

基于机器视觉的高电位监测设备激光无线供能系统

梁欢¹,邢丽冬¹,黄凤²,黄辉²

(1. 南京航空航天大学,江苏 南京 210016; 2. 全球能源互联网研究院有限公司,江苏 南京 210000)

摘要:针对电网高电位监测设备的实际应用需求,设计并搭建了1套基于机器视觉跟踪瞄准技术的激光无线供能系统。介绍了激光无线供能系统的整体架构,阐述了跟踪瞄准单元的控制方法和图像识别策略,通过实验证明了该方案的可行性,实现了在有背景干扰情况下对光伏电池位置的准确匹配。该成果可为电网高电位监测设备的供能提供技术支持。

关键词:高电位监测设备;机器视觉;激光无线供能;跟踪瞄准;图像识别

中图分类号:TP277; TP391.41 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2019)05-0157-05

LWPT System Based on Machine Vision for High Potential Monitoring Equipment

LIANG Huan¹, XING Lidong¹, HUANG Feng², HUANG Hui²

(1. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. Global Energy Interconnection Research Institute, Nanjing 210000, China)

Abstract: In this paper, a set of laser wireless power supply system based on machine vision tracking and aiming technology is designed and built according to the practical application requirements of the high potential monitoring equipment. This paper introduces the overall architecture of the laser wireless power supply system, expounds the control method of the tracking and aiming unit and the image processing strategy in detail, and proves the feasibility of the scheme through the experiment, and realizes the accurate matching of the PV cell position under the background interference. This results can provide the technical support for the power grid monitoring of the high potential monitoring equipment.

Keywords: high potential monitoring equipment; machine vision; laser wireless power supply; tracking and aiming; image recognition

0 引言

随着电力系统自动化和智能电网的发展,对高压电力设备进行实时监测日益重要,输变电设备中智能电子设备和监测传感器的应用日益广泛。为了准确监测电气设备的多种物理量,大量传感器密集分布于待测区域内。传感器通常采用低压直流供电,但在高压电气设备的复杂环境下,常规通过人工充电的方法不再适用;此外,受地理因素、高压绝缘等条件的限制,电能供给成为制约在线监测系统发展的重大因素。

目前传感器的供电方式主要包括:电线供电、电池供电、环境取能等。这些供电方式在输电线路监测设备现场的工程应用中,主要问题在以下几方面:1) 损坏率高;2) 可维护性差;3) 体积和质量较大。而无线电能传输(wireless power transfer, WPT)技术通过其他形式的载体实现无直接电气接触的电能传输,具有移动灵活性高、环境适应性强的特点,受到了越来越多的关注^[1-2]。

激光无线供能(laser wireless power transfer, LWPT)技术用可控的激光实现无线能量传输,具有能量密度高、设备体积小、传输距离远等特点。在电力领域,LWPT技术

作为一种较新颖的面向监测传感器的供电技术,完全实现高、低压间的电隔离,不受电磁干扰的影响,可长期安全、可靠地供电^[3]。目前,国内外都已开展了激光无线供能技术的相关研究。

2011年,美国杜克大学从激光安全传输角度对LWPT系统展开了研究。选择波长为1400nm的半导体激光器和GaSb光伏电池组成LWPT系统,为相距4m的手机进行充电^[4];2014年,山东航天电子技术研究所对面向航天器的LWPT系统进行了实验验证,系统中,激光器波长为810nm,激光功率28W,系统最大传输距离200m,总体传输效率约15%^[5];2015年,俄罗斯“能源”火箭航天集团公司利用一种将红外激光转变成电能的装置,将1.5km外发射的激光转换成电能并成功为一部手机充电^[6]。

在本文的应用场合中,激光无线供能系统需要对距离至少15m的取电装置供电,有效输出功率为1W,连续供电时间达到1h。由于现场环境较为恶劣,在充电过程中,激光发射端与取电装置间会产生相对运动,这严重影响了系统的供电效率。因此,只有通过实时修正发射端的激光照射角度,才能保证充电的效率。系统应用场景为图1所示。

本文将根据以上供电参数及功能要求,设计一种具有

基金项目:国家电网公司海外院科技研究项目(SGRIXTKJ[2017]840号)

作者简介:梁欢(1990—),男,江苏南通人,硕士研究生,主要研究方向为激光无线电能传输。

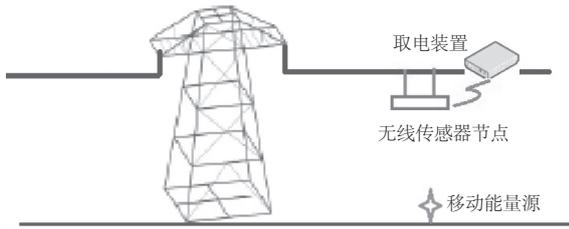


图1 高电位监测设备无线供电示意图

跟踪瞄准功能的激光无线供能系统,该系统将极大地拓展 LWPT 的使用范围和应用模式,为高电位监测设备供能技术的工程化提供技术支持。

1 系统组成

激光无线供能系统的主体部分由激光发射端和激光接收端组成,如图2所示。

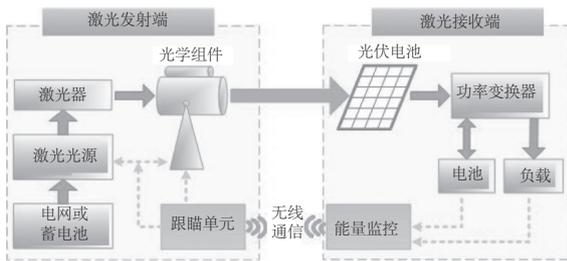


图2 激光无线供能系统结构框图

在为传感器充电之前,系统的跟踪瞄准单元启动,开始自动寻找光伏电池。当光学组件对准光伏电池后,增加激光功率开始为其充电。在此期间跟踪瞄准单元根据上位机实时采集反馈回的电池位置信息参数不断调整姿态,完成对电池的实时跟踪充电。

1.1 激光器选择

激光器按工作介质可分为气体激光器、固体激光器、半导体激光器和染料激光器。目前适用于 LWPT 系统的主要有固体激光器和半导体激光器。

根据本文系统的应用场合,综合考虑激光器的功率、体积、效率等因素,选择了 808 nm 的半导体激光器,其最大功率可达 30 W。

1.2 光伏电池选择

目前常见的光伏电池主要应用于太阳能光伏发电场合。根据如图3所示的光伏电池光谱响应特性可知,不同材料吸收单色激光的能力与入射激光波长有关,每种材料都有其对应的吸收峰值波长^[7]。因此在选择光伏电池的材料时,需与入射激光波长相匹配。

由于采用了 808 nm 的半导体激光器,因此在光伏电池选择方面,选择 GaAs 光伏电池。本文采用的电池光电转换效率最大可达 58%,可以较好地满足系统的功率参

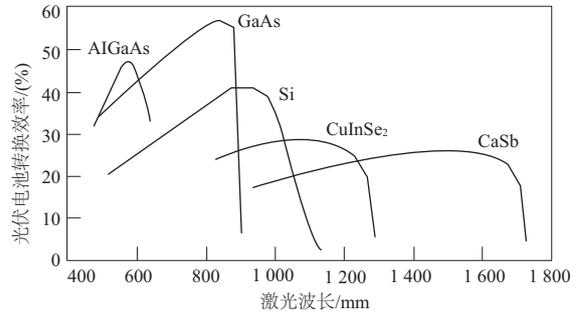


图3 激光波长与光伏电池材料关系对比图

数要求。

1.3 跟踪瞄准单元

在激光发射端增加跟踪瞄准单元,可以实现激光光束对光伏电池的实时照射。考虑到发射端与接收端之间的距离,云台的跟踪准确度将直接决定充电效果,因此在后期需要选择一种精度可达 0.1~0.5 arc sec 的云台。跟踪瞄准单元的具体设计在后续章节中会详细介绍。

1.4 能量监控单元

在实际应用场景中,接收端距离地面较高,为了避免蓄电池的过充、过放,在接收端加入无线能量监控单元,发射端通过 RFID 实时监控蓄电池的电量。当蓄电池充满时,通过射频方式将电池电量状态传给发射端的上位机,上位机接收到指令后关闭激光器,停止充电;当蓄电池电量过低时,通过同样的方式打开激光器,恢复充电。该单元实现了对输入电能的实时管理和监控,提高了系统的可靠性。

2 跟踪瞄准单元设计

跟踪瞄准单元主要由上位机、摄像头以及伺服云台 3 个部分组成,该单元的系统结构如图4所示。

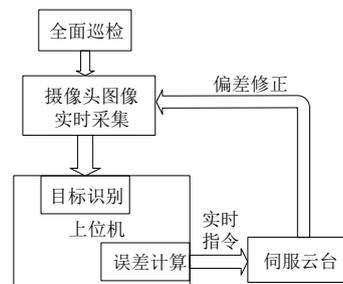


图4 跟踪瞄准单元结构示意图

为实现对光伏电池的实时跟踪,上位机通过固定在云台上的摄像头获取图像信息,对每一帧图像进行实时处理,根据处理后的图像信息得到目标在摄像头视场中的坐标,云台根据坐标信息不断调整姿态,实现对目标的跟踪瞄准。

2.1 目标识别与检测

为实现对光伏电池的实时识别,需要对摄像头采集的

图像进行处理。找到一个光伏电池区域的最小外接矩形,将该矩形的几何中心坐标作为目标的质心坐标给出。图像处理的基本流程如图5所示。

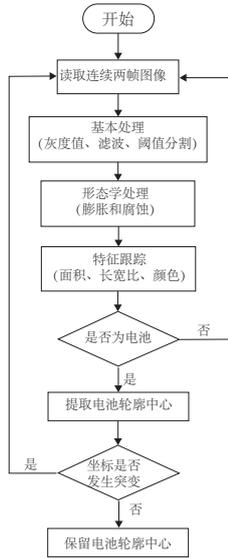


图5 图像处理基本流程图

当摄像头采集到图像后,需要对图像进行基本处理,其中阈值分割是最基本的一个环节^[8]。本文采用了OTSU算法,其思想是选取一个阈值 T ,根据其将直方图分成2部分, $T \in [0, m-1]$, m 为图像的灰度级。

设图像灰度级总数为 N ,灰度值为 i 的像素个数为 n_i ,每个灰度值 i 所占的概率 p_i 和 μ 分别为:

$$p_i = \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

$$\mu = \sum_{i=0}^{m-1} i \times p_i$$

取灰度值 T ,利用 T 将所有灰度分为2组: $C_0 = 0, \dots, T-1$ 和 $C_1 = T, \dots, m-1$,2组的均值和概率表示为:

$$w_0 = \sum_{i=0}^{T-1} p_i; \mu_0 = \frac{\sum_{i=0}^{T-1} i \times p_i}{w_0}$$

$$w_1 = \sum_{i=T}^{m-1} p_i = 1 - w_0; \mu_1 = \frac{\sum_{i=T}^{m-1} i \times p_i}{w_1} \quad (2)$$

计算2组间的方差:

$$\delta_2 = w_0 (\mu_0 - \mu)^2 + w_1 (\mu_1 - \mu)^2 \quad (3)$$

重复上述过程,找到组间最大的灰度值 i ,使用 i 对图像进行阈值分割,本文中最终采用的阈值为105。

由于光伏电池有导线以及热敏电阻丝接出,会影响目标轮廓的提取,因此需要进行形态学处理。本文采用先腐蚀后膨胀的运算方法去除轮廓上的毛刺,使图像更加平滑,有利于下一步的识别^[9]。这种方法也称为开运算。其运算的公式如下:

$$B \circ S = (B \oplus S) \ominus S \quad (4)$$

式中: B 代表整个二值化图像, S 代表选取的结构元。结构元的大小和结构随实际情况而选择。

当视场中出现干扰时,单帧图像识别出的候选目标中会包含伪目标,可以根据目标的外形特征筛选出虚假目标^[10]。本文中根据电池的特征,对提取目标的面积、长宽

比以及颜色设置了限制条件。

在实际情况下,即使有多重限制条件,识别正确率仍不可能达到100%,因此需要有一套机制来确保在识别到错误目标时,云台不会随意运动。由于光伏电池的位置不会突变,本文通过比对前后两帧图像中目标位置的偏移量来判断目标是否正确,如果偏移量超出正常范围,则认定后一帧识别的为错误目标,并仍以前一帧的坐标作为目标坐标。

2.2 伺服云台跟踪控制

伺服云台跟踪控制模块的基本流程如图6所示。其基本思路是:在电池完整出现在摄像头视场范围之后,伺服云台停止巡检。由图像识别环节给出的目标坐标,可得到它与设定坐标的偏差,根据此偏差云台进行微小缓慢的位置调整,实现对目标的位置匹配。

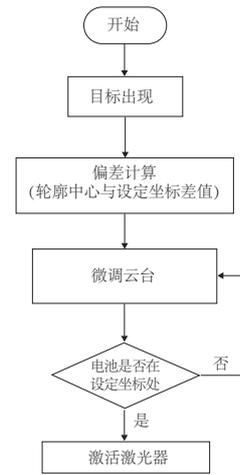


图6 目标跟踪基本流程图

在本文的系统设计中,由于光学系统与摄像头之间存在相对距离,当电池轮廓中心与视场中心匹配时,光学系统射出的激光不会照射在电池上。因此需要一个标定位置,使得当电池轮廓中心与标定坐标匹配时,激光正好照射在电池上。

摄像头拍摄的图像平面如图7所示,图像分辨率为640×480,视场中心坐标为(320,240), O 为标定位置, $ABCD$ 为目标的外接矩形,目标跟踪的目的就是控制云台,使目标的外接矩形中心始终与标定位置匹配并锁定。

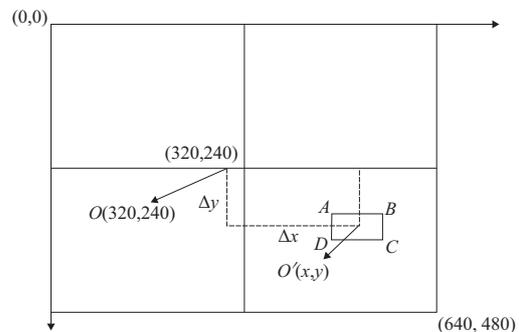


图7 视场平面中目标坐标示意图

通过对目标轮廓中心坐标 O' 和标定位置坐标 O 进行差运算,即可得到两者之间在视场坐标轴中的差值 Δx 和 Δy 。通过反复调试,最终确定 O 的坐标为(310,240)。 Δx 和 Δy 的计算公式为:

$$\begin{cases} \Delta x = x - 310 \\ \Delta y = 240 - y \end{cases} \quad (5)$$

在得到 Δx 和 Δy 后,将其转化为云台转动的控制量,即可让云台进入微调环节,最终实现坐标匹配。

3 实验结果与分析

考虑到实验室的条件限制,将跟踪目标尺寸和跟踪距离进行了等比例缩小,并搭建了相应的模拟跟瞄实验平台,如图 8 所示。

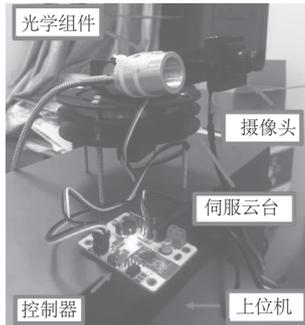


图 8 跟瞄实验平台

目标选择了 1 块封装尺寸为 $7\text{ cm} \times 7\text{ cm}$ 的同类型电池;根据电池的缩小比例,将跟瞄距离设置为 3 m 。实验采用双轴舵机云台来替代实际的伺服系统。软件环境为 VS2013,使用 C#作为编程语言,图像处理部分利用了计算机视觉库 EmguCV3.0。

3.1 目标轮廓提取

为了利于现场调试,考虑现场环境中可能出现的干扰,在实验室做了相应的场景模拟,如图 9 所示。

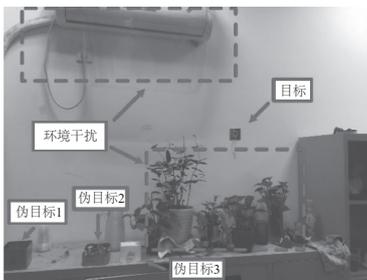


图 9 目标识别实验场景

其中:伪目标 1 为颜色相似,长宽为目标电池的 2 倍;伪目标 2 为面积接近,但长宽比不同;伪目标 3 为尺寸相似,但颜色差别较大。设置环境干扰为了能够达到和户外植物背景类似的效果。

图 10 给出了提取目标的分步实验结果。

图像经过 OTSU 分割后,伪目标 3 被排除,再经过特征筛选将伪目标 1 和 2 排除,最后剔除背景干扰,实现目标提取。

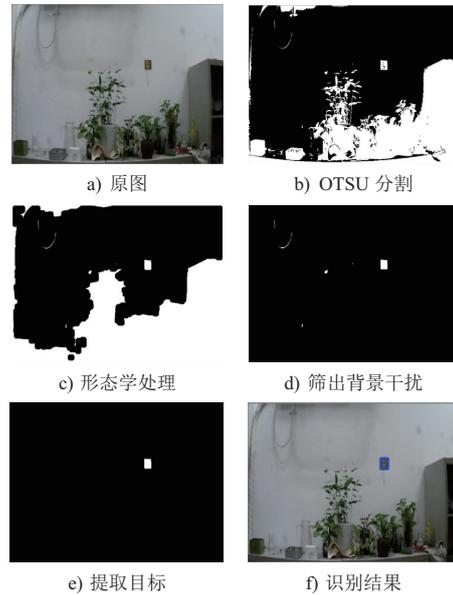


图 10 目标识别实验效果图

实验对连续的 200 帧图像进行多次采集,结果如表 1 所示。根据表 1 可知,平均识别率为 88.6%,每处理 1 帧图像的平均时间为 43.6 ms 。

表 1 图像采集结果

序号	正确识别帧数	处理 200 帧图像所用时间/s
1	181	8.17
2	179	8.69
3	170	9.24
4	172	9.12
5	176	9.03
6	185	8.02

由实验结果可知,在复杂的背景环境中,图像识别部分可完成目标轮廓的提取工作,满足系统要求。该方法能很好地用于现场的目标识别与检测。

3.2 目标跟踪结果

目标跟踪实验分别选择了在夜晚灯光下和白天自然光线较弱的情况下进行,实验结果如图 11、图 12 所示。

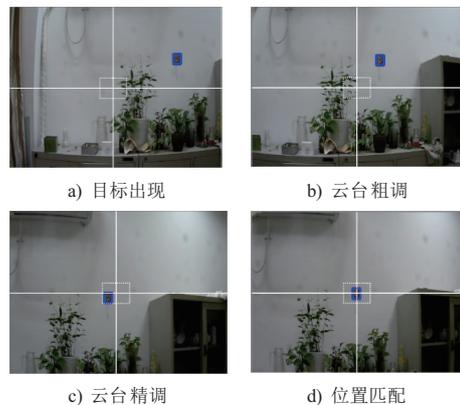


图 11 灯光下跟踪结果图

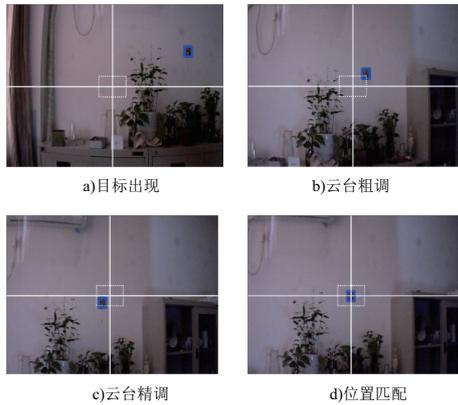


图 12 光线昏暗下跟踪结果图

由实验结果可知,在两种不同的场景下,跟瞄单元均能完成跟踪,最终实现位置匹配。

4 结语

输变电设备中智能电子设备和监测的传感器的应用日益广泛,如何对传感器持续、高效、安全地供电也显得尤为重要。本文在当前激光无线供能技术的基础上,通过对激光无线能量传输关键模块的设计和核心功能验证,搭建了具有跟踪瞄准功能的激光无线供能系统平台,通过机器视觉的方式对收发端进行远距离精确对准,提高了无线供能的准确度和供电效率。

下一步,将系统移植至实际应用场合,并根据现场环境以及供电参数需求提出跟踪瞄准优化方案,进一步提高系统的准确度与安全性,完善系统组成,使系统能够顺利工程化。

参考文献:

- [1] Hui S Y, Zhou W X, Lee C K. A critical review of recent progress in mid-range wireless power transfer [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(9): 4500-4511.
- [2] 王智慧. 基于包络线调制的非接触电能传输模式研究[D]. 重庆:重庆大学,2009.
- [3] Wang N, Zhu Y, Wei W, et al. One-to-multipoint laser remote power supply system for wireless sensor networks[J]. IEEE Sensors Journal, 2012, 12(2): 389-396.
- [4] Sahai A, Graham D. Optical wireless power transmission at long wavelengths[C]. 2011 International Conference on Space Optical Systems and Applications, 2011: 164-170.
- [5] He T, Yang Su Hui, Miguel Angel Munoz, et al. High-power high-efficiency laser power transmission at 100m using optimized multi-cell GaAs converter[J]. Chinese Physics Letters, 2014, 31(10): 65-69.
- [6] Laser Power; Russia develops energy beam for satellite refueling [DB/OL]. [2018-04-20]. http://www.spacedaily.com/reports/Laser_Power_Russia_develops_energy_beam_for_satellite_refueling_999.html.
- [7] Mason R. Feasibility of laser power transmission to a high-altitude unmanned aerial vehicle[M]. [S.I.]: Rand Corporation, 2011.
- [8] 王志明,殷绪成,曾慧. 数字图像处理与分析[M]. 北京:清华大学出版社,2012.
- [9] 蒲石,龙文光. 基于膨胀和腐蚀的迭代优化算法[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2014(5): 408-412.
- [10] 刘晓悦,孟妍. 运动目标检测与跟踪算法的研究[J]. 河北联合大学学报(自然科学版), 2015, 37(1): 65-70.

收稿日期:2018-05-02

(上接第 152 页)

表 1 系统稳定性测试表

试验环境	实验次数/次	单果采摘时间/s	单果采摘成功率/(%)	果实成熟度分辨成功率/(%)
室内	100	10.5	90	100
露天	100	11.2	85	100

测试结果表明:在光线稳定的室内环境下,苹果采摘机器人控制系统运行稳定,单果采摘时间相对较短,单果采摘成功率较高,果实成熟度分辨成功率较高;在光线不稳定的露天环境下,苹果采摘机器人控制系统运行稳定性相对有所下降,相比于室内环境,其单果采摘时间有所上升,单果采摘成功率有所下降,果实成熟度分辨成功率未变;苹果采摘机器人控制系统整体工作稳定,性能可靠。

6 结语

该款苹果采摘机器人控制系统对现有控制系统的不足之处进行优化,其采用 STM32 单片机作为主控芯片,各功能部件采用模块化设计,具备制造及维护成本较低、功耗小、便携性好等优点,且实验表明其单果采摘作业时间相对较短,采摘成功率较高,果实成熟度分辨成功率较高,工作稳定,性能可靠。

参考文献:

- [1] 王丹丹,宋怀波,何东健. 苹果采摘机器人视觉系统研究进展[J]. 农业工程学报,2017(10): 59-69.
- [2] 石建华. 基于云计算技术的苹果采摘机器人系统[J]. 农机化研究,2017(7): 180-183.
- [3] Luo H F, Wei G W. System design and implementation of a novel robot for apple harvest[J]. Agricultural Engineering, 2015, 46(2): 85-94.
- [4] 孙贤刚,伍锡如,党选举,等. 基于视觉检测的苹果采摘机器人系统设计与实现[J]. 农机化研究,2016(9): 151-155, 160.
- [5] 朱霞,陈仁文,夏桦康,等. 智能机器人水果采摘识别系统设计[J]. 计算机应用研究,2014(9): 2711-2714.
- [6] 顾宝兴,姬长英,王海青,等. 智能移动水果采摘机器人设计与试验[J]. 农业机械学报,2012(6): 153-160.
- [7] 王辉,毛文华,刘刚,等. 基于视觉组合的苹果作业机器人识别与定位[J]. 农业机械学报,2012, 43(12): 165-170.
- [8] 张宾,宿敬肖,张薇薇,等. 基于激光视觉的智能识别苹果采摘机器人设计[J]. 农机化研究,2016(7): 61-64.
- [9] 贺橙林,施光林. 一种基于机器视觉的苹果采摘机器人[J]. 机电一体化,2015(4): 3-7, 22.
- [10] 伍锡如,黄国明,刘金霞,等. 新型苹果采摘机器人的设计与试验[J]. 科学技术与工程,2016(9): 71-79.

收稿日期:2018-05-30