

基于电机驱动的仿生柔性机械手研究^①

席浩洋^{②*} 王 挺* 姚 辰* 徐 瑶^{***} 李小凡*

(* 中国科学院沈阳自动化研究所机器人学国家重点实验室 沈阳 110016)

(** 中国科学院大学 北京 100049)

摘 要 针对传统机械手结构复杂、适用性差等缺点,综合已有柔性机械手的优缺点,基于变色龙舌头在捕食时的变形特性,利用电机驱动,设计了一种仿生柔性机械手。该机械手采用无指结构,利用直线电机推杆引导弹性硅胶膜的屈曲变形实现对目标的柔性抓取。首先根据柔性机械手的特性,建立了力分析模型,分析了抓取过程中目标的受力状态。然后搭建了实验平台进行抓取实验,验证了模型的合理性。进行了机械手功能验证实验,实验结果表明该柔性机械手具有适应性高、灵活性强等优点,能够对大小和表面特性各异的物体进行可靠抓取。

关键词 电机驱动, 柔性机械手, 仿生, 抓取

0 引 言

机械手作为机器人重要的执行机构,常用在抓取、搬运、装配等任务中,传统机械手由于负载能力强、不易损坏等优点在这些任务中大量使用。传统机械手大多是具有两指及以上的刚性机械手^[1-4],由于刚性机械手在作业时与目标之间的接触为刚性,为避免对目标的损伤,在抓取目标时通常需要获取目标的精准位置,并利用多传感器进行力反馈以确保抓取的可靠性,这增加了软硬件的复杂度,并且刚性机械手的重量较大,机械手工作时的功耗也相对较大。

针对传统机械手结构复杂、功能单一等缺点,国内外研究人员对新材料以及新型结构进行不断地尝试,柔性机械手的研究逐渐成为机械手领域的研究热点。相比于刚性机械手,柔性机械手未采用传统刚性指型关节的结构设计,而是利用新材料设计出柔性结构。综合国内外的研究成果,可将柔性机械手分为有指结构^[5-10]和无指结构^[11-17]两大类。有指

柔性机械手以人手、章鱼触手等生物结构为基础,大多采用气动驱动方式模拟生物对物体的抓取,但有指结构工作时需要指与指之间的协调配合,对控制系统有着较高的要求。

与有指结构相比,无指柔性机械手的结构和控制系统相对简洁,经典结构为以含有小颗粒物质的球形橡胶薄膜作为执行末端的气动柔性机械手^[11],其不依靠传感器反馈接触力就能够对目标进行稳定抓取。以这一经典结构为基础,研究人员对其进行了进一步的改进和测试。相关实验结果表明其抓取可靠性能达到 85%,容错率能达到 25%,并且可同时抓取多个目标^[12]。经典无指结构^[11]除了直接用作机械手末端,还可以将其作为机械手中的手指来使用^[14],与刚性手指相比,这种柔性指结构对目标的损伤更小。

以上柔性机械手采取柔性末端自适应变形的抓取模式。研究人员利用杆或其他结构引导膜变形来实现抓取目标的功能,比较具有代表性的有电驱动的软接触机械手^[16]和气动仿生柔性机械手^[17]。

① 战略性国际科技创新合作重点专项(SQ2016YFHZ021154)资助项目。
② 男,1995年生,硕士生;研究方向:柔性机械手,特种机器人技术等;联系人,E-mail: xihaoYang@sia.cn
(收稿日期:2018-07-13)

德国 Festo 公司的工程师和奥斯陆大学的研究人员发现变色龙在捕食时能够将其舌头快速贴在猎物表面并迅速向内凹陷将其牢牢地包裹,从而捕食各种不同的昆虫。基于这一原理,他们联合设计了一种气动柔性机械手,该机械手以蓝色硅胶帽作为柔性末端,以水作为填充物质,通过气体的充放实现机械手对目标的抓取与释放^[17]。然而,气动机械手在工作时需要包含有气泵、抽气机等元件的气动系统提供动力,这大幅增加了抓取系统的体积与重量,使其在以电机为驱动的机械臂系统上的移植性较差,并且不便于在便携化工作中使用。

综合柔性机械手已有研究工作展现的功能多样、结构简明、工作稳定等优点,本文针对其移植性差、体积与重量较大等缺点,利用变色龙捕食时舌头的变形原理,提出了一种基于电机驱动的新型柔性机械手,使其拥有体积小、质量轻、适用范围广等优点,并通过相关实验对其功能进行了测试和验证。

1 柔性机械手设计

1.1 结构设计

(1) 结构组成

为了更深入地探究气动柔性机械手^[17]的特性,查阅相关资料,对其主要结构进行了复现,如图 1 所示,气动柔性机械手系统主要由空气抽气机、气泵、气阀、控制系统组件、导气管、柔性执行器等部件组

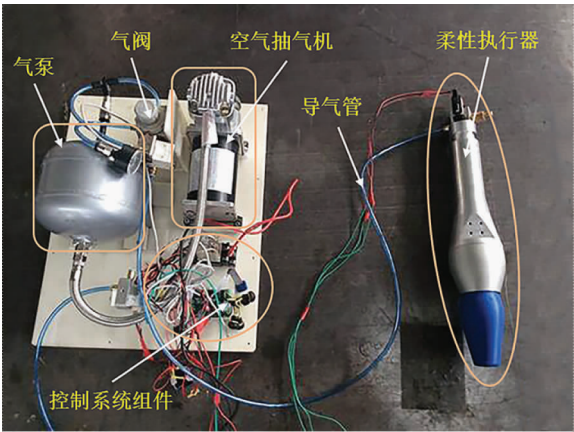


图 1 气动柔性机械手结构图

成。之后,对气动柔性机械手的功能进行了相关测试,测试结果达到了文献[17]所提及的抓取要求。但气动柔性机械手系统体积和重量较大,不便于在便携化工作中使用,且功耗高,能源效率低。

针对气动柔性机械手的缺点,本文所设计的柔性机械手采用电机驱动,并对执行器末端进行了优化和改进,很大程度上减小了机械手的体积与重量,在其内部集成了自己的控制系统,在机械臂上使用能够简化机械臂的控制系统,并且能够在不同机械臂上快速安装使用,适用性较强。

如图 2 所示,柔性机械手主要由硅胶膜、直线电机、密封环、定位件、外壳等部件组成,其主要依靠电机推杆的伸缩引导硅胶膜变形并包裹目标实现抓取

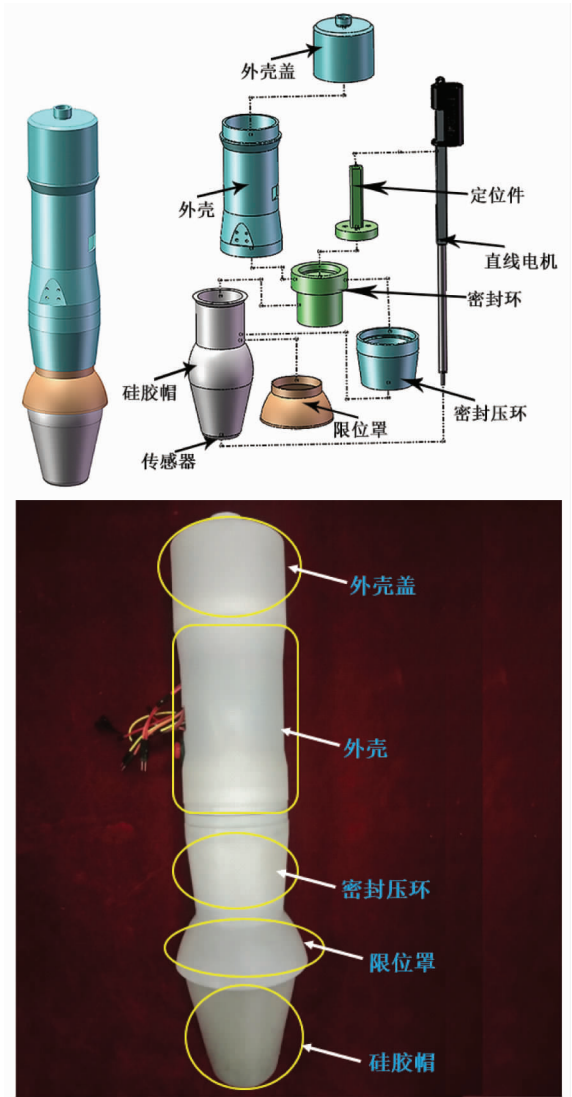


图 2 柔性机械手结构及实体样机

功能。以水作为填充物质时,水及其密封系统大约占据机械手总重的 35%,但长期使用时水可能会进入机体内部烧毁电机、控制器等电子元件。为使机械手轻质化以及降低内部元件损坏的风险,机械手使用具有多孔结构的硅胶小颗粒(具体参数见表 1)作为填充物质,这种多孔颗粒具有质量轻、不易泄露等优点,使其总体重量降低了约 10%,并且内部元件不会受到填充物质的影响,同时也使整体结构得到简化。

表 1 硅胶颗粒主要参数

参数	值
品牌名称	wiselive 利威食品用干燥剂
直径	1 ~ 2 mm
平均密度	0.87 g/cm ³

(2) 结构特点

机械手各零部件之间主要采用螺纹连接,这种连接方式能够方便机械手的快速拆装,如图 2 所示,外壳盖、外壳、定位件、密封环以及密封压环相互之间均通过螺纹进行连接。

硅胶膜的末端表面贴附有一个薄膜压力传感器,其用于感知机械手是否接触到目标,为了避免膜上变形区域在变形时受到传感器的影响,如图 3 所示,将传感器工作区域贴附在硅胶膜末端的非变形平面上,传感器尾巴穿过末端上特制的窄方孔进入膜的内腔,且与膜内表面无接触。

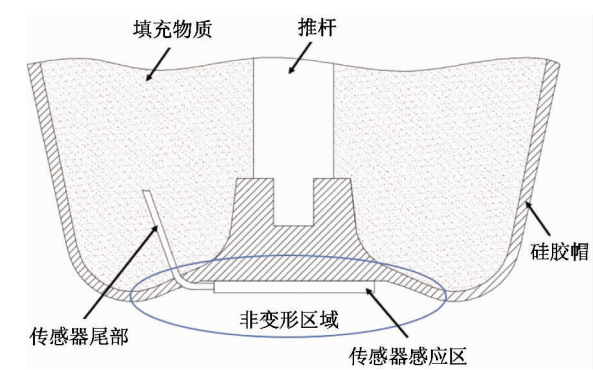


图 3 压力传感器安装示意图

直线电机是机械手的主要动力元件,为保证抓

取的稳定性,将其固定在定位件上的方孔内,电机内部的推杆穿过定位件和密封环中心的圆孔与硅胶膜的末端相连接,密封环上的中心孔对推杆的往复运动进行了导向。电机推杆行程的开始位置由装配后硅胶膜的初始状态决定,终止位置为电机开始堵转时的推杆位置,在该位置硅胶膜能够达到当前抓取中的最大变形,使机械手产生最佳的抓取力。

定位件限制了直线电机除轴向移动外的剩余 5 个自由度,电机的轴向移动由密封环和外壳盖联合限制。硅胶颗粒对密封要求不高,在密封环的内表面均匀分布了一些小孔,使得柔性末端在变形时能够达到膜内空气自动充放的目的。

1.2 机械手工作机理

电机的控制主要由机械手内部的微型控制器和驱动器完成。机械手末端的压力传感器为机械手在抓取过程中提供感知,当机械手与目标之间的接触力达到 0.5 N 时,机械手开始对目标进行抓取。

机械手安装于机械臂上使用时,工作原理如下:

(1) 在初始化过程中,机械臂根据视觉系统反馈的目标位置信息将机械手引导至目标的正上方,同时机械手进行内部元件的初始化设置。

(2) 在初始化完成后,机械臂末端引导机械手向下移动,机械手末端的传感器不断向机械手内的控制器反馈压力信号,检测机械手末端是否接触到目标。

(3) 传感器输入达到预值时,机械臂停止移动。机械手内的电机推杆收缩,同时机械臂同速向下移动。

(4) 当直线电机开始堵转时,机械臂停止移动,同时推杆停止收缩并保持当前位置不变,此时便完成了对目标的抓取,机械臂向上移动便可将目标提起。图 4 所示为机械手抓取流程图。

2 力模型分析

2.1 抓取状态分析

机械手抓取不同大小和表面特性的目标时,其抓取状态是不同的。这里的抓取状态是指机械手完成抓取后抓取力的来源,主要有静摩擦力、负压吸附

力、包裹锁紧力。机械手依靠三个抓取状态中的一种或多种组合对大部分目标进行稳定可靠抓取。如图5所示,图(a)表示只依靠摩擦力抓取目标;图(b)表示对于有较光滑表面的实心目标,主要为静摩擦力和负压吸附力;图(c)表示对于表面较光滑无通孔结构的小体积目标,三种抓取状态都会存在。

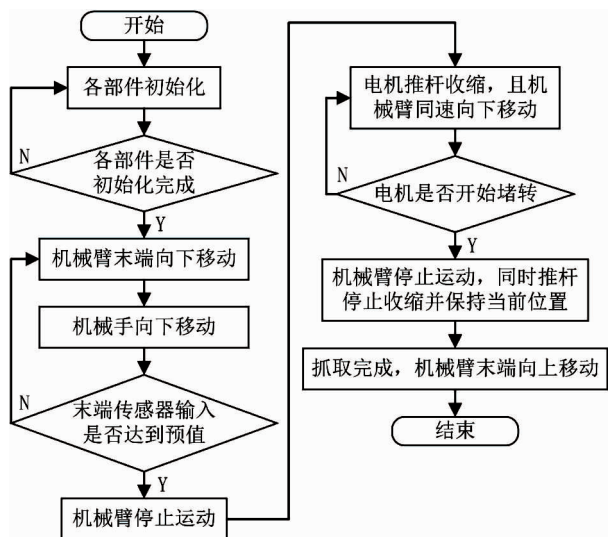


图4 机械手抓取流程图

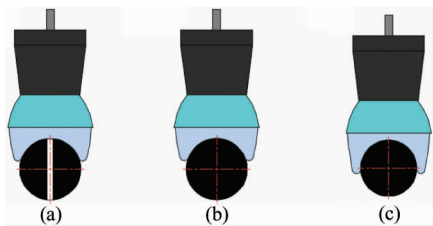


图5 柔性机械手抓取状态

静摩擦力在任意抓取中都是存在的,负压吸附力和包裹锁紧力的产生需要一定的条件。静摩擦力在不同的抓取状态中其作用有较大差异,当一个抓取状态中有负压吸附力或包裹锁紧力时,静摩擦力占据的比重相对较小。

2.2 膜内压力模型

静摩擦力的大小主要与膜内填充物质对膜的挤压压强、膜与目标的接触面积以及膜与目标之间的摩擦系数有关。为了估算静摩擦力,建立了一个压力模型,并对膜内物质的挤压状态进行分析。

对于轴对称的回转体,其过轴心的任一截面的

受力状态都是相同的,本文取过轴心回转角为 $d\theta$ ($d\theta$ 为无穷小) 的片体进行分析从而扩展到整个回转体。如图6(a)所示,在膜末端的中心点处施加一个力 F ,在一定外界条件下达到稳定状态(图6(b)所示),膜内物质在力的作用下相互之间会产生一个挤压压强 P_{jam} ,并且在膜内处处相等。

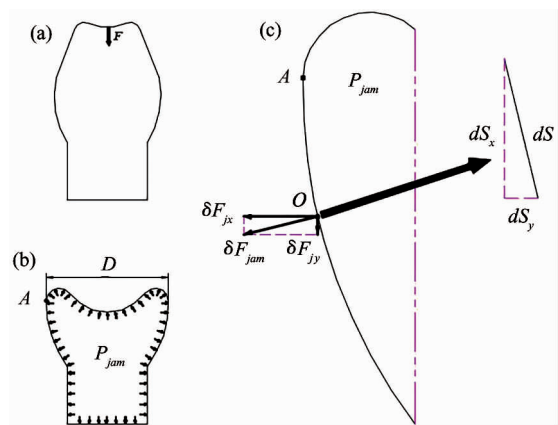


图6 膜受力分析

在图6(c)中,任取片体上一点 O , O 点在膜内物质挤压的作用下受力为 δF_{jam} , 其方向为沿过曲率中心与 O 点的直线向外。对 O 点受力进行正交分解:

$$\delta F_{jam} = \delta F_{jx} + \delta F_{jy} \quad (1)$$

其中, δF_{jx} 是 δF_{jam} 水平方向分力, δF_{jy} 是 δF_{jam} 竖直方向分力。

对 O 点处的受力面积 ds 在水平和竖直方向上进行投影,可得水平方向投影面积 dS_y 和竖直方向投影 dS_x 。由于压强的方向具有任意性,则有公式:

$$\delta F_{jx} = P_{jam} dS_y \quad (2)$$

$$\delta F_{jy} = P_{jam} dS_x \quad (3)$$

如图6(b)所示,片体在力的作用下达到稳态,其内各点的受力方向沿着曲线不断变化,则在片体上最大直径处取一点 A , 此时 A 点受力沿水平方向, A 点两侧点的力竖直方向分量方向相反,合力为零。稳态状态下若将 A 点以下部分视作刚体,则 A 点以上部分所受力的竖直方向合力与力 dF 相平衡,力平衡方程为

$$P_{jam} \frac{D^2 d\theta}{8} + dF = 0 \quad (4)$$

其中, D 为稳态下膜的最大直径 (A 点处的直径), $d\theta$ 为片体绕轴心的回转角。

将片体的受力分析扩展到整个回转体, 在力 F 作用下膜的变形达到稳态, 则有平衡方程:

$$P_{jam} \int_0^{2\pi} \frac{D^2}{8} d\theta + F = 0 \quad (5)$$

将式(5)简化求解, 可得:

$$P_{jam} = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (6)$$

2.3 抓取力模型

为了便于探究机械手的抓取力与物体大小、表面特性等参数之间的关系, 本文以一个表面光滑的球体目标作为测试对象来进行力模型分析。模型假定目标与膜之间的摩擦系数是恒定不变的。如图 7 所示, dF_p 和 dF_f 表示目标表面某一位置所受的正压力和摩擦力, dF_{py} 和 dF_{fy} 表示正压力和摩擦力在竖直方向上的分量。角 θ_1 和 θ_2 表示目标与膜接触面最低点与最高点相对水平轴平面的夹角, P_s 表示目标与膜之间的负压压强。

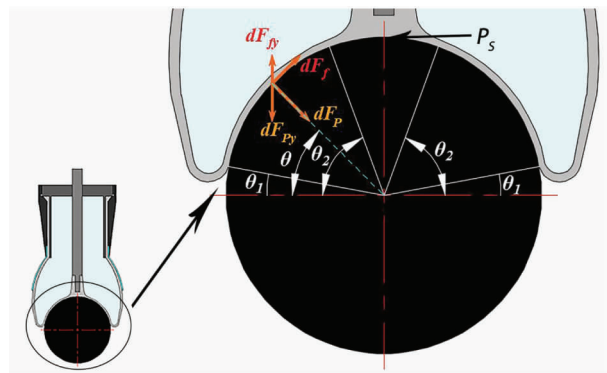


图 7 目标抓取局部力分析

如图 7 所示, 在目标与膜接触表面上任取一个无限小的环形接触面, 令接触面与水平轴平面的夹角为 θ , 则该接触面所受的正压力为

$$dF_p = 2\pi P_{jam} r^2 \cos(\theta) d\theta \quad (7)$$

其中, r 是目标的半径, P_{jam} 是膜内挤压压强。

由摩擦力公式 $f = \mu F_n$ 可得:

$$dF_f = 2\pi \mu P_{jam} r^2 \cos(\theta) d\theta \quad (8)$$

目标能够被抓取主要依靠目标所受外力在竖直方向上的合力, 也即机械手对目标的提升力。环形

接触面上由摩擦产生的提升力 dF_r , 为接触面上正压力与摩擦力在竖直方向上的合力, 假定力方向向上为正, 正负只表示方向, 不表示大小(下同), 其受力公式为

$$\begin{aligned} dF_r &= dF_{fy} - dF_{py} \\ &= dF_f \cos(\theta) - dF_p \sin(\theta) \end{aligned} \quad (9)$$

由于 θ_1 和 θ_2 为接触面的最小和最大接触角, 对式(9)中的参数进行积分求解, 得:

$$\begin{aligned} F_{fy}(\theta_1, \theta_2) &= 2\pi \mu P_{jam} r^2 \int_{\theta_1}^{\theta_2} \cos(\theta)^2 d\theta \\ &= \pi \mu P_{jam} r^2 \left(\theta_2 - \theta_1 + \frac{\sin(2\theta_2)}{2} - \frac{\sin(2\theta_1)}{2} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} F_{py}(\theta_1, \theta_2) &= 2\pi P_{jam} r^2 \int_{\theta_1}^{\theta_2} \cos(\theta) \sin(\theta) d\theta \\ &= \pi P_{jam} r^2 (\sin(\theta_2)^2 - \sin(\theta_1)^2) \end{aligned} \quad (11)$$

机械手通过摩擦对目标产生的提升力 F_r 为

$$\begin{aligned} F_r(\theta_1, \theta_2) &= F_{fy}(\theta_1, \theta_2) - F_{py}(\theta_1, \theta_2) \\ &= \pi \mu P_{jam} r^2 \left(\theta_2 - \theta_1 + \frac{\sin(2\theta_2)}{2} - \frac{\sin(2\theta_1)}{2} \right) \\ &\quad - \pi P_{jam} r^2 (\sin(\theta_2)^2 - \sin(\theta_1)^2) \end{aligned} \quad (12)$$

负压吸附力 F_s 的大小与负压压强 P_s 和受压面积 A_s 成正比, 其方程为

$$F_s = A_s P_s \quad (13)$$

受压面积 A_s 的大小由最大接触角 θ_2 决定:

$$A_s = 2\pi r^2 (1 - \sin\theta_2) \quad (14)$$

对于体积较大、表面较光滑的目标, 抓取力主要来源于静摩擦力和负压吸附力, 则总抓取力 F_{total} :

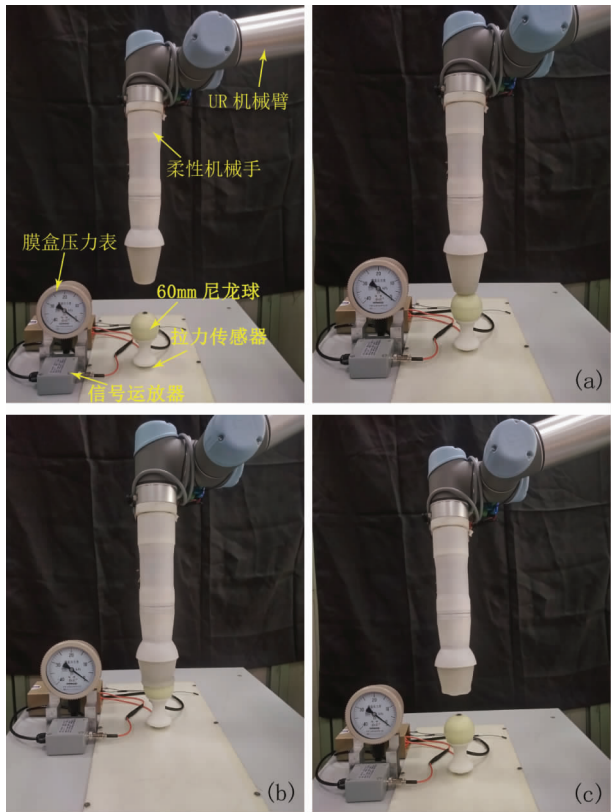
$$F_{total} = F_r + F_s \quad (15)$$

3 实验平台介绍

为了验证数学模型的合理性, 搭建了实验平台来对抓取力以及相关参数进行测定。如图 8 所示, 使用直径 60 mm、重 126 ± 1 g 的尼龙球作为被抓取对象, 其表面粗糙度为 $3.2 \mu\text{m}$, 受力时无挤压变形。

尼龙球通过一个连接件固定在拉力传感器上, 过球的轴心开有一个通孔, 通过细导管与膜盒压力表相连接以测量膜与球之间的负压。在导管与球和压力表的连接处都涂有密封胶, 以确保负压测量值

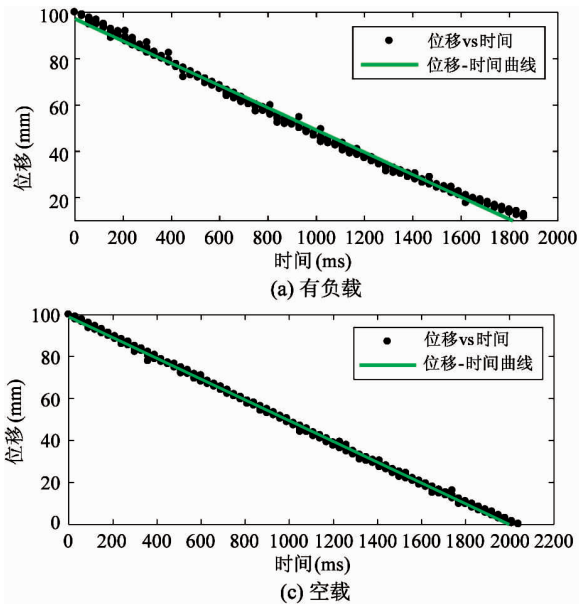
的准确性。拉力传感器主要用于测量最大抓取力以及实时监测拉力变化。



(a) 准备抓取, (b) 抓取目标球, (c) 目标脱离

图 8 实验平台

机械手被装载于 UR5 机械臂上,通过机械臂的引导使其能够接触到被抓目标,如图8所示。为了



保证测试结果的可靠性,排除人为因素的干扰,机械手抓取目标通过程序实现完全自主抓取。

4 实验结果及讨论

4.1 实验结果

利用 SolidWorks 绘制机械手的机械结构模型,并用 3D 打印机打印出实体安装于机械臂上。查阅相关资料^[18]得到拉力 $F = 75\text{ N}$,利用机械手在抓取状态下水平方向上的投影测量出最大直径 $D = 75.6\text{ mm}$,并根据式(6)得出 P_{jam} 值为 16.7 kPa 。由压力表测出负压 P_s 值为 $10 \pm 0.2\text{ kPa}$,利用倾斜斜面法测出硅胶膜与尼龙球之间的摩擦系数 μ 为 0.81 ± 0.02 。对于 60 mm 的球对象,接触角 θ_1 和 θ_2 的值为 15° 和 43° 。

机械手的抓取速度主要取决于其内部直流电机的伸缩速度,利用采集到的相关数据拟合出其关系曲线,如图 9 所示,其中图(a)、(b)表示有负载时位移-时间拟合曲线及其残差分布,图(c)、(d)表示空载时位移-时间拟合曲线及其残差分布。对位移-时间曲线求导得出电机速度随时间变化的曲线,如图 10 所示,电机在运动过程中速度比较平稳,可达到 49.5 mm/s ,在不考虑目标在抓取后的转移过程, 5 s 内该机械手可完成能力范围内任意一个目标的抓取及放置过程。

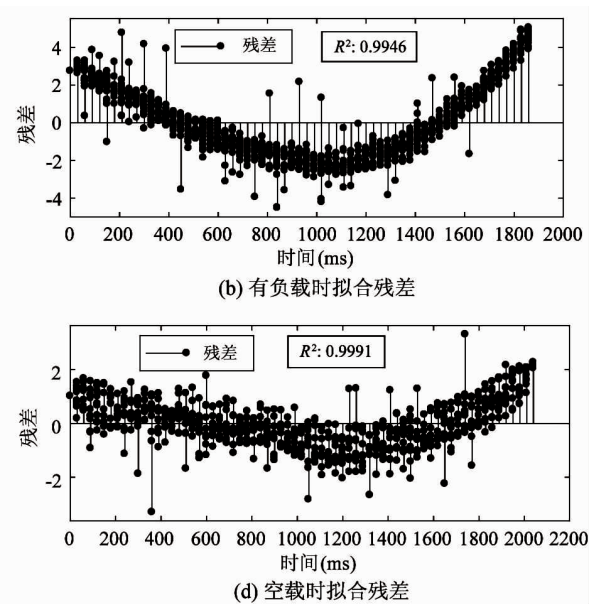


图 9 电机推杆位移-时间曲线

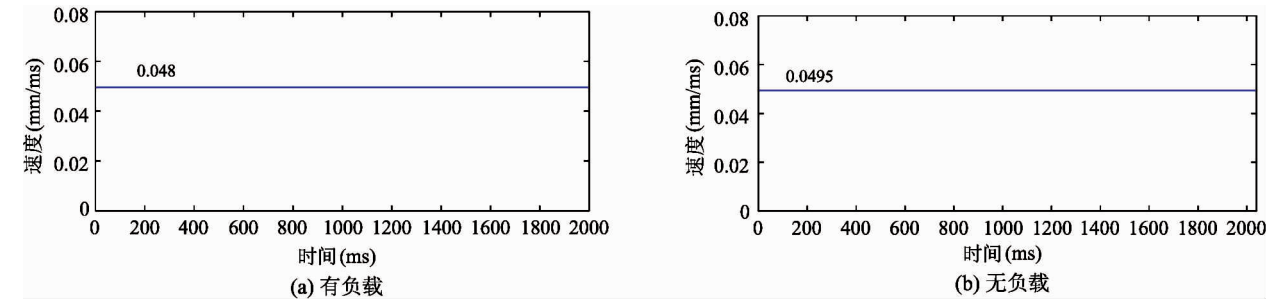


图 10 电机推杆速度-时间曲线

4.2 结果分析与讨论

通过建立数学模型,我们探究了机械手的抓取性能与目标的物理特征之间的数学关系。根据数学模型,利用相关参数的测量结果计算得出:由静摩擦对尼龙球产生的抓取力为 9.39 N,由负压吸附产生的抓取力为 17.98 N,产生的总抓取力为 27.37 N。

实验过程中,拉力传感器实时采集机械手作用在尼龙球上的拉力值,并通过控制器记录下来。利用 Matlab 软件对多次实验的实验数据进行拟合得出拉力-时间曲线,如图 11 所示。无负压作用时机机械手对尼龙球的力为 9.81 ± 0.15 N,有负压作用时产生的拉力为 27.73 ± 1.05 N。

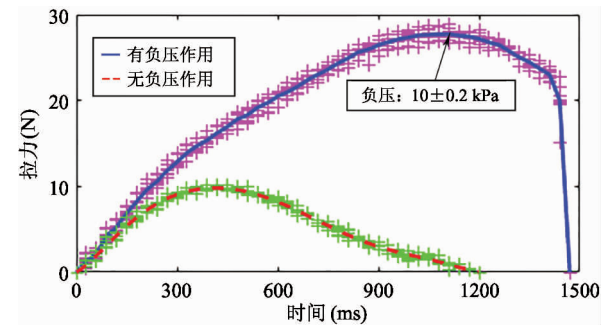


图 11 实测拉力-时间曲线

由图 11 可知,柔性机械手对于 60 mm 的尼龙球最大可产生接近 28 N 的拉力,其中由负压产生的抓取力为 18 N,约占总抓取力的 65%,占据了较大的比重。传感器测出的实际拉力与理论模型计算得出的拉力基本是一致的,验证了数学模型的合理性,但两者之间略有偏差,可能是由于拉力传感器等仪器测量精度导致的误差。

4.3 抓取测试

本文以直径 60 mm、表面较为光滑的球体作为

实验对象,但在实际应用中,大部分物体拥有不同的形状与表面特性,对于不同的目标,柔性机械手产生的抓取力是不同的。如图 12 所示,测试结果表明文中所设计的柔性机械手能抓取生活中大部分物体,能够对气缸、苹果、驱动器等不同形状与大小的物体进行可靠抓取。

5 结 论

本文利用变色龙捕食猎物时舌头内凹的变形特性,结合国内外柔性机械手的优缺点,提出了基于电机驱动的新型柔性机械手。机械手结构简练,控制系统简洁,功耗在 20 W 以内。

文中分析了柔性机械手的抓取特性,柔性机械手通过表面摩擦、负压吸附等方式产生抓取力,根据其特性,建立了力模型,并推导出数学模型,通过自主抓取实验验证了模型的合理性。实验结果显示对于 60 mm 的球体目标,机械手能提供接近 28 N 的抓取力,其中由负压产生的抓取力为 18 N,约占总抓取力的 65%,在抓取过程中起到了较大的作用。

实际应用中,大部分物体的大小和表面特性等物理属性都各不相同,柔性机械手由于其特有的自适应变形机理,能够满足生活中大多数目标的抓取要求。

参考文献

[1] Ponce J, Faverjon B. On computing three-finger force-closure grasps of polygonal objects[J]. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 1995,11(6):868-881

[2] Bicchi A. Hands for dexterous manipulation and robust grasping: a difficult road toward simplicity[J]. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 2000,16(6):652-662



图 12 机械手抓取不同形状和大小的目标

- [3] Park Y C, Starr G P. Grasp synthesis of polygonal objects using a 3-fingered robot hand[J]. *International Journal of Robotics Research*, 1992, 11(3): 163-184
- [4] Pham D T, Yeo S H. Strategies for gripper design and selection in robotic assembly[J]. *International Journal of Production Research*, 1991, 29(2): 303-316
- [5] Yamaguchi A, Takemura K, Yokota S. A robot hand using electro-conjugate fluid[J]. *Sensors and Actuators, A: Physica*, 2011, 170(1/2): 139-146
- [6] 赵云伟, 耿德旭, 刘晓敏, 等. 气动柔性五指机械手的运动学及抓持能力[J]. *机器人*, 2014, 36(2): 171-178
- [7] Ilievski F, Mazzeo A D, Shepherd R F, et al. Soft robotics for chemists[J]. *Angewandte Chemie*, 2011, 123(8): 1930-1935
- [8] Giannaccini M E, Georgilas I, Horsfield I, et al. A variable compliance, soft gripper[J]. *Autonomous Robots*, 2014, 36(1-2): 93-107
- [9] Dancu A, Dancu A. Embodied computation in soft gripper[C]. In: *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, Bielefeld, Germany, 2014. 256-257
- [10] Kapadia J, Yim M. Design and performance of nubbed fluidizing jamming grippers[C]. In: *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Saint Paul, USA, 2012. 5301-5306
- [11] Brown E, Rodenberg N, Amend J, et al. Universal robotic gripper based on the jamming of granular material[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(44): 18809-18814
- [12] Amend J R, Brown E, Rodenberg N, et al. A positive pressure universal gripper based on the jamming of granular material[J]. *IEEE Transactions on Robotics*, 2012, 28(2): 341-350
- [13] Song S, Majidi C, Sitti M, et al. GeckoGripper: a soft, inflatable robotic gripper using Gecko-inspired elastomer micro-fiber adhesives[C]. In: *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Chicago, USA, 2014. 4624-4629
- [14] Amend J, Lipson H. The JamHand: dexterous manipulation with minimal actuation[J]. *Soft Robotics*, 2017, 4(1): 70-80
- [15] Cheng N, Amend J, Farrell T, et al. Prosthetic jamming

terminal device; a case study of untethered soft robotics [J]. *Soft Robot*, 2016, 3(4):205-212

[16] KrahnJ M, Fabbro F, Menon C, et al. A soft-touch gripper for grasping delicate objects[J]. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 2017,22(3): 1276-1286

[17] Festo. FlexShapeGripper: gripping modelled on a chameleon's tongue[EB/OL]. https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/367915/Fes-to_FlexShapeGripper_en.pdf;Festo, 2017

[18] Actuonix Motion Device Inc. Miniature linear motion seriesP16 [EB/OL]. <https://s3.amazonaws.com/actuonix/Actuonix+P16+Datash-eet.pdf>;Amazon, 2016

Research on bionic soft gripper driven by motor

Xi Haoyang^{* **}, Wang Ting^{*}, Yao Chen^{*}, Xu Yao^{* **}, Li Xiaofan^{*}

(^{*} State Key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016)

(^{**} University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract

Considering the disadvantages of structural complexity and poor applicability of traditional manipulator, combining the advantages and disadvantages of existing flexible grippers, based on the deformation principle of the chameleon's tongue during predation, a bionic soft gripper is designed, which is driven by motor. Fingerless structure is used in the gripper which utilizes the putter of linear motor to guide the buckling deformation of elastic silica membrane to achieve the flexible grasps on the objects. Based on the characteristics of the soft gripper, a force analysis model is established, and the force state of objects during the process of grasping is analyzed. Furthermore, an experimental platform is set up to carry out the grasping experiments, and the rationality of the analysis model is verified. The relational experiment is carried out to verify the function of gripper, and the experiment results show that the soft gripper has the advantages of high adaptability and flexibility, and it can reliably grasp objects with widely varying surface characteristics and sizes.

Key words: motor drive, soft gripper, bionics, grasp