



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113423631 A

(43) 申请公布日 2021.09.21

(21) 申请号 202080014885.4

(22) 申请日 2020.01.20

(30) 优先权数据

19157793.1 2019.02.18 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.08.17

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2020/051249 2020.01.20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02020/169285 EN 2020.08.27

(71) 申请人 马克思-普朗克科学促进协会

地址 德国慕尼黑

(72) 发明人 亚历山大·斯普罗维茨

阿尔博兹·阿加马尔基·萨费斯塔
尼

(74) 专利代理机构 广州华进联合专利商标代理
有限公司 44224

代理人 易皎鹤

(51) Int.Cl.

B62D 57/032 (2006.01)

B25J 9/00 (2006.01)

B25J 9/10 (2006.01)

B25J 17/00 (2006.01)

B25J 13/08 (2006.01)

权利要求书2页 说明书11页 附图13页

(54) 发明名称

机器人腿和机器人系统

(57) 摘要

本发明涉及一种机器人腿,包括至少两个关节,各个关节将两个段彼此连接,其中各个关节包括凸轮,机器人腿还包括至少一个致动器和互连各个凸轮的总腱。

1. 一种机器人腿,包括至少两个关节(j),各个关节(j)将两个段(s)彼此连接,其中各个关节(j)包括凸轮(c),所述机器人腿(10)还包括至少一个致动器(20)和互连各个凸轮(c)的总腱(18),

其中,至少一个凸轮(c)、优选地最终的凸轮(c)的尺寸被设计成使得其半径(r)小于预定义阈值,其中所述预定义阈值是用于所述机器人腿(10)的负荷的平衡阈值,优选地其中,所述平衡阈值被定义为 $F_c * r_c \propto F * d$ 、优选地被定义为 $F_c * r_c = F * d$,其中,F定义作用在所述机器人腿(10)上的总力,d定义所述虚拟腿(V)的长度, F_c 定义作用在相应的凸轮(c)上的力,并且 r_c 定义所述相应的凸轮(c)的半径。

2. 根据权利要求1所述的机器人腿,其特征在于,所述凸轮(c)中的至少一些且优选地全部是线性凸轮。

3. 根据权利要求2所述的机器人腿,其特征在于,线性凸轮(c)是具有旋转中心和恒定半径(r)的凸轮。

4. 根据前述权利要求中至少一项所述的机器人腿,其特征在于,所述凸轮(c)中的至少一些且优选地全部使得邻接各个关节(j)的所述两个段(s)能够相对于彼此运动,优选地使得在邻接各个关节(j)的所述两个段(s)之间能够枢转运动。

5. 根据前述权利要求中至少一项所述的机器人腿,其特征在于,所述总腱(18)能够由两个或更多个部分腱形成,其中,两个直接相邻的部分腱(18)分别连接到所述凸轮(c)中的同一个凸轮。

6. 根据权利要求5所述的机器人腿,其特征在于,各个部分腱(18)被配置成在各个凸轮(c)处产生关节伸展扭矩,优选地,其中,所述关节伸展扭矩被配置成抵消施加在所述机器人腿(10)的总长度上的负荷。

7. 根据前述权利要求中至少一项所述的机器人腿,其特征在于,所述致动器(20)中的至少一个被配置成引起运动和力中的至少一个。

8. 根据前述权利要求中至少一项所述的机器人腿,其特征在于,提供至少两个致动器(20):包括弹簧(22)的第一致动器(20)和包括马达(28)的第二致动器(20)。

9. 根据前述权利要求中至少一项所述的机器人腿,其特征在于,所述致动器(20)中的至少一个是弹簧(22),特别是线性弹簧、非线性弹簧、拉伸弹簧、空气弹簧、金属弹簧、螺旋弹簧、片簧和柔性机构中的一个,和/或其中,所述致动器(20)中的至少一个是马达(28),特别是马达与齿轮箱的组合、线性马达、非线性马达、电动马达,优选地有刷DC致动器、流体致动器,例如气动致动器、步进马达、电磁马达、液压马达、磁马达、机械马达或生物肌肉形式的马达、无刷马达、基于形状记忆合金致动的马达、静电致动器和软致动器中的一个。

10. 根据前述权利要求中至少一项所述的机器人腿,其特征在于,提供两个至八个关节(j),其中,所述关节(j)优选串联布置。

11. 根据前述权利要求中至少一项所述的机器人腿,其特征在于,如果提供三个或更多个关节(j),则提供另外的致动器(34),所述另外的致动器(34)与将两个直接相邻的关节(j)互连的所述段(s)相邻地布置在所述两个直接相邻的关节(j)之间,优选地其中,所述另外的致动器(34)被配置成存储由作用在所述直接相邻的关节(j)上的扭矩使得可用的能量,并且引起在所述直接相邻的关节(j)之间的位移。

12. 根据前述权利要求中至少一项所述的机器人腿,其特征在于,还包括另外的腱(36)、

38、30), 所述另外的腱 (36、38、30) 将所述最终的凸轮 (c) 与最后一段 (s) 互连, 并且所述最终的凸轮 (c) 具有在所述一系列凸轮 (c) 的所述预定义阈值处的半径 (r)。

13. 根据前述权利要求中至少一项所述的机器人腿, 其特征在于, 还包括控制和评估单元 (42) 以及可选地至少一个传感器 (44), 其中所述控制和评估单元 (42) 被配置成可选地根据利用所述至少一个传感器 (44) 测量的参数来控制致动所述致动器 (20) 中的至少一个, 其中, 所述传感器优选地是接近传感器, 特别是感测接触距离或质心高度的传感器、扭矩传感器、位移传感器, 特别是线性或角位移传感器、或速度传感器。

14. 一种机器人系统, 具有至少两个根据前述权利要求中至少一项所述的机器人腿 (10)、控制和评估单元 (42), 其中, 所述控制和评估单元 (42) 被配置成以如下这种方式使所述机器人腿 (10) 同步: 引起所述机器人腿 (10) 的共同运动。

机器人腿和机器人系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种机器人腿。本发明还涉及一种包括至少两个机器人腿的机器人系统。

背景技术

[0002] 机器人腿是能够执行类似人或动物腿的功能的机械腿。它通常被编程成执行这些类似的功能,并且根据设计,可以被电气地和/或机械地控制。

[0003] 多年来,研究人员一直在研究,以理解动物和人的动态腿式运动的基本机制。动物的运动可能是形态学与神经控制之间巧妙耦合的结果,这导致敏捷、高效且优美的动物运动。

[0004] 在工程学中,研究人员试图在机器人设计中模仿这种耦合。尤其是双足运动被认为是与例如四足运动(quadrupedalism)相比的腿式运动的相对复杂的形式。在四足运动中,沉重的水平躯干和第二对腿可以完全简化静态稳定性。现有技术四足机器人的示例可以在CN 104139 811A中找到。

[0005] 迄今为止,还没有人成功地设计出一种机器人腿,该机器人腿可以相当好地、尤其是以合理的能量效率和计算成本来实际模仿人或动物腿的真实运动。

发明内容

[0006] 鉴于上述内容,本发明的目的是提供一种机器人腿,与现有技术相比,该机器人腿可以以更高的能量效率和更低的计算成本来模仿人或动物腿的运动。本发明的另外目的是提供一种机器人系统,该机器人系统能够控制两个或更多个这样的机器人腿。

[0007] 该目的通过具有独立权利要求1的特征的机器人腿来实现。根据本发明,机器人腿包括至少两个关节,各个关节将两个段彼此连接,各个关节包括凸轮。机器人腿还包括至少一个致动器和互连各个凸轮的总腱。

[0008] 因此,总腱跨越所有现有的关节,并且被设计成与致动器一起捕获张力。此外,致动器和腱的组合可以被设计成捕获虚拟腿长度中的力,其中,虚拟腿基本上描述了机器人腿中存在的第一段与最后段之间的最短距离。更详细地,虚拟腿定义机器人腿的髌部与压力中心之间的虚拟连接。致动器-腱组合还可以将第一关节中的髌部扭矩传递到地面中,或者将来自第二或最后一个关节(如果多于两个关节存在,即趾关节)的扭矩传递到机器人腿中。

[0009] 腿段和总腱的组合可以承载负荷,即,可以被安装得比第一关节(髌部)更高的任意物体、或者可以将第一关节向下拉向地板的任意物体,例如悬挂负荷。

[0010] 致动器和腱以及腿段的组合可以产生整体柔性腿,该腿在体重负荷下以腿缩短做出反应。因此,在运动期间,腿可以在腿长方向上偏转,这允许躯干负荷根据腿运动的身体动态在竖直方向上被动地振荡。而且,致动器和腱以及腿段的组合还可以在体重负荷下随着腿缩短而引起腿的伸展。

[0011] 致动器-腱的力可由凸轮重定向,这抵消了负荷对腿的影响。凸轮是机械连杆,其能够转化运动(例如将旋转运动转换成线性运动)或引起类似于枢转的运动。在机器人腿中,凸轮可用于将关节的运动重定向成总腱的运动,更具体地,凸轮可将旋转关节运动转化成线性腱位移。因此,凸轮例如可以用于将腱力重定向成关节扭矩,反之亦然。通过将各个关节连接到总腱,可以使附接到各个关节的段的运动同步,这导致与现有技术相比以更高能量效率和更低计算成本更真实的模仿人或动物腿的运动。这导致的优点是,致动器可以更简单地形成,即具有减小的扭矩且具有较低的速度要求。

[0012] 根据本发明的实施例,凸轮中的至少一些且优选地全部是线性凸轮。线性凸轮可以是以线性行为行动的凸轮。因此,词语“线性”不一定必须涉及相应凸轮的几何形状。

[0013] 在本发明的另外实施例中,线性凸轮是具有旋转中心和恒定半径的凸轮。因此,线性凸轮可以设计成围绕其旋转中心旋转的圆或圆形成段。

[0014] 根据本发明的另一实施例,优选的是,凸轮中的至少一些且优选地全部使得邻接各个关节的两个段能够相对于彼此运动,优选地使得在邻接各个关节的两个段之间能够枢转运动。如前面已经提及的,凸轮通常可用于将旋转运动转换成线性运动,反之亦然。由于总腱连接所有存在的凸轮以及因此它们相应的关节,所以一个关节的运动也可以导致所有其它关节的运动。因此,由于每两个相邻的段通过一个公共的关节连接,所以当所述关节运动时,这些段开始围绕它们各自的关节运动,并且优选地枢转。同时,总腱可以与凸轮一起运动,或者可以在凸轮的(圆形)表面上滑动,以便产生更柔性的机器人腿。

[0015] 致动器因此可以用作一种用于机器人腿或用于其所附接的关节(和段)的驱动器。然后,由致动器引起的运动可以由总腱传递到可能存在的任意其它段,由此使它们围绕它们各自的凸轮运动,优选地枢转。

[0016] 在本发明的另一实施例中,总腱可由两个或更多个部分腱形成,其中,两个直接相邻的部分腱分别连接到凸轮中的同一个凸轮。出于实际原因,有时可能优选由若干部分形成总腱。由于两个相邻的部分腱附接到公共的凸轮,所以一部分腱的运动可以容易地经由公共的凸轮传递到另一个部分腱。因此,它们可以像一个部分总腱一样一起运动。

[0017] 根据本发明的另一实施例,优选的是,各个部分腱被配置成在各个凸轮处产生关节伸展扭矩。换言之,各个部分腱可以在各个相应的凸轮处产生扭矩,该扭矩可以使附接到相应关节的两个段相对于彼此变直。就像例如人腿,其可通过其膝盖的运动而变直。

[0018] 根据本发明的另外实施例,所述关节伸展扭矩被配置成抵消施加在机器人腿的总长度上的负荷。例如,当机器人腿应该用于运动时,当腿运动以进行迈步时,总是存在某种负荷。负荷可以源自某种躯干、马达或者甚至源自腿本身的重量。因此,为了伸展腿,关节伸展扭矩必须抵消源自该重量的负荷。

[0019] 根据本发明,至少一个凸轮、优选地为最终凸轮的尺寸被设计成使得其半径小于预定义阈值,其中所述预定义阈值是用于机器人腿的负荷的平衡阈值。最终凸轮不一定是机器人腿的最远端的凸轮,而可以是最后一个凸轮,该最后一个凸轮将平放在地面上的一个腿段与在腿运动的特定点时(尤其是在机器人腿的站立阶段期间)仍参与腿运动的一个段连接。因此,最终凸轮限定了最后一个凸轮,该最后一个凸轮将仍然参与腿运动的腿段与已经平放在地面上的腿段连接。在腿运动的不同时间,也可以有多于一个的凸轮,其可以被定义为“最终凸轮”。

[0020] 通过具有若干这种尺寸不足的凸轮,可以模仿脚中跖骨的功能。在腿的站立阶段期间,跖骨产生稳定运动。通过使凸轮的尺寸不足,它们将产生不足以使腿直立的扭矩。相反,与它们连接的平衡关节相比,它们蹲下得更快,这通常使它们接触地板,并允许连接到其的至少一些段也相对于地板对齐,从而为机器人腿提供期望的稳定性。这种情况改变了它们的功能,并且它们成为平坦地板的一部分。

[0021] 在机器人腿中,所述最终凸轮的尺寸可以被设计成使得其半径小于其预定义阈值,从而使得相应的关节在腿运动的特定点(角度)处收缩,以便使腱自脱离接合并启动机器人腿的弯曲机构。这已经证明是优于使用马达来使关节脱离接合并开始摆动阶段的公知机器人腿的巨大优点,因为这种方法是能量和功率成本高的。

[0022] 根据本发明,平衡阈值被定义为 $F_c * r_c \propto F * d$ 、优选地被定义为 $F_c * r_c = F * d$,其中, F 定义作用在机器人腿上的总力, d 定义从凸轮到虚拟腿的距离, F_c 定义作用在相应凸轮上的(腱)力,并且 r_c 定义相应凸轮的半径。在平衡状态下,方程必须成立,这意味着必须适当地选择本凸轮的半径。 F 通常在虚拟腿长方向上作用。平衡阈值方程还可以被分成两个单独的方程,这两个单独的方程被定义为 $F_c * r_c = t_c$ 和 $F * d = t_c$,其中, t_c 是在相应的关节中引起的扭矩。在平衡关节中,该扭矩等于(负荷)力和到虚拟腿轴的关节距离的乘积,这然后导致回到以上定义的平衡阈值方程。

[0023] 鉴于上述内容,很明显,尺寸不足的凸轮因此可以等同于不平衡的关节,因此这种类型的关节不满足 $F_c * r_c \propto F * d$ 或 $F_c * r_c = F * d$,而是满足以下方程: $F_c * r_c \neq F * d$ 。

[0024] 在上述情况下,最终凸轮的半径可以有目的地选择成使得它小于保持平衡状态的半径。

[0025] 根据本发明的另一实施例,优选的是,至少一个致动器被配置成引起运动和力中的至少一个。例如不同种类的马达的主动致动器通常被配置成引起机器人腿的运动或引起机器人腿的至少一个关节的运动。然后,经由总腱的连接也可以使腿的其余部分运动。

[0026] 例如弹簧的其它致动器可以被认为是被动致动器,该被动致动器可以将例如弹簧力的力引起到机器人腿上。这种力最终也会导致机器人腿的运动。而且,这种致动器可以构造成存储由腿部运动本身产生的能量。

[0027] 优选的是提供至少两个致动器:包括弹簧的第一致动器和包括马达的第二致动器。因此,机器人腿可以包括主动致动器和被动致动器两者,以便在机器人腿处引起运动以及力。此外,各个致动器还可以包括齿轮箱。

[0028] 根据本发明的实施例,优选的是,致动器中的至少一个是弹簧,特别是线性弹簧、非线性弹簧、拉伸弹簧、空气弹簧、金属弹簧、螺旋弹簧、片簧和柔性机构中的一个,和/或其中,致动器中的至少一个是马达,特别是马达与齿轮箱的组合、线性马达、非线性马达、电动马达(优选地有刷RC致动器)、流体致动器(例如气动致动器)和步进马达中的一个。弹簧以及马达可以根据需要选择。马达还可以选择为电磁马达、液压马达、磁马达、机械马达或生物肌肉形式的马达。其它示例可以是无刷马达、基于形状记忆合金致动的马达、静电致动器或软致动器。还可以想到,致动器可以由人的肌肉来实现。

[0029] 在机器人腿中存在多于一个致动器的情况下,可以选择各个致动器的类型,即,致动器是否全部是相同的种类或者它们是否彼此不同。

[0030] 在本发明的实施例中,提供了两个到八个关节,其中,所述关节优选地串联布置。

也可以将一些关节彼此平行地布置,以便通过提供第二平行段来增强例如一些段的强度,或者以便为特殊段提供额外的致动器。在平行段的情况下,这允许例如所得到的腿承受施加在髋关节处的扭矩。在机器人腿的实际设计中没有限制。

[0031] 另一方面,串联的关节布置可以提供一种腿,该腿可以经由一个总腱通过简单地运动腱的一端或向腱的一端施加力运动通过其整个长度,该力引起沿着机器人腿的整个长度的运动,以引起腿长度的减小或腿长度从减小的腿长度的伸展。由于腱将所有关节连接在一起,所以串联布置导致将运动从一个关节传递到排队的下一个关节。

[0032] 根据本发明的另一实施例,优选的是,如果提供三个或更多个关节,则提供另外的致动器,该致动器与将两个直接相邻的关节互连的段相邻地布置在所述两个直接相邻的关节之间。如前面已经提及的,可以提供附加的致动器。致动器可以是例如弹簧的被动致动器、或者例如马达的主动致动器。致动器的实际设计可以根据需要进行选择。例如,当为附加致动器选择弹簧时,致动器可以吸收源自可能存在的躯干的运动或扭矩的扭矩,该躯干在运动期间明显地移动。

[0033] 在本发明的另外实施例中,另外致动器被配置成存储由作用在所述直接相邻的关节上的扭矩使得可用的能量,并在所述直接相邻的关节之间引起位移。在现实生活应用中,通常给出躯干,该躯干连接到根据本发明的机器人腿。躯干例如可以包括某种身体,例如人或动物的上身,或者也可以包括马达或任意类似物,以为机器人腿提供能量。当腿行走或奔跑时,所有上述情况在机器人腿的至少一个关节上产生某种扭矩。因此,另外致动器被配置成存储由所述扭矩使得可用的该能量,以便在机器人腿的另外运动序列中使用该能量。因此,可以减少从外部供应到腿的能量。而且,扰动可以被减轻成弹簧偏转。

[0034] 根据本发明的另一实施例,优选的是,机器人腿还包括另外腱,该另外腱将最终凸轮与最后一段互连,并且最终凸轮具有在一系列凸轮的预定义阈值处的半径。最终凸轮可以被理解为凸轮,该凸轮在腿的摆动与站立阶段之间必须将脚与地面对齐,以使脚在从腿的摆动阶段到站立阶段的过渡期间适当地接触地面,或者最终凸轮可以被理解为在腿的站立阶段期间被推向突弹跳变角的凸轮。当所述凸轮的相应相邻段被定向成对齐时,达到所述突弹跳变角。一旦达到并越过该突弹跳变角,另外腱就被卸载,且腿收缩,即,达到站立与摆动阶段之间的过渡点。

[0035] 无论哪种方式,至少一个最终凸轮可以具有小于所述凸轮的上述平衡半径的半径,以便确保上述收缩机制中的至少一个在所述凸轮中发生。取决于分析机器人腿的运动的哪个阶段,还可以将多于一个凸轮定义为具有对应半径的“最终的凸轮”。在运动期间的不同时间,不同的凸轮可以被定义为“最终的凸轮”。

[0036] 在站立阶段期间,最终的凸轮需要收缩,以便卸载另外的腱并将腿移出其平衡状态,并允许腿引入其摆动阶段而不需要来自马达等的大量能量,马达等将必须主动地移动相应的段。

[0037] 在腿的摆动阶段期间,另外的腱也可以确保所述(可能是其它)最终的凸轮将“趾部”(即,最后一段)与地面(水平地)对齐,以便使腿准备好接触地面并且开始其站立阶段。另外的腱不一定必须是一个单一的腱,而是也可以由多个另外的腱组装而成。最终凸轮也不一定必须是排队的最后一个凸轮。也可以的是多于一个的凸轮必须将其段一个接一个地对齐地面。

[0038] 根据机器人腿的另外设计,机器人腿还包括控制和评估单元以及可选地至少一个传感器,其中控制和评估单元被配置成可选地根据利用所述至少一个传感器测量的参数来控制致动所述致动器中的至少一个。这样,机器人腿的运动可以以预定的方式被控制,并且可选地还由于使用传感器检测的参数而被调节。传感器可以是力传感器、压力传感器、加速度传感器、陀螺传感器、接近传感器(特别是感测接触距离或质心高度的传感器)、扭矩传感器、位移传感器(特别是线性或角位移传感器)或速度传感器。

[0039] 本发明还涉及一种机器人系统,其具有至少两个根据本发明的机器人腿、控制和评估单元,其中,控制和评估单元被配置成使机器人腿以如下这种方式同步:引起机器人腿的共同运动。当存在两个或更多个机器人腿时,需要控制和评估单元,控制和评估单元以如下这种方式使腿同步:它们一起工作,以便使得能够进行公共的例如双足的运动。

附图说明

[0040] 在以下附图描述中描述了本发明的另外实施例。下面将借助于实施例并参考附图详细解释本发明,附图中示出了:

[0041] 图1a是机器人腿的示例;

[0042] 图1b是图1的凸轮的半径如何随着段的长度而变化的示例;

[0043] 图2a和图2b是在运动期间的不同时间的另外机器人腿的示例;

[0044] 图3a和图3b是另外机器人腿的示例;

[0045] 图4是在摆动阶段和站立阶段期间的不同时间的另外机器人腿的示例;

[0046] 图5是在摆动阶段和站立阶段期间的不同时间的另外机器人腿的示例;

[0047] 图6是机器人腿的示例性实施例的侧视图;

[0048] 图7是指示总腱的图6的机器人腿的剖视图;

[0049] 图8是具有两个机器人腿的机器人系统的示例性实施例的透视图;

[0050] 图9是图8的机器人系统的正视图;

[0051] 图10是图8的机器人系统的顶视图;

[0052] 图11是机器人腿的示例性应用;

[0053] 图12a是具有四个机器人腿的机器人系统的示例性实施例的不同视图;

[0054] 图12b是具有四个机器人腿的机器人系统的另外示例性实施例的不同视图;以及

[0055] 图13是更多段腿结构的不同示例。

具体实施方式

[0056] 在下文中,相同的附图标记将用于具有相同或等同功能的零件。关于部件方向做出的任意陈述是相对于附图所示的位置做出的,自然可以在实际应用位置上变化。

[0057] 图1示出了机器人腿10的最基本模型。机器人腿10包括两个关节 j_0 、 j_1 ,各个关节分别包括一个凸轮 c_0 和 c_1 。关节 j_0 描述机器人腿10的“髋部”。关节 j_0 通常连接到未例示的另外段,但该段例如可以是躯干24(例如参见图12)。

[0058] 另外关节 j_1 可运动地连接两个段 s_1 、 s_2 ,这两个段经由凸轮 c_1 在公共关节 j_1 处直接联接。此外,机器人腿10包括经由凸轮 c_1 将两个段 s_1 、 s_2 彼此连接的总腱18、以及布置在第一段 s_1 附近且包括弹簧22的一个致动器20。弹簧22设计成使得其可向总腱18施加力 F_s ,以便伸

展或变直机器人腿10。躯干负荷24被添加到机器人腿10,以便模仿例如正常体重。躯干负荷24还包括第二致动器20的重量,该第二致动器包括引起机器人腿10运动的马达28。躯干负荷24与弹簧22相反地推动并因此使机器人腿10屈曲。

[0059] 在这一点上,应注意的是,髌关节 j_0 可被设计成零尺寸凸轮,即髌关节不必包括与腿的其它关节相同的特征,腿的其它关节然后主动参与机器人腿10的运动。为了机械简单,弹簧22可被附接在躯干24处,使得髌关节中的合成扭矩最小,这通常意味着其对总扭矩的影响小于5%。

[0060] 图1a还示出了虚拟腿V的定义,虚拟腿基本上是机器人腿10的最高点(即髌部 j_0)与接触地面的机器人腿10的最低点(即趾部)之间的最短距离,最低点通常也是压力中心26。当机器人腿10中存在多于两个段时,压力中心26也可以位于沿机器人腿的最后一段的某处,因为在机器人腿10的站立阶段期间,所述最后一段可能平放在地面上。

[0061] 图1b示出了凸轮 c_1 的半径对其在机器人腿10中的位置的依赖性。图1b基本上示出的是,凸轮关节与虚拟腿之间的垂直距离越长,凸轮 c_1 的半径 r 必须越大,以便将腿保持在预定义的平衡状态,即,在站立阶段期间。对于可能包括在机器人腿10中的所有凸轮 c_i 的所有半径 r_i ,同样如此(也参见图2a和图2b)。

[0062] 如已经解释的,一个或多个凸轮 c_i 的半径 r_i 也可以故意地选择成小于预定义阈值,以便引入相应关节 j_i 的收缩,该收缩自动地引入机器人腿10的摆动阶段而不需要另外的外部电源,或者在腿的站立阶段期间固定腿,即保持重量,即,使趾部对齐,以便适当地接触地面。

[0063] 弹簧22-腱18的组合被设计成抵消虚拟腿V长度中的力。它还将从第一关节 j_1 中的马达28施加的髌扭矩或来自趾关节(即,最后一段)的扭矩传递到腿10中。

[0064] 弹簧22、腱18和腿段 s_i 的组合产生整体柔性腿,该腿在体重载荷24下以腿缩短做出反应。

[0065] 图2a和图2b还示出了机器人腿10在不同躯干负荷24下的行为。比较这两个图,可以容易地认识到,机器人腿10在不同躯干负荷24下在虚拟腿V的方向上像弹簧一样行动。因此,在运动期间,腿在腿长方向上偏转,从而允许躯干负荷24根据腿运动的身体动态在竖直方向上被动地振荡。

[0066] 在下文中,借助于图3至图7描述机器人腿10的示例性实施例及其不同部件在腿运动期间如何一起工作。所述实施例的不同部件的总体视图在图6和图7中示出。对于示例性机器人腿10的运动,参考图3至图5。

[0067] 图3a和图3b示出了机器人腿10的示例,该机器人腿包括分别具有五个凸轮 c_0 至 c_4 的五个关节 j_0 、 j_1 、 j_2 、 j_3 、 j_4 、总腱18和一个弹簧22。此外,机器人腿10可包括另外弹簧34,其平行于第二段 s_2 布置,并且可吸收源自躯干负荷24(特别参见图4)的扭矩。弹簧34通常也可以存储来自所述扭矩的能量,并将其用于腿10的进一步运动。

[0068] 机器人腿10被示出处于其站立阶段,其中其联接到最终凸轮 c_4 的最后一段 s_5 接触地面。在图3a中可以看出,在已经处于正常的躯干负荷24下,例如正常的体重下,最后一个关节 j_4 中的扭矩在最后一端 s_5 的端部处产生力。沿着虚拟腿V的力通过该最后一个关节 s_4 被引导到地面。因此,可以限定压力中心26(图3b),该压力中心可以经由弹簧22和总腱18的组合来操纵,该组合可以改变最后一个关节 j_4 中的扭矩。移位的压力中心26是在有关关节 j 中

具有面接触和扭矩的腿机构的腿式运动中的基本特征。

[0069] 图4中从左向右示出了示例性机器人腿10的摆动阶段。弹簧22被设计成在摆动阶段(参见左图和中图)期间是松弛的,并且在站立阶段(参见右图)中是自接合的和工作的。弹簧接合是自驱动的,通过一组脚和趾伸展腱18、30,作用在脚和趾关节 j_3 、 j_4 上。趾段 s_5 为承载负荷24的腱18提供力矩臂及其凸轮表面。

[0070] 图4的右侧示出了在腿10的站立阶段5,趾段 s_5 保持平坦地在地面上。这通过将其凸轮半径 r_4 设定成特定值来实现,该特定值小于预定义阈值。

[0071] 这意味着关节 j_4 的最终凸轮 c_4 是所谓的尺寸不足的凸轮,该凸轮以如下这种方式不满足 $F_c * r_c = F * d$,而是满足条件 $F_c * r_c \neq F * d$:与具有最终凸轮 c_4 的关节相关联的远端段 s_5 可以收缩并基本上与地板平行地对齐(参见图4左侧的附图),而与关节 j_4 相关联的其它段 s_4 由于总腱18引起的机器人腿10内存在的张力而相对于地板倾斜。

[0072] 松弛的总腱18和弹簧22允许使机器人腿10在摆动阶段期间屈曲,而不抵抗腿伸展弹簧工作。这是对早期机器人设计的显著改进,并且是这里公开的设计改变的主要原因之一。在松弛的腿10的情况下,小的且低功率的腿屈曲致动器20(参见图5至图7中的马达28)已经能够使腿10屈曲。这产生了摆动阶段(图4的左侧)所需的趾部间隙。

[0073] 虽然腿段 s_1 、 s_2 、 s_3 的大部分被折叠,但是足段 s_4 和趾段 s_5 被卷起。卷曲运动由总腱18传递,而弹簧22由腿10的重量稍微加载。脚关节 j_3 的卷起和伸展位置通常由机械关节限制部51、52(参见图7)限制,另一方面,趾段 s_5 的运动通常仅由其关节 j_4 的标准运动范围限制。

[0074] 在站立阶段结束时,快跑的自推进弹簧22-腱18的脱离接合可潜在地通过躯干动态来实现。然而,在行走和慢跑期间,躯干负荷24和腿负荷动态不一定同相。因此,躯干动态将不足以有助于腿脱离接合。

[0075] 替代性地,腿可以被迫屈曲。然而,通过屈肌腱32(参见图7)和马达28主动地屈曲加载的腿10已经显示出是困难的。当经由腱32施加力到凸轮 c_1 中时,腿关节 j_3 、 j_4 通过角度伸展对膝 j_1 屈曲做出反应。结果,腿停留在地面上。相反,所有联接的关节 j_i 都仅略微旋转。虽然可以通过大的力使加载的整体弹簧22-腱18脱离接合,但是这种朴素的腿屈曲方法是能量和功率成本高的。因为马达功率将力和速度耦合,所以所需的高力也限制脱离接合的速度并且潜在地延迟摆动阶段的开始。

[0076] 这就是为什么设计用于公共弹簧22-腱18的自脱离接合机构的原因。在该机构的核心处是附加的关节 j_3 和远端的脱离接合腱36。趾部 s_5 在地面上的站立的腿10将由髌马达28和髌关节 j_0 的角运动产生的髌关节 j_0 扭矩重定向成踝关节 j_4 的位移和扭矩。仅有的向远端作用的脱离接合腱36将该踝关节 j_4 的运动耦合到脚关节 j_3 的运动中,并使关节 j_3 收缩。注意,在所示实施例中, j_3 包括用于不同腱的两个不同凸轮半径,一个用于总腱18(通常为较大半径),一个用于脱离接合腱36(通常为较小半径)。这有效地将髌扭矩(马达28的扭矩或作用在推动髌部向前的系统上的力的扭矩)及其角运动的部分整合并转化成远端脚关节 j_3 和踝关节 j_4 的动力。脱离接合机构工作的要求是远端段 s_5 在地面上是平坦的。

[0077] 动力传递最终扣住脚关节 j_3 (参见图5),由远端脱离接合腱36迫使。腱长度和力可以由调节机构40调节。脱离接合点变成腿角度、调节的腱长度和腿负荷的函数。在公共弹簧22-腱18脱离接合之后,腿屈曲腱32现在可以在摆动阶段期间容易地将腿抬起。腿段 s_i 的折

叠通过总腱18和弹簧22来协调。

[0078] 在站立阶段期间在地面上保持平坦的趾段 s_5 是上述脱离接合机构工作和脱离接合机构的整体部分起作用的要求。

[0079] 在站立阶段期间,脚踝与地面形成多点接触(也参见图3)。在内部,关节通过围绕其凸轮 c_4 半径加载若干腱来承载扭矩。多点接触趾部允许在趾部 s_5 长度的范围内移位机器人的压力中心26。压力中心26位置则是腿负荷(在 j_0 与 j_4 之间)和关节 j_4 中的关节扭矩的函数(参见图3)。后者是(屈肌)腱力20(腱18和36的下部)和相应凸轮 c 的凸轮半径 r 的函数。

[0080] 下一部分公开了机器人腿10及其运动序列在运动期间的示例性实施例的功能。作为图6至图12所示的机器人腿10的现实生活应用的特殊特征,弹簧22远离机器人腿10的第一段 s_1 附接。这与弹簧22的功能无关,而是由空间的缺乏引起。理论上,弹簧22也可以放置成与一个段 s 相邻,就像在前面的图中示出的那样。

[0081] 作为弹簧22和总腱18的组合的整体弹簧-腱及其外围硬件被设计且尺寸设计成在虚拟腿V的长度方向上抵抗重力和动态负荷来伸展多段腿(图4)。增加了额外的元件以结合作用在腿系统上的扭矩的影响。该框架允许设计两段、三段和更多段的腿结构,所有腿结构都通过整体的弹簧-腱22、18沿腿长方向张紧。具有和不具有脱离接合机构的更多段腿结构的不同示例可在图13中找到,这些腿结构的功能的解释将结合前面的图来找到。

[0082] 整体弹簧-腱22、18机械地耦合所有涉及的腿关节 j_1 、 j_2 、 j_3 、 j_4 的偏转和负荷。结果,在站立阶段期间(图4),多段腿的行动类似于单个的、连贯的、机械的弹簧。

[0083] 腿负荷不仅并且总是沿着虚拟腿V,而且还可以结合源自髋关节 j_0 或趾关节 j_4 的扭矩。扭矩被捕获在具有弹簧加载的四杆结构或固定杆结构(34,图5,具有弹簧形式的固定杆结构)的腿结构中。除了整体弹簧-腱22、18之外,还提供了四杆结构,该结构引导腿结构。它通过弹簧-腱或弹簧腱限制在段 s_1 与 s_3 之间的相对运动。

[0084] 在上述框架内,设计了一种在从摆动阶段到站立阶段的过渡时接合整体弹簧-腱的机构。整体弹簧-腱接合还被设计成在站立阶段的大部分内保持远端腿段平坦地在地面上。为此,相应地设计趾关节 j_4 半径 r_4 的尺寸。借助于最远端腿段5保持接合。该机构为整体弹簧-腱22、18提供自接合离合器。自接合离合器机构在之前已经部分地假设用于两段腿结构。这里,它应用于五段腿结构。

[0085] 所有的腿关节凸轮 c_0 至 c_4 (其中 c_1 、 c_2 和 c_3 是多部分凸轮)被设计成具有固定半径。这允许相对容易地计算其所涉及的腱的机械联接。固定凸轮半径 r 还允许在站立阶段期间设计腿长度偏转的大范围并且在摆动阶段期间设计腿屈曲的大范围。

[0086] 在这方面,应当注意,可以设想机器人腿10的更复杂的行为。这种复杂的行为可以通过提供非线性凸轮半径来引起,即不绕轴线旋转而是绕两个轴线旋转的凸轮,例如由椭圆形凸轮产生。

[0087] 在这方面,应当注意,更复杂的腿行为可以是非线性的腿刚度,这意味着通过不断改变腿长度,腿长度方向上的力将以非线性方式改变。

[0088] 弹簧-腱接合在触地时开始并且在站立阶段期间连续。设计了一种新颖的机械脱离接合机构,其迫使整体弹簧-腱以一定角度脱离接合。成功的脱离接合有效地开始摆动阶段。

[0089] 通过借助调节机构40设定脱离接合腱36的长度,可以机械地调节脱离接合的时

间。在弹簧-质量系统中,弹簧松开通常仅取决于弹簧-质量的动态。由于身体质量和身体动态连续地加载腿的弹簧22,所以通过其松弛长度的完全返回的弹簧脱离接合(早期脱离接合)将是不可能的。在行走步态和在行走与奔跑之间转化的步态期间,在较低速度时尤其如此。

[0090] 设计了一种呈附加的远端脱离接合腿机构形式的工作区。远端脱离接合腿36迫使加载的整体弹性-腿22、18的腿收缩。收缩发生在附加的腿关节 j_3 中,该关节仅出于该目的引入。关节 j_4 角度的增加减少了关节 j_3 中的可用弧长,关节 j_3 通过脱离接合腿36联接。由于其固定长度,腿36开始使关节 j_3 收缩。关节 j_4 的角度的增加导致关节 j_3 的关节角度的减小。当关节 j_3 角度达到180度时,收缩发生,在这种情况下,它最终突弹跳变或扣住。从这一点开始,不再维持由整体弹簧-腿22、18沿着段s产生的力的链,并且腿10被卸载。在摆动阶段开始时,存储在脱离接合点处的弹簧能量向前推动附近的腿段 s_3 、 s_4 、 s_5 。本质上,在从站立到摆动阶段的过渡中,加载的弹性腿10和脱离接合机构的组合呈现作用于下腿段s的“弹射器”。

[0091] 利用机械的被动弹簧(整体弹簧-腿)在控制方面可以是非常能量有效的且高效的。在没有致动的情况下,在站立阶段不需要控制也不需要感测机构。整体弹簧-腿22、18的接合和脱离接合被设计成在没有感测的情况下行动。相反,机器人腿10可以在前馈控制中行走和奔跑。

[0092] 在站立阶段并且已经在正常负荷24(例如正常体重)下,脚在一个区域上接触基板,从而引起与地面的多点力。具体地,趾部铰接关节 j_4 中的扭矩在趾部的末端 s_5 (图3)中引起力。沿着虚拟腿V的力通过脚的铰接关节被引导到地面中。整体弹簧-腿22、18的力是机器人负荷(体重和身体动态)、腿部角度和趾部角度的函数。在趾段 s_5 中的两个抽象的反作用力向量的组合产生机器人的压力中心26。因为整体弹簧-腿22、18机构改变了关节 j_4 中的扭矩,所以其间接允许在前后方向上操纵机器人的压力中心26。移位的压力中心26是在有关节中具有面接触和扭矩的腿机构的腿式运动中的基本特征。

[0093] 在摆动阶段期间,腿的弹簧-腿网络22、18脱离接合并且松弛,并且腿的关节变松(参见图4)。通过相应地设计趾伸展腿30、弹簧脱离接合腿36、整体弹簧-腿22、18和腿屈曲腿32来产生腿10的松弛状态。趾部 s_5 的卷曲导致围绕其关节 j_3 松弛。这向上传播(j_2 至 j_0),因为所有关节仍然通过整体弹簧-腿22、18联接。期望在摆动阶段期间在上述松弛状态下使腿10屈曲(缩短)。

[0094] 首先,与在腿的伸肌弹簧工作时屈曲腿相比,处于摆动阶段的松弛腿10是能量有效的。其次,松开且松弛的整体弹簧-腿22、18将摆动腿的段拉成卷曲姿势,使其趾部指向后(参见图4)。摆动腿的卷曲趾部/脚 s_5/s_4 姿势与指向前的伸展趾部相比可防止运动期间的绊倒。

[0095] 已经发现,从站立到摆动阶段的过渡需要机械地且有力地使腿的弹簧-腿22、18脱离接合,以实现“异相”步态,如行走和慢跑。这是特别重要的,因为脱离接合必须在给定的时间或给定的腿角度发生。该脱离接合机构已经用于行走步态以及用于行走与奔跑之间的过渡速度。已经设计了一种新颖的、位于远端的脱离接合腿36,其作用在关节 j_3 和 j_4 上(图5)。脱离接合腿的动作通过由髌角度马达28致动的作用在 j_0 上的髌扭矩和髌角度运动有效地提供动力。

[0096] 在摆动与站立阶段之间的过渡中的适当的接合和腿部姿势由两个行动腱设计-整体弹性-腱22、18(在这种情况下,由两部分组成(图7))和脚/趾伸展腱38、30。两个远端段的适时运动通过一组关节限制器51、52和计算的凸轮半径引导,两个用于 c_3 ,一个用于 c_4 。

[0097] 趾部的伸展由两个伸肌腱38、30引导。这两个伸肌腱38、30与脚关节 j_3 和趾关节 j_4 的运动耦合。两个腱都在长度8、9上是单独可调节的(图7)。两个腱都可以弹簧加载地安装,以减少与整体弹簧-腱22、18的对抗作用的影响。然而,对于所示的步态,仅整体弹簧-腱22、18是弹簧加载的。

[0098] 在摆动阶段结束时,踝关节 j_2 由于重力和惯性作用而伸展。这使腿的下部下降。踝关节伸展可由具有腿前伸的额外腱膝关节支撑。踝关节 j_2 伸展增加了腱38、30的腱弧长 j_2 。首先,腱38在关节 j_3 的关节弧上伸展段 s_4 。腱30的路径穿过段 s_4 。根据其长度设定,在段 s_4 通过其腱伸展之后,腱30伸展段 s_5 。

[0099] 有效地,踝关节伸展(图4)以受控的方式伸展段 s_4 和 s_5 。通过设定松弛的腱30、38的长度来提供控制。

[0100] 在机器人系统中,可以应用致动(RC伺服马达)以及控制和评估单元42(例如前馈模式中的中央模式生成器)。利用前馈控制,一种新颖的双足机器人可以以小于 $2\text{J}/(\text{Nm})$ 的运输成本以高达 $0.9\text{m}/\text{s}$ 的速度行走和慢跑。图8至图10示出了双足机器人的真实应用的示例。

[0101] 两个机器人腿10经由躯干24连接,躯干通常还包括控制和评估单元42。

[0102] 这种机器人可以重达大约 1.7kg ,其已经包括所有传感器。机器人具有大约 0.29m 的站立高度(图8至图10)。与具有约 $6.6\text{J}/(\text{Nm})$ 的最佳值的现有技术机器人相比,COT低于2呈现出运输成本的显著降低($>1/3$)。

[0103] 图11中示出了这种机器人腿10的另一应用的示例。这里,两个机器人腿10附着到人体上,以便帮助人行走或例如帮助人承载重物。右边的图示出了如何使距离段比脚的距离段旋转得更远,以便释放连接腱,以产生脚的期望的竖直运动。

[0104] 图12a中示出了机器人系统的另一示例。这里,机器人系统包括四个机器人腿10,它们经由躯干24连接。该系统还包括控制和评估单元42,其通常位于躯干24内。控制和评估单元以如下这种方式使各个机器人腿10的运动同步:机器人系统可以像四条腿动物那样行走或奔跑。

[0105] 图12b中示出了机器人系统的另一示例。机器人系统包括与图12a所示的部件非常类似的部件,并且还包括在经由躯干24连接的四个机器人腿10中的每一个处的传感器44。控制和评估单元42被配置成根据利用所述传感器44测量的参数来控制致动器20。从而与图12a的机器人系统相比,由于使用了传感器44测量的参数,可以以改进的方式执行各个机器人腿10的运动。这是因为传感器44使得能够更精细地调整各个机器人腿10的运动。在这方面,应当注意,这种模仿动物的运动的精细调整的机器人腿10(例如鸟腿,例如鸵鸟的腿部)可以用于解释例如兽医科学中的某些动物的精确运动模式。

[0106] 附图标记

[0107] 8 腿长度调节

[0108] 9 腿长度调节

[0109]	10	机器人腿
[0110]	$c, c_0 - c_4$	凸轮
[0111]	$j, j_0 - j_4$	关节
[0112]	$r, r_0 - r_4$	半径
[0113]	$s, s_1 - s_5$	段
[0114]	18	总腱
[0115]	20	致动器
[0116]	22	弹簧
[0117]	24	躯干负荷
[0118]	26	压力中心
[0119]	28	马达
[0120]	30	趾伸展腱
[0121]	32	屈肌腱
[0122]	34	另外的弹簧
[0123]	36	脱离接合腱
[0124]	38	伸肌腱
[0125]	40	调节机构
[0126]	42	控制和评估单元
[0127]	44	传感器
[0128]	51	关节限制部
[0129]	52	关节限制部

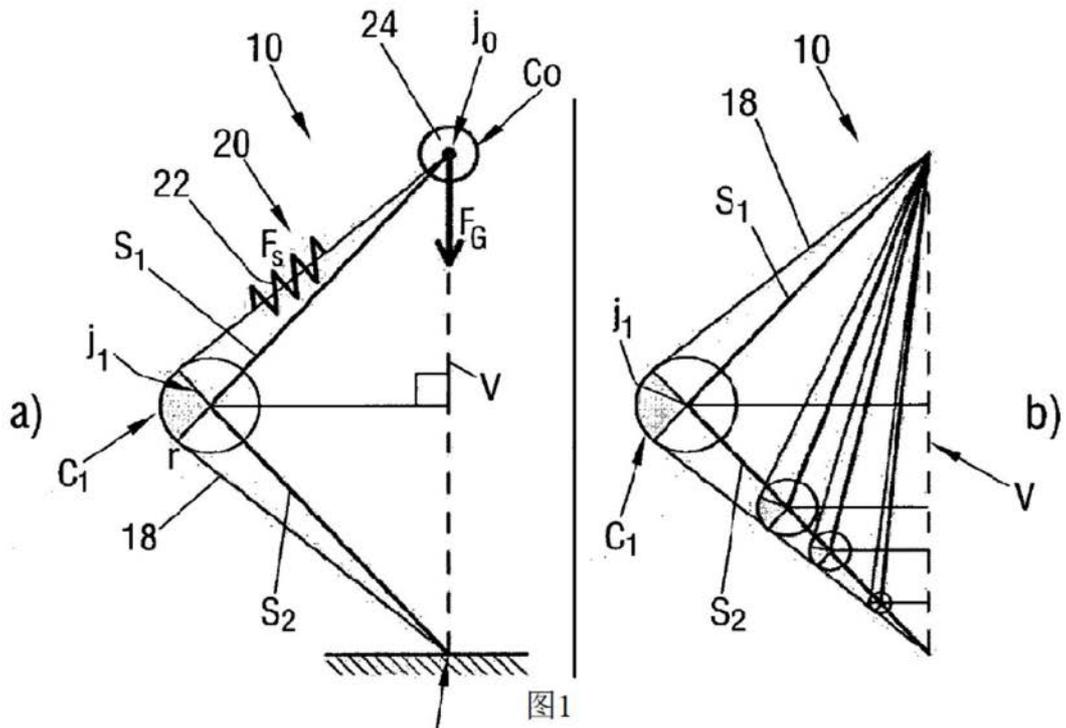


图1

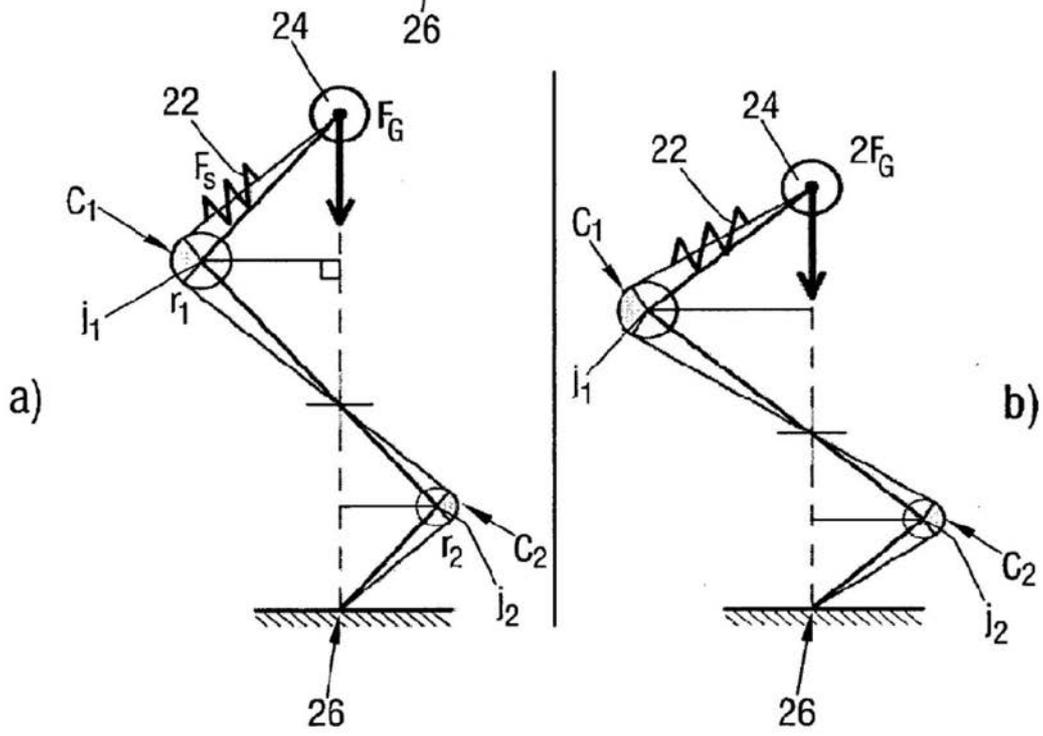


图2

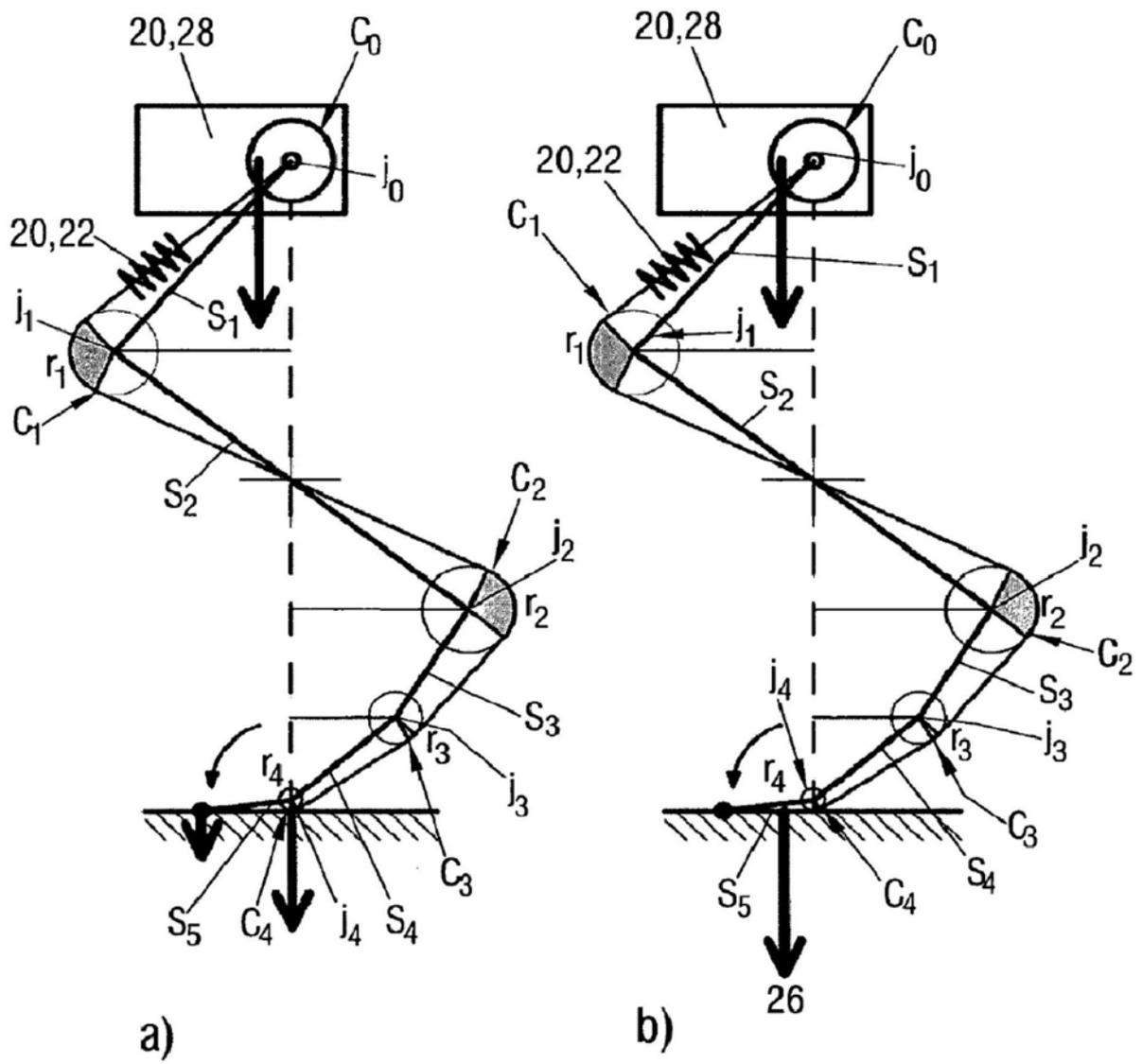


图3

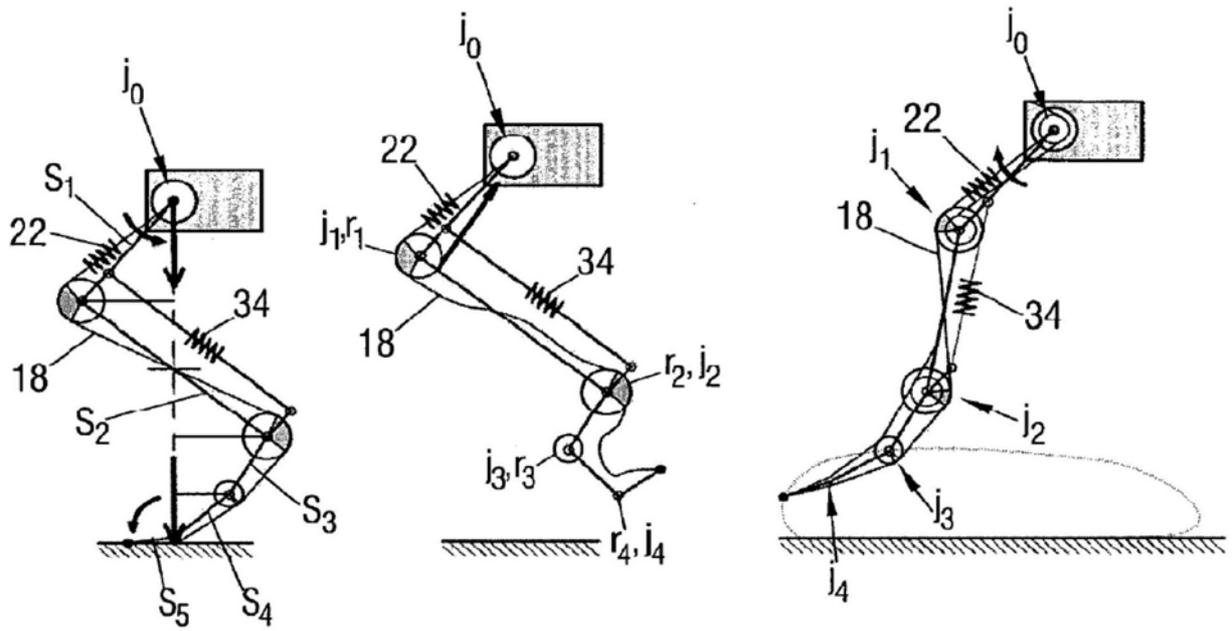


图4

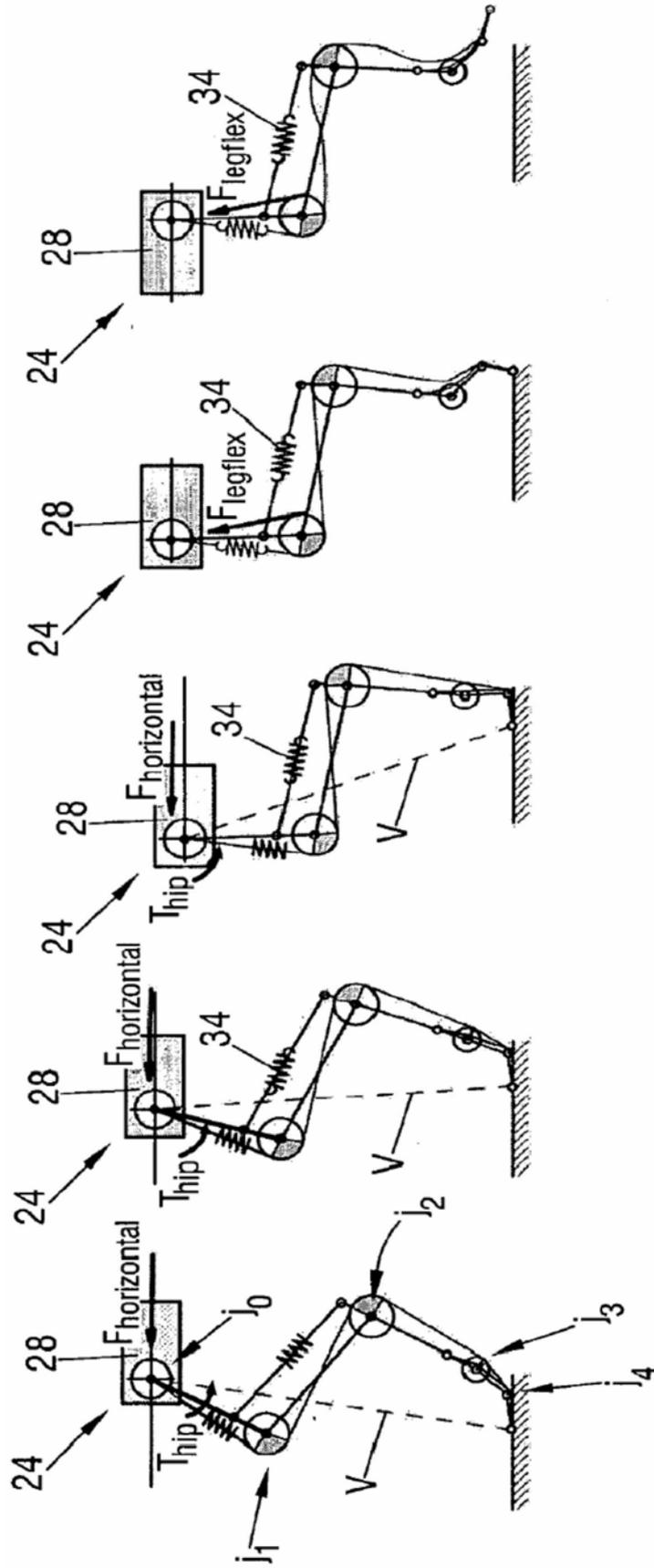


图5

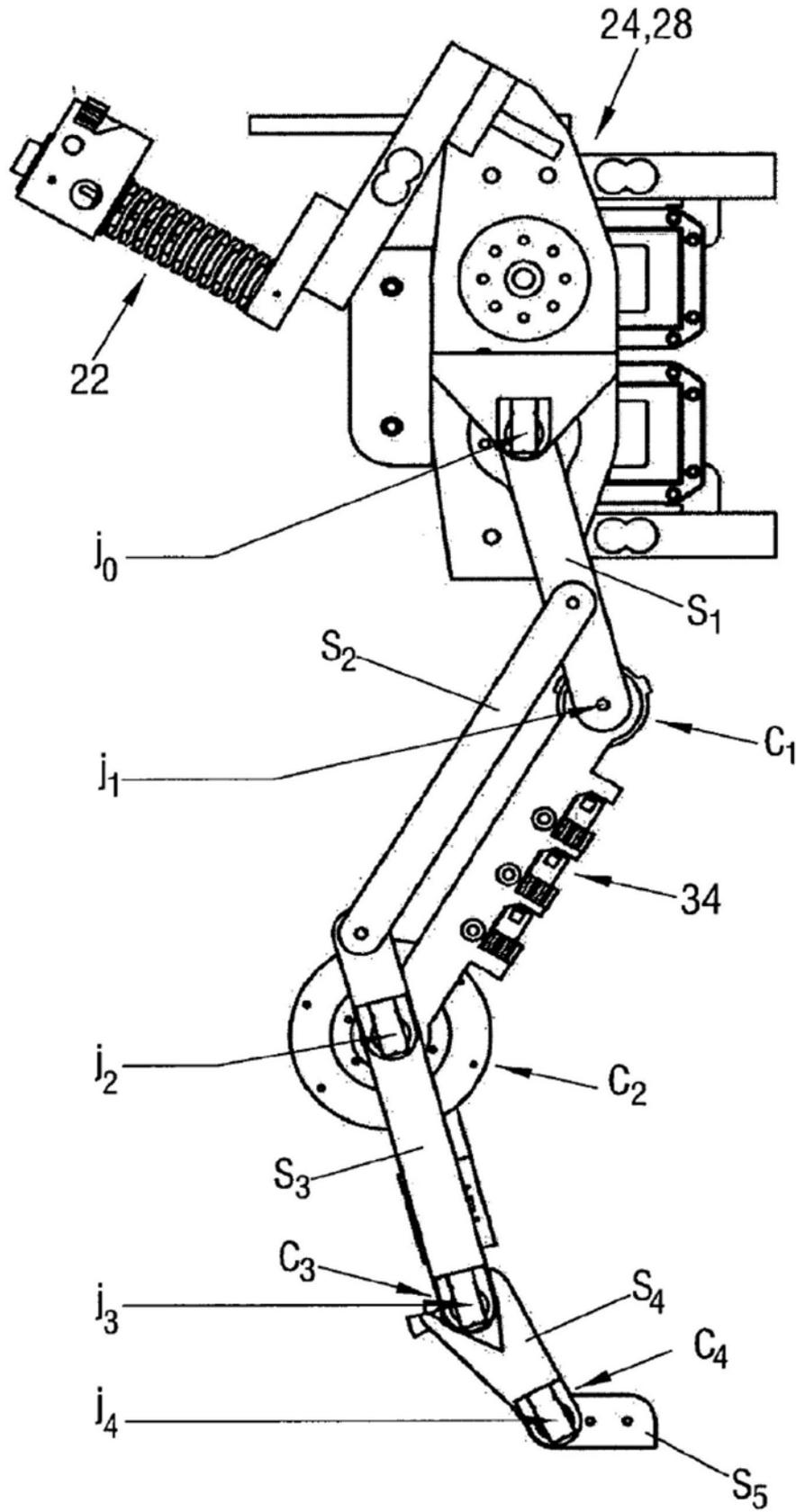


图6

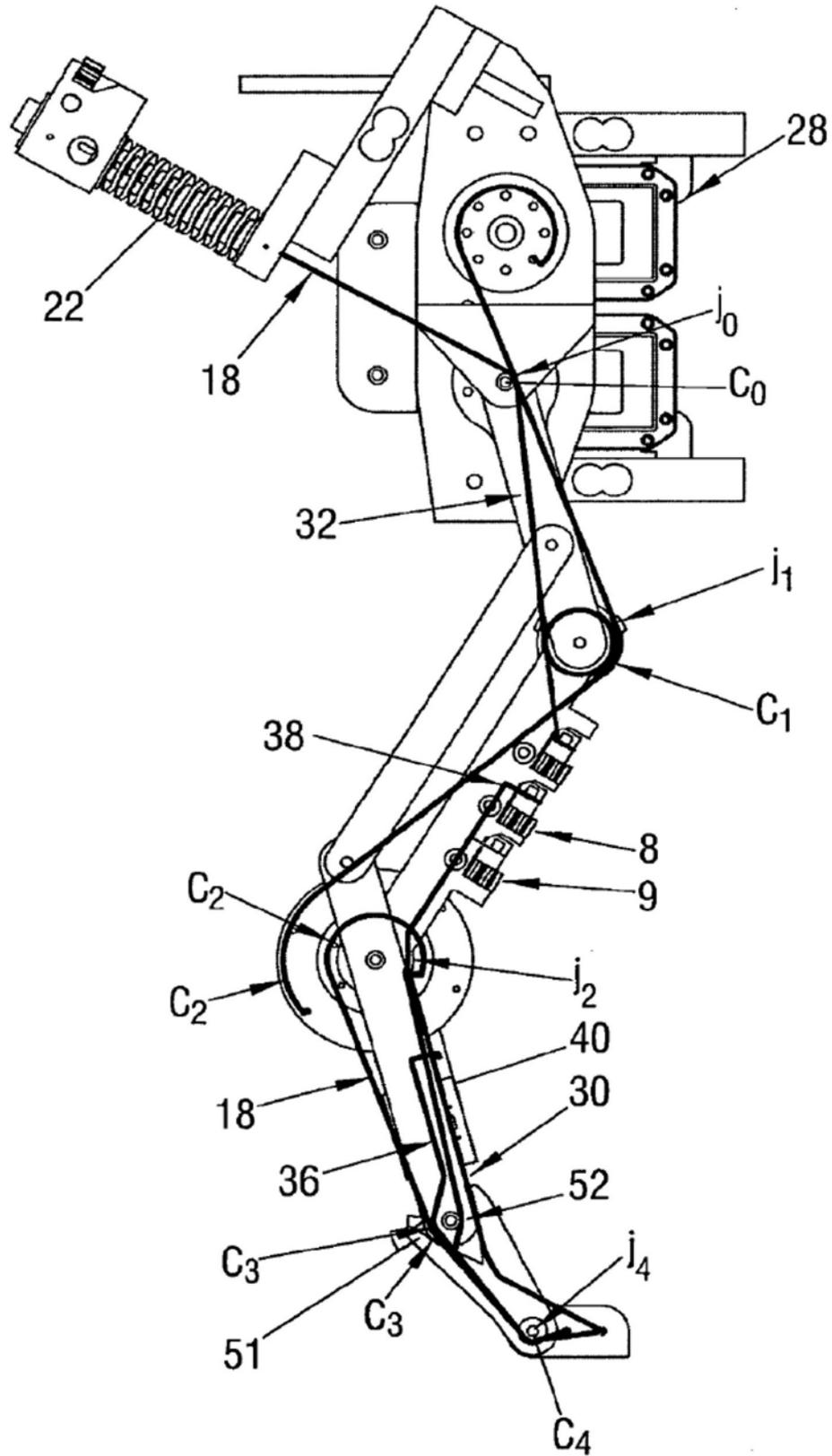


图7

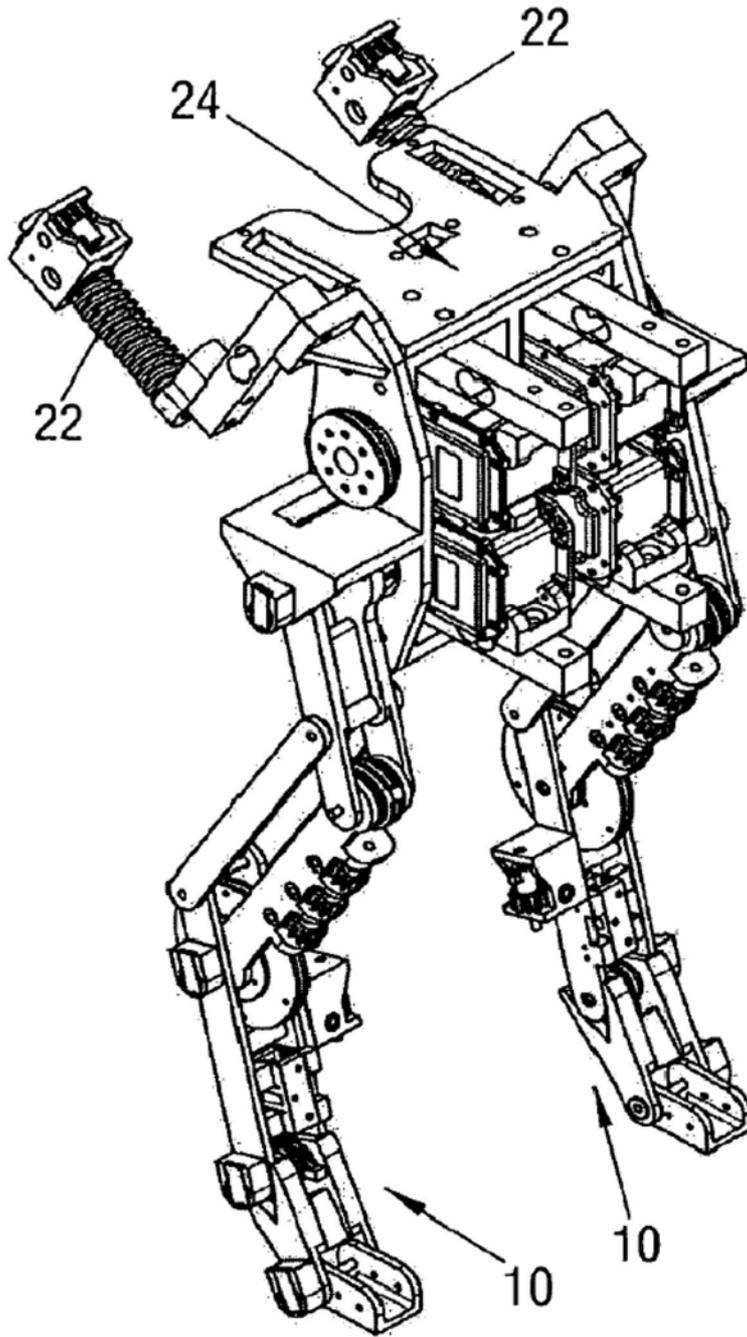


图8

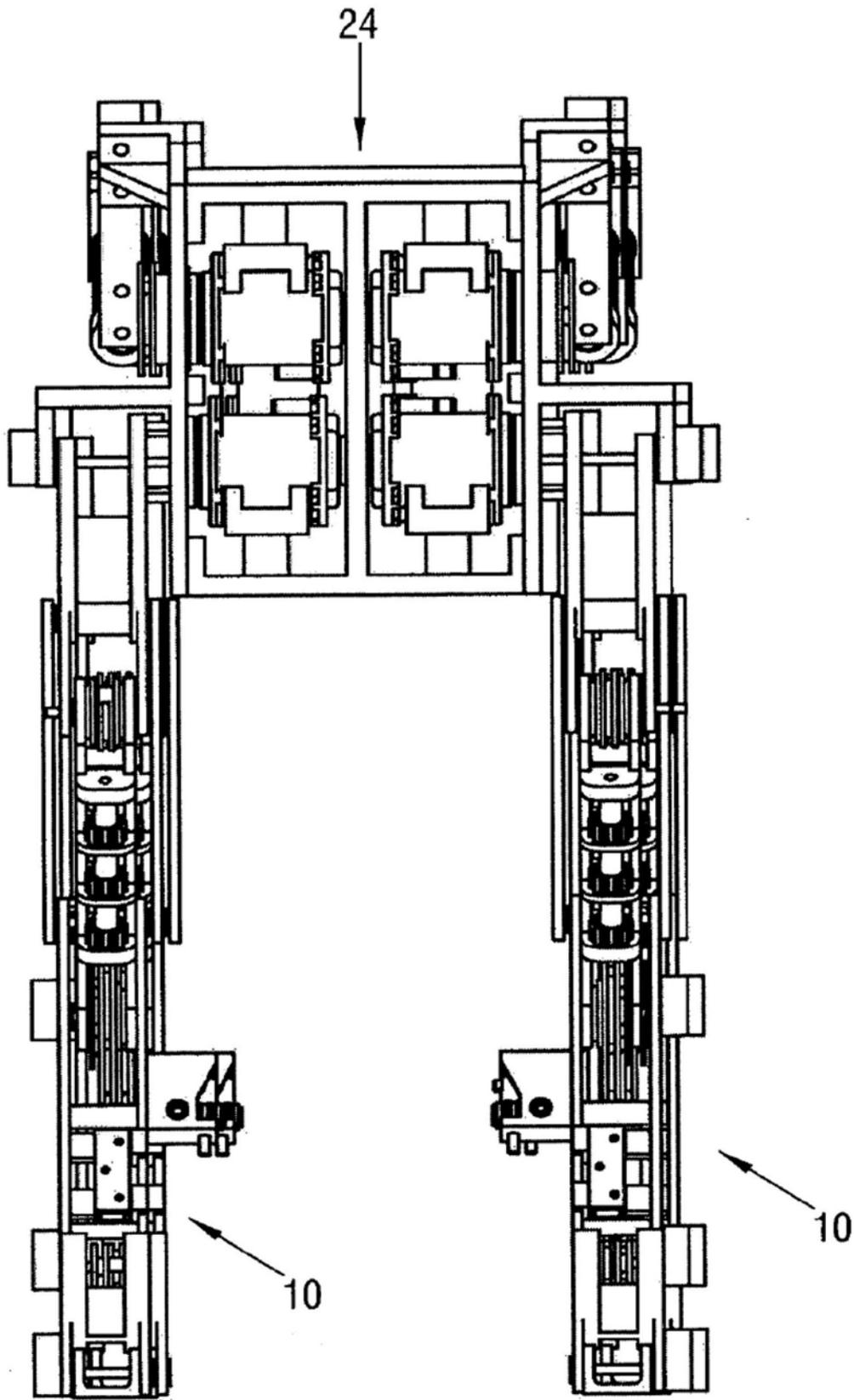


图9

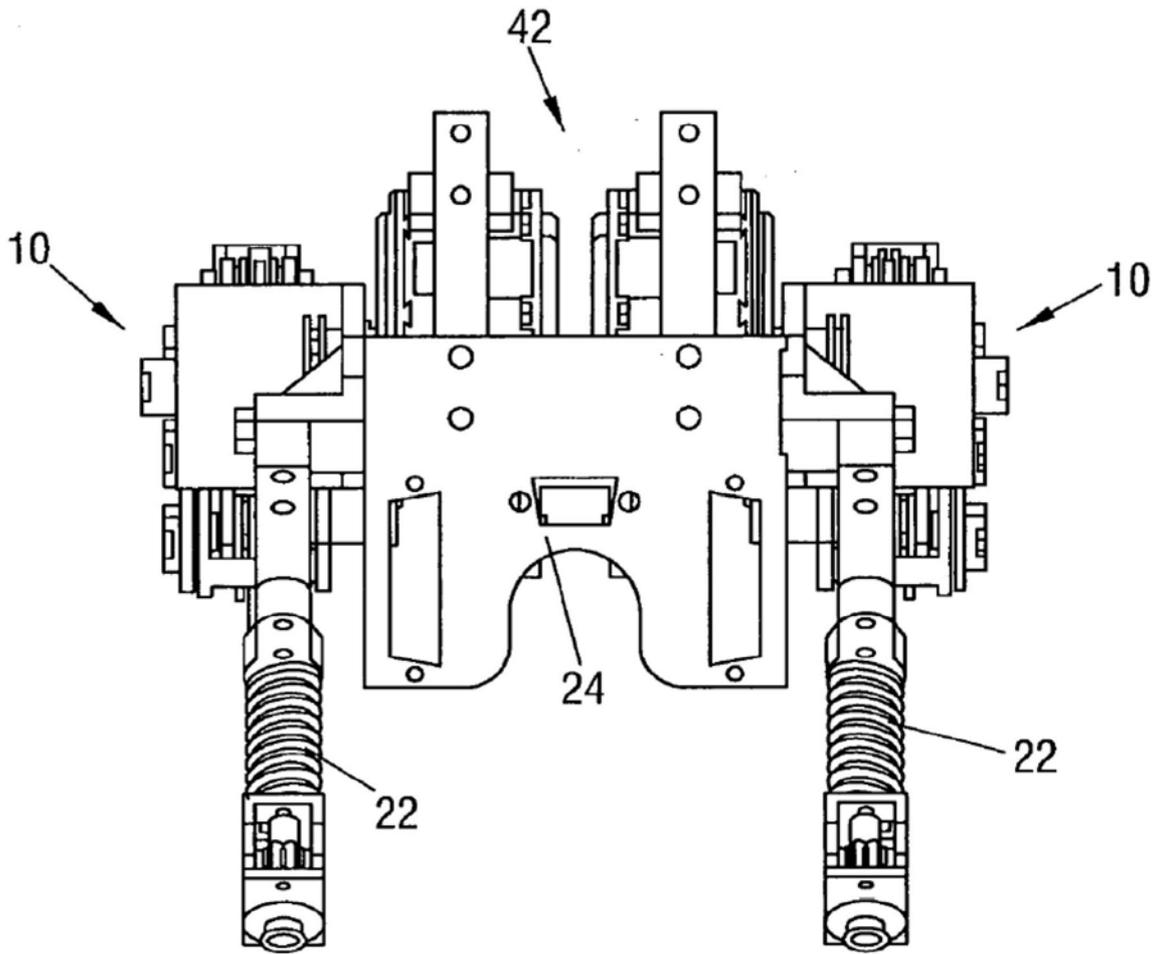


图10

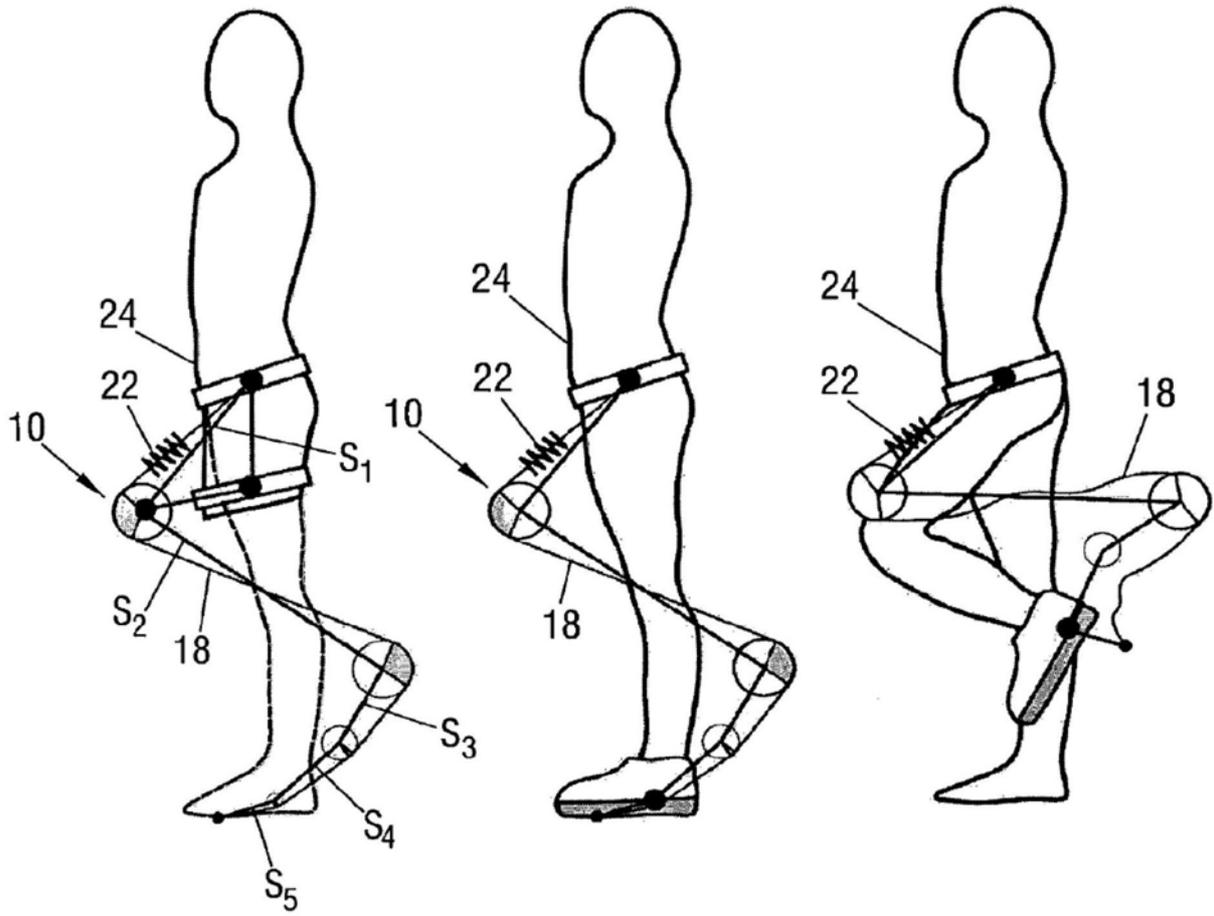


图11

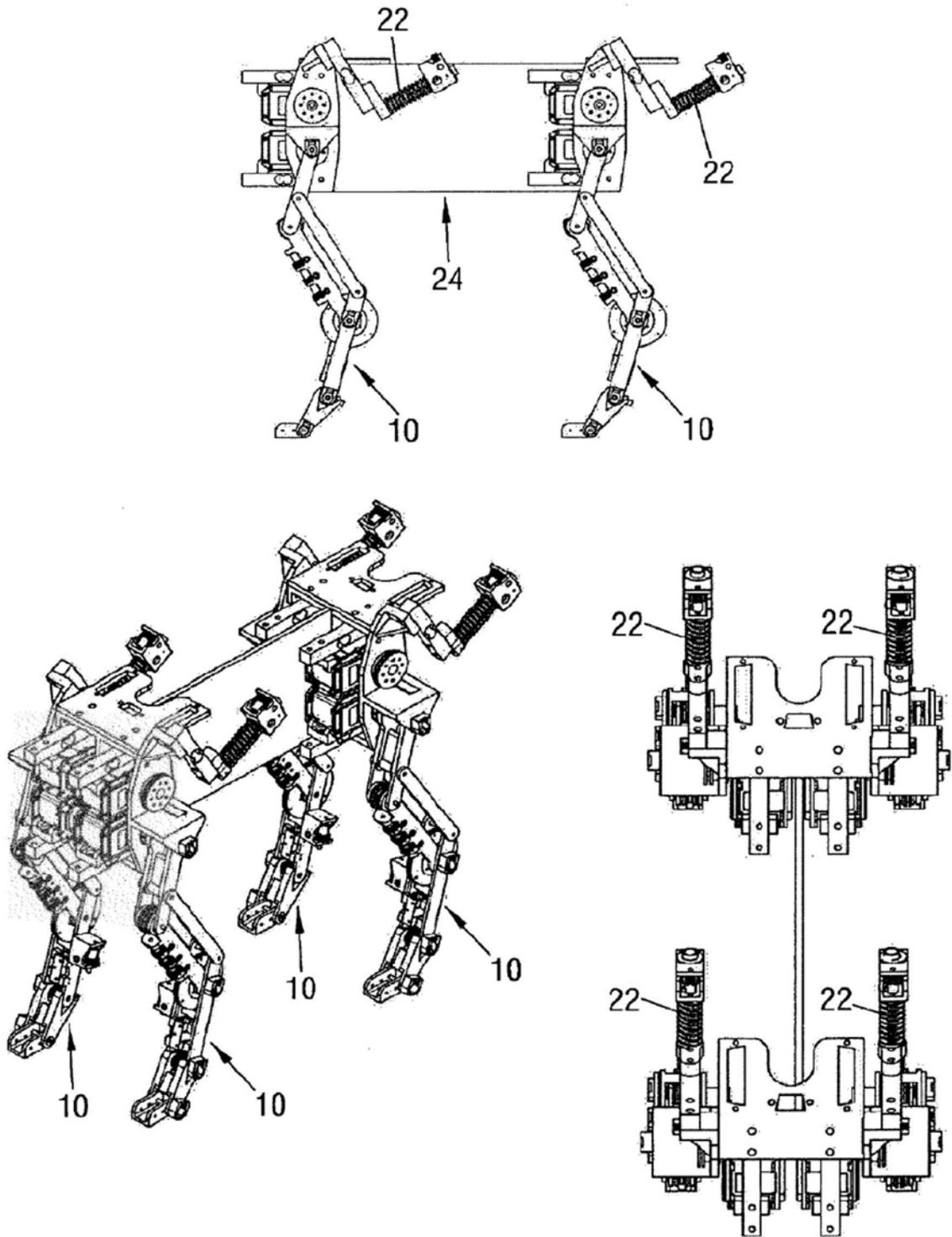


图12a

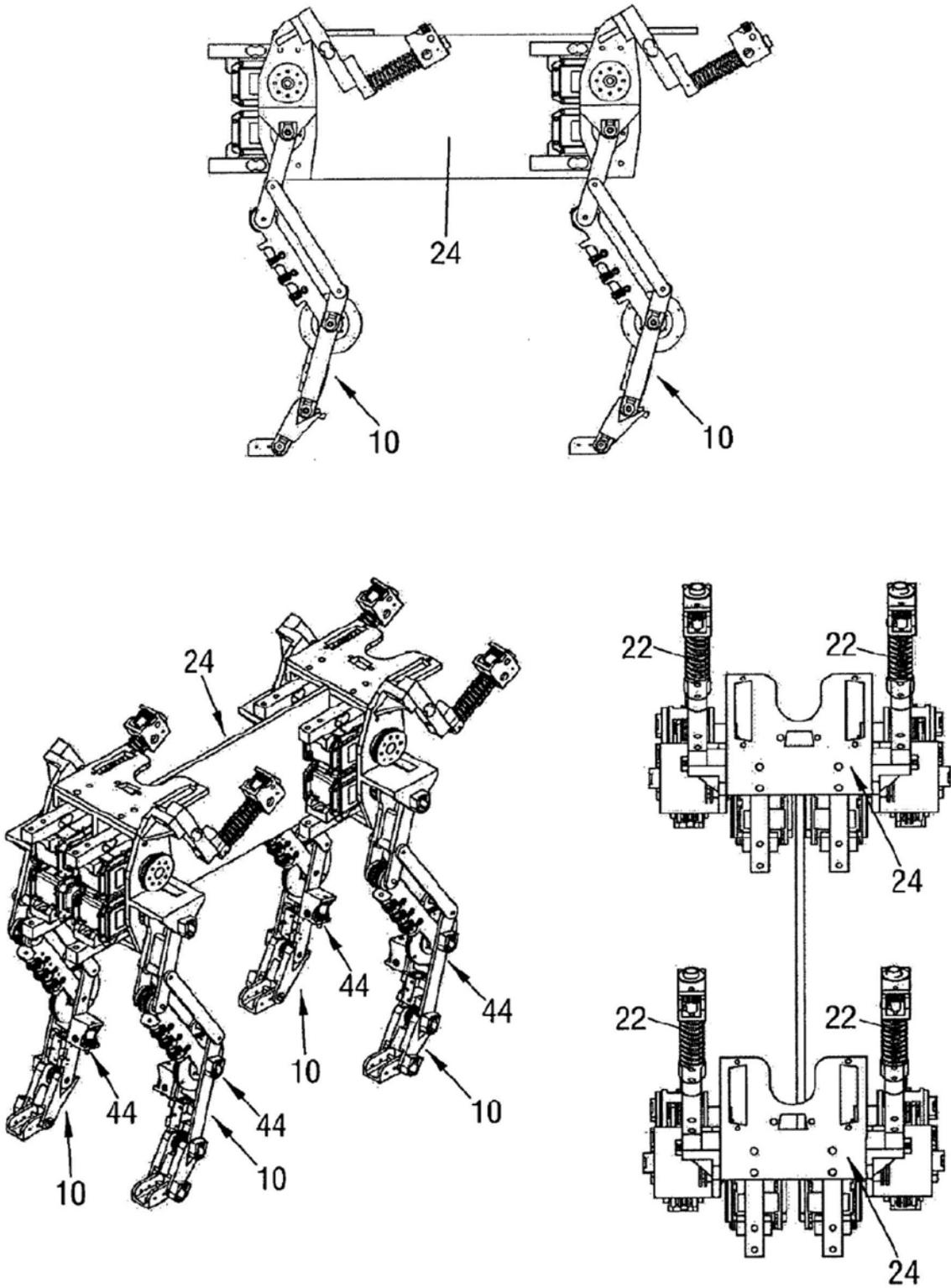


图12b

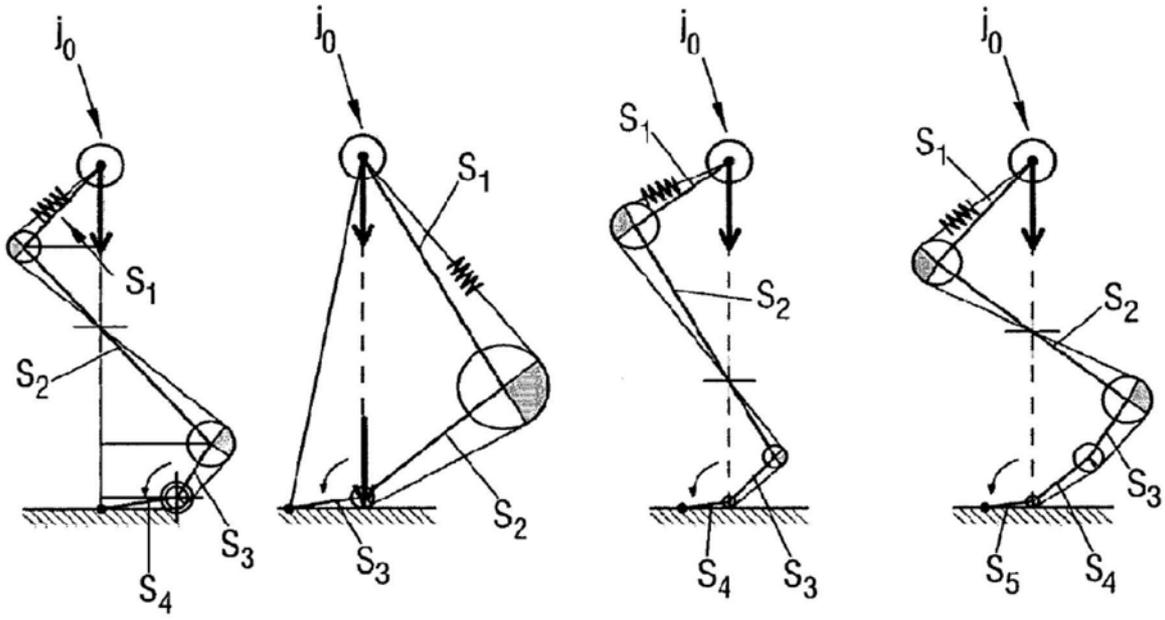


图13