

4-16-2019

Grasping Simulation of Linkage Underactuated Mechanical Finger

Xiali Li

School of Information Engineering, Minzu University of Chin, Beijing 100081, China;

Tianyi Lan

School of Information Engineering, Minzu University of Chin, Beijing 100081, China;

Licheng Wu

School of Information Engineering, Minzu University of Chin, Beijing 100081, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Grasping Simulation of Linkage Underactuated Mechanical Finger

Abstract

Abstract: *For verifying the design rationality and the property of a linkage underactuated finger, Solidworks is utilized to simulate the grasp operation of the finger with some different objects at the different positions. The simulations can be used to analyze the grasping range, the underactuated characteristic, the uniformity of grasp motion and the mechanical property. The finger mechanism contains springs that brings adaptive grasp capability of different objects. The results show that the finger can make suitable capability for grasping the objects whose size can vary from 0.106 to 0.851 times of the finger length. And the finger can give fivefold grasping force of general human by using the small electromotor. Through the simulations, the effectiveness and performance of the finger is analyzed and verified.*

Keywords

mechanical finger, underactuated mechanism, grasping simulation, solidworks

Recommended Citation

Li Xiali, Lan Tianyi, Wu Licheng. Grasping Simulation of Linkage Underactuated Mechanical Finger[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(1): 81-86.

一种连杆式欠驱动机械手指的抓取仿真

李霞丽, 兰天一, 吴立成

(中央民族大学信息工程学院, 北京 100081)

摘要: 为验证一种连杆式欠驱动机械手指的设计合理性和各项性能, 采用 *Solidworks* 针对不同位置不同大小物体的多种情况, 进行手指抓取物体过程的详细仿真, 并分析手指的抓取范围、抓持过程中的欠驱动特性、运动连贯性及力学特性等。该机械手指可自适应抓取物体。仿真结果表明: 该手指可实现均匀且连贯的抓取; 可抓取直径范围在手指长度 0.106~0.851 倍之间的圆柱物体; 使用一般小型电机驱动可产生 5 倍于人手的抓持力。通过仿真, 实现了手指机构及其尺寸设计合理性和各项性能的分析与验证。

关键词: 机械手指; 欠驱动; 抓取仿真; *Solidworks*

中图分类号: TP24

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2019) 01-0081-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17-0054

Grasping Simulation of Linkage Underactuated Mechanical Finger

Li Xiali, Lan Tianyi, Wu Licheng

(School of Information Engineering, Minzu University of Chin, Beijing 100081, China)

Abstract: For verifying the design rationality and the property of a linkage underactuated finger, *Solidworks* is utilized to simulate the grasp operation of the finger with some different objects at the different positions. The simulations can be used to analyze the grasping range, the underactuated characteristic, the uniformity of grasp motion and the mechanical property. The finger mechanism contains springs that brings adaptive grasp capability of different objects. The results show that the finger can make suitable capability for grasping the objects whose size can vary from 0.106 to 0.851 times of the finger length. And the finger can give fivefold grasping force of general human by using the small electromotor. Through the simulations, the effectiveness and performance of the finger is analyzed and verified.

Keywords: mechanical finger; underactuated mechanism; grasping simulation; *solidworks*

引言

目前机器人手主要分为两大类型: 全驱动机器人灵巧手和欠驱动多指手当前机器人手技术研究领

域, 全驱动机器人灵巧手已经发展到一个较高的水平。文献[1-2]对全驱动机器人手进行了较为全面的分析, 包括单指工作空间的运动学仿真及多指协作的多手势抓持操作, 为灵巧手尺寸的设计和控制算法的设计提供了重要依据。但目前全驱动多指灵巧手的主要问题是采用了大量的串联结构、机构传动困难、控制要求高、负载能力差以及操作使用时需要专业知识。其控制都采用小型计算机或 PC 机为上位机, 不能摆脱供电和控制电缆的束缚, 重量体



收稿日期: 2017-01-11 修回日期: 2017-05-31;
基金项目: 国家自然科学基金(51375504, 61602539);
作者简介: 李霞丽(1979-), 女, 河南周口, 硕士, 副教授, 研究方向为智能系统及其应用; 兰天一(1992-), 男, 内蒙古赤峰, 硕士生, 研究方向为智能机器人; 吴立成(1972-), 男, 江西宜春, 博士, 教授, 研究方向为智能机器人、人工智能。

<http://www.china-simulation.com>

积都比较笨重, 成本很高。所以至今机器人多指灵巧手仍停留在实验室阶段, 离实用化的要求还很远。

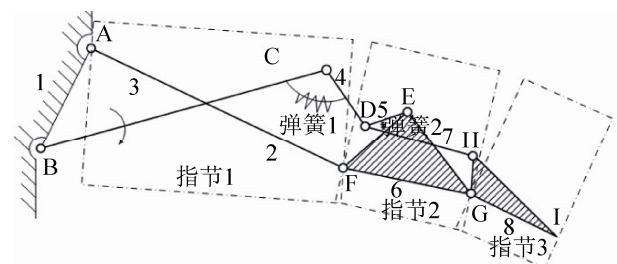
相比而言, 欠驱动机械手驱动器数量少, 因此具有结构简单、便于控制、制造成本较低等特点。而且欠驱动机械手还具有良好的被动适应性, 利于包络抓取^[3]。目前主流的欠驱动机械手分为腱驱动和连杆式驱动两种。连杆式欠驱动机械手具有末端输出力大、负载能力强、结构紧凑等诸多优点。从总体的抓取效果来看, 连杆式驱动各项性能要优于腱驱动^[4]。目前对欠驱动机器人手的仿真分析大部分尚不如对全驱动机器人手全面。文献[5]对腱驱动手指在抓取过程中的抓取稳定性和各项力学性能等进行了仿真分析。文献[6]利用 MATLAB 建模计算及 ADAMS 运动仿真验证一种腱驱动手指的尺寸设计是否合适, 为欠驱动机械手尺寸设计方面提供了思路。但由于发展时间较晚, 目前对连杆式欠驱动机械手指的分析大多还比较单一。文献[7]仅对手指与物体间的接触力进行了相关的仿真分析, 但对抓取范围等没有提及。文献[8]虽然加入了对手指抓取稳定性的分析, 但是对手指可以稳定抓取的范围并没有论述。文献[9]对手指可以稳定抓取的范围进行了估计, 但是没有分析在这种稳定抓取情况下抓取力与输出力矩的关系。对连杆式欠驱动机械手指进行全面的分析是从各个层面检验手指的抓取性能, 进而检验手指设计合理性的重要依据, 因此有必要进行较为全面的仿真分析。

本文对一种连杆式欠驱动机械手指进行仿真, 分析抓持过程中的欠驱动特性, 运动连贯性及力学特性等, 验证连杆结构在整个运动过程中是否处于手指内部, 并对手指抓取范围和性能进行量化分析, 从而检验手指的性能和合理性。

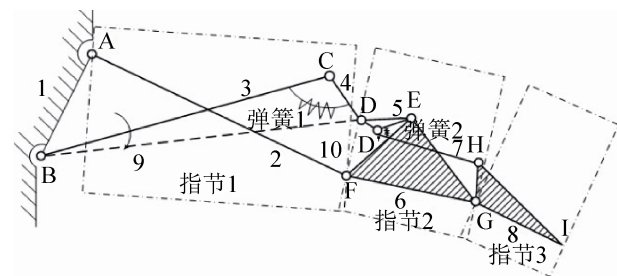
1 全转动关节连杆式欠驱动手指

本文的仿真对象是课题组提出的一种全转动关节连杆式欠驱动手指^[10-11]。如图 1(a)所示, 手指机构包括 8 个连杆和 2 个弹簧。杆 1 是机架, 连杆 2、6、8 分别代表第一、第二和第三指节。A, B,

C, D, D', E, F, G, H 点是转动关节。弹簧 1 位于杆 3 和杆 4 之间。弹簧 2 位于杆 5 和杆 7 之间。电机安装在 B 点直接驱动杆 3。仿真中发现, 该机构 CD 杆容易与固定 DE 杆的轴发生接触, 大幅降低了手指的可抓取范围。本文根据仿真结果将 DE 杆由直杆改为三角形杆 DD'E, 改进后的机构(参见图 1(b))可以避免上述情况, 并可实现连杆机构在手指的整个运动过程中保持在手指内部, 可以增加手指的运动空间。同时运用三角形杆还可以使机构各部分在一定程度上相互独立, 便于尺寸设计。其中 DD'E 杆用一个三角形的结构(参见图 2)连接 DH 和 CD 杆。尺寸设计时, 手指总长及各指节长度按 1: 1 的比例仿生人类食指^[12]。设计得到的各连杆和指节尺寸如表 1 所示。



(a) 全转动关节连杆式欠驱动手指机构



(b) 改进的全转动关节连杆式欠驱动手指机构

图 1 全转动关节连杆式欠驱动手指机构

Fig. 1 Mechanism of full rotation joint-linkage underactuated finger

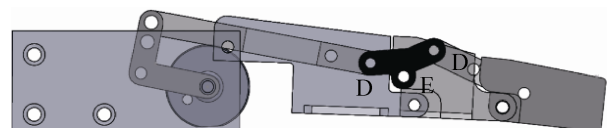


图 2 手指简图及三角形杆 DD'E 在其中的位置(纯黑色杆)

Fig. 2 Finger diagram and the position of link DD'E (pure black link)

表 1 连杆及指节尺寸
Tab. 1 Size of link and phalanx /mm

部件	AB 杆	BC 杆	CD 杆	D'E 杆	DE 杆
长度	11.2	21.4	55.6	10.0	8.9
部件	D'H 杆	HG 杆	AF	FG	GI
长度	25.0	5.0	47.0	22.0	25.0

当手指抓取物体时, 电机顺时针转动, 通过关节 B 带动连杆 3 转动, 通过关节 C 带动连杆 4 运动, 通过关节 D 带动连杆 5 和连杆 7 运动, 通过关节 F 带动连杆 6(第二指节)运动, 并通过关节 F 带动连杆 2(第一指节)转动, 连杆 6(第二指节)通过关节 G, 同时连杆 7 通过关节 H 带动连杆 8(第三指节)运动, 直到手指与被抓物体相接触并完成包络抓取。

放开物体时, 电机反转, 通过关节 B 带动连杆 3 反转, 通过关节 C 带动连杆 4 运动, 通过关节 D 带动连杆 5 和连杆 7 运动, 通过关节 E 带动连杆 6(第二指节)运动, 通过关节 F 带动连杆 2(第一指节)转动, 连杆 6(第二指节)通过关节 G, 同时连杆 7 通过关节 H 带动连杆 8(第三指节)运动。由于弹簧 1 和弹簧 2 的复位弹力作用, 保证了各连杆和指节运动方向与抓取时的运动方向相反, 直到手指与物体完全分离。

2 仿真过程及结果

2.1 仿真参数设置

本文运用 SolidWorks 环境创建 3D 模型, 并通过 Motion 分析模块来分析抓取过程。本文对多种不同半径固定物体进行抓取仿真, 并通过仿真确定被抓取物体的半径范围。同时对两种不同半径圆柱体的抓取过程进行重点分析, 分析其抓取过程中抓持力的变化曲线, 最终抓持力以及抓取的连贯性, 即指节在运动过程中是否均匀地运动。

在运动仿真过程中手指的运动相对缓慢, 因此不考虑惯性力。同时本文只关注抓取过程中手指与物体之间的接触力, 不考虑手指关节之间的摩擦力。为使手指运动便于观察, 本文所有仿真中驱动杆(BC)的转动速度均为 1 rad/s。经估算, 弹簧 1 的

系数取 2.00 N/mm, 阻尼取 10.00 N/(mm/s); 弹簧 2 的系数取 1.00 N/mm, 阻尼取 0.20 N/(mm/s), 在这种参数下手指的运动相对稳定。同时手指与物体之间的恢复系数设为 0, 即手指和物体之间的接触为完全非弹性碰撞。

2.2 较小物体抓取性能

2.2.1 易抓位置抓取性能

如图 3 所示, 以手指机架上 B 点为原点建立直角坐标系, 手指水平延伸方向为 X 轴。分别对物体处于易抓和极限两种位置情况进行仿真, 其中易抓位置指物体处于第一指节底面中间位置附近, 手指转动较小的角度即可与物体发生接触; 极限位置指物体处在指节根部。

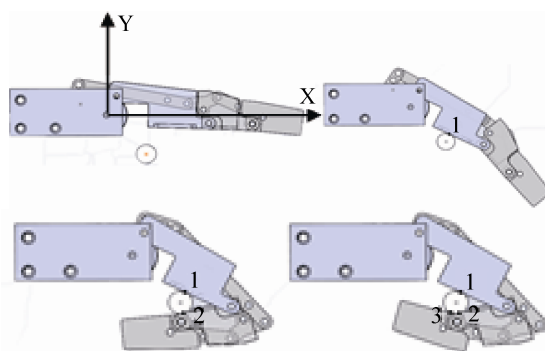
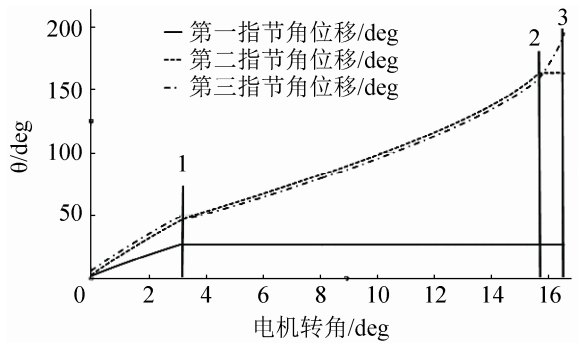


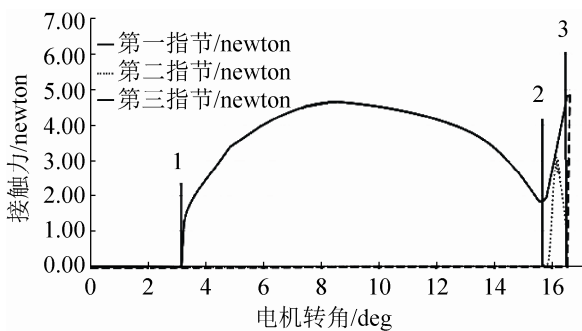
图 3 直径 10 mm 圆柱体处于易抓位置时的抓取过程
Fig. 3 Grasping process of cylinder with a diameter of 10 mm at the easy grasping position

被抓取物体为直径 10 mm 的刚性圆柱体, 圆心坐标在(19.98 mm, -20.90 mm)时处于易抓位置。抓取过程如图 3 所示, 其中点 1, 2, 3 分别为各指节与物体的接触点。

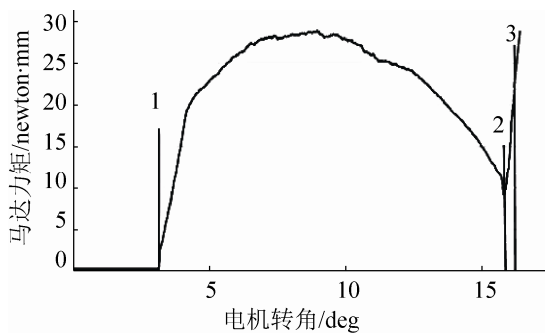
如图 3 所示, 手指在与物体逐步接触的过程中将物体包络。如图 4(a)所示, 关节 1, 2, 3 的最终旋转角度分别为: 26.51°、162.01°和 194.5°。图 4 标注的 1, 2, 3 分别表示各指节与物体发生接触时的位置。每个指节与物体的接触点构成了手指对物体的静态抓取。由图 4(a), 手指的各指节在抓取过程中并没有出现角度位移的突变, 手指运动曲线较为均匀。因此该手指在仿真中表现出了很好的抓取连贯性和稳定性。



(a) 指节角度变化曲线



(b) 接触力变化曲线



(c) 马达力矩变化曲线

图4 直径10 mm圆柱体处于易抓位置时的抓取参数曲线
Fig. 4 Changing curve of cylinder with a diameter of 10 mm at easy grasping position

如图4(b)所示,当指节1接触到物体后其与物体间的接触力迅速增加,随后逐步增加,此时其他指节还未接触到圆柱体。当指节2接触物体后,指节2与物体间的接触力迅速增加。当指节3接触到物体后,其与物体间的接触力随着马达驱动力矩的增加而增加。在仿真过程中并未设置固定的马达驱动力矩,仅仅对驱动杆的转动速度进行了设置,因此在保持驱动杆转动速度为1 rad/s的情况下,马达驱动力矩是不断变化的。若完成抓取后继续加大马达力矩至29.00 N·mm,则抓取完成时各指节的

接触力分别为:4.80 N、1.61 N和4.89 N。在抓取过程中,指节1在与物体单独接触时的接触力先增大随后减小,这是因为在这个过程中弹簧1的位移不断增大,部分能量被储存到弹簧中。在指节2与物体接触后又迅速增大,这是因为在抓取时,指节1和指节2近似分布在物体两侧,形成对侧夹持状态。指节2的接触力先增大然后变小,也因为在运动过程中弹簧2储存了部分能量。

如图4(c),由于未考虑机构的质量,故初始马达力矩为零,当手指接触到物体时,马达力矩增加。在位置2时,指节2接触物体,随后马达力矩上升,直到指节3触碰到物体。一般小型直流微型电机输出转矩可达3 000 N·mm左右。若使用最大输出转矩,单指末端指节对物体的作用力可以达到500 N左右。相比而言,一般成年男性的对指捏力大概在100 N左右^[13],腱驱动机械手的输出力大概在50 N左右^[4,14]。因此作为一种欠驱动机械手,该手能产生较大的抓持力。

2.2.2 极限位置抓取性能

物体圆心坐标(坐标系同图3)为(-2.88 mm, -26.17 mm)时物体处于手指根部的极限位置。关节的最终旋转角度分别为:67.83°,196.24°和194.5°。各指节在抓取过程中并没有出现角位移的突变,手指运动曲线较为均匀。手指对处于此位置物体的抓取表现出了很好的抓取连贯性和稳定性。

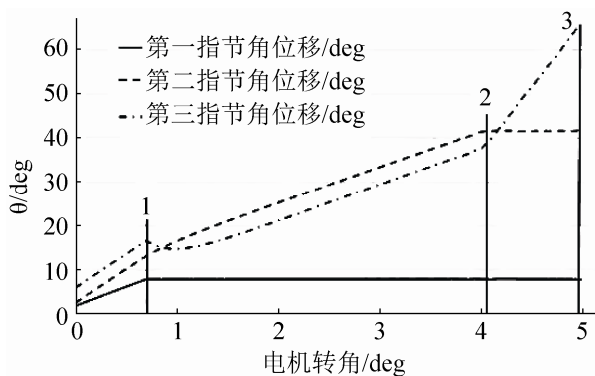
当指节1接触到物体后其接触力迅速增加,随后逐渐增加。此时其他指节还未接触到圆柱体。当指节2接触物体后,接触力迅速增加。当指节3接触到物体后,接触力迅速增加。当驱动力矩稳定在30.40 N·mm时,各指节接触力分别为7.50 N、2.17 N和15.00 N。运动过程中指节1,2的接触力均变小,这是因为在运动过程中当指节2停止运动时,驱动杆的部分推动力用于克服弹簧2的拉力以驱动指节3继续运动。而随后三指节的接触力均有升高,这是因为手指完成了包络抓取,对手指的抓取较为完全,第一指节与第三指节近似分布在手指两侧,形成了对侧夹持的状态。最终获得的曲线图

与物体在易抓取位置的趋势相似。

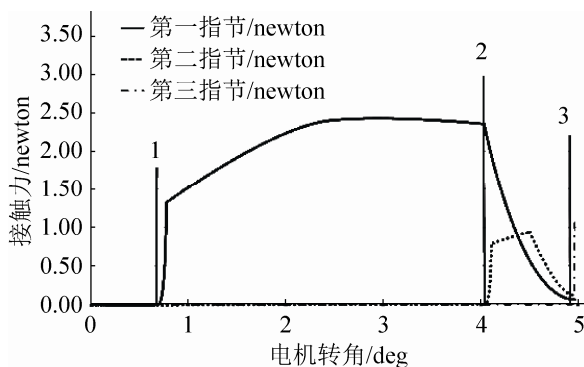
2.3 较大物体抓取性能

由于 80 mm 的圆柱体相对较大, 其摆放位置对抓取效果影响不大, 所以本文只进行 80 mm 圆柱体在一种位置下的抓取仿真。将物体圆心坐标(坐标系同图 3)设置在(58.98 mm, -50.11 mm), 此时手指转动较小的角度即可与圆柱体发生接触, 且第一个接触点在第一指节上。其中点 1, 2, 3 分别为各指节与物体的接触点。

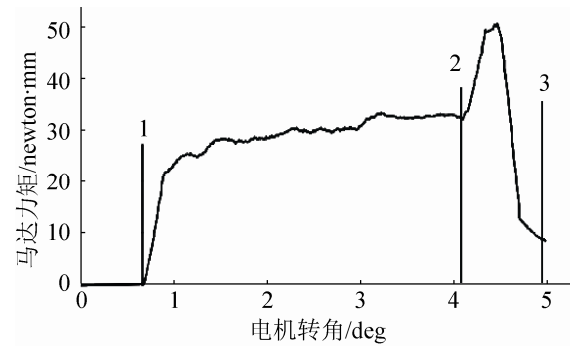
由图 5(a)可见, 关节 1, 2, 3 的最终旋转角度分别为: 8.60° , 38.72° 和 64.52° 。由图 5(b)可知, 当最终马达驱动力矩为 8.87 N·mm 时, 指节 1, 2, 3 与物体的接触力分别为 0.10 N, 0.16 N 和 1.08 N。指节 1 与物体在指节 2 与物体接触后的接触力变小是因为弹簧 1 储存了部分能量, 随后指节 2 与物体的接触力在指节 3 与物体接触时变小是因为弹簧 2 储存了部分能量。



(a) 指节角度变化曲线



(b) 接触力变化曲线



(c) 马达力矩变化曲线

图 5 直径 80 mm 圆柱体的抓取参数曲线

Fig. 5 Changing curve of cylinder with a diameter of 80 mm

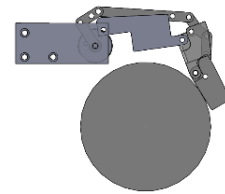


图 6 抓较大物体时出现的回卷
Fig. 6 Roll-back phenomenon

当手指接触到物体时, 马达力矩增加。在位置 2 时指节 2 接触物体, 随后马达力矩一直上升, 直到指节 3 也触碰到物体。但当指节 3 触碰到物体后, 马达力矩下降, 这是因为在抓取 80 mm 大小的圆柱体时, 由于抓取的物体相对于手指较大, 故产生了一定的回卷现象^[15], 即在末端指节抓取力增大的情况下, 根指节有脱离物体的趋势。如图 6 所示, 若继续转动, 指节会逐步脱离圆柱体。

3 结论

本文运用 Solidworks 仿真软件分析了一种连杆式欠驱动机械手指在抓取物体过程中的各项性能, 包括手指的抓取范围, 抓持过程中的欠驱动特性、运动连贯性及力学特性等。仿真表明, 如图 1(a)所示机构设计的全转动关节欠驱动手指可实现均匀且连贯的抓取。其抓取物体的直径范围是手指直径的 0.106~0.851 倍之间, 这证明该手指具有较大的抓取范围。同时本文分析的手指用一般的小型电机进行驱动可产生 5 倍于人手的抓持力, 因此证明该手指可以产生较大的抓持力。由图 3 可见, 整

个手指在运动过程中结构紧凑。通过本文的仿真,实现了对该手指设计合理性的有效验证,并得出了抓取范围、抓持力等的重要数据。

参考文献:

- [1] 杨文珍, 梁春辉, 陈文华, 等. ZSTU 拟人灵巧手设计与仿真[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(12): 2617-2622.
YANG Wenzhen, LIANG Chunhui, CHEN Wenhua, et al. Design and Simulation of ZSTU Anthropomorphic Robot Hand[J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(12): 2617-2622.
- [2] 梁斌, 史也, 王学谦, 等. 空间机械手模拟器系统设计与实验研究[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(8): 1594-1600.
LIANG Bin, SHI Ye, WANG Xueqian, et al. Design and Simulation of ZSTU Anthropomorphic Robot Hand [J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(8): 1594-1600.
- [3] WU Licheng, YANG Guosheng, SUN Zengqi. Review on underactuated finger mechanism[J]. Journal of Central South University (Science and Technology) (S1672-7207), 2011, 42(1): 417-422.
- [4] Marco Ceccarelli. Fundamentals of mechanics of robotic manipulation[M]. Holland: Springer, 2004: 241-298.
- [5] LIU Yiwei, FENG Fei, GAO Yifu. HIT prosthetic hand based on tendon-driven mechanism[J]. Journal of Central South University, 2014, 21(5): 1778-1791.
- [6] 张耀鹏, 王党校, 王丽君, 等. 欠驱动仿人多指手的虚拟样机建模和运动仿真[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(10): 2527-2533.
Zhang yaopeng, Wang Dangxiao, Wang lijun, et al. Virtual Modeling and Motion Simulation of Underactuated Humanoid Multi-finger Hand[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(10): 2527-2533.
- [7] Dalibor Petkovi T, Javed Iqbal, Shahaboddin Shamshirband, et al. Kinetostatic Analysis of Passively Adaptive Robotic Finger with Distributed Compliance[J]. Advances in Mechanical Engineering (S1687-8140), 2014(1): 314-318.
- [8] 王通, 尹建军. 一种抓取果实的欠驱动手指机构设计与静力学分析[J]. 农机化研究, 2016, 38(3): 112-114.
Tong Wang, Jianjun Yin. A Type of Underactuated Finger Mechanism Design and Statics Analysis for Picking Fruit[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(3): 112-114.
- [9] Luo M, Mei T, Wang X, et al. Grasp Characteristics of An Underactuated Robot Hand[C]// Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, New Orleans, LA, 2004: 2236-2241.
- [10] Licheng Wu, Giuseppe Carbone, Marco Ceccarelli. Designing an underactuated mechanism for a 1 active DOF finger operation[J]. Mechanism and Machine Theory (S0094-114X), 2009, 44(2): 336-348.
- [11] Licheng Wu, Marco Ceccarelli. A Numerical Simulation for Design and Operation of an Underactuated Finger Mechanism for LARM Hand [J]. Mechanics Based Design of Structures and Machines (S0094-114X), 2009, 44(2): 86-112.
- [12] HUO Shengjun, FAN Songqing, ZHAO Chenyin. Measurement of Fingers' Width and Length of Every Segment in Human [J]. Progress of Anatomical Sciences (S1006-2947), 2009, 9(4): 326-328.
- [13] Jiang Zheng, Wang Shi-zhong, Liao Jun, et al. Test of grip and pinch strengths of 111 healthy university students in Fujian Province[J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research (S1673-8225), 2010, 14(50): 9452-9454.
- [14] 何艳涛. 一种绳驱式欠驱动三指灵巧手的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
Yantao He. Research on one underactuated three-finger dexterous hand driven by tendon[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.
- [15] Lionel Birglen, Clément Gosselin. Kinetostatic Analysis of Underactuated Fingers[J]. IEEE Transactions on robotics and automation (S1042-296X), 2004, 20(2): 211-221.