



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113910279 A

(43) 申请公布日 2022.01.11

(21) 申请号 202111397012.9

(22) 申请日 2021.11.23

(71) 申请人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市玄武区四牌楼2号

(72) 发明人 张军 刘琪 周敬淞 宋爱国
金伟明

(74) 专利代理机构 南京众联专利代理有限公司
32206

代理人 吕书桁

(51) Int. Cl.

B25J 15/00 (2006.01)

B25J 13/08 (2006.01)

B25J 17/02 (2006.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图8页

(54) 发明名称

一种感知驱动一体化刚柔耦合手指及柔顺型机器人灵巧手

(57) 摘要

本发明提出了一种感知驱动一体化刚柔耦合手指及柔顺型机器人灵巧手,刚柔耦合手指包括掌骨节块、近节块、中节块、远节块、扭转弹簧、感知驱动钢片、直线电机、压力传感器、柔性节块垫片;所述感知驱动钢片设计有的锯齿状结构,且表面设有电阻应变片,用于检测手指关节的弯曲角度;所述柔顺型机器人灵巧手包括食指、中指、无名指、小指、大拇指、柔性手掌垫片、直流电机、控制模块和电源模块;所述食指、中指、无名指和小指与所述刚柔耦合手指结构相同,并且都与所述的柔性手掌垫片连接;所述大拇指掌骨节块与食指掌骨节块通过转动副连接。本发明感知驱动一体化刚柔耦合手指及柔顺型机器人灵巧手具有结构简单紧凑、柔顺自适应和控制简单的优点。

1. 一种感知驱动一体化刚柔耦合手指,所述的刚柔耦合手指(1)包括掌骨节块(1-1)、近节块(1-2)、中节块(1-3)、远节块(1-4)、扭转弹簧(1-5)、直线电机(1-6)、感知驱动钢片(1-7)、压力传感器(1-8)和柔性节块垫片(1-9),其特征在于:所述的掌骨节块(1-1)、近节块(1-2)、中节块(1-3)和远节块(1-4)依次由转动关节串联连接;所述的掌骨节块(1-1)、近节块(1-2)、中节块(1-3)和远节块(1-4)上均设置有槽型孔;所述的扭转弹簧(1-5)包括扭转弹簧组一(1-5-1)、扭转弹簧组二(1-5-2)和扭转弹簧组三(1-5-3),分别设置在所述的掌骨节块(1-1)与近节块(1-2)、近节块(1-2)与中节块(1-3)、中节块(1-3)与远节块(1-4)之间的转动关节上;所述的直线电机(1-6)安装在所述的掌骨节块(1-1)上;所述的感知驱动钢片(1-7)穿过所述的掌骨节块(1-1)、近节块(1-2)和中节块(1-3)上的槽型孔,并且感知驱动钢片(1-7)的后端固定在所述的直线电机(1-6)的输出轴上,感知驱动钢片(1-7)的前端固定在所述的远节块(1-4)的槽型孔内;所述的压力传感器(1-8)包括压力传感器一(1-8-1)、压力传感器二(1-8-2)、压力传感器三(1-8-3),分别安装于近节块(1-2)、中节块(1-3)、远节块(1-4)的下侧凹槽中;所述的柔性节块垫片(1-9)包括节块垫片一(1-9-1)、节块垫片二(1-9-2)、节块垫片三(1-9-3),分别设置在所述的近节块(1-2)、中节块(1-3)、远节块(1-4)的下表面,并与所述的压力传感器一(1-8-1)、压力传感器二(1-8-2)和压力传感器三(1-8-3)分别接触。

所述的感知驱动钢片(1-7)包括柔性钢片(1-7-1)、应变片组一(1-7-2)、应变片组二(1-7-3)、应变片组三(1-7-4);所述的柔性钢片(1-7-1)为薄片形弹簧钢片;所述的应变片组一(1-7-2)、应变片组二(1-7-3)、应变片组三(1-7-4)分别粘贴在柔性钢片(1-7-1)对应的掌骨节块(1-1)与近节块(1-2)、近节块(1-2)与中节块(1-3)、中节块(1-3)与远节块(1-4)之间的三个转动关节处。

2. 根据权利要求1所述的一种感知驱动一体化刚柔耦合手指,其特征在于:将柔性钢片(1-7-1)分为三段阶梯状,每段阶梯的宽度分别为 W_1, W_2, W_3 ,每段阶梯的长度分别为 L_1, L_2, L_3 ,每段阶梯结构分别贯穿于刚柔耦合手指三个弯曲关节之中,每段阶梯的上下表面设置有矩形凹槽,所述的应变片组一(1-7-2)、应变片组二(1-7-3)和应变片组三(1-7-4)分别安装在所述的柔性钢片(1-7-1)的三个阶梯状结构上的凹槽内;所述的应变片组一(1-7-2)、应变片组二(1-7-3)和应变片组三(1-7-4)包括上下两个大小相同、应变系数相同的上电阻式应变片一(1-7-2-1)、下电阻式应变片一(1-7-2-2)、上电阻式应变片二(1-7-3-1)、下电阻式应变片二(1-7-3-2)、上电阻式应变片三(1-7-4-1)、下电阻式应变片三(1-7-4-2),呈对称式安装在柔性钢片(1-7-1)每个阶梯结构的上下表面凹槽内;所述的柔性钢片(1-7-1)每个阶梯结构弯曲时,上表面电阻式应变片拉伸,下表面电阻式应变片压缩,每组电阻式应变片构成惠斯通半桥的两个桥臂,将柔性钢片(1-7-1)每个锯齿状结构弯曲角度转换为每组应变片的电阻变化,通过惠斯通半桥将应变片的电阻变化转换为电压变化,最终测量得到柔性钢片每个锯齿结构的弯曲角度。

3. 根据权利要求1所述的一种感知驱动一体化刚柔耦合手指,其特征在于:将柔性钢片(1-7-1)左右两边分别设计成三个锯齿状,锯齿的宽度分别为 W_4, W_5, W_6 ,锯齿的长度分别为 L_4, L_5, L_6 ,每段锯齿的长度中心位置分别与刚柔耦合手指三个弯曲关节轴对齐,每段有锯齿柔性钢片(1-7-1)上下表面设置有矩形凹槽,所述的上电阻式应变片一(1-7-2-1)、下电阻式应变片一(1-7-2-2)、上电阻式应变片二(1-7-3-1)、下电阻式应变片二(1-7-3-2)、上电

阻式应变片三(1-7-4-1)、下电阻式应变片三(1-7-4-2),呈对称式安装在柔性钢片(1-7-1)每个锯齿段上下表面的凹槽内;所述的柔性钢片(1-7-1)每个锯齿结构段弯曲时,上表面电阻式应变片拉伸,下表面电阻式应变片压缩,每组电阻式应变片构成惠斯通半桥的两个桥臂,将柔性钢片(1-7-1)每个锯齿状结构段弯曲角度转换为每组应变片的电阻变化,通过惠斯通半桥将应变片的电阻变化转换为电压变化,最终测量得到柔性钢片每个锯齿结构段的弯曲角度。

4.根据权利要求1-3任意一项所述所述的一种感知驱动一体化刚柔耦合手指,其特征在于:所述柔性钢片(1-7-1)应变片测量方式如下;设所述的上表面应变片电阻值为 R_1 ,下表面应变片电阻值为 R_2 ,已知其余桥臂电阻 R_3 和 R_4 ,应变片K系数 $\Delta R/R=K\varepsilon$,当所述的感知驱动钢片弯曲时电桥输出所述的感知驱动钢片的有效应变变量 ε 为:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{K} \cdot \frac{V_0}{V}$$

其中 V 是图中电桥的电压, V_0 是因为应变片阻值变化而产生的电桥电压变化量,通过标定有效应变变量 ε 与关节旋转角度之间的关系,即可实现在刚柔耦合手指弯曲时对关节弯曲角度的实时检测。

5.使用权利要求1-4任意一项所述感知驱动一体化刚柔耦合手指的柔顺型机器人灵巧手,包括食指(2-1)、中指(2-2)、无名指(2-3)、小指(2-4)、大拇指(2-5)、柔性手掌垫片(2-6)、直流电机(2-7)、控制模块(2-8)和电源模块(2-9),其特征在于:所述的食指(2-1)、中指(2-2)、无名指(2-3)和小指(2-4)采用刚柔耦合手指结构设计;所述的食指(2-1)、中指(2-2)、无名指(2-3)和小指(2-4)的食指掌骨节块(2-1-1)、中指掌骨节块(2-2-1)、无名指掌骨节块(2-3-1)、小指掌骨节块(2-4-1)都粘贴在所述的柔性手掌垫片(2-6)上;所述的大拇指(2-5)仅有刚柔耦合手指结构的掌骨节块(1-1)、近节块(1-2)和远节块(1-4),无中节块(1-3),所述的大拇指(2-5)的大拇指掌骨节块(2-5-1)与所述的食指(2-1)的掌骨节块(2-1-1)通过转动副连接;所述的食指(2-1)的食指掌骨节块(2-1-1)上固定安装有直流电机(2-7),大拇指(2-5)的大拇指掌骨节块(2-5-1)固定在直流电机(2-7)输出轴上,直流电机(2-7)驱动大拇指掌骨节块(2-5-1)与食指掌骨节块(2-1-1)相对转动,实现大拇指(2-5)的对掌运动驱动。

一种感知驱动一体化刚柔耦合手指及柔顺型机器人灵巧手

技术领域

[0001] 本发明及属于机器人学、传感技术、计算机科学、控制科学、人机交互技术、医疗康复的交叉领域,具体为一种感知驱动一体化刚柔耦合手指及柔顺型机器人灵巧手。

背景技术

[0002] 人体手部是人与外界环境沟通交流的重要工具之一,疾病以及意外事故造成的手部功能缺失将严重影响患者的日常生活。对患者的康复和护理往往给患者家庭及医疗机构带来沉重的经济与时间负担。因此,设计具有良好人机交互以及安全性的灵巧手辅助患者进行日常物体抓取等操作具有重要的研究和实用价值。

[0003] 目前灵巧手的典型结构可以分为刚性灵巧手和柔性灵巧手,刚性机构目前较为成熟,其往往采用连杆、齿轮、曲柄滑块等刚性机构构成转动自由度,而柔性机构往往采用弹性元件如弹簧、鲍登线气动肌肉或者柔性驱动器驱动灵巧手的运动。其中刚性灵巧手机构具有运动控制精度高等优点,但是过多的自由度使灵巧手面临着控制策略上的高度复杂,且缺少与环境交互的柔顺性。柔性机构灵巧手具有与环境交互的高度柔性特点,但是难以实现较为精确的控制,且柔性驱动采用的驱动器往往重量体积较大,难以实现日常便携的功能。

[0004] 面对上述问题,采用刚柔耦合的设计思路,将刚性结构和柔性结构结合,可以平衡结构强度控制精度要求与便携轻质柔顺的要求。专利CN201910945737.3提出一种刚柔耦合结构的脑卒中患者手部功能康复机器人设计方法,在机器人手指设计中采用三片弹簧钢片分别作为刚性关节的连接机构、关节自适应长度调节机构,以及关节弯曲驱动机构,结构比较复杂,并存在关节弯曲运动精度和稳定性不高问题,为了检测手指弯曲角度,该机器人手指设计中采用柔性弯曲传感器和加速度陀螺仪传感器分别检测弹簧钢片的弯曲角度和手指的姿态角,存在系统复杂、装配精度要求高、安装繁琐,运行可靠性低的问题,并且手指的三个关节的弯曲角度固定。为了克服以上问题,本发明设计了一种感知驱动一体化刚柔耦合手指及柔顺型机器人灵巧手,所设计的感知驱动一体化刚柔耦合手指,使用感知驱动钢片结构对柔顺型机器人灵巧手手指进行驱动,可以实现关节驱动的同时,实时监测关节弯曲角度,提供手指实时位置反馈便于精确控制。此外根据人体手部在自然弯曲抓握过程中,存在着掌指关节、近端关节和远端关节弯曲角度的耦合关系,本发明通过设计柔性钢片锯齿结构的不同宽度模拟人体手指自然弯曲抓握运动规律,简化手部自由度和控制复杂度,提高抓握操作的成功率。

发明内容

[0005] 本发明的目的是面对纯刚性灵巧手控制复杂度高,质量体积大,且缺少交互柔性的问题,以及气动纯柔性灵巧手难以实现精确的控制以及便携能力较低等不足,提出一种感知驱动一体化刚柔耦合手指及柔顺型机器人灵巧手。该感知驱动一体化刚柔耦合手指及柔顺性机器人灵巧手具有刚性灵巧手和柔性灵巧手的运动、结构优点,同时在驱动的过程

中具有良好的感知功能,可以实时测量得到结构运动数据,有效弥补刚性灵巧手控制复杂质量体积大和纯柔性灵巧手控制精度低和难以便携等缺点。

[0006] 本发明提供一种感知驱动一体化刚柔耦合手指,所述的刚柔耦合手指包括掌骨节块、近节块、中节块、远节块、扭转弹簧、直线电机、感知驱动钢片、压力传感器和柔性节块垫片,所述的掌骨节块、近节块、中节块和远节块依次由转动关节串联连接;所述的掌骨节块、近节块、中节块和远节块上均设置有槽型孔;所述的扭转弹簧包括扭转弹簧组一、扭转弹簧组二和扭转弹簧组三,分别设置在所述的掌骨节块与近节块、近节块与中节块、中节块与远节块之间的转动关节上;所述的直线电机安装在所述的掌骨节块上;所述的感知驱动钢片穿过所述的掌骨节块、近节块和中节块上的槽型孔,并且感知驱动钢片的后端固定在所述的直线电机的输出轴上,感知驱动钢片的前端固定在所述的远节块的槽型孔内;所述的压力传感器包括压力传感器一、压力传感器二、压力传感器三,分别安装于近节块、中节块、远节块的下侧凹槽中;所述的柔性节块垫片包括节块垫片一、节块垫片二、节块垫片三,分别设置在所述的近节块、中节块、远节块的下表面,并与所述的压力传感器一、压力传感器二和压力传感器三分别接触。

[0007] 所述的感知驱动钢片包括柔性钢片、应变片组一、应变片组二、应变片组三;所述的柔性钢片为薄片形弹簧钢片;所述的应变片组一、应变片组二、应变片组三分别粘贴在柔性钢片对应的掌骨节块与近节块、近节块与中节块、中节块与远节块之间的三个转动关节处。

[0008] 作为本发明机器人手指进一步改进,将柔性钢片分为三段阶梯状,每段阶梯的宽度分别为 W_1, W_2, W_3 ,每段阶梯的长度分别为 L_1, L_2, L_3 ,每段阶梯结构分别贯穿于刚柔耦合手指三个弯曲关节之中,每段阶梯的上下表面设置有矩形凹槽,所述的应变片组一、应变片组二和应变片组三分别安装在所述的柔性钢片的三个阶梯状结构上的凹槽内;所述的应变片组一、应变片组二和应变片组三包括上下两个大小相同、应变系数相同的上电阻式应变片一、下电阻式应变片一、上电阻式应变片二、下电阻式应变片二、上电阻式应变片三、下电阻式应变片三,呈对称式安装在柔性钢片每个阶梯结构的上下表面凹槽内;所述的柔性钢片每个阶梯结构弯曲时,上表面电阻式应变片拉伸,下表面电阻式应变片压缩,每组电阻式应变片构成惠斯通半桥的两个桥臂,将柔性钢片每个锯齿状结构弯曲角度转换为每组应变片的电阻变化,通过惠斯通半桥将应变片的电阻变化转换为电压变化,最终测量得到柔性钢片每个锯齿结构的弯曲角度。

[0009] 作为本发明机器人手指进一步改进,将柔性钢片左右两边分别设计成三个锯齿状,锯齿的宽度分别为 W_4, W_5, W_6 ,锯齿的长度分别为 L_4, L_5, L_6 ,每段锯齿的长度中心位置分别与刚柔耦合手指三个弯曲关节轴对齐,每段有锯齿柔性钢片上下表面设置有矩形凹槽,所述的上电阻式应变片一、下电阻式应变片一、上电阻式应变片二、下电阻式应变片二、上电阻式应变片三、下电阻式应变片三,呈对称式安装在柔性钢片每个锯齿段上下表面的凹槽内;所述的柔性钢片每个锯齿结构段弯曲时,上表面电阻式应变片拉伸,下表面电阻式应变片压缩,每组电阻式应变片构成惠斯通半桥的两个桥臂,将柔性钢片每个锯齿状结构弯曲角度转换为每组应变片的电阻变化,通过惠斯通半桥将应变片的电阻变化转换为电压变化,最终测量得到柔性钢片每个锯齿结构的弯曲角度。

[0010] 作为本发明机器人手指进一步改进,所述柔性钢片测量方式如下;设所述的上表

面应变片电阻值为 R_1 ，下表面应变片电阻值为 R_2 ，已知其余桥臂电阻 R_3 和 R_4 ，应变片K系数 $\Delta R/R=K\varepsilon$ ，当所述的感知驱动钢片弯曲时电桥输出所述的感知驱动钢片的有效应变变量 ε 为：

$$[0011] \quad \varepsilon = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{K} \cdot \frac{V_0}{V}$$

[0012] 其中 V 是图中电桥的电压， V_0 是因为应变片阻值变化而产生的电桥电压变化量，通过标定有效应变变量 ε 与关节旋转角度之间的关系，即可实现在刚柔耦合手指弯曲时对关节弯曲角度的实时检测。

[0013] 本发明提供一种感知驱动一体化刚柔耦合手指的柔顺型机器人灵巧手，包括食指、中指、无名指、小指、大拇指、柔性手掌垫片、直流电机、控制模块和电源模块，所述的食指、中指、无名指和小指采用刚柔耦合手指结构设计；所述的食指、中指、无名指和小指的食指掌骨节块、中指掌骨节块、无名指掌骨节块、小指掌骨节块都粘贴在所述的柔性手掌垫片上；所述的大拇指仅有刚柔耦合手指结构的近节块和远节块无中节块，所述的大拇指的大拇指掌骨节块与所述的食指的掌骨节块通过转动副连接；所述的食指的食指掌骨节块上固定安装有直流电机，大拇指的大拇指掌骨节块固定在直流电机输出轴上，直流电机驱动大拇指掌骨节块与食指掌骨节块相对转动，实现大拇指的对掌运动驱动。

[0014] 与现有技术相比，本发明感知驱动一体化刚柔耦合手指及柔顺型机器人灵巧手具有结构简单紧凑、轻便、柔顺自适应和控制简单的优点，能够用于手部功能缺失患者的假肢设备和机械臂末端手抓等，具有以下优点：

[0015] (1) 采用刚性机构和柔性机构耦合设计方法，结构紧凑，兼具刚性灵巧手和柔性灵巧手的优点，使灵巧手更具柔顺、便携性；

[0016] (2) 通过锯齿状柔性钢片设计，调节不同的锯齿宽度，模拟人手自然抓握运动规律，简化柔顺型机器人灵巧手自由度和抓握控制方法，弥补纯刚性机构质量体积较大，结构复杂控制困难的缺点；

[0017] (3) 设计感知驱动一体化柔性钢片，并在刚性节块中安装压力传感器凹槽，提供灵巧手运动反馈，便于进行精确的抓握控制，使人机交互更具安全性，弥补纯柔性机构驱动器复杂难以便携和实现精确控制等缺点。

附图说明

[0018] 图1为本发明的感知驱动一体化刚柔耦合手指结构组成示意图；

[0019] 图2为本发明的感知驱动一体化刚柔耦合手指机构伸展时爆炸视图；

[0020] 图3为本发明的感知驱动一体化刚柔耦合手指压力传感器安装爆炸示意图；

[0021] 图4为本发明的感知驱动一体化刚柔耦合手指感知驱动钢片阶梯式结构以及应变片分布示意图；

[0022] 图5为本发明的感知驱动一体化刚柔耦合手指感知驱动钢片挖槽式结构以及应变片分布示意图；

[0023] 图6为本发明的感知驱动一体化刚柔耦合手指感知驱动钢片弯曲以及应变片处理电路示意图；

[0024] 图7为本发明的感知驱动一体化刚柔耦合手指中感知驱动钢片在不同宽度下的推力以及钢片转角仿真数据图；

- [0025] 图8为本发明的柔顺型机器人灵巧手系统组成示意图；
- [0026] 图9为本发明的柔顺型机器人灵巧手总体机构立体示意图；
- [0027] 图10为本发明的柔顺型机器人灵巧手柔性手掌垫片以及拇指旋转结构示意图；
- [0028] 图11为本发明的感知驱动一体化刚柔耦合手指在不同宽度感知驱动钢片下的弯曲示意图；
- [0029] 图12为本发明的感知驱动一体化刚柔耦合手指机构弯曲以及伸展示意图；
- [0030] 图13为现有技术方案机器人主体结构示意图；
- [0031] 图14为现有技术方案机器人手指驱动机构组成示意图；
- [0032] 图15为现有技术方案机器人手指弯曲角度检测方案示意图；
- [0033] 附件标记如下：
- [0034] 1、刚柔耦合手指；1-1、掌骨节块；1-2、近节块；1-3、中节块；1-4、远节块；1-5、扭转弹簧；1-5-1、扭转弹簧组一；1-5-2、扭转弹簧组二；1-5-3、扭转弹簧组三；1-6、直线电机；1-7、感知驱动钢片；1-7-1、柔性钢片；1-7-2、应变片组一；1-7-2-1、上电阻式应变片一；1-7-2-2、下电阻式应变片一；1-7-3、应变片组二；1-7-3-1、上电阻式应变片二；1-7-3-2、下电阻式应变片二；1-7-3、应变片组三；1-7-4-1、上电阻式应变片三；1-7-4-2、下电阻式应变片三；1-8、压力传感器；1-8-1、压力传感器一；1-8-2、压力传感器二；1-8-3、压力传感器三；1-9、柔性节块垫片；1-9-1、节块垫片一；1-9-2、节块垫片二；1-9-3、节块垫片三；2、柔顺型机器人灵巧手；2-1、食指；2-1-1、食指掌骨节块；2-2、中指；2-2-1、中指掌骨节块；2-3、无名指；2-3-1、无名指掌骨节块；2-4、小指；2-4-1、小指掌骨节块；2-5、大拇指；2-5-1、大拇指掌骨节块；2-6、柔性手掌垫片；2-7、直流电机；2-8、控制模块；2-9、电源模块。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图与具体实施方式对本发明作进一步详细描述：

[0036] 参照附图1、附图2、附图3、附图4和附图5，本发明公开了一种感知驱动一体化刚柔耦合手指及柔顺型机器人灵巧手，所述的刚柔耦合手指1包括掌骨节块1-1、近节块1-2、中节块1-3、远节块1-4、扭转弹簧1-5、直线电机1-6、感知驱动钢片1-7、压力传感器1-8、柔性节块垫片1-9；所述的掌骨节块1-1、近节块1-2、中节块1-3和远节块1-4依次由转动关节串联连接；所述的掌骨节块1-1、近节块1-2、中节块1-3和远节块1-4上均设置有槽型孔；所述的扭转弹簧1-5包括扭转弹簧组一1-5-1、扭转弹簧组二1-5-2和扭转弹簧组三1-5-3，分别设置在所述的掌骨节块1-1与近节块1-2、近节块1-2与中节块1-3、中节块1-3与远节块1-4之间的转动关节上；所述的直线电机1-6安装在所述的掌骨节块1-1上；所述的感知驱动钢片1-7穿过所述的掌骨节块1-1、近节块1-2和中节块1-3上的槽型孔，并且感知驱动钢片1-7的后端固定在所述的直线电机1-6的输出轴上，感知驱动钢片1-7的前端固定在所述的远节块1-4的槽型孔内；所述的压力传感器1-8包括压力传感器一1-8-1、压力传感器二1-8-2、压力传感器三1-8-3，分别安装于近节块1-2、中节块1-3、远节块1-4的下侧凹槽中；所述的柔性节块垫片1-9包括节块垫片一1-9-1、节块垫片二1-9-2、节块垫片三1-9-3，分别设置在所述的近节块1-2、中节块1-3、远节块1-4的下表面，并与所述的压力传感器一1-8-1、压力传感器二1-8-2和压力传感器三1-8-3分别接触。

[0037] 参照附图1、附图2、附图3、附图4和附图5，所述的感知驱动钢片1-7包括柔性钢片

1-7-1、应变片组一1-7-2、应变片组二1-7-3、应变片组三1-7-3；所述的柔性钢片1-7-1为薄片形弹簧钢片；所述的应变片组一1-7-1、应变片组二1-7-2、应变片组三1-7-3分别粘贴在柔性钢片1-7-1对应的掌骨节块1-1与近节块1-2、近节块1-2与中节块1-3、中节块1-3与远节块1-4之间的三个转动关节处。

[0038] 参照附图4和附图6,柔性钢片1-7-1设计为3段梯形状结构,每段梯形宽度分别为 W_1, W_2, W_3 ,每段阶梯的长度分别为 L_1, L_2, L_3 ,每段梯形结构分别贯穿于刚柔耦合手指三个弯曲关节之中。已知柔性钢片1-7-1两边边界条件相同,在受到推力时钢片将发生抛物线型对称弯曲。已知附图7为两端边界条件相同,宽度分别为 $W=6\text{mm}, W=8\text{mm}, W=10\text{mm}$ 的等长柔性钢片,在受到不同大小末端推力下的端点弯曲角度大变形仿真结果。可得,在等长的柔性钢片受到相等推力情况下,柔性钢片宽度越小其整体弯曲角度越大。通过设计柔性钢片1-7-1三个梯形结构的宽度 W_1, W_2, W_3 ,可以在直线电机10推进相同位置时,调整刚柔耦合手指三个关节弯曲的角度如附图11。根据前人研究,人体手部在自然弯曲抓握的情况下,掌指关节、近端关节和远端关节的弯曲角度呈现耦合关系。以柔性钢片梯形结构宽度与钢片弯曲角度的关系为基础,通过合理地设计柔性钢片1-7-1梯形状结构宽度 W_1, W_2, W_3 ,使得刚柔耦合手指可以模拟人手抓握过程的运动规律。通过模拟人手抓握过程的动态规律,可以实现简化柔顺型机器人灵巧手运动自由度,和控制复杂度的目的。

[0039] 参照附图5,将柔性钢片1-7-1左右两边分别设计成三个锯齿状,锯齿的宽度分别为 W_4, W_5, W_6 ,锯齿的长度分别为 L_4, L_5, L_6 ,每段锯齿的长度中心位置分别与刚柔耦合手指三个弯曲关节轴对齐,每段有锯齿柔性钢片1-7-1上下表面设置有矩形凹槽,所述的上电阻式应变片一1-7-2-1、下电阻式应变片一1-7-2-2、上电阻式应变片二1-7-3-1、下电阻式应变片二1-7-3-2、上电阻式应变片三1-7-4-1、下电阻式应变片三1-7-4-2,呈对称式安装在柔性钢片1-7-1每个锯齿段上下表面的凹槽内;所述的柔性钢片1-7-1每个锯齿结构段弯曲时,上表面电阻式应变片拉伸,下表面电阻式应变片压缩,每组电阻式应变片构成惠斯通半桥的两个桥臂,将柔性钢片每个锯齿状结构弯曲角度转换为每组应变片的电阻变化,通过惠斯通半桥将应变片的电阻变化转换为电压变化,最终测量得到柔性钢片每个锯齿结构的弯曲角度。

[0040] 参照附图1、附图2、附图3、附图4、附图5、附图6和附图7,所述的应变片组一1-7-2、应变片组二1-7-3和应变片组三1-7-4分别贴在所述的柔性钢片1-7-1的锯齿状结构上;所述的应变片组一1-7-2、应变片组二1-7-3和应变片组三1-7-4分别包括上下两个大小相同、应变系数相同的上电阻式应变片一1-7-2-1、下电阻式应变片一1-7-2-2、上电阻式应变片二1-7-3-1、下电阻式应变片二1-7-3-2、上电阻式应变片三1-7-4-1、下电阻式应变片三1-7-4-2,呈对称式粘贴在柔性钢片每个锯齿结构的上下表面;所述的柔性钢片1-7-1每个锯齿结构弯曲时,上表面电阻式应变片拉伸,下表面电阻式应变片压缩,每组电阻式应变片构成惠斯通半桥的两个桥臂,将柔性钢片每个锯齿状结构弯曲角度转换为每组应变片的电阻变化,通过惠斯通半桥将应变片的电阻变化转换为电压变化,最终测量得到柔性钢片每个锯齿结构的弯曲角度;设所述的上表面应变片电阻值为 R_1 ,下表面应变片电阻值为 R_2 ,已知其余桥臂电阻 R_3 和 R_4 ,应变片K系数($\Delta R/R=K\varepsilon$),当所述的感知驱动钢片弯曲时电桥输出所述的感知驱动钢片的有效应变变量 ε 为:

$$[0041] \quad \varepsilon = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{K} \cdot \frac{V_0}{V}$$

[0042] 其中V是图中电桥的电压， V_0 是因为应变片阻值变化而产生的电桥电压变化量，通过标定有效应变变量 ε 与关节旋转角度之间的关系，即可实现在刚柔耦合手指弯曲时对关节弯曲角度的实时检测。

[0043] 参照附图8、附图9和附图10，本发明公开了一种感知驱动一体化刚柔耦合手指及柔顺型机器人灵巧手，所述的柔顺型机器人灵巧手2包括食指2-1、中指2-2、无名指2-3、小指2-4、大拇指2-5、柔性手掌垫片2-6、直流电机2-7、控制模块2-8和电源模块2-9。所述的食指2-1、中指2-2、无名指2-3和小指2-4与所述的刚柔耦合手指1结构相同；所述的食指2-1、中指2-2、无名指2-3和小指2-4的食指掌骨节块2-1-1、中指掌骨节块2-2-1、无名指掌骨节块2-3-1、小指掌骨节块2-4-1都粘贴在所述的柔性手掌垫片2-6上；所述的大拇指2-5与所述的刚柔耦合手指1相比，少了中节块1-3，所述的大拇指2-5的大拇指掌骨节块2-5-1与所述的食指2-1的掌骨节块2-1-1通过转动副连接；所述的食指2-1的食指掌骨节块2-1-1上固定安装有直流电机2-7，大拇指2-5的大拇指掌骨节块2-5-1固定在直流电机2-7输出轴上，直流电机2-7驱动大拇指掌骨节块2-5-1与食指掌骨节块2-2-1相对转动，实现大拇指2-5的对掌运动驱动。

[0044] 参考附图11和附图12，所述的刚柔耦合手指1的弯曲和伸展工作过程为：当所述直线电机1-6的输出轴伸展时，感知驱动钢片1-7受到直线电机1-6推力作用发生弯曲变形，感知驱动钢片1-7与掌骨节块1-1、近节块1-2和中节块1-3发生接触，将直线电机1-6的平动自由度转换为刚柔耦合手指1三个关节的转动自由度，驱动整个刚柔耦合手指1弯曲；当所述直线电机1-6的输出轴收回时，感知驱动钢片1-7被拉直，驱动刚柔耦合手指1实现伸直功能；所述的应变片组一1-7-2、应变片组二1-7-3、应变片组三1-7-4在柔性钢片1-7-1弯曲的同时实时检测刚柔耦合手指1三个关节的弯曲角度，所述的压力传感器一1-8-1、压力传感器二1-8-2、压力传感器三1-8-3检测刚柔耦合手指与物体的接触力，为手指的运动位置和力控制提供信息反馈。

[0045] 参照附图13、附图14、附图15，专利CN201910945737.3提出的刚柔耦合结构的脑卒中患者手部功能康复机器人，在机器人手指设计中采用三片弹簧钢片分别作为手指关节的连接机构、关节自适应长度调节机构，以及关节弯曲驱动机构，结构比较复杂，装配繁琐，并存在关节弯曲运动精度和稳定性不高问题；此外为了检测手指弯曲角度，该机器人手指设计中采用柔性弯曲传感器检测弹簧钢片的弯曲角度，采用加速度陀螺仪传感器检测手指的姿态角，存在系统复杂、装配精度要求高、安装繁琐、检测可靠性低等问题，并且手指的三个关节的弯曲角度固定，无法像人手指一样自然弯曲。

[0046] 以上所述，仅是本发明的较佳实施例而已，并非是对本发明作任何其他形式的限制，而依据本发明的技术实质所作的任何修改或等同变化，仍属于本发明所要求保护的范围内。

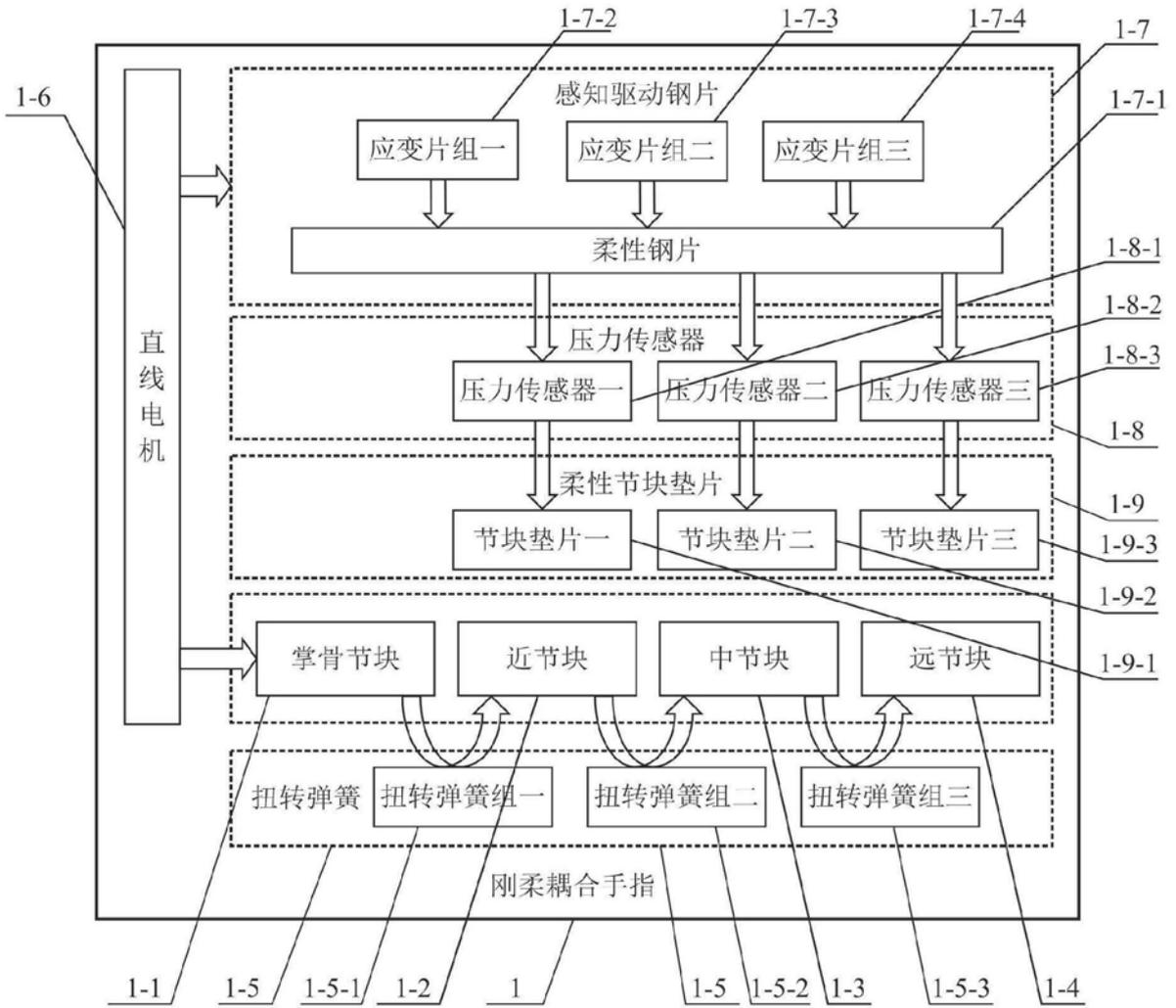


图1

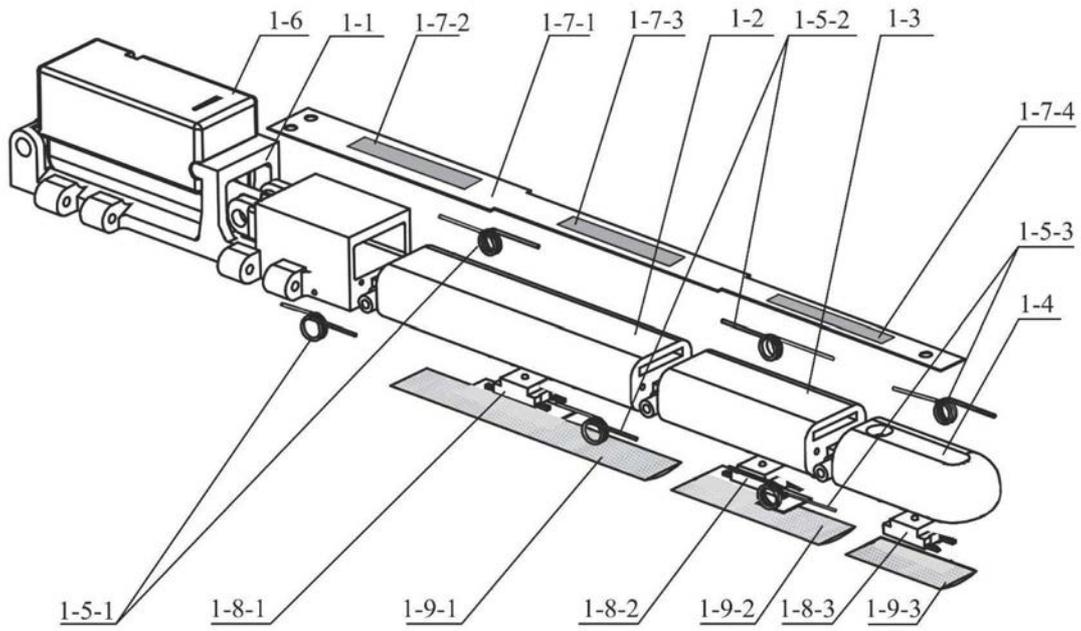


图2

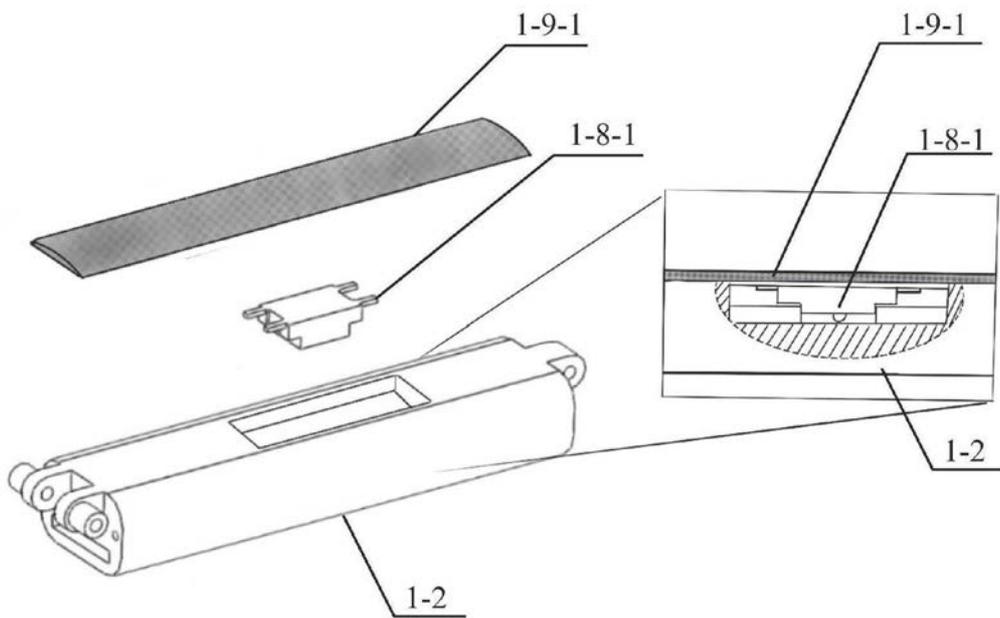


图3

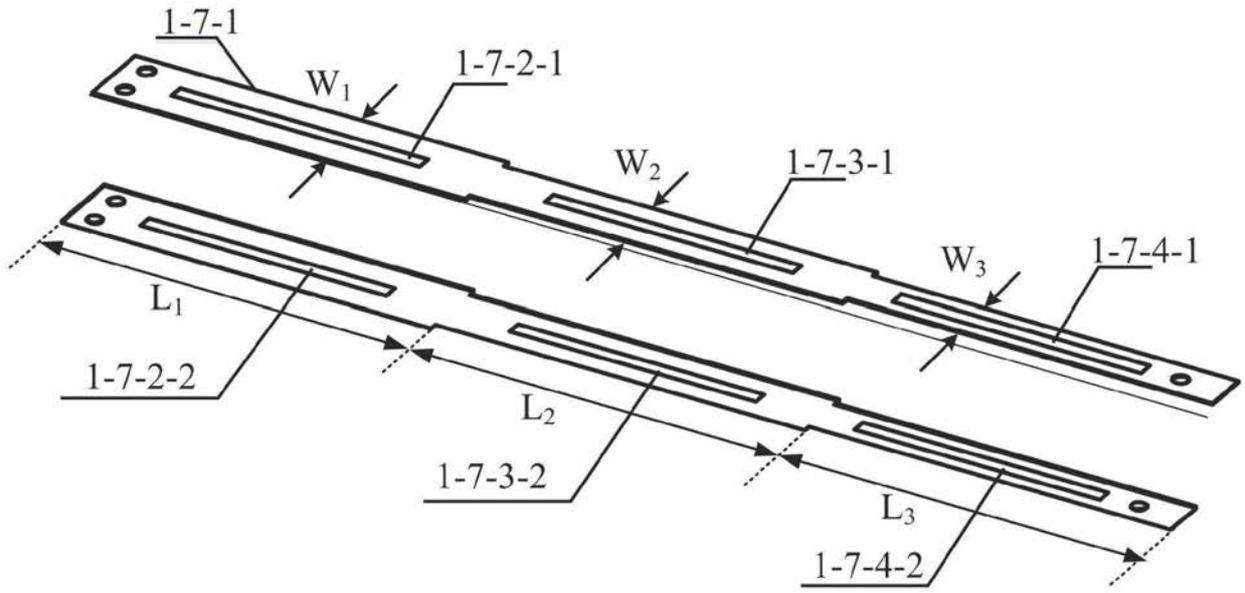


图4

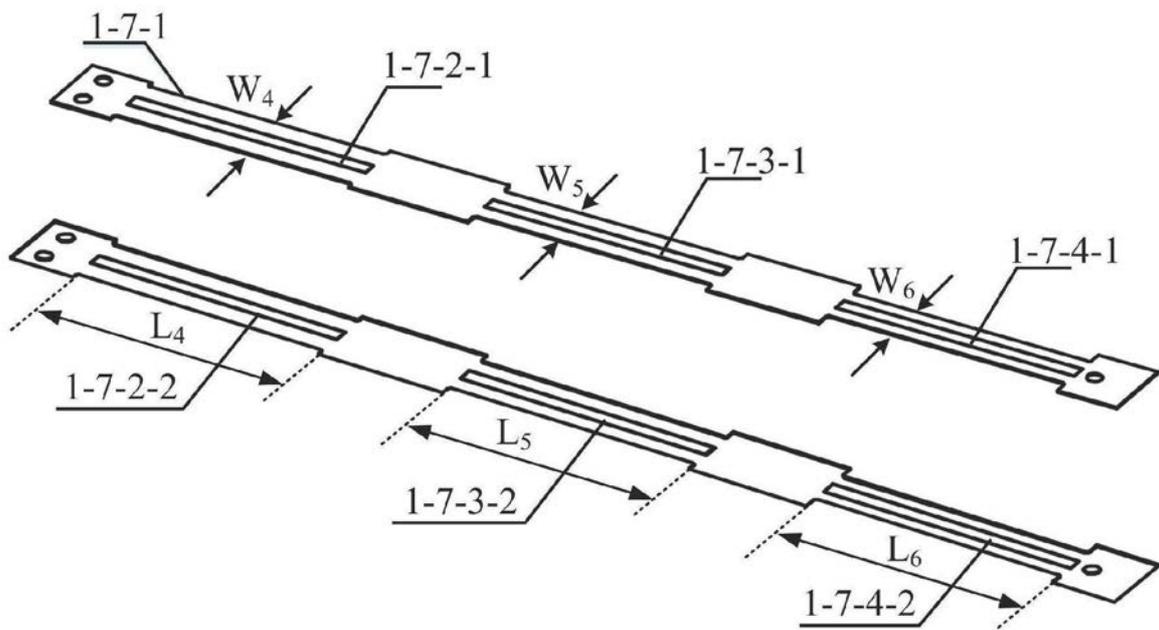


图5

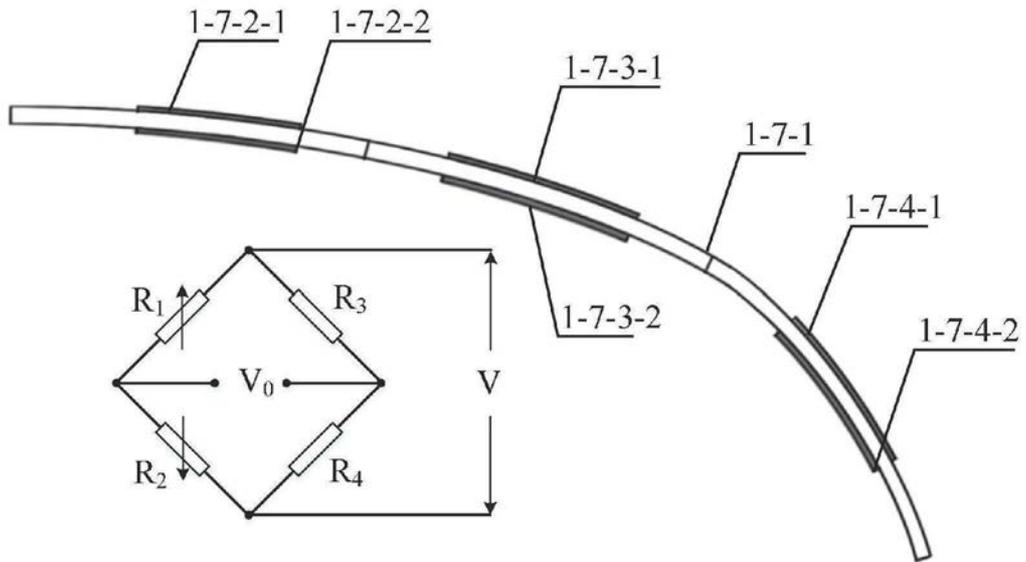


图6

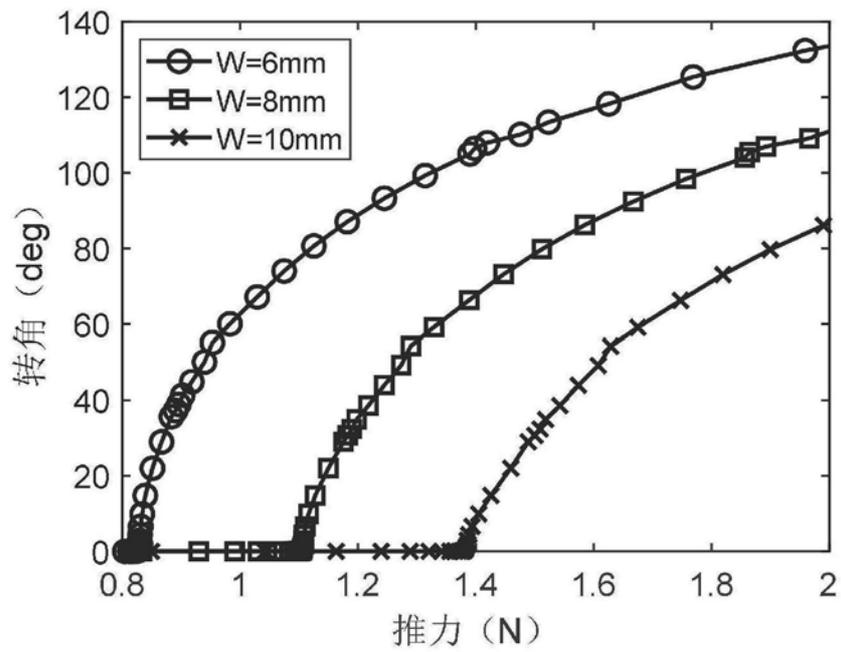


图7

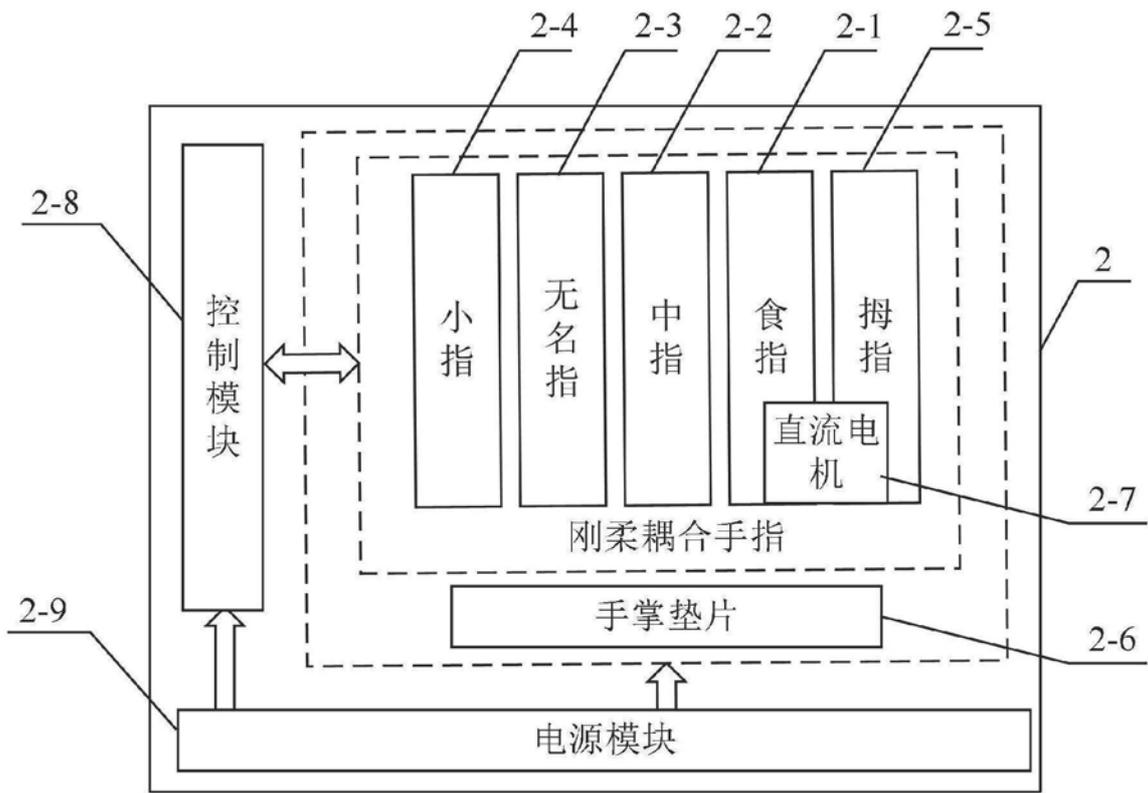


图8

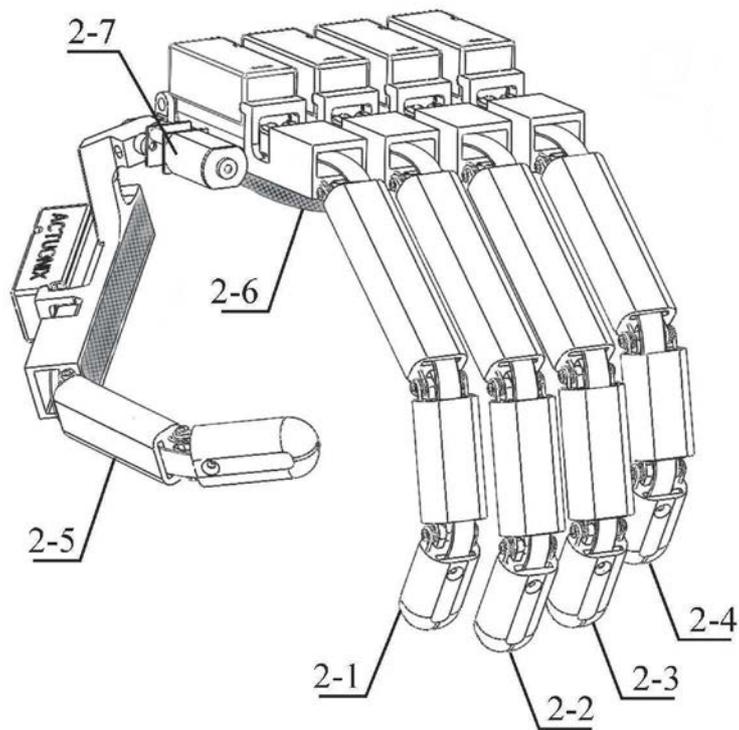


图9

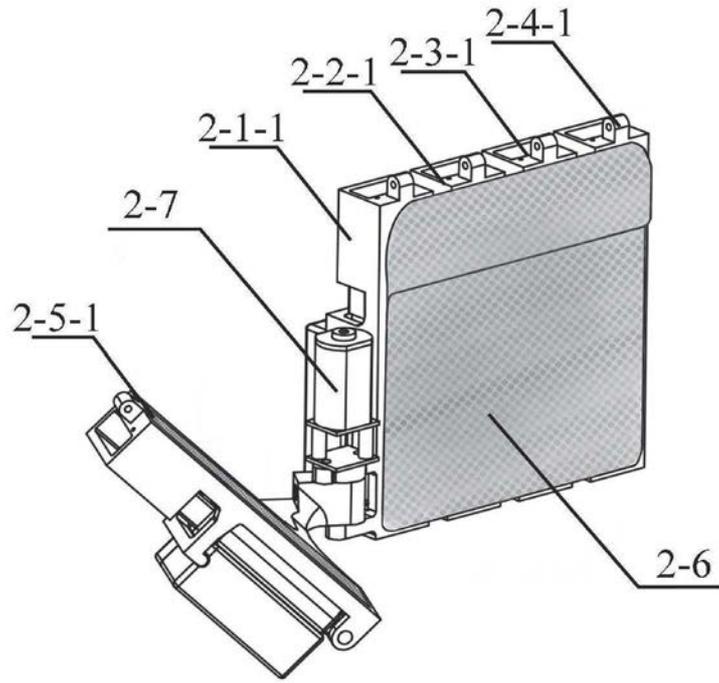


图10

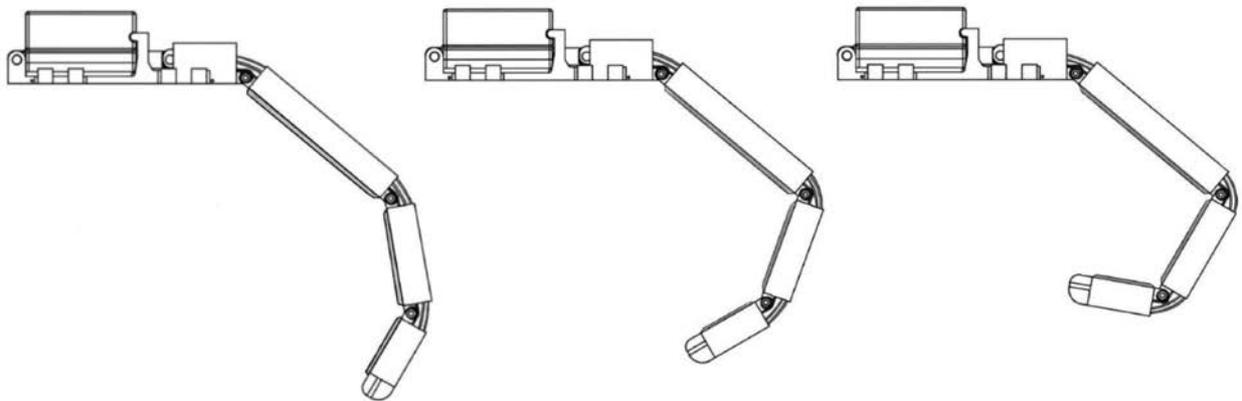


图11

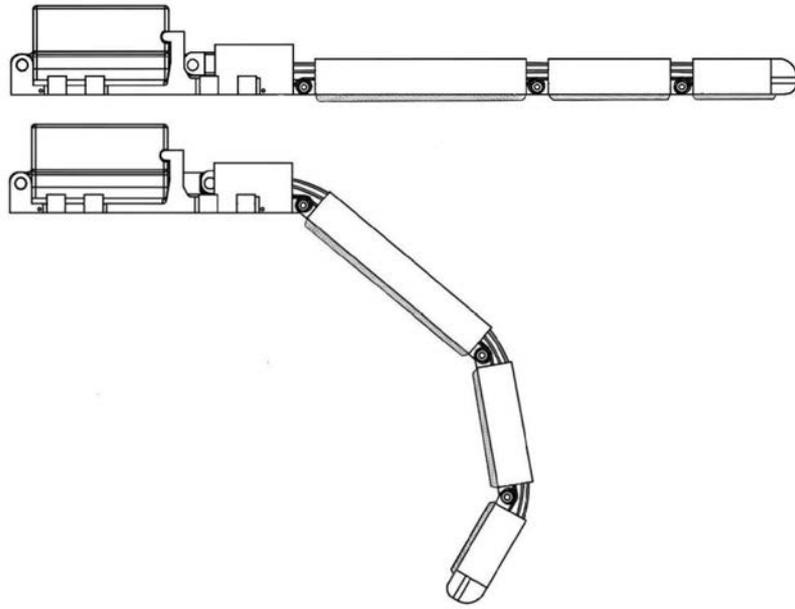


图12

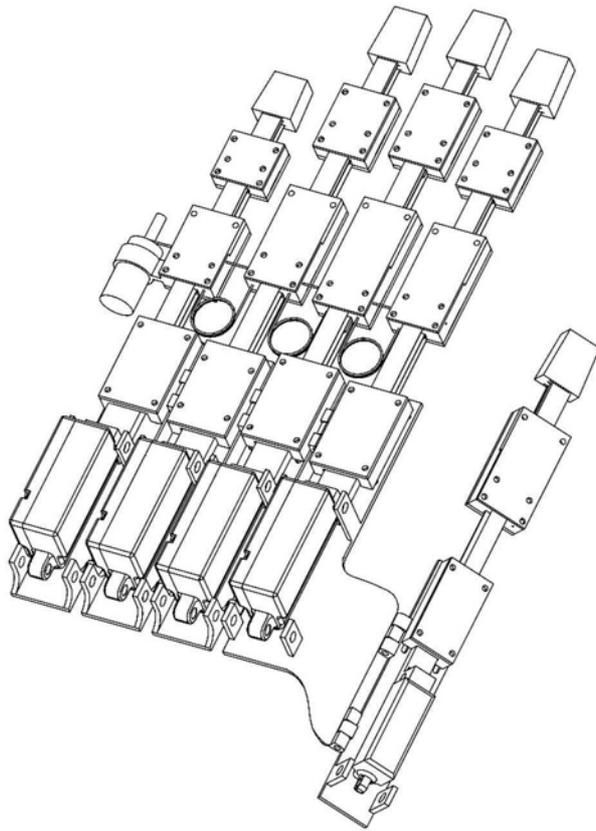


图13

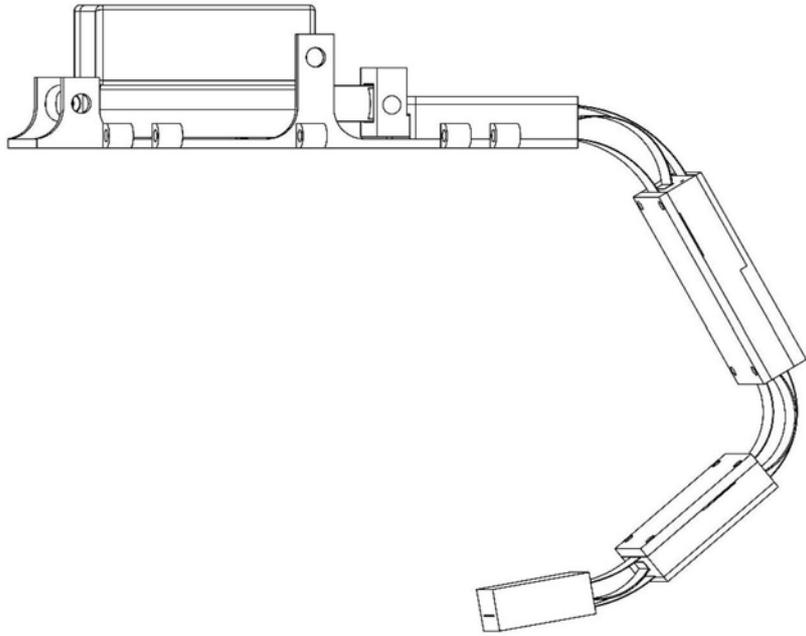


图14

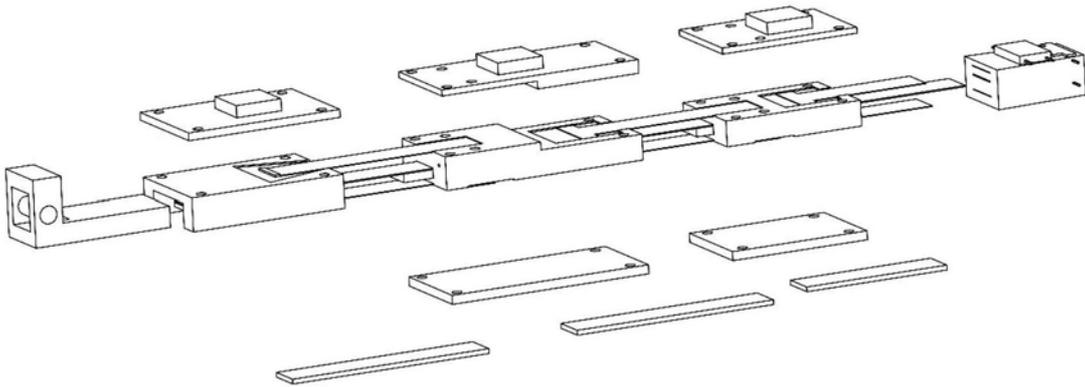


图15