

1.一种变序欠驱动两关节机器人手指装置，包括基座(1)、第一电机(2)、近关节轴(3)、中部指段(4)、远关节轴(5)、末端指段(6)和第一传动机构(40)；所述的第一电机与基座固接，第一电机的输出轴与近关节轴相连；所述的近关节轴套设在基座中，远关节轴套设在中部指段中，近关节轴和远关节轴相互平行；所述的中部指段套接在近关节轴上，所述的末端指段与远关节轴固接；所述的第一传动机构的输入轴与近关节轴相连，第一传动机构的输出轴与远关节轴相连，近关节轴与远关节轴的转动方向相同；其特征在于：所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置还包括第二电机(17)、第一锥齿轮(13)、第二锥齿轮(14)和第一簧件(15)；所述的第二电机与中部指段固接，所述的第一锥齿轮套固在第二电机的输出轴上，所述的第二锥齿轮套接在远关节轴上并与第一锥齿轮相啮合，所述的第一簧件两端分别连接第二锥齿轮和末端指段。

2.如权利要求 1 所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，其特征在于：所述的第一传动机构采用平带轮传动机构、齿形带轮传动机构、绳轮传动机构、链条传动机构、齿轮齿条传动机构、齿轮传动机构或连杆传动机构中的一种或几种的组合。

3.如权利要求 2 所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，其特征在于：所述的第一传动机构包括主动轮(10)、传动件(11)和从动轮(12)；所述的主动轮与近关节轴相连，从动轮与远关节轴相连，传动件连接主动轮与从动轮，所述的传动件采用平带、齿形带、齿条、腱绳、钢丝绳或链条，所述的主动轮采用带轮、齿轮、绳轮或链轮，所述的从动轮采用带轮、齿轮、绳轮或链轮，所述的传动件、主动轮和从动轮三者之间配合形成传动关系。

4.如权利要求 1 所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，其特征在于：所述的第一簧件采用扭簧、拉簧、压簧、片簧、板簧、发条或弹性绳中一种或几种的组合。

5.如权利要求 1 所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，其特征在于：还包括第二传动机构(41)；所述的第二传动机构的输入端与第一电机的输出轴相连，第二传动机构的输出端与近关节轴相连。

6.如权利要求 1 所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，其特征在于：还包括第二簧件(9)；所述的第二簧件作为连接件串联安装到从近关节轴到第一传动机构再到远关节轴的传动链中。

7.如权利要求 6 所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，其特征在于：所述的第二簧件采用扭簧、拉簧、压簧、片簧、板簧、发条或弹性绳中一种或几种的组合。

变序欠驱动两关节机器人手指装置

技术领域

本发明属于拟人机器人手技术领域，特别涉及一种变序欠驱动两关节机器人手指装置的结构设计。

背景技术

人们在对智能机器人的研究中，把拟人机器人作为机器人研究的最高境界，也一直把实现类人的行为作为梦寐以求的目标。与人类类似，拟人机器人的多数功能要通过手部操作来实现，因而手部结构是拟人机器人的重要组成部分，其设计是拟人机器人的关键技术之一。

近 30 年来，灵巧手研究取得了丰硕的成果。灵巧手具有 3~5 个手指，每个手指 2~4 个关节自由度，绝大多数关节为电机、空气肌肉、液压等驱动的主动关节。灵巧手能做出人手的各种动作，包括抓取和操作两种动作。例如国外研发出来的 Hitachi 手、Utah/MIT 手、Stanford/JPL 手、Shadow 公司 C5 手、DLR 手和 Robonaut 手，国内哈工大研发的 HIT 灵巧手和北航研发的 BH 灵巧手。灵巧手的主要优点是可以灵活主动的抓取物体，并有很好的抓取稳定性，其不足是不能实现抓取物体时对物体的形状和尺寸自动适应（自适应抓取），造成对传感及控制系统要求高，系统复杂、成本高、可靠性低。

欠驱动机械手指可以克服灵巧手的纯主动驱动多关节手指的一些不足，以此为主设计实现高欠驱动的机器人手在近年来得到越来越多的重视。例如，以具有一个电机、两个转动关节的欠驱动手指为例，该手指装置包括基座、近关节、中间指段、远关节、末端指段，初始时刻，手指为伸直状态，此时电机转动，整个手指绕其近关节转动，当中间指段碰触到物体被阻挡不动后，电机继续驱动远关节和末端指段转动，从而实现一个电机依次驱动两个关节转动的欠驱动目的。欠驱动机械手指的优点是能够自动适应物体形状和尺寸的大小，达到自适应抓取的目的，降低了对传感及控制系统的要求。

美国发明专利 US5762390A 介绍了一种连杆式的欠驱动机械手指装置，并将该手指装置应用到了单驱动源驱动的 9 关节工业抓持器上。该装置由电机驱动，经带轮传动、丝杆传动等机构带动连杆机构运动。由于弹簧的作用，第一、第二、第三指段初始保持伸直状态，第一个四连杆机构运动带动第一、二、三指段同时转动。当第一指段接触物体被阻挡不再转动后，电机继续转动，设置在第一、二指段之间的弹簧开始变形，同时第一个四连杆机构变形运动，从而推动第二、三指段继续转动。当第二指段也接触到物体不再转动，电机继续转动，设置在第二、三指段之间的弹簧开始变形，同时推动第二个四连杆机构变形运动，从而推动第三指段继续转动，直到第三指段也接触物体为止。

中国发明专利 CN101234489A 介绍了一种带轮式的欠驱动机械手指装置，主要包括基座、电机、近关节轴、带轮传动机构、中部指段、远关节轴、末端指段和簧件。电机通过带轮传

动机构欲使末端指段转动，但由于弹簧的约束作用使得中部指段和末端指段像一个刚体似的保持固定伸直状态转动，当中部指段接触物体被阻挡不能转动时，弹簧发生了变形，同时末端指段才得以绕远关节轴的中心线转动，实现了手指在一个电机驱动下两关节弯曲包络抓取物体过程。

上述两种欠驱动手指装置以及其他的传统型的欠驱动手指装置都存在同样的一个不足之处，那就是手指两关节（或三关节）的弯曲顺序是固定的：先近关节转动，再中间关节转动，最后远关节转动，即由近及远（从手指的根部到末端的方向）的转动顺序，这与人手的手指动作顺序不同。

人手的手指动作顺序在抓取不同物体时有以下几种：

①握持方式：人手的手指（以食指为例）可以按照由近及远的关节转动顺序去抓取物体，一般是抓取较大的物体，这样能够采用包络抓取的握持方式去自动适应物体的形状、大小，此时手掌和根部指段会接触物体，可实现稳定抓取。

②捏持方式：人手的手指（以食指为例）也可以按照中间关节和远关节先转动然后再近关节转动的方式去抓取物体，一般是抓取较小的物体，这样能够采用手指末端指段去接触物体实现多点捏持方式，此时手掌甚至根部指段都不会接触物体，同样可实现稳定抓取。例如，在人手在捏持小尺寸物体之前，四指（即食指、中指、无名指和小指）中间关节会先转动，直到四指末端与拇指末端相接近，之后再行抓取，而且所转动的角度对于不同尺寸的物体是需要调节的。

③混合抓持方式：人手的手指还有上述两种方式相结合的一种抓取模式，人手的手指（以食指为例）还可以按照中间关节和远关节先转动方式实现抓取物体的预备姿势（手指呈现中间关节弯曲的构型），然后再以由近及远的关节转动顺序去自适应抓取物体，一般是中等大小的物体需要这样抓取，同样可实现稳定抓取。

传统的欠驱动手指装置只能实现上述的①握持方式，不能实现上述的②捏持方式和③混合抓持方式。

发明内容

本发明的目的是针对已有技术的不足之处，提供一种变序欠驱动两关节机器人手指装置，它可以灵活调节近关节与远关节的先后转动顺序，实现握持、捏持和混合抓持等多种抓取方式，既具有比传统欠驱动手指更多的灵巧性，又保留了欠驱动手指在抓取物体时具有的自适应性。该装置可提高机械手指抓取不同尺寸、形状物体的稳定性和拟人化动作效果，实现机器人手指在较低控制系统要求下的灵活自适应抓取，装置外形与人的手指相似，可以作为拟人机器人手的手指使用。

本发明的技术方案如下：

本发明所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，包括基座、第一电机、近关节轴、中部指段、远关节轴、末端指段和第一传动机构；所述的第一电机与基座固接，第一电机的输出轴与近关节轴相连；所述的近关节轴套设在基座中，远关节轴套设在中部指段中，近关节

轴和远关节轴相互平行；所述的中部指段套接在近关节轴上，所述的末端指段与远关节轴固接；所述的第一传动机构的输入轴与近关节轴相连，第一传动机构的输出轴与远关节轴相连，近关节轴与远关节轴的转动方向相同；其特征在于：该变序欠驱动两关节机器人手指装置还包括第二电机、第一锥齿轮、第二锥齿轮和第一簧件；所述的第二电机与中部指段固接，所述的第一锥齿轮套固在第二电机的输出轴上，所述的第二锥齿轮套接在远关节轴上并与第一锥齿轮相啮合，所述的第一簧件两端分别连接第二锥齿轮和末端指段。

本发明所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，其特征在于：所述的第一传动机构采用平带轮传动机构、齿形带轮传动机构、绳轮传动机构、链条传动机构、齿轮齿条传动机构、齿轮传动机构或连杆传动机构中的一种或几种的组合。

本发明所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，其特征在于：所述的第一传动机构包括主动轮、传动件和从动轮；所述的主动轮与近关节轴相连，从动轮与远关节轴相连，传动件连接主动轮与从动轮，所述的传动件采用平带、齿形带、齿条、腱绳、钢丝或链条，所述的主动轮采用带轮、齿轮、绳轮或链轮，所述的从动轮采用带轮、齿轮、绳轮或链轮，所述的传动件、主动轮和从动轮三者之间能够配合形成传动关系。

本发明所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，其特征在于：所述的第一簧件采用扭簧、拉簧、压簧、片簧、板簧、发条或弹性绳中一种或几种的组合。

本发明所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，其特征在于：还包括第二传动机构；所述的第二传动机构的输入端与第一电机的输出轴相连，第二传动机构的输出端与近关节轴相连。

本发明所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，其特征在于：还包括第二簧件；所述的第二簧件作为连接件串联安装到从近关节轴到第一传动机构再到远关节轴的传动链中。

本发明所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，其特征在于：所述的第二簧件采用扭簧、拉簧、压簧、片簧、板簧、发条或弹性绳中一种或几种的组合。

本发明与现有技术相比，具有以下优点和突出性效果：

本发明装置利用双电机、锥齿轮等传动机构和簧件综合实现了手指两关节可变顺序转动及自适应抓取的特殊效果。该装置可以灵活调节近关节与远关节的先后转动顺序，并可以调节末端指段的预转角度大小，实现握持、捏持和混合抓持等多种抓取方式，既具有比传统欠驱动手指更多的灵巧性，又保留了欠驱动手指在抓取物体时具有的自适应性。该装置结构紧凑、体积小、形态动作更趋近于人手、控制容易、抓取灵巧性高、稳定性好，可以自动适应抓取各种形状、尺寸的物体，适合作为拟人机器人手的手指或手指一部分使用。

附图说明

图1是本发明提供的变序欠驱动两关节机器人手指装置的一种实施例的正面剖视图。

图2是图1所示实施例的A-A剖视图。

图3是图1所示实施例的外观图。

图4是图2的外观图。

图 5 是图 1 所示实施例的近关节簧件的安装示意图。

图 6 是图 1 所示实施例的远关节簧件的安装示意图。

图 7 是图 6 所示远关节簧件反转后的示意图（图中的箭头方向为反转方向）。

图 8 是图 6 所示远关节簧件正转后，末端指段不转的示意图（图中的箭头方向为正转方向）。

图 9 是图 6 所示远关节簧件正转后，末端指段随之转动的示意图（图中的箭头方向为正转方向）。

图 10、图 11、图 12、图 13 是图 1 所示实施例在仅第一电机工作情况下，按照传统自适应欠驱动方式握持大物体的过程示意图（此情况下远关节簧件较强，即劲度系数较大）。

图 10、图 11、图 12、图 13 是图 1 所示实施例在远关节簧件反转后，再按照自适应欠驱动方式握持大物体的过程示意图，在此全过程中先第二电机工作再第一电机工作。

图 14、图 15、图 16、图 17 是图 1 所示实施例在仅第一电机工作情况下，按照欠驱动方式混合抓持中等物体的过程示意图（此情况下远关节簧件较弱，即劲度系数较小）。

图 14、图 15、图 16、图 17 是图 1 所示实施例在远关节簧件正转后，再按照欠驱动方式混合抓持中等物体的过程示意图，在此全过程中先第二电机工作再第一电机工作。

图 18、图 19 是图 1 所示实施例在仅第一电机工作情况下，按照欠驱动方式捏持小物体的过程示意图（此情况下远关节簧件较弱，且物体离手指较近）。

图 18、图 19 是图 1 所示实施例在远关节簧件正转后，再按照欠驱动方式捏持小物体的过程示意图，在此全过程中先第二电机工作再第一电机工作（此情况下物体离手指较近）。

图 20、图 21、图 22 是图 1 所示实施例在仅第一电机工作情况下，按照欠驱动方式捏持小物体的过程示意图（此情况下远关节簧件较弱，且物体离手指较远）。

图 20、图 21、图 22 是图 1 所示实施例在远关节簧件正转后，再按照欠驱动方式捏持小物体的过程示意图，在此全过程中先第二电机工作再第一电机工作（此情况下物体离手指较远）。

在图 1 至图 22 中：

- | | | |
|-------------------|------------|-----------|
| 1—基座， | 2—第一电机， | 3—近关节轴， |
| 4—中部指段， | 5—远关节轴， | 6—末端指段， |
| 7—第一齿轮， | 8—第二齿轮， | 9—第二簧件， |
| 10—主动轮， | 11—传动件， | 12—从动轮， |
| 13—第一锥齿轮， | 14—第二锥齿轮， | 15—第一簧件， |
| 16—第一减速器， | 17—第二电机， | 18—第二减速器， |
| 30、31、32—手指要抓的物体， | | 33—其他手指， |
| 40—第一传动机构， | 41—第二传动机构。 | |

具体实施方式

下面结合附图及实施例进一步详细说明本发明的具体结构、工作原理的内容。

本发明设计的变序欠驱动两关节机器人手指装置的实施例，如图 1、图 2、图 3、图 4、图 5、图 6 所示，包括基座 1、第一电机 2、近关节轴 3、中部指段 4、远关节轴 5、末端指段 6 和第一传动机构 40；所述的第一电机 2 与基座 1 固接，第一电机 2 的输出轴与近关节轴 3 相连；所述的近关节轴 3 套设在基座 1 中，远关节轴 5 套设在中部指段 4 中，近关节轴 3 和远关节轴 5 相互平行；所述的中部指段 4 套接在近关节轴 3 上，所述的末端指段 6 与远关节轴 5 固接；所述的第一传动机构 40 的输入轴与近关节轴 3 相连，第一传动机构 40 的输出轴与远关节轴 5 相连，近关节轴 3 与远关节轴 5 的转动方向相同；该变序欠驱动两关节机器人手指装置还包括第二电机 17、第一锥齿轮 13、第二锥齿轮 14 和第一簧件 15；所述的第二电机 17 与中部指段 4 固接，所述的第一锥齿轮 13 套固在第二电机 17 的输出轴上，所述的第二锥齿轮 14 套接在远关节轴 5 上并与第一锥齿轮 13 相啮合，所述的第一簧件 15 两端分别连接第二锥齿轮 14 和末端指段 6。

本发明所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，所述的第一传动机构采用平带轮传动机构、齿形带轮传动机构、绳轮传动机构、链条传动机构、齿轮齿条传动机构、齿轮传动机构或连杆传动机构中的一种或几种的组合。

本实施例中，所述的第一传动机构 40 采用平带轮传动机构。

本发明所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，所述的第一传动机构包括主动轮、传动件和从动轮；所述的主动轮与近关节轴相连，从动轮与远关节轴相连，传动件连接主动轮与从动轮，所述的传动件采用平带、齿形带、齿条、腱绳、钢丝或链条，所述的主动轮采用带轮、齿轮、绳轮或链轮，所述的从动轮采用带轮、齿轮、绳轮或链轮，所述的传动件、主动轮和从动轮三者之间能够配合形成传动关系。

本实施例中，所述的第一传动机构 40 包括主动轮 10、传动件 11 和从动轮 12；所述的主动轮 10 通过第二簧件 9 与近关节轴 3 相连，从动轮 12 与远关节轴 5 相连，传动件 11 连接主动轮 10 与从动轮 12，所述的传动件 11 采用平带，所述的主动轮 10 采用带轮，所述的从动轮 12 采用带轮，所述的传动件 11、主动轮 10 和从动轮 12 三者之间能够配合形成平带轮传动关系。

本发明所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，所述的第一簧件采用扭簧、拉簧、压簧、片簧、板簧、发条或弹性绳中一种或几种的组合。

本实施例中，所述的第一簧件 15 采用扭簧。

本发明所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，还包括第二传动机构；所述的第二传动机构的输入端与第一电机的输出轴相连，第二传动机构的输出端与近关节轴相连。

本实施例还包括第二传动机构 41；所述的第二传动机构 41 的输入端与第一电机 2 的输出轴相连，第二传动机构 41 的输出端与近关节轴 3 相连。

本实施例中，所述的第二传动机构 41 采用齿轮传动机构，包括第一齿轮 7 和第二齿轮 8；所述的第一齿轮 7 与第一电机 2 的输出轴相连，第二齿轮 8 与第一齿轮 7 相啮合形成齿轮传动关系，第二齿轮 8 与近关节轴 3 相连。

本发明所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，还包括第二簧件；所述的第二簧件作为连接件串联安装到从近关节轴到第一传动机构再到远关节轴的传动链中。

本实施例还包括第二簧件 9；所述的第二簧件 9 的两端分别连接近关节轴 3 和第一传动机构 40 的输入端。

本发明所述的变序欠驱动两关节机器人手指装置，所述的第二簧件采用扭簧、拉簧、压簧、片簧、板簧、发条或弹性绳中一种或几种的组合。

本实施例中，所述的第二簧件 9 采用扭簧。

本实施例还包括第一减速器 16，所述的第一减速器 16 与第一电机 2 固接，第一减速器 16 的输入轴与第一电机 2 的输出轴相连，第一减速器 16 的输出轴与第二传动机构 41 的输入端相连，第一减速器 16 的输出轴与第一齿轮 7 相连。

本实施例还包括第二减速器 18，所述的第二减速器 18 与第二电机 17 固接，第二减速器 18 的输入轴与第二电机 17 的输出轴相连，第二减速器 18 的输出轴与第一锥齿轮 13 的输入端相连。

下面以图 1 所示实施例为例介绍本发明的工作原理。该实施例的工作原理，如图 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，叙述如下。

该装置的初始位置如图 10、图 14、图 18、图 20，此时中部指段 4 和末端指段 6 与基座 1 呈一条直线，即相当于人的手指完全伸直的状态，此时近关节和远关节均为伸直状态，这是整个装置的最初状态。分三种情况加以说明。

①以握持方式抓取物体：

握持方式又分为 (a)、(b) 两种情况加以说明。

(a) 若所选第一簧件本身就较强（劲度系数较大），仅第一电机工作，此时，手指按照传统自适应欠驱动方式握持物体。

第二电机 17 不用工作，第一电机 2 工作，其抓取物体的过程和原理为：第一电机 2 的输出轴转动，通过第一齿轮 7 带动固接有第二齿轮 8 的近关节轴 3 转动，拉动第二簧件 9 的一端绕近关节轴 3 的轴线转动，拉动第二簧件 9 的另一端的主动轮 10 转动。由于第一簧件 15 的约束作用，中部指段 4 与末端指段 6 好像固接为一个刚性整体，因此主动轮 10 的转动将通过传动件 11 和从动轮 12，优先使得中部指段 4 和末端指段 6 一起绕着近关节轴 3 转动。此过程直到中部指段 4 接触到手指要抓取的物体 30 为止，此时如图 11 所示。当中部指段 4 被物体 30 阻挡而无法继续转动时，此时主动轮 10 继续拉动传动件 11，使从动轮 12 转动，使得远关节轴 5 转动，从而使末端指段 6 克服第一簧件 15 的弹力而转动，同时第一簧件 15 的形变量增大，如图 12 所示，直到末端指段 6 也碰到物体 30 不能再转动。第一电机 2 继续转动，拉动第二簧件 9 变形产生相应的弹力施加在物体上，第一电机 2 再停转，完成抓取，如图 13 所示。至此，本实施例装置抓紧了物体 30。

当放开物体 30 时，第一电机 2 反向转动，带动近关节轴 3 反转，带动第二簧件 9 反转，

从而带动主动轮 10 反转，从而通过传动件 11 拉动从动轮 12 反向转动，此时第一簧件 15 的形变量逐渐减小，末端指段 6 绕远关节轴 5 的轴线反转而离开物体 30 表面，如图 12 所示。直到末端指段 6 已到达伸直状态，如图 11 所示。由于末端指段 6 被中部指段 4 阻挡而不能再继续反转，此时第一电机 2 继续反向转动，将带动整个中部指段 4、远关节轴 5、从动轮 9 和末端指段 6 一起绕着近关节轴 3 的轴线反向转动，中部指段 4 离开物体 30 表面。直到恢复到初始手指伸直的位置，如图 10 所示。

(b) 由于 (a) 情况中要求第一簧件“本身就较强（劲度系数较大）”，存在对于第一簧件的选择和调试问题，在实际情况中往往使操作处于被动和受限制的状态。为了从根本上解决这一问题，加入第二电机和锥齿轮等装置，主动使第一簧件变强。

让第二电机先反向转动，之后第一电机再工作，此时，手指将更好地按照自适应欠驱动方式握持物体。

第二电机 17 与第一电机 2 依次先后使用。首先让第二电机 17 反向转动，其输出轴转动，带动第一锥齿轮 13 转动，与第一锥齿轮 13 相啮合的第二锥齿轮 14 随之转动，并带动第一簧件 15 反向转动，如图 7 所示。第一簧件 15 反转一定角度后，第二电机 17 停止工作不再转动。前述过程可以按抓取需要自由调节预转的角度。此后转为第一电机 2 再开始工作，此时，由于第一簧件 15 的反转产生的力的作用，末端指段 6 更好地与中部指段 4 保持伸直状态，而不会轻易受到扰动。之后的抓取过程与前述 (a) 过程相同，如图 10、11、12、13 所示。

放开物体 30 的过程与 (a) 也基本相同。只是当恢复到初始手指伸直的位置后，第一电机 2 停止工作，第二电机 17 开始正转，直到使第一簧件 15 恢复松弛状态为止。整个过程如图 13、12、11、10 所示。

②以捏持方式抓取物体：

捏持方式又分为 (c)、(d) 两种情况加以说明。

(c) 若所选第一簧件本身就较弱（劲度系数较小），仅第一电机工作，此时，手指按照逆序欠驱动方式捏持物体。

第二电机 17 不用工作，第一电机 2 工作，其抓取物体的过程和原理为：第一电机 2 的输出轴转动，通过第一齿轮 7 带动固接有第二齿轮 8 的近关节轴 3 转动，拉动第二簧件 9 的一端绕近关节轴 3 的轴线转动，拉动第二簧件 9 的另一端的主动轮 10 转动。由于第一簧件 15 的约束作用不够强，主动轮 10 的转动将通过传动件 11 和从动轮 12，优先使得末端指段 6 绕着远关节轴 5 转动。

此后又由于物体 32 的远近不同而分为两种情况。

(c1) 若物体 32 离手指较近，则末端指段 6 碰到物体 32 后，捏持即完成。整个过程如图 18、19 所示。

放开物体 32 的原理与 (a) 类似。第一电机 2 反向转动，带动装置按上述捏持过程的逆过程完成。整个过程如图 19、18 所示。

(c2) 若物体 32 离手指较远，则末端指段 6 的转动直到第一簧件 15 转动后产生的力足

够使中部指段 4 与末端指段 6 好像固接为一个刚性整体为止，设此时中部指段 4 与末端指段 6 的夹角为 θ ，此时如图 21 所示。此后的抓取过程的原理和 (a) 相同，中部指段 4 与末端指段 6 一起转动，直到末端指段 6 碰到物体 32 后，捏持即完成，如图 22 所示。

放开物体 32 的原理与 (a) 类似。第一电机 2 反向转动，带动装置按上述捏持过程的逆过程完成。整个过程如图 22、21、20 所示。

(d) 以上 (c) 情况虽然实现了按照逆序欠驱动方式捏持物体，但是要求第一簧件“本身就较弱（劲度系数较小）”，存在对于第一簧件的选择和调试问题，在实际情况中往往使操作处于被动和受限制的状态。为了从根本上解决这一问题，加入第二电机和锥齿轮等装置，主动使第一簧件变弱或者实现末端指段预弯曲的姿态。

让第二电机先正向转动，之后第一电机再工作，此时，对于有无第二簧件，将出现两种情况，下面分别阐述。（对于 (a)、(b)、(c)，有无第二簧件串联安装到从近关节轴到第一传动机构再到远关节轴的传动链中对抓取效果没有影响。）

(d1) 无第二簧件 9。此时，手指末端指段 6 在第二电机 17 正向转动时并不随之转动，主动使第一簧件 15 变弱。

第二电机 17 与第一电机 2 依次先后使用。首先让第二电机 17 正向转动，其输出轴转动，带动第一锥齿轮 13 转动，与第一锥齿轮 13 相啮合的第二锥齿轮 14 随之转动，并带动第一簧件 15 正向转动，如图 8 所示。由于没有第二簧件 9 的存在，此时，从远关节轴 5，到第一传动机构 40，到近关节轴 3 的传动链，被第一电机 2 到第二传动机构 41 的传动链软自锁了，末端指段 6 不会转动。（软自锁是因为减速器的减速比较大，电机停转时，难以让近关节轴转动。）此时状态依然如图 18、图 20 所示。前述过程可以按抓取需要自由调节预转的角度。一旦调节完成第二电机 17 就停止工作，此后转为第一电机 2 再开始工作，由于第一簧件 15 已有预先的正转，末端指段 6 将先转动。

此后又由于物体 32 的远近不同而分为两种情况。

(d1.1) 若物体 32 离手指较近，则末端指段 6 碰到物体 32 后，捏持即完成。整个过程如图 18、19 所示。

放开物体 32 时，第一电机 2 先反向转动，第二电机 17 再反向转动，带动装置按上述捏持过程的逆过程完成。整个过程如图 19、18 所示。

(d1.2) 若物体 32 离手指较远，则末端指段 6 的转动直到第一簧件 15 恢复松弛状态为止，设此时中部指段 4 与末端指段 6 的夹角为 θ ，此时如图 21 所示。此后的抓取过程的原理和 (a) 相同，中部指段 4 与末端指段 6 一起转动，直到末端指段 6 碰到物体 32 后，捏持即完成，如图 22 所示。

放开物体 32 时，第一电机 2 先反向转动，第二电机 17 再反向转动，带动装置按上述捏持过程的逆过程完成。整个过程如图 22、21、20 所示。

(d2) 有第二簧件 9。此时，手指末端指段 6 在第二电机 17 正向转动时随之转动，实现预弯曲的姿态。

第二电机 17 与第一电机 2 依次先后使用。首先让第二电机 17 正向转动，其输出轴转动，带动第一锥齿轮 13 转动，与第一锥齿轮 13 相啮合的第二锥齿轮 14 随之转动，并带动第一簧件 15 正向转动，如图 9 所示。此时，末端指段 6 随之转动，从远关节轴 5 到第一传动机构 40 的传动链也随之转动，转动效果加载在第二簧件 9 上，第二簧件 9 变形。

此后又由于物体 32 的远近不同而分为两种情况。

(d2.1) 若物体 32 离手指较近，则末端指段 6 碰到物体 32 后，捏持即完成。整个过程如图 18、19 所示。

放开物体 32 时，第二电机 17 反向转动，带动装置按上述捏持过程的逆过程完成。整个过程如图 19、18 所示。

(d2.2) 若物体 32 离手指较远，则末端指段 6 的转动直到第一簧件 15 恢复松弛状态为止，设此时中部指段 4 与末端指段 6 的夹角为 θ ，此时如图 21 所示。前述过程可以按抓取需要自由调节预转的角度。一旦调节完成第二电机 17 就停止工作，转为第一电机 2 再开始工作，此后的抓取过程的原理和 (a) 相同，中部指段 4 与末端指段 6 一起转动，直到末端指段 6 碰到物体 32 后，捏持即完成，如图 22 所示。

放开物体 32 时，第一电机 2 先反向转动，第二电机 17 再反向转动，带动装置按上述捏持过程的逆过程完成。整个过程如图 22、21、20 所示。

③以混合抓持方式抓取物体：

混合抓持方式又分为 (e)、(f) 两种情况加以说明。

(e) 若所选第一簧件本身就较弱（劲度系数较小），仅第一电机工作，此时，手指按照逆序欠驱动混合抓持方式抓取物体。

第二电机 17 不用工作，第一电机 2 工作，其抓取物体的过程和原理为：第一电机 2 的输出轴转动，通过第一齿轮 7 带动固接有第二齿轮 8 的近关节轴 3 转动，拉动第二簧件 9 的一端绕近关节轴 3 的轴线转动，拉动第二簧件 9 的另一端的主动轮 10 转动。由于第一簧件 15 的约束作用不够强，主动轮 10 的转动将通过传动件 11 和从动轮 12，优先使得末端指段 6 绕着远关节轴 5 转动。此过程直到第一簧件 15 转动后产生的力足够使中部指段 4 与末端指段 6 好像固接为一个刚性整体为止，设此时中部指段 4 与末端指段 6 的夹角为 θ ，此时如图 15 所示。此后的抓取过程的原理和 (a) 相同，如图 16、17 所示。

放开物体 31 的原理与 (a) 类似。第一电机 2 反向转动，带动装置按上述混合抓持过程的逆过程完成。整个过程如图 17、16、15、14 所示。

(f) 以上 (e) 情况虽然实现了按照逆序欠驱动方式混合抓持物体，但是要求第一簧件“本身就较弱（劲度系数较小）”，存在对于第一簧件的选择和调试问题，在实际情况中往往使操作处于被动和受限制的状态。为了从根本上解决这一问题，加入第二电机和锥齿轮等装置，主动使第一簧件变弱或者实现末端指段预弯曲的姿态。

让第二电机先正向转动，之后第一电机再工作，此时，对于有无第二簧件，将出现两种情况，下面分别阐述。（对于 (a)、(b)、(c)，有无第二簧件串联安装到从近关节轴到第一传

动机构再到远关节轴的传动链中对抓取效果没有影响。)

(f1) 无第二簧件 9。此时, 手指末端指段 6 在第二电机 17 正向转动时并不随之转动, 主动使第一簧件 15 变弱。

第二电机 17 与第一电机 2 依次先后使用。首先让第二电机 17 正向转动, 其输出轴转动, 带动第一锥齿轮 13 转动, 与第一锥齿轮 13 相啮合的第二锥齿轮 14 随之转动, 并带动第一簧件 15 正向转动, 如图 8 所示。由于没有第二簧件 9 的存在, 此时, 从远关节轴 5, 到第一传动机构 40, 到近关节轴 3 的传动链, 被第一电机 2 到第二传动机构 41 的传动链软自锁了, 末端指段 6 不会转动。(软自锁是因为减速器的减速比较大, 电机停转时, 难以让近关节轴转动。) 此时状态依然如图 13 所示。前述过程可以按抓取需要自由调节预转的角度。一旦调节完成第二电机 17 就停止工作, 此后转为第一电机 2 再开始工作, 由于第一簧件 15 已有预先的正转, 末端指段 6 将先转动, 直到第一簧件 15 恢复松弛状态, 此时如图 15 所示。之后第一电机 2 工作时手指的后续转动抓取物体过程与前述 (a) 过程相同, 如图 16、17 所示。

放开物体 31 的原理与 (b) 类似。第一电机 2 先反向转动, 第二电机 17 再反向转动, 带动装置按上述混合抓持过程的逆过程完成。整个过程如图 17、16、15、14 所示。

(f2) 有第二簧件 9。此时, 手指末端指段 6 在第二电机 17 正向转动时随之转动, 实现预弯曲的姿态。

第二电机 17 与第一电机 2 依次先后使用。首先让第二电机 17 正向转动, 其输出轴转动, 带动第一锥齿轮 13 转动, 与第一锥齿轮 13 相啮合的第二锥齿轮 14 随之转动, 并带动第一簧件 15 正向转动, 如图 9 所示。此时, 末端指段 6 随之转动, 从远关节轴 5 到第一传动机构 40 的传动链也随之转动, 转动效果加载在第二簧件 9 上, 第二簧件 9 变形。末端指段 6 的转动直到第一簧件 15 恢复松弛状态为止, 此时如图 15 所示。前述过程可以按抓取需要自由调节预转的角度。一旦调节完成第二电机 17 就停止工作, 此后转为第一电机 2 再开始工作, 之后第一电机 2 工作时手指的后续转动抓取物体过程与前述 (a) 过程相同, 只是手指的初始姿态变为弯曲的状态了, 如图 16、17 所示。

放开物体 31 的原理与 (b) 类似。第一电机 2 先反向转动, 第二电机 17 再反向转动, 带动装置按上述混合抓持过程的逆过程完成。整个过程如图 17、16、15、14 所示。

上述各种情况下, 本发明所提出的该实施例装置都可以正常工作。

本发明装置利用双电机、锥齿轮等传动机构和簧件综合实现了手指两关节可变顺序转动及自适应抓取的特殊效果。该装置可以灵活调节近关节与远关节的先后转动顺序, 并可以调节末端指段的预转角度大小, 实现握持、捏持和混合抓持等多种抓取方式, 既具有比传统欠驱动手指更多的灵巧性, 又保留了欠驱动手指在抓取物体时具有的自适应性。该装置结构紧凑、体积小、形态动作更趋近于人手、控制容易、抓取灵巧性高、稳定性好, 可以自动适应抓取各种形状、尺寸的物体, 适合作为拟人机器人手的手指或手指一部分使用。

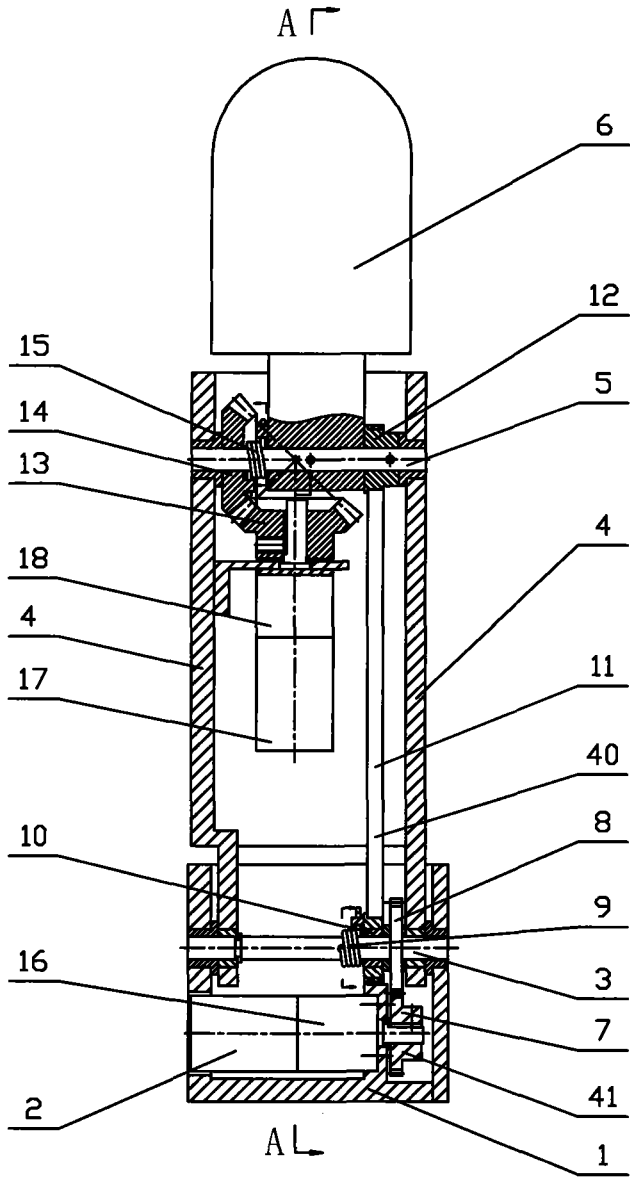


图 1

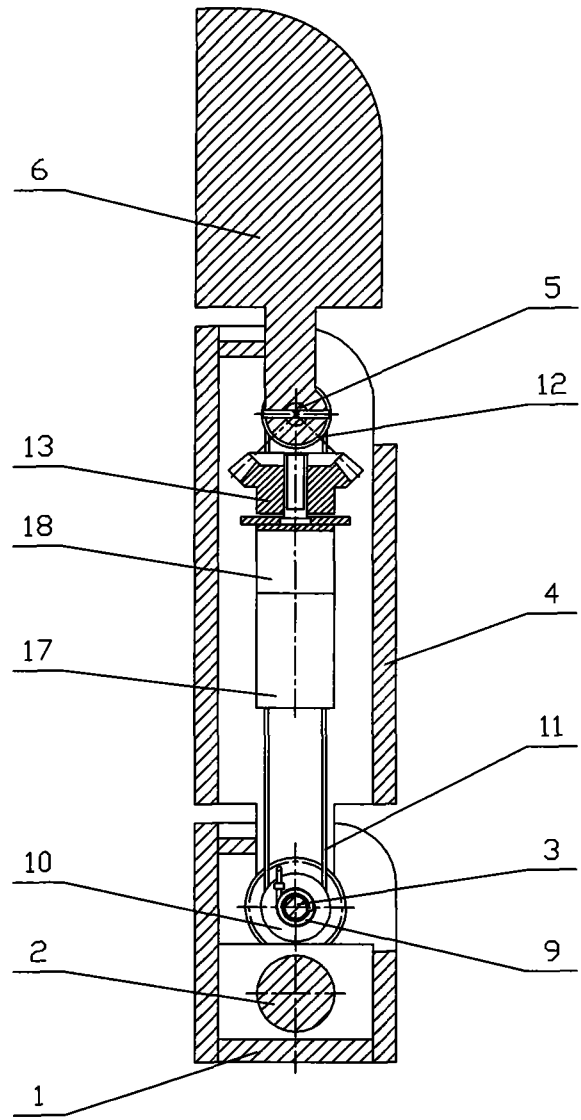


图 2

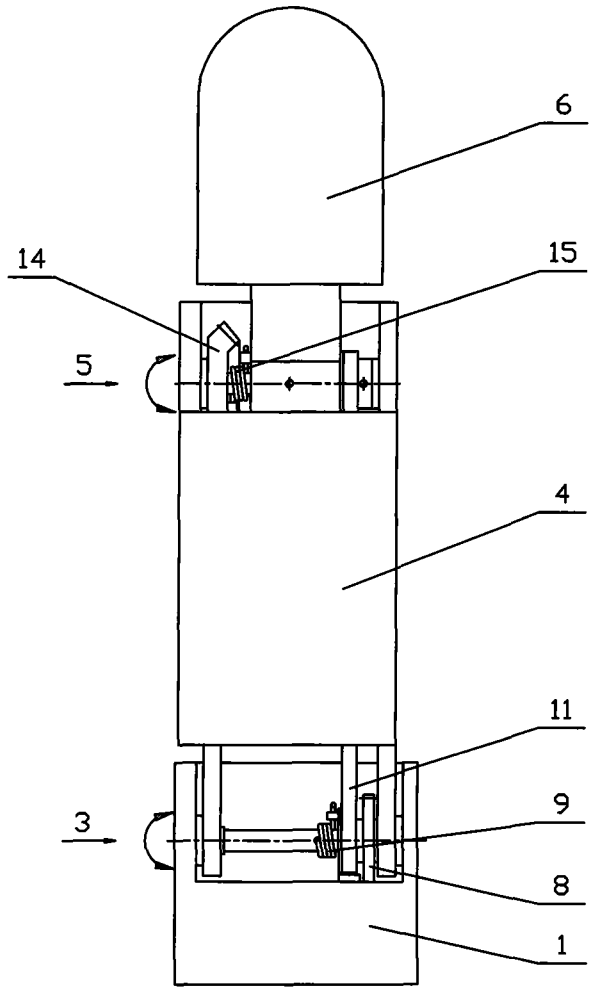


图 3

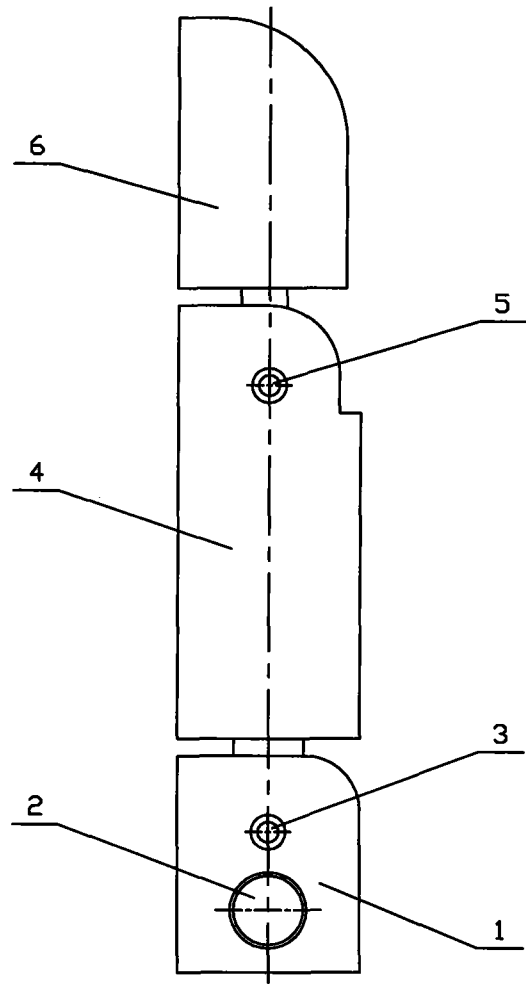


图 4

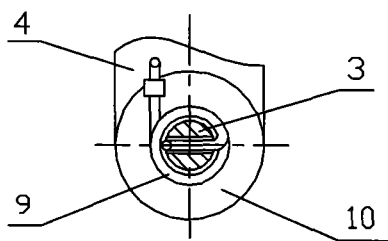


图 5

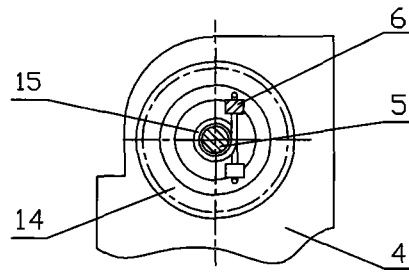


图 6

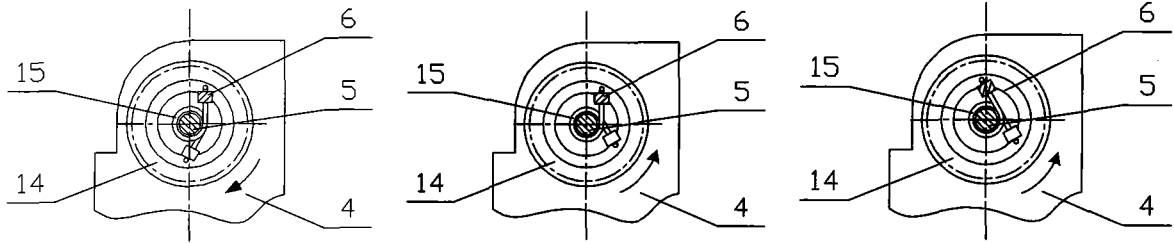


图 7

图 8

图 9

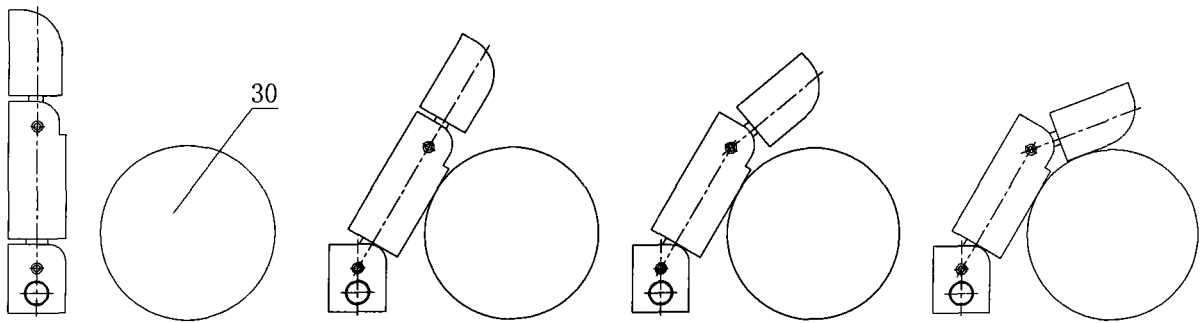


图 10

图 11

图 12

图 13

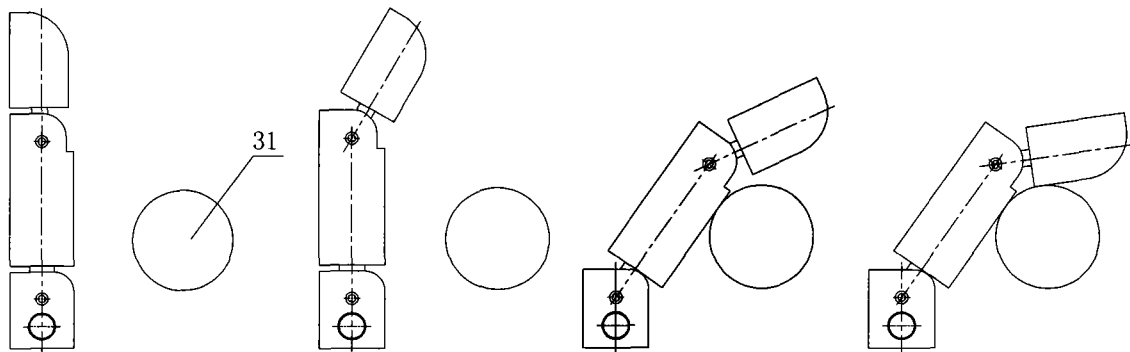


图 14

图 15

图 16

图 17

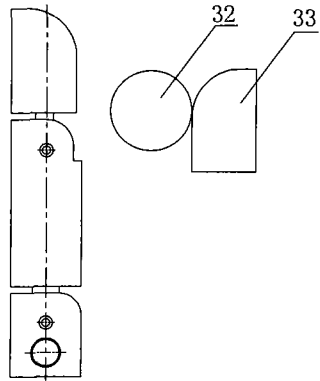


图 18

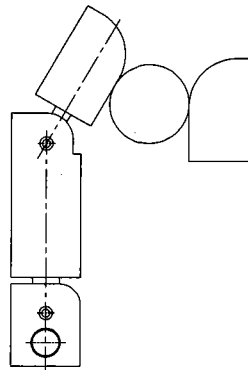


图 19



图 20

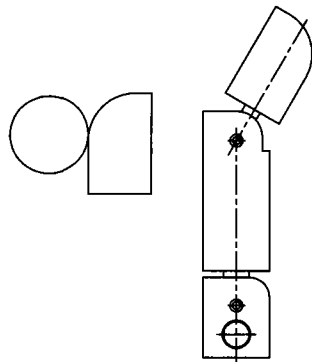


图 21

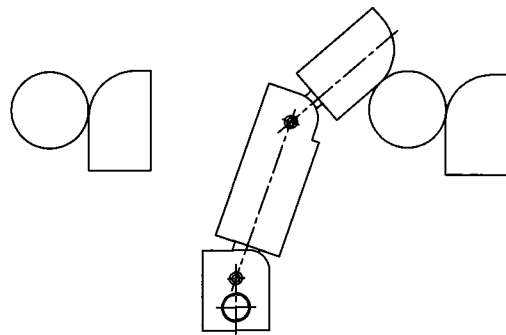


图 22