

温室黄瓜病害对靶施药机器人设计*

耿长兴 张俊雄 曹峥勇 李伟

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 以温室黄瓜为对靶施药对象,结合温室环境和黄瓜种植模式设计了移动悬挂式精准对靶施药机器人系统。利用机器视觉获取黄瓜病情信息,实现基于颜色和纹理信息的病情判断和定量分析。研究光照、土壤温度、气温和湿度等环境要素的周期数据与黄瓜病害有效特征信息表达之间相互关系,预警温室黄瓜病害发生和变化趋势。病害信息和环境要素拟合信息为喷雾机运动控制提供决策依据,以病灶分布作为轨迹规划和对靶施药依据,实现 PLC 控制三自由度喷雾机械臂和独立喷嘴作业。室内试验表明机器人具有较好的稳定性和实用性。

关键词: 施药机器人 温室 环境信息 对靶喷雾 机器视觉

中图分类号: TP242 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)01-0177-04

Cucumber Disease Toward-target Agrochemical Application Robot in Greenhouse

Geng Changxing Zhang Junxiong Cao Zhengyong Li Wei

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

A precision agrochemical application robot installed on elevated guide rails for cucumber disease management in greenhouse was developed. This robot integrated a disease diagnosing and early warning system, a variable agrochemical application system and control system. Diseases were acquired by using machine vision, and quantitative effects were analyzed according to the color and texture for cucumber plants. Relations between environment information cycle data, including illumination, soil temperature, air temperature and moisture, and plant disease valid characteristic were established to realize the early-warning of arising and growing trend of the disease. The environmental elements comparison and lesions on cucumber distribution offered the basis of decision for trajectory planning and target spray. The spray task was performed by a PLC controlled three-degree of freedom Cartesian coordinate manipulator and each individual nozzle. The robot which worked stably and availablely was tested in laboratory.

Key words Agrochemical application robot, Greenhouse, Environment information, Target spray, Machine vision

引言

对靶施药机器人是利用机器视觉获取病害信息,实现病情预警、判断和病灶定位,控制机械臂和变量喷头完成对靶喷雾作业的智能装备。近年来,

对靶施药成为精细农业领域的研究热点。国外一些研究成果已见报道^[1-10]。目前国内相关研究刚起步,在大田、果园和设施农业病害防治方面进行了有意义的探索^[11-13]。本文研究一种机器视觉引导的温室黄瓜病害对靶施药机器人系统,采用自走式悬

收稿日期: 2010-01-21 修回日期: 2010-05-10

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2008AA100905、2007AA04Z222)、高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(200800191014)、中国农业大学科研启动基金资助项目(2007027)和中国农业大学基本科研业务费研究生科研创新专项

作者简介: 耿长兴, 博士生, 主要从事机器视觉和农业机器人技术研究, E-mail: gcxk@cau.edu.cn

挂系统实现对黄瓜等篱笆型植物精准施药,实现温室作业空间和光照的多变性等非结构化环境下的信息获取和对靶施药。

1 材料和方法

1.1 系统原理

温室对靶施药机器人系统配置如图1所示,由病情诊断和预警系统、变量施药系统(移动底盘车、机械臂和变量喷嘴)以及控制系统构成。病情诊断和预警系统获取病害表征信息,并加以处理,得到病灶位置和病情程度等,据此控制变量施药系统对靶变量施药。

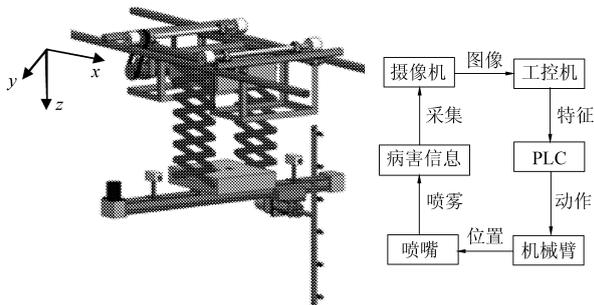


图1 对靶施药机器人系统配置

Fig. 1 Configuration of target agrochemical application robot system

1.2 试验规划

温室黄瓜种植密集、株距和垄距狭小、叶片稠密且老叶和病叶大量存在,造成黄瓜垄地空气流动差、温湿度高等不利条件,妨碍黄瓜病虫害的信息采集和有效防治。本研究在中国农业大学上庄科研试验基地进行,利用试验基地现有条件,结合农艺、叶面积指数和传感器布置方式,构造了适合温室环境条件下病害获取的黄瓜种植模式。黄瓜株距为400 mm,减少相邻植株间交叉遮挡;垄间距为1 000 mm,为施药机器人预留工作空间。通过放蔓保持成熟黄瓜株高限制在2 000 mm以内,每株黄瓜功能叶片数量保持在15叶左右,及时打杈、打老叶、疏花果和摘卷须。

为了使机械臂在一次作业中能够有效覆盖黄瓜植株,根据黄瓜的种植模式,以减少养分消耗和叶片信息相互遮挡,保持丰产塔式株型,并考虑到喷嘴的喷幅,以及黄瓜叶片主要集中在400~1 600 mm的范围,按照如图2所示规划了机器人的工作空间。实线区域为喷杆的工作区域,当喷嘴工作距离为300 mm时,对应120 mm×120 mm的喷幅,因此喷嘴组的实际工作空间要比喷杆工作空间大,虚线区域即为喷嘴组的工作空间,并且在工作时能够有效地覆盖3棵植株的主要病害生长区域。通过剪叉升降

和移动底盘车换轨,可以扩展工作空间的范围。

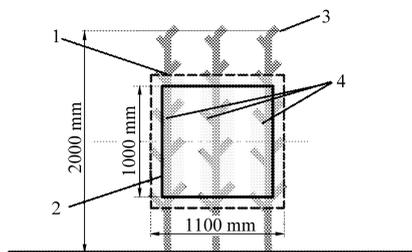


图2 施药机器人工作空间规划

Fig. 2 Agrochemical application robot workspace planning

1. 喷嘴组工作空间 2. 喷杆工作空间 3. 黄瓜植株 4. 植株有效覆盖区域

全局视觉传感器采用分辨率为540 TVL的模拟摄像机,为了减少光照变化的影响,配装3.5~8 mm自动光圈镜头,安装高度为3 m,两个摄像头采集区域完全覆盖温室内黄瓜垄地。两个局部视觉传感器安装在一维移动单元上,安装方式如图1所示。选用北京嘉恒中自公司的OK-AC1300型高分辨率RGB摄像头,采集图像分辨率为1 024×768,加装5 mm焦距镜头,工作距离为600 mm时,对应的观测范围为800 mm×600 mm,图像每像素对应区域小于0.7 mm×0.7 mm,能捕获到细微的病害表征信息,双目图像覆盖1 500 mm×600 mm区域。环境传感器分别选用高分辨率的温度传感器、湿度传感器和光照强度传感器,分辨率依次分别为0.1℃、±0.1%和0.1 lx。环境传感器定时采样,输入周期环境数据库,若环境参数值极值连续5 d偏离正常阈值范围,则发出病害预警信号,全局视觉传感器从定时采集转入实时采集分析垄地图像,监测病害的发生及分布情况。病情诊断和预警系统传感器分布规划如图3所示。其中温、湿度传感器3悬挂于距离地面高度1 000 mm处,采集垄地内部温湿度;光强传感器4放置于垄地南端中央地面上,免受植株等障碍阻挡阳光;土壤温度传感器5插入垄地中心土壤70 mm深处。

2 信息处理与控制设计

2.1 病害信息获取及处理

对靶施药首先需要及时获取靶标的信息,对病害进行准确的定量衡量。病害会使黄瓜植株和叶片在颜色、形状和纹理上发生变化,出现病症和斑纹分布。本系统以“千春9号”黄瓜霜霉病为例,采用基于机器视觉的病害信息获取,根据病害部位和正常部位在颜色和纹理信息的差别进行感染程度判别和定位。

单目全局视觉传感器获取的黄瓜垄地图像如

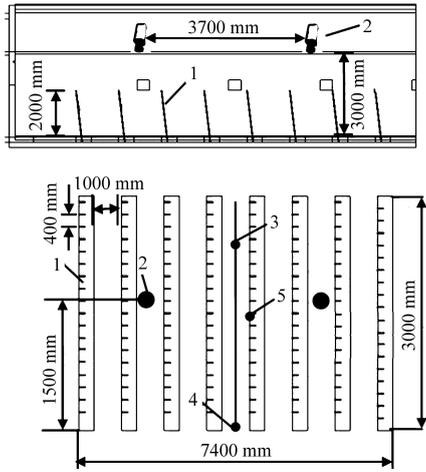


图 3 病情诊断和预警系统传感器分布
Fig. 3 Disease diagnosing and early warning system sensors distribution

1. 黄瓜单垄 2. 全局视觉传感器 3. 温、湿度传感器 4. 光强传感器 5. 土壤温度传感器

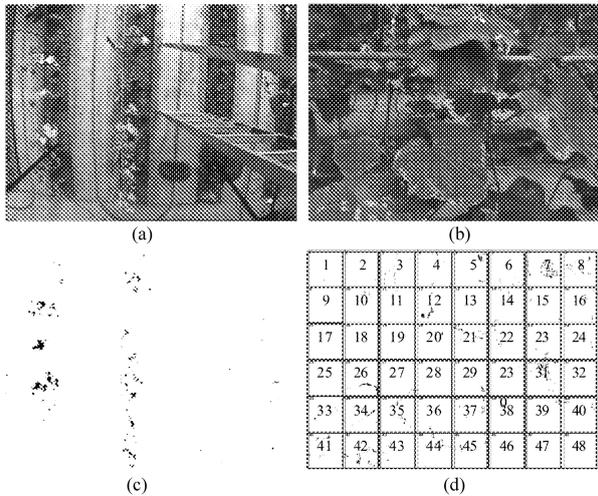


图 4 视觉图像处理示例结果

Fig. 4 Results of image processing

(a) 单目全局原图像 (b) 单目局部原图像 (c) 单目全局处理结果图像 (d) 单目局部子区域分级结果

图 4a 所示。全局视觉传感器固定安装于温室顶棚, 标定得到图像对应的空间位置, 实现移动底盘车按垄或病害定位停车, 单目全局图像处理结果如图 4c 所示, 能有效提取病害垄, 滤除背景噪声干扰。单目局部视觉传感器获取黄瓜病害图像如图 4b 所示。对于实时施药而言, 病害发生具有空间和时间分布的非均匀性, 不同植株和叶片上的病害程度也有很大差异, 同时喷嘴不可能针对任一病害部位进行点状喷雾, 本文选择的喷嘴在距离目标 300 mm 时, 喷幅为 120 mm × 120 mm。本文以子区域病害程度代替叶片病情, 子区域的面积与喷幅、成熟叶片面积相适应, 实时分析得出基于子区域的病情等级, 按照子区域中病害百分比将病情程度分为 5 级, 得出子区

域病情等级表, 从而有效决策施药机器人对每块区域的喷雾时间和喷雾量, 为喷嘴控制提供直观依据, 如图 4d 所示。表 1 为图 4d 所示的子区域病情程度示例。

表 1 子区域病情程度

Tab. 1 Disease severity of subzones

子区域 序号	病害像素 数量	病害百 分比/%	子区域 序号	病害像素 数量	病害百 分比/%
1	6	0.037	25	16	0.098
2	32	0.195	26	274	1.672
3	98	0.598	27	96	0.586
4	96	0.586	28	5	0.031
5	259	1.581	29	73	0.446
6	84	0.513	30	24	0.146
7	573	3.497	31	599	3.656
8	181	1.105	32	3	0.018
9	0	0	33	45	0.275
10	51	0.311	34	158	0.964
11	22	0.134	35	181	1.105
12	319	1.947	36	49	0.299
13	1	0.006	37	93	0.568
14	67	0.409	38	0	0
15	27	0.165	39	78	0.476
16	73	0.446	40	116	0.708
17	0	0	41	168	1.025
18	1	0.006	42	352	2.148
19	4	0.024	43	40	0.244
20	49	0.299	44	174	1.062
21	183	1.117	45	109	0.665
22	78	0.476	46	0	0
23	124	0.757	47	0	0
24	33	0.201	48	0	0

2.2 控制系统

控制系统由显示屏、控制面板、工控机、PLC 与外围电路组成。其中, 工控机、显示屏和控制面板与机器人分离, 安装于控制室内。操作人员通过控制面板控制机器人以及通过显示屏对机器人的状态进行实时监控, 保证了在整个施药过程中工作人员无需进入温室, 从而有效降低了农药对工作人员的伤害。全局视觉传感器采集黄瓜垄地图像, 分割、提取病害信息并将信息传递至工控机。工控机作为上位机向 PLC 发送指令, PLC 启动底盘车按照病情程度由重到轻依次移动至病害垄, 机械臂向下运动至规定位置, 触发局部视觉传感器采集黄瓜植株和叶片病害信息, 并对采集区域中的多目标黄瓜植株和病害信息进行识别, 得出局部视觉传感器采集区域内黄瓜子区域病情等级表。喷杆旋转至竖直状态, 喷杆移动定位病害, 根据病情等级表独立控制喷嘴喷雾时间。温湿度、土壤和光强传感器的数据传送

至工控机,与周期易发病极端环境数据进行对比,如果拟合度连续5 d达到85%,但在全局视觉传感器没有发现病害的前提下,发出强预警信号,机器人巡航采集黄瓜植株信息,发现病情即进行施药,否则,施药机器人复位。施药机器人系统工作流程如图5所示。实验室内测试施药机器人效率,导轨高度为2 500 mm,施药机器人起点位置距病害垄4 000 mm,黄瓜病害防治幅面为1 800 mm×1 500 mm,移动平台行驶时间为6.2 s,机械臂作业时间72.4 s,其中喷雾时间为18.2 s。图像分析算法均在Microsoft Visual C++ 6.0环境下实现,计算机配置为:CPU, Intel Pentium(R), 3.06 GHz;内存1 GB。图像处理过程耗时63 ms。

3 结束语

自走式悬挂施药机器人有效利用温室空间,通过机器视觉获取病害信息,采用基于黄瓜叶面颜色和纹理信息图像处理方法实现了病害的有效识别,并建立了子区域病情等级评价标准,为变量施药提供了决策依据。病情诊断系统融入了环境要素预警系统,监控温室环境信息与周期易发病极端环境数据对比,从而达到黄瓜病害的预警和主动防治目的。通过试验表明,施药机器人具有较好的稳定性和实用性。

参 考 文 献

- David Williams, Brian A Lentz, Harold E, et al. Greenhouse watering apparatus: US, 4074856[P]. 1978-02-21.
- Pieter Johannes, Ende te's-Gravenzande, Antonle Lzak, et al. Method for spraying cultivations in greenhouse involves using at least one fluid reinforced by gas to promote full coverage of growing plant; NL, 1018899[P]. 2003-05-01.
- Naoki Sakatani, Yukio Ogihara, Junichi Akaike, et al. Fully-automatic spraying system employing spray car; US, 5397056[P]. 1995-03-14.
- Sammons P J, Furukawa T, Bulgin A. Autonomous pesticide spraying robot for use in a greenhouse[C]// Australian Conference on Robotics and Automation, Sydney, Australian, 2005: 1~8.
- Tian L, Reid J F, Hummel J W. Development of a precision sprayer for site-specific weed management[J]. Transactions of ASAE, 1999, 42(4): 893~900.
- Lei T. Development of a sensor-based precision herbicide application system[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 36(2~3): 133~149.
- Giles D K, Slaughter D C. Precision band spraying with machine-vision guidance and adjustable yaw nozzles[J]. Transactions of ASAE, 1997, 40(1): 29~36.
- Gillis K P, Giles D K, Slaughter D C, et al. Injection mixing system for boomless, target-activated herbicide spraying[J]. Transactions of ASAE, 2003, 64(4): 997~1 008.
- Hong Y Jeon, Lei Tian, Loren Bode, et al. Plant specific direct chemical application field robot[C]//2009 ASABE Annual International Meeting, Reno, 2009.
- Li Yan, Xia Chunlei, Lee Jangmyung. Vision-based pest detection and automatic spray of greenhouse plant[C]//2009 IEEE Internaitonal Symposium on Industrial Electronics, Seoul, 2009.
- 刘青,傅泽田,祁力钧,等. 9WZCD-25型风送式超低量喷雾机性能优化试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(9): 44~47.
- 王万章,洪添胜,李捷,等. 果树农药精确喷雾技术[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 98~101.
- 郭艳玲,李志鹏. 可定制功能温室自动喷灌系统[J]. 农业机械学报, 2005, 36(12): 99~101.

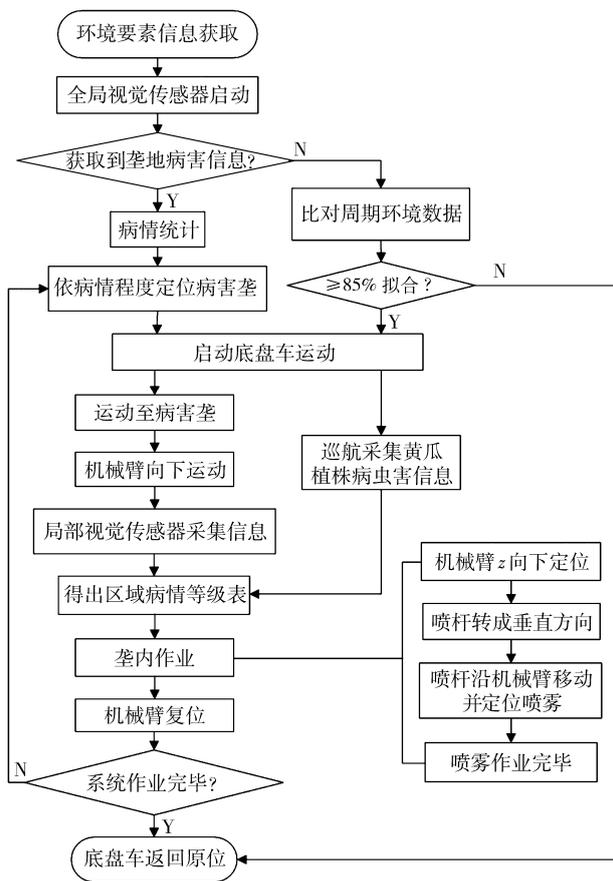


图5 施药机器人系统工作流程

Fig.5 Work flow of the agrochemical application robot