(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108633468 A
(43)申请公布日 2018.10.12

(21)申请号 201810383720.9

(22)申请日 2018.04.26

(71)申请人 西安交通大学
地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72)发明人 桂亮 王亚宁 张涛 李宝辰
曹玉磊 王俊 徐海波

(74)专利代理机构 北京中济纬天专利代理有限公司 11429
代理人 覃婧婵

(51)Int.Cl.
A01D 46/22(2006.01)
A01D 46/24(2006.01)
A01D 46/247(2006.01)

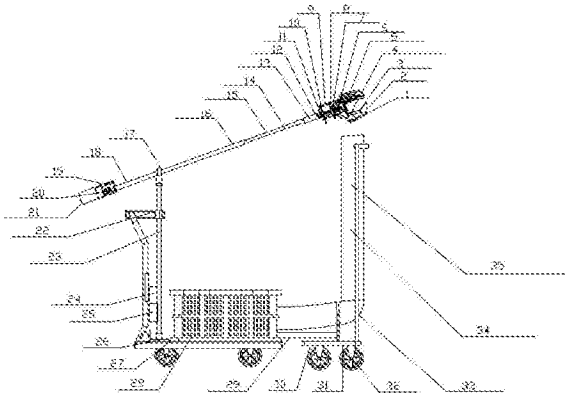
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

可拆卸伸扭式水果采摘运输装置及其采摘方法

(57)摘要

公开了一种可拆卸伸扭式水果采摘运输装置及其采摘方法，可拆卸伸扭式水果采摘运输装置包括运输装置(35)、设在所述运输装置(35)上的采摘部件和收集部件，采摘部件可转动地布置在运输装置(35)上，所述采摘部件包括机械手臂(14)和机械手爪，螺杆(18)一端经由第一联轴器(20)连接直流电机(21)，另一端螺纹连接内管(15)，当直流电机(21)驱动时，螺杆(18)驱动内管(15)使得其与外管(16)相对伸扭运动，经由机械手臂连接件(13)连接机械手臂(14)的机械手爪包括至少两个机械爪(1)，每个机械爪(1)包括相互铰接的远指(3)和近指(4)，近指(4)铰接在机械爪底盘(5)。



CN 108633468 A

1.一种可拆卸伸扭式水果采摘运输装置，其包括运输装置(35)、设在所述运输装置(35)上的采摘部件和收集部件，其特征在于，

采摘部件，其可转动地布置在运输装置(35)上，所述采摘部件包括机械手臂(14)和机械手爪，其中，

所述机械手臂(14)包括：

内管(15)，其连接所述机械手爪，

外管(16)，其与内管(15)间隙配合形成移动副，

直流电机(21)，其经由支撑杆(19)固定连接所述外管(16)，

螺杆(18)，其一端经由第一联轴器(20)连接直流电机(21)，另一端螺纹连接内管(15)，当直流电机(21)驱动时，所述螺杆(18)驱动内管(15)使得其与外管(16)相对伸扭运动，

经由机械手臂连接件(13)连接机械手臂(14)的机械手爪包括：

抓取电机(12)，其经由机械手臂连接件(13)连接机械手臂(14)，

第二联轴器(11)，其一端连接抓取电机(12)的电机轴，另一端连接丝杠(6)，

丝杠螺母(7)，其连接所述丝杠(6)，

电机底盘(10)、固定所述丝杠螺母(7)的丝杠螺母盘(8)和机械爪底盘(5)通过固定螺杆(9)固定连接，

至少两个机械爪(1)，每个机械爪(1)包括相互铰接的远指(3)和近指(4)，所述近指(4)铰接在机械爪底盘(5)；

收集部件，其包括：

运输通道(34)，竖直布置在运输装置(35)的运输通道(34)的开口位于机械爪(1)下方以输入采摘的水果，

收集装置(28)，其连接运输通道(34)以收集所采摘的水果。

2.根据权利要求1所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置，其特征在于：优选的，所述运输装置(35)包括带有脚轮的推车(27)和经由牵引绳(29)连接推车的三角板脚轮车(30)，

推车(27)包括：

固定立柱(23)，用于可转动支承采摘部件的固定立柱(23)经由法兰盘(26)竖直固定在所述推车(27)，所述固定立柱(23)上设有立柱固定件(22)，

电源(25)，用于提供电力给第一和第二直流电机，

控制箱(24)，其用于控制第一和第二直流电机；

三角板脚轮车(30)，其包括：

双立柱(33)，用于支撑运输通道(34)的双立柱(33)竖直固定在三角板脚轮车(30)上方，

脚轮(32)，其经由三角板(31)固定在三角板脚轮车(30)下方。

3.根据权利要求2所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置，其特征在于：所述外管(16)经由旋转球铰(17)可转动地连接固定立柱(23)。

4.根据权利要求3所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置，其特征在于：所述旋转球铰(17)为螺纹连接在固定立柱(23)的球铰关节。

5.根据权利要求1所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置，其特征在于：所述机械手爪包括3个机械爪(1)，所述机械手爪具有6个自由度。

6.根据权利要求1所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置，其特征在于：所述机械手爪由有机玻璃板、树脂和/或PLA材料制成。

7.根据权利要求1所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置，其特征在于：所述机械爪(1)绕机械爪底盘(5)转动，所述机械爪(1)上套设柔性塑套(2)。

8.根据权利要求1所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置，其特征在于：所述控制箱(24)包括伸扭开关和抓取开关。

9.根据权利要求1所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置，其特征在于：所述直流电机(21)可正转和反转，所述收集装置(28)为可拆卸的收集筐。

10.一种利用权利要求1-9中任一项所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的采摘方法，其步骤包括：

第一步骤(S1)中，水果采摘运输装置推进到预定位置，打开电源(25)，旋转机械手臂(14)实现全空间旋转摆动以对准水果，直流电机(21)驱动螺杆(18)实现内管(15)和外管(16)之间的相对伸扭运动使得机械爪(1)对准待采摘的水果，

第二步骤(S2)中，抓取电机(12)启动，近指(4)具有自由度，远指(3)转动自由度被约束，机械爪(1)绕机械爪底盘(5)转动直到近指(4)接触水果而受到接触力的约束，远指(3)的转动自由度在不断增大的驱动力作用下具有自由度直到远指(3)也接触到水果，机械爪(1)的远指(3)和近指(4)抓住并包拢水果，

第三步骤(S3)中，直流电机(21)反向驱动，机械手臂(14)缩回并扭转摘下水果，抓取电机(12)启动使得机械手爪放开水果，水果沿运输通道(34)落入收集装置(28)中，完成采摘和收集。

可拆卸伸扭式水果采摘运输装置及其采摘方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种农业机械技术领域，特别是一种可拆卸伸扭式水果采摘运输装置及其采摘方法。

背景技术

[0002] 目前果农采摘水果仍多是简单的人工劳动，需要人工攀爬携带果篮采摘高处水果，劳动强度高。农村劳动力主要为老年农民及女性，体力有限，难以支撑高强度劳动。然而，大型采摘机械产品体积大，造价高，用于超大规模、特殊种植模式的采摘，基本不适应我国农户需要。市场上小型采摘装置，虽然可以完成抓取部分问题，但功能差异大，良莠不齐：操作繁琐，耗费大量人力资源，导致采摘效率低下，增加了劳动强度；采摘精度低，出错率高，目前的采摘机械的水果识别能力还有待加强，不仅提高了成本，还降低了效率；采摘过程中果实容易出现损伤，每年，大批优质水果成为了残次品。

[0003] 因而，无论是小农户或者大型果园水果采摘，都亟需一种高速有效，储运方便的半自动化采摘设备，满足农户的切身需求。

[0004] 在背景技术部分中公开的上述信息仅仅用于增强对本发明背景的理解，因此可能包含不构成在本国中本领域普通技术人员公知的现有技术的信息。

发明内容

[0005] 为解决上述现有技术的不足之处，本发明提供一种可拆卸伸扭式水果采摘运输装置及其采摘方法，其能够高效采摘收集水果。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案予以实现。

[0007] 本发明的一个方面，一种可拆卸伸扭式水果采摘运输装置包括运输装置、设在所述运输装置上的采摘部件和收集部件，

[0008] 采摘部件，其可转动地布置在运输装置上，所述采摘部件包括机械手臂和机械手爪，其中，

[0009] 所述机械手臂包括：

[0010] 内管，其连接所述机械手爪，

[0011] 外管，其与内管间隙配合形成移动副，

[0012] 直流电机，其经由支撑杆固定连接所述外管，

[0013] 螺杆，其一端经由第一联轴器连接直流电机，另一端螺纹连接内管，当直流电机驱动时，所述螺杆驱动内管使得其与外管相对伸扭运动，

[0014] 经由机械手臂连接件连接机械手臂的机械手爪包括：

[0015] 抓取电机，其经由机械手臂连接件连接机械手臂，

[0016] 第二联轴器，其一端连接抓取电机的电机轴，另一端连接丝杠，

[0017] 丝杠螺母，其连接所述丝杠，

[0018] 电机底盘、固定所述丝杠螺母的丝杠螺母盘和机械爪底盘通过固定螺杆固定连

接，

[0019] 至少两个机械爪，每个机械爪包括相互铰接的远指和近指，所述近指铰接在机械爪底盘；

[0020] 收集部件，其包括：

[0021] 运输通道，竖直布置在运输装置的运输通道的开口位于机械爪下方以输入采摘的水果，

[0022] 收集装置，其连接运输通道以收集所采摘的水果。

[0023] 在所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置中，所述运输装置包括带有脚轮的推车和经由牵引绳连接推车的三角板脚轮车，

[0024] 推车包括：

[0025] 固定立柱，用于可转动支承采摘部件的固定立柱经由法兰盘竖直固定在所述推车，所述固定立柱上设有立柱固定件，

[0026] 电源，用于提供电力给第一和第二直流电机，

[0027] 控制箱，其用于控制第一和第二直流电机；

[0028] 三角板脚轮车，其包括：

[0029] 双立柱，用于支撑运输通道的双立柱竖直固定在三角板脚轮车上方，

[0030] 脚轮，其经由三角板固定在三角板脚轮车下方。

[0031] 在所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置中，所述外管经由旋转球铰可转动地连接固定立柱。

[0032] 在所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置中，所述旋转球铰为螺纹连接在固定立柱的球铰关节。

[0033] 在所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置中，所述机械手爪包括3个机械爪，所述机械手爪具有6个自由度。

[0034] 在所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置中，所述机械手爪由有机玻璃板、树脂和/或PLA材料制成。

[0035] 在所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置中，所述机械爪绕机械爪底盘转动，所述机械爪上套设柔性塑套。

[0036] 在所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置中，所述控制箱包括伸扭开关和抓取开关。

[0037] 在所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置中，所述直流电机可正转和反转，所述收集装置为可拆卸的收集筐。

[0038] 根据本发明的另一方面，一种利用所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的采摘方法步骤包括：

[0039] 第一步骤中，水果采摘运输装置推进到预定位置，打开电源，旋转机械手臂实现全空间旋转摆动以对准水果，直流电机驱动螺杆实现内管和外管之间的相对伸扭运动使得机械爪对准待采摘的水果，

[0040] 第二步骤中，抓取电机启动，近指具有自由度，远指转动自由度被约束，机械爪绕机械爪底盘转动直到近指接触水果而受到接触力的约束，远指的转动自由度在不断增大的驱动力作用下具有自由度直到远指也接触到水果，机械爪的远指和近指抓住并包拢水果，

[0041] 第三步骤中，直流电机反向驱动，机械手臂缩回并扭转摘下水果，抓取电机启动使得机械手爪放开水果，水果沿运输通道落入收集装置中，完成采摘和收集。

[0042] 本发明具有以下有益效果：

[0043] 本发明通过设置远指和近指结合的机械手爪，逐渐包拢水果，这样欠驱动式机械手爪能实现对果实的无损伤抓取。并将果实采摘，收集与运输工作集成于一体，实在较为简易操作的情况下实现了高效率采摘工作。

[0044] 上述说明仅是本发明技术方案的概述，为了能够使得本发明的技术手段更加清楚明白，达到本领域技术人员可依照说明书的内容予以实施的程度，并且为了能够让本发明的上述和其它目的、特征和优点能够更明显易懂，下面以本发明的具体实施方式进行举例说明。

附图说明

[0045] 通过阅读下文优选的具体实施方式中的详细描述，本发明各种其他的优点和益处对于本领域普通技术人员将变得清楚明了。说明书附图仅用于示出优选实施方式的目的，而并不认为是对本发明的限制。显而易见地，下面描述的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。而且在整个附图中，用相同的附图标记表示相同的部件。

[0046] 在附图中：

[0047] 图1是根据本发明一个实施例的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的结构示意图；

[0048] 图2是根据本发明一个实施例的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的采摘部件的结构示意图；

[0049] 图3是根据本发明一个实施例的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的采摘原理示意图；

[0050] 图4是根据本发明一个实施例的使用可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的采摘方法的步骤示意图。

[0051] 以下结合附图和实施例对本发明作进一步的解释。

具体实施方式

[0052] 下面将参照附图更详细地描述本发明的具体实施例。虽然附图中显示了本发明的具体实施例，然而应当理解，可以以各种形式实现本发明而不应被这里阐述的实施例所限制。相反，提供这些实施例是为了能够更透彻地理解本发明，并且能够将本发明的范围完整的传达给本领域的技术人员。

[0053] 需要说明的是，在说明书及权利要求当中使用了某些词汇来指称特定组件。本领域技术人员应可以理解，技术人员可能会用不同名词来称呼同一个组件。本说明书及权利要求并不以名词的差异来作为区分组件的方式，而是以组件在功能上的差异来作为区分的准则。如在通篇说明书及权利要求当中所提及的“包含”或“包括”为一开放式用语，故应解释成“包含但不限定于”。说明书后续描述为实施本发明的较佳实施方式，然所述描述乃以说明书的一般原则为目的，并非用以限定本发明的范围。本发明的保护范围当视所附权利要求所界定者为准。

[0054] 为便于对本发明实施例的理解，下面将结合附图以具体实施例为例做进一步的解释说明，且各个附图并不构成对本发明实施例的限定。

[0055] 为了更好地理解，图1是根据本发明一个实施例的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的结构示意图，如图1所示，一种可拆卸伸扭式水果采摘运输装置包括运输装置35、设在所述运输装置35上的采摘部件和收集部件，

[0056] 图2是根据本发明一个实施例的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的采摘部件的结构示意图，采摘部件可转动地布置在运输装置35上，所述采摘部件包括机械手臂14和机械手爪，其中，

[0057] 所述机械手臂14包括：

[0058] 内管15，其连接所述机械手爪，

[0059] 外管16，其与内管15间隙配合形成移动副，

[0060] 直流电机21，其经由支撑杆19固定连接所述外管16，

[0061] 螺杆18，其一端经由第一联轴器20连接直流电机21，另一端螺纹连接内管15，当直流电机21驱动时，所述螺杆18驱动内管15使得其与外管16相对伸扭运动，

[0062] 经由机械手臂连接件13连接机械手臂14的机械手爪包括：

[0063] 抓取电机12，其经由机械手臂连接件13连接机械手臂14，

[0064] 第二联轴器11，其一端连接抓取电机12的电机轴，另一端连接丝杠6，

[0065] 丝杠螺母7，其连接所述丝杠6，

[0066] 电机底盘10、固定所述丝杠螺母7的丝杠螺母盘8和机械爪底盘5通过固定螺杆9固定连接，

[0067] 至少两个机械爪1，每个机械爪1包括相互铰接的远指3和近指4，所述近指4铰接在机械爪底盘5；

[0068] 收集部件，其包括：

[0069] 运输通道34，竖直布置在运输装置35的运输通道34的开口位于机械爪1下方以输入采摘的水果，

[0070] 收集装置28，其连接运输通道34以收集所采摘的水果。

[0071] 为了进一步理解本发明，在一个实施例中，一种欠驱动式水果采摘运输装置，包括机械手爪、机械手臂、运输装置和旋转球铰装置。所述抓取装置一端的机械手臂连接件与机械手臂的内管固定，所述机械手臂的外管部分则通过所述旋转球铰装置与所述运输装置螺纹连接。

[0072] 作为本发明的优选技术方案，所述机械手爪由抓取电机，联轴器，丝杠，丝杠螺母，机械手爪，机械手爪底盘，丝杠螺母盘，电机盘和固定螺杆组成；所述机械手爪包括远指和近指，二者铰接，近指与所述机械手爪底盘铰接。所述机械手爪底盘，所述丝杠螺母盘与所述电机盘通过所述固定螺杆固定连接。所述丝杠螺母盘又与所述丝杠螺母固定，所述丝杠螺母连接丝杠，所述丝杠又通过联轴器与所述直流电机连接，所述直流电机封装于所述机械手爪连接件中。

[0073] 作为本发明的优选技术方案，所述机械手臂由内管，外管，螺纹杆，联轴器，支撑杆和伸扭电机组成，所述内管一端与所述机械手爪连接件固定，另一端与所述螺纹杆螺纹连接，所述螺纹杆一端通过所述联轴器与所述直流电机连接，所述直流电机通过与所述支撑

杆螺纹连接与所述外管固定。

[0074] 作为本发明的优选技术方案，所述运输装置由推车，法兰，收集筐，牵引绳索，三角板，脚轮，双立柱，运输通道，电源，控制箱组成，所述三角板和脚轮与所述双立柱固定，所述双立柱与所述运输通道固定，共同构成三角板脚轮车，通过所述牵引绳索与所述推车连接，所述收集筐固定于所述推车上方。所述法兰也通过螺纹连接固定所述固定立柱与推车。

[0075] 作为本发明的优选技术方案，所述旋转球铰装置由球铰关节，固定立柱组成，二者螺纹连接。

[0076] 本发明所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的优选实施例中，所述运输装置35包括带有脚轮的推车27和经由牵引绳29连接推车的三角板脚轮车30，

[0077] 推车27包括：

[0078] 固定立柱23，用于可转动支承采摘部件的固定立柱23经由法兰盘26竖直固定在所述推车27，所述固定立柱23上设有立柱固定件22，

[0079] 电源25，用于提供电力给第一和第二直流电机，

[0080] 控制箱24，其用于控制第一和第二直流电机；

[0081] 三角板脚轮车30，其包括：

[0082] 双立柱33，用于支撑运输通道34的双立柱33竖直固定在三角板脚轮车30上方，

[0083] 脚轮32，其经由三角板31固定在三角板脚轮车30下方。

[0084] 本发明所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的优选实施例中，所述外管16经由旋转球铰17可转动地连接固定立柱23。

[0085] 本发明所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的优选实施例中，所述旋转球铰17为螺纹连接在固定立柱23的球铰关节。

[0086] 本发明所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的优选实施例中，所述机械手爪包括3个机械爪1，所述机械手爪具有6个自由度。

[0087] 本发明所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的优选实施例中，所述机械手爪由有机玻璃板、树脂和/或PLA材料制成。

[0088] 本发明所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的优选实施例中，所述机械爪1绕机械爪底盘5转动，所述机械爪1上套设柔性塑套2。

[0089] 本发明所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的优选实施例中，所述控制箱24包括伸扭开关和抓取开关。

[0090] 本发明所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的优选实施例中，所述直流电机21可正转和反转，所述收集装置28为可拆卸的收集筐。

[0091] 进一步理解本发明，在一个实施例中，图3是根据本发明一个实施例的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的采摘原理示意图，将装置推至合适位置，打开电源，人工操作旋转机械手臂14实现全空间旋转摆动，以对准果实所在位置。机械手臂14主要由直流电机21，螺杆18，联轴器20，内管15，外管16，支撑杆19等组成。其中内管15和外管16仿生人体的大臂和小臂，其中，作为大臂的外管通过支撑杆19与直流电机21固定连接，不与直流电机21发生任何相对运动，而作为小臂的内管15与外管16之间通过间隙配合形成移动副，在直流电机21的驱动下，通过联轴器20与螺杆18将旋转运动转化为直线运动，实现内管15和外管16之间的相对伸扭运动。

[0092] 将机械手臂伸长至果实位置之后，使用机械手爪进行抓取。该机械手共有6个自由度，采用一个抓取电机12同时驱动3个手指，完成包络抓取，整个机构的材料为有机玻璃板、树脂和PLA材料，装配图如图2所示。抓取电机12是机械手的驱动装置，用联轴器11将电机轴和丝杠6连接起来，电机轴转动带动丝杠6旋转，由于受到固定螺杆9的约束作用，丝杠6旋转带动丝杠螺母7与丝杠螺母盘8直线运动，从而先驱动近指4的转动，每根手指有二个关节，构成欠驱动机构，开始工作时只有近指4具有工作自由度，远指3转动自由度被约束，整个手指绕机械爪底盘5转动，直到近指4接触物体，受到接触封闭力的约束作用，该自由度被约束，而远指3的转动自由度则在不断增大的驱动力作用下被释放，变成工作自由度，机构自由度仍为1，手指能按确定的运动规律工作，直到远指3也接触到物体，完成抓取过程。运动过程如图3所示。

[0093] 抓取完成后，只需电机反向旋转，即可同理带动螺杆18、内管15旋转下降，将果实从果树上扭下，完成果实的采摘。

[0094] 采摘完成后，再操作机械手臂缩回并对准运输通道入口，松开机械手爪，通过运输通道34送入收集筐28，运输通道3固定在三角板31上随小车一起移动。完成一片区域的采摘后推动小车到达下一区域。收集筐28为可拆卸式结构，方便更换。收集筐28内部垫一层泡沫海绵，防止果实出现损伤。

[0095] 图4是根据本发明一个实施例的使用可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的采摘方法的步骤示意图，一种利用所述的可拆卸伸扭式水果采摘运输装置的采摘方法步骤包括：

[0096] 第一步骤S1中，水果采摘运输装置推进到预定位置，打开电源25，旋转机械手臂14实现全空间旋转摆动以对准水果，直流电机21驱动螺杆18实现内管15和外管16之间的相对伸扭运动使得机械爪1对准待采摘的水果，

[0097] 第二步骤S2中，抓取电机12启动，近指4具有自由度，远指3转动自由度被约束，机械爪1绕机械爪底盘5转动直到近指4接触水果而受到接触力的约束，远指3的转动自由度在不断增大的驱动力作用下具有自由度直到远指3也接触到水果，机械爪1的远指3和近指4抓住并包拢水果，

[0098] 第三步骤S3中，直流电机21反向驱动，机械手臂14缩回并扭转摘下水果，抓取电机12启动使得机械手爪放开水果，水果沿运输通道34落入收集装置28中，完成采摘和收集。

[0099] 在一个实施例中，现场使用时，首先将装置推动至需要采摘水果的区域。打开电源，转动由伸扭电机构成的把手和球铰关节对准待采摘的水果，按下伸缩开关，机械手臂伸长至水果位置。按下另一抓取开关，机械手爪远指，近指欠驱动抓住并包拢水果。再次按下伸扭开关，机械手臂缩回并扭转摘下水果。转动球铰关节并将机械手爪对准运输通道入口，再次按下抓取开关，机械手爪放开水果，水果沿运输通道落入收集筐中，完成一次采摘和收集。

[0100] 尽管以上结合附图对本发明的实施方案进行了描述，但本发明并不局限于上述的具体实施方案和应用领域，上述的具体实施方案仅仅是示意性的、指导性的，而不是限制性的。本领域的普通技术人员在本说明书的启示下和在不脱离本发明权利要求所保护的范围的情况下，还可以做出很多种的形式，这些均属于本发明保护之列。

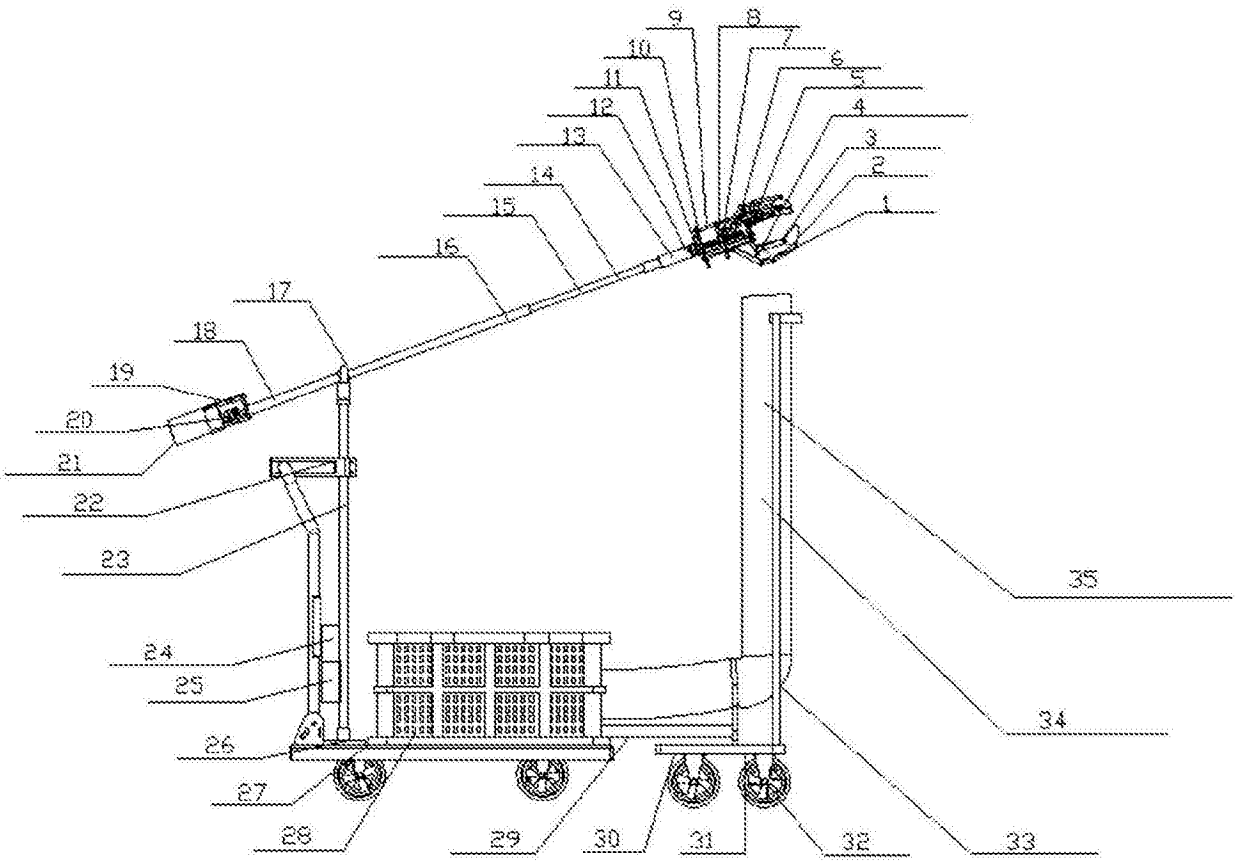

1
2
3
4
5
6
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35

图1

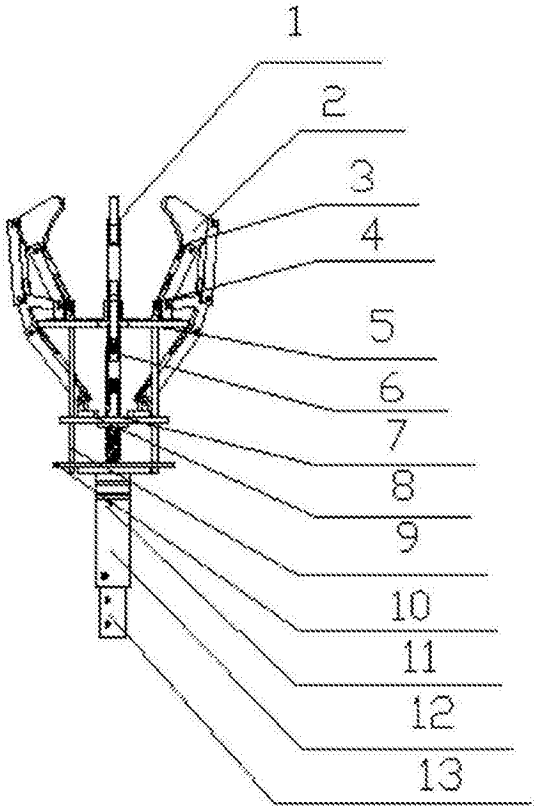


图2

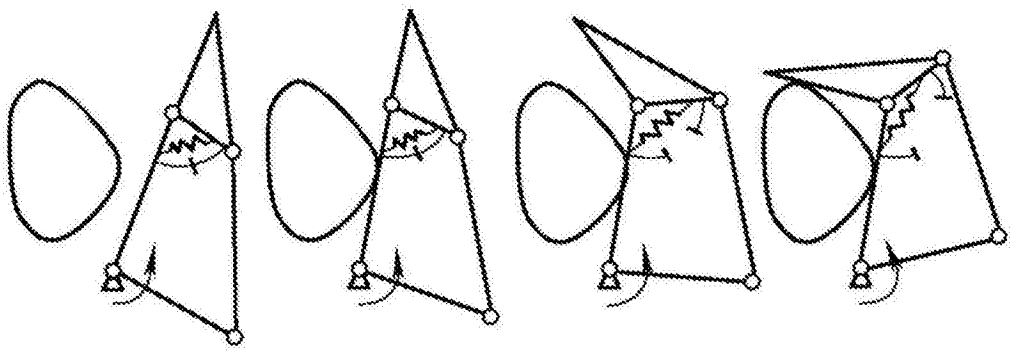


图3

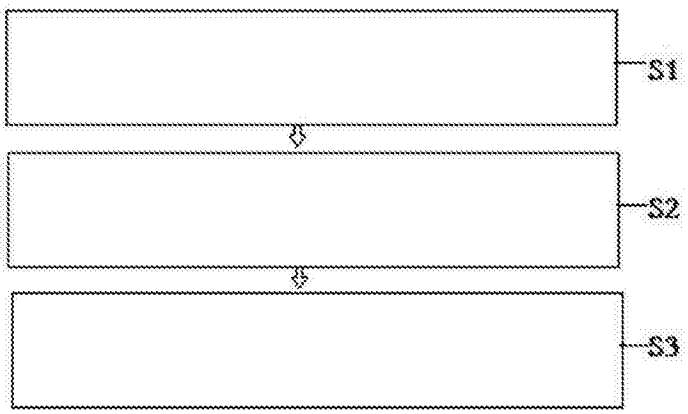


图4