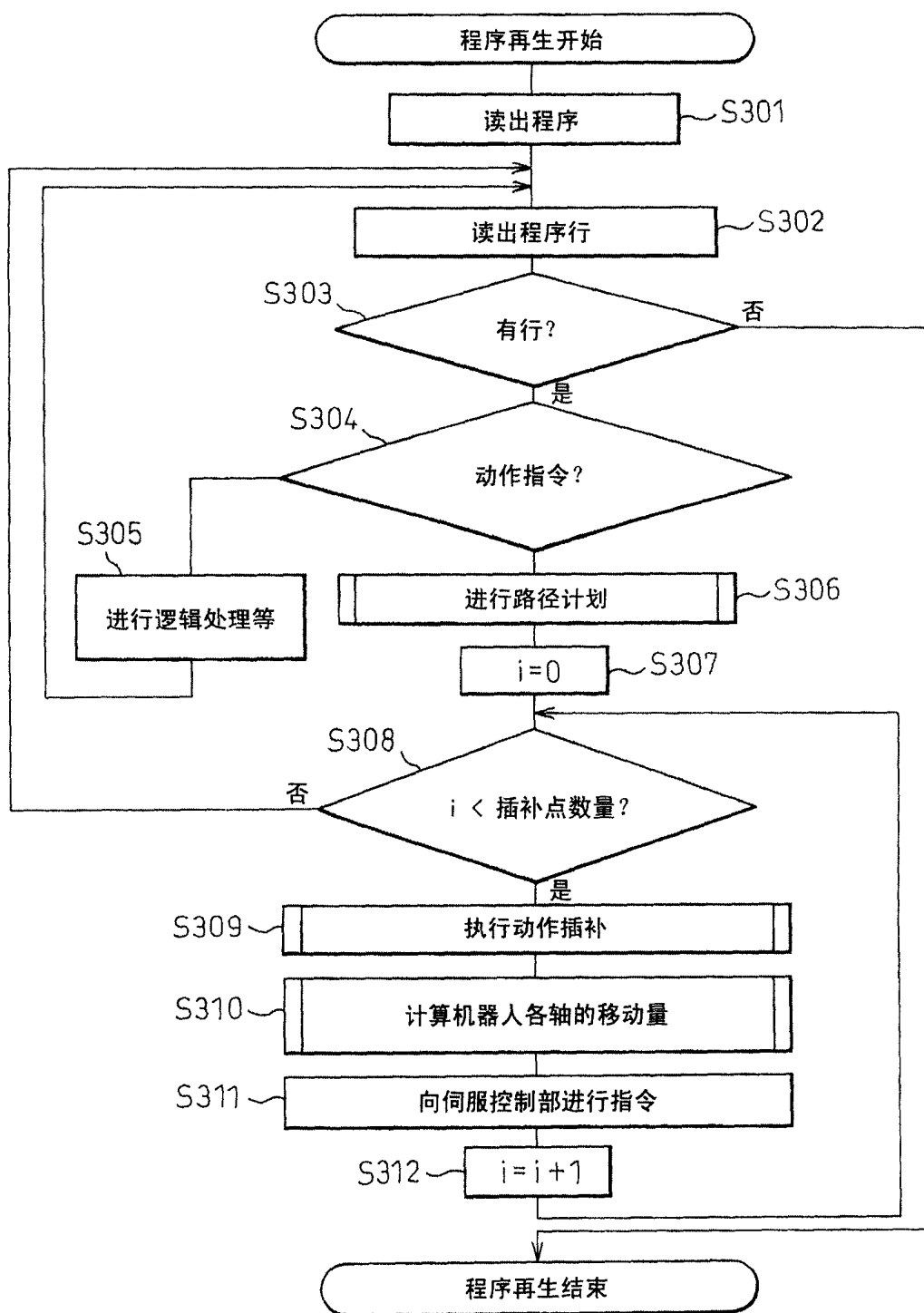


图 9

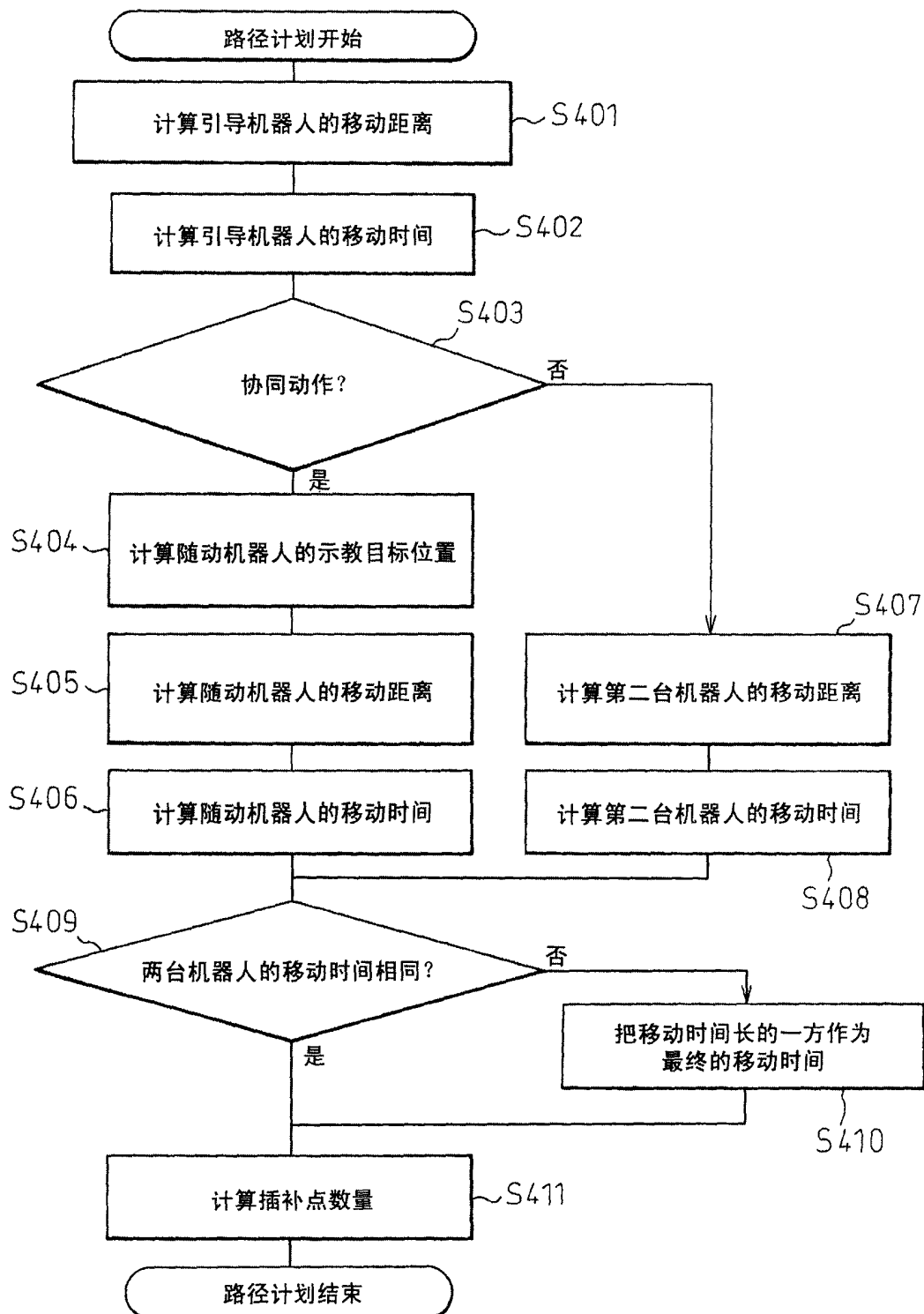


图 10

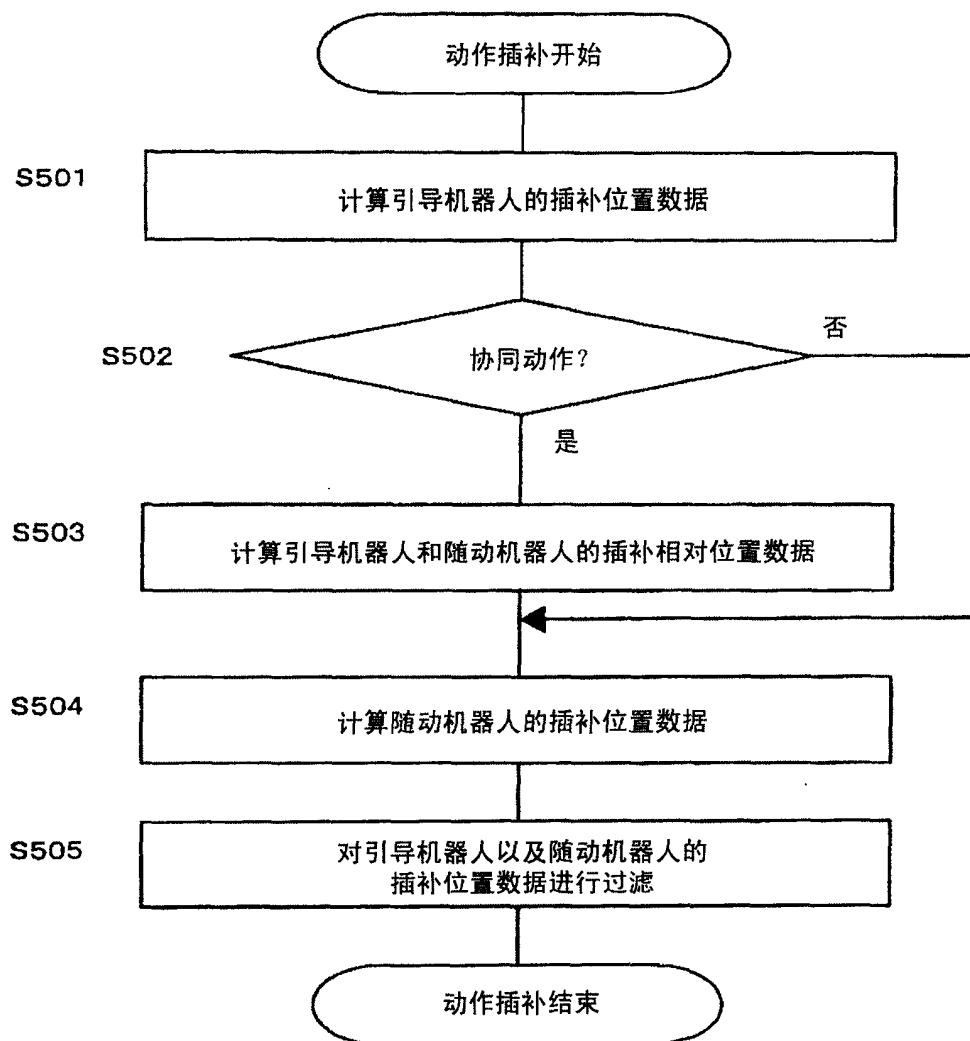


图 11

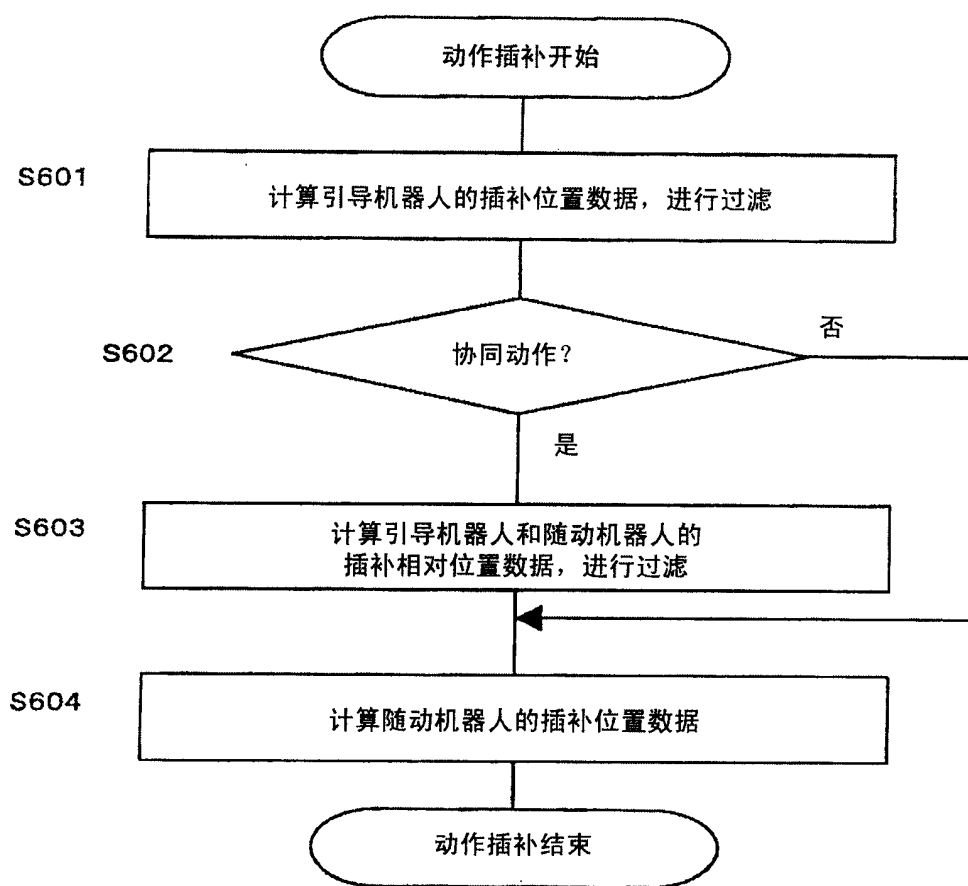


图 12

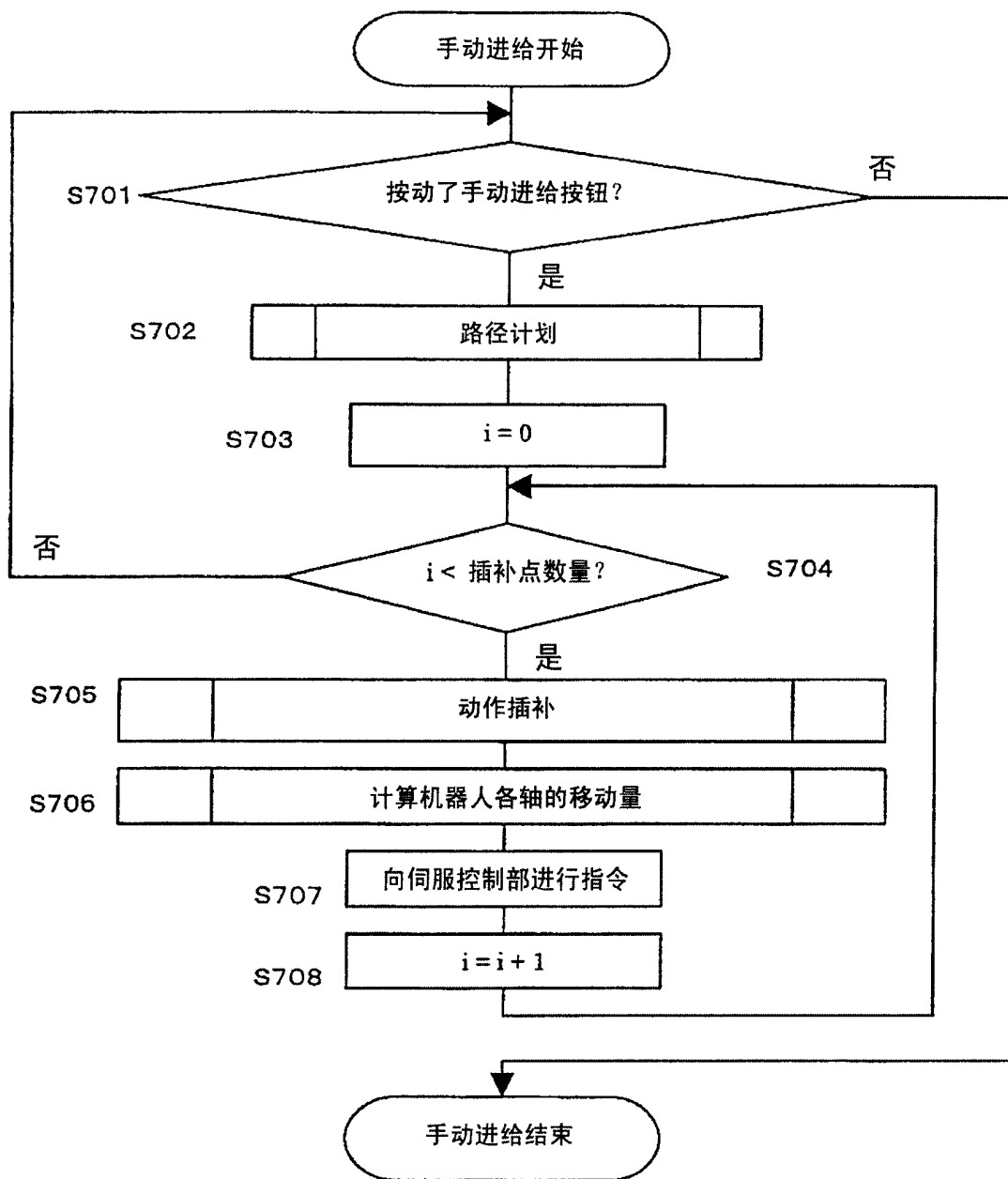


图 14

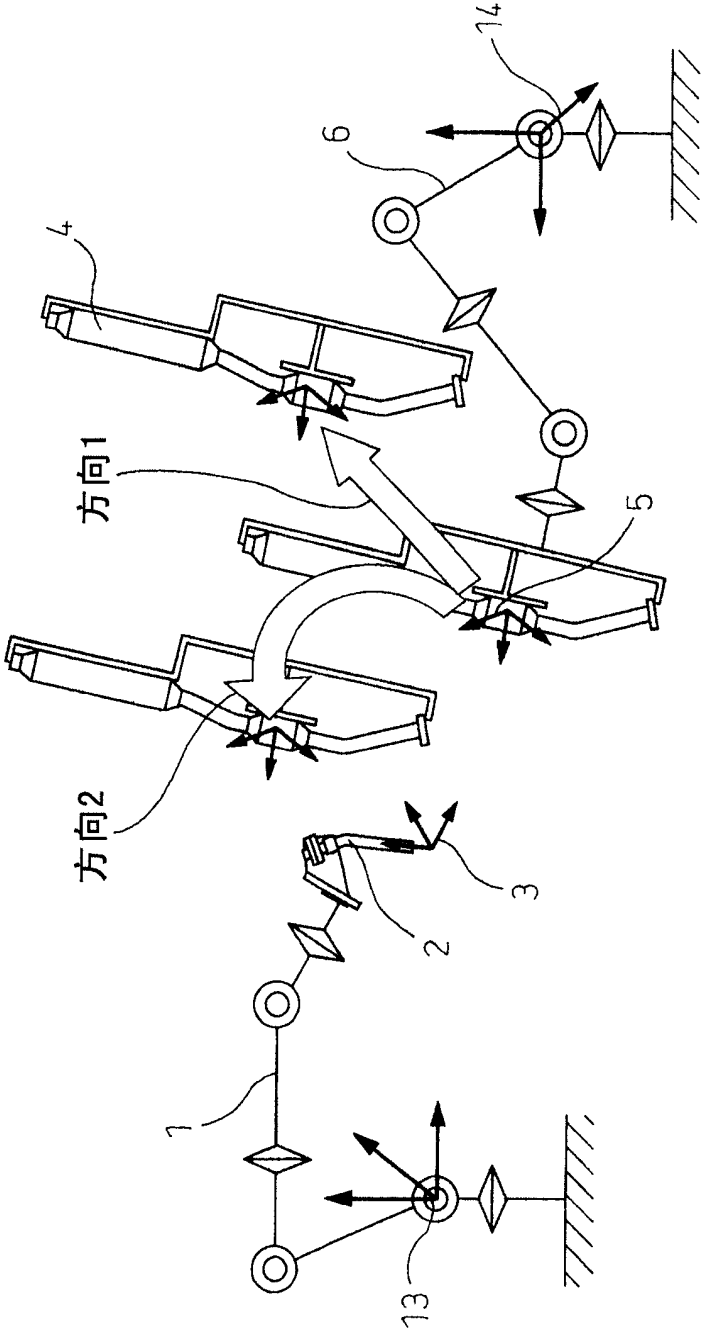


图 15

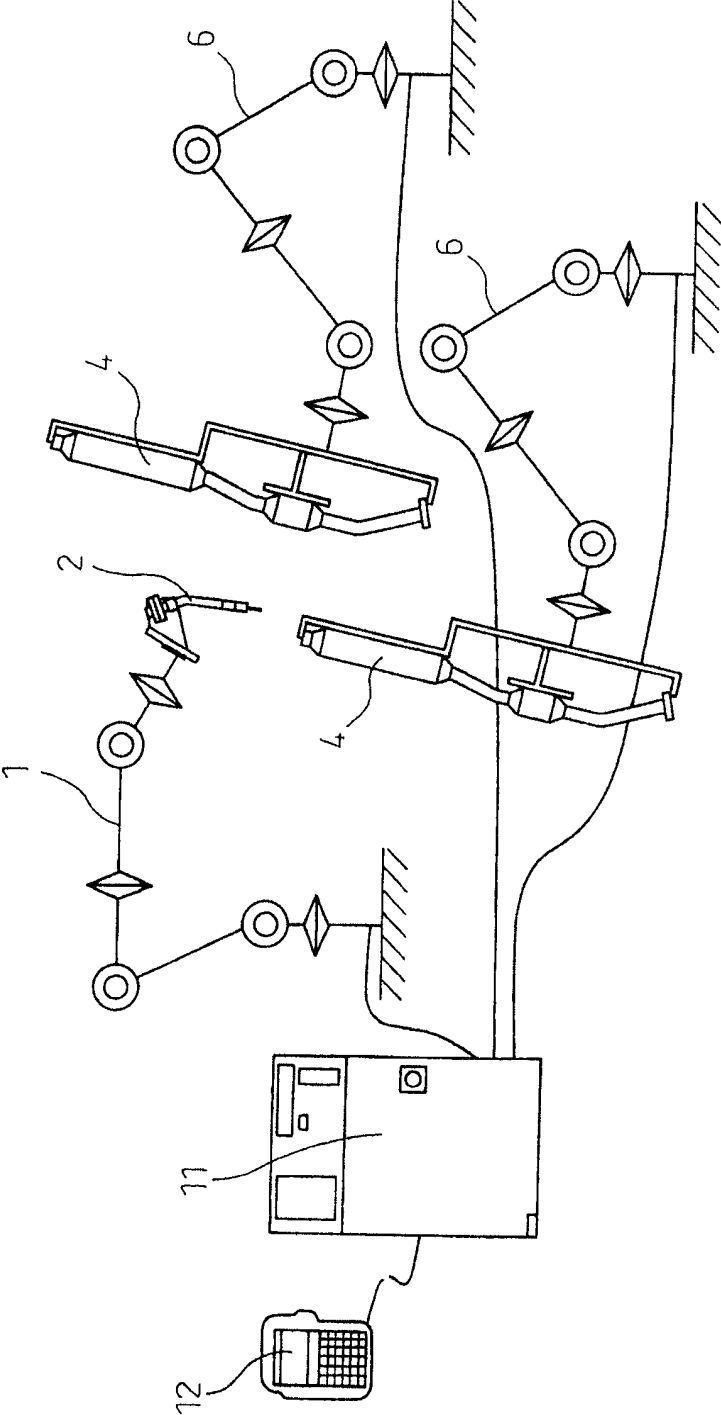


图 16

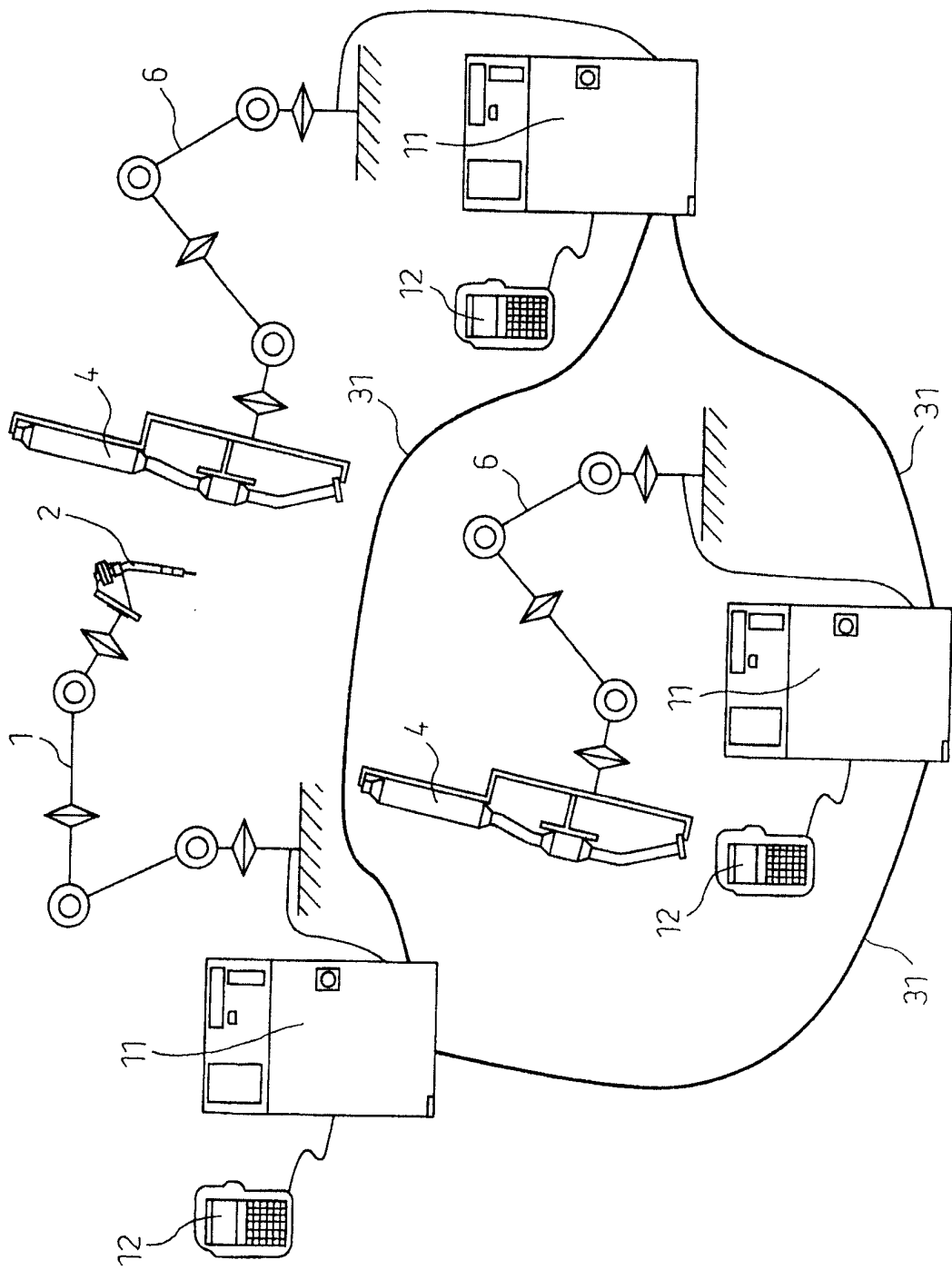


图 17