

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.02.013

两关节全驱动可调节果蔬采摘末端执行器的设计

夏凡, 沈精虎, 张敏

(青岛大学机电工程学院, 山东青岛 266071)

摘要:为加速智能机器人替代人工进行果蔬采摘,以提高作业质量和效率,提出了一种运动灵活仿人手果蔬采摘末端执行器。该末端执行器采用两关节全驱动的方式,通过3个手指的2个关节(近指关节1和远指关节2)相互配合实现类似人手握取果实的动作;建立两关节全驱动手指的包络抓取机构静力学模型,求得近指关节连杆机构中输入转矩和接触力之间的关系,从而更好地实现对果蔬作用力的控制,以减少果蔬损伤。最后基于SolidWorks对整个机构进行仿真试验,验证结果表明机构具有合理性。该果蔬采摘末端执行器通用性强,能够补偿机器人图像识别误差。

关键词:采摘机器人;果蔬采摘末端执行器;全驱动;两关节;输入驱动力;SolidWorks软件

中图分类号:TP241 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2018)02-0069-04

Design of Two Joint Full Drive Adjustable Fruit and Vegetable Picking End-Effectors

XIA Fan, SHEN Jinghu, ZHANG Min

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, Shandong, China)

Abstract: In order to accelerate the fruits and vegetables picking by intelligent robot instead of humans, and to improve the quality and efficiency of the operation, a flexible and humanoid hand end effector for picking fruits and vegetables was proposed. The end effector is driven by the mode of two - joint full drive, and through the 2 joints (proximal finger joint 1 and distal finger joint 2) cooperation with each other to hold the fruit like human hand. A static model of envelope grasping mechanism of two joint full drive finger was established to obtain the relation between the input torque and the contact force in the linkage mechanism of the proximal finger joint and the control of the force applied to the fruit and vegetable to reduce the damage of fruits and vegetables. Finally, the simulation experiments of the whole mechanism based on SolidWorks was carried out to verify the rationality of the mechanism. The end effector of the fruit and vegetable picking machine has high versatility and can compensate the robot image recognition error.

Keywords: picking robot; fruit and vegetable picking end-effectors; full drive; two joint; input driving force; SolidWorks

随着科技进步,参与农业的机械智能化程度不断提高,果蔬采摘使用机器人替代人工劳动已经成为现代农业发展的重要趋势。果蔬采摘作业在水果产业链中最为费时费力,这也使得研究果蔬采摘机器人成为现代农业生产的重大需求。

果蔬采摘机器人的末端执行器作为最后执行采摘动作的重要部件,如人手一般,需要同时具备感知能力和执行动作能力。若用机械替代既灵活又灵敏的人手,需要高度集成具有多种感知功能的智能化机电系

统^[1]。系统涉及机构学、仿生学、自动控制、传感器技术、计算机技术、人工智能、通信技术、微电子学及材料学等多个领域及交叉学科。

Hayashi等^[2]设计了一套机器人茄子采摘系统,可以完成识别、到达并抓取的任务;Arima^[3]设计了一套黄瓜采摘机器人系统,在斜面栽培植物的基础上,通过剪断花梗达到采摘目的;Kondo等^[4]设计了番茄采摘机器人的末端执行器,采用两指夹持方式且手指装有吸盘,极大程度提高了抓取成功率;Monta等^[5]设计了

收稿日期:2017-09-18;修回日期:2018-01-12

第一作者简介:夏凡(1992),男,山东青岛人,硕士,主要研究方向为机械CAD/CAE/CAM。通信作者:沈精虎(1963),男,北京人,硕士,教授,主要研究方向为机械CAD/CAE/CAM。E-mail:15493899@qq.com

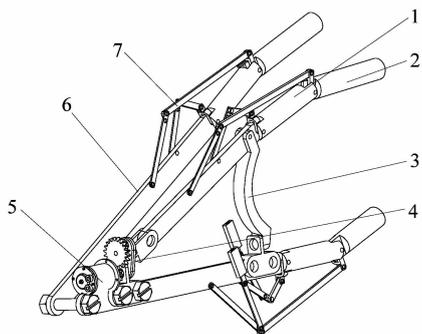
用缆绳驱动的四手指番茄采摘末端执行器;Edan 等^[6]设计了甜瓜收获系统,通过安装在移动平台上的机械手实现采摘;Liu^[7]设计了一种具有多种感知能力且适用于球状果实的末端执行器。

课题组提出了一种两关节全驱动果蔬采摘末端执行器,分别用气缸驱动手指的每个关节,提高了对果实作用力的控制效果;运动方式类似人手,使抓取更灵活。

1 末端执行器机构组成

1.1 整体机构组成

课题组提出的两关节全驱动可调节果蔬采摘末端执行器,骨架机构如图 1 所示。手指结构如图 2 所示。机构仿人类手指关节,通过近指关节 1 和远指关节 2 实现类似握取果实的动作。食指可在步进电机 5 的驱动下绕转向机构 4 转动,实现角度可调节。食指和拇指通过手掌 3 连接。中指拇指机架 6 固定。各个手指通过四连杆机构 7 将运动传递到手指关节。手指和手掌等直接与果实发生接触部分外围填充类似人类皮肤的聚合材料。



1—近指关节;2—远指关节;3—手掌;4—转向机构;5—步进电机;6—机架;7—四连杆机构。

图 1 末端执行器骨架结构组成

Figure 1 Framework structure of end effector

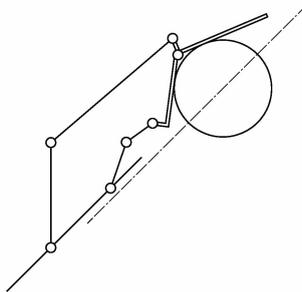


图 2 末端执行器手指结构简图

Figure 2 Finger structure of end effector

1.2 手指结构设计

手指对物体的形状适应能力和关节数成正比,采用 3 个自由度的欠驱动手指的自适应能力会比 2 个关节或单关节的更好一些^[8-10]。作为衡量抓取稳定重要指标的抓取构形数是和关节数成指数变化的关系。抓取构形越多越容易出现接触点脱离,越不容易稳定。本机械手爪的设计目的是作为最终执行装置抓取果实,因此抓取稳定性就显得更加重要。综合考虑利弊,课题组采用两关节手指来追求更好的抓取稳定性,且因为关节数少,驱动数量也随之减少,所以使用全驱动方式,更灵活地控制作用于果实上的抓取力,从而减少果实损伤。

手指结构仿照人的 3 个手指(食指、中指及大拇指)的运动方式,将中指和大拇指设计为 2 个自由度,而食指则有 3 个自由度。如图 3 所示,系统由步进电机 5 驱动,可调节与中指的距离。

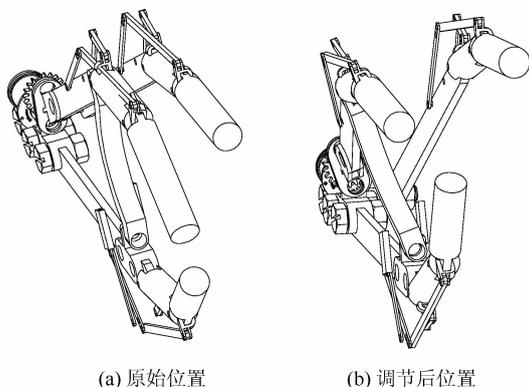


图 3 食指原始位置示意图及食指调节后位置示意图

Figure 3 Original and adjusted position of the index finger

2 手指关节静力学分析

图 4 所示为两关节欠驱动手指的包络抓取机构静力学模型。如图所示,通过连杆的作用将驱动力传递到手指关节,实现关节的转动。利用虚位移原理对机构模型做静力学分析得到输入驱动力和作用于果蔬上的力之间的关系。

以远指关节连杆机构为例,根据虚功原理得

$$T\omega_1 = Fv \quad (1)$$

式中: T 为输入驱动力矩矢量; ω_1 为在驱动力作用下杆 1 的虚拟角速度; F 为接触力矢量; v 为手指关节在接触点处垂直于手指方向的虚拟速度分量。

根据刚体平面运动速度知识有

$$v = \omega_2 d \quad (2)$$

式中: ω_2 为杆的虚拟角速度; d 为接触点 O_1 到手指末端的距离。

用速度瞬心法可求得 ω_1 和 ω_2 之间关系。机构具有的速度瞬心数量为

$$N = \frac{k(k-1)}{2} = 6 \quad (3)$$

式中 k 为机构中构件数量。

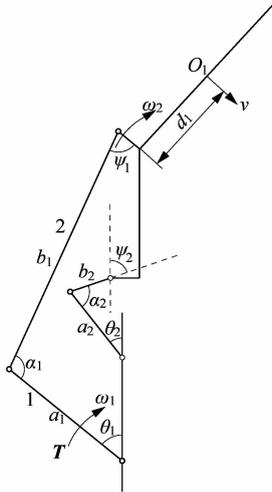


图4 手指包络抓取机构静力学模型

Figure 4 Statics model of finger enveloping grasping mechanism

如图5所示瞬心 $P_{12}, P_{23}, P_{34}, P_{14}$ 分别在 A, B, C, D 的中心,而瞬心 P_{13}, P_{24} 可由三心定理求出:

$$v_{P_{13}} = \omega_1 l_{P_{13}P_{14}} = \omega_2 l_{P_{34}P_{13}} \quad (4)$$

即
$$\omega_1 = \frac{\omega_2 l_{P_{34}P_{13}}}{l_{P_{13}P_{14}}} \quad (5)$$

式中: $v_{P_{13}}$ 为点 P_{13} 处的瞬时速度; $l_{P_{13}P_{14}}, l_{P_{34}P_{13}}$ 分别为点 P_{13}, P_{14} 与点 P_{34}, P_{13} 之间的距离。

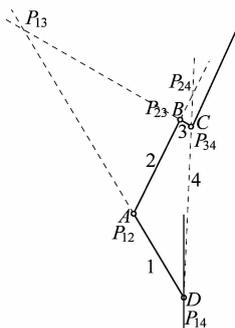


图5 根据三心定理求解速度瞬心示意图

Figure 5 Sketch map of solving instantaneous center of velocity diagram based on three center theorem

得到输入转矩 T 与接触力 F 之间的关系式:

$$F = T \frac{l_{P_{34}P_{13}}}{l_{P_{13}P_{14}} d} \quad (6)$$

同理可求得近指关节连杆机构中输入转矩和接触力之间的关系。

由公式(6)可知,每个关节对果实的作用力都可以根据控制输入力矩进行调控。安装在手指关节上的传感器,将力的电压信号反馈到输入系统,改变电机输入转矩,将作用于果实上的作用力控制在合理的范围内,可最大程度减少果实损伤。

3 机构仿真模拟

图6所示为机构仿真抓取效果图。对机构在运动过程进行模拟仿真,可以发现抓取的过程会有2种不同的状态。状态I如图7(a)所示,仅靠近指关节就可以抓牢果实,此时近指关节的抓紧力起关键作用,远指关节辅助抓紧果实;状态II如图7(b)所示,需近指关节远指关节互相配合抓紧果实。

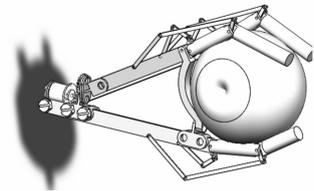


图6 机构仿真抓取效果图

Figure 6 Effect drawing of simulation of grabbing

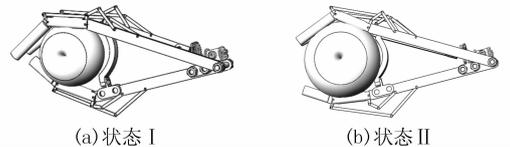


图7 状态示意图

Figure 7 Schematic diagram

事实上,在机构的近指关节刚开始与果实接触时,由于果实的位置不是固定的,果实的位置会因为受到近指关节的夹持力而发生改变。若果实的外径较小,近指关节手指与果实的接触点在果实的外侧半球,那么果实会直接被近指关节夹住,手爪可直接将果实抓紧,并可通过安装在关节处的扭簧和扭矩传感器及反馈系统来控制抓取力的大小。若果实的外径较大,即接触点落在果实的内侧半球,而且在果实与手指间的摩擦力很小的情况下,果实很容易滑出手爪抓持的范围。为了防止果实因继续驱动手指旋转而被挤出抓取范围,在增大手指与果实之间的摩擦的同时,通过安装在关节处的扭簧与扭矩传感器,将拇指和其他任

意一指同时接触到果实的信息通过电信号反馈到微处理器,微处理器发出指令使电机停止驱动,近指关节的旋转动作停止,同时驱动远指关节旋转,进行下一步抓取动作。

用 SolidWorks 中的 Motion 分析模块对中指近指关节进行仿真模拟,可以验证上述过程。添加扭矩马达使主动杆恒角加速度转动,得到图 8 所示的机械手爪抓取的过程。由中指近指关节角速度图解可以看出,从第 36 帧左右中指手指与果实发生接触,扭簧发生变形,角速度出现波动,因果实的位置发生移动,且对手指作用力远小于电机的驱动力因此可忽略不计,手指仍随连杆继续旋转,直至 56 帧左右拇指近指关节也接触到果实,驱动电机收到停止驱动指令,中指近指关节随即停止转动,角速度变为 0,此时继续驱动远指关节旋转,将果实包裹抓紧。

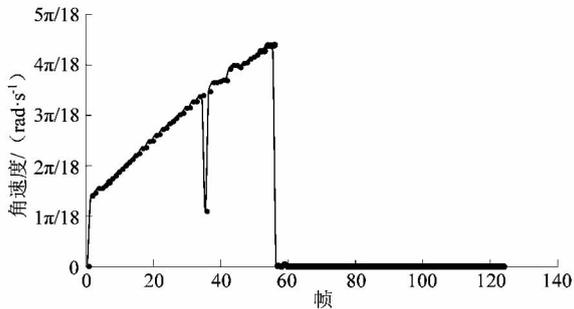


图 8 中指近指关节角速度变化曲线图

Figure 8 Curve of angular velocity of proximal joint of interphalangeal

状态 I 与状态 II 之间的转换是通过反馈控制系统实现的。当中指和拇指扭矩传感器都检测到力的电压信号时,两近指关节都已经和果实发生了接触。传感器将电压信号传给微处理器,微处理器发出时序信号,系统检测此时电机发出的脉冲个数,已知丝杆的脉冲当量,可以计算出此时螺杆移动的距离。若此距离超出设定的范围,系统判断果实外径较小,采用状态 I 模式实行抓取动作,反之,则实行状态 II 模式抓取果实。这样一来,末端执行机构不仅能够实现稳定抓取,而且能够很好地克服果蔬采摘机器人图像识别的误差。

4 结论

1) 课题组提出了一种果蔬采摘末端执行器,采用全驱动方式,相比与欠驱动机械手,其控制更加灵活,更容易掌控对果实的抓取力从而减少对果实损伤。

2) 用两关节手指抓取果实,在减少驱动数量的同时,能够较好地完成抓取动作。仿人类手指的运动方式,将食指的位置变得更灵活,从而实现更稳定的抓取。

3) 通过静力学计算及计算机仿真得到的结果验证了机构的合理性。

4) 机构本身的尺寸参数参考了人类手部的尺寸,而机构本身参数,有待进一步优化设计,使得抓取效果更佳。

参考文献:

- [1] 骆敏舟,杨秀清,梅涛. 机器人手爪的研究现状与进展[J]. 机器人技术与应用,2008(2):24.
- [2] HAYASHI S,GANNO K,ISHII Y, et al. Robotic harvesting system for eggplants[J]. Japan agricultural research quarterly, 2002, 36(3): 163-168.
- [3] ARIMA S,KONDO N,FUJIURA T, et al. Basic studies on cucumber harvesting robot[J]. Japan society of agricultural machinery, 1995, 1: 195-202.
- [4] KONDO N, TING K C. Robotics for bioproduction system[J]. Environment control in biology, 1998, 36(4): 261.
- [5] MONTA M, KONDO N, TING K C. Robotic end-effectors for tomato harvesting robot[J]. Artificial intelligence review, 1998, 12(1/2/3): 141-146.
- [6] EDAN Y, ROGOZIN D, FLASH T, et al. Robotic melon harvesting[J]. IEEE transactions on robotics and automation, 2000, 16(6): 831-835.
- [7] LIU Jizhan, LI Pingping, LI Zhiguo. A multi-sensory end-effector for spherical fruit harvesting robot[C]//IEEE International Conference on Automation and Logistics, Jinan; IEEE, 2007: 258-262.
- [8] 李涛. 基于欠驱动机构的仿人机器人手爪研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2009: 16.
- [9] 樊俊, 荀一, 鲍官军, 等. 杭白菊采摘机器人关键技术研究[J]. 机电工程, 2016, 33(7): 909-914.
- [10] 杨彬, 黄鹏程, 杨庆华, 等. 基于肌电控制的灵巧手及其控制系统设计[J]. 机电工程, 2016, 33(4): 388-394.