[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
B25J 5/00

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03804084.0

[43] 公开日 2005 年 6 月 29 日

[11] 公开号 CN 1633351A

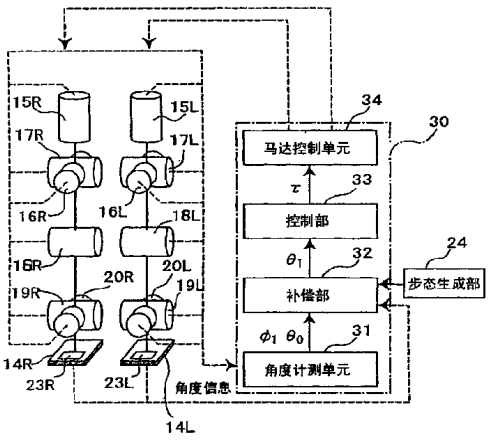
[22] 申请日 2003.2.7 [21] 申请号 03804084.0
[30] 优先权
[32] 2002. 2.18 [33] JP [31] 40837/2002
[86] 国际申请 PCT/JP2003/001324 2003.2.7
[87] 国际公布 WO2003/068462 日 2003.8.21
[85] 进入国家阶段日期 2004.8.17
[71] 申请人 独立行政法人科学技术振兴机构
地址 日本埼玉县
[72] 发明人 古田贵之 田原哲雄 奥村悠
北野宏明
[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
代理人 黄剑锋

权利要求书 3 页 说明书 15 页 附图 9 页

[54] 发明名称 双腿步行式移动装置及其步行控制装置

[57] 摘要

根据步态数据对双腿步行式移动装置的各腿部的各关节驱动马达(15L、15R～20L、20R)进行驱动控制的双腿步行式移动装置的步行控制装置(30)，包括检测施加在各脚部(14L、14R)脚底上的力的力检测部(23L、23R)和根据力检测部检测出的力修正由步态生成部(24)生成的步态数据的补偿部(32)，各力检测部(23L、23R)由在各脚部(14L、14R)脚底配置的至少三个三轴力传感器构成，补偿部(32)根据检测有效力的三个三轴力传感器(36a、36b 和 36c)的检测信号进行步态数据的修正，如此构成步行控制装置(30)，即使在具有复杂凹凸的不稳定路面状况下，也能实现机器人步行的稳定性。



ISSN1008-4274

1. 一种双腿步行式移动装置，包括：本体；两个腿部，在中间具有膝部，在本体的下部两侧安装成可在两个轴方向上摆动；脚部，安装在各腿部的下端，可在两个轴方向上摆动；驱动机构，使各腿部、膝部和脚部摆动；步态生成部，与要求动作对应，生成包含目标角度轨迹、目标角速度和目标角加速度的步态数据；以及步行控制装置，根据该步态数据对上述驱动机构进行驱动控制，其特征在于，

上述步行控制装置包括：力检测部，检测施加在各脚部的脚底上的力；补偿部，根据上述力检测部检测出的力，修正来自步态生成部的步态数据；

上述力检测部由在各脚部的脚底配置的至少三个三轴力传感器构成；

上述补偿部根据力检测部的各三轴力传感器中的检测有效力的三个三轴力传感器的检测信号，进行步态数据的修正。

2. 如权利要求 1 所述的双腿步行式移动装置，其特征在于，

所述本体是人形机器人的上体，具有头部和双手。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的双腿步行式移动装置，其特征在于，

各三轴力传感器从脚底向下方突出。

4. 如权利要求 1～3 中的任一项所述的双腿步行式移动装置，其特征在于，

三个三轴力传感器在各脚部的脚底配置在等边三角形的各顶点位置。

5. 如权利要求 1～4 中的任一项所述的双腿步行式移动装置，其特征在于，

各三轴力传感器在各脚部的脚底配置在以脚部的垂直驱动轴为中心的同一圆周上。

6. 如权利要求 1～5 中的任一项所述的双腿步行式移动装置，其特征在于，

各脚部由直接安装在腿部下端的脚板部和可上下摆动地安装在脚板部前端的作为脚尖的脚尖部构成，

力检测部的各三轴力传感器分散配置在脚板部和脚尖部上。

7. 如权利要求 6 所述的双腿步行式移动装置，其特征在于，

一个三轴力传感器配置在脚板部的脚跟附近，另一个三轴力传感器配置在脚尖部的前端附近，另外两个三轴力传感器左右配置在脚板部和脚尖部的交界附近的区域。

8. 如权利要求 1～7 中任一项所述的双腿步行式移动装置，其特征在于，

所述补偿部通过自动校准自动地校正来自各三轴力传感器的检测信号。

9. 一种双腿步行式移动装置的步行控制装置，与双腿步行式移动装置有关，该双腿步行式移动装置包括：本体；两个腿部，中间具有膝部，在本体的下部两侧安装成可在两个轴方向上摆动；脚部，安装在各腿部的下端，可在两个轴方向上摆动；以及驱动机构，使各腿部、膝部和脚部摆动；该步行控制装置根据与要求动作对应地由步态生成部生成且包含目标角度轨迹、目标角速度和目标角加速度的步态数据，对上述驱动机构进行驱动控制，其特征在于，

包括：力检测部，检测施加在各脚部的脚底上的力；以及补偿部，根据上述力检测部检测出的力，修正由步态生成部生成的步态数据；

上述力检测部由配置在各脚部的脚底上的至少三个三轴力传感器构成；

上述补偿部根据力检测部的各三轴力传感器中的、检测有效力的三个三轴力传感器的检测信号进行步态数据的修正。

10. 如权利要求 9 所述的双腿步行式移动装置的步行控制装置，

其特征在于，

各三轴力传感器从脚底向下方突出。

11. 如权利要求 9 或 10 所述的双腿步行式移动装置的步行控制装置，其特征在于，

三个三轴力传感器在各脚部的脚底配置在等边三角形的各顶点位置。

12. 如权利要求 9～11 中的任一项所述的双腿步行式移动装置的步行控制装置，其特征在于，

各三轴力传感器在各脚部的脚底配置在以脚部的垂直驱动轴为中心的同一圆周上。

13. 如权利要求 9～12 中的任一项所述的双腿步行式移动装置的步行控制装置，其特征在于，

各三轴力传感器在各脚部的脚底在前后方向和横向上等分配置。

14. 如权利要求 9～13 中的任一项所述的双腿步行式移动装置的步行控制装置，其特征在于，

所述补偿部通过自动校准自动地校正来自各三轴力传感器的检测信号。

双腿步行式移动装置及其步行控制装置

技术领域

本发明涉及双腿步行式移动装置，特别是涉及实现稳定步行的步行控制。

背景技术

从前，所谓双腿步行式机器人是指，生成预先设定的步行模式（以下称为步态（gait））数据，根据该步态数据进行步行控制，以规定的步行模式使腿部动作，从而实现双腿步行。

但是，这样的双腿步行式机器人由于路面状况、机器人自身物理参数的误差等原因，步行时的姿势容易不稳定，有时甚至会跌倒。与此相对，如果不预先设定步态数据，而是实时地一边识别机器人的步行状态一边进行步行控制，也有可能稳定步行时的姿势使其行走，但在这种情况下，当出现未预料到的路面状况等的变化时，步行姿势也会被破坏，使机器人跌倒。

因此，必须进行通过步行控制使机器人脚底的地面反作用力和重力的合成力矩成为 0 的点（以下称为 ZMP（Zero Moment Point：零力矩点））收敛到目标值的所谓 ZMP 补偿。进行上述 ZMP 补偿的控制方法包括例如日本专利特开平 5-305583 号公报所公开的利用柔顺控制使 ZMP 收敛到目标值，然后使机器人的上体加速进行修正的方法，还有修正机器人的脚的地面接触位置的控制方法。

但是，上述控制方法是通过 ZMP 规范来实现机器人的稳定。这种 ZMP 规范是以正确检测出脚底的地面反作用力为前提条件的。

但是，上述结构的双腿步行式机器人在具有复杂凹凸不稳定路面

状况下，有时整个脚底不会踩在路面上，因而无法正确检测出脚底处的地面反作用力，从而无法正确进行 ZMP 补偿。因此无法确保机器人的稳定性，机器人难以进行双腿步行。

发明内容

本发明的目的是针对上述问题提供一种双腿步行式移动装置及其步行控制装置，即使在具有复杂凹凸的不稳定路面状况下也能正确检测出脚底处的地面反作用力，实现步行稳定性。

为了实现上述目的，本发明第一方案的双腿步行式移动装置，包括：本体；两个腿部，在中间具有膝部，在本体的下部两侧安装成可在两个轴方向上摆动；脚部，安装在各腿部的下端，可在两个轴方向上摆动；驱动机构，使各腿部、膝部和脚部摆动；步态生成部，与要求动作对应，生成包含目标角度轨迹、目标角速度和目标角加速度的步态数据；以及步行控制装置，根据该步态数据对上述驱动机构进行驱动控制，此外，上述步行控制装置包括：力检测部，检测施加在各脚部的脚底上的力；补偿部，根据上述力检测部检测出的力，修正来自步态生成部的步态数据；上述力检测部由在各脚部的脚底配置的至少三个三轴力传感器构成；上述补偿部根据力检测部的各三轴力传感器中的检测有效力的三个三轴力传感器的检测信号，进行步态数据的修正。

本发明的双腿步行式移动装置最好是，所述本体是人形机器人的上体，具有头部和双手。

本发明的双腿步行式移动装置最好是，各三轴力传感器从脚底向下方突出。三个三轴力传感器最好是在各脚部脚底上配置在等边三角形的各顶点位置。另外，各三轴力传感器也可以配置在各脚部的脚底上以脚部的垂直驱动轴为中心的同一圆周上。

本发明的双腿步行式移动装置最好是，各脚部由直接安装在腿部

下端的脚板部和可上下摆动地安装在脚板部前端的作为脚尖的脚尖部构成，力检测部的各三轴力传感器分散配置在脚板部和脚尖部上。

本发明的双腿步行式移动装置最好是，一个三轴力传感器配置在脚板部的脚跟附近，另外一个三轴力传感器配置在脚尖部的前端附近，另外两个三轴力传感器左右配置在脚板部和脚尖部的交界附近的区域。

本发明的双腿步行式移动装置最好是，所述补偿部通过自动校准自动地校正来自各三轴力传感器的检测信号。

另外，为了实现上述目的，本发明第二方案的双腿步行式移动装置的步行控制装置，与双腿步行式移动装置有关，该双腿步行式移动装置包括：本体；两个腿部，中间具有膝部，在本体的下部两侧安装成可在两个轴方向上摆动；脚部，安装在各腿部的下端，可在两个轴方向上摆动；以及驱动机构，使各腿部、膝部和脚部摆动；该步行控制装置根据与要求动作对应地由步态生成部生成且包含目标角度轨迹、目标角速度和目标角加速度的步态数据，对上述驱动机构进行驱动控制，此外，包括：力检测部，检测施加在各脚部的脚底上的力；以及补偿部，根据上述力检测部检测出的力，修正由步态生成部生成的步态数据；上述力检测部由配置在各脚部的脚底上的至少三个三轴力传感器构成；上述补偿部根据力检测部的各三轴力传感器中的、检测有效力的三个三轴力传感器的检测信号进行步态数据的修正。

本发明第二方案的双腿步行式移动装置的步行控制装置最好是，各三轴力传感器从脚底向下方突出。三个三轴力传感器最好是在各脚部的脚底配置在等边三角形的各顶点位置。或者，各三轴力传感器也可以在各脚部的脚底配置在以脚部的垂直驱动轴为中心的同一圆周上。

本发明的双腿步行式移动装置的步行控制装置最好是，所述补偿部通过自动校准自动地校正各三轴力传感器的检测信号。

利用上述结构，根据由设在各脚部脚底上的至少三个三轴力传感器构成的力检测部检测出的力，补偿部修正来自步态生成部的步态数据，对驱动装置进行驱动控制。此时，即使在脚部着落在具有复杂凹凸状况的路面上的时候，从脚底向下方突出的三个三轴力传感器也可以可靠地与路面接触。因此，即使在不稳定的路面上，根据检测有效力的三个三轴力传感器的检测信号，也可以可靠地对步态数据进行修正，从而实现例本体如人形机器人的上体等的稳定。这样，即使在具有复杂凹凸状况的不稳定路面状况下，机器人各脚部的脚底也可以确保机器人的稳定性，从而可以可靠地进行步行控制。

三个三轴力传感器在各脚部脚底在等边三角形的各顶点位置的情况下，成为位于等边三角形底边的两端顶点上的三轴力传感器为左右对称的条件，因而可以使施加在各三轴力传感器上的负载载荷左右均等地分布，并且可以很容易地进行各三轴力传感器的校准。

各三轴力传感器在各脚部的脚底配置在以脚部的垂直驱动轴为中心的同一圆周上时，成为绕该垂直驱动轴的转矩相同的条件，因而可以使该转矩的负载均等分布在各三轴力传感器上，并且可以很容易地进行各三轴力传感器的校准。

各脚部由直接安装在腿部下端的脚板部和可上下摇动地安装在脚板部前端的作为脚尖的脚尖部构成，力检测部的各三轴力传感器分散配置在脚板部和脚尖部上的情况下，即使在仅以脚板部或脚尖部着地时，力检测部的各三轴力传感器也可以检测出脚底处的地面反作用力。

一个三轴力传感器配置在脚板部的脚跟附近，另外一个三轴力传感器配置在脚尖部的前端附近，另外两个三轴力传感器左右配置在脚板部和脚尖部交界附近的区域中时，即使仅以脚板部或脚尖部着地，力检测部的三个三轴力传感器就可着地，从而可以确实地检测出脚底处的地面反作用力。

所述补偿部通过自动校准自动地校正各三轴力传感器的检测信号的情况下，随周围环境的温度变化或老化而使力检测部的各个三轴力传感器的检测精度发生变化，也可以通过自动校准自动地校正，从而可以根据力检测部的各三轴力传感器的检测信号正确地检测出地面反作用力。

附图说明

通过下述详细说明和表示本发明几个实施方式的附图，可以更好地理解本发明。但附图所示的实施方式并非用于特定或限定本发明，其所描述内容仅仅为了便于说明和理解本发明。

图中：

图 1 是表示本发明涉及的双腿步行式机器人一个实施方式的机械结构的概略图。

图 2 是表示图 1 的双腿步行式机器人的电气结构的框图。

图 3A 和图 3B 表示设在图 1 的双腿步行式机器人各脚部脚底上的三轴力传感器的结构，图 3A 是从斜上方看的概略立体图，图 3B 是从斜下方看的概略立体图。

图 4 是表示图 3A 和图 3B 的三轴力传感器配置的脚底俯视图。

图 5A、5B、5C 是表示图 4 的各三轴力传感器和力测量基点的配置的坐标图。

图 6 是表示图 1 的双腿步行式机器人的步行控制动作的流程图。

图 7 是表示图 5C 所示三轴力传感器的配置的第一变形例的脚底俯视图。

图 8 是表示图 5C 所示三轴力传感器的配置的第二变形例的脚底俯视图。

图 9A 和图 9B 表示图 5C 的三轴力传感器的配置的第三变形例，图 9A 是脚部的侧视图，图 9B 是脚底的俯视图。

图 10A 和图 10B 表示图 9A 及图 9B 的变形例中脚尖部着地的情况，图 10A 是脚部的侧视图，图 10B 是脚底的俯视图。

图 11 是表示图 5C 的三轴力传感器的配置的第四变形例的脚底俯视图。

具体实施方式

以下，结合附图所示实施例详细说明本发明。

图 1 和图 2 所示为适用本发明的双腿步行式移动装置的双腿步行式机器人一个实施方式的结构。在图 1 中，双腿步行式机器人 10 包括作为本体的上体 11，安装在上体 11 的下部两侧且中间具有膝部 12L、12R 的两个腿部 13L、13R，以及安装在各腿部 13L、13R 的下端的脚部 14L、14R。

在此，上述腿部 13L、13R 各具有 6 个关节，即从上到下依次是，相对上体 11 的腰的腿部旋转（绕 z 轴）用的关节 15L、15R，腰的转动方向（绕 x 轴）的关节 16L、16R，腰的俯仰方向（绕 y 轴）的关节 17L、17R，膝部 12L、12R 的俯仰方向的关节 18L、18R，相对脚部 14L、14R 的前脚部的俯仰方向的关节 19L、19R，前脚部的转动方向的关节 20L、20R。各关节 15L、15R～20L、20R 分别由关节驱动马达构成。这样，腰关节由上述关节 15L、15R、16L、16R、17L、17R 构成，脚关节由关节 19L、19R、20L、20R 构成。

此外，腰关节和膝关节之间通过大腿连杆 21L、21R 连接，膝关节和脚关节之间通过小腿连杆 22L、22R 连接。这样，双腿步行式机器人 10 左右两侧的腿部 13L、13R 和脚部 14L、14R 分别具有 6 个自由度，步行当中分别通过驱动马达将上述 12 个关节驱动控制到适当角度，从而可以使腿部 13L、13R 和脚部 14L、14R 整体进行期望的动作，在三维空间内任意步行。

而且，上述脚部 14L、14R 的脚底（下面）具有力检测部 23L、

23R。该力检测部 23L、23R 如后所述分别检测出各脚部 14L、14R 上的力，特别是水平地面反作用力 F。上述上体 11 在图中简单地示为箱状，实际上也可以具有头部和双手。

图 2 表示图 1 所示的双腿步行式机器人 10 的电气结构。在图 2 中，双腿步行式机器人 10 包括按照要求动作生成步态数据的步态生成部 24、根据该步态数据对驱动装置、即上述各关节的关节驱动马达 15L、15R～20L、20R 进行驱动控制的步行控制装置 30。

另外，使用以前后方向为 x 方向（前方为+）、横向为 y 方向（向里为+）、上下方向为 z 方向（上方为+）的 xyz 坐标系作为双腿步行式机器人 10 的坐标系。

对应从外部输入的要求动作，上述步态生成部 24 生成包含双腿步行式机器人 10 的步行所必须的各关节 15L、15R～20L、20R 的目标角度轨迹、目标角速度和目标角加速度的步态数据。

上述步行控制装置 30 由角度计测单元 31、补偿部 32、控制部 33、马达控制单元 34 构成。

上述角度计测单元 31 由各关节 15L、15R～20L、20R 的关节驱动马达所具有的例如旋转式编码器等输入各关节驱动马达的角度信息，计测出各关节驱动马达的角度位置、即角度和角速度的状态矢量 ϕ 后，输出到补偿部 32。上述补偿部 32 根据来自力检测部 23L、23R 的检测输出计算水平地面反作用力 F，并根据该水平地面反作用力 F 和来自角度计测单元 31 的状态矢量 ϕ 修正来自步态生成部 24 的步态数据，然后将矢量 θi（i=1～n，n 为机器人 10 的步行自由度）输出到控制部 33。而且，上述控制部 33 从作为补偿部 32 修正后的步态数据的矢量 θi 中减去机器人各关节的角度矢量 $\theta 0$，然后根据矢量（$\theta i - \theta 0$）生成各关节驱动马达的控制信号、即转矩矢量 τ。然后，上述马达控制单元 34 根据来自控制部 33 的控制信号（转矩矢量 τ）对各关节驱动马达进行驱动控制。

在此，上述力检测部 23L、23R 是左右对称的结构，因此以下参照图 3A 和图 3B 说明力检测部 23L。在图 3A 和图 3B 中，力检测部 23L 由在脚部 14L 下面的脚底板 35 下侧的前缘两侧和后缘中央配置的三个三轴力传感器 36a、36b 和 36c 构成。

各三轴力传感器 36a、36b 和 36c 互为相同结构，如图 3A 和图 3B 所示，从脚底向下方突出。而且，各三轴力传感器 36a、36b 和 36c 如图 4 所示，在脚部的脚底处配置在以后缘为尖端的等边三角形的各顶点上。

各三轴力传感器 36a～36c 分别具有检测输出误差，同时由于周围环境温度和老化等原因检测输出也发生变化。因此，各三轴力传感器 36a～36c 的检测输出通过如下所述的自动校准在补偿部 32 内进行自动校正。

首先，说明 Z 轴方向的校准。

在图 5A 中，在脚底处相对于力计测原点 O（Ox，Oy）配置有 n 个三轴力传感器 S1、S2、S3、…、Sn。力计测原点 O 最好与例如脚部关节的驱动坐标系一致。在此，各三轴力传感器 Si 的位置设为 Si=（X（i），Y（i）），从如上所述地分散配置的三轴力传感器 S1～Sn 中选择任意三个三轴力传感器、例如 S1、S2、S3，其坐标位置分别设为 S1=（X（1），Y（1），Z（1）），S2=（X（2），Y（2），Z（2）），S3=（X（3），Y（3），Z（3））。

然后，成为只有上述三轴力传感器 S1～S3 承担负载的三点支承的状态，如图 5B 所示，以直线连接其中适当的两个三轴力传感器、例如 S1 和 S2，另外一个三轴力传感器 S3 相对该直线的垂线的垂足设为 C。

在上述垂线上使驱动对象的重心位置从 S3 静态移动到 C，然后计测出此时 S1～S3 输出的电压值。此时，移动中的计测点越多，就越能进行正确的校正。

设 f 为计测的力，A、B 为校准参数，V 为此时的电压值，M 为驱动对象的总质量，g 为重力加速度，k 为计测点，则成立以下的关系式：

$$\begin{cases} f_{z(1)k} = A_1 V_{z(1)k} + B_1 \\ f_{z(2)k} = A_2 V_{z(2)k} + B_2 \\ f_{z(3)k} = A_3 V_{z(3)k} + B_3 \end{cases}$$

$$f_{z(1)k} + f_{z(2)k} + f_{z(3)k} = Mg$$

$$f_{z(1)k} = f_{z(2)k}$$

$$\begin{cases} f_{z(1)k} \cdot X(1) + f_{z(2)k} \cdot X(2) + f_{z(3)k} \cdot X(3) = 0 \\ f_{z(1)k} \cdot Y(1) + f_{z(2)k} \cdot Y(2) + f_{z(3)k} \cdot Y(3) = 0 \end{cases}$$

然后，设 V、M、Y 为已知，将上面的式子作为 f 的连立方程式求解，然后将结果代入下式：

$$\begin{bmatrix} \sum_{k=0}^{n} 1 & \sum_{k=0}^{n} V_{z(i)k} \\ \sum_{k=0}^{n} V_{z(i)k} & \sum_{k=0}^{n} V^2{}_{z(i)k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_z(i) \\ A_z(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k=0}^{n} f_{z(i)k} \\ \sum_{k=0}^{n} V_{z(i)k} f_{z(i)k} \end{bmatrix}$$

从而可以同时求得要求的 F/V 直线的倾角 A 和截距 B。然后，通过进行 n 次计测，就可以算出用于校正的修正参数。

这样，上述三个三轴力传感器 S1～S3 的 Z 轴方向的校准结束。然后，选择另外不同的三个三轴力传感器，同样重复修正参数的计算，算出全部的三轴力传感器的修正参数后，就可以进行全部三轴力传感器的 Z 轴方向的校正。

以下说明 XY 轴的校准方法。

首先，如图 5C 所示，从分散配置的三轴力传感器 S1～Sn 中选择任意两个三轴力传感器、例如 S1、S2，利用机器人的上体 11 或相反侧的腿部 13L 或 13R 生成绕 Z 轴的力矩 m。此时，力矩 m 与施加在三轴力传感器 S1、S2 上的力 F1、F2（其中 F1=F2）的关系以下式表示：

$$m = F1 \cdot \sqrt{(X(1) - X(2))^2 + (Y(1) - Y(2))^2}$$

据此计算出施加在各三轴力传感器 S1、S2 上的力 F1、F2，各自

的 X 成分、Y 成分以下式表示：

$$\begin{cases} f_{x(1)} = F1 \cdot \cos\theta \\ f_{y(1)} = F1 \cdot \sin\theta \\ f_{x(2)} = F2 \cdot \cos\theta \\ f_{y(2)} = F2 \cdot \sin\theta \end{cases}$$

其中

$$\theta = \alpha\tan\left(\frac{X(2)-X(1)}{Y(2)-Y(1)}\right)$$

与此相对应，从各三轴力传感器 S1、S2 输出的电压 V 和力 fx、fy 的关系在计测次数为 k 时以下式表示：

$$\begin{cases} f_{x(1)k} = A_{x(1)} V_{x(1)k} + B_{x(1)} \\ f_{x(2)k} = A_{x(2)} V_{x(2)k} + B_{x(2)} \\ f_{y(1)k} = A_{y(1)} V_{y(1)k} + B_{y(1)} \\ f_{y(2)k} = A_{y(2)} V_{y(2)k} + B_{y(2)} \end{cases}$$

将这些式子连立并进行 n 次计测后，得到下面的行列式：

$$\begin{bmatrix} \sum_{k=0}^{n} 1 & \sum_{k=0}^{n} V_{z(i)k} \\ \sum_{k=0}^{n} V_{x(i)k} & \sum_{k=0}^{n} V^2{}_{x(i)k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_x(i) \\ A_x(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k=0}^{n} f_{x(i)k} \\ \sum_{k=0}^{n} V_{x(i)k} f_{x(i)k} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sum 1 & \sum V_{y(i)k} \\ \sum V_{y(i)k} & \sum V^2{}_{y(i)k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_y(i) \\ A_y(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k=0}^{n} f_{y(i)k} \\ \sum_{k=0}^{n} V_{y(i)k} f_{y(i)k} \end{bmatrix}$$

从而可以算出修正参数 A 和 B。

这样可以同时算出 X 轴方向和 Y 轴方向的修正参数 A 和 B，从而可以进行 XY 轴方向的校准。

但是，上述校准过程中，在各三轴力传感器 36a～36c 分别配置在图 4 所示等边三角形的顶点上时，位于三角形前侧的底边两端上的三轴力传感器 36a、36b 成为左右对称的配置，因此校准的修正参数值相同。从而可以很容易地进行校准。

本发明实施方式的双腿步行式机器人 10 具有如上所述的结构，其步行动作按照图 6 所示流程图如下进行。

在图 6 中，首先在步骤 ST1 中，步态生成部 24 根据输入的要求动作（J=J）生成步态数据，并输出到步行控制装置 30 的补偿部 32。然后，在步骤 ST2 中，在两个脚部 14L、14R 上设置的力检测部 23L、23R 分别检测力，并输出到补偿部 32。在步骤 ST3 中，角度计测单元 31 计测各关节 16L、16R～20L、20R 的状态矢量ϕ，并输出到补偿部 32。这样，在步骤 ST4 中，补偿部 32 根据力检测部 23L、23R 的检测输出计算水平地面反作用力 F。然后，在步骤 ST5 中，补偿部 32 根据该水平地面反作用力 F 以及来自角度计测单元 31 的各关节 16L、16R～20L、20R 的状态矢量ϕ对步态数据进行修正，并将矢量 θi 输出到控制部 33。

接着，在步骤 ST6 中，控制部 33 从矢量 θi 中减去机器人的各关节的角度矢量 θ0，然后根据矢量（θi－θ0）生成各关节驱动马达的控制信号、即转矩矢量 τ，并输出到马达控制单元 34。然后，在步骤 ST7 中，马达控制单元 34 根据该转矩矢量 τ 对各关节的关节驱动马达进行驱动控制。这样，双腿步行式机器人 10 按照要求动作进行步行动作。

其后，在步骤 ST8 中，控制部 33 通过动作计数器增加使 J=J+1，并等待到成为规定的采样时间后，在步骤 ST9 中，当上述 J 小于等于以前确定的动作结束计数值时，返回步骤 ST2 并重复上述动作。然后，在步骤 ST9 中，当上述 J 大于动作结束计数值时，结束动作。

这种情况下，在双腿步行式机器人 10 中，在进行各关节驱动马达的驱动控制时，补偿部 32 根据由设在各脚部 14L、14R 脚底上的力检测部 23L、23R 的各三轴力传感器 36a、36b、36c 的检测信号得到的水平地面反作用力 F 修正步态数据，并生成矢量 θi，从而以该水平地面反作用力 F 为规范实现机器人 10 的稳定性。因而，即使机器人 10 各脚部 14L、14R、例如脚底落在具有复杂凹凸的不稳定路面上，设在脚底上的力检测部 23L、23R 的各三轴力传感器 36a、36b、36c

也能可靠地着地而检测出水平地面反作用力 F，因此能够可靠地进行与要求动作对应的步行动作。

图 7、图 8 分别表示上述力检测部 23L、23R 的各三轴力传感器的其它结构示例。

首先，在图 7 中，各三轴力传感器 36a、36b、36c 配置在正三角形的顶点上。三轴力传感器 36a、36b、36c 的这种配置与图 4 所示三轴力传感器 36a～36c 产生相同的作用，并且各三轴力传感器 36a、36b、36c 上的负载载荷均匀分散，因而减轻了各三轴力传感器 36a、36b、36c 的负载。

在图 8 中，各三轴力传感器 36a、36b、36c 与图 4 的情况同样配置在等边三角形的顶点上，并且配置在以脚部 14L、14R 对于腿部 13L、13R 的垂直驱动轴 O 为中心的同一圆周上。这样的三轴力传感器 36a、36b、36c 的配置与图 4 所示三轴力传感器 36a～36c 产生相同的作用，而且可以很容易地进行绕上述垂直驱动轴 O 的转矩校正。

图 9A、图 9B、图 10A、图 10B、图 11 分别表示上述的力检测部 23L、23R 的各三轴力传感器的其它结构示例，在这些结构示例中，各脚部 14L、14R 分别由直接安装在腿部 13L、13R 上的脚板部 14La、14Ra 以及相对各脚板部 14La、14Ra 可上下摆动地安装的作为脚尖的脚尖部 14Lb、14Rb。而且，脚尖部 14Lb、14Rb 也可以象其它关节那样通过驱动机构相对脚板部 14La、14Ra 主动摆动或者被动摆动。

在图 9A 和图 9B 中，脚尖部 14Lb、14Rb 分别在偏向其前端内侧的位置上具有一个三轴力传感器 36d、在其后端的两端附近位置上分别具有三轴力传感器 36e 和 36f，并且脚板部 14La、14Ra 在其后端的脚跟部具有一个三轴力传感器 36g。

这样，补偿部 32 根据力检测部 23L、23R 的各三轴力传感器 36d～36g 的检测信号，选择例如检测较大力的三轴力传感器，根据检测出有效力的三个三轴力传感器 36d～36g 所检测到的水平地面反作用力

进行步态数据的修正。

如果利用三轴力传感器 36d、36e、36f、36g 的上述配置，在脚部 14L、14R 的脚板部 14La、14Ra 落在路面上的情况下，如图 9A 所示，在脚尖部 14Lb、14Rb 后端设置的两个三轴力传感器 36e、36f 和在脚板部 14La、14Ra 后端设置的一个三轴力传感器 36g 这三个三轴力传感器 36e、36f、36g 接触地面，承受如图 9B 中斜线所示的负载载荷，受到地面的水平地面反作用力。从而，补偿部 32 根据上述三个三轴力传感器 36e、36f、36g 的检测信号计算水平地面反作用力，进行步态数据的修正。

与此相比，因步行姿势的变化仅使脚部 14L、14R 的脚尖部 14Lb、14Rb 落在路面上时，如图 10A 所示，设置在脚尖部 14Lb、14Rb 的前端和后端上的三个三轴力传感器 36d、36e、36f 接触地面，如图 10B 中斜线所示地承受负载载荷，受到地面的水平地面反作用力。

由此，补偿部 32 根据上述三个三轴力传感器 36d、36e、36f 的检测信号计算水平地面反作用力，修正步态数据。这样，即使因步行姿势的变化使脚部 14L、14R 与地面的接触状态发生变化，由于三个三轴力传感器 36e、36f、36g 或 36d、36e、36f 受到地面的水平地面反作用力而检测出有效力，因此补偿部 32 能够正确地进行步态数据的修正。

在图 11 中，各三轴力传感器 36d～36g 与图 9A 和图 9B 所示情况相比，在脚板部 14La、14Ra 的前端两侧分别具有三轴力传感器 36h、36i，来代替设在脚尖部 14Lb、14Rb 的后端两侧的三轴力传感器 36e 和 36f，并且脚尖部 14Lb、14Rb 前端的三轴力传感器 36d 配置在左右方向的大致中央的位置上。这样，三轴力传感器 36h、36i 相对于三轴力传感器 36d 或 36g 分别配置在等边三角形的顶点上。

如果利用这样的三轴力传感器 36d、36h、36i、36g 的配置，与图 9A、图 9B 所示的三轴力传感器 36d～36g 产生相同的作用，并且

可以很容易地进行中间的三轴力传感器 36h、36i 的校准，而且，中间的三轴力传感器 36h、36i 安装在比脚尖部 14Lb、14Rb 大的脚板部 14La、14Ra 上，因而可以更坚固地安装在脚部 14L、14R 上。

在图 11 中，中间的三轴力传感器 36h、36i 分别安装在脚板部 14La、14Ra 的前端两侧，但不限于此，也可以如图 11 所示地安装在脚板部 14La、14Ra 与脚尖部 14Lb、14Rb 的连结区域中。

这样，如果利用本发明实施方式的双腿步行式机器人 10，设在各脚部 14L、14R 的脚底上的力检测部 23L、23R 的各三轴力传感器 36a～36c 或 36d～36g 或 36d、36h、36i 以及 36g 在具有复杂凹凸状况的路面上也能可靠着地。从而，根据利用来自各三轴力传感器的检测信号计算的水平地面反作用力 F 来修正步态数据，从而，以脚底与地面的摩擦力所产生的水平地面反作用力 F 为规范进行步行控制，即使在具有复杂凹凸的不稳定路面状况下，也能够实现机器人 10 的稳定步行。

在上述实施方式中，例如图 4、图 7、图 8、图 9A、图 9B 和图 11 所示，三轴力传感器为左右对称配置，但不限于此，很明显地也可以配置在非等边三角形的顶点上。另外，在上述实施例中，三轴力传感器分别安装在构成脚底的一块板的下面，但不限于此，可以在三轴力传感器的下方再安装板材，可以将三轴力传感器插在两块板之间。这种情况下，三轴力传感器不仅能检测出压力，还能检测出拉力。

此外，在这样的传感器结构中，例如各三轴力传感器分别配置在脚底上的前后方向及左右方向上等分的位置上时，可以很容易地进行力的放大和校准，并且可以最大效率地利用传感器。

另外，在上述实施例中，例如图 4、图 7、图 8 所示，力检测部 23L、23R 分别具有三个三轴力传感器 36a、36b 和 36c，如图 9A、图 9B、图 10A、图 10B 所示，力检测部 23L、23R 随着步行姿势的变化，始终是三个三轴力传感器 36d、36e（36h）、36f（36i）或 36e（36h）、

36f（36i）、36g 落在地面上，但不限于此，也可以分别设置三个以上的三轴力传感器。例如也可以如图 4 中的点划线所示，在中间区域设置两个三轴力传感器 36j、36k。这种情况下，补偿部 32 比较各三轴力传感器 36a、36b、36c、36j、36k 的检测信号，选择检测出较大力的三个三轴力传感器，根据所选择的三个三轴力传感器的检测信号计算水平地面反作用力。

再者，在上述实施例中，补偿部 32 根据力检测部 23L、23R 的各三轴力传感器输出的检测信号，以水平地面反作用力为规范进行步态数据的修正，但不限于此，很明显地也可以像现有技术那样根据力检测部 23L、23R 的各三轴力传感器的检测信号，以 ZMP 规范来进行步态数据的修正。

此外，上述的实施方式中，说明的是将本发明适用于双腿步行式机器人的情况，但不限于此，很明显也可以将本发明适用于以两脚支承其它各种机器并以该两脚步行的双腿步行式移动装置。

如上所述，本发明提供了一种即使在具有复杂凹凸的不稳定路面状况下也能正确地检测出机器人脚底的地面反作用力、来实现步行稳定性的极为出色的双腿步行式移动装置及其步行控制装置。

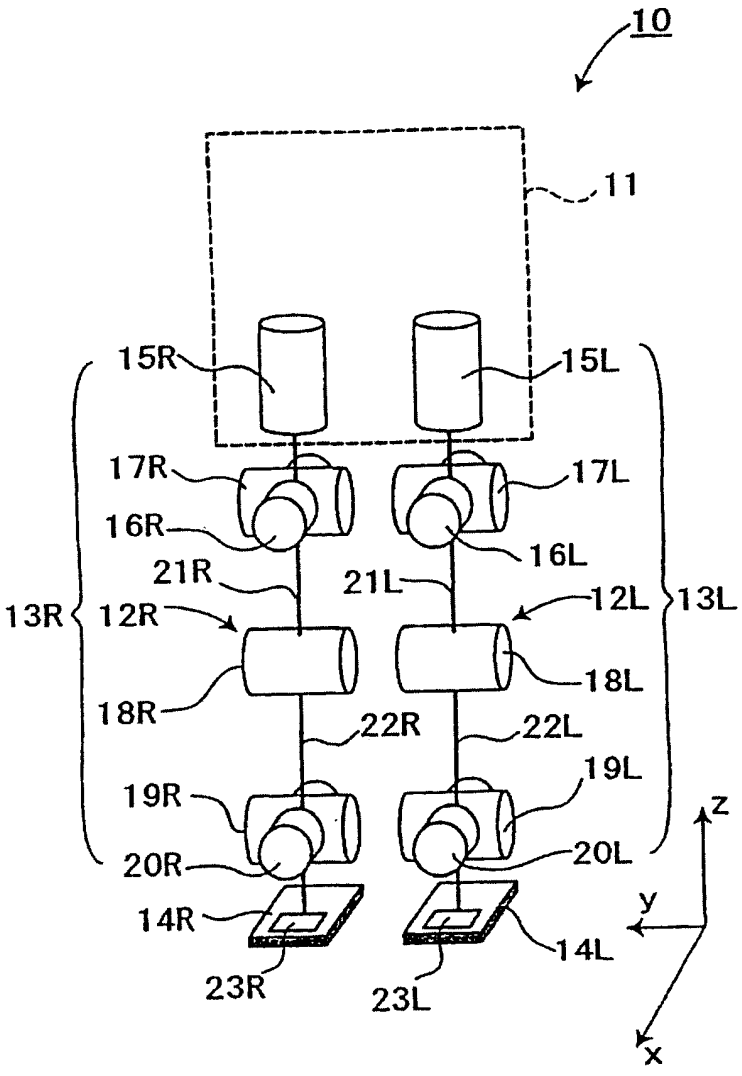

10
11
15R
15L
17R
17L
16R
16L
21R
21L
12L
13L
13R
12R
18L
18R
22R
22L
19L
19R
20R
20L
14R
14L
23R
23L
z
y
x

图1

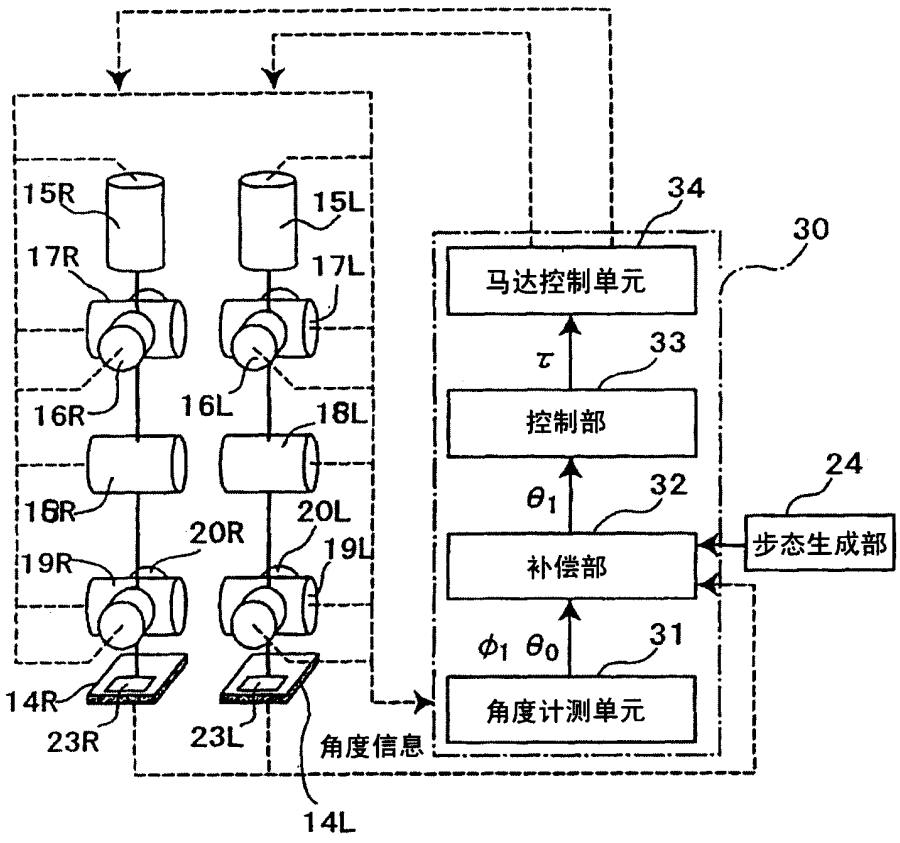

15R
15L
17R
17L
16R
16L
18L
16R
20L
20R
19R
19L
14R
23R
23L
角度信息
14L
34
30
马达控制单元
τ
33
控制部
θ1
32
24
步态生成部
补偿部
φ1 θ0
31
角度计测单元

图2

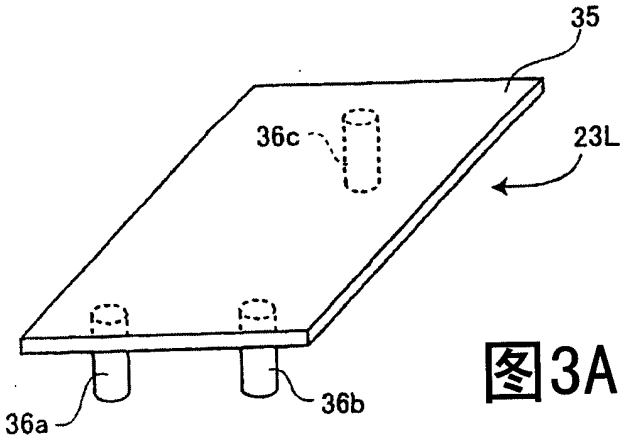


图3A

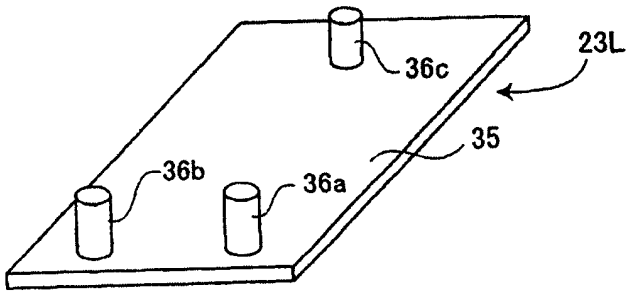


图3B

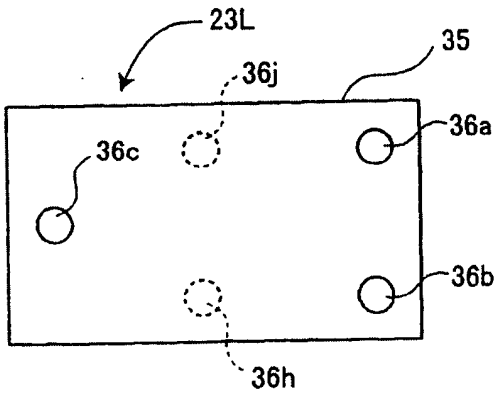


图4

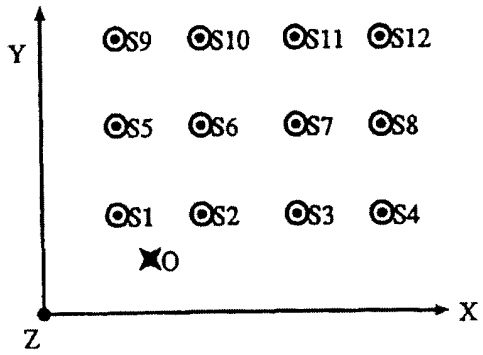

Y
S9
S10
S11
S12
S5
S6
S7
S8
S1
S2
S3
S4
O
X
Z

图5A

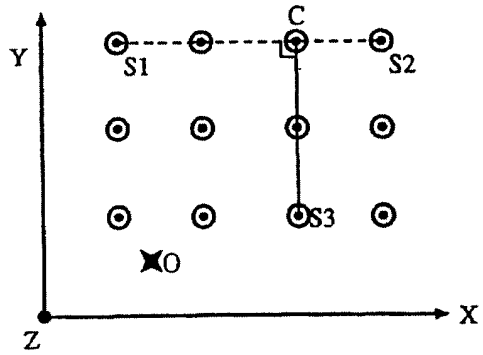

Y
C
S1
S2
S3
O
X
Z

图5B

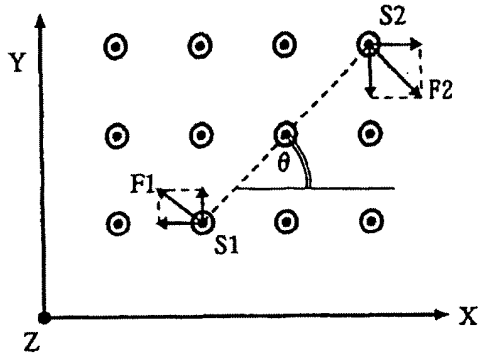

Y
S2
F2
θ
F1
S1
X
Z

图5C

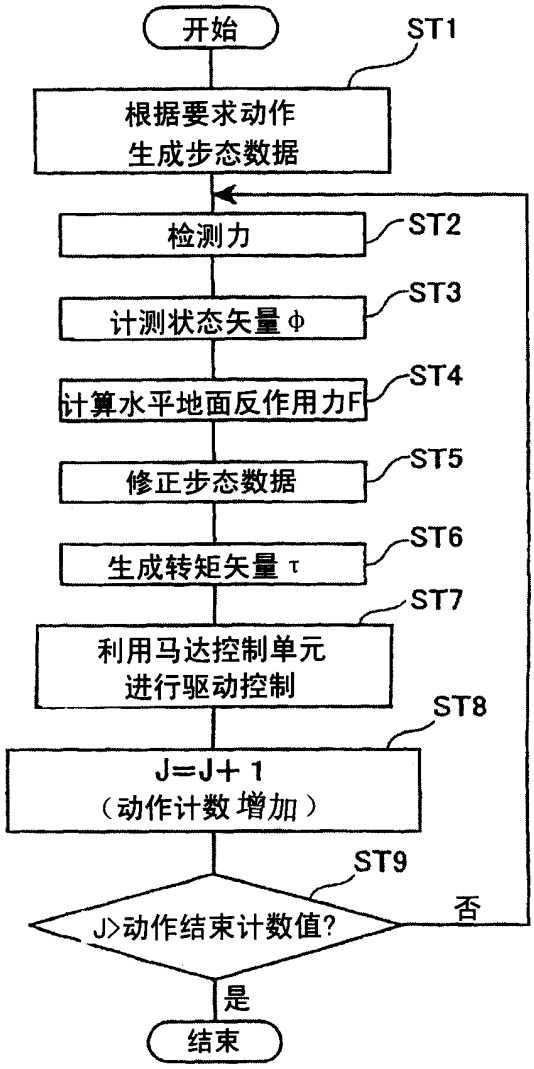

开始
ST1
根据要求动作
生成步态数据
检测力
ST2
计测状态矢量Φ
ST3
计算水平地面反作用力F
ST4
修正步态数据
ST5
生成转矩矢量τ
ST6
利用马达控制单元
进行驱动控制
ST7
J=J+1
（动作计数增加）
ST8
J>动作结束计数值?
ST9
否
是
结束

图6

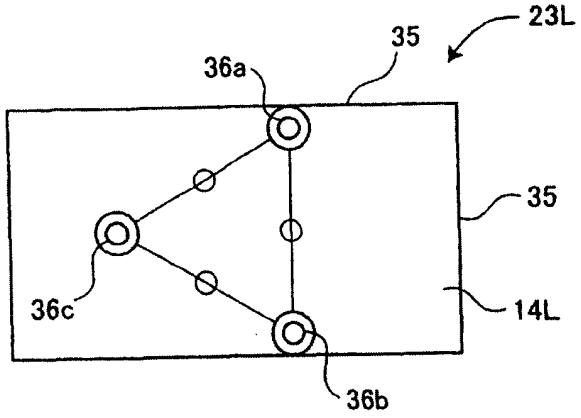


图7

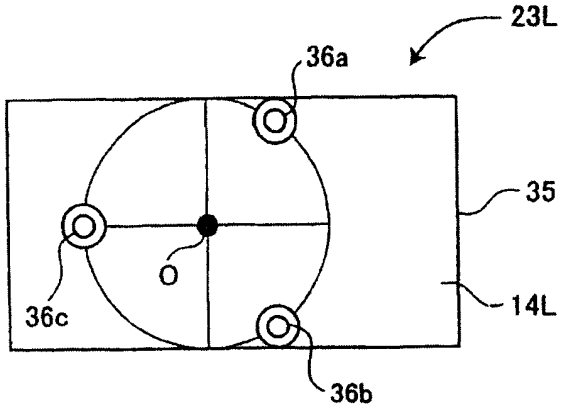


图8

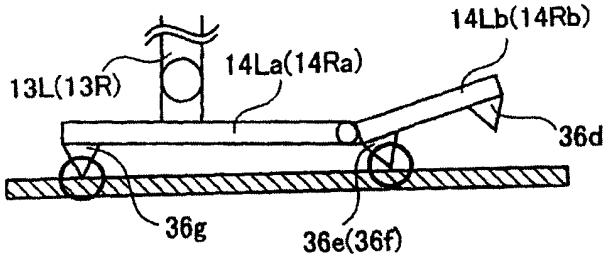

14Lb(14Rb)
13L(13R)
14La(14Ra)
36d
36g
36e(36f)

图9A

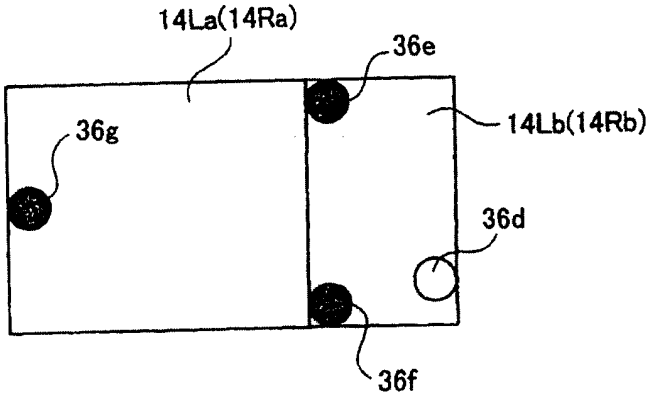

14La(14Ra)
36e
36g
14Lb(14Rb)
36d
36f

图9B

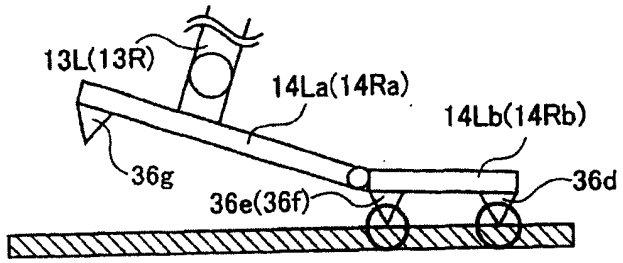

13L(13R)
14La(14Ra)
14Lb(14Rb)
36g
36e(36f)
36d

图10A

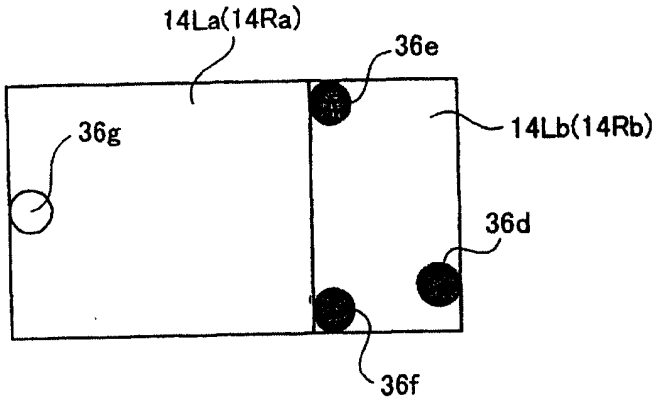

14La(14Ra)
36e
14Lb(14Rb)
36g
36d
36f

图10B

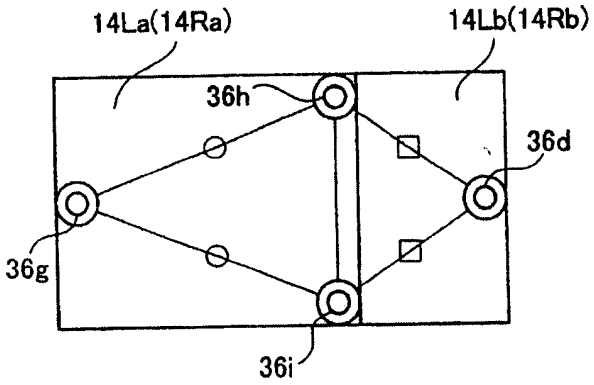


图11