(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103568001 B
(45)授权公告日 2018.03.09

(21)申请号 201310322830.1

(22)申请日 2013.07.29

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103568001 A

(43)申请公布日 2014.02.12

(30)优先权数据
13/560,692 2012.07.27 US

(73)专利权人 工程服务公司
地址 加拿大安大略省

(72)发明人 安德鲁·A·戈登伯格 林军

(74)专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理有限责任公司 11204
代理人 余朦 王艳春

(51)Int.Cl.
B25J 5/00(2006.01)
B25J 9/08(2006.01)
B62D 55/20(2006.01)
B62D 55/065(2006.01)

(56)对比文件
US 2012/0185091 A1,2012.07.19,
US 2009/0079839 A1,2009.03.26,
CN 101293539 A,2008.10.29,

审查员 朱哲

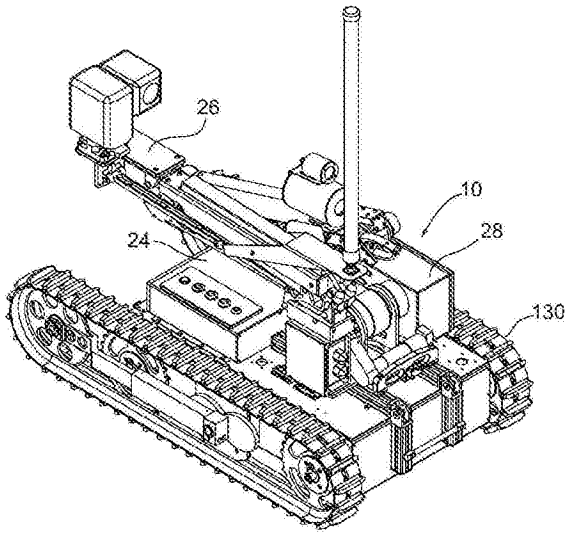
权利要求书2页 说明书13页 附图41页

(54)发明名称

模块式移动机器人

(57)摘要

移动机器人具有大型、中型、小型或可背负型的预定尺寸。移动机器人包括机架、驱动系统部件、功率部件、主处理器、通信系统、功率与数据分配系统。机架具有大型、中型、小型或可背负型的预定尺寸。驱动系统部件可操作地附接至机架，功率部件可操作地连接至驱动系统部件和功率与数据分配系统。每个驱动系统部件具有与机架相容的预定尺寸。主处理器、通信系统以及功率与数据分配系统都可操作地连接起来并且可操作地连接至牵引部件和功率部件。主处理器、通信系统、和功率与数据分配系统都与机架的预定尺寸和至少一个其他尺寸相容。



CN 103568001 B

1.一种移动机器人机群，所述移动机器人机群包括多个不同尺寸的移动机器人，所述多个不同尺寸的移动机器人中的每个与控制单元一起使用，所述移动机器人机群包括：

至少一个可互换的功率与数据分配系统；

所述多个不同尺寸的移动机器人中的每个具有：

机架，具有预定尺寸，即大型机器人、中型机器人、小型机器人和可背负型机器人之一，其中，所述大型机器人机架达到L×W×H为139×66×78cm且重量为250kg，所述中型机器人机架达到L×W×H为98×50×82cm且无负载的重量为125kg，所述小型机器人机架达到L×W×H为71×54×50cm且重量为60kg，以及所述可背负型机器人机架达到L×W×H为60×35×23cm并且重量为15kg；

驱动系统部件，可操作地附接至所述机架并具有配置成与所述机架的所述预定尺寸一起使用的预定尺寸，所述驱动系统部件能够被可操作地连接至所述可互换的功率与数据分配系统；

功率部件，具有配置成与所述驱动系统部件一起使用的预定尺寸，并且能够可操作地连接至所述可互换的功率与数据分配系统；

主处理器，可操作地连接至所述驱动系统部件、所述可互换的功率与数据分配系统、和所述功率部件；以及

通信系统，可操作地连接至所述驱动系统部件、所述功率部件和所述主处理器，所述通信系统用于与所述控制单元进行通信；以及

其中，所述可互换的功率与数据分配系统配置成与所述机架的至少两种尺寸一起使用，以使得所述可互换的功率与数据分配系统在至少两种尺寸之间是可互换的。

2.根据权利要求1所述的移动机器人机群，其中，所述主处理器、所述通信系统和所述可互换的功率与数据分配系统可互换地使用在所述大型机器人、所述中型机器人、所述小型机器人和所述可背负型机器人中。

3.根据权利要求1或2所述的移动机器人机群，其中，所述驱动系统部件包括驱动牵引模块，所述驱动牵引模块可操作地连接至驱动传动模块。

4.根据权利要求3所述的移动机器人机群，其中，所述驱动牵引模块为长履带牵引模块、短履带牵引模块或轮式牵引模块之一。

5.根据权利要求3所述的移动机器人机群，其中，所述驱动系统部件还包括鳍式件模块，所述鳍式件模块可操作地连接至鳍式件传动模块。

6.根据权利要求1或2所述的移动机器人机群，还包括核心模块，所述主处理器和所述通信系统属于所述核心模块。

7.根据权利要求6所述的移动机器人机群，还包括头部模块，所述可互换的功率与数据分配系统属于所述头部模块。

8.根据权利要求7所述的移动机器人机群，其中，所述核心模块和所述头部模块各自可互换地使用在所述大型机器人、所述中型机器人、所述小型机器人以及所述可背负型机器人中。

9.根据权利要求1或2所述的移动机器人机群，还包括大型夹持臂模块、小型夹持臂模块和工具臂之一。

10.根据权利要求9所述的移动机器人机群，还包括PTZ臂模块。

11.根据权利要求10所述的移动机器人机群，还包括照相机，所述照相机可互换地附接至所述PTZ臂模块、所述大型夹持臂模块和所述小型夹持臂模块。

12.根据权利要求9所述的移动机器人机群，还包括转台，所述转台可附接至所述大型夹持臂和所述小型夹持臂之一。

13.根据权利要求10所述的移动机器人机群，还包括可附接至所述PTZ臂模块的转台。

14.根据权利要求1或2所述的移动机器人机群，还包括能够在所述大型机器人、所述中型机器人、所述小型机器人以及所述可背负型机器人中可互换地使用的武器。

15.根据权利要求1或2所述的移动机器人机群，其中，所述控制单元可互换地使用在所述大型机器人、所述中型机器人、所述小型机器人以及所述可背负型机器人中。

16.根据权利要求1或2所述的移动机器人机群，其中，所述功率部件能够可互换地与预定尺寸机架一起使用，其中所述预定尺寸机架小于功率相容的功率部件的预定尺寸机架。

17.根据权利要求1或2所述的移动机器人机群，其中，所述控制单元为操作者控制单元和自主控制单元之一。

模块式移动机器人

技术领域

[0001] 本公开涉及移动机器人，尤其涉及具有模块的模块式移动机器人，该模块易于拆卸与替换，可互换为不同模块或可在不同尺寸的移动机器人之间互换。本公开还涉及环形履带、柔性尾部和单铲臂。

背景技术

[0002] 移动机器人为大家所熟知并且通常由军队、执法机关以及保安部队所使用。因而移动机器人经常使用在危险情况和偏远的(遥远的)地点中。因此，将非常有用的是提供易于适应不同用途的移动机器人。还将非常有用的是提供易于维护的移动机器人。因此，模块式移动机器人将是有利的。同样，有利的是至少一些模块能够在不同尺寸的移动机器人之间互换，以适合特殊的或独特的任务。

[0003] 已经提出了一些模块式机器人。例如，2011年1月13日公开的专利申请US12/316,311。该申请示出了具有左右履带模块的移动机器人。然而，该机器人的其他部分并不是模块式的，因此如果不是履带模块需要维修或更换，机器人将很可能会离开现场直到维修和更换工作完成。

[0004] 移动机器人经常用于特殊的任务，并且具有用于这些任务的特殊重量和操作要求。例如移动机器人用于空间探索，这时机器人的重量可能对于任务是至关重要的。在远程操作中，具有可拿起危险物体的臂可能对于这种任务是有用的。

[0005] 移动机器人经常包括环形履带，尤其使用在未知地形或用于攀登楼梯和斜坡，或穿越障碍的移动机器人。环形履带通常由具有垂直于带的纵向方向设置的多个防滑楔的带而形成，并且是一些用于移动机器人的普通驱动系统的接触地面的部分。由于与轮相比其具有高牵引力，环形履带在许多领域中得到应用，如移动式机器系统、农业、和建筑。此外，使用环形履带的驱动系统可提供比轮式系统更多功能的性能，用于如穿越不平地形和攀登障碍。

[0006] 然而，现有的履带具有很多缺点。例如，与轮相比其受到更多的摩擦，因此需要更大功率来驱动，并且当移动和转向时可导致振动。此外，其可从驱动它们的轮或链轮滑落，可能损坏履带或驱动机构。如果这发生在正在远程操作机器人的危险情况中，可能会使得不能被操作。驱动履带的轮还可能偶尔在履带内转动地滑动，丧失牵引力。

[0007] 另外，移动机器人经常部署在表面特征先前未知的环境中，并可能是不平的、不规则的或颠簸的。在这种情况中，机器人在失去平衡之后跌倒的概率可能非常高。对于正在危险情况中远程操作机器人的情况，跌倒可使机器人不能被操作。此外，可能需要移动机器人具有攀登障碍的能力，而这通常是危险的任务，因为这样会很容易导致机器人翻到。

[0008] 因此，有利的是提供克服上述困难的装置。

发明内容

[0009] 移动机器人具有预定尺寸，即大型、中型、小型和可装入背包型之一。移动机器人

与控制单元一起使用。移动机器人包括机架、驱动系统部件、功率部件、主处理器、通信系统、功率与数据分配系统。机架具有预定尺寸，即大型、中型、小型和可背负型之一。驱动系统部件可操作地附接至机架并具有与机架的预定尺寸相容的预定尺寸。功率部件可操作地连接至功率与数据分配系统并可操作地连接至驱动系统部件，并且功率部件具有与驱动系统部件相容的预定尺寸。主处理器可操作地连接至驱动系统部件、功率与数据分配系统、以及功率部件。通信系统可操作地连接至驱动系统部件、功率部件和主处理器。通信系统用于与操作者控制单元进行通信。功率与数据分配系统可操作地连接至驱动系统部件、功率部件，主处理器和通信系统。主处理器、通信系统、和功率与数据分配系统都与机架的预定尺寸和至少一个其他尺寸相容。

[0010] 主处理器、通信系统和功率与数据分配系统可互换地使用在大型、中型、小型以及可背负型移动机器人中。

[0011] 驱动系统部件可包括可操作地连接至驱动传动模块的驱动牵引模块。

[0012] 驱动系统部件还可包括可操作地连接至鳍式件传动模块的鳍式件模块。驱动传动模块可以是长履带牵引模块、短履带牵引模块、或轮式牵引模块之一。

[0013] 移动机器人还可包括核心模块，并且主处理器和通信系统可以是核心模块的一部分。

[0014] 移动机器人还可包括头部模块，并且功率与数据分配系统可以是头部模块的一部分。

[0015] 核心模块和头部模块可以可互换地使用在大型、中型、小型以及可背负型移动机器人中。

[0016] 移动机器人可包括大型夹持臂模块、小型夹持臂模块以及工具臂之一。移动机器人还可包括PTZ臂模块。移动机器人还可包括照相机，并且照相机可以可互换地附接至PTZ臂模块、大型夹持臂模块和小型夹持臂模块。

[0017] 移动机器人可包括可附接至大型夹持臂和小型夹持臂之一的转台。此外，转台可附接至PTZ臂模块。

[0018] 移动机器人可包括能够互换地使用在大型、中型、小型以及可背负型移动机器人中的武器。

[0019] 控制单元可互换地使用在大型、中型、小型以及可背负型移动机器人中。

[0020] 控制单元可以是操作者控制单元和自主控制单元之一。

[0021] 功率部件可以可互换地与比相容功率部件的预定尺寸机架更小的预定尺寸机架一起使用。

[0022] 用于与控制单元结合使用的模块式移动机器人，包括机架、驱动牵引模块、驱动传动模块、独立的头部模块、独立的功率模块、以及独立的核心模块。驱动牵引模块可操作地附接至机架。驱动传动模块可操作地连接至驱动牵引模块。独立的头部模块包括功率与数据分配系统，并且可操作地连接至驱动传动模块。独立的功率模块可操作地连接至头部模块。独立的核心模块可操作地连接至头部模块。独立的核心模块包括主处理器和通信系统。因此，核心模块管理与控制单元的通信。

[0023] 模块式移动机器人还可包括可操作地连接至鳍式件传动模块的鳍式件模块。

[0024] 驱动传动模块可以是长履带牵引模块、短履带牵引模块、和轮式牵引模块之一。模

块式移动机器人还可包括大型夹持臂模块和小型夹持臂模块之一。模块式机器人还可包括工具臂。模块式移动机器人还可包括PTZ臂模块。

[0025] 工具臂包括壳体、驱动系统、螺杆与螺母组件、以及铲组件。螺杆与螺母组件可操作地连接至驱动系统，使得螺母的旋转相对于壳体向上和向下驱动螺杆。铲组件可操作地连接至螺杆。铲组件具有打开位置和闭合位置，并且螺杆向下的移动相应地使铲组件从打开位置移动到闭合位置。

[0026] 铲组件可作为四连杆机构。

[0027] 铲组件可包括一对铲、一对联接件、以及梭式件，每个铲可枢转地附接至梭式件，每个联接件的一端可枢转地附接至托架，而另一端可枢转地附接至一对铲中的一个。

[0028] 托架可附接至螺杆下端。梭式件可包括止动件，该止动件与连接至壳体的阻挡件相接合。

[0029] 驱动系统可包括电机与齿轮头组件。壳体可包括上安装板，并且电机和齿轮头组件可附接至上安装板。

[0030] 螺杆与螺母组件可包括其中具有槽的导管，并且螺杆可包括延伸穿过螺杆的螺旋销，并且其运动由槽限定。

[0031] 壳体可包括上安装板，并且电机和齿轮头组件可附接至上安装板。

[0032] 环形履带包括带、多个倒角防滑楔，多个孔以及双v形引导件。带具有内表面和外表面。每个倒角防滑楔都具有接触表面。倒角防滑楔附接至限定附接区域的外表面，并且接触表面成形为使得当履带放置在平的坚固表面上时，每个倒角防滑楔以比附接区域更小的区域与平的坚固表面相接触。带中的多个孔设置在倒角防滑楔之间，并且成形为允许驱动链轮的齿穿过并且与带相接合以将力从链轮传递至带。双v形引导件包括彼此侧向地间隔且附接至内表面的两个平行的长型凸出。

[0033] 每个倒角防滑楔在垂直于履带的侧向方向的平面上可具有大体上矩形横截面。

[0034] 每个倒角防滑楔可在嵌条处附接至外表面。每个倒角防滑楔可与带一体形成。

[0035] 每个倒角防滑楔可具有橡胶覆层。孔可大体上呈矩形。

[0036] 两个平行的长型凸起可在带周围延伸。双v形引导件的两个平行的长型凸起可以是第一双平行的长型凸起，还可包括至少第二双平行的长型凸起。第一和第二双平行长型凸起可具有圆形边缘。第一和至少第二双平行长型凸起可纵向地间隔开，使得在操作时，驱动链轮一直与第一和第二双平行长型凸起的至少一部分相接触。

[0037] 带可由尼龙制成。双v形引导件可由聚氨酯制成。防滑楔可由橡胶或聚氨酯制成。

[0038] 移动机器人包括布置机构和柔性尾部。柔性尾部附接至布置机构并且从移动机器人沿布置方向向外延伸。布置机构的致动使柔性尾部移动并且改变柔性尾部的布置方向。

[0039] 布置机构可以是可旋转的布置机构，并且可旋转的布置机构的致动使柔性尾部旋转。

[0040] 柔性尾部可绕平行于机器人的侧向方向的轴线旋转。可替代地，柔性尾部可绕平行于从机器人向上的方向的轴线旋转。

[0041] 移动机器人还包括环形履带。所述环形履带包括：具有内表面和外表面的带；以及多个倒角防滑楔，每个倒角防滑楔具有接触表面，所述倒角防滑楔附接至限定附接区域的所述外表面，所述接触表面成形为使得当所述履带放置在平的坚固表面上时，每个倒角防

滑楔以比所述附接区域更小的区域与所述平的坚固表面相接触。

[0042] 移动机器人还包括多个孔。所述孔位于所述具有内表面和外表面的带中并设置在所述倒角防滑楔之间，并且成形为允许驱动链轮的齿穿过并且与所述具有内表面和外表面的带相接合以将力从所述链轮传递至所述具有内表面和外表面的带。

[0043] 移动机器人还包括双v形引导件。所述双v形引导件包括彼此侧向地间隔且附接至所述内表面的两个平行长型凸起。

[0044] 此外，移动机器人的特征将在下面的细说明过程中进行描述或将变得显而易见。

附图说明

[0045] 下面将通过仅示例的方式参照附图描述移动机器人，在附图中：

[0046] 图1是模块式移动机器人的立体图；

[0047] 图2是图1的模块式移动机器人的部分分解图；

[0048] 图3是大型移动机器人A、中型移动机器人B、小型移动机器人C以及可背负移动机器人D的立体图；

[0049] 图4是图1和图2的模块式移动机器人的机架部分的立体图；

[0050] 图5是与图4相似但以另一形式示出的模块式移动机器人的机架部分的立体图；

[0051] 图6是图4和图5的模块式移动机器人的机架部分的分解图；

[0052] 图7是模块式移动机器人的机架部分的立体图，但示出其配置有短履带；

[0053] 图8是与图7所示的模块式移动机器人相似的模块式移动机器人的机架部分的立体图，但示出了配置有轮；

[0054] 图9是与图1所示的模块式移动机器人相似的模块式移动机器人的立体图，但示出了具有转台的小型臂；

[0055] 图10是夹持臂的放大视图，示出了所附接的干扰器模块；

[0056] 图11是图10的夹持臂的放大视图，示出了所附接的X射线模块；

[0057] 图12是图10的夹持臂的放大视图，示出了所附接的可延伸联接件；

[0058] 图13是图10的夹持臂端部的放大视图，示出了位于夹持器上的切割器；

[0059] 图14是模块式移动机器人的机架的立体图，示出了位于比图4和图5所示的机器人更大型机器人中的图4和图5的头部模块和核心模块；

[0060] 图15是PTZ臂的立体图；

[0061] 图16是图15的PTZ臂的立体图，但示出了与其分离的照相机模块；

[0062] 图17示出了可转移到另一移动机器人的照相机模块；

[0063] 图18是模块式移动机器人的立体图，示出了大型臂与小型臂的可互换能力；

[0064] 图19是与图2所示的模块式移动机器人相似的模块式移动机器人的部分分解图，但还包括转台；

[0065] 图20是处于长履带模式并且工具臂附接至机架的移动机器人的立体图；

[0066] 图21是与图20相似的立体图，但示出了处于轮式模式的移动机器人；

[0067] 图22是工具臂的立体图；

[0068] 图23是图22的工具臂的局部剖视立体图；

[0069] 图24是图22的工具臂的剖视立体图；

[0070] 图25是图22的工具臂的连杆机构的放大立体图；

[0071] 图26是图22的工具臂的螺杆和电机的放大立体图；

[0072] 图27是图22的工具臂的立体图，但是移除了一部分壳体并示出了处于开始或打开状态的工具臂；

[0073] 图28是与图27相似的立体图，但示出了部分闭合的铲；

[0074] 图29是与图27相似的立体图，但示出了闭合的铲；

[0075] 图30是具有橡胶覆层的带的实施方式的立体图；

[0076] 图31是具有橡胶覆层的带的一部分的放大立体图，其中橡胶覆层具有图30所示的防滑楔；

[0077] 图32是具有图30的橡胶覆层的带的侧视图；

[0078] 图33是沿一个防滑楔的具有图30的橡胶覆层的带的剖视图；

[0079] 图34是具有图30的橡胶覆层的带的一个防滑楔的放大的侧视图；

[0080] 图35是履带的另一实施方式的侧视图；

[0081] 图36是沿一个防滑楔的图35的履带的剖视图；

[0082] 图37是图35的履带的俯视图；

[0083] 图38是图35的履带的一部分的放大俯视图；

[0084] 图39是具有链轮的图35的履带的一部分的局部立体图；

[0085] 图40是图39的链轮与履带的立体图；

[0086] 图41是履带的可替代性实施方式的立体图，示出了多个平行的长型凸起；

[0087] 图42是包括柔性尾部的移动机器人的可替代性实施方式的立体图；

[0088] 图43(a)-图43(f)是示出位于斜坡上的图41的移动机器人的立体图；以及

[0089] 图44是图41的移动机器人的侧视图，示出了柔性尾部在楼梯上的使用。

具体实施方式

[0090] 本文中描述的系统通常涉及模块式移动机器人、本文中使用的可互换特征、与其一起使用的工具臂、与其一起使用的环形履带以及柔性尾部。虽然本文中公开了移动机器人的实施方式，但这些公开的实施方式仅是示例性的。此外，没有按比例绘制附图并对一些特征进行了放大或缩小以示出具体特征的细节，并且为防止弱化新的部分，可能省略了其相关部分。因此，本文中公开的具体结构和功能细节不应解释为限制性的，而仅作为权利要求的基础以及作为使本领域技术人员能够实现移动机器人的代表性基础。

[0091] 参照图1和图2，模块式移动机器人的一个实施方式大体上示为10。移动机器人10具有多个模块化的特征。同样，一些模块或部件能够在不同尺寸的移动机器人之间互换。

[0092] 具有可互换部件的移动机器人对于具有一大群移动机器人的用户尤其有用。通过具有能够在不同尺寸的移动机器人中使用的模块，可以预备在不同机器人中使用的一系列不同部件，从而更容易地保持机器人机群的运转。在许多机器人机群中，有多种尺寸的移动机器人。例如图3所示的示例，可能有大型机器人A、中型机器人B、小型机器人C以及能够装入背包的机器人D。例如仅作为示例，大型机器人可以是L×W×H为139×66×78cm且重量为250kg，中型机器人可以是L×W×H为98×50×82cm且无负载(payload)的重量为125kg，小型机器人可以是L×W×H为71×54×50cm且重量为60kg，以及能够装入背包的机器人可以

是L×W×H为60×35×23cm并且重量为15kg。通常大中型机器人用于大负载处理和平衡;小型机器人可用于小负载处理和勘察;背负式(back-packable)机器人可用于监视和勘察。

[0093] 能够在具有两种或多种尺寸的机器人之间互换的部件是控制单元、通信部件、电子部件、功率部件、外部传感器、内部传感器、照相机以及武器。通信部件和主处理器可形成能够在不同尺寸的机器人之间互换的独立(self-contained)的核心模块的一部分。功率与数据分配系统可形成能够在不同尺寸机器人之间互换的独立的头部模块的一部分。独立的功率模块可与不同机器人向下兼容,指的是如果其具有用于特殊机架(chassis)尺寸的尺寸,其能够与具有该尺寸的机架或更小尺寸的机架一起使用。相反地,外部部件如大型夹持臂、小型夹持臂及PTZ臂是向上兼容,指的是如果该臂具有用于特殊机架尺寸的尺寸,其能够与具有该尺寸的机架或更大的机架一起使用。同样,控制具体任务的软件程序可在不同尺寸的机器人之间互换。例如,诸如自动导航和从工具架进行抓取的自动抓取工具将是互换的。同样,控制驱动功能的软件和控制PTZ的软件可是互换的。控制传感器的软件、用于继电器控制的软件、用于功率分配的软件、控制可互换武器的软件以及用于视频选择的软件都可以是可互换的。然而,控制鳍式件(flipper)的软件、控制夹持臂的软件以及控制PTZ臂的软件专用于这些部件特定尺寸。

[0094] 本领域技术人员应该理解,不是所有的部件或模块都能够在不同尺寸机器人之间互换。特别地,与机架相关的模块在不同尺寸的机器人之间不可互换。更具体地,独立的头部模块、核心模块以及功率模块(下文将详细描述)是可互换的。因此,与机架、牵引、传动以及功率相关的模块是不可互换的。诸如夹持臂、PTZ(摆动(pan)、倾斜(tilt)和缩放(zoom))臂的部件和工具可向上兼容,因为为较小机器人设计的部件可用在较大的机器人上;但是较小部件可能将不能提供较大机器人的功能。

[0095] 核心模块、头部模块以及功率模块被描述为独立的,因为其都包含在一个壳体中,以便于拆卸与替换。核心模块、头部模块以及功率模块是完整模块,即可在特定机器人中轻易地拆卸与替换或可在其他移动机器人中使用的独立模块。更具体地在一个实施方式中,核心模块内部具有:处理器,通信接口卡,用于双向数据和音频、单向视频的无线收发器,以及DC-DC变换器。核心模块是机器人的“大脑”。其从控制单元接收任务指令以及分析、转化任务指令,然后发布给不同模块并且通过多个串口从这些模块接收反馈。其还向用户提供以太网接口、USB接口、RS232接口、RS485接口、RS422接口以及VGA接口,从而用户可自己开发软件以控制机器人。功率模块集成了大容量锂-聚合物电池、DC-DC变换器和控制继电器。功率模块上的输出接口连接器包括电源开关插脚、功率继电器线圈插脚、以及12VDC、24VDC、37VDC输出插脚。通过电源开关和功率继电器触点将功率输出与其他模块分离,这意味着仅在电源开关和功率继电器接通(手动地或远程地)后,12VDC、24VDC和37VDC将对外输出。机器人中的头部模块接收来自功率模块的功率输入、控制从核心模块输入/输出的信号以及将功率分配给所有的不同模块,例如包括驱动传动模块、鳍式件模块、夹持臂模块、PTZ臂模块、以及升级模块。功率和信号分配是通过头部模块内部的硬线而实现的,以最小化任何额外的处理延迟。头部模块还管理照相机、光(可见光与红外线)、画中画显示、平台干扰器、激光控制以及继电器控制。

[0096] 同样,这种移动机器人是非常有用的,该机器人的功能可通过改变部件或模块来尽兴改变。例如不同尺寸的臂可附接至相同的机器人上或不同的末端执行器可附接至相同

或不同的臂上。

[0097] 本文中描述的移动机器人的一个实施方式包括一系列模块。这样易于将履带式机器人转换成轮式机器人或从长履带式机器人转换到短履带式机器人。同样，机器人被设计成：当机器人需要修理时可移除模块并且可容易地安装替换模块。

[0098] 如图1和图2所示的移动机器人10是模块式移动机器人。机器人10包括机架12、驱动系统部件、功率部件、电子部件、臂部件及执行特定任务的其他部件。

[0099] 驱动系统部件可附接至机架12。驱动系统部件包括驱动牵引模块和驱动传动模块。参照图6，本文所示的驱动模块为长履带式牵引模块14并且还包括鳍式件模块16，传动模块为驱动传动模块18和鳍式件传动模块19。注意到，无论鳍式件模块16是否被使用，移动机器人10通常都包括鳍式件传动模块19。因此用户可容易地在短履带、长履带与鳍式件和轮式配置之间进行重新配置。但是如果用户已知将不会使用鳍式件模块16，则不需使用鳍式件传动模块19。

[0100] 功率模块20包括电池和多个电压DC-DC变换器，并提供用于整个机器人的所有电压和功率。核心模块22包括主处理器和通信系统，并且管理所有模块与控制单元的通信。其可操作地连接至其他模块。核心模块接收来自控制单元的指令，然后命令其他模块。核心模块通过驱动传动模块18和鳍式件传动模块19来控制机器人的运动。控制单元(未示出)通常远离机器人。控制单元可以是操作者控制单元或自主控制单元。控制单元还可包括具有继电器单元的混合通信系统。

[0101] 头部模块24是功率、数据与通信分配模块、以及用于外部传感器的接口模块。头部模块可操作地连接至功率模块20和核心模块22。同样，其可操作地连接至其他模块。头部模块24分配来自功率模块20的功率并且分配来自核心模块22的指令。头部模块24控制移动机器人的所有方面。例如，其将功率和操作指示传送给驱动传动模块18和鳍式件传动模块19，并且通过另一通道其将功率和操作指示传送给诸如夹持臂、PTZ臂、光纤部件等其他部件。头部模块24还将诸如12V的功率和操作指令分配给内外部传感器部件和任何武器。在本文所示的实施方式中，头部模块24配置成与具有串行通信接口的至多两个传感器通过接口连接。另外，头部模块24控制平台上的继电器输出69和70、干扰器以及激光指示器。头部模块24安装有照相机71、可见光72和IR光73。头部模块24设有多个端口。例如设有PTZ臂端口74、夹持臂端口75、电池充电器端口30、Wi-Fi端口32。PTZ臂端口74和夹持臂端口75向各自的臂提供功率供应、通信和视频信号。臂的功能限定在其单独的控制箱中。头部模块24还可包括诸如温度传感器、罗盘、倾斜计和电池功率传感器等特定的内部传感器。同样，头部模块还可具有这样的传感器，可包括气体传感器和环境传感器，如化学、生物、核和爆炸(CBRNE)传感器。可替代地，CBRNE传感器可位于单独模块中，该单独模块作为负载可附接至夹持器臂之一或机架。这些传感器可以是外部传感器或者内部传感器。

[0102] 另外，头部模块包括控制传感器的软件、用于继电器控制的软件、用于功率分配的软件、用于数据分配的软件以及用于视频选择的软件。

[0103] 机架12通常具有铰接盖36的盒体34。一对轨道38附接至机架外侧。轨道38便于部件(如夹持臂)的附接。

[0104] 在本文所示的实施方式中，一些模块为机电一体化模块，因为其具有集成的电子和机械部分。例如，鳍式件传动模块19具有电机、齿轮头(gear head)、编码器、角度位置传

感器、制动器、伺服电机驱动器、传动齿轮对、凸轮、机械结构等。大型夹持臂模块28具有集成的夹持指状件、联接件、机械结构、和武器控制接口、负载接口、角度位置传感器、编码器、齿轮头以及电机。PTZ臂26具有电机、电机驱动器以及功率调节器。

[0105] 在本文中的实施方式中，核心模块22具有多个串口，并且可根据多种串行通信协议标准进行配置。在这些串口中，核心模块中的串口连接至头部模块24，然后再连接至不同模块。在本文中的实施方式中，来自头部模块的串口连接至：驱动传动模块18和鳍式件传动模块19、夹持臂28、PTZ臂26、光纤模块。另外，其他模块或部件还可连接至串口。所有通信都由核心模块22启动。只有核心模块22可与不同模块“交谈”，而模块不可直接彼此“交谈”。但是，头部模块将信息或“交谈”传送给其他部件。核心模块通过头部模块24进行通信。本领域技术人员应该理解，头部模块24和核心模块22中端口数量可根据移动机器人的具体用途和规格而改变。

[0106] 升级模块46包括光纤线轴和线缆以及附加传感器。升级模块仅用于大中型移动式机器人中。光纤线缆连接至控制单元并与核心模块22通信。

[0107] 本领域技术人员应该理解，本文中示出并描述的模块式移动机器人的实施方式可以向用户提供关于机器人配置和所附接部件的多种选择。例如，机器人具有三种基本牵引配置：即附接至机架的长履带牵引模块14和鳍式件模块16(如图1、图2和图4至图6所示)；附接至机架的短履带牵引模块52(如图7所示)；和附接至机架的轮式牵引模块55(如图8所示)。

[0108] 同样，本文所示的模块式移动机器人的实施方式允许为了特定任务重新配置臂和负载。例如，参照图9，比夹持臂28小的替代夹持臂54可附接至轨道38并且可操作地连接至与夹持臂28相同的端口。夹持臂28或夹持臂54可附接有各种不同部件。例如，如图10中示出的干扰器(disruptor)56、激光指示器57或武器59或如图11所示的X射线58可附接至夹持臂。可替代地，夹持臂可包括可延伸的联接件60(如图12所示)。如图13所示，夹持器可包括切割器62。

[0109] 在不同尺寸的移动机器人之间多个模块是可互换的。图14示出了模块式移动机器人65的机架64，其类似于机架12但更大。机架64具有位于其中的核心模块22和头部模块24。

[0110] 参照图15和图16，如上所述，在不同移动机器人之间和在不同尺寸的移动机器人之间多个模块是可互换的。例如，PTZ臂42附接有照相机66。照相机66附接有多个螺丝68，因此通过移除螺丝可将其卸下。然后其可从PTZ臂42移动至夹持臂28，如图17所示。图18示出了具有可附接至平台12的三个臂的实施方式。这些臂为PTZ臂26、大型夹持臂28以及更小的夹持臂54。图19示出了包括转台(turret)76的实施方式，其中大型夹持臂28可附接至转台76并且PTZ臂26可附接至延伸至大型夹持臂28一侧的平台77。本文中示出的小型夹持臂54具有与其集成的转台，但是转台可以是与小型夹持臂附接的独立模块。任一个臂26、28和54都可附接至转台76，从而允许臂旋转360度。

[0111] 模块式移动机器人的实施方式还可包括可以控制特定功能的模块。例如，可操作地连接至核心模块的自动导航模块可以控制机器人的运动。自动导航模块包括处理器和多个传感器，如IMU(惯性测量单元)、倾斜计、陀螺仪以及LIDAR(激光雷达)。该模块将基于传感器反馈来计算路径并且向核心模块发出运动指令。还可有用于自动控制夹持臂的特定功能(如自动装载运动或自动布置功能)以及自动地从工具箱抓取和更换工具的模块。该自动

抓取模块包括处理器和多个传感器如力和触觉传感器。

[0112] 参照图20和图21，工具臂80示出为附接至移动机器人10。应该理解，虽然移动机器人10具有多种不同配置，但是工具臂80可附接至移动机器人10。例如，如图20所示，其可附接至长履带模式的移动机器人，或如图21所示，其可附接至轮式模式的移动机器人。当机器人为微型机器人并且重量很重要时，工具臂80尤其有用。工具臂80尤其可用于铲且收集小样本。工具臂80可以采样和挖掘到预定深度以及获得和装载沙或土样本。因此工具臂尤其适用于月球或火星勘探的机器人。

[0113] 参照图22至图24，工具臂80包括驱动系统82、螺杆与螺母组件84、铲挖组件86以及壳体88。如图19和图20所示，工具臂80可固定地安装在移动机器人10前部。可替代地，工具臂80可释放地附接至轨道38(图1至图19中示出)。

[0114] 驱动系统82可以是电机与齿轮头组件。驱动系统82固定地安装在上部安装板94上，该上部安装板94固定地附接至壳体88。螺杆与螺母组件84包括螺杆100、螺母102(如在图24中更好示出)、其中具有竖直槽98的导管96(如在图26中最佳示出)、以及固定地附接至壳体88的下部安装板104。螺母102可旋转地附接至螺杆100。螺旋销105延伸穿过螺杆100。螺旋销105延伸穿过螺杆106并且其运动限定在导管96的槽98内。导管96固定地安装在上部安装板94上。驱动系统82通过一对啮合正齿轮107(如图23中更好示出)可操作地连接至螺母102。啮合正齿轮107分别固定地连接至螺母102和驱动系统82。从而，螺杆100相对于移动机器人的机架和壳体88以大体竖直的方式进行上下移动。

[0115] 铲组件86包括一对铲106，一对联接件110以及梭式件(shuttle)108。每个铲106可枢转地附接至梭式件108。每个联接件110一端可枢转地附接至铲106而另一端可枢转地附接至托架112。托架112附接至螺杆100的底端。因此当螺杆上下移动时，托架112上下移动。梭式件108中形成有两个大体竖直的槽114。柱116从联接件110(即该联接件可枢转地附接至托架112处)向外延伸。柱108使槽114滑动地接合在梭式件108中。铲组件86作为四连杆机构，其中滑动件为螺杆100；联结杆为联接件110；滑动联杆为铲106；以及框架为梭式件108。

[0116] 壳体88设有阻挡件118，其适于与从梭式件108向外延伸的止动件120相啮合，如图23和图29中最佳示出。

[0117] 图27至图29示出了使用时的工具臂80。铲组件86具有如图27所示的打开位置和如图29所示的闭合位置。响应于螺杆100的移动，铲组件86从打开位置移动到闭合位置，这样当螺杆100向下移动时，铲组件86从打开位置移动到闭合位置。利用螺杆100作用于联接件110上的向下力，控制铲组件86打开和闭合。螺杆100相对于机架大体竖直地移动并且不转动。工具臂80具有两个自由度(DOF)。更具体地，工具臂80利用一个驱动系统82来实现两种运动，因此螺杆100提供线性运动，该线性运动通过铲106旋转而转换成旋转运动，从而铲闭合和打开。给予电机90的旋转方向，螺杆100向上或向下移动。当螺杆100向下移动时，铲组件86向下移动，并且梭式件108、联接件110以及铲106作为一个单元一起向下移动。当梭式件的止动件120由安装在壳体88上的阻挡件118阻碍或与阻挡件118相啮合时，梭式件108将停止运动。当止动件120与阻挡件118相啮合时，梭式件停止向下移动而螺杆100向下运动。电机90继续向下驱动螺杆100，其接着使联接件100在梭式件108的槽114中向下移动。这样接着使铲106挖掘，闭合然后铲起其路径中的任何物体。一旦铲完全闭合，驱动系统82就反向以向上驱动螺杆100，接着向上提升梭式件108和铲106，并因此闭合铲106。当铲106离开

围绕的样本时，电机90停止。为打开铲并放置样本，电机90反向以向上驱动螺杆100，这使得梭式件108向上移动直到与下安装板104相接触。电机90继续向上驱动螺杆100，其接着使联接件100在梭式件108的槽114中向上移动。这然后使铲106打开并释放内部样本。

[0118] 采样传感器148可以安装在铲106内部以测量是否收集到样本。距离传感器可固定地安装在梭式件108上以检测铲106与地面之间的距离。

[0119] 参照图1、图30至图34，提供了环形履带，其包括带131和多个防滑楔(cleat)136，带131具有内表面132和外表面134，多个防滑楔136附接至外表面134。附接的防滑楔136大体从带131向外凸起并且提供环形履带的大部分牵引与夹持能力。

[0120] 在一些实施方式中，防滑楔136附接至限定附接区域的外表面134和具有比附接区域更小的表面面积的接触表面138。换句话说，防滑楔136可是倒角的，这样当履带放置在平的坚固表面上时，每个倒角防滑楔136利用比附接区域更小的区域与平的坚固表面相接触。这样在转向和驱动过程中减小了履带的摩擦和振动。为保持通过使用环形履带而提供的牵引，同时还通过使用倒角防滑楔136减小摩擦和振动，防滑楔136可仅在大体与履带130运动的纵向方向平行的边缘上成斜面或成圆面。例如，因为在制造过程中在斜切之前防滑楔136呈大体矩形棱柱状，所以当在轨道的侧向上观察时该多个倒角防滑楔136都仍然大体呈矩形。例如，如图36所示，沿剖面A-A观察的防滑楔136看起来具有梯形顶部，其中该图(三维的边缘，平行于履带运动的纵向方向)中顶部拐角已被斜切，以减小接触表面138的表面积。但是，当沿侧向方向观察时，如图35所示，防滑楔136大体上呈矩形。如图31、图34和图38所示，防滑楔136还可具有位于其与环形履带外表面134之间的嵌条(fillet)140或其他加固件。防滑楔136可由本领域技术人员已知的适于应用的任何材料制成；例如，橡胶或聚氨酯。在防滑楔136由橡胶制成的实施方式中，防滑楔可具有橡胶涂层。该橡胶为了减小振动可以是软的或者为了弯曲可以是柔性的。覆层橡胶的特性可以是如下：硬度-80邵氏A，拉伸强度-13800psi，延伸率-1380％。此外应该理解，防滑楔136可以与带一体地形成。

[0121] 在环形履带的一些实施方式中，双v形引导件142附接至带131的内表面132或可能与带131的内表面132一体形成。参照图35至图40，双v形引导件142包括彼此侧向地间隔的两个平行的长型凸起部。这种侧向间隔提供了沟槽，轮、链轮146或其他履带驱动机构可位于该沟槽中并向环形履带提供驱动功力。双v形引导件142用于使驱动机构与履带130对准并且防止其从履带130中侧向滑出。应当注意，双v形引导件142可以是连续的并且绕履带130延伸，或者履带130可包括多个平行的长型凸起部(相当于如图41所示的分为多个凸起部分的双v形引导件142)。在具有多个凸起部分的实施方式中，凸出部分的形状可被设计成使得当凸起部分与驱动机构的侧部啮合时，驱动机构不会由凸起部分阻碍，例如通过位于凸起部分上的圆面或斜面边缘。此外，在这种实施方式中，凸起部分可纵向地间隔开，使得在操作过程中，驱动机构总是使至少一部分凸起部分位于其任一侧上。此外应当理解，双v形引导件142可包括与带131相同或不同的材料，并且其可与带131一体形成或附接至带131。具有C形剖面的双v形引导件142的材料是热塑性聚氨酯模塑料。其物理和机械性能是：比重-1.136，扯断强度-6200psi，断裂伸长率-600％，撕裂强度-434PLI，肖氏硬度-70。

[0122] 在一些实施方式中，履带130可具有位于防滑楔136之间的孔144，如图35至图40所示。孔144成形为允许驱动链轮146的齿148穿过其中并且与其相啮合以向履带传送力，如图40所示。环形履带的这种实施方式防止驱动机构在履带内的旋转滑动，因此与简单的滑轮

驱动机构的相比可以传送更多的力。此外，与添加有用于啮合链轮齿148的内部突耳的环形履带相比，具有孔144的环形履带可以更轻。应当理解，具有孔144的实施方式不需要包括移除一些材料的履带130；例如，履带可包括两个一半的带，它们通过防滑楔136彼此附接以形成履带。此外应该理解，可在关键位置加强履带130，例如在孔144或防滑楔136附近。履带130可由本领域技术人员已知的适用于环形履带的任何材料制成；在非限制性示例中，可包括橡胶或氨基甲酸乙酯或钢

[0123] 在该实施方式中，带131是NITTA公司制造的TTA-1500型带。带131具有2.4mm的厚度。其主结构包括尼龙芯和尼龙织物。其特性包括：拉伸强度：450N/mm，断裂延长率：25％，标准延伸率：1.0％，工作负载在1％-22.5N/mm之间，温度范围：-20到+80℃，摩擦系数(钢)：0.2至0.3。

[0124] 在具有连续的双v形引导件142的环形履带的实施方式中，每个凸起可成形为使得其增加履带的面积的二次矩，以在具有非常小的附加质量(mass)的情况下提供增强的刚度。在这种实施方式中，应该理解，高且细长的凸起每附加质量提供最高的刚度。在带131包括孔144以与链轮齿148相接合的实施方式中，双v形引导件142可加强履带以补偿由于孔144而减少的刚度。此外，倒角防滑楔136也可被包括并设置成加强具有孔144的履带区域。在这种实施方式，除其基本功能外，双v形引导件142为履带提供纵向弯曲刚度，防滑楔136为履带提供侧向弯曲刚度。

[0125] 履带130包括带131、具有防滑楔136的橡胶覆层、以及V形引导件142。图31至图34示出了带131与橡胶覆层粘附在一起，这是构造履带130的第一步。第二步是在结合的带131与橡胶覆层上穿孔144。最后一步是将V形引导件144附接在带131上，以制成如图35至40所示的履带130。

[0126] 如图42至图44所示，移动机器人提供为包括柔性尾部150，其能够在从移动机器人向外延伸的各个方向上布置(deploy)。在一些实施方式中，柔性尾部150能够在机器人前面和后面布置。柔性尾部150附接至布置机构。在这种实施方式中，尾部150可以通过可致动旋转方式安装至机器人，使得在致动时，尾部150将其布置方向从位于机器人前面改变到位于机器人后面，或反之亦然。尾部150可以绕与机器人的侧向方向平行的轴线旋转，在这种情况下，当转变时尾部150翻过机器人；或尾部150可绕与从机器人向上的方向平行的轴线旋转，在这种情况下，尾部150可在机器人的前面、后面、向机器人的侧面以及它们之间的任何位置布置。柔性尾部150可以本领域已知的任何方式安装到机器人，例如但不限于，安装在板、轮、链轮、齿轮或轴上，并且可以拆卸。

[0127] 柔性尾部150可由任何材料组成、具有任何长度，并且可具有任何横截面形状，使得其可作为悬臂梁来支承自己。通常，柔性尾部的长度(L)取决于：(1)平台的结构参数，如前后滑轮/轮之间的中心距(C)和滑轮/轮的直径(D)；(2)待越过的障碍物的高度(H)，或待攀爬的楼梯跨度(L')。例如，如果要设计成攀爬具有L'跨度的楼梯，柔性尾部长度L可基于以下公式获得，

[0128] $$L \geq \sqrt{(2L' - \frac{C}{2})^2 + \frac{D^2}{4}} \qquad (1)$$

[0129] 在非限制性示例中，尾部150可由具有足够强度、刚度以及柔性的任何材料制成。该材料可以是金属材料，如合金、弹簧钢等；也可以是非金属材料，如玻璃纤维或橡胶，并且

该尾部可具有矩形、圆形或椭圆形的截面。例如在图42至图44所示的实施方式中，柔性尾部150具有矩形截面并且由弹簧钢制成。尾部150附接在机器人的中心处(纵向地)。在该实施方式中，尾部150的宽度远大于其厚度；当受到侧向负荷(如当机器人转向)时，这样可防止尾部150侧向弯曲并且将其保持在相对于机器人的优选布置方向上。应当理解，本文中提及的相对尺寸用于教导目的而非限制目的。

[0130] 柔性尾部150为移动机器人提供了许多优点。例如，当尾部被布置或其布置方向通过旋转而改变时，由于其通过变形而吸收能量的能力，这可通过快速方式实现。因此，当柔性尾部150撞击坚固表面时，其将具有非常低的折断自己或其所附接的机器人的可能性。在类似方案中，在柔性尾部150在机器人前面布置并且机器人向前驱动的情况下，如果尾部150与坚固物体(例如壁或巨石)相接触时，其将不会将冲击能直接传递给机器人，而是通过变形来吸收该冲击能。如果机器人下落或倒下时，柔性尾部150可吸收一些冲击能，因此对倒下的机器人进行缓冲。此外，柔性尾部150可以改变机器人的质心，并且当支承在不平坦的地形上时柔性尾部150与该不平坦的地形相适应，从而在不平坦的地形上更稳定的保持机器人。

[0131] 应当注意，当被布置在某些配置(如图42至图44所示)中时，柔性尾部150可增加机器人在转向过程中所受到的摩擦。在机器人包括柔性尾部150和如上所述的环形履带的实施方式中，通过使用位于环形履带上的倒角防滑楔136而减少摩擦。在这种实施方式中，当操纵机器人时，在不损失运动效率的情况下，可实现柔性尾部150的优点。

[0132] 当附图所示的移动机器人为机器人时，本领域技术人员应该理解，包括本文所述的柔性尾部和/或环形履带的移动机器人可以是任何数量的机器人。在非限制性示例中，移动机器人可以是机器人；建筑机器人，如反铲挖掘机、推土机或起重机；农业机器人，如收割机或拖拉机；军事机器人，如坦克；或在雪上移动的机器人。

[0133] 总之，本文所描述的系统涉及模块式移动机器人、在模块化移动机器人中使用的可互换特征、与模块式移动机器人一起使用的工具臂以及与其一起使用的环形履带。没有按比例绘制附图并且对一些特征进行了放大或缩小以示出具体特征的细节，并且为防止软化新的方面，可能省去了相关部件。因此，本文所公开的特定结构和功能细节不应解释为限制性的，而仅是作为权利要求的基础。为了教导与非限制目的，本文所描述的系统涉及模块式移动机器人在其中使用的可互换特征、与其一起使用的工具臂以及与其一起使用的环形履带。

[0134] 如本文所使用的，术语“having(具有)”、“comprises(包括)”、“comprising(包括)”、“includes(包括)”以及“including(包括)”应理解为包括性的和开放的，而非排他性的。特别地，当在该说明书(包括权利要求书)中使用时，术语“comprises(包括)”、“comprising(包括)”、“includes(包括)”和“including(包括)”及其变型是指包括特定的特征、步骤或部件。这些术语不应解释为排除其他特征、步骤或部件的存在。

[0135] 如本文中所使用的，当结合尺寸范围、混合物的组成或其他物理特性或特征使用时，术语“substantially(大体)”、“about(约)”和“approximately(约)”指的是涵盖可能存在于尺寸范围的上下限中的微小变化，从而不排除平均来说大多数尺寸都被满足但是在统计意义上尺寸可能存在于此区域外的实施方式。

[0136] 如本文所使用的，并列连词“和/或”是指相邻的词语、短语或从句的逻辑或和逻辑

与之间的选择。特别地，短语“X和/或Y”应解释为“X和Y之一或两者全部”，其中X和Y为任何词语、短语或从句。

[0137] 如本文所使用的术语“可操作地连接至”指的是两个元件可直接连接或间接连接，即这两个元件通过其它元件连接。

[0138] 如本文所使用的，词语“纵向”，当使用在与履带的运动方向有关的环境中时，指的是当履带装有一个或多个轮、链轮、滑轮或其他旋转驱动机构时，将履带放置在表面上并且致动这些驱动机构时，单个履带将沿行的方向或轴线。如本文所使用的，词语“侧向”，当使用在与履带的运动方向有关的环境中时，是指平行于当放置在履带内并被致动以驱动履带时的一个或多个轮、链轮、滑轮或其他旋转驱动机构的旋转轴线的方向或轴线。如本文所使用的，词语“纵向”和“侧向”，当使用在机器人的背景中时，分别指的是机器人将沿行且不转向的方向或轴线，和沿垂直于上述轴线的移动表面的方向或轴线。如本文所使用的，术语“斜面”或变型指的是位于边缘或拐角处的倾斜表面，而不暗含倾斜表面与任何其他表面形成的任何对称或特殊的角度。

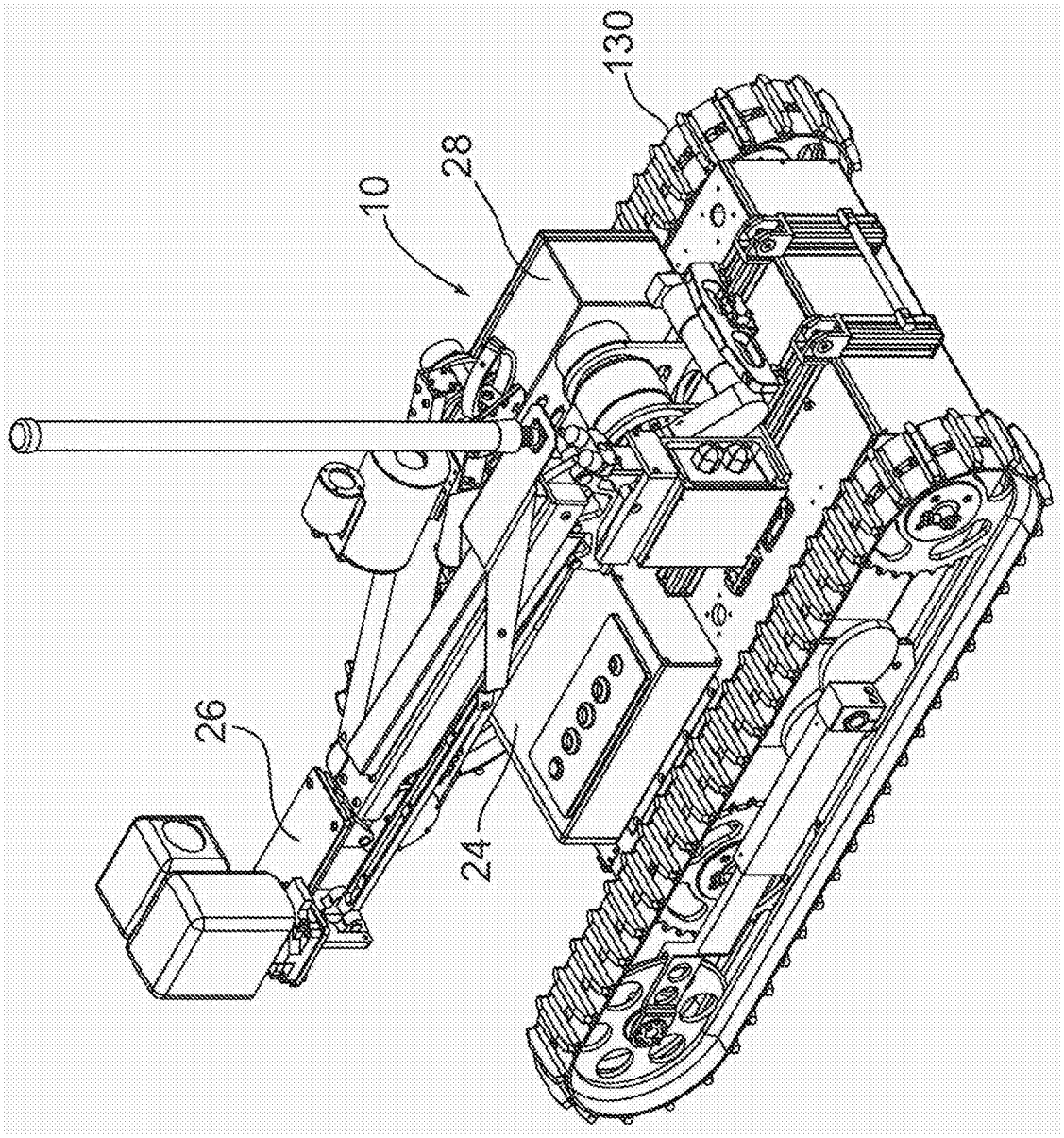


图1

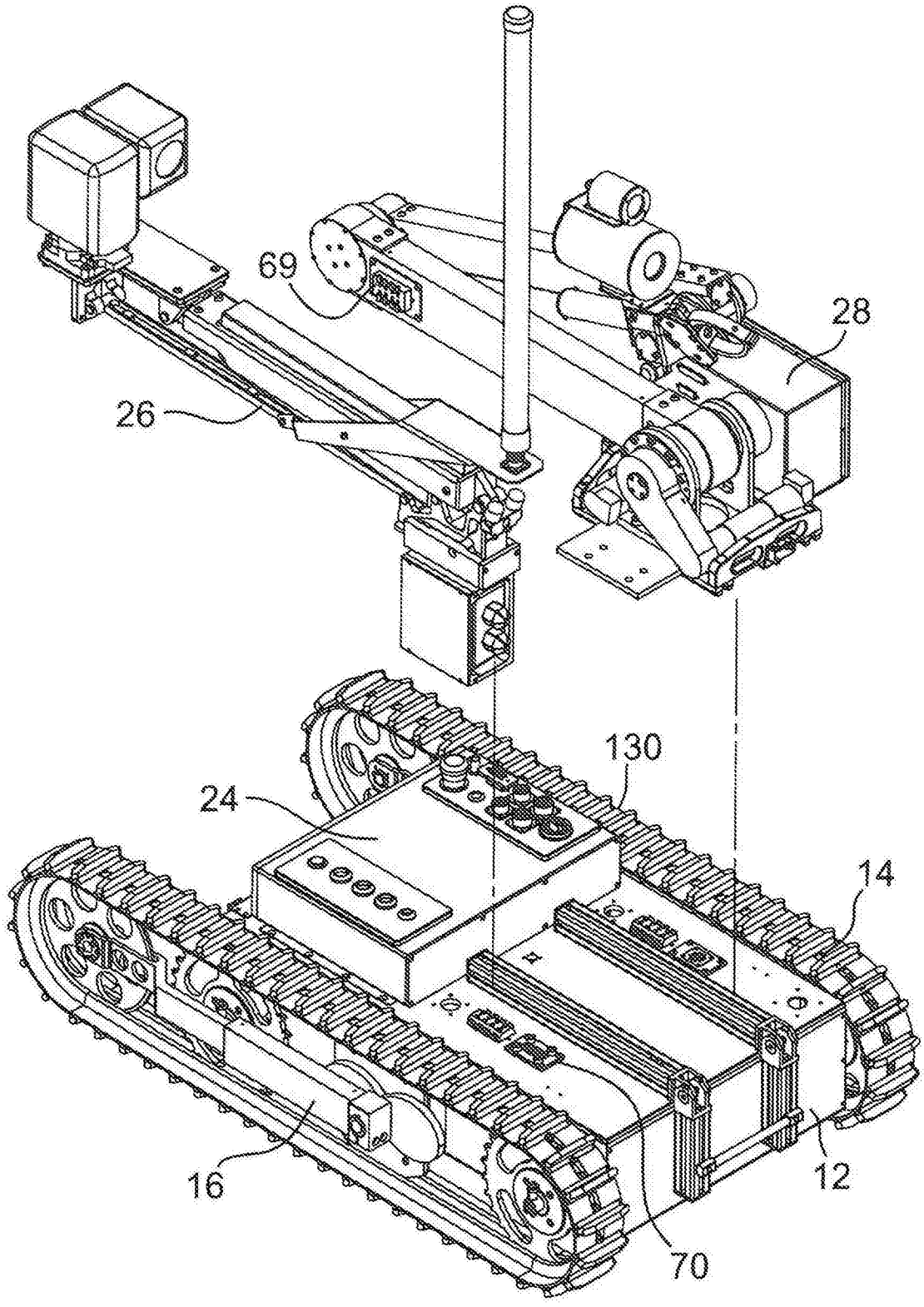


图2

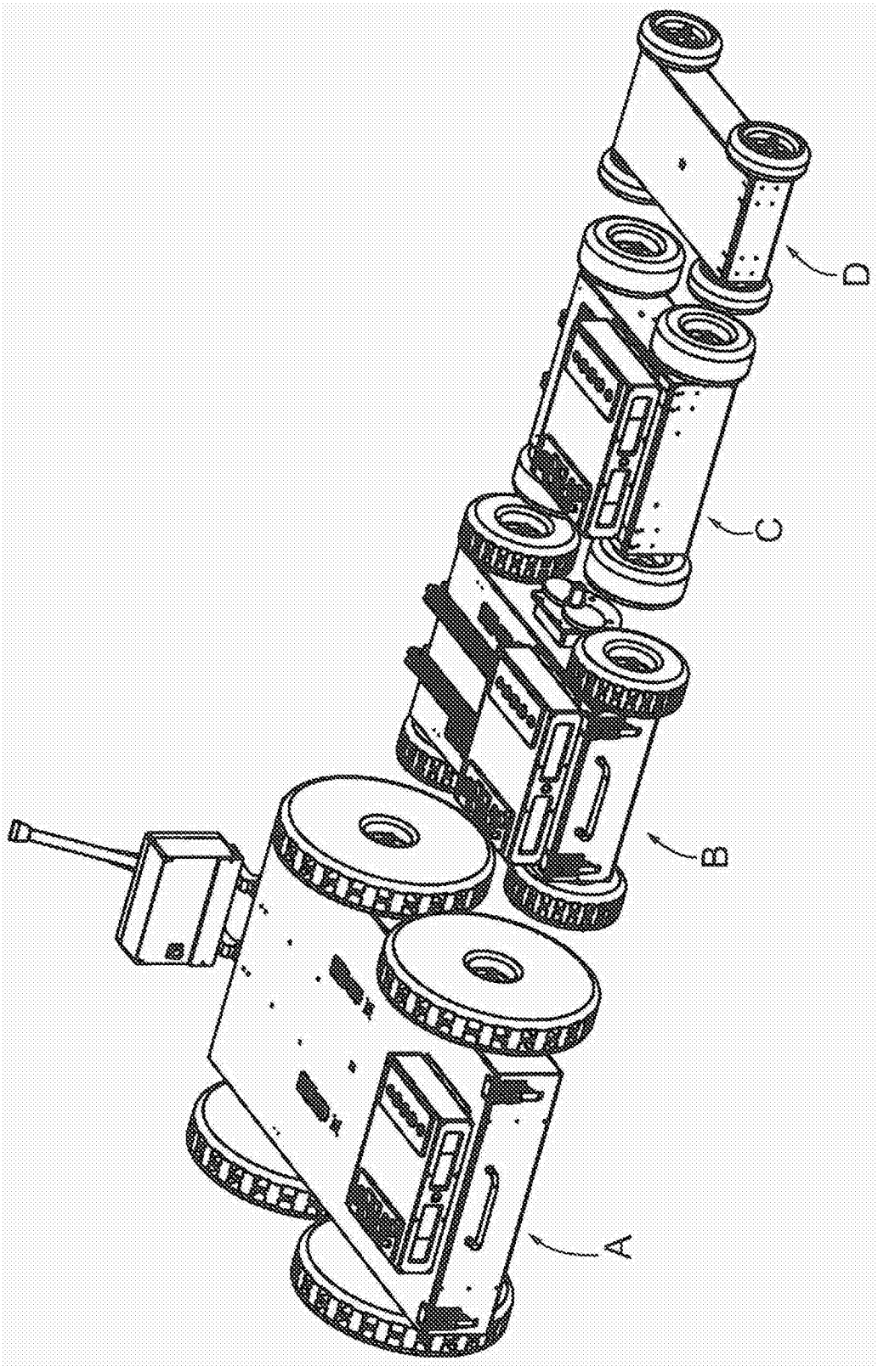


图3

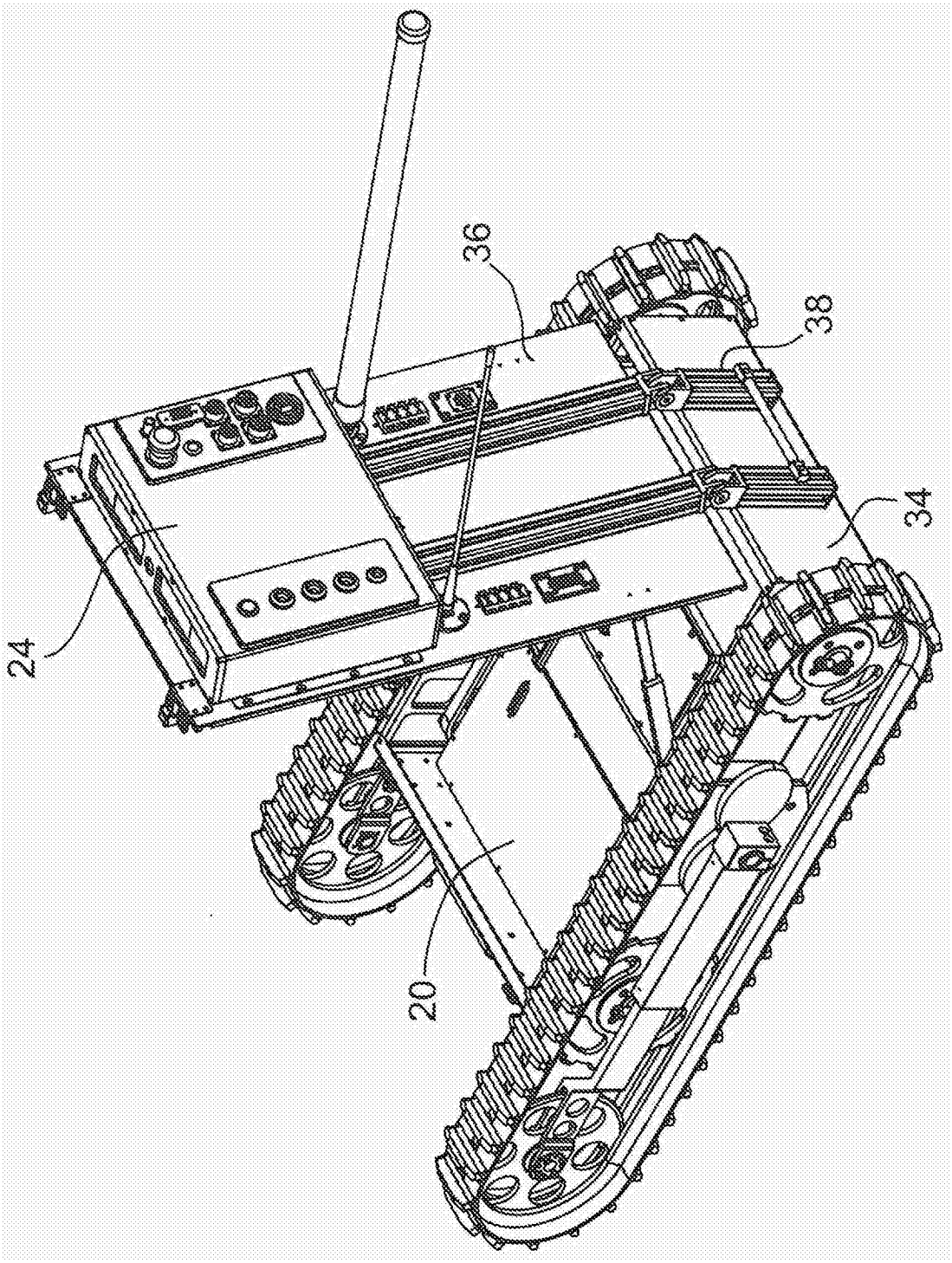


图4

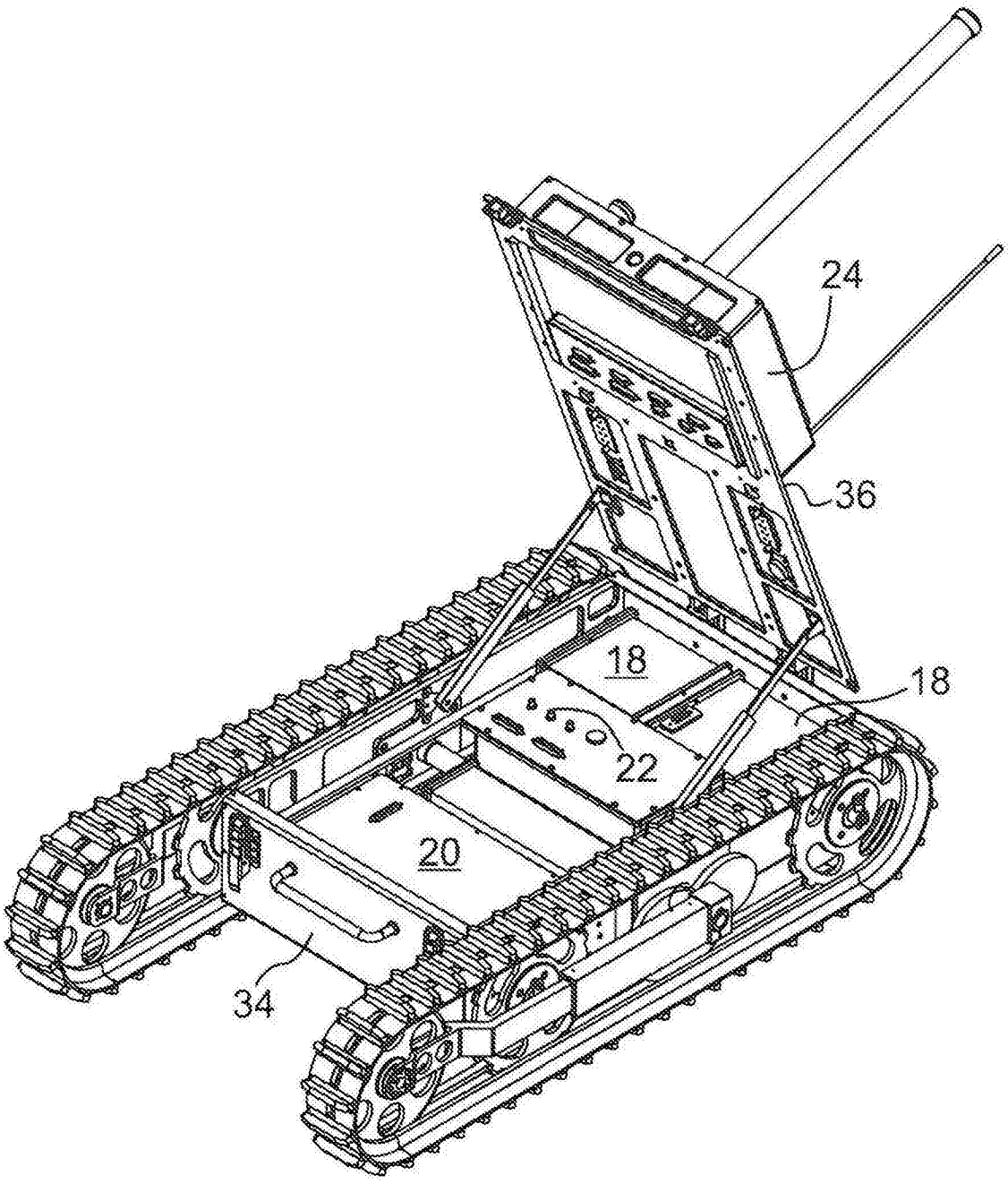


图5

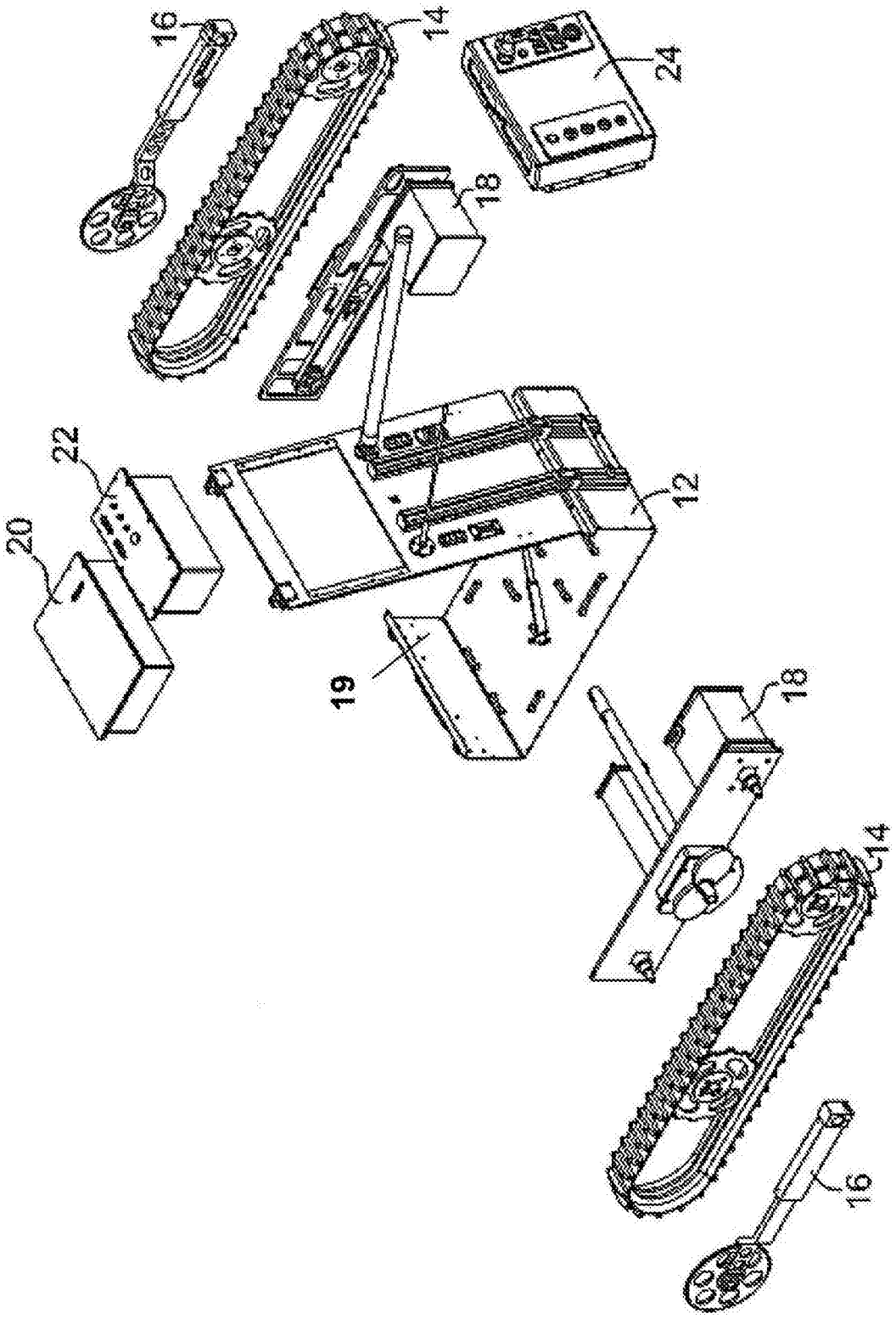


图6

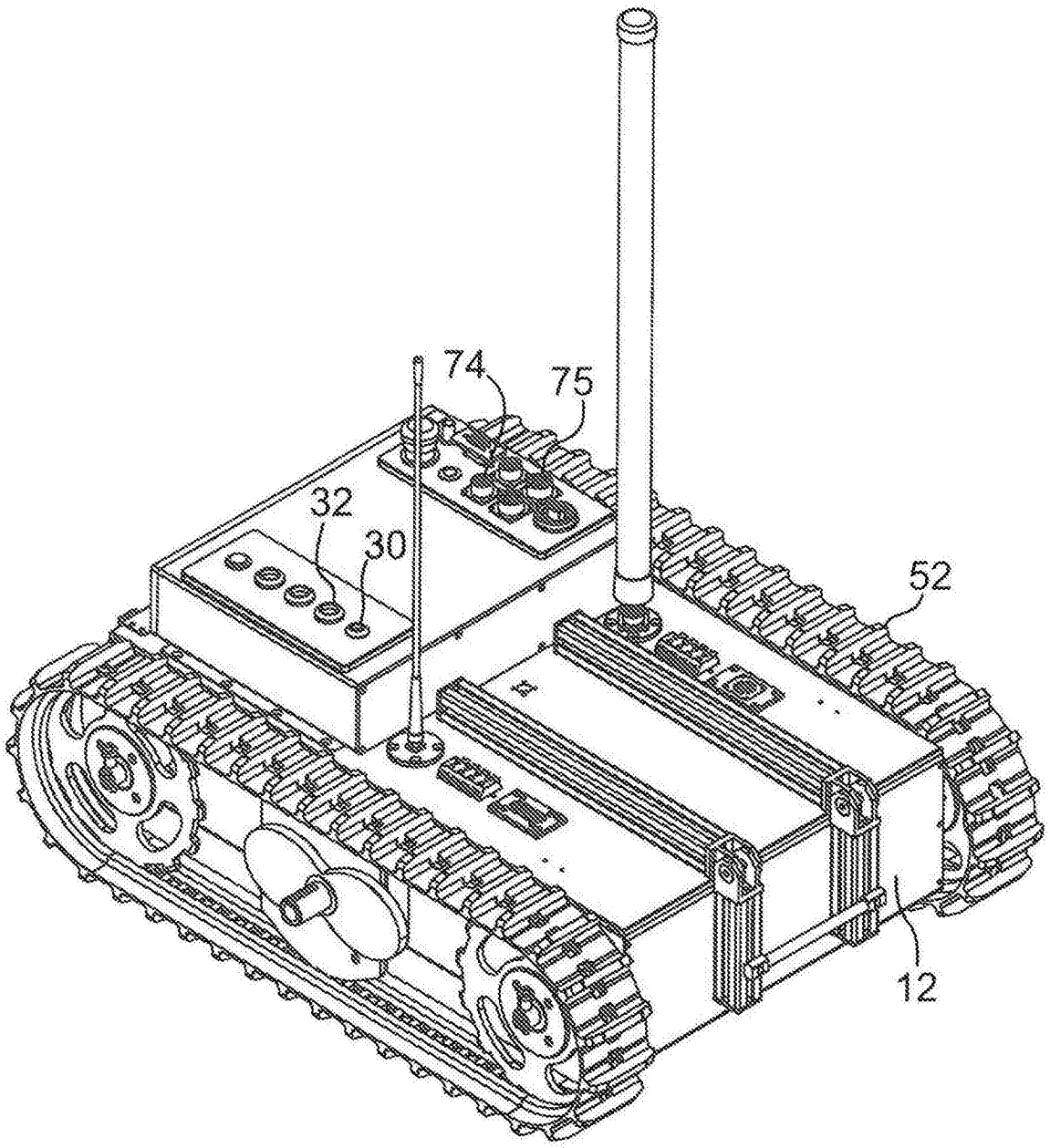


图7

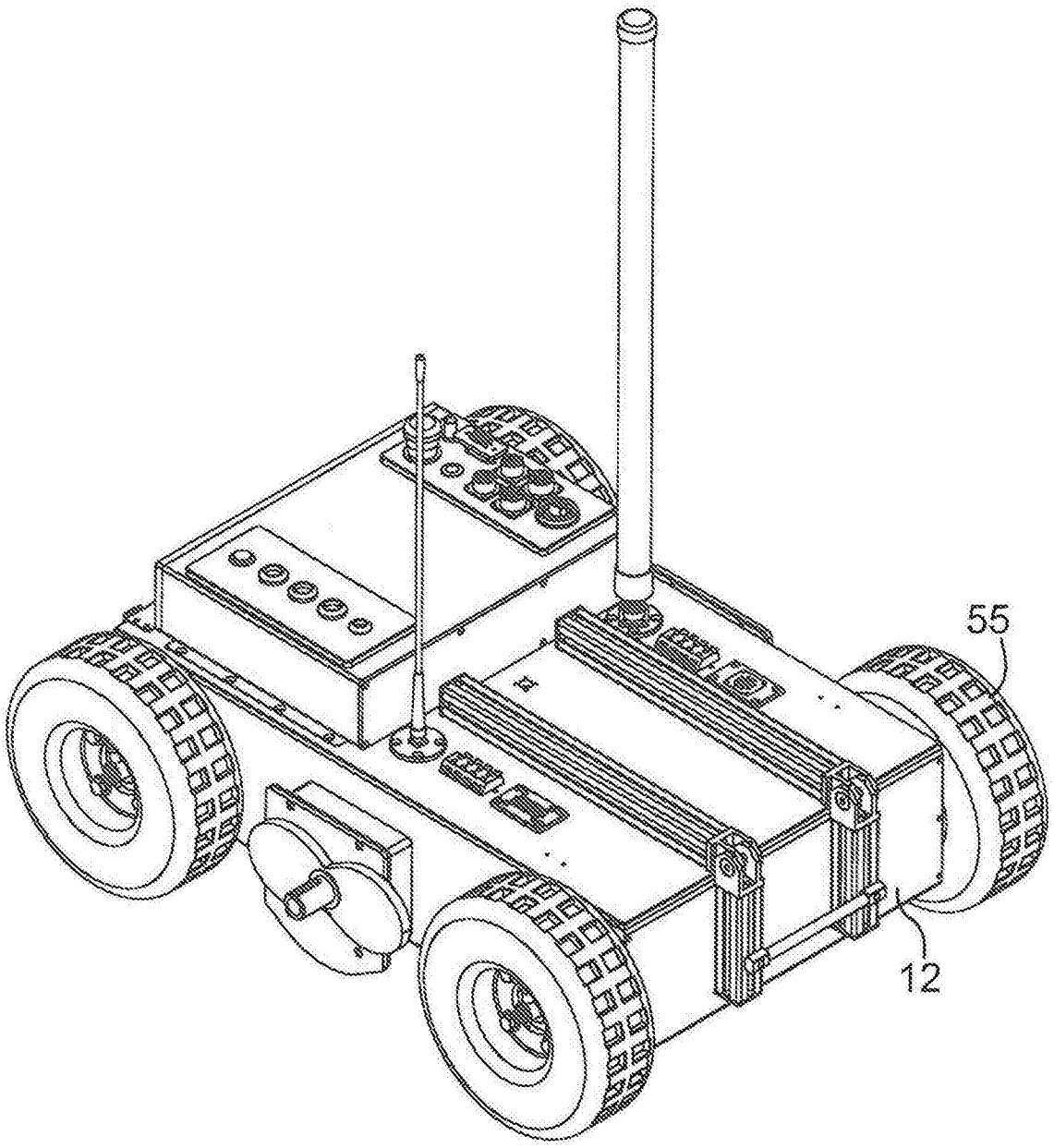


图8

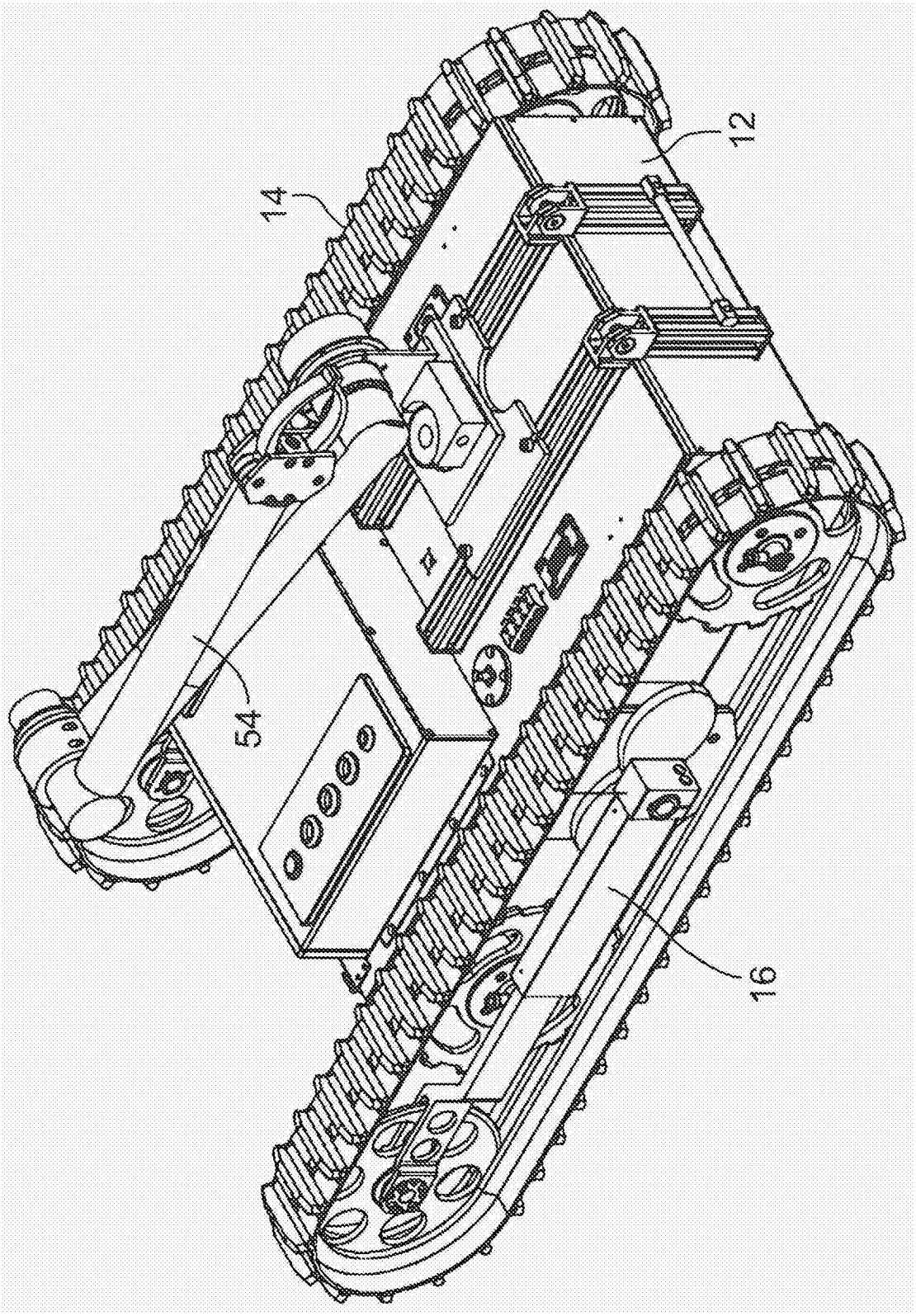


图9

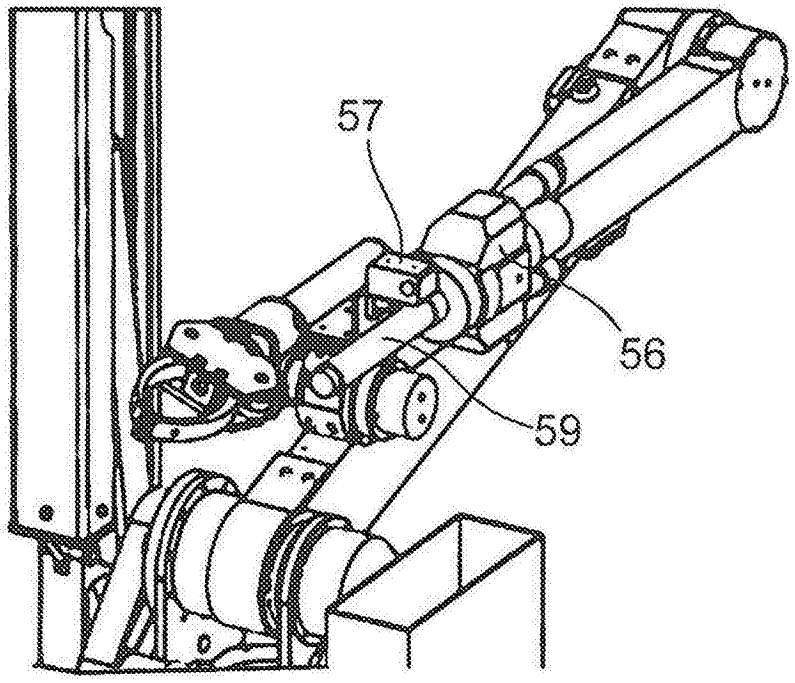


图10

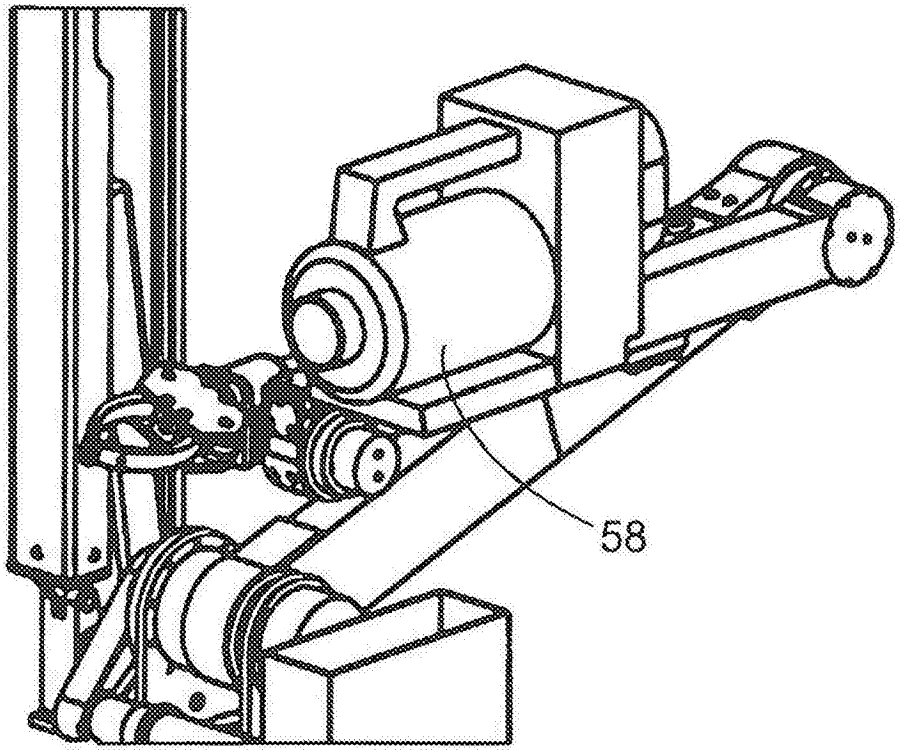


图11

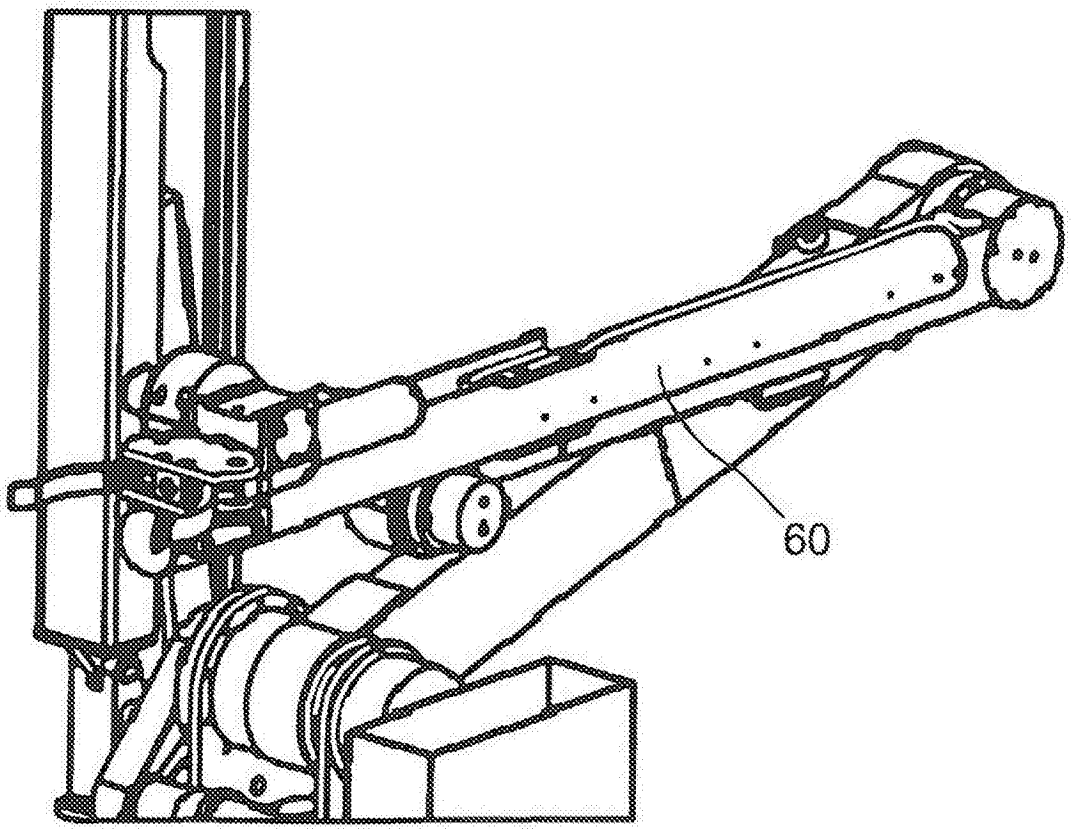


图12

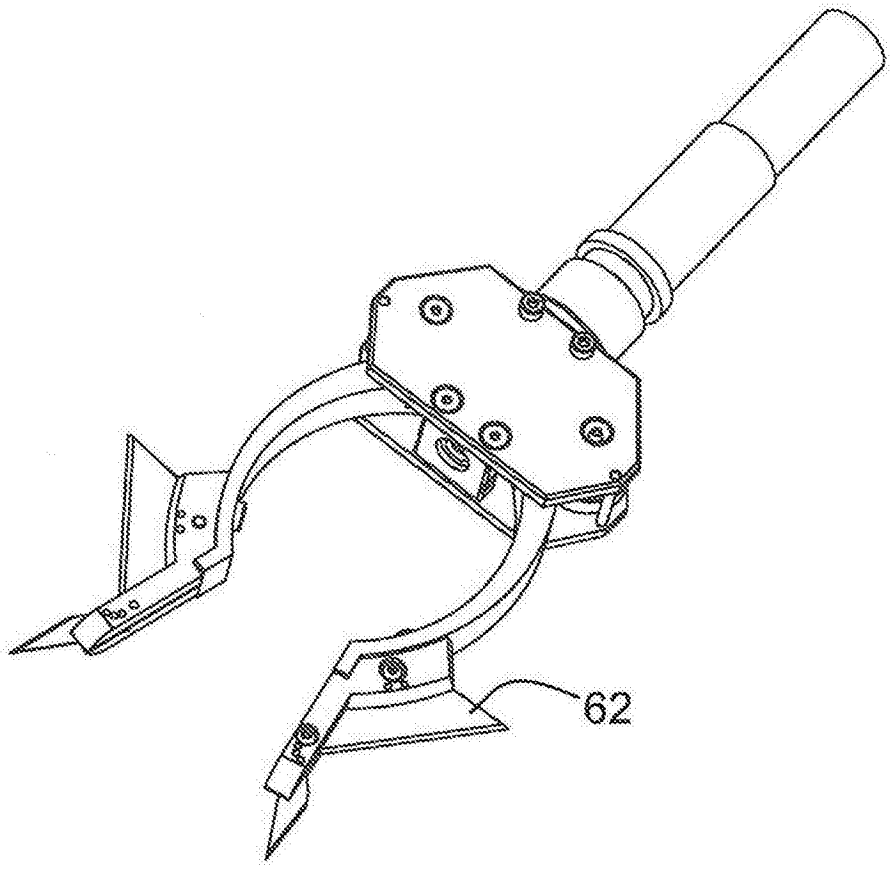


图13

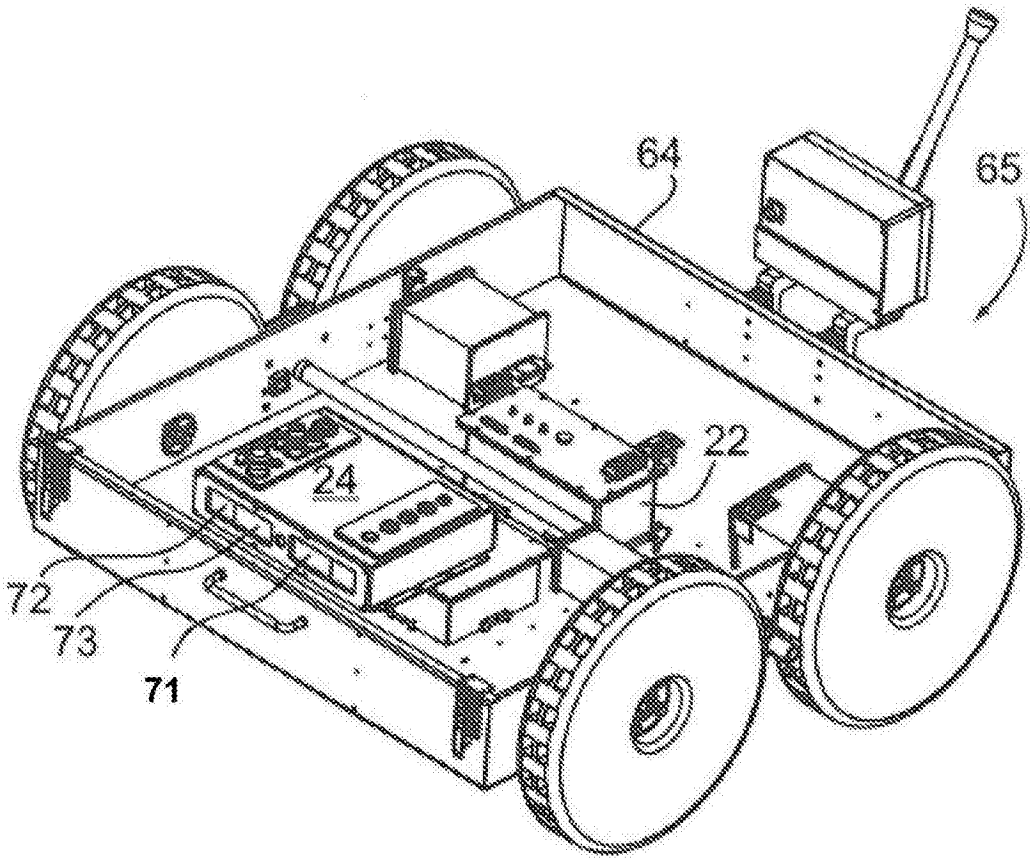


图14

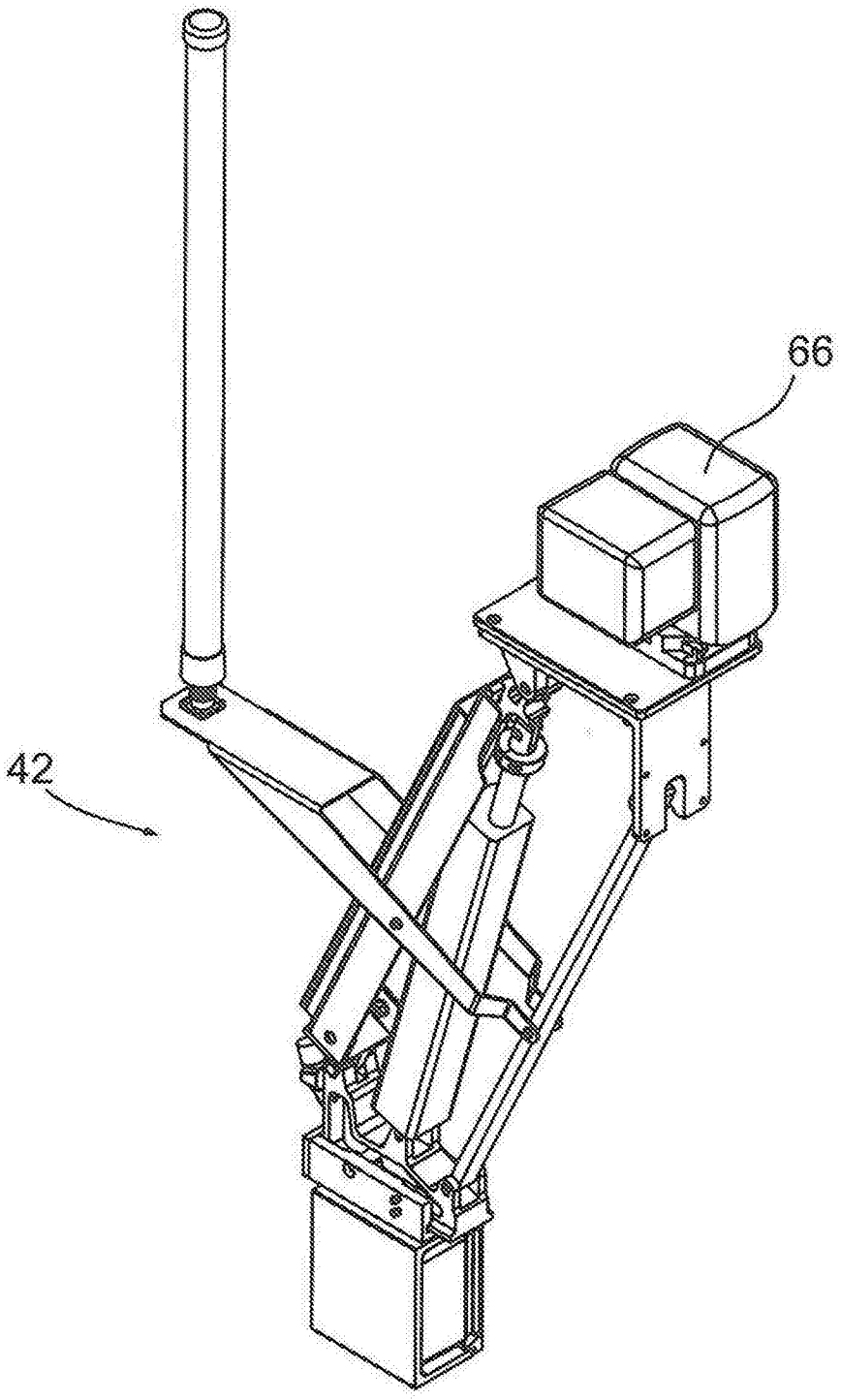


图15

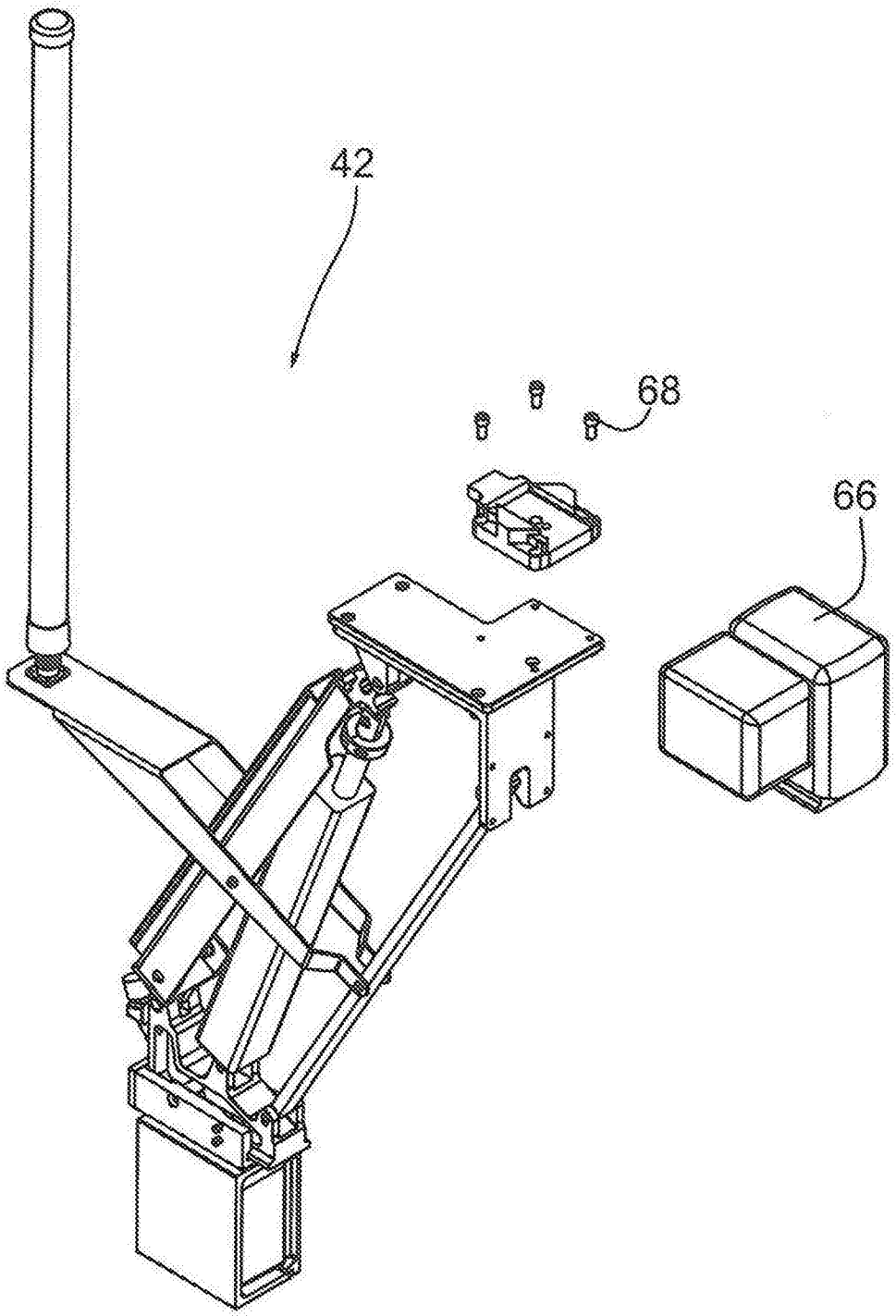


图16

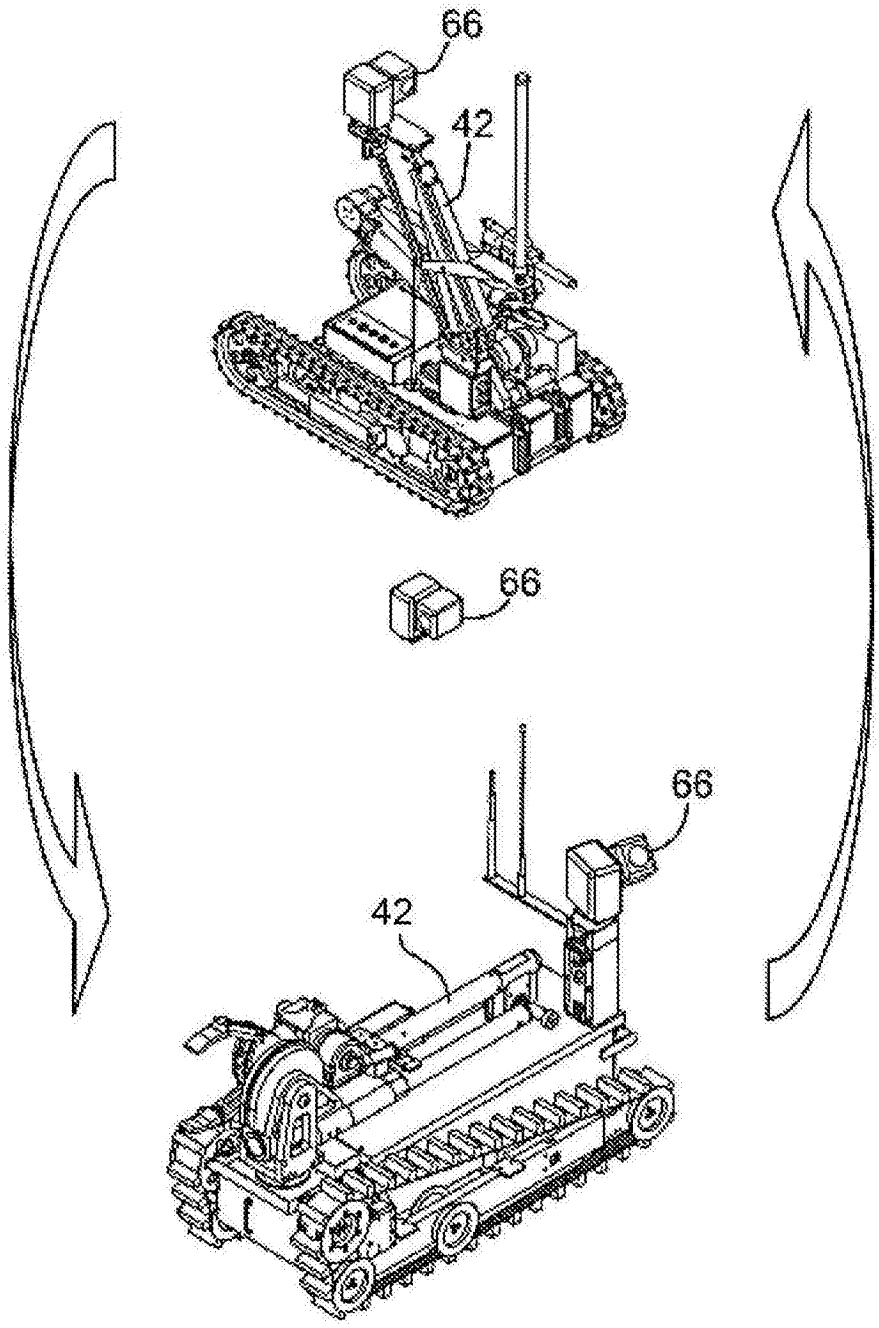


图17

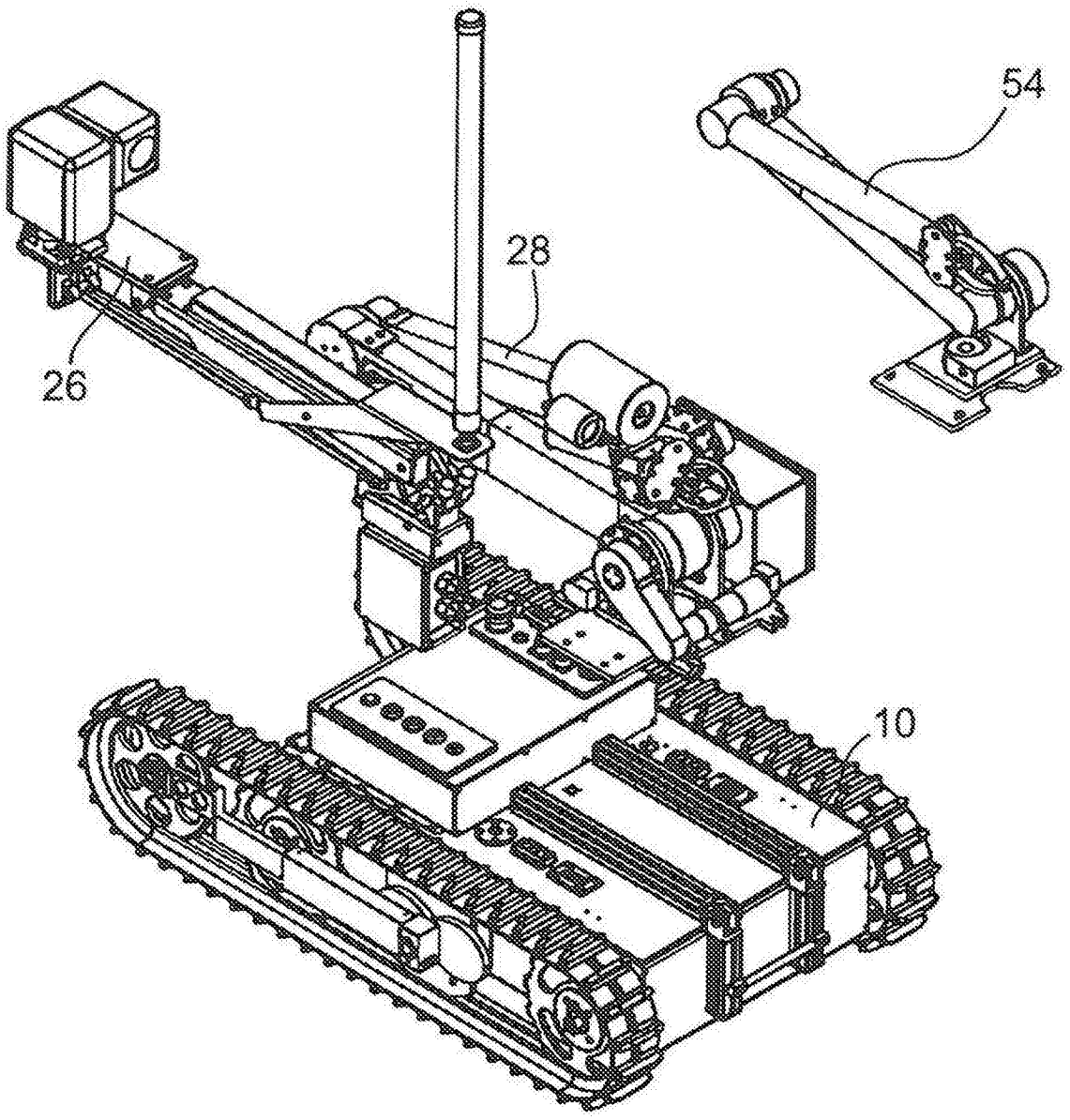


图18

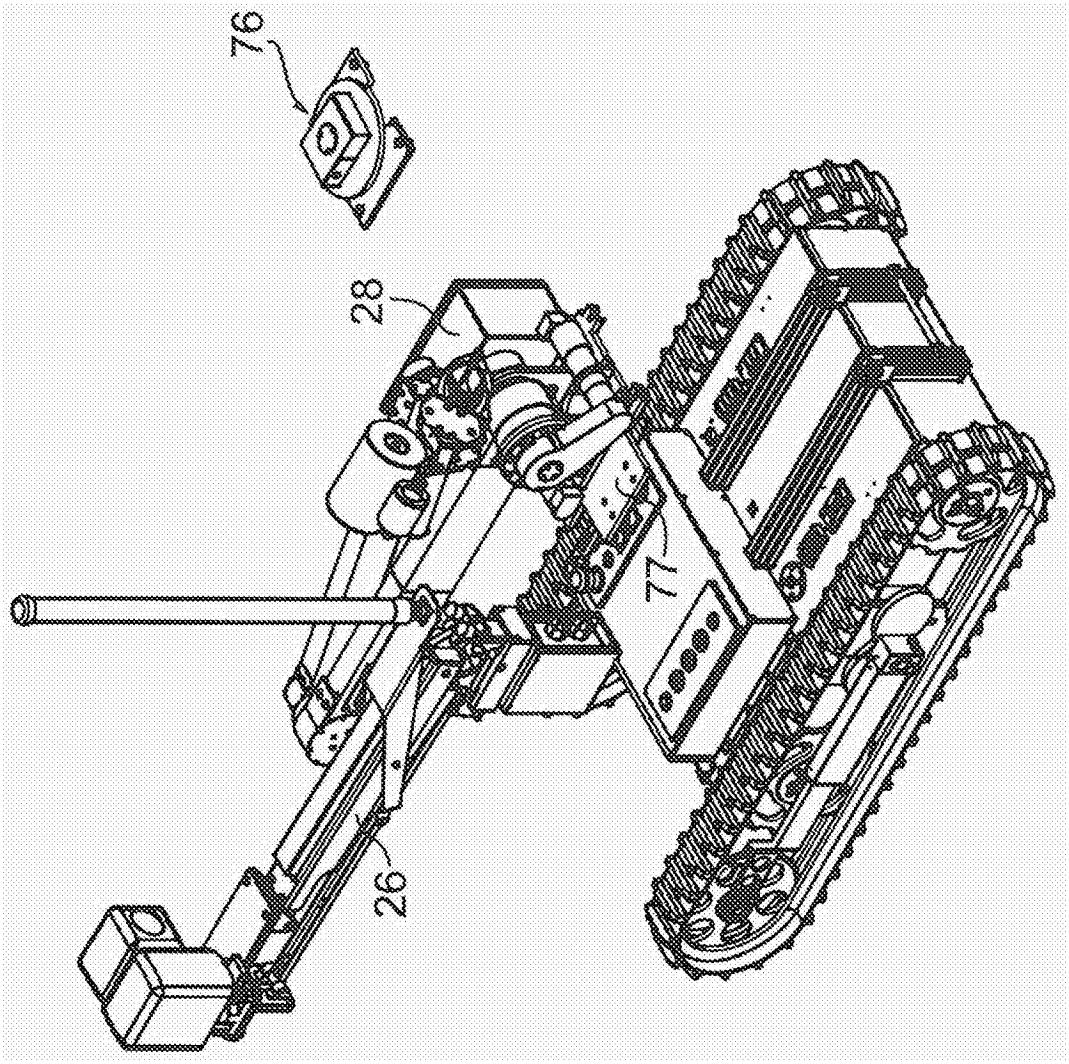


图19

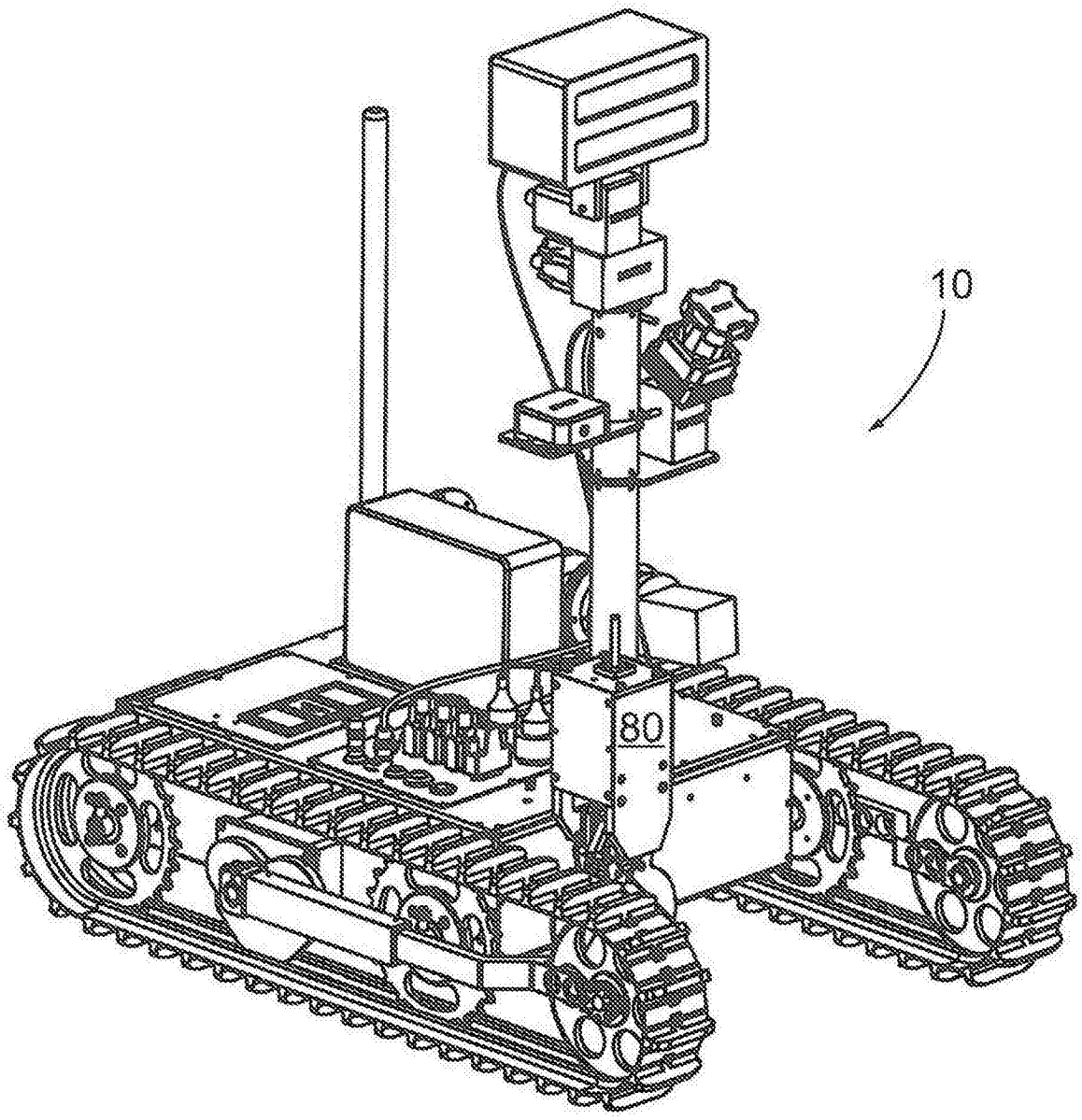


图20

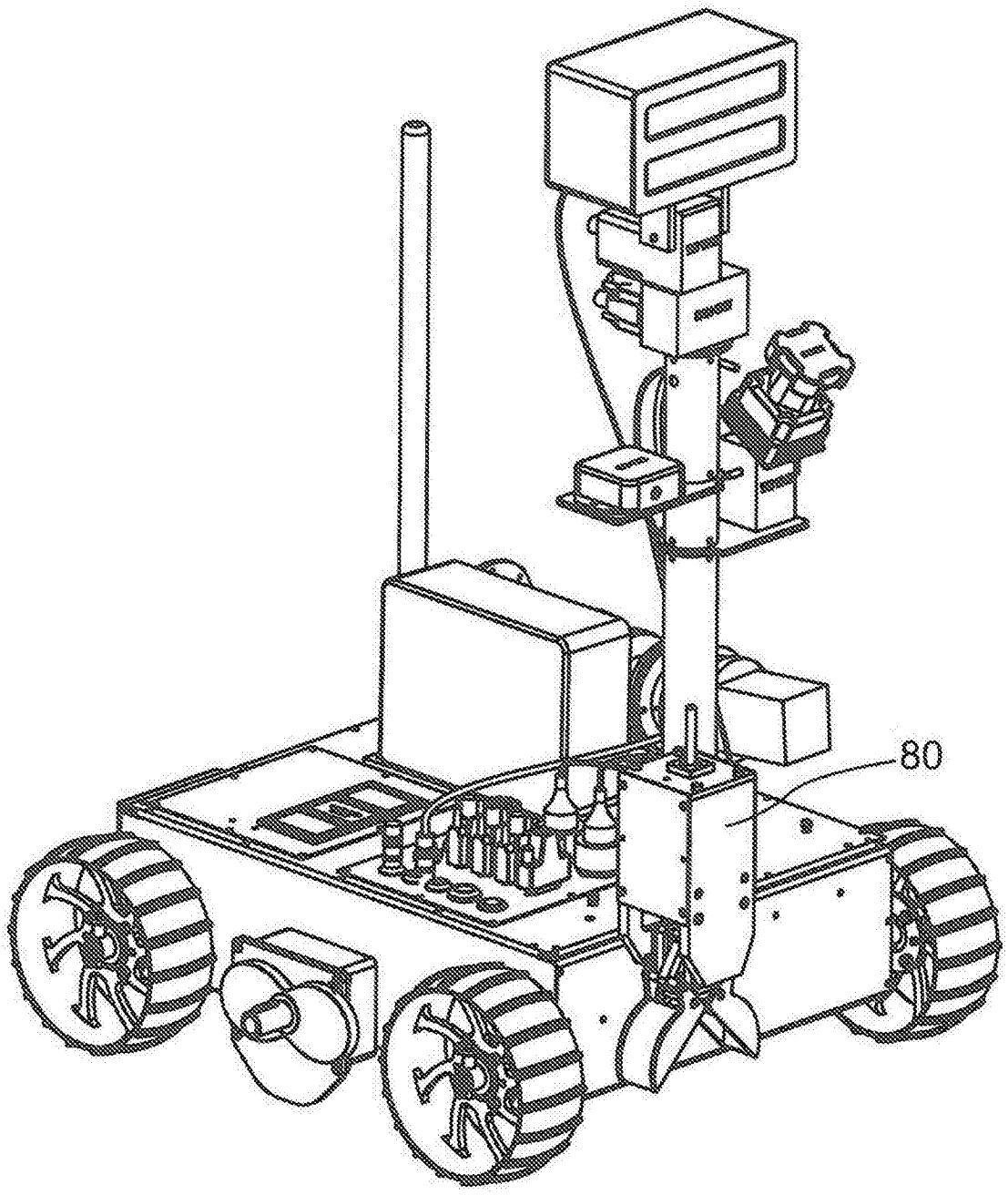


图21

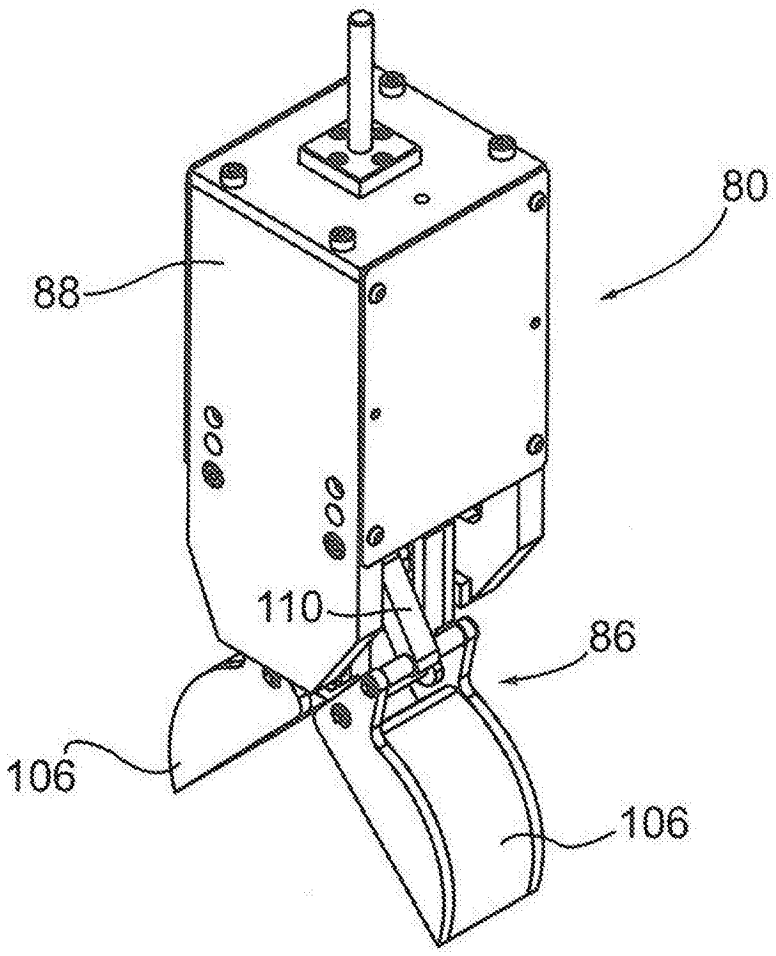


图22

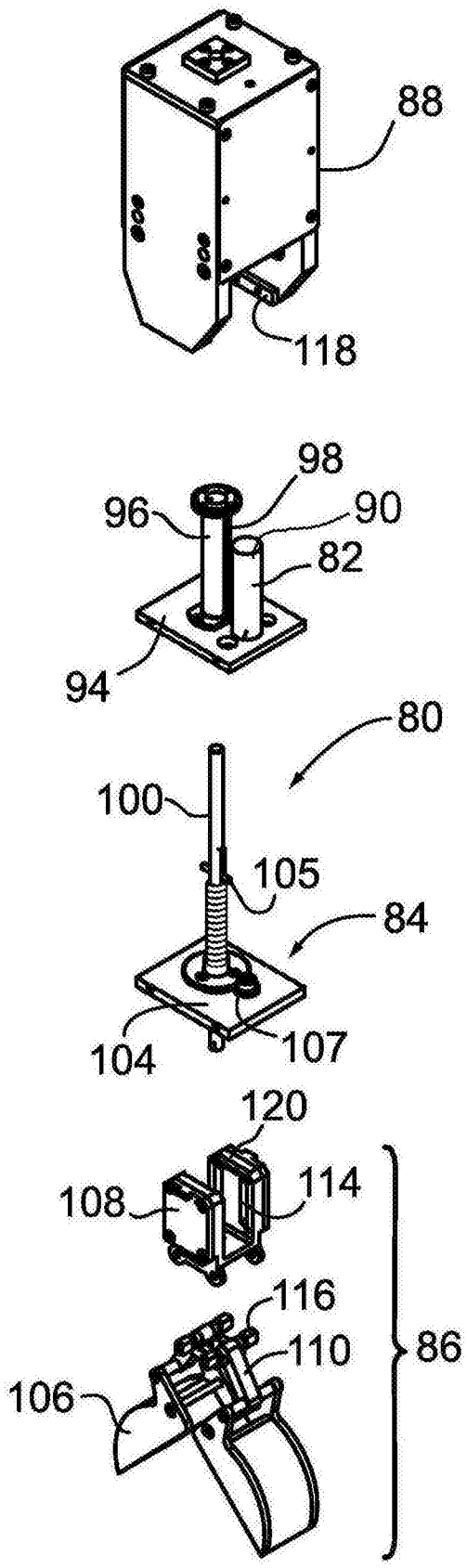

88
118
98
96
90
82
94
80
100
105
84
104
107
120
108
114
116
110
86
106

图23

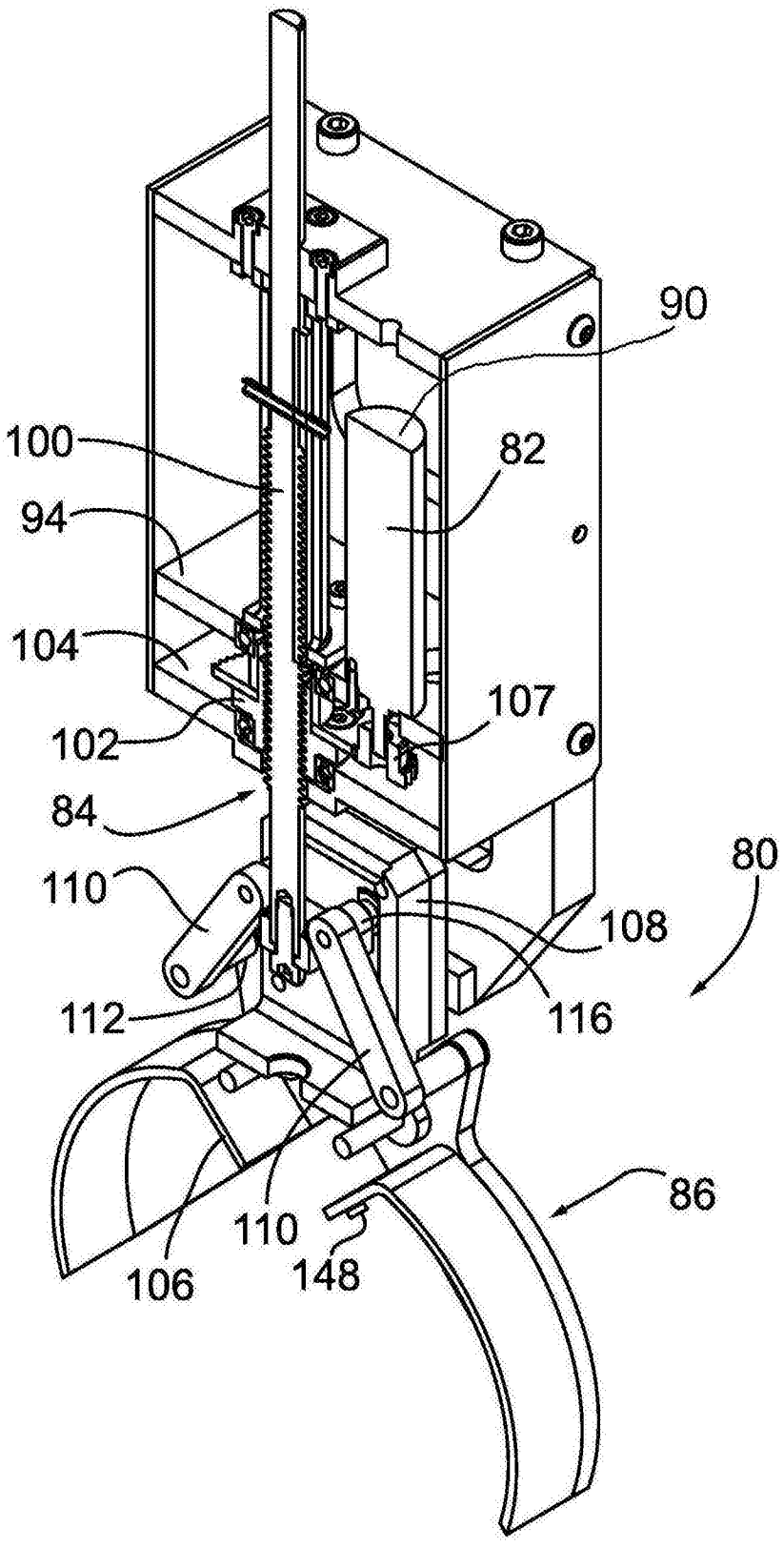


图24

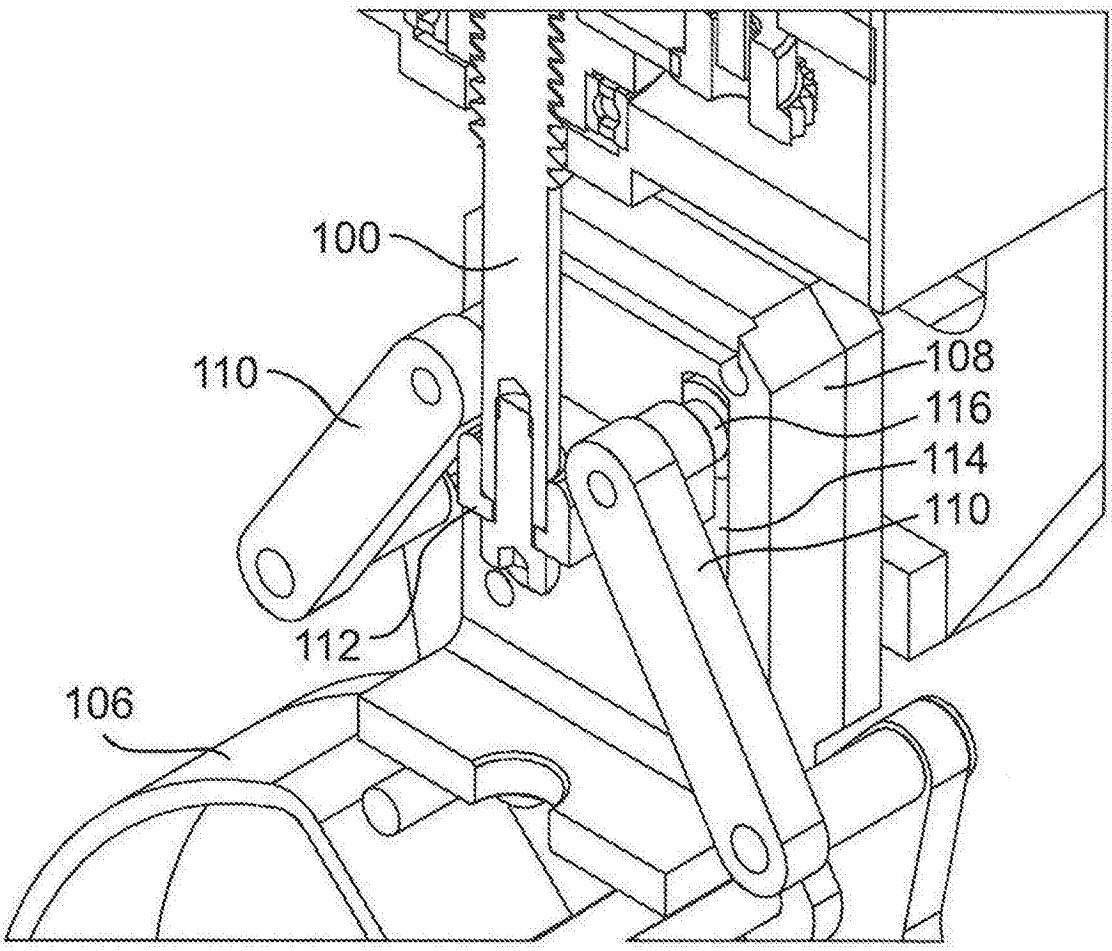


图25

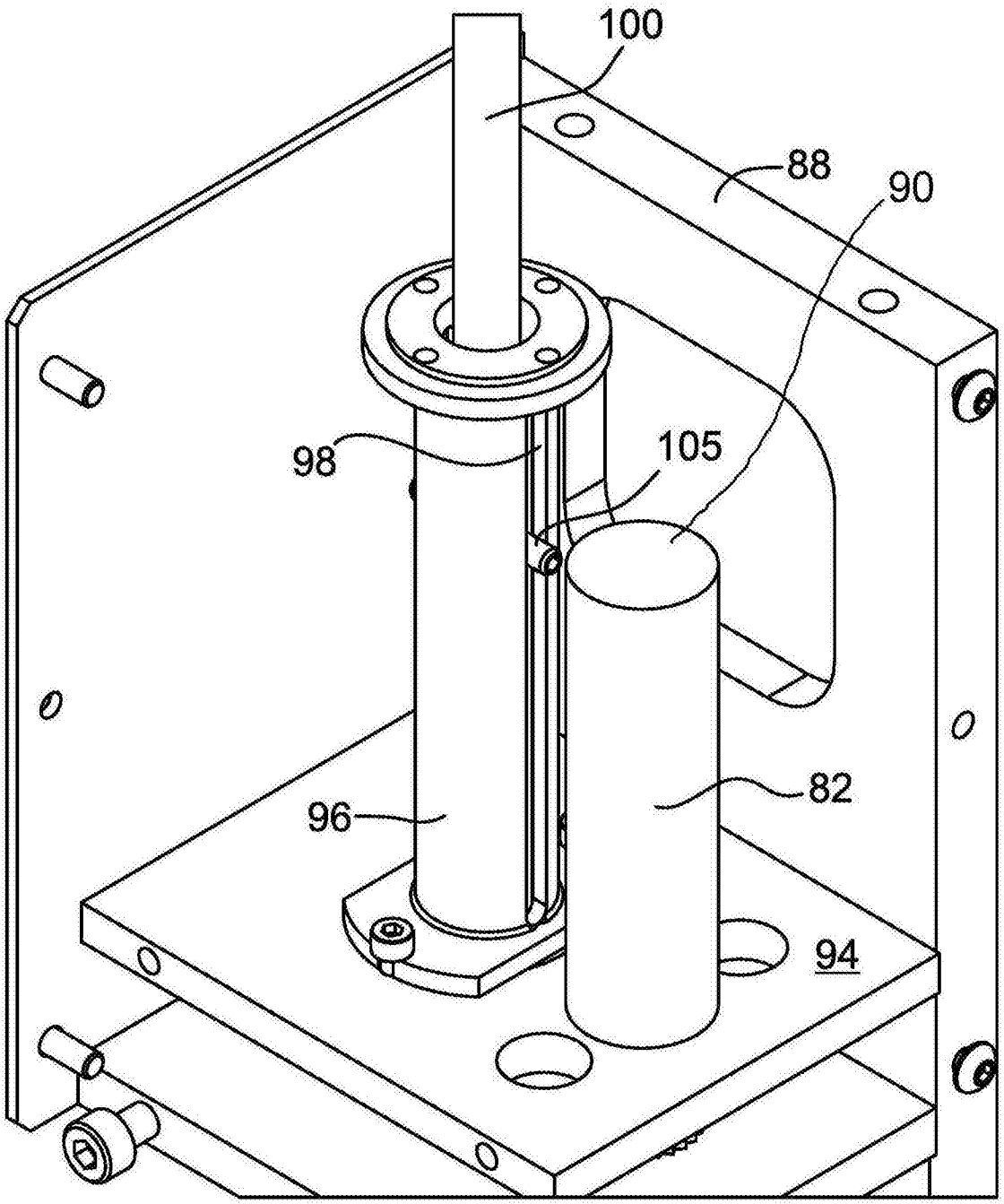


图26

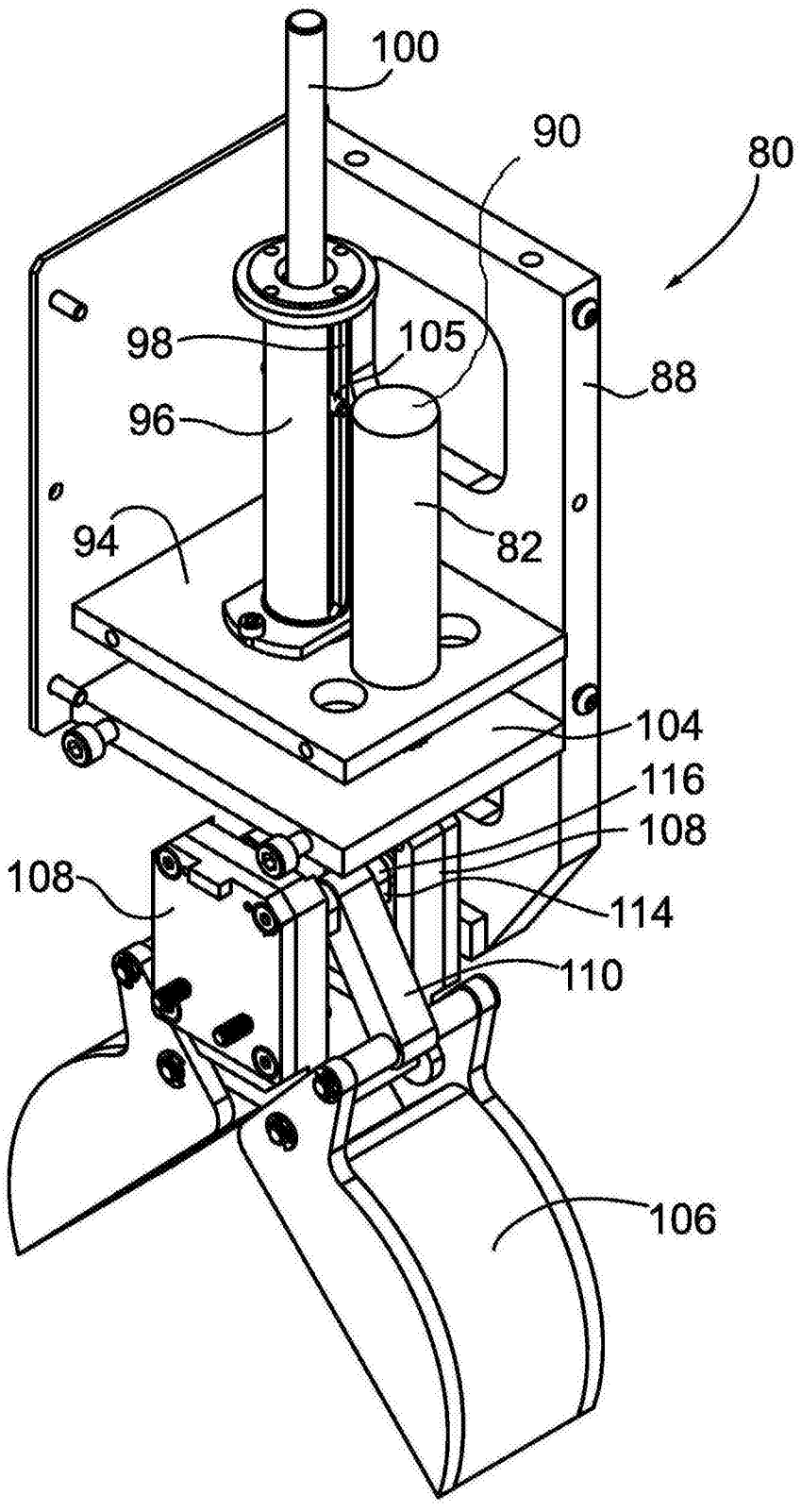


图27

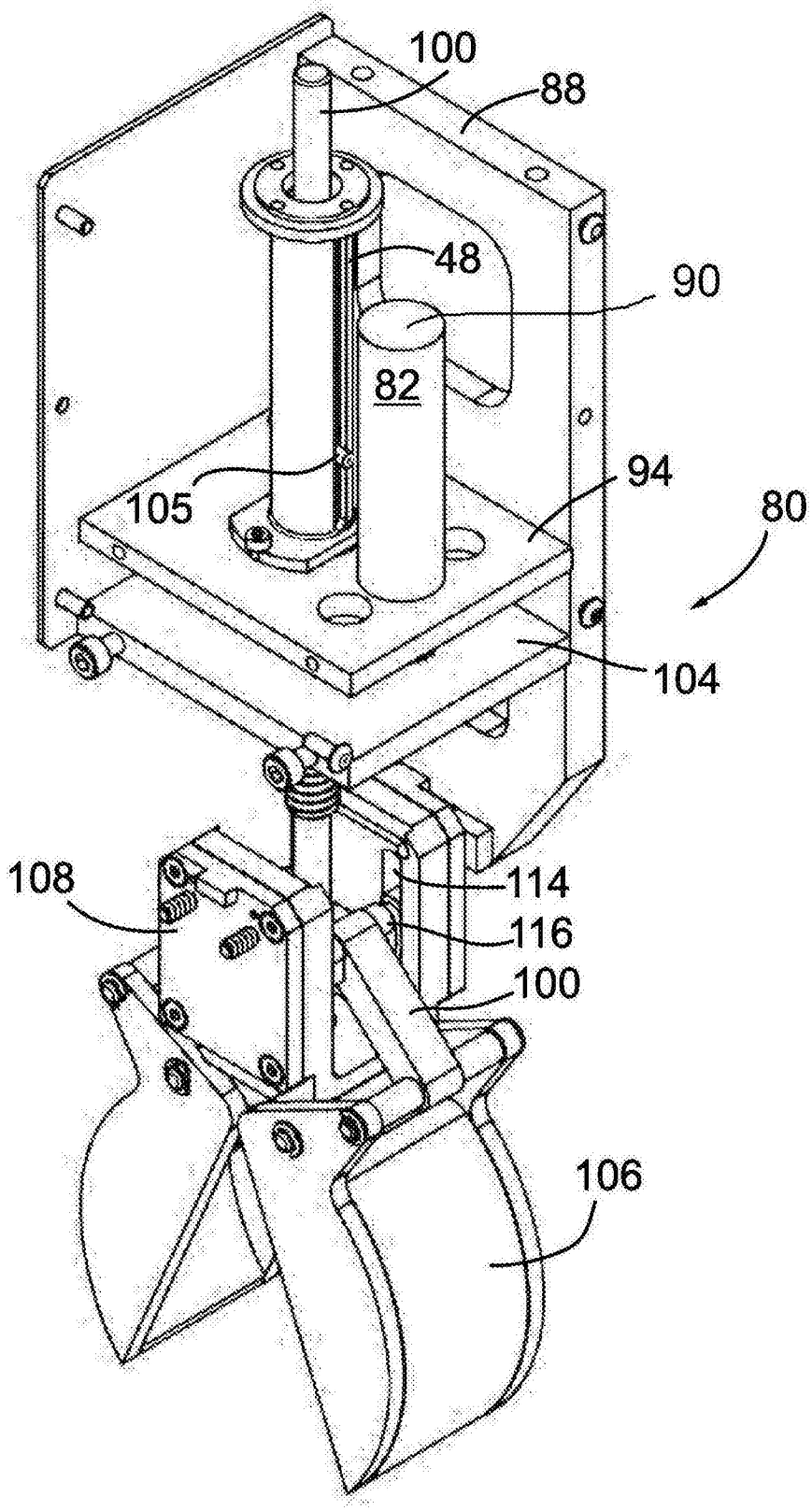


图28

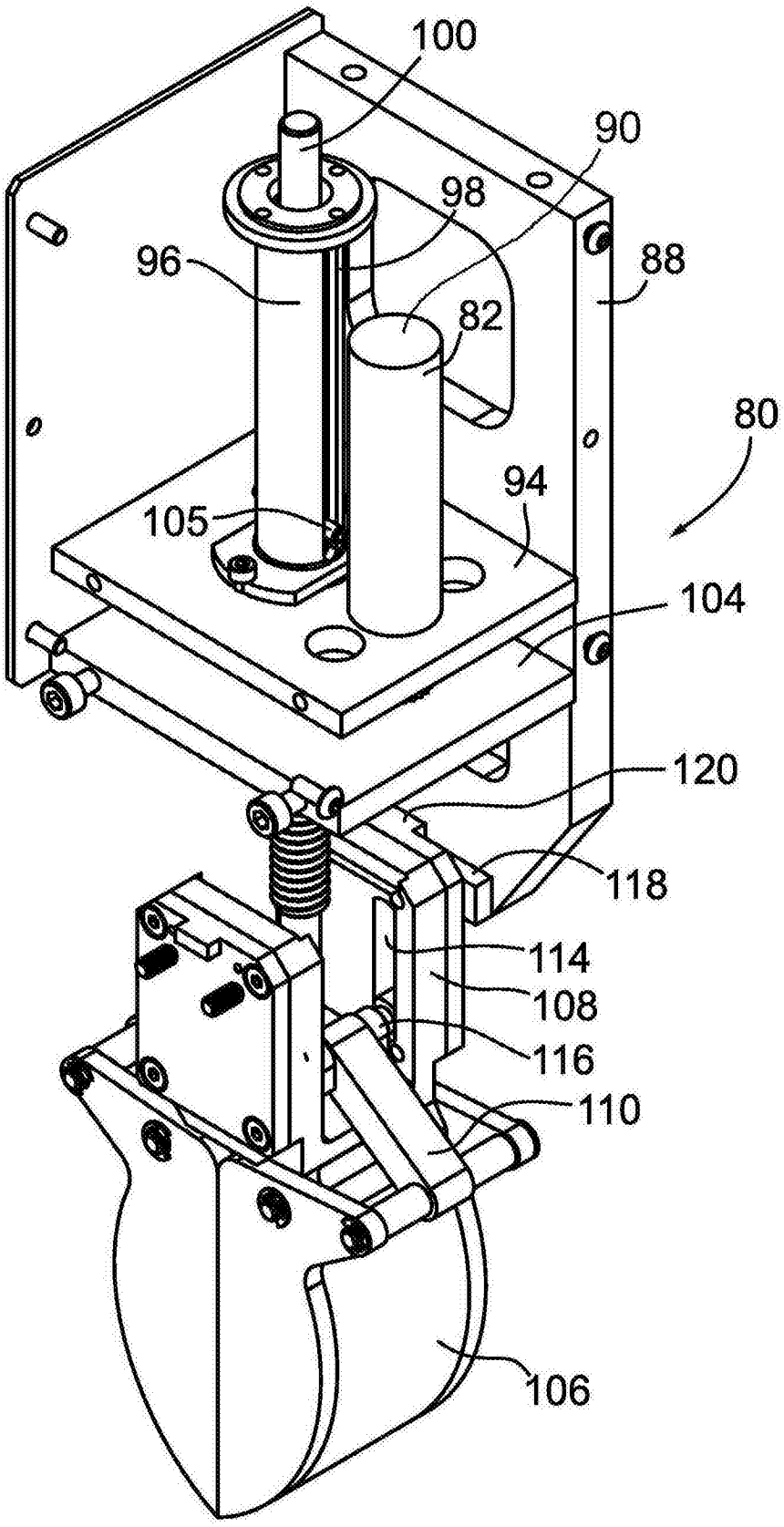


图29

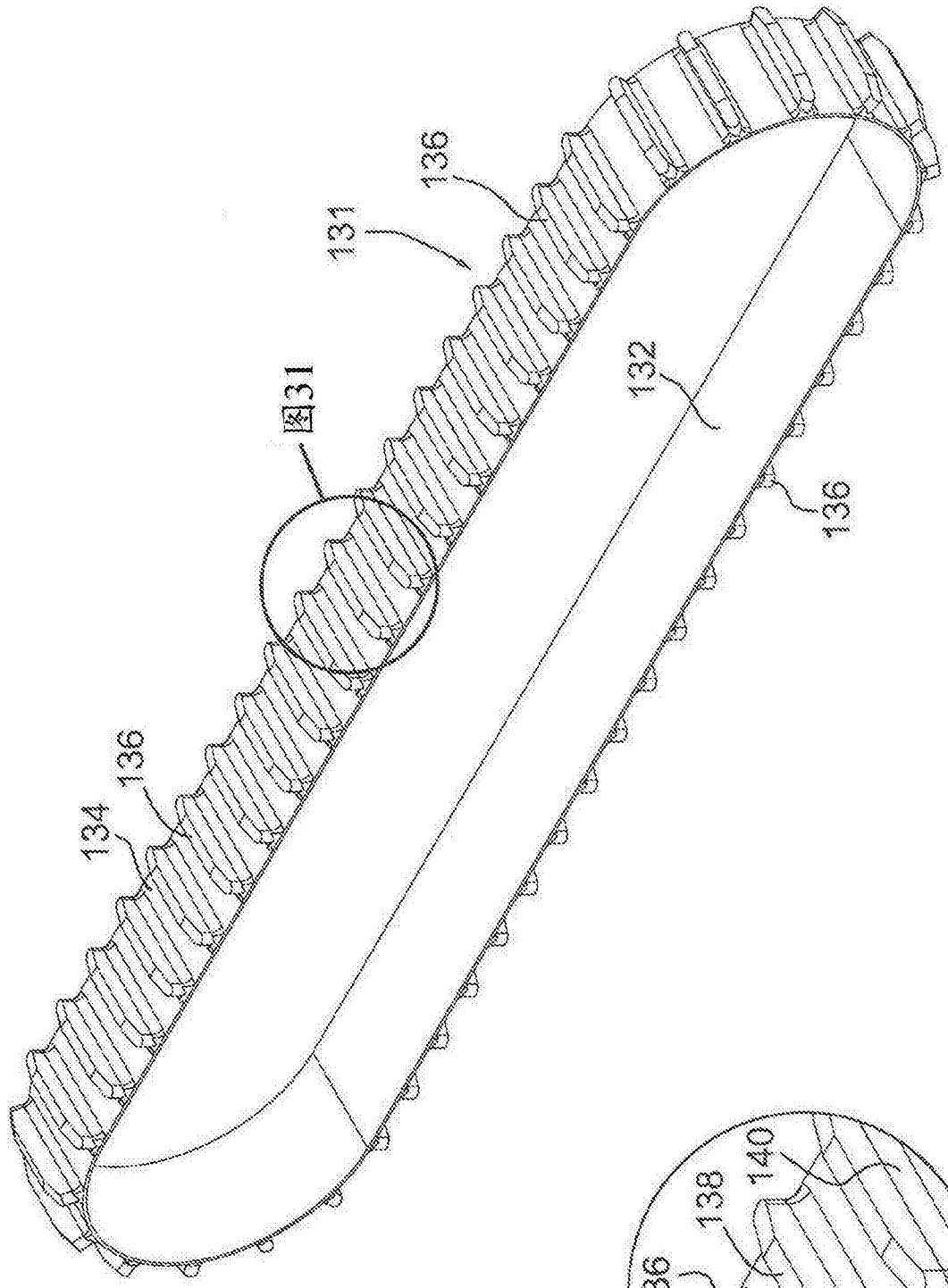


图 30

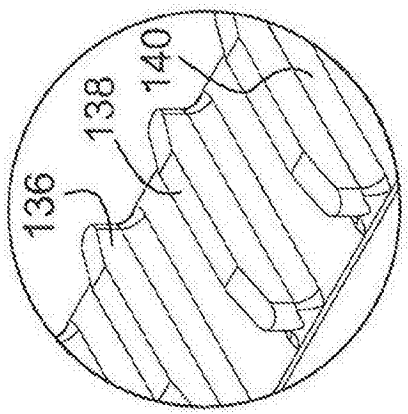


图 31

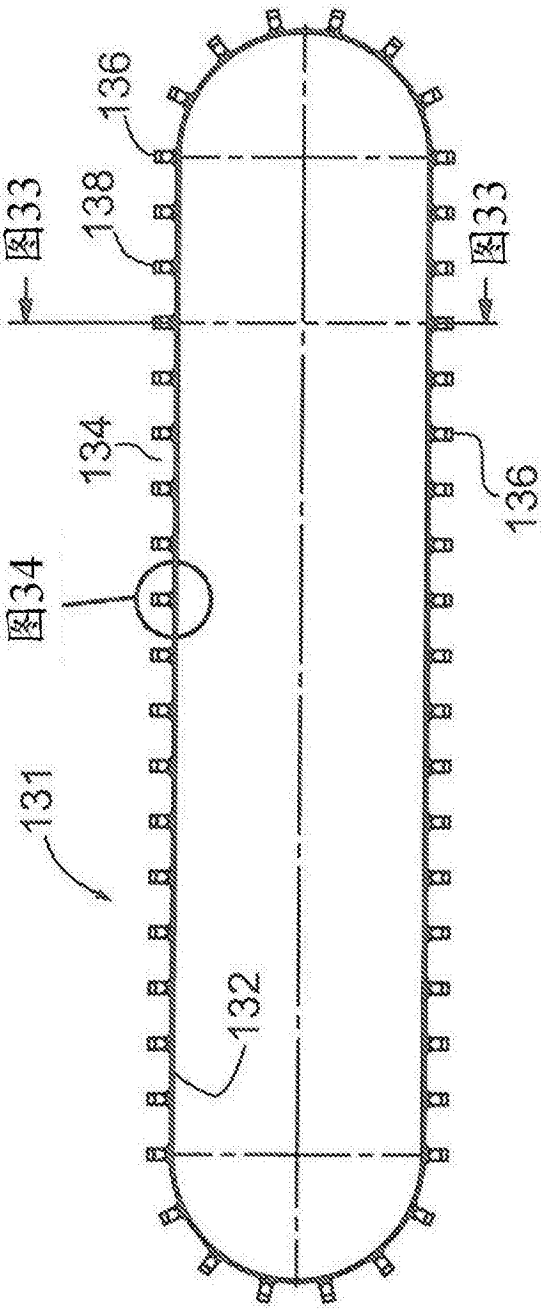


图32

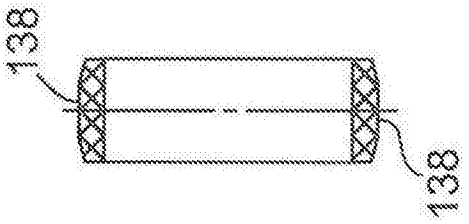


图33

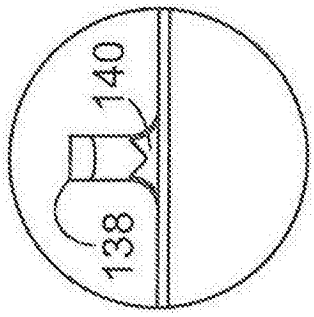


图34

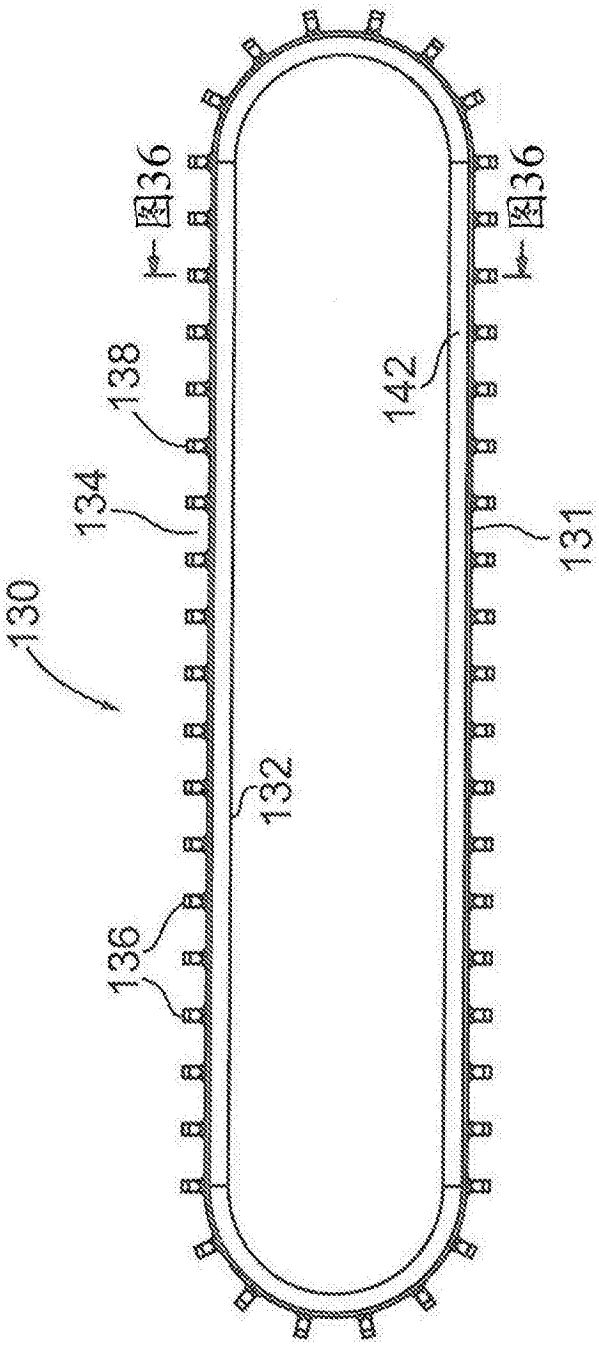


图35

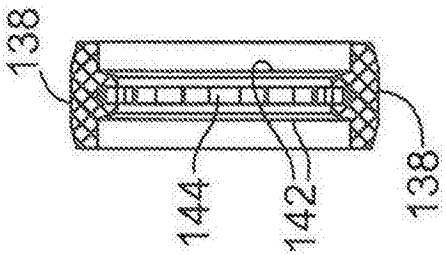


图36

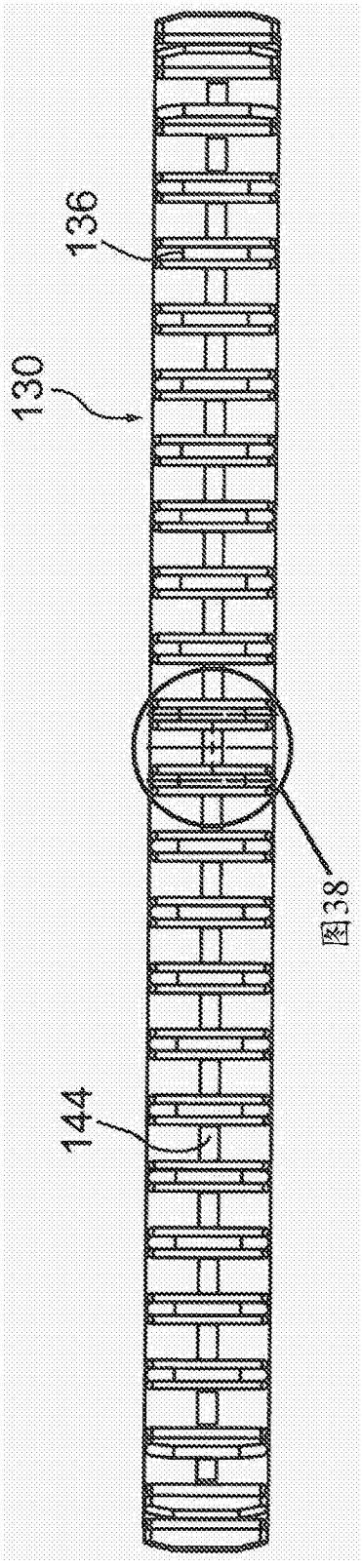


图37

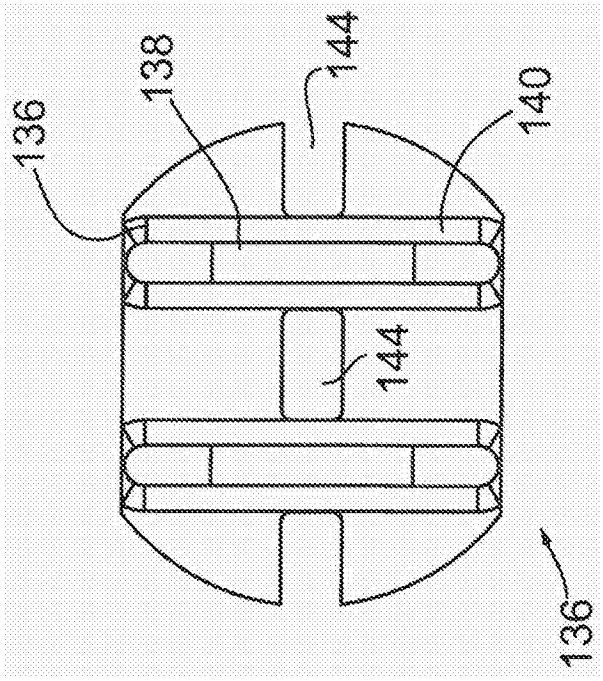


图38

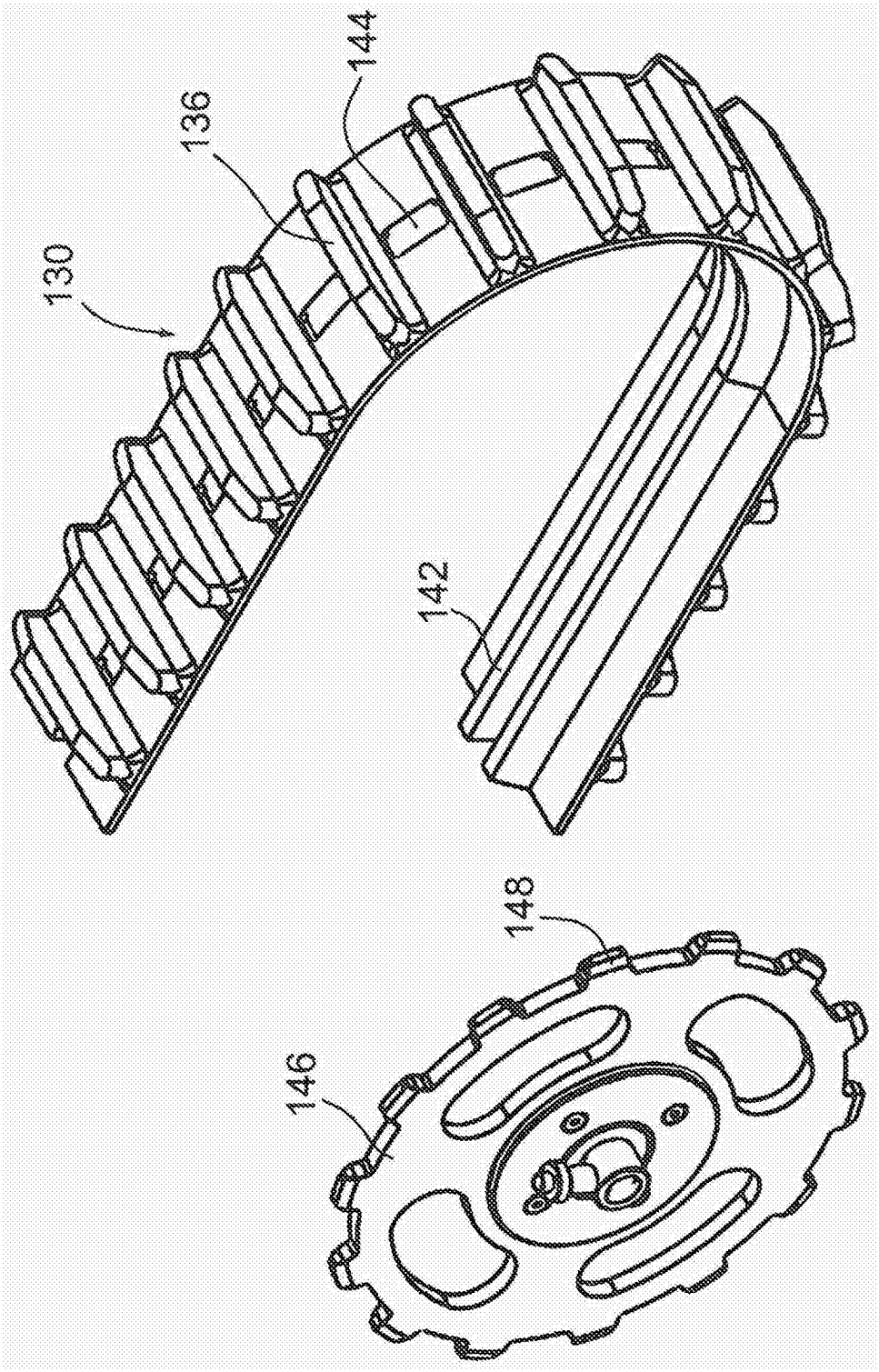


图39

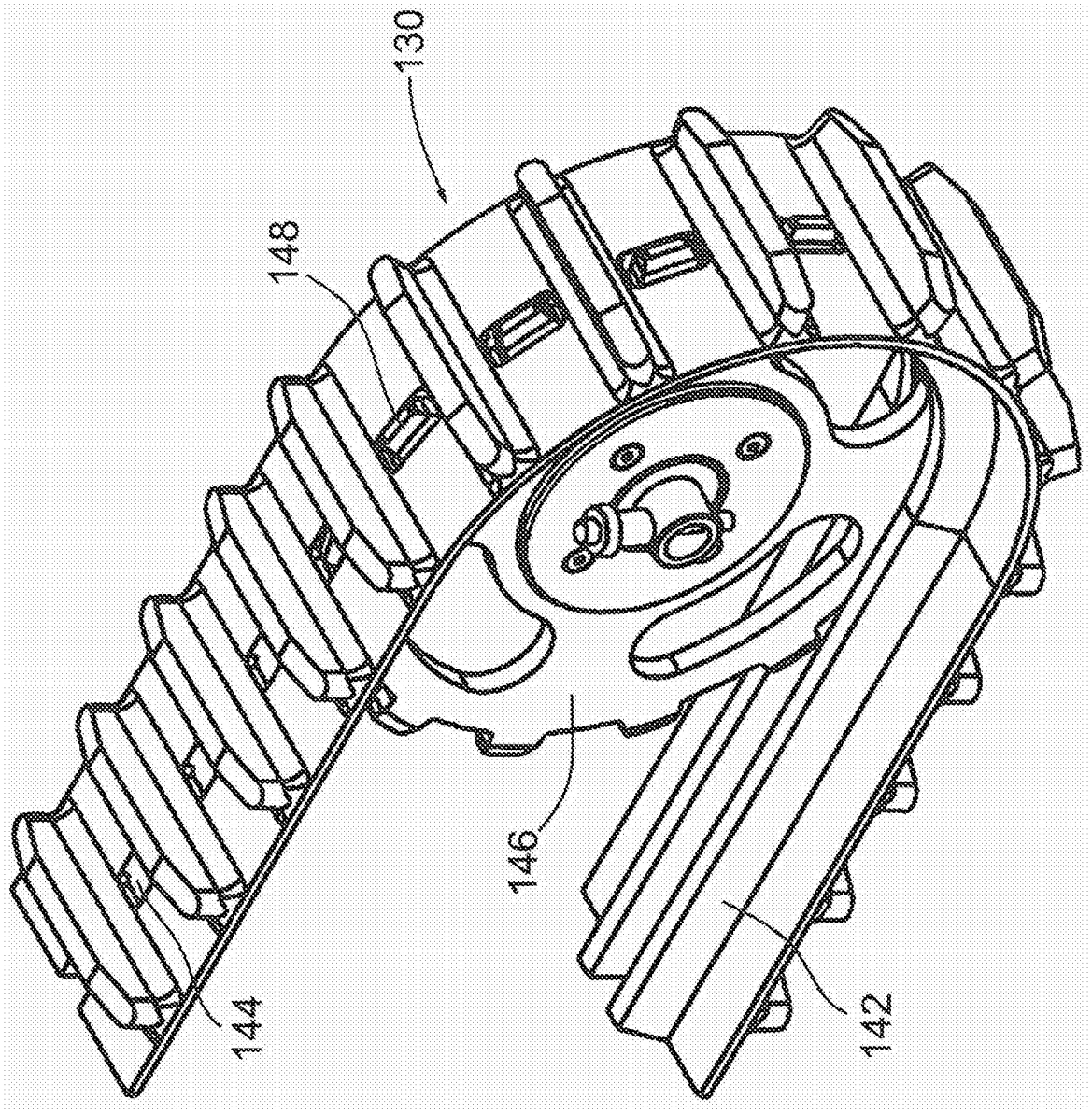


图40

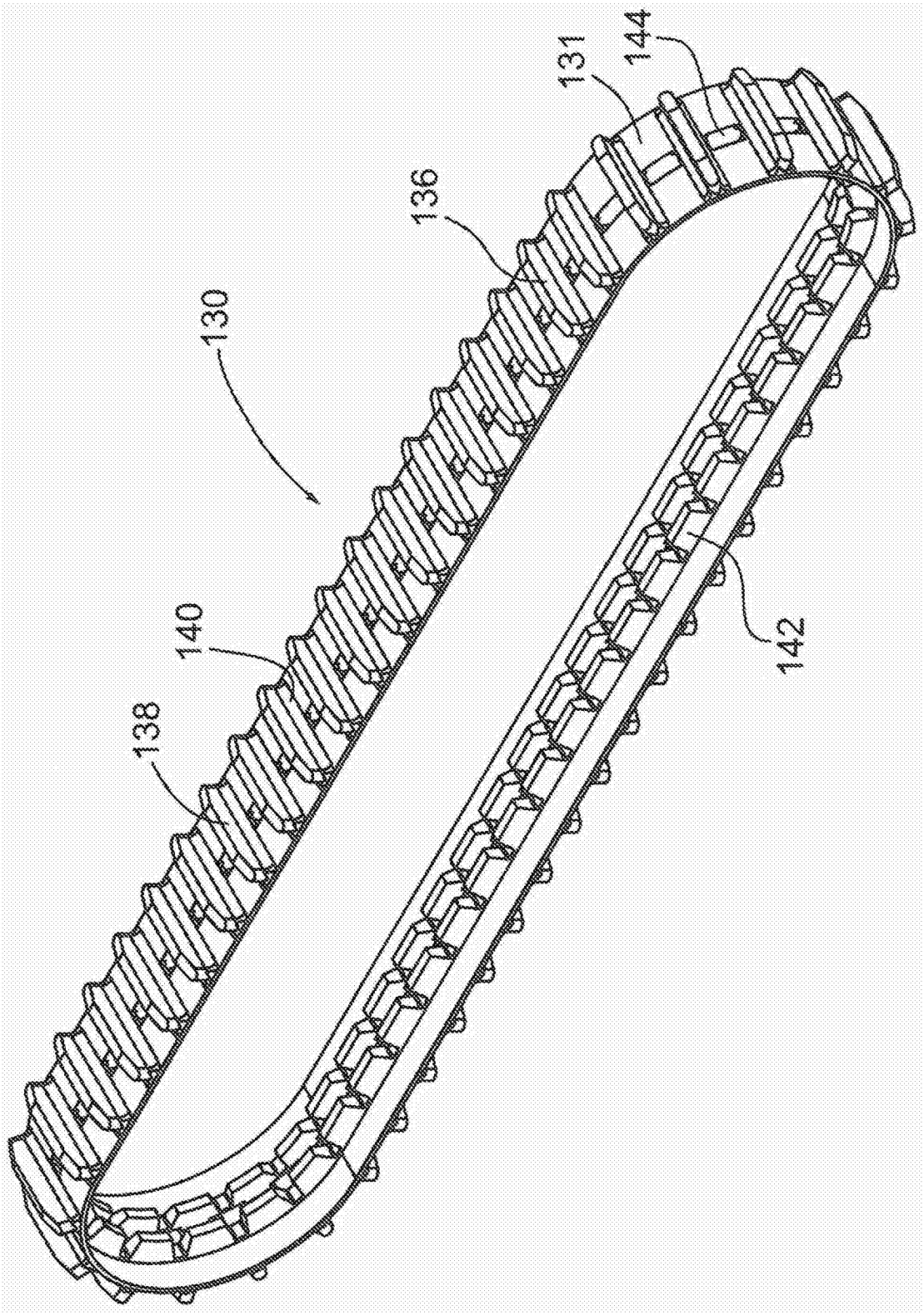


图41

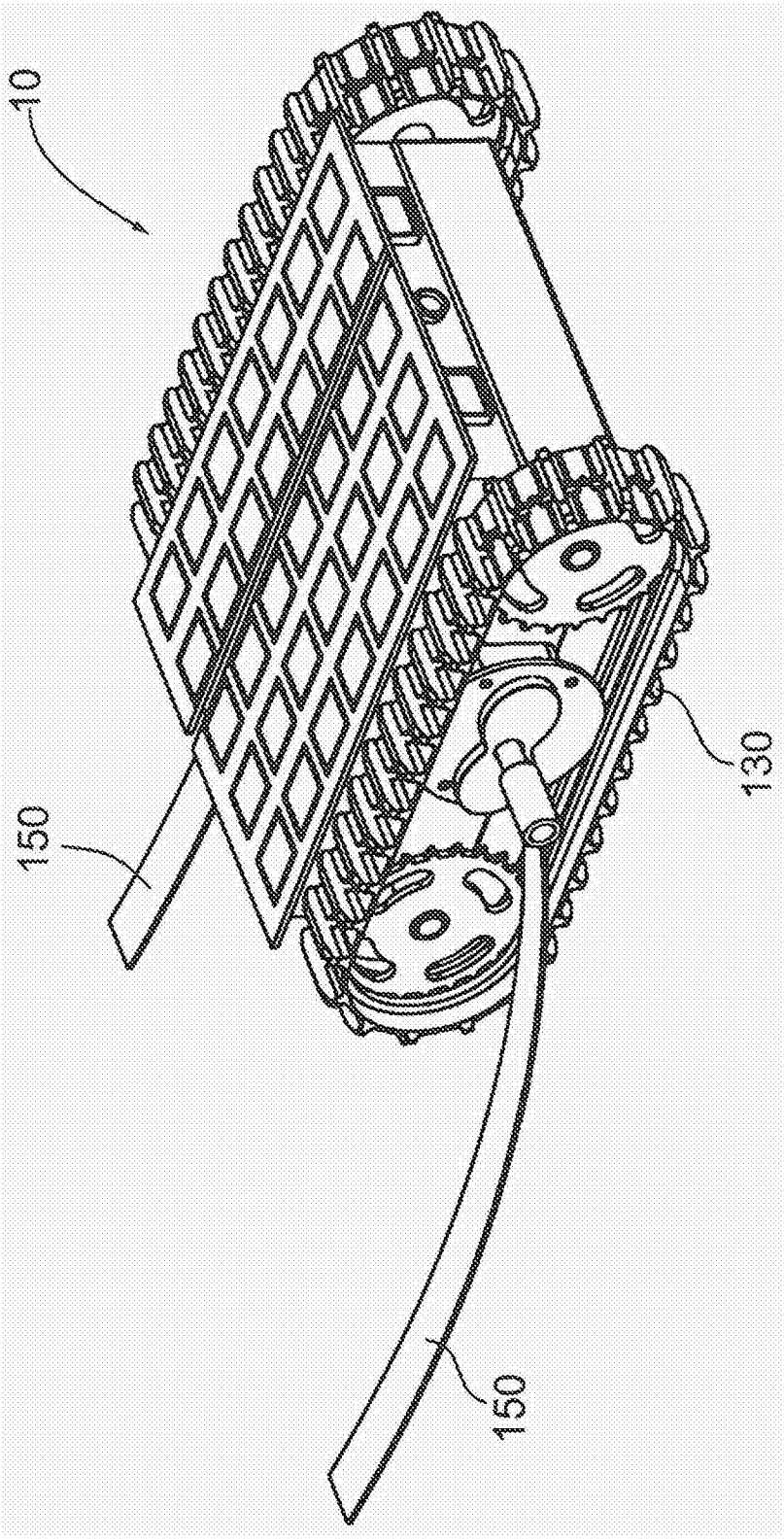


图42

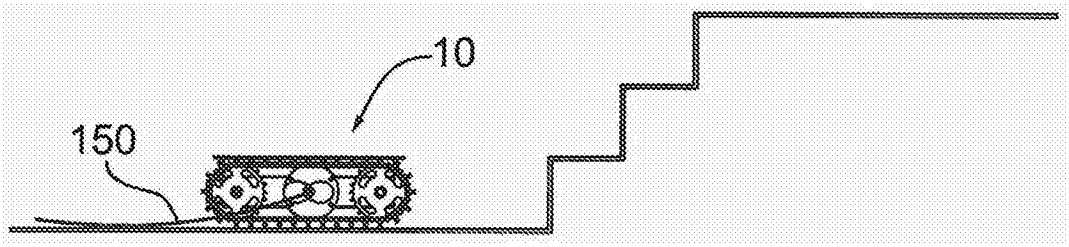


图43 (a)

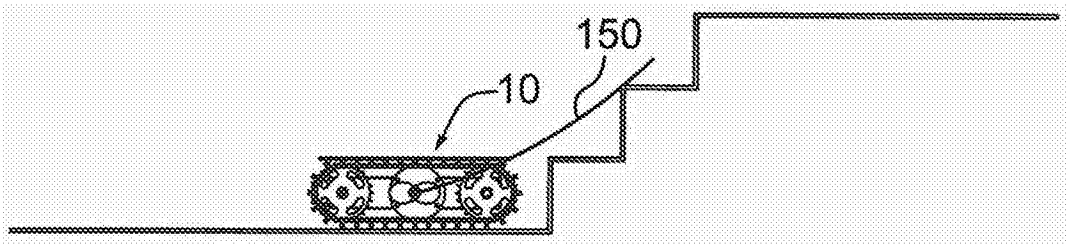


图43 (b)

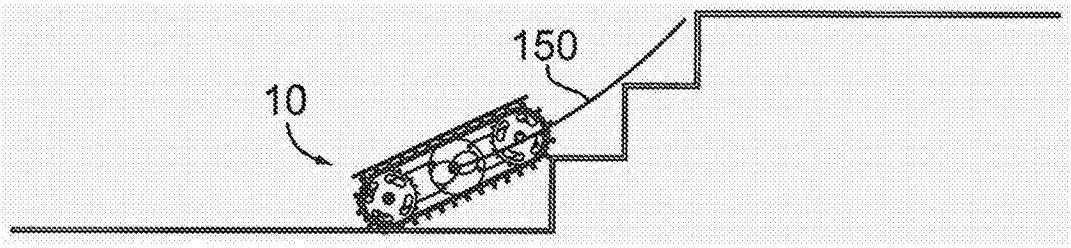


图43 (c)

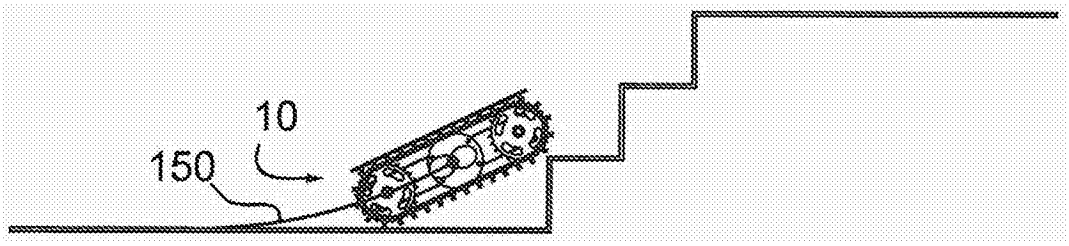


图43 (d)

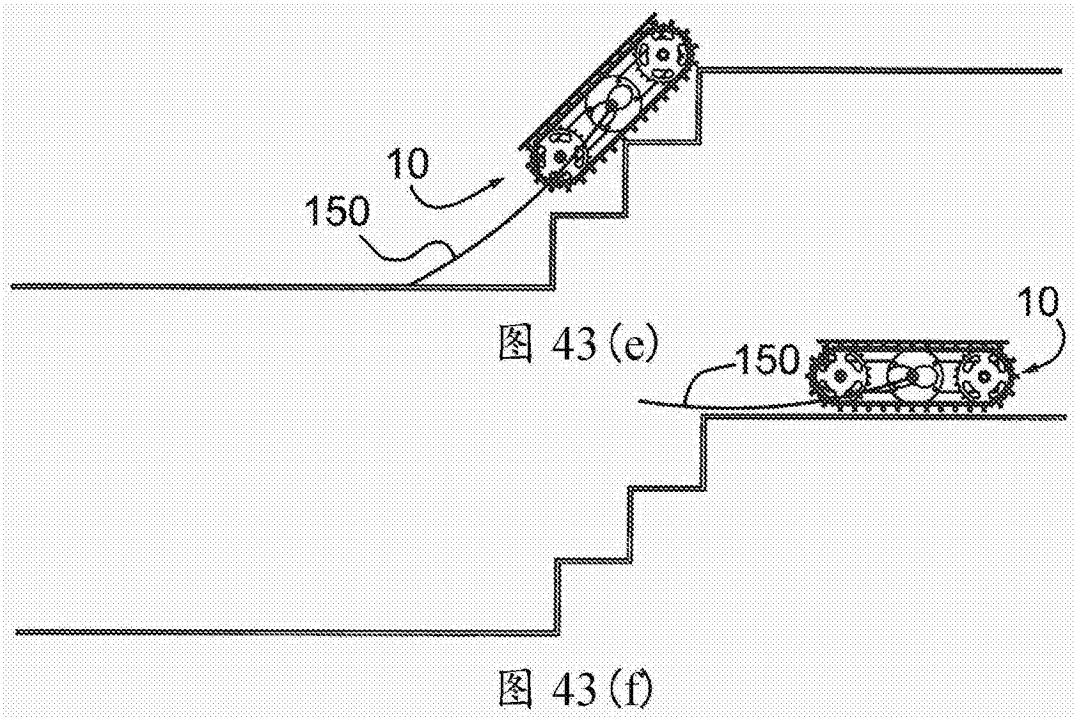


图 43(e)

图 43(f)

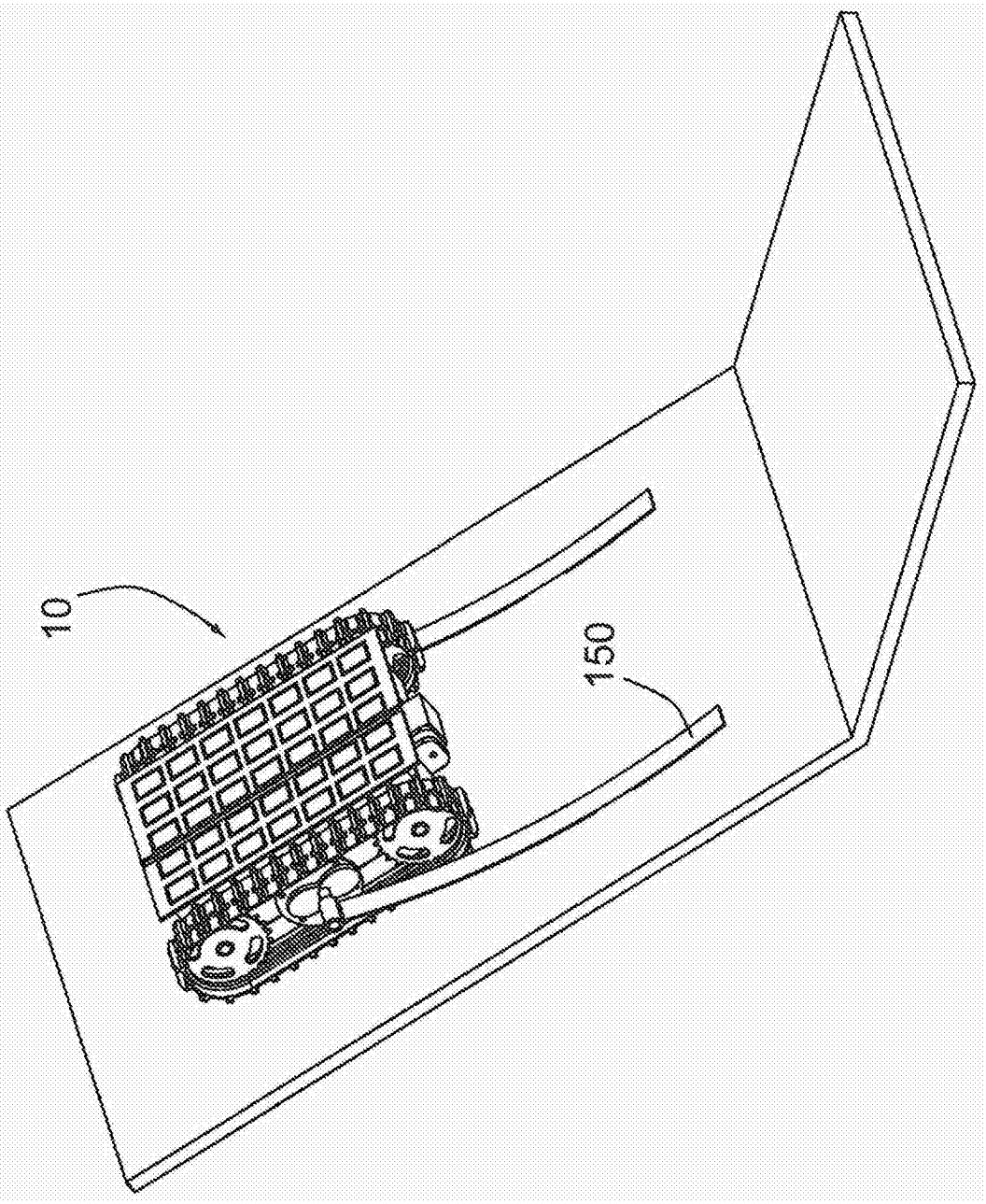


图44