



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102655834 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 22

(21) 申请号 201080057488. 1

A61H 1/00(2006. 01)

(22) 申请日 2010. 09. 22

G01C 19/02(2006. 01)

(30) 优先权数据

2009-284387 2009. 12. 15 JP

(56) 对比文件

US 2006/0070646 A1, 2006. 04. 06, 全文.

WO 2006/022057 A1, 2006. 03. 02, 全文.

JP 特表 2008-539976 A, 2008. 11. 20, 全文.

JP 特开 2005-245637 A, 2005. 09. 15, 全文.

JP 特开 2009-254741 A, 2009. 11. 05, 全文.

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 06. 15

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2010/066405 2010. 09. 22

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/074299 JA 2011. 06. 23

(73) 专利权人 丰田自动车株式会社

地址 日本爱知县

(72) 发明人 青木英祐 鸿巢仁司 木村英纪

泰图斯·沃捷塔拉 下田真吾

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理

有限责任公司 11258

代理人 柳春雷

审查员 刘超

(51) Int. Cl.

A61H 3/00(2006. 01)

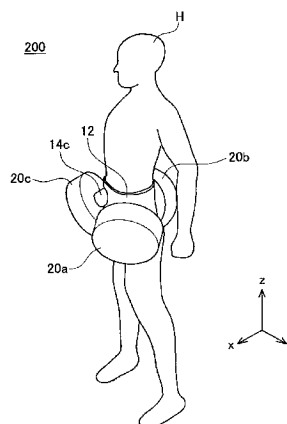
权利要求书1页 说明书13页 附图8页

(54) 发明名称

平衡装置

(57) 摘要

本发明提供辅助向基准方向恢复躯体的倾斜角的动作的装置。平衡装置包括传感器和至少一个飞轮以及控制器。传感器检测躯体相对于基准方向的倾斜角。至少一个飞轮以平衡装置被安装到人上时所述飞轮的轴线与躯体的横摆轴不平行的方式配置在平衡装置上。躯体的横摆轴相当于躯体的纵向方向。另外,在人直立时,横摆轴与基准方向一致。控制器基于由传感器检测出的倾斜角来改变飞轮的旋转速度。



1. 一种平衡装置,被安装到人的躯体上,所述平衡装置的特征在于,包括:
传感器,所述传感器检测躯体相对于被确定的基准方向的倾斜角;
至少一个飞轮,所述飞轮被配置为当所述平衡装置被安装到人的躯体上时所述飞轮的轴线与所述躯体的横摆轴不平行;以及
控制器,所述控制器基于由所述传感器检测出的所述倾斜角来改变所述飞轮的旋转速度,
当所述倾斜角处于包括所述基准方向的预先确定的第一范围内时,所述控制器改变所述飞轮的所述旋转速度,以在增大所述倾斜角的方向上产生由于所述飞轮的所述旋转速度的变化而产生的反力转矩,
当所述倾斜角处于所述第一范围外侧的第二范围内时,所述控制器控制所述飞轮的所述旋转速度,以使得所述反力转矩小于等于反力阈值。
2. 如权利要求 1 所述的平衡装置,其特征在于,
当所述倾斜角处于所述第一范围和所述第二范围合起来的范围的外侧时,所述控制器改变所述飞轮的所述旋转速度,以使得所述反力转矩大于等于所述反力阈值,并且在向所述基准方向恢复所述倾斜角的方向上产生所述反力转矩。
3. 如权利要求 1 所述的平衡装置,其特征在于,
当所述倾斜角处于所述第二范围内时,所述控制器控制所述飞轮的所述旋转速度以使得所述反力转矩小于等于所述反力阈值,并且所述控制器将所述飞轮的所述旋转速度减小至零。
4. 如权利要求 1 所述的平衡装置,其特征在于,
所述平衡装置包括三个飞轮,所述三个飞轮被配置为各个所述飞轮的轴线相互不平行并且三条轴线不在一个平面上。

平衡装置

技术领域

[0001] 本申请要求基于 2009 年 12 月 15 日提交的日本专利申请第 2009-284387 号的优先权。该申请的全部内容被参考援引在本说明书中。本发明涉及使用飞轮来辅助人的平衡能力的技术、或者用于提高平衡能力的训练的技术。另外,在本说明书中,“平衡能力”典型地是指向被确定的基准方向恢复发生了倾斜的躯体的能力。

背景技术

[0002] 据发明者们所知,迄今很少对辅助人的平衡能力的安装型的装置进行研究。另外,如下所示,本说明书所公开的新技术利用飞轮。因此,下面列举与利用了飞轮的机器人技术有关的两个现有技术。

[0003] (1) 专利文献 1(日本国专利公开公报第 2004-9205 号):专利文献 1 中公开的腿式机器人在躯体和腿的至少一者上安装有利用了飞轮的控制力矩陀螺。该腿式机器人通过控制力矩陀螺来改变躯体的姿势。

[0004] (2) 专利文献 2(日本国专利公开公报第 2009-254741 号):在专利文献 2 中公开了利用飞轮的行走辅助装置。该行走辅助装置包括安装到大腿上的第一安装部和安装到小腿上的第二装着部。各个安装部具有飞轮。该行走辅助装置利用飞轮的反力转矩,以辅助腿的动作。

发明内容

[0005] 发明所要解决的技术问题

[0006] 人的平衡能力有时由于残疾或受伤而下降。然而,如上所述,据发明者们所知,迄今很少对辅助人的平衡能力的安装型的装置进行研究。为了平衡能力下降的人,期望辅助平衡能力的安装型的装置。另外,安装型的平衡辅助装置也可用于提高平衡能力的训练装置。

[0007] 用于解决问题的技术手段

[0008] 本说明书所公开的一个技术提供了被安装到人的躯体上的平衡装置。该平衡装置包括传感器、至少一个飞轮、以及控制器。传感器检测躯体相对于被确定的基准方向的倾斜角。基准方向的一例是铅垂方向。可通过向期望的方向倾斜平衡装置并且传感器所输出的倾斜角被重置为零,来确定基准方向。在这种情况下,传感器输出零倾斜角时的平衡装置的方向相当于基准方向。至少一个飞轮以平衡装置被安装到人上时所述飞轮的轴线与躯体的横摆轴不平行的方式配置在平衡装置上。躯体的横摆轴相当于躯体的纵向方向。另外,在人直立时,横摆轴与铅垂方向一致。控制器基于由传感器检测出的倾斜角来改变飞轮的旋转速度。

[0009] 上述的平衡装置利用由于飞轮的旋转速度变化而产生的反力转矩来辅助人的平衡能力。在此,反力转矩表示躯体从飞轮受到的转矩。以下,将由于飞轮的旋转速度变化而产生的反力转矩简称为“反力转矩”。另外,上述的平衡装置通过适当地改变倾斜角和飞轮

的旋转速度变化的关系,可作用于提高人的平衡能力的训练装置。如果控制上述的平衡装置使得产生向基准方向恢复躯体的倾斜角的方向的反力转矩,则上述的平衡装置作为平衡辅助装置发挥功能。另一方面,如果控制上述的平衡装置使得产生增大躯体的倾斜角的方向(远离基准方向的方向)的反力转矩,则上述的平衡装置作为平衡训练装置发挥功能。

[0010] 在具有一个飞轮的平衡装置的情况下,倾斜角的方向和飞轮的旋转方向以及反力转矩的方向的关系如下所述。假定与飞轮的旋转轴交叉的面内的躯体的倾斜角。当躯体从基准方向沿顺时针方向倾斜时,如果飞轮的顺时针方向的旋转速度增加,则在躯体上产生逆时针方向的反力转矩、即向基准方向恢复躯体的倾斜角的方向的反力转矩。在具有多个飞轮的情况下,改变各飞轮的旋转速度,以使得各飞轮所产生的反力转矩的合成转矩作用于向基准方向恢复躯体的倾斜角的方向上。合成转矩的方向或大小由各飞轮的几何学的配置决定。

[0011] 对上述的平衡装置作为平衡能力的辅助装置使用的一个实施方式进行说明。当倾斜角处于包括基准方向的预先确定的预定范围内时,平衡装置的控制器控制飞轮的旋转速度,以使得反力转矩小于等于预先确定的反力阈值,当倾斜角超过预定范围外时,平衡装置的控制器改变飞轮的旋转速度,以使得反力转矩大于等于反力阈值并且在向基准方向恢复倾斜角的方向上产生反力转矩。

[0012] 在具有一个飞轮的平衡装置的情况下,当倾斜角处于预定范围外时,控制器控制飞轮以向与倾斜方向相同的旋转方向增加旋转速度。飞轮的这样的旋转角速度(旋转速度的变化)产生作用于向基准方向恢复躯体的倾斜角的方向上的反力转矩。

[0013] 在上述的平衡装置作为平衡辅助装置使用的其他的实施方式中,当倾斜角增大时,控制器改变飞轮的旋转速度以使得反力转矩大于等于反力阈值并且在向基准方向恢复倾斜角的方向上产生反力转矩,当倾斜角减小时,控制器控制飞轮的旋转速度以使得反力转矩小于等于反力阈值。

[0014] 在上述的前者的情况下,在倾斜角距离基准方向的偏差增大时,向基准方向恢复倾斜角的方向的反力转矩被施加给躯体。在上述的后者的情况下,在躯体的倾斜角增大时,向基准方向恢复倾斜角的方向的反力转矩被施加给躯体。通过这样的动作,平衡装置辅助人的平衡能力。在上述的任一情况下,反力阈值均被预先设定为小值使得对人的平衡不产生影响。反力阈值优选地实质上为零。

[0015] 优选地,将所检测出的倾斜角的范围的条件和倾斜角的变化方向的条件结合起来改变飞轮的旋转速度。例如,优选地,控制器在以下的三个条件下改变飞轮的旋转速度。(条件 1) 当倾斜角处于预定范围内时,无论倾斜角的变化如何,均控制飞轮的旋转速度以使得反力转矩小于等于反力阈值。(条件 2) 当倾斜角处于预定范围外并且倾斜角增大时,改变飞轮的旋转速度,以使得反力转矩大于等于反力阈值并且在向基准方向恢复倾斜角的方向上产生反力转矩。(条件 3) 当倾斜角处于预定范围外并且倾斜角减小时,改变飞轮的旋转速度以使得反力转矩小于等于反力阈值。

[0016] 对上述三个条件的含义进行说明。在倾斜角处于预定范围内时,使用者维持平衡,因此不需要反力转矩(条件 1)。倾斜角的减小表示使用者正在通过自身力量恢复平衡,因此即使倾斜角处于预定范围外也不需要反力转矩(条件 3)。仅在倾斜角处于预定范围外并且倾斜角增大时,使用者极有可能无法恢复平衡,因此通过反力转矩辅助平衡恢复(条件

2)。如此,通过将所检测出的倾斜角的范围的条件和倾斜角的变化方向的条件结合,能够更适当地进行平衡恢复的辅助。

[0017] 在本说明书所公开的新技术的一个实施方式中,优选地,控制器控制飞轮的旋转速度以使得反力转矩小于等于反力阈值,并且所述控制器将飞轮的旋转速度减小至零。这样的构成的平衡装置在躯体的倾斜角接近铅垂时、换言之使用者维持平衡时,将飞轮的旋转速度减小至零。这样的平衡装置在使用者维持平衡的期间飞轮的旋转停止的情况下,不会产生陀螺效应,不会在躯体摇摆时施加不需要的陀螺转矩。另外,通过将飞轮的旋转速度减小至零,能够防止转速的饱和。另外,陀螺转矩是由于改变旋转的飞轮的轴线而产生的转矩。即使是以恒定速度旋转的飞轮,也可产生陀螺转矩。

[0018] 控制器也可以通过飞轮的机械式摩擦阻力将旋转速度减小至零。这样的平衡装置能够抑制电力消耗。

[0019] 对上述的平衡装置作为平衡能力提高的训练装置使用的一个实施方式进行说明。控制器在倾斜角处于包括基准方向的预先确定的第一范围内时,改变飞轮的旋转速度以在增大倾斜角的方向上产生反力转矩。另外,控制器在倾斜角处于第一范围外侧的第二范围内时,控制飞轮的旋转速度以使得反力转矩小于等于反力阈值。

[0020] 上述的平衡装置在躯体的方向接近基准方向时、换言之使用者维持平衡时,施加增大躯体的倾斜角的方向的反力转矩。平衡装置的使用者尝试对抗反力转矩维持平衡。通过重复这样的动作,训练使用者的平衡能力。

[0021] 另外,优选地,上述平衡装置的控制器在倾斜角大于第二范围时,改变飞轮的旋转速度以使得反力转矩大于等于反力阈值并且在向基准方向恢复倾斜角的方向上产生反力转矩。这样的平衡装置在躯体训练过程中大幅倾斜的情况下能够辅助使用者的平衡能力,并且能够迅速地恢复使用者的倾斜角。

[0022] 优选地,控制器在倾斜角处于第二范围内时,控制飞轮的旋转速度以使得反力转矩小于等于反力阈值,并且将飞轮的旋转速度减小至零。通过将飞轮的旋转速度减小至零,能够抑制不需要的陀螺转矩的产生。控制器也可以通过飞轮的机械式摩擦阻力将旋转速度减小至零。这样的平衡装置能够抑制电力消耗。

[0023] 具有一个飞轮的平衡装置能够应对绕一个轴的倾斜角的变化。具有轴线不平行的两个飞轮的平衡装置能够应对绕两个轴的倾斜角。具有以特殊的相互关系配置的三个飞轮的平衡装置能够应对绕与躯体的横摆轴交叉的两个轴的倾斜角的变化以及绕横摆轴的躯体的转动角的变化。“特殊的相互关系”相当于三个飞轮的各轴线相互不平行并且三条轴线未被配置在一个平面上的关系。具有这样的特殊的相互关系的平衡装置不仅能够关于躯体的倾斜角辅助/训练使用者的能力,还能够关于转动角辅助/训练使用者的能力。

[0024] 平衡装置的上述的功能典型地也可以通过安装在平衡装置的控制器中的程序实现。另外,存储有这样的程序的存储介质也是本说明书所公开的技术的一个方式。

[0025] 发明效果

[0026] 根据本说明书所公开的一个新技术,能够提供辅助人的平衡能力的装置或者用于提高平衡能力的训练装置。特别地,被构成为在上述的预定的情况下将飞轮的旋转速度减小至零的平衡装置不会对使用者施加不需要的陀螺转矩。

附图说明

- [0027] 图 1A 示出第一实施例的平衡装置的示意性主视图。
[0028] 图 1B 示出第一实施例的平衡装置的示意性侧视图。
[0029] 图 1C 示出第一实施例的平衡装置的示意性平面图。
[0030] 图 2 示出平衡装置的框图。
[0031] 图 3 示出控制器的硬件构成。
[0032] 图 4 是说明作为平衡辅助装置的动作的示意图。
[0033] 图 5 示出平衡装置所执行的处理的流程图。
[0034] 图 6 说明作为平衡训练装置的动作的示意图。
[0035] 图 7 是第二实施例的平衡装置的示意性立体图。
[0036] 图 8 是第二实施例的平衡装置的示意性平面图。
[0037] 图 9 是第二实施例的平衡装置的示意性局部侧视图。
[0038] 图 10 是第三实施例的平衡装置的示意性平面图。

具体实施方式

[0039] (第一实施例):参照附图说明第一实施例的平衡装置 10。平衡装置 10 辅助向铅垂方向恢复躯体的倾斜角的使用者的动作。平衡装置 10 包括用于安装到使用者的躯体(腰)上的束腰 12 和飞轮 20。在使用者 H 安装了平衡装置 10 时,飞轮 20 处于使用者 H 的背面。

[0040] 图 1A 至图 1C 中示出了平衡装置 10 被安装到使用者 H 上时的三面图。图 1A 示出了主视图,图 1B 示出了侧视图,图 1C 示出了平面图。另外,在图 1C 中,使用椭圆示意性地表示使用者 H。另外,由于飞轮 20 处于使用者 H 的背面侧,因此图 1A 示出使用者 H 的背面。

[0041] 对在下文的说明中使用的坐标系进行说明。使用者 H 的前方相当于 X 轴,使用者 H 的侧方相当于 Y 轴,与 X 轴和 Y 轴正交的方向相当于 Z 轴。在机器人工学中,这样的 X 轴、Y 轴、以及 Z 轴分别称作侧倾轴、俯仰轴、以及横摆轴。在本说明书主要使用侧倾轴、俯仰轴、以及横摆轴的称呼。横摆轴与躯体的纵向方向一致。更具体地,横摆轴相当于穿过躯体的中心并沿躯体的纵向方向延伸的直线。

[0042] 马达 14 被安装在束腰 12 上。该马达 14 使飞轮 20 旋转。另外,飞轮 20 被盖部覆盖。飞轮 20 被配置为在平衡装置 10 被安装到使用者 H 上时飞轮的旋转轴线 s 与使用者 H 的躯体的横摆轴交叉。以下,将旋转轴线 s 简称作轴线 s。在本实施例的平衡装置 10 的情况下,飞轮 20 的轴线 s 沿使用者 H 的侧倾轴方向延伸。

[0043] 另外,飞轮 20 被配置为在平衡装置 10 被安装到使用者 H 上时飞轮的旋转轴线 s 与横摆轴不平行即可。通过这样的配置,平衡装置能够绕与横摆轴交叉的直线产生反力转矩,并且能够辅助倾斜角。

[0044] 此外,束腰 12 中还内置有控制器 16、电池 17、倾斜角传感器 18。倾斜角传感器 18 测量束腰 12 相对于基准方向的倾斜角、即使用者 H 的躯体的倾斜角。通过以在使平衡装置 10 朝向期望的方向的情况下倾斜角传感器 18 输出零倾斜角的方式重置倾斜角传感器 18,来确定基准方向。以下,在平衡装置 10 被安装到使用者并且使用者的躯体的横摆轴与铅垂方向一致时,重置倾斜角传感器 18。即,在本实施例中,躯体的横摆轴与铅垂方向一致的情

况相当于零倾斜角。换言之,倾斜角相当于铅垂线和横摆轴之间的角度。控制器 16 基于由倾斜角传感器 18 检测出的倾斜角来控制飞轮 20 的旋转速度。电池 17 向控制器 16、倾斜角传感器 18、以及马达 14 供电。

[0045] 图 2 中示出了平衡装置 10 的框图。控制器 16 具体地包括上位控制器 16a 和伺服控制器 16b。上位控制器 16a 基于倾斜角传感器 18 所输出的倾斜角 θ 和由编码器 15 测量的马达 14 的转速(旋转速度),向伺服控制器 16b 输出对马达 14 的指令转速 $n(\text{rpm})$,使得产生期望的反力转矩“-T”。在此,为了产生反力转矩“-T”,马达 14 以转矩 T 对飞轮 20 的旋转进行加速即可。通过改变对马达 14 的指令转速 n ,马达 14 产生转矩。如果马达 14 对飞轮 20 施加转矩 T,则反力转矩“-T”经由马达 14 施加给使用者 H。下面对反力转矩详细地进行说明。伺服控制器 16b 对马达 14 进行反馈控制使得马达 14 的转速追随所指示的转速 n 。伺服控制器 16b 使用转速 n 和电流 i 的双重的反馈环路对马达 14 进行控制。

[0046] 图 3 中示出了控制器 16 的硬件构成的一个实施方式。控制器 16 包括 CPU31、存储器 32、DA 转换器 33、脉冲计数器 34、以及 RS232C 电路 35(串行通信电路)。DA 转换器 33、脉冲计数器 34、以及 RS232C 电路 35 通过 PCI 总线与 CPU31 连接。存储器 32 中存储有 CPU31 执行的程序、以及反力阈值(下述)等参数。DA 转换器 33 向伺服控制器 16b 发送转速指令值。在该实施例中,由于伺服控制器 16b 的输入输出是模拟信号,因此 DA 转换器 33 将 CPU31 计算出的指令值的数字值转换为模拟值后输出。脉冲计数器 34 对编码器 15 输出的脉冲进行计数。编码器 15 输出的脉冲相当于马达 14 的转速(即,飞轮的转速)。RS232C 电路 35 接收倾斜传感器 18 输出的数据,并发送给 CPU31。众所周知,RS232C 为美国的 EIA(The Electric Industrial Alliance;美国电子工业联合会)制定的串行通信的规格。

[0047] 对平衡装置 10 的动作概要进行说明。当马达 14 对飞轮 20 的旋转进行加速(减速)时,马达 14 施加给飞轮 20 的转矩的反力转矩施加给使用者 H。由于飞轮 20 的轴线 s 沿侧倾轴方向延伸,因此反力转矩绕侧倾轴施加。即,该平衡装置 10 能够通过改变飞轮 20 的旋转速度对使用者 H 施加绕侧倾轴的转矩(飞轮 20 的反力转矩)。平衡装置 10 能够通过适当地选择飞轮 20 的控制规则向减小使用者 H 的躯体的绕侧倾轴(X 轴)的倾斜角的方向施加反力转矩,也能够向增大倾斜角的方向施加反力转矩。在前者的情况下,平衡装置 10 作为将使用者的躯体的横摆轴恢复到铅垂方向的平衡辅助装置发挥功能。在后者的情况下,平衡装置 10 作为用于提高使用者的平衡能力的训练装置发挥功能。

[0048] 参照图 4 对作为平衡辅助装置的平衡装置 10 的动作进行说明。图 4 使用线示意性地表示使用者 H。H1 相当于使用者 H 的腿,H2 相当于腰,H3 和 H4 相当于躯体。H4 示出了躯体的横摆轴(纵向方向)沿着铅垂方向的情况,H3 示出了横摆轴从铅垂方向倾斜角度 θ 的情况。角度 θ 相当于躯体的倾斜角 θ 。

[0049] 符号“P1”表示绕侧倾轴(X 轴)的角度范围。预定范围 P1 包含铅垂方向。预定范围 P1 被设定为使用者 H 能够通过自身力量维持平衡的角度范围。预定范围 P1 被预先确定,并且被存储在控制器 16 中。预定范围 P1 例如被设定为从铅垂向两侧各倾斜 2 度、总计 4 度的角度范围。

[0050] 平衡装置 10 在使用者 H 的躯体的倾斜角 θ 超过预定范围 P1 时,控制飞轮 20 的旋转速度,以在向铅垂恢复倾斜角 θ 的方向上产生反力转矩。另外,当分别使用符号 I_w 、 d_w 表示飞轮 20 的惯性矩和角加速度时,马达 14 施加给飞轮 20 的转矩 T 表示为 $T = I_w \cdot d_w$ 。

由于马达 14 施加的转矩 T 的反向的转矩施加给使用者 H, 因此在图 4 中反力转矩表示为“- T ”。如图 4 所示, 当施加顺时针的角加速度 dw 时, 产生逆时针的反力转矩“- T ”。即, 平衡装置 10 的控制器 16 能够在马达输出转矩 T 时产生反力转矩“- T ”。

[0051] 根据倾斜角 θ 确定马达 14 应该产生的转矩 T 的控制规则由下面的 (式 1) 给出。

[0052] [式 1]

[0053] 如果 $\theta \in P1$ (条件 1) 则

[0054] $T = Iw \cdot dw = 0$

[0055] 否则 (条件 2)

[0056] $T = Iw \cdot dw = Kd \cdot d\theta$

[0057] 符号 Kd 表示控制增益。符号 $d\theta$ 表示飞轮 20 的旋转速度。如果将 (式 1) 转换为确定飞轮 20 的角加速度目标值 dw 的控制规则, 则得到下面的 (式 2)。

[0058] [式 2]

[0059] 如果 $\theta \in P1$ (条件 1) 则

[0060] $dw = 0$

[0061] 否则 (条件 2)

[0062] $dw = \frac{Kd}{Iw} \cdot d\theta$

[0063] 控制器 16 使用由 (式 2) 确定的角加速度目标值 dw 来改变飞轮 20 的旋转速度。

[0064] 在 (式 1) 和 (式 2) 的控制规则中, 条件 1 表示倾斜角 θ 处于预定范围 $P1$ 内的情况。控制器 16 在条件 1 成立时, 控制飞轮 20 使得角加速度 $dw = 0$ 、即反力转矩为零。条件 2 表示倾斜角 θ 超过预定范围 $P1$ 的情况。控制器 16 控制飞轮 20, 使得产生与躯体的倾斜角速度 $d\theta$ 成比例的大小的反力转矩“- $T = Kd \cdot d\theta$ ”。反力转矩“- T ”如前所述在向铅垂恢复倾斜角 θ 的方向上产生。因此, 换言之, 控制器 16 在倾斜角 θ 超过预定范围 $P1$ 时, 改变飞轮的旋转速度以在向铅垂方向恢复倾斜角 θ 的方向上产生反力转矩。另外, 倾斜角速度 $d\theta$ 根据通过传感器 18 得到的倾斜角 θ 的时间差分得到。

[0065] 在采用 (式 2) 的控制规则的情况下, 平衡装置 10 的控制器 16 在躯体的倾斜角 θ 处于预定范围 $P1$ 内时, 控制飞轮 20 的旋转速度使得反力转矩为零。另一方面, 控制器 16 在倾斜角 θ 超过预定范围 $P1$ 时, 改变飞轮 20 的旋转速度以在向铅垂方向恢复倾斜角 θ 的方向上产生反力转矩。通过这样的控制规则, 平衡装置 10 提供向铅垂方向恢复使用者躯体绕侧倾轴的倾斜角 θ 的转矩。

[0066] 对 (式 2) 的替代控制规则进行说明。平衡装置 10 也可以采用下面的 (式 3) 的控制规则替代 (式 2)。

[0067] [式 3]

[0068] 如果 $\theta \cdot d\theta > 0$ (条件 3) 则

[0069] $dw = \frac{Kd}{Iw} \cdot d\theta$

[0070] 否则 (条件 4)

[0071] $dw = 0$

[0072] 在(式3)的控制规则中,条件3与(式2)的情况不同。 $\theta \cdot d\theta > 0$ 意味着 $\theta > 0$ 且 $d\theta > 0$ 以及 $\theta < 0$ 且 $d\theta < 0$ 。角度 θ 的正负使用图4所示的坐标系确定。条件3表示倾斜角 θ 增大。换言之,条件3表示倾斜角 θ 倒下去。即,在采用(式3)的控制规则的情况下,控制器16在倾斜角 θ 增大时,改变飞轮20的旋转速度以在向铅垂方向恢复倾斜角 θ 的方向上产生由于飞轮20的旋转速度变化而产生的反力转矩。并且,控制器16在倾斜角减小时,控制飞轮的旋转速度以使得反力转矩为零。

[0073] 在采用(式3)的控制规则的情况下,无论倾斜角 θ 的大小如何,平衡装置10均在倾斜角 θ 增大时提供向铅垂恢复倾斜角 θ 的方向的反力转矩。

[0074] 对(式2)的其他的替代控制规则进行说明。平衡装置10也可以采用下面的(式4)的控制规则替代(式2)。

[0075] [式4]

[0076] 如果 $\theta \in P1$ (条件1) 则

$$[0077] \quad dw < \frac{T_{\min}}{I_w}$$

[0078] 否则(条件2)

$$[0079] \quad dw = \max\left(\frac{Kd}{I_w} \cdot d\theta, \frac{T_{\min}}{I_w}\right)$$

[0080] (式4)的控制规则中的条件1和条件2与(式2)的情况相同。图5中示出了基于(式4)的控制规则的控制器的处理。在图5的流程图中,倾斜角 θ 和角加速度 dw 的正负的方向以图4所示的侧倾轴(X轴)为基准。即,倾斜角 θ 的正方向相当于图4的逆时针方向。角加速度 dw 的正方向也相当于逆时针方向。

[0081] 控制器16从倾斜角传感器18获得躯体的倾斜角 θ (S2)。控制器16判定倾斜角 θ 是否处于预定角度范围P1内(S4)。当倾斜角 θ 处于预定角度范围P1内时(S4:是),控制器16将飞轮20的旋转速度减小至零(S6)。在(式4)和图5中, $T_{\min}$ 表示反力阈值。即,控制器16在倾斜角 θ 处于预定范围P1内时,控制飞轮20的旋转速度,以使得由于飞轮20的旋转速度变化而产生的反力转矩 T 小于等于预先确定的反力阈值 $T_{\min}$ 。反力阈值 $T_{\min}$ 被设定为小值使得反力转矩对使用者不产生影响。控制器16优选地控制飞轮20的旋转速度,使得满足 dw (绝对值) $< (T_{\min}/I_w)$ 的条件时停止飞轮20的旋转速度。即,平衡装置10在倾斜角 θ 处于预定范围P1内时,即在使用者保持躯体的平衡的期间,将飞轮20的旋转速度减小至零。通过将飞轮20的旋转速度减小至零,平衡装置10不会对使用者施加不需要的转矩。由于旋转的飞轮的轴线的方向变化而产生的陀螺转矩相当于“不需要的转矩”。

[0082] 另一方面,当倾斜角 θ 处于预定角度范围P1外时(S4:否),控制器16根据倾斜角 θ 的方向来控制飞轮20的角加速度(S8)。在倾斜角 $\theta > 0$ 的情况下(S8:是),控制器16以正的角加速度改变飞轮20的旋转速度(S10)。在倾斜角 $\theta < 0$ 的情况下(S8:否),控制器16以负的角加速度改变飞轮20的旋转速度(S12)。在图5的步骤S10和S12中,将条件简化示出。需要注意的是,步骤S10和S12中的 dw 的条件相当于上述的条件2。即,在步骤S10和S12中,以使反力转矩 T 的大小大于反力阈值 $T_{\min}$ 的方式确定飞轮20的角加

速度 dw 。步骤 S10 和 S12 的处理相当于在倾斜角 θ 超过预定范围 P1 时改变飞轮的旋转速度使得反力转矩大于等于反力阈值 $T_{\min}$ 并且在向铅垂方向恢复倾斜角 θ 的方向上产生反力转矩。图 5 的处理通过安装在控制器 16 中的程序实现。

[0083] (式 2) 的控制规则相当于在 (式 4) 的控制规则中 $T_{\min} = 0$ 的情况。并且, 使用 (式 4) 的控制规则导入的反力阈值 $T_{\min}$ 优选地适用于 (式 3) 的控制规则。在这种情况下, 控制器 16 在倾斜角 θ 增大时, 改变飞轮的旋转速度使得反力转矩大于等于反力阈值 $T_{\min}$ 并且在向铅垂方向恢复倾斜角 θ 的方向上产生反力转矩。并且, 控制器 16 在倾斜角 θ 减小时, 控制飞轮的旋转速度使得反力转矩小于等于反力阈值 $T_{\min}$ 。具体地, 优选地, 在倾斜角 θ 减小时, 控制器 16 控制飞轮 20 的旋转速度使得在满足 $dw(\text{绝对值}) < (T_{\min}/I_w)$ 的条件时同时停止飞轮 20 的旋转速度。这种情况的优点如上所述。

[0084] 对 (式 2) 的其他的替代控制规则进行说明。平衡装置 10 也可以采用下面的 (式 5) 的控制规则替代 (式 2)。

[0085] [式 5]

[0086] 如果 $\theta \in P1$ (条件 1) 则

$$[0087] \quad dw < \frac{T_{\min}}{I_w}$$

[0088] 否则如果 $\theta \notin P1$ 且 $\theta \cdot d\theta > 0$ (条件 5)

$$[0089] \quad dw = \max\left(\frac{Kd}{I_w} \cdot d\theta, \frac{T_{\min}}{I_w}\right)$$

[0090] 否则 (条件 6)

$$[0091] \quad dw < \frac{T_{\min}}{I_w}$$

[0092] (式 5) 的控制规则将依赖于 (数 2) 所表示的倾斜角的范围的条件和依赖于 (式 3) 所表示的倾斜角的变化方向的条件结合。条件 1 与 (式 2) 的控制规则的情况相同。该控制规则中的条件 1 表示: 在倾斜角处于预定范围 P1 内的情况下, 无论倾斜角 θ 的变化方向如何, 都控制飞轮的旋转速度使得反力转矩小于等于反力阈值。由于倾斜角 θ 处于预定范围 P1 内的情况下使用者极有可能能够通过自身力量恢复平衡, 因此平衡装置 10 不输出反力转矩。

[0093] 条件 5 表示: 在倾斜角 θ 处于预定范围 P1 外并且倾斜角 θ 增大的情况下, 控制器 16 改变飞轮 20 的旋转速度使得反力转矩大于等于反力阈值 $T_{\min}$ 并且在向铅垂方向恢复倾斜角 θ 的方向上产生反力转矩。条件 5 表示使用者极有可能无法通过自身力量恢复平衡。在这种情况下, 平衡装置 10 产生辅助恢复平衡的反力转矩。

[0094] 由于表示了倾斜角 θ 减小的情况下使用者能够通过自身力量恢复平衡, 因此, 即使倾斜角 θ 处于预定范围外, 平衡装置 10 也不产生反力转矩 (条件 6)。采用 (式 5) 的控制规则的平衡装置 10 仅在使用者极有可能难以通过自身力量恢复平衡时, 输出反力转矩。

[0095] 优选地, 平衡装置 10 通过马达 14 和飞轮 20 的机械式摩擦阻力将飞轮 20 的旋转速度减小至零。由于在不使用动力的情况下将旋转速度减小至零, 因此能够抑制电力消耗。

[0096] 接下来,参照图 6 对作为平衡训练装置的平衡装置 10 的动作进行说明。平衡训练装置在使用者 H 通过自身力量将躯体的倾斜角 θ 维持在铅垂附近的期间有意地提供干扰转矩。增大倾斜角 θ 的方向的反力转矩相当于“干扰转矩”。使用者尝试对抗干扰转矩恢复倾斜角 θ 。该尝试相当于提高平衡能力的训练。

[0097] 图 6 中的符号 P2、P3、以及 P4 表示绕侧倾轴的角度范围。第一范围 P2 包含铅垂方向。第一范围 P2 被设定为使用者 H 能够通过自身力量稳定地站立的角度范围。符号 P3 表示被设定在第一范围 P2 的边界的外侧的角度范围(第二范围)。符号 P4 表示倾斜角大于第二范围 P3 的范围(第三范围)。

[0098] 平衡装置 10 作为平衡训练装置所执行的控制规则表示为(式 6)。

[0099] [式 6]

[0100] 如果 $\theta \in P2$ (条件 7) 则

$$[0101] \quad dw = \min(-\text{sig}(\theta) \cdot \frac{Kd}{Iw} \cdot \cos(\theta), -\frac{T_{\min}}{Iw})$$

[0102] 否则如果 $\theta \in P3$ (条件 8) 则

$$[0103] \quad dw < \frac{T_{\min}}{Iw}$$

[0104] 否则如果 $\theta \in P4$ (条件 9) 则

$$[0105] \quad dw = \frac{Kd}{Iw} \cdot d\theta$$

[0106] 在此,“sgn(θ)”是表示倾斜角 θ 的正负的函数。如图 6 所示,在倾斜角 θ 为正值的情况下,控制器 16 向侧倾轴(X 轴)的负方向(逆时针方向)加速飞轮 20。其结果是,反力转矩为顺时针方向即增大倾斜角 θ 的方向。控制器 16 在条件 7 成立时即倾斜角 θ 处于第一范围 P2 内时,改变飞轮 20 的旋转速度使得反力转矩大于等于反力阈值并且在使倾斜角 θ 增大的方向上产生反力转矩。这样一来,干扰转矩被施加给使用者,倾斜角 θ 紊乱。使用者尝试向铅垂方向恢复倾斜角 θ 。该尝试是提高平衡能力的训练。

[0107] 另外,条件 7 成立时的“sgn(θ)cos(θ)”项只是一个例子,例如也可以采用常数或倾斜角 θ 取代“sgn(θ)cos(θ)”。

[0108] 在条件 8 成立时即倾斜角 θ 处于第一范围的外侧的第二范围内时,控制器 16 控制飞轮 20 的旋转速度使得反力转矩小于等于反力阈值 $T_{\min}$ 。平衡装置 10 不对使用者施加不需要的反力转矩。使用者尝试通过自身的力量向铅垂方向恢复倾斜角 θ 。

[0109] 在条件 8 成立时,控制器 16 优选地控制飞轮 20 的旋转速度使得在满足 dw (绝对值) < ($T_{\min}/Iw$) 的条件的同时停止飞轮 20 的旋转速度。如果飞轮 20 的旋转停止,则不会产生陀螺转矩,不对使用者施加不需要的转矩。另外,如果通过机械式摩擦阻力来减小旋转速度,则能够抑制电力消耗。

[0110] 在条件 9 成立时,即倾斜角 θ 超过第二范围而增大时,控制器 16 改变飞轮 20 的旋转速度使得反力转矩大于等于反力阈值 $T_{\min}$ 并且在向铅垂方向恢复倾斜角 θ 的方向上产生反力转矩。即,平衡装置 10 在倾斜角 θ 超过第二范围而增大时辅助平衡恢复。

[0111] 在(式6)的控制规则中,也可以将反力阈值 $T_{\min}$ 设定为零。比(式6)的控制规则更细的替代控制规则表示为(式7)。

[0112] [式7]

[0113] 如果 $\theta \in P2$ 且 $\theta \cdot d\theta \geq 0$ (条件10) 则

$$[0114] \quad dw = -\text{sig}(\theta) \cdot \frac{Kd}{Iw} \cdot \cos(\theta)$$

[0115] 否则如果 $\theta \in P2$ 或 $\theta \in P3$ (条件11) 则

$$[0116] \quad dw = 0$$

[0117] 否则如果 $\theta \in P4$ 且 $\theta \cdot d\theta > 0$ (条件12) 则

$$[0118] \quad dw = \frac{Kd}{Iw} \cdot d\theta$$

[0119] 否则 (条件13)

$$[0120] \quad dw = 0$$

[0121] 条件10中的“ $\theta \cdot d\theta \geq 0$ ”的条件表示倾斜角 θ 增大的情况。即,倾斜角 θ 处于第一范围 $P2$ 内并且倾斜角 θ 增大时,平衡装置10产生增大倾斜角 θ 的方向的反力转矩(干扰转矩)。另外,第一范围 $P2$ 被预先确定为躯体的倾斜角 θ 接近铅垂的、上半身的平衡稳定的范围。

[0122] 在条件11成立时即倾斜角 θ 在第一范围内减小时(即,使用者想要向铅垂恢复倾斜角时)以及倾斜角 θ 处于第二范围内时,平衡装置10不产生反力转矩。

[0123] 在条件12成立时,即倾斜角 θ 处于第三范围 $P4$ 内并且倾斜角 θ 增加时,平衡装置10产生向铅垂方向恢复倾斜角 θ 的方向的反力转矩。在上述以外的情况下(条件13),平衡装置10不产生反力转矩。通过采用(式7)的控制规则,能够实现有效的平衡训练。

[0124] (第二实施例):接下来,对第二实施例的平衡装置200进行说明。图7示出了安装到使用者H上的平衡装置200的示意性立体图。平衡装置200包括三个飞轮20a、20b、以及20c。三个飞轮通过束腰12被安装到使用者上。飞轮20b被配置在使用者H的后方,剩余的飞轮分别被配置在使用者H的前方的左右。如下所述,三个飞轮被配置为各个飞轮的轴线相互不平行并且三条轴线不在一个平面上。通过如此进行配置,平衡装置200能够绕三条轴线的每一者独立地产生反力转矩。该平衡装置200不仅能够进行绕侧倾轴和绕俯仰轴的倾斜角的恢复辅助,还能够绕躯体的横摆轴进行向期望的横摆角转动躯体的辅助。或者,这样的平衡装置200不仅能够提供绕侧倾轴和绕俯仰轴的倾斜角的平衡训练,还能够提供绕躯体的横摆轴的平衡训练。

[0125] 参照图8和图9对平衡装置200能够产生的反力转矩进行说明。图8是平衡装置200的示意性平面图。与第一实施例的平衡装置10同样地,第二实施例的平衡装置200也在保持飞轮的束腰12中内置有测量倾斜角的传感器18和控制器16。三个飞轮20a、20b、20c经由马达14a、14b、14c被安装在束腰12上。图中的符号 $s1$ 、 $s2$ 、 $s3$ 表示各飞轮的旋转轴线。飞轮20b被配置在使用者H的后方。剩余的飞轮20a、20c俯视时以方位角 α 被安装在侧倾轴(X轴)的两侧。方位角 α 表示XY平面中的侧倾轴(X轴)和轴线之间的角度。俯视时,3个旋转轴线 $s1$ 、 $s2$ 、 $s3$ 在使用者的躯体内的大致中央交叉。

[0126] 图 9 示出了飞轮 20b 在 XZ 平面中的安装角度。飞轮 20b 被安装成在 XZ 平面中从侧倾轴 (X 轴) 向下倾斜仰角 β 。其他的两个飞轮也同样地以仰角 β 安装。即,三个飞轮被配置为各个飞轮的轴线相互不平行并且三条轴线不在一个平面上。

[0127] XYZ 坐标系中的三个旋转轴线 s_1 、 s_2 、 s_3 的方向由下面的 (式 8) 给出。另外, (式 8) 中的 s_1 、 s_2 、 s_3 是表示旋转轴线的方向的单位矢量。

[0128] [式 8]

$$[0129] \quad s_1 = R(\alpha, \beta) [1, 0, 0]^T$$

$$[0130] \quad s_2 = R(\pi, \beta) [1, 0, 0]^T$$

$$[0131] \quad s_3 = R(-\alpha, \beta) [1, 0, 0]^T$$

$$[0132] \quad R(\alpha, \beta) = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{bmatrix}$$

[0133] $R(\alpha, \beta)$ 是表示绕横摆轴 (Z 轴) 的角度 α 的旋转转换和绕俯仰轴 (Y 轴) 的角度 β 的旋转转换的积的函数。旋转转换的函数是公知的。

[0134] 如果将各个飞轮产生的反力转矩设为 T_1 、 T_2 、 T_3 , 这些反力转矩的合成反力转矩 T_d 表示为 $T_d = T_1 \cdot s_1 + T_2 \cdot s_2 + T_3 \cdot s_3$ 。其中, s_1 、 s_2 、 s_3 是上述的单位矢量。发明者们调查了方位角 α 、仰角 β 以及绕各轴产生的反力转矩的关系。将合成反力转矩 T_d 分解为绕侧倾轴的分力转矩 T_x 、绕俯仰轴的分力转矩 T_y 、以及绕横摆轴的分力转矩 T_z 进行了调查。其结果是, 得到了以下的认知。

[0135] 当绕俯仰轴的转矩 T_y 最大时, 转矩 T_x 和 T_z 为零, 而不依赖于方位角 α 和仰角 β 。当绕横摆轴的转矩 T_z 最大时, 转矩 T_y 为零, 而不依赖于方位角 α 和仰角 β 。此时, 转矩 T_x 依赖于方位角 α 。当方位角 $\alpha = 60$ 度时, T_x 近似为零。当绕侧倾轴的转矩 T_x 最大时, 转矩 T_y 为零, 而不依赖于方位角 α 和仰角 β 。此时, 转矩 T_z 依赖于方位角 α 和仰角 β 。当仰角 $\beta = 0$ 度时, T_z 近似为零。如果仰角 β 增加, 则转矩 T_x 、 T_y 减小, 而转矩 T_z 增大。

[0136] 由上述的调查可知, 通过采用方位角 $\alpha = 60$ 度的方位角并使仰角 β 可变, 能够绕任意的轴产生反力转矩。另外, 图 8 和图 9 所示的平衡装置 200 采用方位角 $\alpha = 60$ 度的方位角。

[0137] (第三实施例): 图 10 中示出了第三实施例的平衡装置 300。平衡装置 300 是第二实施例的平衡装置 200 的变形例。在图 10 的平衡装置 300 中, 一个飞轮 20b 被配置在束腰 12 的后方 (使用者的后方), 剩余的两个飞轮 20a、20c 以方位角 $\alpha = 120$ 度配置。图 10 的平衡装置 300 也通过使仰角 β 可变, 能够绕任意的轴产生反力转矩。

[0138] 平衡装置 200、300 控制各飞轮的旋转速度, 使得三个飞轮 20a、20b、20c 所产生的反力转矩的合成转矩发挥与第一实施例的一个飞轮 20 相同的功能。即, 在该平衡装置 200 作为平衡辅助装置使用的情况下, 平衡装置 200、300 在预定的条件下控制各飞轮的旋转速度, 使得合成转矩大于等于反力阈值并且作用于向基准方向恢复倾斜角的方向上。在其他的条件下, 平衡装置 200、300 控制各飞轮的旋转速度, 使得合成转矩小于等于阈值。具体的控制规则 (改变旋转速度的条件) 可以与第一实施例的情况相同。在该平衡装置 200、300

作为平衡训练装置使用的情况下,也是与第一实施例中所示的平衡训练装置的情况相同。

[0139] 对实施例的平衡装置所具有的其他的特征进行列举。

[0140] (1) 俯视时,三个飞轮以大致 120 度间隔配置在躯体的周围。

[0141] (2) 三个飞轮被配置为在平衡装置被安装在使用者上时三个飞轮的旋转轴线在使用者的躯体内部的大致一点上相交。

[0142] (3) 躯体倾斜时的倾斜角速度越大,控制器就越增大飞轮的旋转角速度。

[0143] 关于上面说明的平衡装置的注意点在下面进行叙述。示出发明者们试验制作的平衡装置的规格。飞轮 20 的直径约 30cm,飞轮 20 的质量约 1.5kg。马达 14 使用了无刷马达。马达的输出为 60W,马达的最大输出转矩为 9Nm。最大转速为 2000rpm。齿轮比为 3:2。使用这样的平衡装置进行试验的结果是,证实具有恢复使用者的倾斜角的效果。

[0144] 在第一实施例的平衡装置 10 中,飞轮被配置为使得轴线朝向侧倾轴方向。平衡装置也可以配置飞轮使得轴线朝向俯仰轴方向。在这种情况下,能够对绕躯体的俯仰轴的倾斜角提供平衡辅助。或者,这样的平衡装置能够提供绕俯仰轴的平衡训练。

[0145] 平衡装置也可以在俯仰轴和侧倾轴所形成的平面内具有两个飞轮,这两个飞轮的相互的旋转轴线交叉。如此配置的两个飞轮能够在俯仰轴和侧倾轴所形成的平面内产生绕任意方向的直线的反力转矩。即,具有这样的两个飞轮的平衡装置能够对绕俯仰轴和绕侧倾轴的倾斜角进行辅助,或者能够提供训练。

[0146] 可使用测量腿的各关节的角度的角度传感器和接地传感器代替倾斜角传感器,这是因为根据接地的腿的各关节的角度能够计算出躯体的倾斜角。

[0147] 反力阈值 T_{min} 被设定为小值使得反力转矩对使用者不产生影响即可。反力阈值 T_{min} 优选地实质上为零。控制器 16 优选地控制飞轮 20 的旋转速度,使得在满足反力转矩小于等于反力阈值 T_{min} (实质上可视为零的小值) 的条件时同时停止飞轮 20 的旋转速度。

[0148] 实施例的平衡装置检测飞轮的旋转速度,并且为了得到期望的反力转矩构成反馈旋转速度的反馈控制(例如,参照图 2)。也可以通过电流控制控制马达以输出期望的转矩。本说明书所公开的平衡装置优选地被构成为在不采用旋转速度反馈的情况下通过电流反馈控制得到期望的反力转矩。另外,由于飞轮的角加速度和输出转矩与向马达供应的电流为成比例的关系,因此,需要注意的是,从输出期望的反力转矩的观点出发,电流反馈控制与旋转速度反馈等价。

[0149] 另外,需要注意的是,旋转速度反馈存在以下的缺点。旋转速度反馈能够进行将飞轮的旋转速度维持在零的控制。旋转速度反馈能够进行将飞轮的旋转速度抑制在最大允许旋转速度以下的控制。

[0150] 以上,对本发明的具体例详细地进行了说明,但这些具体例仅是例示,而并不用于限定权利要求的范围。权利要求的范围内记载的技术中包括以上例示的具体例的各种变形和变更。

[0151] 本说明书或附图所说明的技术要素单独地或者通过各种的组合发挥技术的有用性,但不限于申请时权利要求书记载的组合。另外,本说明书或附图所例示的技术可同时实现多个目的,实现所述多个目的中的一个目的本身具有技术有用性。

[0152] 符号说明

[0153] 10:平衡装置

- [0154] 12 :束腰
- [0155] 14 :马达
- [0156] 16 :控制器
- [0157] 18 :倾斜角传感器
- [0158] 20 :飞轮
- [0159] 200、300 :平衡装置

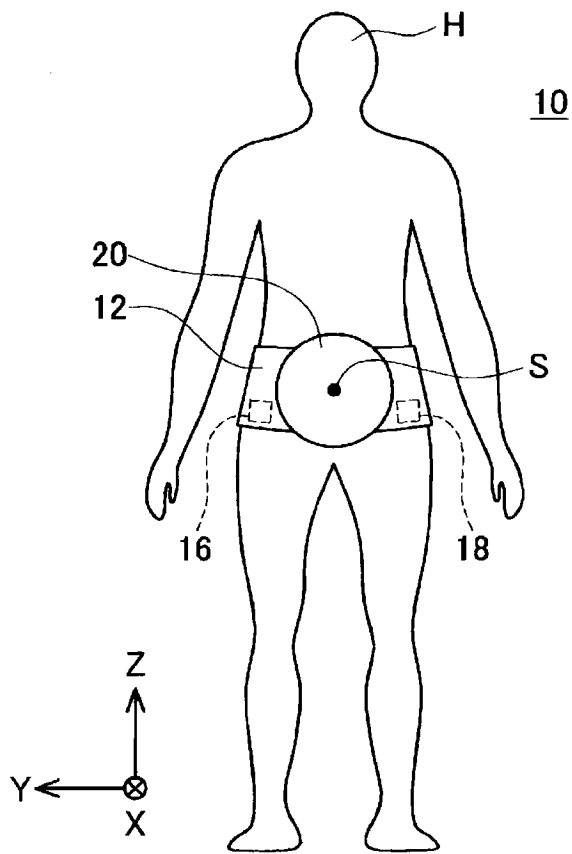


图 1A

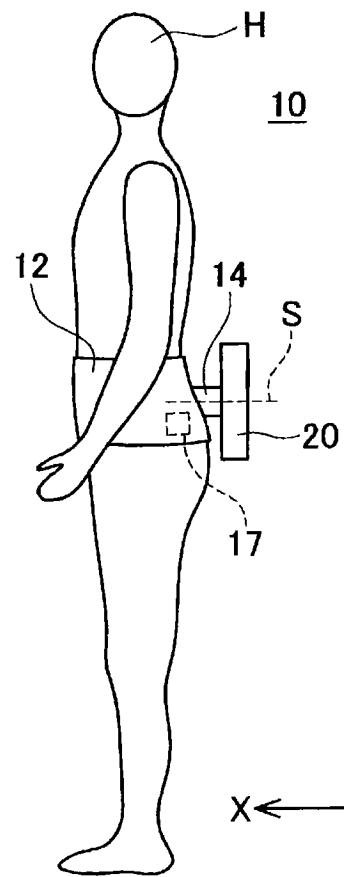


图 1B

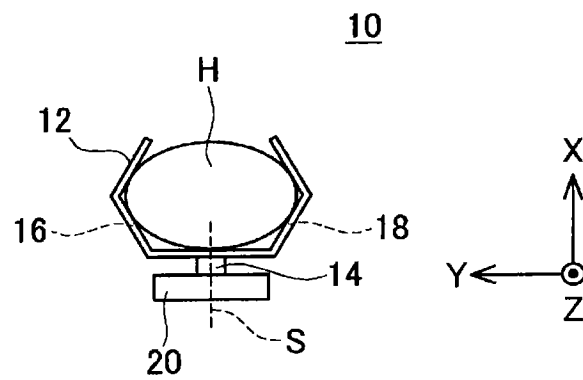


图 1C

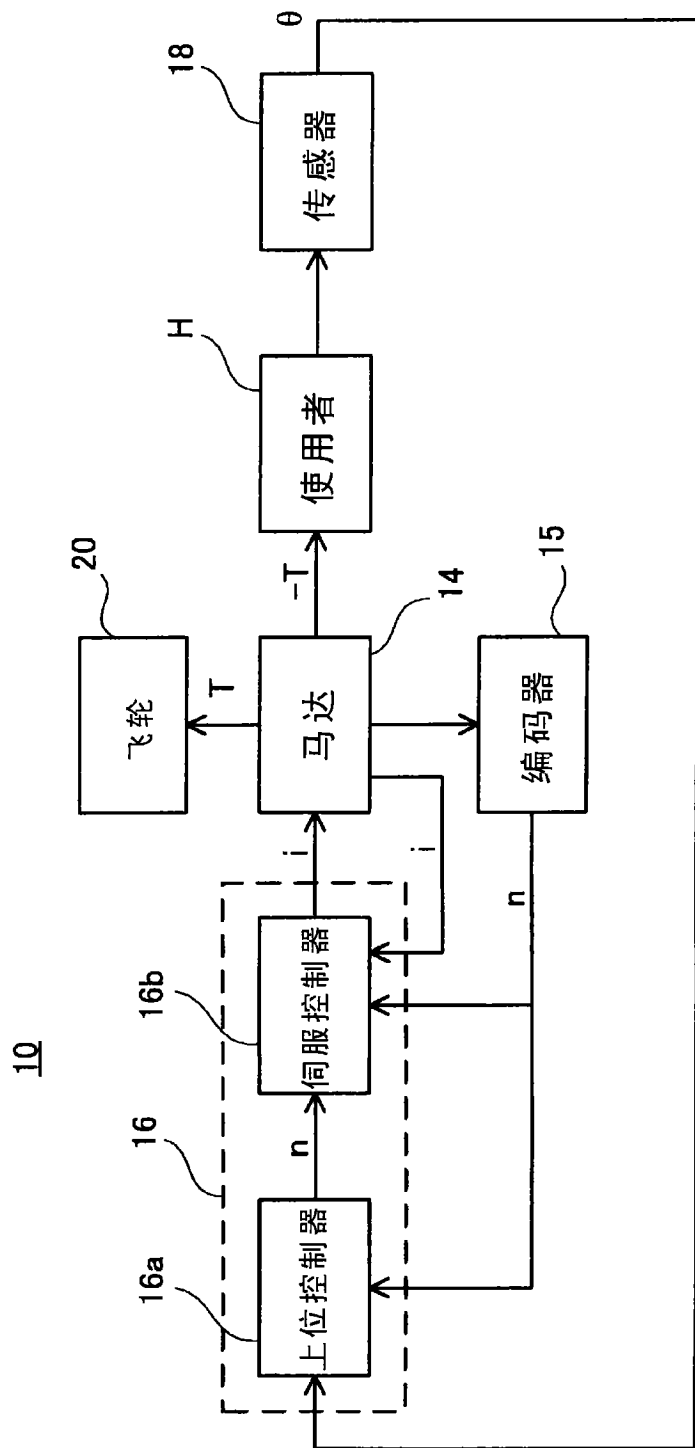


图 2

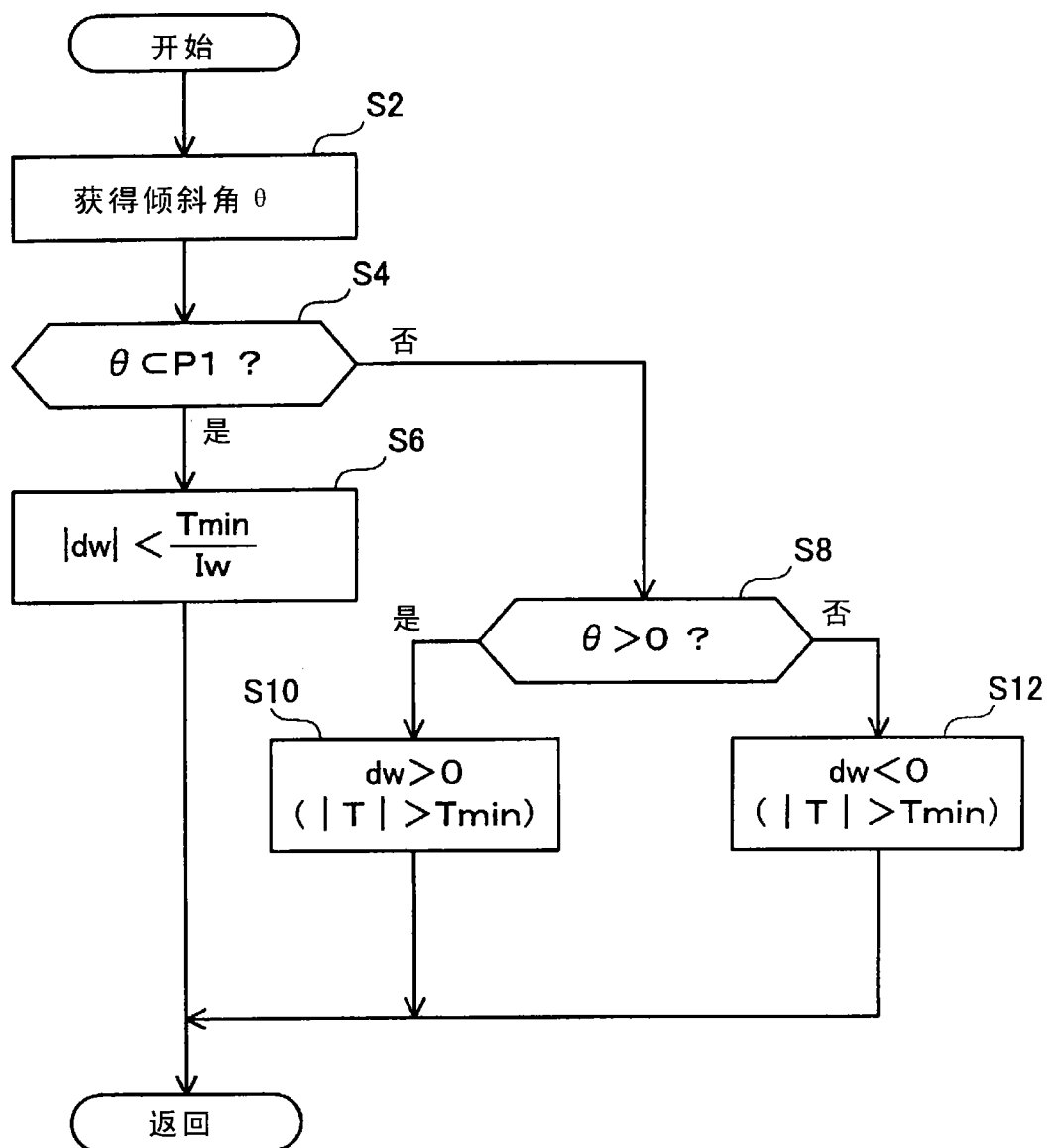


图 5

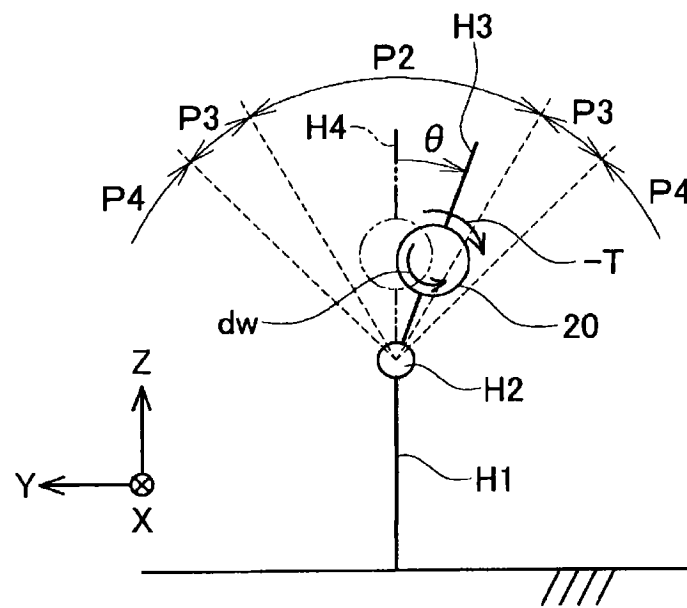


图 6

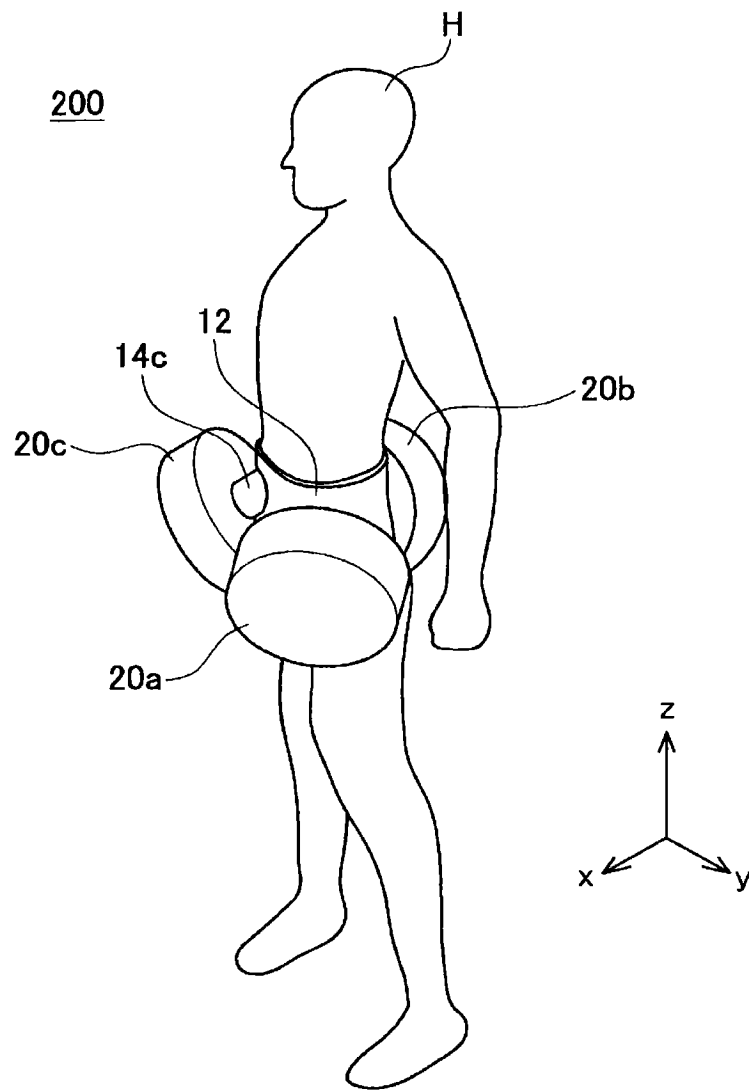


图 7

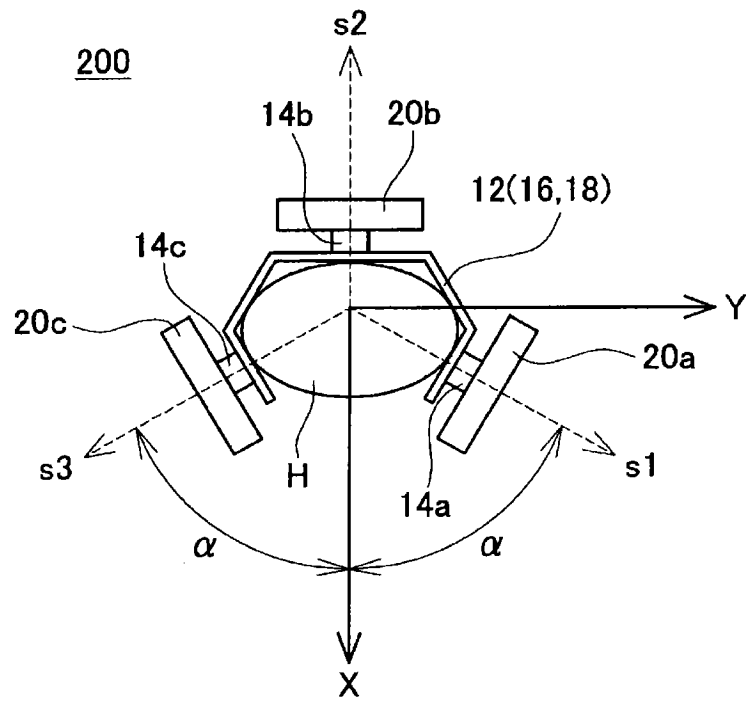


图 8

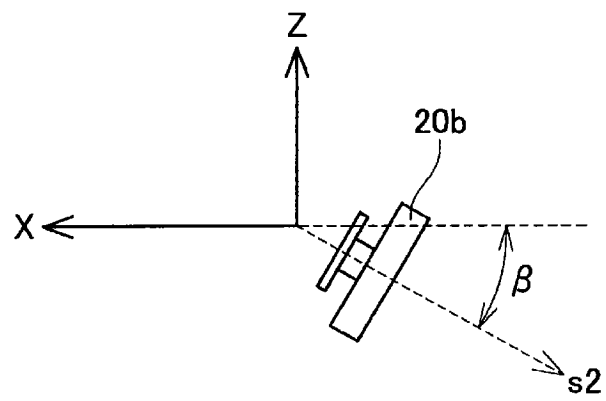


图 9

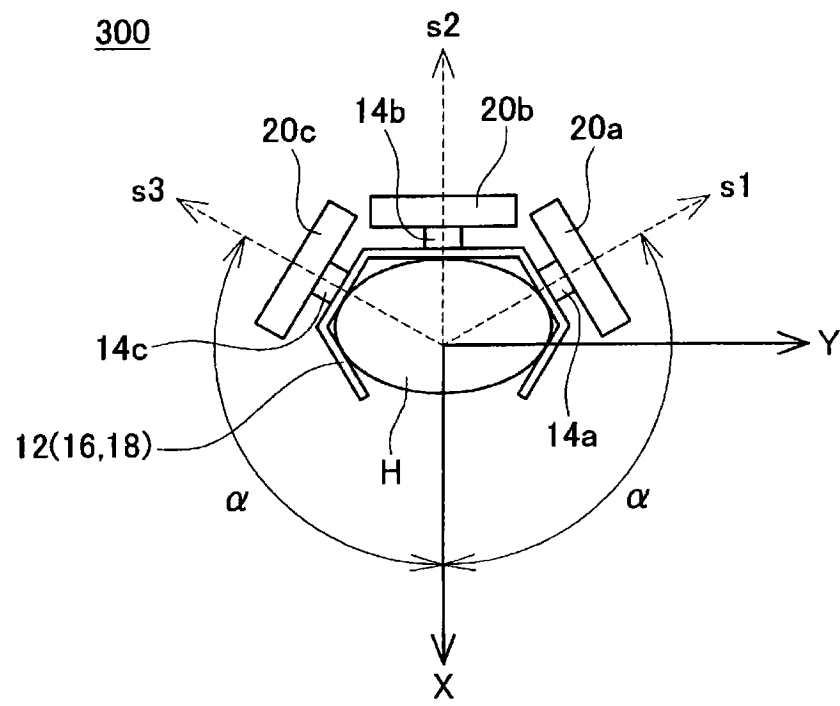


图 10