

嵌入式技术在水稻花粉图像自动采集中的应用

胡汉峰¹ 顾松山¹ 王子周²

摘要

传统监测采集水稻花粉的方法所需的工作量非常大,而且不能获得安全评估模型所需的水稻花粉时空分布精度的实测资料.为此研制出一种便携式的既不干扰花粉的自然沉降,又可以实时获得当前空间水稻花粉浓度的水稻花粉图像自动采集仪.仪器以 ARM 芯片为核心构建的嵌入式 Linux 平台为基础,外部扩展了 Camera、SD 存储卡和步进电机等设备,满足了实验所需的基本功能.水稻花粉图像自动采集仪完全模仿人工采集花粉数据的过程,不会破坏花粉在空间的分布情况,可以准确获得水稻花粉的空间实时分布.仪器采集的水稻花粉空间分布数据完全符合了安全评估所需,丰富了水稻花粉扩散模型数据库的资料,节省了人力资源,为转基因水稻安全性监测和评估提供了有力的帮助.

关键词

转基因安全; ARM; CMOS 摄像头; 步进电机; 嵌入式驱动

中图分类号 TH71; TG803

文献标志码 A

收稿日期 2011-03-22

资助项目 国家转基因科技重大专项课题 (2008ZX-08011-001)

作者简介

胡汉峰,男,硕士生,研究方向为大气探测技术及天气资料处理. huhanfeng@163.com

1 南京信息工程大学 大气物理学院,南京, 210044

2 中国人民解放军 95402 部队,贵阳,550031

0 引言

水稻抗基因研究的飞速发展,不但解决了粮食短缺问题,也带来了极大的经济效益.在取得巨大成功的同时,转基因水稻生产的安全性问题正日益受到人们的关注.农业转基因作物安全是指防范农业转基因生物对人类、动植物、微生物以及生态环境所构成的危险或者潜在的风险^[1-3].花粉作为基因逃逸的一个主要途径也成为了人们研究的主要内容,因此准确地估算水稻花粉扩散浓度和最大扩散距离成为评估、防御、预测转基因水稻生产安全及其环境风险的重要基础性工作.

目前对于水稻花粉扩散源强度模型的数据还停留在人工采集阶段,主要采用自然重力沉降法,在实验田沿风方向等距离放置木架,每个木架沿垂直方向设置 3 个高度,放置均匀涂有凡士林的载玻片作为捕捉花粉的载体^[4-5],最后将沉降了花粉颗粒的载玻片带回实验室,在生物光学显微镜或荧光显微镜对载玻片捕获的花粉进行分类识别以及定量计算.通常情况下一个载玻片采样的周期为 1 d,整个实验过程需要大量的人力,而且无法实时统计出花粉的空间分布情况.因此,设计出一种能够实时自动采集花粉数据的设备具有现实意义.

本文介绍的花粉数据自动采集仪是在以 ARM9 芯片为核心构建的嵌入式 Linux 系统下完成的.随着计算机技术的发展,嵌入式技术由于其软硬件可裁剪、稳定性高、功能强大、成本低、体积小、功耗低等特点,被人们广泛地应用于日常生活和科学研究中.嵌入式 Linux 系统因为具有开源性、多任务多进程、功能模块化、支持平台多样化等优点已经被广泛应用于嵌入式领域^[6].

1 设备及采集流程

1.1 仪器硬件组成

仪器的硬件体系主要由 3 个部分组成: ARM 控制板、生物电子显微照相机以及 3 台步进电机组成的三维步进电机采样平台.仪器采用锂电池供电,可以在外场连续工作 10 d 左右.

ARM 控制板采用三星公司的 S3C2440 作为核心,配置了 128 M 的 NAND flash 以及 SDRAM,另外扩展出了 1 个 USB 接口、1 个串口、一个 SD 卡接口以及 Camera 接口. S3C2440 本身具有 CMOS 摄像头接口,总共包含 7 个部分: 模式选择、捕获单元、预览模式定标、编码模式

定标、预览直接存储器 and 编码直接存储器、特殊寄存器。在预览模式通道下将输入的数字信号转换成 RGB 图像数据格式存储在预览直接存储器中,最大分辨率达到 640 像素 × 480 像素,而在编码模式通道下将输入的数字信号转换成 YCbCr 数据格式存放在编码直接存储器中,存储图像的最大分辨率则达到 4 096 像素 × 4 096 像素。本文采用的是编码模式,将生物显微电子照相机传回来的数字信号经过编码通道转换成 YCbCr 数据格式,最终通过数字图像处理技术将 YCbCr 数据格式转换成 JPEG 格式,并且加以压缩,以 1 280 像素 × 1 024 像素大小的图像分辨率存放在 SD 存储卡中。本文采用 ARM 控制板为核心,构建嵌入式 Linux 平台,控制生物电子显微照相机拍照和三维步进电机采样平台运转,达到实时采集效果。

生物电子显微照相机的设计原理主要参考传统显微镜,将显微镜的目镜部分换成 CMOS 传感器 OV9650,物镜看到的内容显示在 CMOS 传感器 OV9650 上,然后把 OV9650 生成的图像信号传输到 ARM 控制板的 Camera 接口。美国 OV 公司的 130 万像素 CMOS 传感器 OV9650,支持 SXGA、VGA、QVGA、CIF 等多种图像输出格式,包含了自动曝光控制、自动增益控制、自动白平衡以及自动黑白级校准等功能。仪器采用的是最大的像素 SXGA 图像格式。

三维步进电机采样平台由载玻平台、驱动器、3 个步进电机及传动机构组成。通过 3 个步进电机实现采样平台的自由移动。1# 电机控制采样平台在调焦时的上下移动; 2# 电机控制采样平台的左右移动; 3# 电机控制采样平台的前后移动。组合起来可实现在

三维空间内对采样平台的调整,完成调焦以及拍摄视野移动等功能。电机控制的最小移动步距是微米量级,可实现准确地对焦和移动。

步进电机的驱动芯片采用瑞士 SGS 公司的恒压恒流的桥式驱动芯片 L298N,输出最高电压为 50 V,电流为 2 A。内置的桥电路,可以很方便地驱动 1 个两相步进电机,控制电机的正反转,直接使用 ARM 的 GPIO 口提供驱动信号,而且应用电路简单,使用方便。平台中的 3 个步进电机采用了 3 个 L298N 驱动器分别驱动。L298N 驱动器电路如图 1 所示。

1.2 工作流程

仪器工作完全模拟人工采集花粉数据的过程,将仪器架在试验田沿风方向,在步进电机采样平台上放置载玻片用来接收花粉自然重力沉降。仪器开始工作之前要进行初始化设置,首先通过 1# 电机上下移动采样平台,调整好焦距,再通过 3# 电机将采样平台伸出,等待花粉沉降。启动定时器每隔 30 min 自动控制 3# 电机将伸出来的采样平台收回,开启生物电子显微照相机对沉降在载玻片上的水稻花粉进行拍照,同时通过 2# 电机将采样平台进行左右方向的平移,实现多点拍摄,最后再次利用 3# 电机将采样平台伸出,继续等待花粉沉降,同时将存储在 Flash 中的花粉照片一次性的传输到 SD 存储卡,以供后期的资料存储、处理和分析。整个花粉数据采集过程没有干扰到花粉的自然沉降,获得的花粉图片资料真实可靠。工作流程如图 2 所示。

2 系统软件设计

基于嵌入式 Linux 的 CMOS 摄像头图像采集系

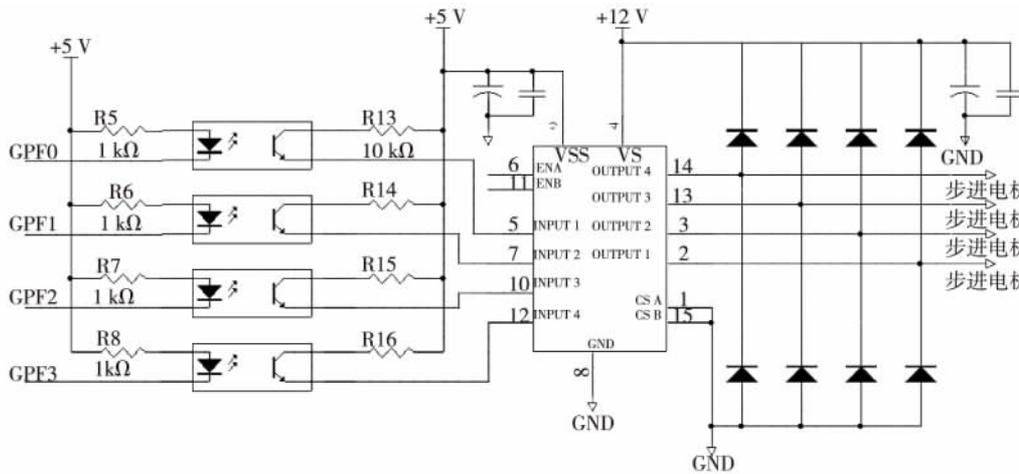


图 1 步进电机驱动电路

Fig. 1 Driving circuit diagram for stepping motor

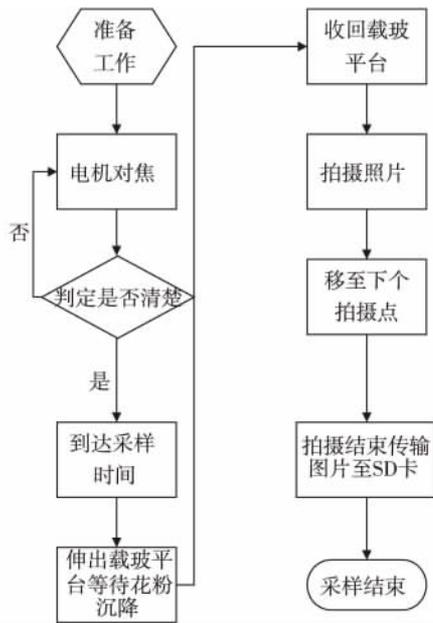


图2 工作流程

Fig. 2 Working procedure diagram

统由 CMOS 摄像头驱动程序、步进电机驱动程序、上层图像采集处理程序构成。驱动程序均以模块的方式在编译 Linux 内核时加载在内核文件中,便于驱动程序的更新以及出现故障时的检查和维护。

2.1 嵌入式 Linux 驱动程序

驱动程序作为操作系统内核和机器硬件之间的接口主要完成以下 4 个功能^[7-8]:

- 1) 对硬件设备的初始化以及释放;
- 2) 在系统内核和硬件设备之间传输数据,包括将内核数据传送到硬件和从硬件读取回数据到内核;
- 3) 将应用程序发送的数据传送给设备文件和从设备文件中回送应用程序请求的数据;

4) 检测和处理硬件设备出现的错误。

Linux 操作系统下驱动程序主要分成 3 个类型: 字符设备驱动、块设备驱动和网络设备驱动。字符设备和块设备的主要区别是: 字符设备是没有缓存的设备,块设备的读写都有缓存来支持。在对字符设备发出读/写请求时,也在同时对实际的硬件 I/O 进行操作,块设备则利用一块系统内存作缓冲区,主要针对磁盘等慢速设备设计的,以免耗费过多的 CPU 时间来等待,并且块设备必须能够随机存取,字符设备则没有这个要求^[9]。

2.2 CMOS 摄像头驱动程序

Video4Linux(简称“V4L”)是 Linux 下用于获取视频和音频数据的 API 接口。在视频监控系统中有着非常广泛的应用。CMOS 摄像头驱动程序正是基于 V4L 的基础框架,进行了简单的修改而得来的。

摄像头的驱动模块包括摄像头的初始化配置、操作控制程序以及数据传输程序这几个层次。

首先通过 `Open(“/dev/video0”,O_RWRD)` 打开视频设备,接着对摄像头进行初始化设置。摄像头的初始化主要完成 CMOS 芯片的寄存器设定, S3C2440 对应的管脚 GPIO、时钟频率、中断等的设置以及采集图片的数据结构成员的初始化。CMOS 芯片 OV9650 的初始化通过 SCCB 接口完成,设置输出格式、自动增益、曝光控制和采样时钟。对 S3C2440 的 GPIO 设置,则由 `camere_init()` 函数完成。包括对数据传输端口、摄像头像素时钟信号、摄像头场同步信号、摄像头行同步信号以及摄像头时钟信号的设置。信号时序关系如图 3 所示。

初始化操作完成之后通过 `camera_register_device()` 函数对设备进行注册^[10],同时按照要求选择好 Camera 的通道为 Codec 通道,设置输出图像的格

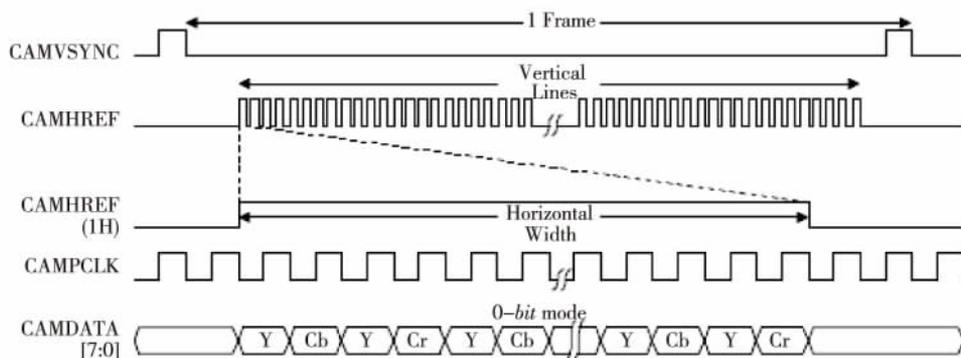


图3 输入时序

Fig. 3 Input timing diagram

式以及分辨率.

对文件的操作控制包括 Camera 驱动模块的加载 `ioctl()` 函数设定待采集图像的各种属性: Palette、Bpp、Width 和 Height, 并且启动图像采集和关闭图像采集, `read()` 函数读取帧数据, `mmap()` 函数将采集的图像数据映射到内存中供应用程序读取, `close()` 函数退出 Camera 驱动模块.

2.3 步进电机驱动程序

驱动步进电机只需控制 S3C2440 的 GPIO 按照步进电机的工作时序输出一定的脉冲信号即可. 驱动程序采用的是二相八拍的驱动方式, 驱动时序为 $AB-B\bar{A}B-\bar{A}B-A\bar{B}-A-AB$. 每个脉冲信号的步距角为 0.9° . 旋转示意如图 4 所示.

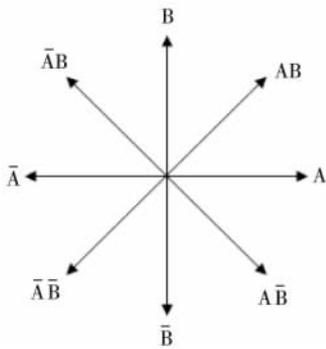


图 4 相位旋转

Fig. 4 Phase rotating diagram

其驱动程序流程如下:

`static int _ _init moto_init()` 函数, 步进电机驱动程序初始化入口函数, 并且调用 `devfs_register` 完成对驱动设备的注册以及对 `file_operations` 结构体的赋值;

`static int moto_open()` 函数, 负责打开步进电机驱动设备文件, 并且完成对 S3C2440 相应 GPIO 的寄存器设置;

`static int moto_ioctl()` 函数, 用来接收应用程序传来的指令数据, 让硬件执行用户所需的操作, GPIO 交替输出高低电平信号, 驱动步进电机工作;

`static int moto_close()` 函数, 负责关闭步进电机驱动设备文件, 当最后一次使用设备完成后, 调用该函数完成关闭设备的操作;

`static void _ _exit moto_exit()` 函数, 作为步进电机驱动程序的退出函数用来注销驱动设备.

2.4 图像采集处理程序模块

图像采集处理程序模块包括 2 个方面: 一个是调用摄像头驱动程序进行拍照的拍照程序; 另一个是调用步进电机驱动程序控制步进电机的移动的步进电机控制程序. 步进电机控制程序分成电机的正

转和反转 2 个程序. 仪器的工作过程是个自动重复的过程, 因此可以将拍照程序和步进电机控制程序分别编译成 3 个可执行文件, 通过 Shell 编程的方法让 Linux 系统完成定时图像采集的过程.

拍照程序流程:

```
fd = open( camera ,O_RDWR); 打开 camera;
Addr = ( unsigned char * ) mmap( NULL ,Size ,PROT_READ|PROT_WRITE ,MAP_SHARED ,fd ,0); 内存申请;
read( fd ,Addr ,Size); 发送拍摄指令 ,调用驱动程序进行拍照 ,并且读取驱动传回的数据 ,保存到申请的内存空间.
yuv2jpg( int fd) 函数 ,将内存的图像数据转换成 JPG 格式保存到 FLASH 存储卡上.
```

步进电机控制程序流程:

```
fd = open( /dev/motor ,O_RDWR); 打开驱动设备;
ioctl( fd ,_n_motor_no); 用 ioctl() 函数控制 GPIO 口输出高低电平 ,高低电平的顺序决定了电机的转向. 需要输出的脉冲时序参考图 4 所示相位旋转所需的时序.
close( fd); 关闭驱动.
```

3 结论和展望

本文所设计的水稻花粉数据自动采集仪器于 2009 年 9 月以及 2010 年 9 月在南京溧水江苏省农业科学研究所的实验田成功工作了 2 个完整的采集周期, 没有出现任何异常和故障. 采集的水稻花粉图片以当时拍摄的日期和时间来命名, 符合转基因水稻环境安全评价技术研究所需, 丰富了转基因水稻环境安全评价研究的资料. 同时将获得的花粉图片在计算机上进行增强处理, 通过程序自动识别出每张图片上花粉的数量, 并且进行了相应的订正, 修正了拍照时间遗漏的花粉数, 准确反演出了仪器所在地点的载玻平台高度处花粉浓度分布.

本次实验过程只采用了一台仪器对某一个点的花粉浓度分布做了采集, 其数据作为人工采集数据的一个参考. 目前由于仪器成本等因素, 还无法进行多点、多层次综合布网. 随着电子技术的发展, 仪器成本的降低, 完全可以做到多点、多层次综合布网, 全面取代人工采集花粉资料的工作, 并且可以在仪器上扩展其他的气象要素探测传感器和无线网络模块, 测量出作物周围的温、压、风、湿等气象要素, 通过无线网络信号将测量的气象要素和采集的花粉图像资料传回到电脑上做后期分析.

参考文献

References

- [1] 贾士荣. 转基因作物的环境风险分析与研究进展[J].

- 中国农业科学 2004 37(2): 157-187
JIA Shirong. Environmental risk assessment of GM crops: progress in risk assessment [J]. Scientia Agricultura Sinica 2004 37(2): 157-187
- [2] 胡平, 姚国新, 盛继群. 转基因作物安全性研究进展 [J]. 安徽农业科学 2006 34(16): 3955-3956, 3961
HU Ping, YAO Guoxin, SHENG Jiqun. Research advance in the safety of transgenic crop [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences 2006 34(16): 3955-3956, 3961
- [3] 钱迎倩, 田彦, 魏伟. 转基因植物的生态风险评价 [J]. 植物生态学报, 1998 22(4): 289-299
QIAN Yingqian, TIAN Yan, WEI Wei. Ecological risk assessment of transgenic plants [J]. Acta Phytocologica Sinica, 1998 22(4): 289-299
- [4] 赵莉莉, 刘寿东, 胡凝, 等. 水稻花粉扩散源强估算方法研究 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(23): 10833-10834, 10837
ZHAO Lili, LIU Shoudong, HU Ning. Study on the estimation method of source strength in pollen dispersal [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(23): 10833-10834, 10837
- [5] Helbig N, Vogel B, Vogel H, et al. Numerical modelling of pollen dispersion on the regional scale [J]. Aerobiologia 2004 20(1): 3-19
- [6] 张大波, 吴迪. 嵌入式系统原理、设计与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004
ZHANG Dabo, WU Di. Embedded system principle, design and application [M]. Beijing: China Machine Press 2004
- [7] Yaghmour K. 构建嵌入式 Linux 系统 [M]. O'Reilly Taiwan 公司, 译. 北京: 中国电力出版社, 2004
Yaghmour K. Building embedded Linux systems [M]. Beijing: China Electric Power Press 2004
- [8] Corbet J, Rubini A, Kroah-Hartman G. Linux 设备驱动程序 [M]. 3 版. 魏永明, 耿岳, 钟书毅, 译. 北京: 中国电力出版社, 2006
Corbet J, Rubini A, Kroah-Hartman G. Linux device drivers [M]. 3rd ed. Beijing: China Electric Power Press 2006
- [9] 孙天泽. 嵌入式设计及 Linux 驱动开发指南-基于 ARM9 处理器 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005
SUN Tianze. Embedded design and Linux driver development based on ARM9 [M]. Beijing: Electronic Industry Press 2005
- [10] 周巍松. Linux 系统分析与高级编程技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997
ZHOU Weisong. Linux system analysis and advanced programming technology [M]. Beijing: China Machine Press, 1997

Application of embedded technique in automatic collection of rice pollen image

HU Hanfeng¹ GU Songshan¹ WANG Zizhou²

1 School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 95402 Troops, PLA, Guiyang 550031

Abstract Wide application of transgenic technology in agriculture brings enormous benefit to the humanity, yet poses potential threats to the environment and ecological diversity. The safety concern of transgenic rice has taken the center stage in both public and scientific forum. Being regarded as a main way of gene flow, the rice pollen has become an important test subject for monitoring and evaluating of transgenic rice safety. It's of significance to establish the rice pollen diffusion model and calculate the isolation distance for rice gene safety. However, the traditional method of monitoring and collecting rice pollen needs heavy workload and can not provide actual data of rice pollen's space-time distribution, which is just required by the security evaluation model. We develop a portable instrument for automatic collection of rice pollen image, which can obtain the rice pollen's space-time distribution without disturbing the natural subsidence of rice pollens. Based on the embedded Linux platform with ARM chip as its core component, the instrument adds external equipments such as camera, SD memory card and stepping motor to satisfy the function of the experiment. The instrument collects the pollen data as manual gathering as possible with least disturbance, and provides real-time spatial distribution of rice pollen. Results of application show that the data collected can meet the requirements of safety evaluation, which will enrich the database of rice pollen diffusion model. The instrument saves human resources, and offers help for transgenic rice security monitoring and evaluating.

Key words transgenic safety; ARM; CMOS camera; stepping motor; embedded drive