



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113334414 A

(43) 申请公布日 2021.09.03

(21) 申请号 202110686256.2

(22) 申请日 2021.06.21

(71) 申请人 南方科技大学

地址 518055 广东省深圳市南山区学苑大道1088号

(72) 发明人 宋超阳 万芳 杨林瀚 韩旭东

(74) 专利代理机构 北京汇信合知识产权代理有限公司 11335

代理人 王维新

(51) Int. Cl.

B25J 15/00 (2006.01)

B25J 15/12 (2006.01)

B25J 19/02 (2006.01)

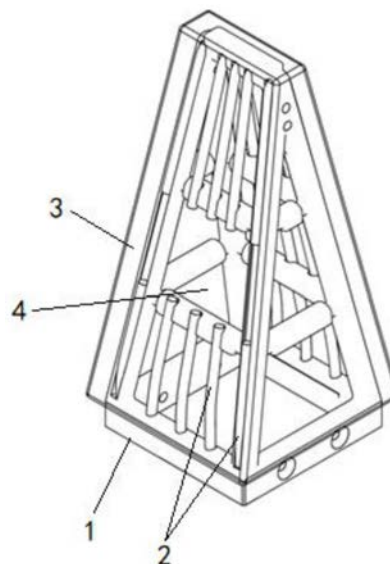
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种光电触觉传感柔性机器人手指及使用方法

(57) 摘要

本发明公开了一种光电触觉传感柔性机器人手指及使用方法,包括:手指网络结构;手指网络结构的受力面上布设有至少一根光纤;在手指网络结构的中部区域去除部分光纤,留出空腔;在光纤的手指网络结构表面设有硅胶层。本发明在手指网络结构上布设多根光纤来传导光线,进行本体感知;在光纤表面铸一层硅胶层来固定光纤位置,隔绝环境光干扰,增加接触摩擦力,提高抓取可靠性;在手指网络结构的中间区域去除部分光纤,留下小段空腔,提高光强变化随手指变形的灵敏度。



1. 一种光电触觉传感柔性机器人手指,其特征在于,包括:手指网络结构;  
所述手指网络结构的受力面上布设有至少一根光纤;  
在所述手指网络结构的中部区域去除部分光纤,留出空腔;  
在所述光纤的手指网络结构表面设有硅胶层。
2. 如权利要求1所述的光电触觉传感柔性机器人手指,其特征在于,所述手指网络结构为空间三维网络结构,所述空间三维网络结构基于节点的位置并采用连杆在空间中进行有序组合。
3. 如权利要求1或2所述的光电触觉传感柔性机器人手指,其特征在于,所述手指网络结构为TPU结构。
4. 如权利要求1所述的光电触觉传感柔性机器人手指,其特征在于,所述硅胶层为添加有黑色素的黑色硅胶层,硅胶与黑色素的重量比为20:1。
5. 如权利要求1所述的光电触觉传感柔性机器人手指,其特征在于,所述光纤的进光端设有光源、出光端设有光敏电阻。
6. 如权利要求5所述的光电触觉传感柔性机器人手指,其特征在于,所述光源为出射520-525nm波段光的LED灯。
7. 一种如权利要求5或6所述的光电触觉传感柔性机器人手指的使用方法,其特征在于,包括:  
在所述光电触觉传感柔性机器人手指与物体接触的过程,基于所述光敏电阻接收到的光强变化,实时预测触觉信息;其中,所述触觉信息包括接触力、力矩和接触位置。
8. 如权利要求7所述的使用方法,其特征在于,所述实时预测触觉信息,具体包括:  
获取实际测试的数据集,所述数据集的每组数据包括:光强变化、接触力、力矩和接触位置;  
以所述光强变化作为输入,接触力、力矩或接触位置作为输出,基于所述数据集训练机器学习模型;其中,所述机器学习模型包括线性模型、决策树模型、随机森林模型和支持向量机模型;  
在所述光电触觉传感柔性机器人手指与物体接触的过程中,基于所述光敏电阻实时获取所述光电触觉传感柔性机器人手指的光强变化;  
将实时的光强变化输入至训练好的机器学习模型中,实时预测所述触觉信息。
9. 如权利要求8所述的使用方法,其特征在于,训练模型所用的数据集使用六轴力传感器来采集,使用机械臂推动所述光电触觉传感柔性机器人手指使其变形并记录当时的光强变化、接触力、力矩和接触位置;  
训练时,将所述数据集用4:1的比例分为训练集和测试集,并分别获取模型在训练集上的预测结果、交叉验证后的模型在训练集上的预测结果以及交叉验证后的模型在测试集上的预测结果。
10. 如权利要求8所述的使用方法,其特征在于,  
采用支持向量机模型预测正向接触力;  
采用随机森林模型预测扭转力矩;  
采用随机森林模型预测水平接触时的接触位置和垂直接触时的接触位置。

## 一种光电触觉传感柔性机器人手指及使用方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及机器人技术领域,具体涉及一种光电触觉传感柔性机器人手指及使用方法。

### 背景技术

[0002] 现有技术“Van Meerbeek I M,De Sa C M,Shepherd R F.Soft optoelectronic sensory foams with proprioception[J].Science Robotics,2018,3(24).”提出了一种使用光电传感器作硅胶棒本体感知的技术方案,但其针对软体硅胶棒的变形方式有局限性,只能对于特定的变形方式(弯曲和扭转)作出预测值。而在实际接触过程中,软体硅胶棒的变形情况比较复杂,上述预测模型无法对真实情况的变形做出实时预测。

### 发明内容

[0003] 针对现有技术中存在的上述问题,本发明提供一种光电触觉传感柔性机器人手指及使用方法。

[0004] 本发明公开了一种光电触觉传感柔性机器人手指,包括:手指网络结构;

[0005] 所述手指网络结构的受力面上布设有至少一根光纤;

[0006] 在所述手指网络结构的中部区域去除部分光纤,留出空腔;

[0007] 在所述光纤的手指网络结构表面设有硅胶层。

[0008] 作为本发明的进一步改进,所述手指网络结构为空间三维网络结构,所述空间三维网络结构基于节点的位置并采用连杆在空间中进行有序组合。

[0009] 作为本发明的进一步改进,所述手指网络结构使用TPU软体材料3D打印制作而成。

[0010] 作为本发明的进一步改进,所述硅胶层为添加有黑色素的黑色硅胶层,硅胶与黑色素的重量比为20:1。

[0011] 作为本发明的进一步改进,所述光纤的进光端设有光源、出光端设有光敏电阻。

[0012] 作为本发明的进一步改进,所述光源为出射520-525nm波段光的LED灯。

[0013] 本发明还公开了一种光电触觉传感柔性机器人手指的使用方法,包括:

[0014] 在所述光电触觉传感柔性机器人手指与物体接触的过程,基于所述光敏电阻接收到的光强变化,实时预测触觉信息;其中,所述触觉信息包括接触力、力矩和接触位置。

[0015] 作为本发明的进一步改进,所述实时预测触觉信息,具体包括:

[0016] 获取实际测试的数据集,所述数据集的每组数据包括:光强变化、接触力、力矩和接触位置;

[0017] 以所述光强变化作为输入,接触力、力矩或接触位置作为输出,基于所述数据集训练机器学习模型;其中,所述机器学习模型包括线性模型、决策树模型、随机森林模型和支持向量机模型;

[0018] 在所述光电触觉传感柔性机器人手指与物体接触的过程中,基于所述光敏电阻实时获取所述光电触觉传感柔性机器人手指的光强变化;

- [0019] 将实时的光强变化输入至训练好的机器学习模型中,实时预测所述触觉信息。
- [0020] 作为本发明的进一步改进,训练模型所用的数据集使用六轴力传感器来采集,使用机械臂推动所述光电触觉传感柔性机器人手指使其变形并记录当时的光强变化、接触力、力矩和接触位置;
- [0021] 训练时,将所述数据集用4:1的比例分为训练集和测试集,并分别获取模型在训练集上的预测结果、交叉验证后的模型在训练集上的预测结果以及交叉验证后的模型在测试集上的预测结果。
- [0022] 作为本发明的进一步改进,
- [0023] 采用支持向量机模型预测正向接触力;
- [0024] 采用随机森林模型预测扭转力矩;
- [0025] 采用随机森林模型预测水平接触时的接触位置和垂直接触时的接触位置。
- [0026] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:
- [0027] 本发明在手指网络结构上布设多根光纤来传导光线,进行本体感知;
- [0028] 本发明在光纤表面铸一层硅胶层来固定光纤位置,隔绝环境光干扰,增加接触摩擦力,提高抓取可靠性;
- [0029] 本发明在手指网络结构的中间区域去除部分光纤,留下小段空腔,提高光强变化随手指变形的灵敏度;
- [0030] 本发明使用机器学习的方法进行预测,该手指能在与物体接触的过程中实时预测接触力、力矩、接触位置等触觉信息,该触觉信息在机器人抓取操作等领域都有重要的应用前景;同时,将此触觉信息应用在机器人抓取的过程中成功提升了抓取的稳固性。

## 附图说明

- [0031] 图1为本发明一种实施例公开的光电触觉传感柔性机器人手指的结构示意图;
- [0032] 图2为图1中内部光纤的结构示意图;
- [0033] 图3为图1中手指网络结构的结构示意图;
- [0034] 图4为本发明一种实施例公开的传统抓取方式(左)与本发明抓取优化后的抓取方式(右)的抓取效果比较图。
- [0035] 图中:
- [0036] 1、手指网络结构;2、光纤;3、硅胶层;4、空腔。

## 具体实施方式

[0037] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0038] 下面结合附图对本发明做进一步的详细描述:

[0039] 如图1所示,本发明提供一种光电触觉传感柔性机器人手指,包括:手指网络结构1、光纤2和硅胶层3;其中,为便于显示内部光纤结构,图1中的硅胶层3设为透明状,实际为不透光的黑色硅胶层;

[0040] 如图3所示,本发明的手指网络结构1为空间三维网络结构,空间三维网络结构上设有用于布设光纤2的通道或过线孔,空间三维网络结构基于节点的位置并采用连杆在空间中进行有序组合。具体的,空间三维网络结构为第一基本单元、第二基本单元、一个第一基本单元和多个第二基本单元的叠合、或多个第二基本单元的叠合;其中,第一基本单元包括第一上层结构和第一下层结构,第一上层结构包含一个第一节点,第一下层结构包含至少三个第二节点,至少三个第二节点不共线;第一节点和所有第二节点通过连杆构成三维网络结构,连杆连接在两个第二节点之间或第一节点与第二节点之间;第二基本单元包括第二上层结构和第二下层结构,第二上层结构包含至少两个第三节点,第二下层结构包含至少两个第四节点,至少两个第四节点与至少两个第三节点不共面;所有第三节点和所有第四节点通过连杆构成三维网络结构,连杆连接在两个第三节点之间、两个第四节点之间或第三节点与第四节点之间。进一步,空间三维网络结构参见申请人的现有专利201910461095X、2019104610911、2019104610907、2019104609933、2019104609967、2019104610428、201910460542X的相关记载。如图1、2所示,本发明的手指网络结构采用的是多个第二基本单元的叠合,其在抓取过程中对目标物品具有全方向的适应性和包覆性。更进一步,手指网络结构1优选使用TPU软体材料3D打印制作而成。具体为:手指网络结构1的最上层为横杆、次上层至最底层为正方形连杆,两根斜杆连接多层正方形连杆的两个节点和横杆的一个节点,另两根斜杆连接多层正方形连杆的另两个节点和横杆的另一个节点;软体摇杆本体的结构轴对称,具有两个三角形的侧接触面和两个四边形的侧接触面。

[0041] 本发明在手指网络结构1的受力面上布设有至少一根光纤2,优选使用阵列式Everheng Fiber制作的商用光纤用来传导光信号从而进行本体感知。如图1、2所示,本发明在由三个第二基本单元叠合而成的手指网络结构1上使用五根光纤进行本体感知;其中,本发明在手指网络结构1的相对的两个四边侧面上,由一个侧面底部起、经顶部后、从另一侧面的底部出布设五根光纤,五根光纤的最外侧两根光纤从连杆内穿过,中间的三根光纤穿过对应水平连杆的光纤孔,具体布设方式如图1~3所示。基于此,通过均布的五根光纤,可实现对手指网络结构1的受力感知。

[0042] 如图2所示,本发明在手指网络结构1的变形区域(例如手指的中部区域)去除部分光纤2,留出空腔4;具体为:本发明在将一侧面中部的两个连杆之间的光纤去除,形成空腔4,提高光强变化随手指变形的灵敏度;其中,在手指的中间区域改进是由于基于手指的结构,当手指与物体接触时,主要变形发生在此处。

[0043] 本发明在光纤2的手指网络结构1的表面设有硅胶层3,用于固定光纤2的位置,优选采用Smooth-On Ecoflex 00-30硅胶材料。同时为了减少环境光的干扰,在该硅胶材料中以20:1的比例加入黑色素构成黑色硅胶层来隔绝光纤与外界光。除此之外,硅胶层可以用来增加接触摩擦力,提高抓取可靠性。

[0044] 为了提高本发明的集成度,本发明在光纤2的进光端设有光源、出光端设有光敏电阻;光源优选为出射520-525nm波段光的LED灯,使用该波段的原因是该波段光具有更强的灵敏度和抗干扰能力。光敏电阻可检测手指变形后的光强变化。

[0045] 本发明提供一种光电触觉传感柔性机器人手指的制备方法,包括:

[0046] a)、3D打印制作手指网络结构1;

[0047] b)、将5根光纤2排布在软体手指的表面来传导光线;

[0048] c)、将手指网络结构1置于模具内并注入加入黑色素的硅胶,以形成硅胶层3;

[0049] d)、在硅胶层内留出的一小段空腔,方便手指网络结构1发生变形。

[0050] 基于上述结构的设计,本发明的使用方法包括:

[0051] 在手指在与物体接触时,软体手指发生形变,光路发生变化,光敏电阻感应到的光强也相应发生变化。再次基础上,本发明进一步采用机器学习的方法,使用python的scikit-learn软件包中的线性模型,决策树模型,随机森林模型,支持向量机模型进行拟合,预测并对预测结果进行比较,最终实现了实时接触正向力、力矩和接触位置等触觉信息的预测。该触觉信息在机器人抓取操作等领域都有重要的应用前景;同时,将此触觉信息应用在机器人抓取的过程中成功提升了抓取的稳固性。

[0052] 其中,具体的预测方法包括:

[0053] 步骤1、获取实际测试的数据集;其中,

[0054] 数据集使用Onrobot六轴力传感器来采集,使用UR5机械臂推动软体手指使其变形并记录当时的光强变化、接触力、力矩和接触位置,训练多组后形成数据集;

[0055] 步骤2、以光强变化作为输入,接触力、力矩或接触位置作为输出,基于数据集训练机器学习模型,机器学习模型包括线性模型、决策树模型、随机森林模型和支持向量机模型;其中,

[0056] 训练时,将数据集用4:1的比例分为训练集和测试集,并分别获取模型在训练集上的预测结果、交叉验证后的模型在训练集上的预测结果以及交叉验证后的模型在测试集上的预测结果;对各模型的预测结果进行比较,最终选择输出不同结果所需的最优模型;

[0057] 具体的:

[0058] 使用四种机器学习模型的力和力矩预测结果:

[0059] RMSE指均方根误差,该值越小说明预测越准确。Linear,Tree,Forest,SVM指四种机器学习模型:线性模型,决策树模型,随机森林模型和支持向量机模型。NA指不需要做的实验。整个数据集用4:1的比例分为训练集和测试集,训练集被用来训练模型,测试集用于测试。Baseline一行指模型在训练集上的预测结果,Cross Validation是指交叉验证后的模型在训练集上的预测结果,Test Dataset指交叉验证后的模型在测试集上的预测结果。交叉验证是一种常用的机器学习训练方法,目的是防止模型过拟合,也就是提高模型在预测未知数据时的泛化能力。预测结果如下表1、2所示:

[0060] 表1

	RMSE*	Linear	Tree	Forest	SVM
Force	Baseline	0.534	0.004	0.082	0.166
	Cross Validation	0.541	0.331	0.225	0.196
	Test Dataset	NA**	NA	0.201	<b>0.168</b>
Torque	Baseline	0.004	0.000	0.001	0.021
	Cross Validation	0.004	0.004	0.003	0.021
	Test Dataset	NA	NA	<b>0.002</b>	0.021

[0062] 表2

	RMSE	Linear	Tree	Forest	SVM	
[0063]	Horizontal	Baseline	1.574	0.000	0.246	1.581
		Cross Validation	1.574	0.999	0.692	0.978
		Test	NA	NA	<b>0.569</b>	0.718
	Vertical	Baseline	0.704	0.000	0.040	0.755
		Cross Validation	0.761	0.250	0.099	0.190
		Test	NA	NA	<b>0.030</b>	0.120

[0064] 如表1所示,Force一栏是指对软体手指接触时正向力的预测,根据结果显示,SVM的结果最好,在实际实验中会使用SVM模型预测正向力。

[0065] 如表1所示,Torque一栏是指对软体手指接触时扭转力矩的预测,根据结果显示,随机森林模型的结果最好,在实际实验中会使用随机森林模型预测。

[0066] 如表2所示,Horizontal一栏是指对软体手指被水平接触时接触位置的预测,根据结果显示,随机森林模型的结果最好,在实际实验中会使用随机森林模型预测。

[0067] 如表2所示,Vertical一栏是指指对软体手指被垂直方向接触时接触位置的预测,根据结果显示,随机森林模型的结果最好,在实际实验中会使用随机森林模型预测。

[0068] 步骤3、在柔性机器人手指与物体接触的过程中,基于光敏电阻实时获取柔性机器人手指的光强变化;

[0069] 步骤4、将实时的光强变化输入至训练好的机器学习模型中,实时预测触觉信息;其中,

[0070] 采用支持向量机模型预测正向接触力,采用随机森林模型预测扭转力矩,采用随机森林模型预测水平接触时的接触位置和垂直接触时的接触位置。

[0071] 实施例:

[0072] 在进行初始抓取后,本发明会使用之前训练的机器学习模型对接触时的正向力和扭转力矩进行预测,由于本实例使用了一种可实时重构的手指,收支结构会基于感应到的扭转力矩实时发生变化,最终消除扭转力矩,使软体手指正向面对被抓取的物品。

[0073] 抓取的优化过程包括:

[0074] 输入:初始抓取构型,扭转力矩,衰减系数,阈值;

[0075] 输出:优化后构型;

[0076] 初始抓取感知扭转力矩;

[0077] 优化过程:构型不断改变直到扭转力矩小于阈值得到最终优化构型。

[0078] 验证:

[0079] 如图4所示,传统抓取方式(左)与抓取优化后(右)的抓取效果比较,抓取效果由垂直方向的抵抗力大小表征。(b)(c)(d)(e)是分别对圆形物品,方形物品,长方体物品和圆柱物品的抓取实验。结果显示对于方形物品,长方体物品和圆柱物品,抓取稳固性都得到了不同程度的提升,抵抗力最大值上升了108%,61.7%,59.6%。

[0080] 以上仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

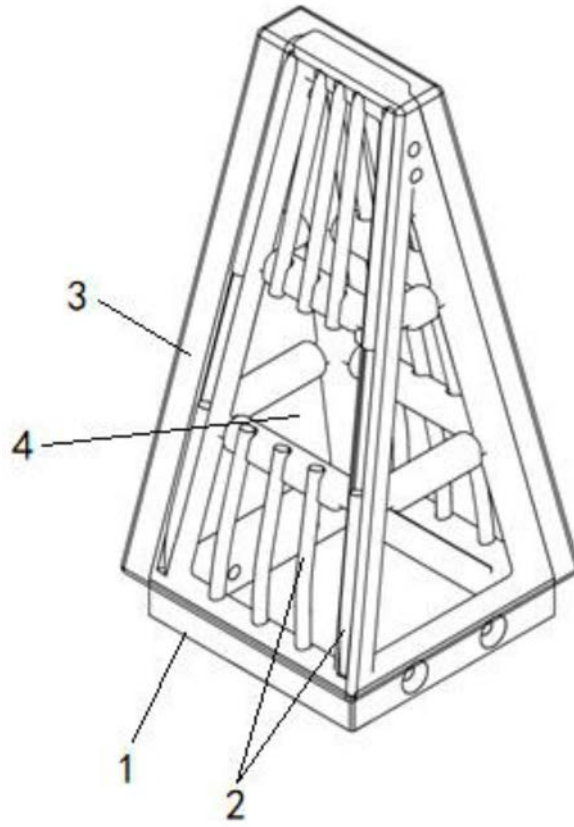


图1



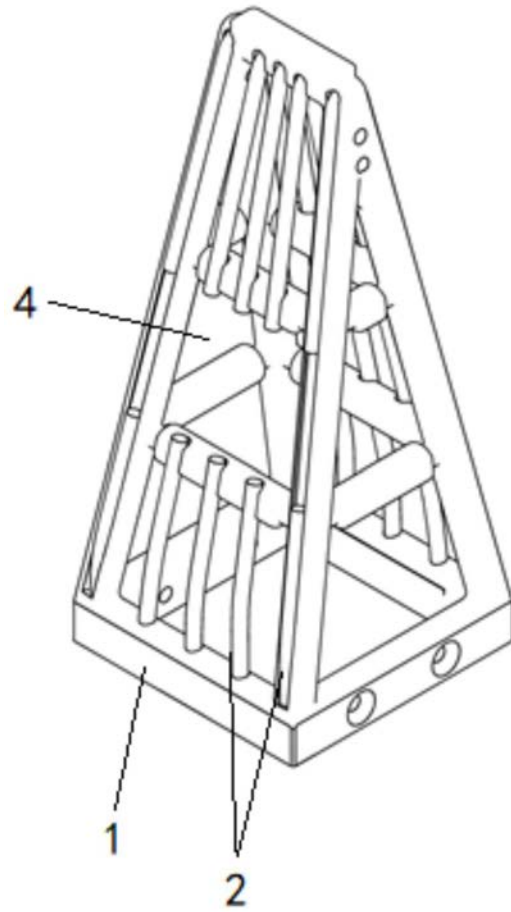


图2

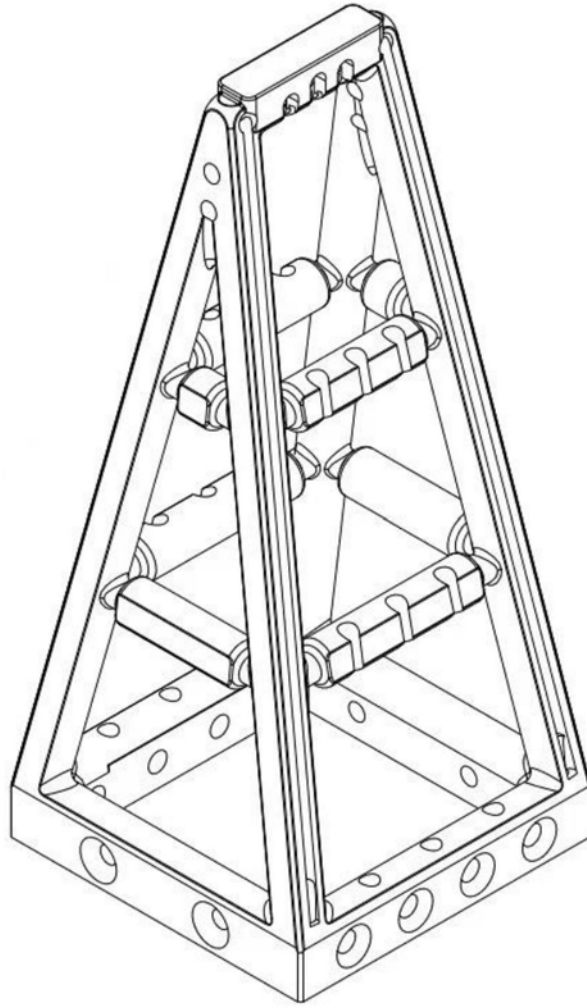


图3

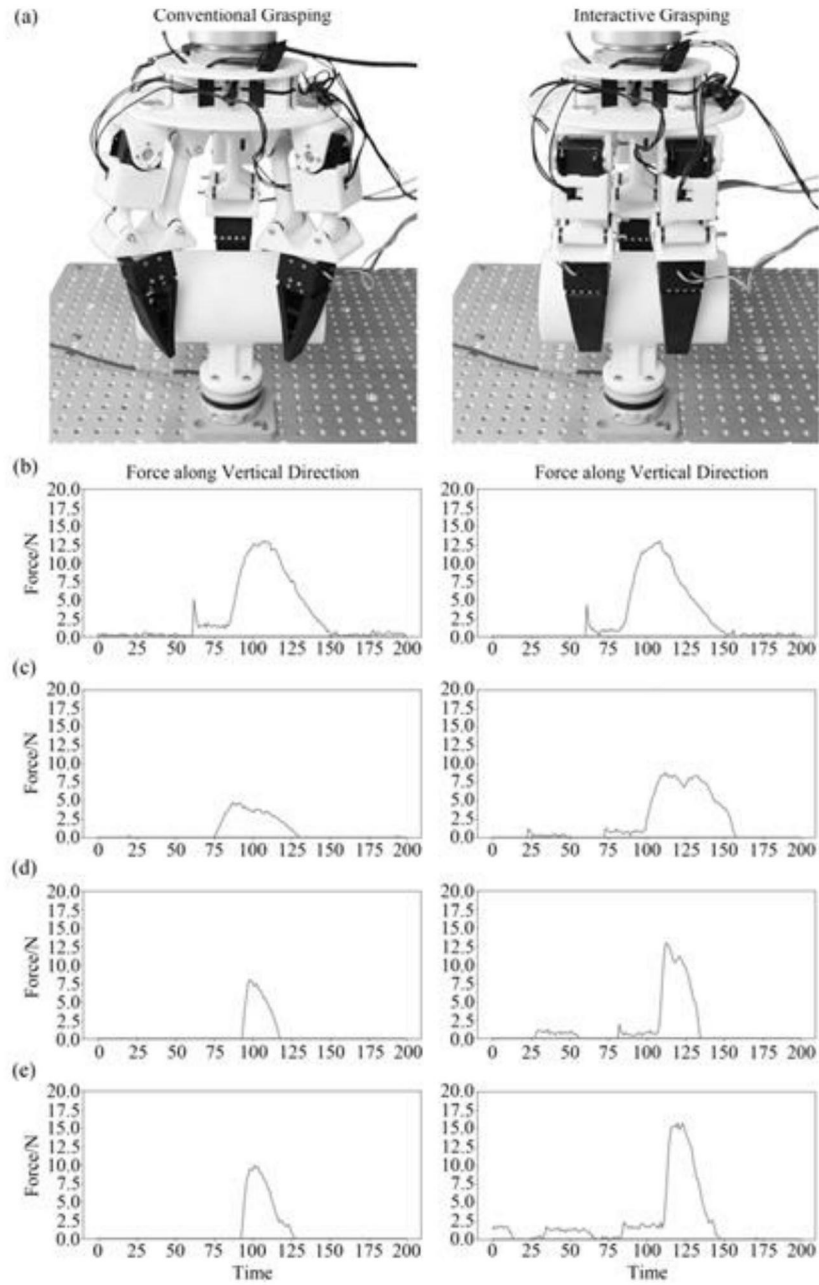


图4