

水果采摘机器人通用夹持机构设计*

叶敏 邹湘军 蔡沛锋 邹海鑫

(华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642)

【摘要】 为提高采摘机器人的实用性和利用率,提出了一种通用型夹持机构,并构建了虚拟样机。为使机械夹持不损伤水果,研究了水果受力对夹持构型的影响,以柑橘为例进行变形、应力分析,为机构提出设计依据,进而对结构进行优化,确定了机构外壳及杆件的合理参数和对果实损伤最小的夹持量,单类型水果夹持量为直径方向小于2 mm。

关键词: 水果采摘机器人 夹持机构 虚拟样机 仿真

中图分类号: TP242.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)S0-0177-04

Clamping Mechanism of Fruits Harvesting Robot

Ye Min Zou Xiangjun Cai Peifeng Zou Haixin

(Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract

In order to promote the practicality and utilization of harvesting robot, a general clamping mechanism was designed. With the virtual prototype built in ADAMS and ANSYS, the clamping mechanism of the harvesting robot for avoiding fruit injury was discussed. Through the deformation stress analysis of citrus, the impact analysis of picked stress was examined and the structure was optimized. Therefore, the parameters of the structure and the minimum amount of clamping (below 2 mm in diameter direction) were validated.

Key words Fruits harvesting robot, Clamping mechanism, Virtual prototype, Simulation

引言

末端执行器是水果采摘机器人的重要组成部分,设置于机械手前端。在进行采摘作业时,执行器常直接与采摘目标接触,由于水果采摘环境和采摘对象的复杂性,末端执行器的设计通常被认为是农业机器人的核心技术之一^[1]。

目前研制出的水果采摘机器人一般只能针对一种果实进行采摘,如果每一个品种都须采用专门的采摘器械,不仅使用率低、耗费大、成本高,而且不利于商品化的发展^[2]。夹持机构按夹持形式可分为串类水果采摘(一次采摘一串,如

荔枝和龙眼)和单类球状水果采摘(一次采一个,如苹果和柑橘)。同类型的水果夹持机构的结构可以是相似的,设计相对容易。但是,既能夹持串类又能夹持球状水果的轻量化通用夹持机构是较难设计的。

对于通用水果采摘机器人的研究,国内外取得的成果仍比较少。Pettersson 等^[3]提出一种利用磁流变液成型的新型夹持器,通过激活在夹持器上的电磁体使接触果实侧的磁流变液屈服应力增加,形成适应果实的轮廓从而起到夹持功能,对果实的损伤小且不用更换夹持器械即能适应多种水果的采摘,它属于既能夹串类又能夹球状的通用夹持器。

收稿日期: 2011-08-15 修回日期: 2011-08-24
* 国家自然科学基金资助项目(31171457)、高等学校博士点专项科研基金资助项目(200805640009)和广东省自然科学基金资助项目(9251064201000009、9151064201000030)
作者简介: 叶敏,硕士生,主要从事采摘机器人、智能设计与制造、仿真研究,E-mail: yemin_scau@163.com
通讯作者: 邹湘军,教授,博士生导师,主要从事采摘机器人、智能设计与制造、仿真研究,E-mail: xjzou1@163.com

居洪玲等^[4]设计了一种可采摘两种水果且具有一定自适应能力的收获机器人末端执行器。该末端执行器采用三指对中定心外夹持采摘方式,预设采摘对象为苹果和梨,具有体积小、成本低廉等特点,这属于同一类的球状果的夹持。华南农业大学提出了一种多果型、多功能果蔬采摘轻量化末端执行器及其机器人,从轻量化和少机构角度优化了末端执行器的夹持等机构^[5]。

本文对夹持机构和夹持对象进行仿真和有限元分析。

1 末端执行器机构设计

末端执行器主要由夹持器、刀片、电动机和执行器外壳等组成。夹持器一端位于执行器外壳内部,设有实现夹持器夹紧或张开用的驱动器,另一端伸出执行器外壳^[5]。其主体结构如图 1 所示。

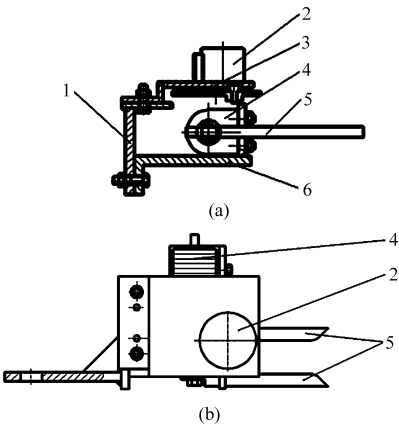


图 1 通用型水果采摘末端执行器
Fig. 1 Fruits picking end-effector
(a) 侧视图 (b) 俯视图

1. 连接板 2. 直流电动机 3. 切割刀片 4. 夹持器驱动器
5. 夹持柄 6. 连接板 2

夹持机构主要利用夹持柄或夹持块对果梗和果实进行夹紧和释放,且在与果实接触的结构内侧覆有弹性胶层,以保证在夹紧过程中抓取力分布均匀及增大与果实间的摩擦力,使夹持可靠,对果实的损伤小。

根据采摘要求或果实外形的不同,本文采用组合式的结构方案,通过更换夹持器的类型,实现采摘多类水果的功能。

2 夹持机构工作原理

机器人本体上的视觉定位系统定位果实后,机械手带动末端执行器运动到目标位置附近并将夹持器定位在目标果实或其果梗处。采摘串类水果时,夹持机构使用分别固定在夹持器驱动器和末端执行

器外壳上的两个夹持柄。工作时驱动器动作,带动夹持柄平行靠近并夹紧果梗,然后通过刀片切断果梗,从而实现水果采摘;采摘球状果实时,使用相互配对的两个钳爪型的夹持机构,驱动器可使用 2 个步进电动机。两夹持块采用螺旋传动的方式,通过由转动副和移动副组成的关节动作,并通过控制步进电动机转动来调节夹块夹紧的范围,实现预期的夹持动作。

3 夹持机构力学分析

3.1 采摘串类水果

由于所设计的夹持机构是沿中心平面对称的,所以在进行力学分析时取一侧的结构为研究对象。

左侧夹持杆的受力情况如图 2 所示。由平衡条件得

$$F_1 = f_1 \tag{1}$$

$$M = f_1 x \tag{2}$$

式中 F_1 ——夹持力
 f_1 ——果梗对夹持柄的反作用力
 x ——果梗夹持点到夹持力作用点的距离
 M ——夹持柄受反作用力的弯矩

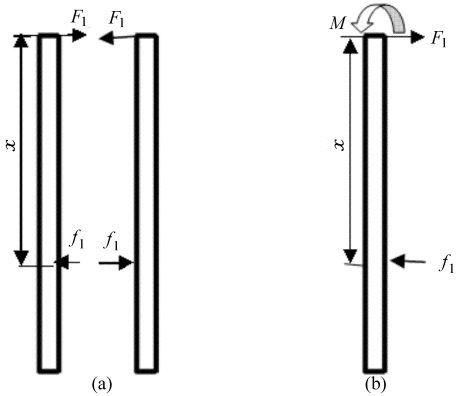


图 2 夹持柄受力图

Fig. 2 Stress analysis of clamping handle
(a) 主视图 (b) 侧视图

对于串类果实的采摘,以荔枝为对象,研究了荔枝机械损伤机理及夹持的关系。用实验与仿真对比得到荔枝破损的临界数学模型和结论,荔枝的夹持力最好低于 30 N^[6]。

3.2 采摘球状果实

以柑橘为例进行变形应力分析。因柑橘夹持机构是初步设计方案,仿真是首选方案之一。因此,假设柑橘的直径为 Φ ,夹紧块的反作用力为 F_2 ,摩擦力为 f ,摩擦因数为 μ ,柑橘重 G 。

夹块的受力情况如图 3 所示,由平衡条件得

$$F_2 = 2f_2 \cos 30^\circ \tag{3}$$

式中 f_2 ——果实对夹持块的反作用力

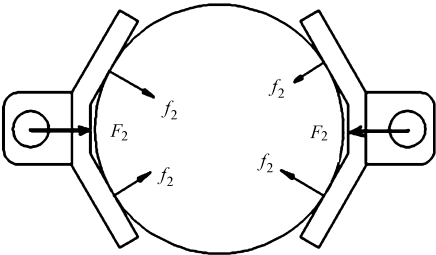


图 3 夹块受力图

Fig. 3 Stress analysis of folder block

夹块采用塑料 ABS,与柑橘相接触的那一侧可以贴上一层橡胶,橡胶与柑橘的摩擦因数 μ 取 0.5,则

$$F_2 = \frac{2G}{4\mu} \cos 30^\circ = 0.54G$$

取 $G = 1.47\text{ N}$,则 $F_2 = 0.8\text{ N}$,即当 $F_2 \geq 0.8\text{ N}$ 则能保证柑橘不会掉下。实验表明对柑橘直径方向压缩 2 mm 所需的力大于 0.8 N,因此柑橘直径方向变化 2 mm 而不会损伤其果肉,则可以采用限定这个压缩量用于采摘。

4 仿真分析

4.1 夹持机构虚拟样机构建

先建立其三维实体模型。根据末端执行器的设计结构及尺寸大小建立的机构模型如图 4 所示。虚拟样机如图 5 所示。

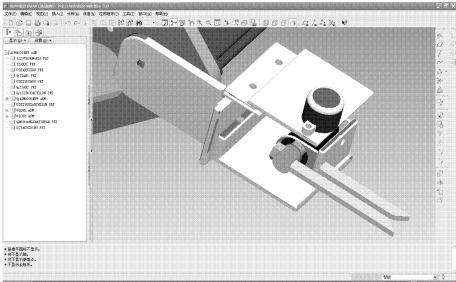


图 4 夹持机构模型

Fig. 4 Clamping mechanism model

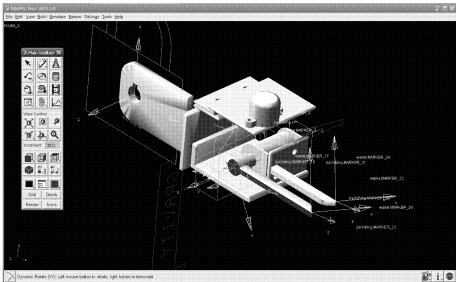


图 5 夹持机构虚拟样机

Fig. 5 Virtual prototype of clamping mechanism

4.2 夹持机构仿真分析

4.2.1 位移及速度分析

利用 ADAMS 中的前处理模块对虚拟样机中的

夹持柄处施加约束,进行运动学分析。首先在末端执行器机架和大地之间进行固定副约束,使机架和大地连结;然后在夹持柄处添加滑移副和在刀片运动位置添加旋转副,确定夹持机构和剪切机构的运动形式;最后根据夹持器驱动器的驱动力特性曲线和夹持柄复位弹簧的力学特性对夹持柄施加外部载荷,完成夹持机构的前处理设定。通过对系统进行仿真计算可知,相关机构运动无干涉、能达到设计要求。

对夹持柄进行运动仿真和运动速度、加速度的测量,得到的曲线数据如图 6 所示。

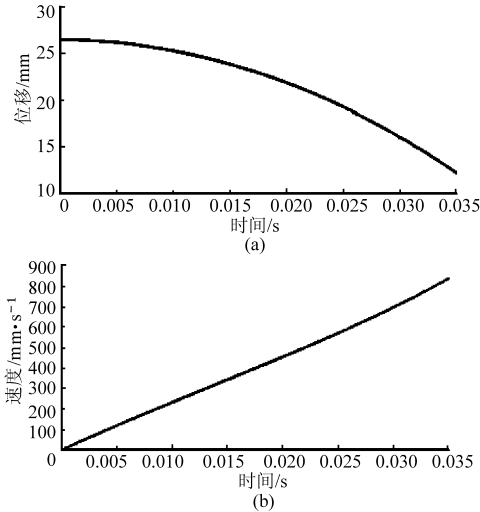


图 6 运动仿真曲线

Fig. 6 Motion simulation curves

(a) 夹持柄的位移曲线 (b) 夹持柄的运动速度曲线

从图 6a 可以看出,夹持柄的运动平稳性好,可以实现预期规划的轨迹;无剧烈振动现象,两夹持柄间距离变化均匀。图 6b 的速度曲线显示夹持柄能迅速进行夹紧动作,采摘速度快、效率高。

4.2.2 对果实夹持的静力学分析

首先画出夹块和果实的简化形状,在 ANSYS 中进行材料等属性的定义后进行自由网格划分。对采摘时两夹持块同时对果实进行夹紧的动作进行仿真,设定对果实直径方向压缩 2 mm,运用 ANSYS 软件进行有限元分析。设柑橘是一个直径为 70 mm 的球形,因目前缺少对柑橘弹性模量和泊松比的实验数据作为参考,采用工程设计中的对比法,参照工程相近弹性的材料对比来取值。取弹性模量 $E = 0.0002\text{ GPa}$ 、泊松比 $\nu = 0.3$ 、夹块与柑橘的摩擦因数 $\mu = 0.5$,通过 ANSYS 分析,得到了柑橘压缩之后的等效应力云图,以及 X、Y、Z 轴方向的应力图,如图 7 所示。

ANSYS 应力分析得出的结果说明,只要 $F \geq 0.8\text{ N}$ 就能保证果实不会掉下,在对球状果实直径方

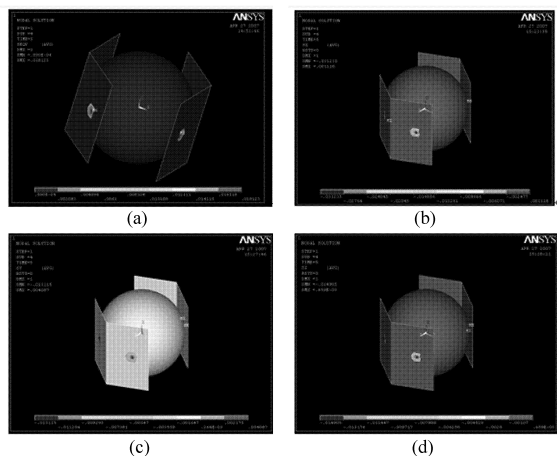


图7 ANSYS分析图

Fig.7 Analysis chart of ANSYS

(a) 等效应力云图 (b) X轴方向应力

(c) Y轴方向应力 (d) Z轴方向应力

向压缩量为2 mm的情况下对果肉产生影响是可忽略不计的,所以采摘时可以采用此压缩量。

5 结束语

设计了通用水果采摘末端执行器,应用 ADAMS 及 ANSYS 软件构建了其虚拟夹持机构并进行结构优化和仿真分析,检验了机构运动的可靠性和平稳性,分析了采摘过程中水果受力对夹持构型的影响。仿真结果表明,此样机设计合理,能够满足串类与球状等多种水果的采摘应用,并且在采摘过程对串类水果使用低于 30 N 的采摘力或单类水果使用低于 2 mm 的夹持量时能达到对果实损伤最小的收获效果,可推广使用。

参 考 文 献

- 1 Cho S I, Chang S J, Kim Y Y, et al. Development of a three-degrees-of-freedom robot for harvesting lettuce using machine vision and fuzzy logic control[J]. Biosystems Engineering, 2002, 82(2): 143 ~ 149.
- 2 邹湘军,李静,孙权,等. 采摘机械手虚拟设计与仿真系统的研究[J]. 系统仿真学报,2010,22(11): 2748 ~ 2752.
Zou Xiangjun, Li Jing, Sun Quan, et al. Research on picking manipulator virtual design and simulation system[J]. Journal of System Simulation, 2010, 22(11): 2748 ~ 2752. (in Chinese)
- 3 Pettersson A, Davis S, Gray J O, et al. Design of a magnetorheological robot gripper for handling of delicate food products with varying shapes[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 98(3): 332 ~ 338.
- 4 居洪玲,姬长英. 一种多用途采摘机器人末端执行器的设计[J]. 浙江农业学报,2010,22(3): 370 ~ 373.
Ju Hongling, Ji Changying. Design of an end-effector for a multi-use picking robot[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2010, 22(3): 370 ~ 373. (in Chinese)
- 5 邹湘军,邹海鑫,孙权,等. 多果型果蔬采摘机器人的末端执行器及机器人:中国,201010565235.7.[P]. 2011-06-15.
- 6 陈燕. 荔枝机械压力损伤机理及实验[D]. 广州:华南农业大学,2011.
Chen Yan. The damage mechanism and experiment of litchi's mechanical pressure[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2011. (in Chinese)

(上接第 183 页)

参 考 文 献

- 1 睢薇,代志国,霍俊伟. 黑豆果高效栽培技术[M]. 哈尔滨:黑龙江科技出版社,2004.
- 2 林素元,张克孝,许家美. 黑豆果生产机械化问题初探[J]. 农机化研究,1987,2(9): 8 ~ 11.
Lin Suyuan, Zhang Kexiao, Xu Jiamei. Problems of on blackcurrant production mechanization[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 1987, 2(9): 8 ~ 11. (in Chinese)
- 3 Kepner R A. 农业机械原理[M]. 崔安,张德骏,译. 北京:机械工业出版社,1978: 514 ~ 526.
- 4 Sanders K F. Orange harvesting systems review[J]. Biosystems Engineering, 2005, 90(2): 115 ~ 125.
- 5 王业成,陈海涛,王立军. 便携式浆果采收器:中国,201020044748.9[P]. 2010-11-03.
- 6 刘延柱,陈文良,陈立群. 振动力学[M]. 北京:高等教育出版社,1998.
- 7 王业成,陈海涛,林青. 黑加仑采收装置参数的优化[J]. 农业工程学报,2009,25(3): 79 ~ 83.
Wang Yecheng, Chen Haitao, Lin Qing. Optimization of parameters of blackcurrant harvesting mechanism[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(3): 79 ~ 83. (in Chinese)