

猕猴桃采摘机械手末端执行机构的设计

Design of the terminal actuator of kiwi fruit picking manipulator

王宜磊 陈霖 易柳舟 魏鑫 唐建

WANG Yi-lei CHEN Lin YI Liu-zhou WEI Xin TANG Jian

(四川农业大学机电学院, 四川 雅安 625000)

(Sichuan Agricultural University Electromechanical College, Ya'an, Sichuan 625000, China)

摘要:设计一种针对早期猕猴桃果实较硬时采摘的末端执行机构,分析猕猴桃采摘机械手末端执行机构在运动、抓取、采摘等方面的性能和技术指标。猕猴桃在采摘时被纸袋包裹,在保证夹取果实而不被压坏的最小压力下减少果实的磨损,该机械采摘末端执行机构采用旋转加拉扯共同作用,可实现猕猴桃采摘的彻底性。

关键词:猕猴桃;机械手;末端执行机构;设计

Abstract: Designed a terminal actuator for picking the fruit of early kiwifruit, and analyzed the performance and technical indexes of the terminal actuator of kiwifruit picking manipulator in motion, grasping and picking. The mechanical picking terminal actuator using rotary plus pull together, can realize the thoroughness of kiwifruit picking. For the packaging a bag the outside of the kiwi fruit in picking, the fruit wear is reduced in the process of picking under the minimum pressure to ensure that the fruit is not crushed.

Keywords: kiwi fruit; manipulator; terminal actuator; design

随着科技的发展,机械采摘方面也在不断发展,水果采摘机械手也在广泛使用中,不同果蔬的生长特点和采摘要求不同,采摘的方式也不同,在末端执行机构上也存在差异^[1-3]。现阶段猕猴桃多采用棚架式结构栽培,生长环境标准,果实垂直于藤蔓上面,底部空间较大,不受枝干、树叶、果实等干扰,有利于采摘动作的实施^[4-5]。采摘末端执行器从果实两侧抓取,左右翻转实现果柄分离,但是并没有利用好下方空间,也没有考虑对相邻果实的影响;刘继展等^[6]对番茄果柄折断特性进行了研究,为果实采摘提供了依据;凌行方^[7]研究的“一种果品采摘机械手”采用钳刀剪切进行果实摘取,但存在实际操作困难,刀片容易损伤果实表皮的问题。

从目前对猕猴桃采摘机器人的研究来看,果柄分离装置主要有2种:①采用切断方式,即利用切刀将猕猴桃果柄直接切断,这种方式需要对切断点进行精准的定位,同时机械手腕还需要有足够灵活的自由度进行调节,该方法能够提高采摘的效率,但采摘风险大,控制不精准;②利用机械手的连杆机构控制机械手旋转,通过扭力实现果柄分离,避免了剪切时错位对果实的影响,机械式结构控制简单。

为了实现猕猴桃在采摘过程中减小果实损伤,以及提高抓取的稳定性,本研究设计的猕猴桃采摘机械手末端执行机构是一种能够适应猕猴桃生长环境、枝条结构进行抓取和采摘的末端执行机构。机械采摘末端执行机构充分利用棚架底部的富余空间,采用钳式组合、四指抓取,在机械手指表面贴附有压力传感器,从下方接近果实,四指包络抓取果实中部。通过末端执行机构旋转,使猕猴桃果实与果柄快速分离。

1 猕猴桃采摘机械手末端执行机构的设计方案

1.1 设计要求

本装置针对猕猴桃进行采摘,普通果实的大小一般为长6 cm,宽3 cm^[8],在采摘过程中,针对果实规格的差异,要保证有足够大的力夹紧果实以及在抓取过程中不至于从旁边漏出,要求机械手指同步运动,采用四指抓取;在果柄分离时需要保证抓取的力不能太小,保证在旋转过程中果实不随手指相对滑动,同时夹取力不能过大而损伤果实,采用上下抓取方式,结果表明果实近似球形,球度为0.84,果实损伤压力不宜大于15 N(对应弧形压头的压强为18.75 kPa),果实采摘过程中最大压力6.35 N,对应压强为12.53 kPa,才能保证猕猴桃果实的无损采摘^[9-10]。另外,采摘机械手末端执行机构还需满足结构简单、体积小、操作方便等要求^[11-12]。

1.2 末端执行机构总体结构设计

设计的猕猴桃采摘机械手末端执行机构由夹持装置、自由伸缩装置、旋转装置、传感器及控制装置和驱动电机等组成,见图1。

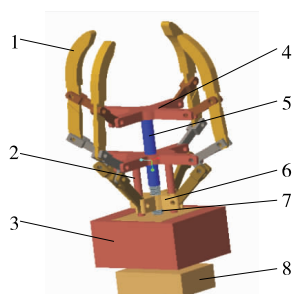
基金项目:四川农业大学创新训练计划项目资助(编号:201710626104)

作者简介:王宜磊,男,四川农业大学在读本科生。

通信作者:陈霖(1969—),女,四川农业大学教授,硕士。

E-mail:461769837@qq.com

收稿日期:2017-10-12



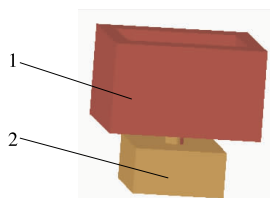
1. 采摘手指 2. 固定杆 3. 电机壳 4. 支撑架 5. 丝杠 6. 连接件 7. 丝杠电机 8. 旋转用电动机

图1 猕猴桃采摘机械手末端执行机构

Figure 1 Kiwi fruit Picking manipulator Terminal actuator

猕猴桃机械采摘末端执行机构的夹持装置设计需要有效地夹住猕猴桃的外围,并尽量保证受力均匀且不至于滑落。夹取装置的运动主要通过丝杠电机提供动力,其前端的工作手指分别安装在由2根杆件铰接与固定的四角装置上,电机的转动实现耳片的上下运动,实现手指的张开与收紧。四角装置的直径为60 mm,抓取手指带有一定的弧度,能更好地与猕猴桃外表面贴合,同时手指的内侧贴有压力传感器,当压力达到预设值时电机停止工作,以防止抓取压力过大压伤果实。

针对以上2种猕猴桃采摘果柄分离方式存在的弊端,在原有的通过机械手旋转,利用扭力实现果柄分离的基础上进行改进,研制出了如图2所示的果柄分离装置。



1. 电机壳 2. 采摘手部分旋转用电机

图2 猕猴桃果柄分离装置

Figure 2 The separating device of kiwi fruit handle

果柄分离装置是将驱动手指的电机嵌入一壳体中,与此构成一个整体,再通过伺服电机带动壳体旋转,从而带动夹持装置整体旋转,实现猕猴桃果实与果柄相对转动,使果柄分离。其次,末端执行机构变的较细长,整体结构的最大宽度为9.75 cm,更好地适应了猕猴桃果实生长密集特性下的采摘。

1.3 猕猴桃采摘机械手末端执行机构工作原理

猕猴桃采摘机械手末端执行机构采摘流程见图3。工作时,通过采摘手末端的图像识别技术确定猕猴桃果实所在位置,丝杠电机7通过旋转使连接件6做上下运动,从而驱动采摘手指1的张开,接触猕猴桃果实后丝杠电机开始反向旋转,手指开始夹紧果实。为了实现猕猴桃果实采摘过程中减少磨损,在4个手指的内表面贴附贴片式压力传感器,控制夹持装置夹取猕猴桃时的压力,避免猕猴桃在采摘过程中对其外表及内部结构造成刮伤和夹伤,当夹取压力达到设定的压力值时电机停止运转,不再继续夹紧果实。此时旋转电机8开始运转,电机7安装在电机壳3中,旋转电机带动整个夹

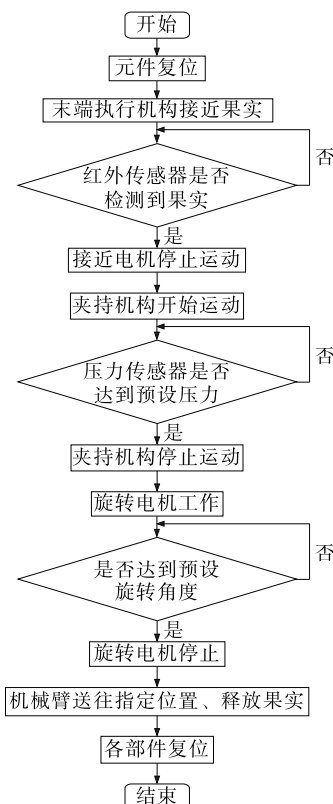


图3 猕猴桃采摘机械手末端执行机构工作流程图

Figure 3 The work flow chart of the end actuator of kiwi fruit picking manipulator

持装置做旋转运动,电机8旋转一定角度后果柄已基本分离,再由机械臂向下拉扯,从而实现采摘的彻底性。

2 猕猴桃采摘机械手末端执行机构的运动分析

2.1 末端执行机构运动的理论分析

猕猴桃采摘机械手末端执行机构四指的运动依靠丝杠电机转动带动连接件6上下运动,从而实现四指的运动,机械手指中的各杆件绕着各铰接点做不完整圆周运动。末端执行机构手指内表面贴附压力传感器,保证抓取时有足够的抓取力,在抓取和扭转时不至于产生滑动摩擦,而且压力小于果实破坏时最小压力,若没有这个条件将很难保证猕猴桃果实采摘时的精度。

2.2 建立动力学方程

为了确保抓取采摘的准确性必须建立动力学方程。

(1) 杆件4驱动力的计算:

$$F_4 = F \sin \alpha_3 \cos \alpha_2, \quad (1)$$

式中:

F_4 ——杆件4驱动力,N;

F ——丝杠电机提供的驱动力,N;

α_3 ——杆件5与水平方向的夹角,(°);

α_2 ——杆件5与杆件4垂直方向的夹角,(°)。

(2) 杆件3驱动力的计算:

$$F_3 = m_3 \frac{v_3^2}{l_3}, \quad (2)$$

式中:

F_3 ——杆件 3 驱动力,N;

l_3 ——杆件 3 的长度,m;

m_3 ——杆件 3 的质量,kg;

v_3 ——杆件 3 的切向速度,m/s。

(3) 杆件 2 驱动力的计算:

$$F_2 = F_3 \cos \alpha_1, \tag{3}$$

式中:

F_2 ——杆件 2 驱动力,N;

α_1 ——杆件 3 与水平方向的夹角,(°);

F_3 ——杆件 3 驱动力,N。

(4) 杆件 1 驱动力的计算:

$$F_1 = F_2 \cos \alpha_4, \tag{4}$$

式中:

F_1 ——杆件 1 驱动力,N;

α_4 ——杆件 2 与杆件 1 垂直方向的夹角,(°);

F_2 ——杆件 2 驱动力,N。

(5) 机械手指指尖驱动力的计算:

$$F_0 = m_0 \frac{v_0^2}{l_0}, \tag{5}$$

式中:

F_0 ——机械手指指尖驱动力,N;

v_0 ——机械手指的指尖速度,m/s;

m_0 ——机械手指部分的质量,kg;

l_0 ——机械手指指尖到旋转轨迹中心的距离,m。

利用 Auto CAD 绘制出猕猴桃采摘机械手末端执行机构简化图,见图 4。

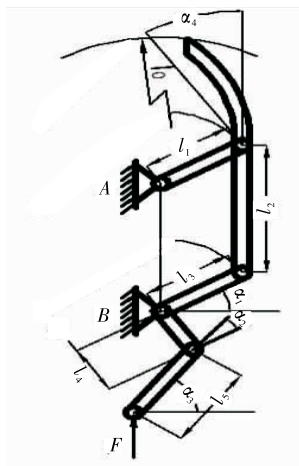


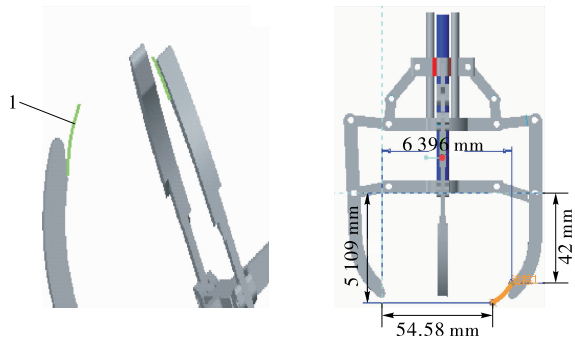
图 4 猕猴桃采摘机械手末端执行机构简化图

Figure 4 Simplified diagram of the terminal actuator of kiwi fruit picking manipulator

2.3 运动轨迹的分析

利用 Creo 3.0 绘制出采摘机械手末端执行机构,并利用 Creo 3.0 对所绘制的三维图形进行运动轨迹的分析,得到手指指尖的运动轨迹,见图 5。

由指尖的运动轨迹计算可得末端执行机构抓取手指的可抓取范围为 45.2~73.3 mm,满足猕猴桃果实规格大小的范围。



1. 指尖运动轨迹

图 5 指尖的运动轨迹

Figure 5 The trajectory of the fingertips

初定手指的运动速度为 10 mm/s,得到位移和速度的图像,见图 6。

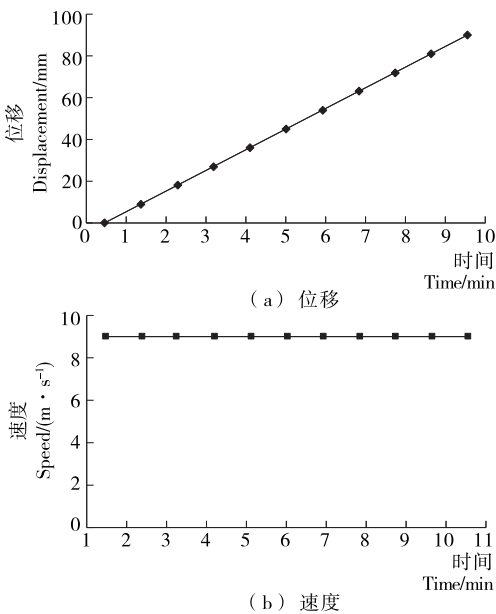


图 6 指尖位移和速度

Figure 6 Fingertip displacement and speed

3 猕猴桃采摘机械手末端执行机构末端执行机械的受力分析

普通猕猴桃的单果质量在 80~100 g,手指的加载力为 7 N,对果实进行抓取受力模拟仿真分析,结果见图 7。

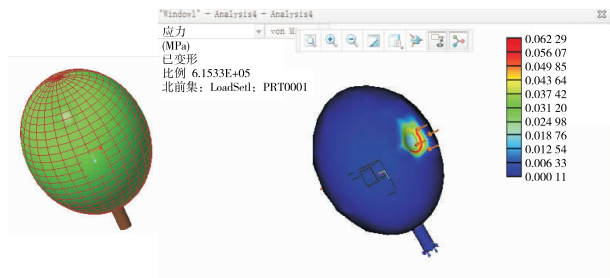


图 7 猕猴桃受力仿真分析

Figure 7 Simulation analysis on the force of kiwi fruit

(下转第 148 页)

- 菌多糖的研究[J]. 食品工程, 2016(2): 35-38, 41.
- [11] 周继平, 许泓瑜. 鸡枞菌粉不同组分的体外抗氧化活性研究[J]. 中国野生植物资源, 2008, 27(5): 46-49.
- [12] 张恒, 郑俏然, 李敏. 响应面法优化超声波辅助提取鸡枞菌多糖及其抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵科技, 2017, 53(2): 13-18, 121.
- [13] MAU Jeng-leun, CHANG Chieh-no, HUANG Shih-jeng, et al. Antioxidant properties of methanolic extracts from *Grifola frondosa*, *Morchella esculenta* and *Termitomyces albuminosus* mycelia[J]. Food Chemistry, 2004, 87(8): 111-118.
- [14] ZHAO Hua-jie, LI Shang-shang, ZHANG Jian-jun, et al. The antihyperlipidemic activities of enzymatic and acidic intracellular polysaccharides by *Termitomyces albuminosus* [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 151(10): 1 227-1 234.
- [15] 梁月琴, 罗放灵, 王崇静, 等. 鸡枞菌对小鼠免疫功能的调节作用[J]. 云南医药, 2015(6): 584-586.
- [16] 张灵芝. 鸡枞菌子实体多糖分离纯化与结构分析及抗肿瘤活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012: 50.
- [17] QI Jian-hua, OJIKI Makoto, SAKAGAMI Youji. Termitomycesphins A—D, novel neuritogenic cerebroside from the edible chinese mushroom *Termitomyces albuminosus* [J]. Tetrahedron, 2000, 56(32): 5 835-5 841.
- [18] QI Jian-hua, OJIKI Makoto, SAKAGAMI Youji. Neuritogenic cerebroside from an edible chinese mushroom Part 2: structures of two additional termitomycesphins and activity enhancement of an inactive cerebroside by hydroxylation [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2001, 9(8): 2 171-2 177.
- [19] HU Yuan-yuan, WANG Tong, YANG Xing-bin, et al. Analysis of compositional monosaccharides in fungus polysaccharides by capillary zone electrophoresis [J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 102(1): 481-488.
- [20] KANG Ju-hee, JANG Jeong-eun, MISHRA S K, et al. Ergosterol peroxide from Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) exhibits anti-cancer activity by down-regulation of the β -catenin pathway in colorectal cancer [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2015, 173: 303-312.
- [21] 高虹, 史德芳. 巴西菇麦角甾醇抗肿瘤活性及作用机理初探[J]. 中国食用菌, 2011, 30(6): 35-39.
- [22] ZHANG Ye-ni, SONG Min, TZI Bun Ng, et al. Purification and characterization of antioxidant components from the fruiting bodies of *Pleurotus abalonus* including 9-beta-d-ribofuranosidoadenine, 5'-deoxy-5'-(methylthio) adenosine, and a triterpenoid [J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2013, 36(2): 689-696.
- [23] 涂宗财, 傅志丰, 王辉, 等. 红薯叶不同溶剂提取物抗氧化性及活性成分鉴定[J]. 食品科学, 2015, 36(17): 1-6.
- [24] MUSTAFA Özyürek, MUSTAFA Bener, KUBILAY Güclü, et al. Antioxidant/antiradical properties of microwave-assisted extracts of three wild edible mushrooms [J]. Food Chemistry, 2014, 157(15): 323-331.
- [25] 于士军, 柴新义, 樊美珍. 蝉花菌质主要营养成分和活性成分分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 155-158.
- [26] 卢彩会, 郭晓萌, 牟德华. 黑皮鸡枞菌水提物和醇提物的主要成分及抗氧化性研究[J]. 食品工程, 2016(3): 35-40, 57.
- [27] 高赏. 药食用真菌代谢产物的活性研究[D]. 贵阳: 贵州医科大学, 2016: 21-22.
- [28] FEDIA Souilem, ÂNGELA Fernandes, RICARDO C, et al. Wild mushrooms and their mycelia as sources of bioactive compounds: Antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic properties [J]. Food Chemistry, 2017, 230: 40-48.
- [29] 肖星凝, 袁娅, 廖霞, 等. 食用菌抗氧化活性成分及其抗氧化作用机制研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 207-211.

(上接第 91 页)

猕猴桃果实表面所受到的最大压力小于不受损时的压力 12.53 kPa, 四指抓取满足无损采摘的要求。

4 结论

本研究设计的一种针对猕猴桃采摘的末端执行机构采用四指抓取减少了夹取过程中果实侧漏、滑落的情况, 通过在机械手指的内表面贴附压力传感器, 减少了果实在采摘过程中的磨损。对机械结构的简化, 降低了控制模块的复杂性, 使制作成本也大幅度降低。采用旋转加拉扯共同作用, 旋转使得果柄与果实的连接处出现扭转变形而松动, 加之向下拉扯力的作用使果柄与果实分离, 从而有效地实现了猕猴桃采摘的彻底性, 也为其他水果的机械采摘提供了参考依据。本设计仍存在一些不足之处, 由于猕猴桃为藤蔓植物, 在设计时没有考虑到果实在采摘时的柔性变形, 如果从农艺方面入手, 改变枝条在棚架上的状态, 可以很好地解决这个问题。

参考文献

- [1] 张俊雄, 何芬. 设施农业采摘机器人研究进展[J]. 当代农机, 2016(1): 22-24.
- [2] 高号, 王虎, 陈军. 猕猴桃采摘机器人的研究与设计[J]. 农机化研究, 2013(2): 73-76.
- [3] 胡志勇, 张学炜, 张伟, 等. 西瓜采摘末端执行器夹持力精确控制[J]. 农业工程学报, 2014, 30(17): 43-49.
- [4] 张云贤. 猕猴桃 T 形小棚架栽培技术[J]. 农技服务, 2016, 33(2): 205, 216.
- [5] 陈军, 王虎, 蒋浩然, 等. 猕猴桃采摘机器人末端执行器设计[J]. 农业机械学报, 2012, 43(10): 151-154, 199.
- [6] 刘继展, 李萍萍, 李智. 番茄采摘机器人末端执行器的硬件设计[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 109-112.
- [7] 凌行方. 一种果品采摘机械手: 中国, 201220531540.9[P]. 2013-04-10.
- [8] 傅隆生, 张发年, 槐岛芳德, 等. 猕猴桃采摘机器人末端执行器设计与实验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 1-8.
- [9] 崔永杰, 苏帅, 王霞霞, 等. 基于机器视觉的自然环境中猕猴桃识别与特征提取[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5): 247-252.
- [10] 李桢, 王滨, 陈子啸, 等. 基于 MatLab 的猕猴桃采摘机械臂运动学仿真研究[J]. 农机化研究, 2015(12): 227-231.
- [11] 苏丹, 龙雄辉. 蔬菜采摘机器人通用夹持机构设计: 基于 UG 和 ADMAS 联合仿真[J]. 农机化研究, 2017(3): 155-159.
- [12] 李建伟, 陈艳艳. 苹果采摘机器人末端执行器的原理及试验研究[J]. 农机化研究, 2017(9): 139-142.