

黄瓜抓持特性与末端采摘执行器研究

钱少明, 杨庆华, 王志恒, 鲍官军, 张立彬*

(浙江工业大学机械制造及自动化教育部重点实验室, 杭州 310014)

摘要: 为了设计用于黄瓜采摘的末端执行器, 首先测定了黄瓜的抗压特性、表面摩擦系数和果柄切断阻力等物理特性。针对黄瓜抓持模型进行了力学分析, 建立了气动驱动器中的气压值与抓持能力之间的关系。最后, 研制了可用于黄瓜采摘的末端执行器, 由抓持器和切割器组成, 抓持器由 2 个基于气动柔性驱动器的弯曲关节构成, 切割器由旋转气缸和刀片构成。该采摘执行器机械结构简单, 输出力较大。试验结果表明: 黄瓜抓持成功率为 90%, 黄瓜果柄割断成功率为 100%, 采摘时间为 3 s。该采摘执行器采摘黄瓜效果良好, 具有较好的实际应用前景。

关键词: 农业机械, 机器人, 研究, 黄瓜, 抓持特性, 采摘执行器

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.07.019

中图分类号: TP242

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-07-0107-06

钱少明, 杨庆华, 王志恒, 等. 黄瓜抓持特性与末端采摘执行器研究[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 107-112.

Qian Shaoming, Yang Qinghua, Wang Zhiheng, et al. Research on holding characteristics of cucumber and end-effector of cucumber picking[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(7): 107-112. (in Chinese with English abstract)

0 引言

果品采摘作业是水果生产链中最耗时、最费力的一个环节。采摘作业季节性强、劳动强度大、费用高, 因此保证果实适时采收、降低收获作业费用是农业增收的重要途径。由于采摘作业的复杂性, 采摘自动化程度仍然很低。采摘机器人作为农业机器人的重要类型, 其作用在于能够降低工人劳动强度和生产费用、提高劳动生产率 and 产品质量、保证果实适时采收, 因而具有很大发展潜力。

采摘机器人通常由移动机构、机械手臂、末端执行器和视觉传感器等组成。末端执行机构是机器人的核心部分之一, 它是直接接触目标作物的设备, 其作业对象即果实组织柔软、易损伤, 且果实形状复杂, 生长发育程度不一, 相互差异很大, 由此决定了采摘机器人的末端执行器应具有较好的柔顺性和自适应性。因此, 末端执行器的研究开发对果品采摘效果起着至关重要的作用^[1-4]。

日本的 N. Kondo 等人研制了番茄收获机器人, 其末端执行器把果实吸住后, 利用机械手的腕关节把果实放在花梗处拧下^[5]。1996 年, 荷兰农业环境工程研究所研制出一种多功能黄瓜收获机器人, 其末端执行器由手爪和切割器构成, 切割器为能产生高温 (1 000℃) 的特殊电

极, 可防止植物的感染^[6]。日本国立蔬菜茶叶研究所和岐阜大学联合研制了茄子采摘机器人, 其末端执行器设计复杂, 包括 4 个手指、2 个吸嘴、2 个诱导杆、1 个气动剪子和光电传感器^[7]。日本国立农业研究中心的 Murakami 等人研制的甘蓝采摘机器人, 其末端执行器由 4 个手指组成^[8]。英国 Silsoe 研究院研制了蘑菇采摘机器人, 它的末端执行器是带有软衬垫的吸引器^[9]。从以上实例可以看出, 现有的末端执行器通常由两部分组成, 即抓持器和切割器。切割器通常采用剪刀剪断果茎或圆盘形带齿锯片切断果茎, 对某些果茎与果枝较容易分离的果实而言, 可利用机械臂直接拧断果柄; 抓持器通常由带有真空吸引器和数量为 2~4 个不等的手指构成。

为了解决农业采摘末端执行器应具备机械结构简单、重量轻、又能有效抓持果实这一较为困难的问题, 在已有气动柔性驱动器的基础上^[10-14], 本文介绍了一种可用于黄瓜采摘的末端执行器, 它由机械抓持器和切割器 2 部分组成。

1 黄瓜抓持特性

1.1 试验条件

为了在无损果实表皮的情况下末端执行器能够抓持到果实的理想部位并对果实施加适当的抓持力, 有必要对黄瓜的相关物理特性进行测定, 具体包括: 抗压特性、果柄切断阻力和黄瓜无刺表面与硅胶表面之间的摩擦系数。

试验黄瓜品种为津绿 4 号, 质量: 100~250 g, 瓜体直径范围: 30~40 mm。

果实中部和下半段内部种子较多且较大, 抗压能力较低; 果实上半段内部几乎没有种子, 抗压性较好。另外, 黄瓜上半段的外部刺瘤特征不明显, 抓持时可减少对黄瓜表皮的损伤。为此抓持部位定在黄瓜果柄和果实边缘距离 30~45 mm 处。

收稿日期: 2009-12-15 修订日期: 2010-03-16

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划 (2009AA04Z209); 浙江省自然科学基金杰出青年团队项目 (R1090674)

作者简介: 钱少明 (1973—), 男, 浙江嵊州人, 博士生, 主要从事农业采摘机器人研究。杭州 浙江工业大学机械工程学院, 310032。

Email: qiantide@zjut.edu.cn

*通信作者: 张立彬 (1955—) 男, 浙江景宁人, 教授, 博士研究生导师。主要研究方向为机器人及智能控制、工厂化农业装备。杭州 浙江工业大学, 310032。Email: robot@zjut.edu.cn

试验设备采用深圳瑞格尔仪器有限公司生产的微机控制电子万能试验机 RG4000-0.5。

1.2 抗压特性

试验对象为黄瓜上半段无刺部分，其最大直径为 $\phi 32$ 、 $\phi 36$ 、 $\phi 40$ mm，试验时黄瓜放置在试验机的固定底板和带球形支承的加载板之间，加载速度为 2 mm/min，得到黄瓜径向压缩量与外力载荷之间的特性曲线 1、2、3，如图 1 所示。

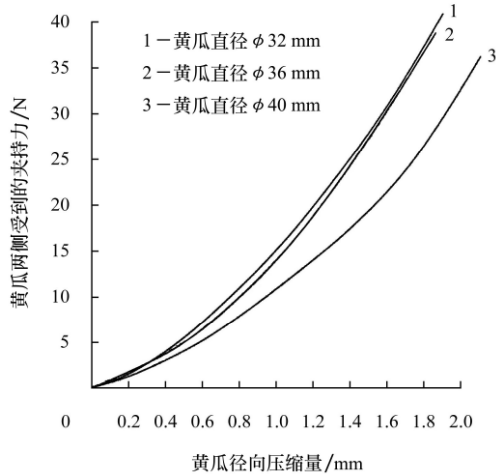


图 1 黄瓜抗压特性曲线

Fig.1 Compressibility characteristic curve of cucumber

从试验结果可看出，当抓持力为 5 N 时，黄瓜的径向压缩量为 0.6 mm 左右，可以认为果实抓持部位没有受到损伤。

1.3 果柄切断力

试验时在试验机的加载板上安装刀片，同时在固定底板上放置软木板，将试验对象黄瓜果柄放在软木板上，加载速度为 1 mm/min，得到黄瓜果柄切割阻力值，如表 1 所示。

表 1 黄瓜果柄切割阻力数据

Table 1 Cutting resistance of cucumber peduncle

样本序号	果柄直径/mm	切割力最大值/N	样本序号	果柄直径/mm	切割力最大值/N
1	6.0	5.1	8	4.9	4.6
2	6.0	4.8	9	4.8	4.9
3	5.5	4.8	10	4.6	4.5
4	5.4	4.2	11	4.5	4.2
5	5.2	4.2	12	4.2	3.8
6	5.0	4.8	13	4.0	4.6
7	5.0	3.8	14	4.0	4.3

从试验结果可看出，切割阻力与果柄直径大小不呈线性关系，切断果柄所需力都小于 5.2 N。在实际采摘场合，切割刀片总是以一定的速度运动，若刀片输出力不变，实际切割效果会比静态切割效果更好。因此，可以认为用 5.5 N 的力应能切断黄瓜果柄。

1.4 摩擦特性

用表面平整的硅胶平板将黄瓜夹住，并施加一定大小的正压力，用一根光杆从黄瓜中部推动黄瓜移动，光

杆带有水平导向装置，使黄瓜受到的推力垂直于正压力，在光杆的头部装有一个微型触力传感器 FSG15N1A（美国 honeywell 公司），记录黄瓜刚被推动时推力的大小。试验得出黄瓜果实上部表面与硅胶表面之间的摩擦系数，如表 2 所示。从试验数据可以看出，正压力较小时，摩擦系数较大，正压力较大时，摩擦系数较小，但相差不大，主要是因为黄瓜并非很规整，黄瓜表面与硅胶平板的接触面积大小不一，导致摩擦系数数值有一定的波动。

表 2 黄瓜表面摩擦系数数据

Table 2 Friction coefficient of cucumber surface

样本序号	正压力值/N	推力值/N	摩擦系数
1	2	2.64	1.32
2	3	3.99	1.33
3	4	5.24	1.31
4	5	6.60	1.32
5	6	7.68	1.28
6	7	9.10	1.30
7	8	10.08	1.26
8	9	11.34	1.26
9	10	12.50	1.25
10	11	13.64	1.24
11	12	14.64	1.22
12	13	16.38	1.26
13	14	16.94	1.21
14	15	18.15	1.21
15	16	19.84	1.24
16	17	20.91	1.23
17	18	21.78	1.21
18	19	23.18	1.22
19	20	24.20	1.21

2 气动柔性弯曲关节

气动柔性弯曲关节由转轴、连杆、联接件、端盖、橡胶管、螺旋钢丝及进气接头组成，由橡胶管和螺旋钢丝共同构成气动柔性驱动器（flexible pneumatic actuator, FPA），如图 2 所示。压缩气体从右端盖通入 FPA 的内腔，由于螺旋钢丝的约束作用橡胶管不作径向膨胀，橡胶管只能产生轴向伸长，并通过联接件推动连杆以转轴为中心转过一定大小的角度 θ 。释放 FPA 内腔的压缩气体，在橡胶管的弹性力的作用下，FPA 恢复到初始状态，转角 θ 变为初始值，即 $\theta = 0^\circ$ [15]。

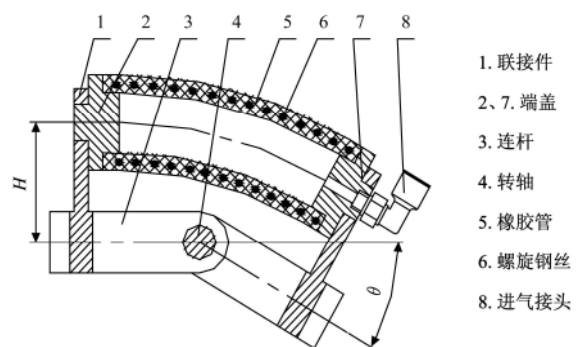


图 2 弯曲关节结构

Fig.2 Structure of bending joint

通过静力学分析可得 FPA 内腔的压力与关节的弯曲角度之间的关系式，即关节的转角静态模型^[15]

$$P = \frac{2E_b t_b}{r_b} \frac{L_b \frac{\theta}{2} \cot(\frac{\theta}{2}) + H\theta - L_b}{L_b \frac{\theta}{2} \cot(\frac{\theta}{2}) + H\theta} + P_{\text{atm}} \quad (1)$$

式中： P ——FPA 内腔的压力，MPa； θ ——关节的弯曲角度，rad； L_b ——橡胶管的初始有效长度，mm； r_b ——橡胶管的平均半径，mm； t_b ——橡胶管的初始厚度，mm； E_b ——橡胶管的弹性模量，MPa； H ——初始状态时连杆中心线与橡胶管中心线之间的距离，mm； P_{atm} ——大气压力，MPa。

在气压 P 的作用下弯曲关节产生转角大小为 θ ，此时在外界约束的限制下关节连杆不再继续转动，同时进一步增加 FPA 内腔的气压值到 $P+\Delta P$ ， ΔP 即为气压增加值，FPA 的输出力为推力 F_{out} ^[15]

$$F_{\text{out}} = \pi(r_b - \frac{t_b}{2})^2 \Delta P \quad (2)$$

式中： F_{out} ——FPA 的输出力值，N； ΔP ——FPA 内腔的气压增加值，MPa。

若 $\Delta P=0.2$ MPa， $r_b=6$ mm， $t_b=2$ mm，则 $F_{\text{out}}=15.7$ N。这说明弯曲关节的驱动器 FPA 的输出力较大。如果要增大 FPA 的输出力，可以进一步增大 FPA 内腔气压值，或者加大 FPA 的内径。

3 黄瓜抓持模型分析

二指机械抓持器由 2 个气动柔性弯曲关节构成，利用 FPA 驱动弯曲关节转动，由弯曲关节的活动连杆（即指节）夹紧目标物体。

在理想情况下，抓持器的 2 个弯曲关节的结构和特性完全一致，充入 FPA 的压缩气体压力值完全相同。抓取目标为黄瓜，并将黄瓜的夹持部位假设为刚性圆柱体。两指节对目标物体的抓持力的作用点对称分布，并且力的大小完全相同。基于上述理想状况的描述对二指抓持器抓持模型进行受力分析，A 点为目标物体与抓持器底板之间的接触点，B、C 为目标物体与弯曲关节指节之间的接触点，O 点为弯曲关节的回转中心，如图 3 所示，可得关节弯曲角 θ

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \arctan(\frac{r_g - s}{r_0}) - \arcsin(\frac{r_g}{\sqrt{(r_g - s)^2 + r_0^2}}) \quad (3)$$

式中： s ——关节回转中心到坐标系 x 轴的距离，mm； r_g ——目标物体的半径，mm； r_0 ——抓持器中心到关节的垂直距离，mm。

由图 3 所示的几何关系可得关节指节与物体接触点 B 到关节回转中心 O 的力臂长度 L_g (mm)

$$L_g = \sqrt{(r_g - s)^2 + r_0^2} - r_g^2 \quad (4)$$

为了抓持住物体，首先向 FPA 中充入压力值为 P_0 的压缩气体，使得关节的活动连杆转过 θ 角并和目标物体接触，此时 FPA 的输出力为零， P_0 的大小可根据式 (1)

和 (3) 求得。由于目标物体的位置约束作用，关节的弯曲角度保持不变，则橡胶管变形量不变，即橡胶管的弹性力不变，在此基础上，FPA 内腔气体压力值增加 ΔP 后，关节的输出力 F_{out} 。关节的活动指节受到 N_1 和 F_{out} 两个作用力，如图 3 所示。对这两个力以 O 为转动中心建立力矩平衡方程

$$F_{\text{out}} H = N_1 L_g \quad (5)$$

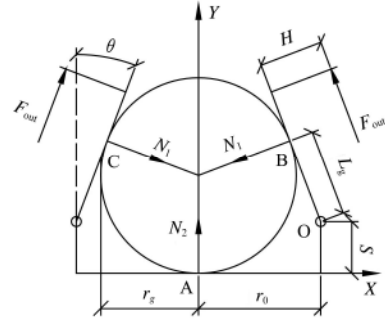
式中： N_1 ——关节指节与目标物体之间的正压力，N。

目标物体受到 N_1 和 N_2 的作用，设重力加速度垂直于纸面方向，依靠抓持器指节及底板与物体之间的摩擦力克服物体重力 G ，如图 3 所示。具体分析如下

$$2N_1 \sin \theta = N_2 \quad (6)$$

$$(2N_1 + N_2) f = G \quad (7)$$

式中： N_2 ——抓持器底板与目标物体之间的正压力，N； G ——物体重力，N； f ——黄瓜与关节指节表面之间的静摩擦系数。



注： θ ——关节的弯曲角度，rad； H ——初始状态时连杆中心线与橡胶管中心线之间的距离，mm； r_g ——目标物体的半径，mm； r_0 ——抓持器中心到关节的垂直距离，mm； L_g ——关节指节与物体接触点到关节回转中心的长度； s ——关节回转中心到坐标系 x 轴的距离，mm； F_{out} ——FPA 的输出力值，N； N_1 ——关节指节与目标物体之间的正压力，N； N_2 ——抓持器底板与目标物体之间的正压力，N

图 3 黄瓜抓持模型

Fig.3 Holding model of picking cucumber

由式 (2)、(4)、(5)、(6) 和 (7) 可得弯曲关节的 FPA 内腔气压增量 ΔP 的关系式

$$\Delta P = \frac{G \sqrt{(r_g - s)^2 + r_0^2} - r_g^2}{2\pi(r_b - \frac{t_b}{2})^2 H f (1 + \sin \theta)} \quad (8)$$

综合以上所述，为了有效抓持目标物体，向二指抓持器的 FPA 内腔充入的压缩气体的压力值须为

$$P = P_0 + \Delta P \quad (9)$$

给定二指抓持器结构参数： $r_b=5.25$ mm， $t_b=2$ mm， $L_b=32$ mm， $E_b=2.3$ MPa， $r_0=25$ mm， $r_g=15\sim 20$ mm，目标物体的参数： $G=5$ N， $f=1.22$ 。对抓持模型进行定量分析，可得到目标半径 r_g 对 FPA 内腔的压力 P 的影响如图 4 所示的曲线。从中可以看出，FPA 内腔压力随着目标物体半径的增大而减小。主要原因：一方面，随着目标物体半径的增大，抓取时所需要的关节角度 θ 减小，则需要内腔压力 P_0 减小，另一方面，抓持物体所需的力基本不

变, 即 ΔP 基本不变。关节回转中心到坐标系 x 轴的距离 s 越小, 抓持同样的物体时所需的气体压力值也越小。

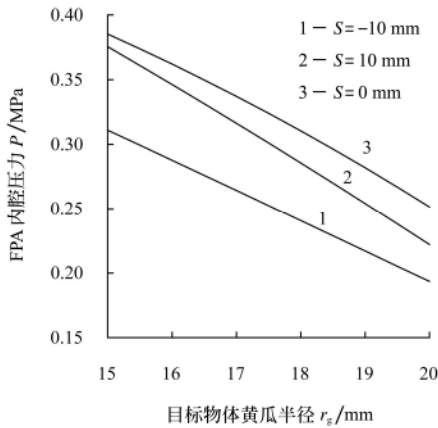


图4 夹持模型目标物体半径-压力曲线
Fig.4 Radius-pressure curve for gripping model

若二指抓持器结构参数不变, 目标物体的半径 $r_g = 36$ mm, 目标物体的重量 $G=0\sim 20$ N, 可得到压力 P 和物体重量 G 之间的关系, 如图5所示, 目标物体重量的增加与所需要的FPA内腔压力呈线性关系。

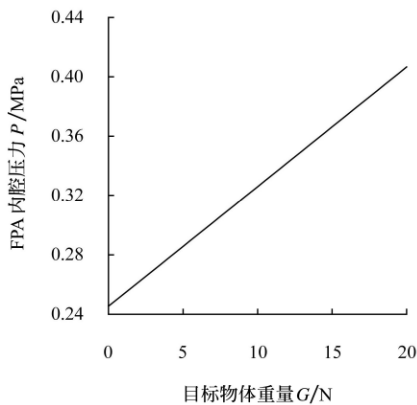


图5 夹持模型目标物体重量-压力曲线
Fig.5 Weight-pressure curve for gripping model

4 末端采摘执行器

黄瓜末端采摘执行器由抓持器和切割器组成。

抓持器由2个弯曲关节组成, 对称分布在执行器底板的2侧, 抓持原理如图3所示, 为了不伤及黄瓜表皮, 使其不受损伤, 在弯曲关节内侧会与黄瓜表面相接触处粘贴了1层柔软的硅胶。为了识别目标物体黄瓜是否与底板接触, 底板的中间位置安装有微动开关。

切割器由1个旋转气缸和1把切割刀片构成。旋转气缸安装在底板的上侧, 气缸的输出轴上安装了切割刀片, 如图6所示。旋转气缸的型号为CRQBSW10-180(日本SMC), 当气压值为0.7 MPa时该气缸的输出扭矩为0.3 N·m。

试验时, 首先利用视觉传感器检测锁定果实位置,

识别果实中无刺的一端, 当安装在机械臂上的末端执行器靠近黄瓜时, 黄瓜会压迫微动开关, 使其闭合, 开关量信号(DI)输入工控机, 工控机输出开关量信号(DO)使得固态继电器2得电, 电磁换向阀2打开, 向2个弯曲关节的FPA充入压缩气体, 关节弯曲并夹持住黄瓜, 工控机通过输出模拟量信号(D/A)调节电气比例气动阀ITV0050-3BS出口压力, 用于控制进入FPA内腔的压缩气体压力大小, 其附带的压力传感器可反馈压力大小, 通过模拟量信号(A/D)输入工控机, 构成基于气体压力的抓持力的半闭环控制, 可以对目标物体实现较为精准的抓持力控制。然后工控机输出开关量信号(DO), 使得固态继电器1得电, 电磁换向阀1打开, 向旋转气缸充入压缩气体, 输出轴旋转180°, 从而带动刀片切断果柄, 使得黄瓜与瓜藤分离。最后, 机械臂及执行器将黄瓜移送到采摘筐中, 工控机控制开关量信号(DO)复位, 固态继电器1、2失电, 电磁阀1、2复位, 抓持器中的弯曲关节释放压缩气体, FPA恢复原长, 弯曲关节回转到初始角度, 旋转气缸回转180°, 恢复原位, 整个采摘过程完成。末端执行器电气系统原理图如图6所示。

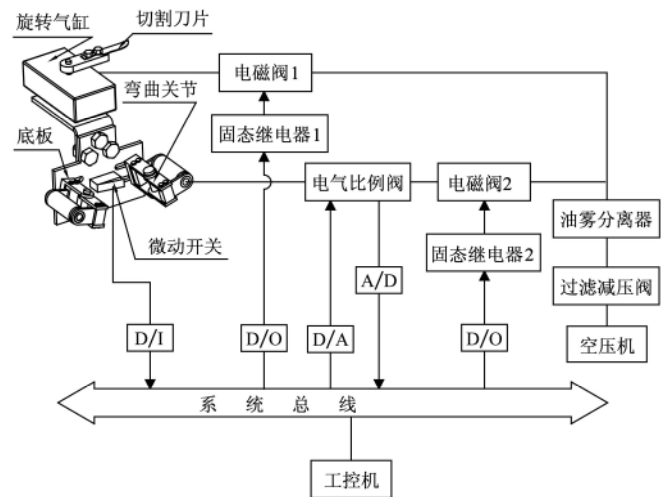


图6 末端执行器电气系统
Fig.6 Electrical system of the end-effector

从黄瓜触碰微动开关开始, 弯曲关节抓持黄瓜, 直到刀片割断瓜藤为止, 这段时间称为末端执行器的采摘时间。试验时, 黄瓜采摘次数为50次, 抓持时间最长为3.2 s, 抓持时间最短为2.6 s, 平均抓持时间为2.95 s。在这50次黄瓜采摘中, 有效采摘次数为45次, 另有5次黄瓜在机械臂移动过程中跌落, 抓持成功率为90%, 抓持失败的主要原因为: 抓持部位过于靠近果柄所在一端, 机械臂在运动过程中抖动较大, 使得黄瓜产生较大幅度的晃动, 从末端执行器中掉落。果柄切断成功率为100%, 如果瓜藤和叶距离黄瓜较近时, 刀片在切断黄瓜果柄的过程中也会划伤藤和叶。图7为执行器采摘黄瓜时的试验照片。

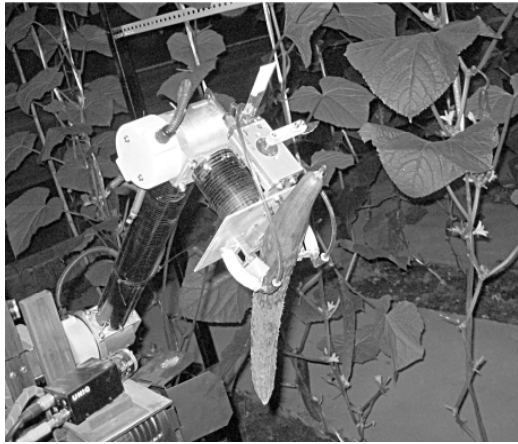


图7 末端执行器抓持黄瓜试验照片

Fig.7 Photo of end-effector grasping cucumber experiment

5 结论

经过试验测量, 黄瓜的抗压特性较好, 采摘时黄瓜抓持部位的损伤可以忽略不计; 切割力为 5.5 N 可以完全切断果柄; 黄瓜无刺表面与硅胶表面的摩擦系数为 1.22, 从而为末端执行器机械结构的优化设计建立了基础。

基于气动柔性弯曲关节设计了可用于黄瓜采摘的末端执行器。该末端执行器的机械结构较为简单, 输出力较大, 抓持重量可达 20 N, 如果增大 FPA 的内径, 抓持重量可进一步提高。黄瓜采摘执行器的抓持效果良好, 黄瓜抓持成功率为 90%, 如果提高机械臂运行的平稳性, 抓持成功率应该会有所提高, 黄瓜果柄切断成功率为 100%, 采摘时间为 3 s, 具有较好的实际应用前景。

[参 考 文 献]

- [1] Ceres R, Pons J L, Jiménez A R, et al. Design and implementation of an aided fruit-harvesting robot(AgriBot)[J]. *Industrial robot*, 1998, 5(5): 337—346.
- [2] 张立彬, 计时鸣, 胥芳, 等. 农业机器人的主要应用领域和关键技术[J]. *浙江工业大学学报*, 2002, 30(1): 36—41.
Zhang Libin, Ji Shiming, Xu Fang, et al. Main application domain and key techniques of agricultural robots[J]. *Journal of Zhejiang University of Technology*, 2002, 30(1): 36—41.
- [3] 赵匀, 武传宇, 胡旭东, 等. 农业机器人的研究进展及存在的问题[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(1): 20—24.
Zhao Yun, Wu Chuanyu, Hu Xudong, et al. Research progress and problems of agricultural robot[J]. *Transactions of the CSAE*, 2003, 19(1): 20—24. (in Chinese with English abstract)
- [4] 崔玉洁, 张祖立, 白晓虎. 采摘机器人的研究进展与现状分析[J]. *农机化研究*, 2007, 2(2): 4—7.
Cui Yujie, Zhang Zuli, Bai Xiaohu. Development and present situation of harvesting robot[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2007, 2(2): 4—7. (in Chinese with English abstract)
- [5] Kondo N, Monta M, Fujiura T. Fruit harvesting robot in Japan [J]. *Advances in Space Research*, 1996, 18(1/2): 181—184.
- [6] Van Henten E J, Van Tuijl B A J, Hemming J, et al. Field test of an autonomous cucumber picking robot[J]. *Biosystems Engineering*, 2003, 86(3): 305—313.
- [7] Hayashi S, Ganno K, Lshii Y, et al. Robotic harvesting system for eggplants[J]. *JARQ*, 2002, 36(3): 163—168.
- [8] Murakami N, Inoue K, Otsuka K, et al. Selective harvesting robot of cabbage[C]//*Proceedings of International Symposium of Automation and Robotics in Bioproduction and Processing, JSAM*, 1995, (2): 24—31.
- [9] Reed J N, Miles S J, Butler J, et al. Automatic mushroom harvester development[J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2001, 78(1): 15—23.
- [10] 张立彬, 杨庆华, 鲍官军, 等. 一种气动柔性驱动器[P]. 中国专利, 200510049589.5. 2005-9-21.
- [11] Yang Qinghua, Zhang Libin, Bao Guanjun. Research on Novel Flexible Pneumatic Actuator FPA[C]//*Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics Automation and Mechatronics*, Singapore, 2004, 12: 385—389.
- [12] 杨庆华, 张立彬, 阮健. 气动弯曲关节的特性研究[J]. *工程设计学报*, 2002, 9(3): 159—161.
Yang Qinghua, Zhang Libin, Ruan Jian. Investigation to the characteristics of a pneumatic bending joint[J]. *Journal of Engineering Design*, 2002, 9(3): 159—161. (in Chinese with English abstract)
- [13] 杨庆华, 张立彬, 鲍官军, 等. 气动柔性弯曲关节的特性及其神经 PID 控制算法研究[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(4): 88—91.
Yang Qinghua, Zhang Libin, Bao Guanjun, et al. Investigation of the characteristics of pneumatic flexible-bending joint and its neural PID controlling algorithm[J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, 20(4): 88—91. (in Chinese with English abstract)
- [14] 鲍官军. 气动柔性驱动器 FPA 的特性及其在多指灵巧手设计中的应用研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2006.
Bao Guanjun. Research on Characteristics of Flexible Pneumatic Actuator FPA and its Application in Multi-Fingered Dexterous Hand Design[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2006. (in Chinese with English abstract)
- [15] 钱少明, 杨庆华, 鲍官军, 等. 基于气动柔性驱动器的弯曲关节的基本特性研究[J]. *中国机械工程*, 2009, 24(12): 2903—2906.
Qian Shaoming, Yang Qinghua, Bao Guanjun, et al. Research on basic characteristics of bending joint based on flexible pneumatic actuator FPA[J]. *China Mechanical Engineering*, 2009, 24(12): 2903—2906. (in Chinese with English abstract)

Research on holding characteristics of cucumber and end-effector of cucumber picking

Qian Shaoming, Yang Qinghua, Wang Zhiheng, Bao Guanjun, Zhang Libin^{*}

*(Ministry of Education Key Laboratory of Mechanical Manufacture and Automation,
Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)*

Abstract: In order to design an end-effector for picking the cucumber, at first, the compressibility characteristic of the cucumber, the cutting characteristic of cucumber peduncle and the friction coefficient of cucumber coat were measured. The holding model of cucumber was analyzed with the static mechanical analysis method, the relationship between the pressure value of compressed air in the pneumatic actuator and picking capacity was established. At last, a new type of end-effector, which consisted of a picker and a cutter, was developed. The picker consisted of two flexible pneumatic bending joints, and the cutter consisted of a rotary cylinder and a knife. The mechanical structure of the end-effector was simple, and the output force of the end-effector of cucumber picking was big. The experimental results showed the success ratio of picking cucumber reached 90 percent, the success ratio of cutting cucumber peduncle reached 100 percent, and the time of picking one cucumber was three seconds. The effect of the end-effector of cucumber picking is well, and the end-effector of cucumber picking has a bright application prospect.

Key words: agricultural machinery, robots, research, cucumber, grasping characteristics, end-effector of picking