

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.02.046

基于嵌入式应用的高分辨率农业图像采集节点设计*

肖德琴¹ 黄顺彬¹ 殷建军¹ 傅俊谦¹ 可欣荣²

(1. 华南农业大学信息学院, 广州 510642; 2. 华南农业大学工程学院, 广州 510642)

摘要: 针对现有农业图像采集设备分辨率低且无法调节图像效果的现状,提出一种基于 ARM、CMOS 图像传感器和嵌入式 Linux 操作系统的高分辨率农业图像采集节点的设计方案。设计了采集节点的硬、软件体系结构,实现了图像传感器驱动控制,可进行 5 种白平衡、7 级亮度、5 级对比度、5 级饱和度的图像采集效果控制。试验结果表明,本采集节点能进行 2 048 像素×1 536 像素的图像采集,并能较好地控制图像的白平衡、亮度、对比度、饱和度等像素效果。所设计节点具有体积小、成本较低等特点,可广泛应用于农业图像采集。

关键词: 农业图像 高分辨率 节点 嵌入式设计

中图分类号: S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)02-0276-06

引言

随着传感技术、无线网络技术的不断发展以及 ARM 运算能力的不断增强,越来越多的图像采集节点被用于现代农业生产中。农业图像节点能提供生产现场实时准确的视频图像信息,采集的高分辨率图像在监测农作物生长^[1]、病虫害害^[2-4]、农产品检测^[5-6]、预测预报等方面发挥着重要的作用。现在国内外研究的图像传感器节点一般由嵌入式 CPU 搭载 CMOS 或 CCD 摄像头组成。在节点的软件系统方面,大部分研究移植 Wince 和嵌入式 Linux 操作系统,并在此基础上构建视频图像采集程序^[7-9]。但是,在当前研究成功的应用方案中,实现的应用分辨率普遍较低^[10-15]。采集图像的分辨率由 CMOS 图像传感器的芯片性能决定,但受限于高分辨率传感器芯片寄存器数量多(300~500)控制较为复杂且缺少效果调试资料等因素,所以现有报道的农业图像传感器大部分采用分辨率较低的 CMOS 传感器芯片,分辨率多为 30 万和 50 万像素,至多是 130 万像素,且对图像的白平衡、亮度、对比度、饱和度等图像效果控制性较差。

本文设计一种能进行高分辨图像采集并能控制图像效果的农业图像采集节点,以嵌入式 ARM 板、CMOS 图像传感器构建采集节点硬件平台,并基于开源嵌入式 Linux 2.6 内核来构建视频图像采集程序,设计一种可在农业生产中进行 320 万像素图像采集的低成本农业图像采集装备。

1 节点硬件结构设计

1.1 硬件结构

在选用硬件平台时,须考虑以下因素:①图像传感器必须具有高清晰度,采集分辨率应达到 2 048 像素×1 536 像素。②ARM 板需有足够高的主频与内存处理高分辨率图像。③高分辨率图像所占内存空间较大,节点应具有大容量的存储空间。

图 1 为节点的硬件组成,表 1 为采集节点主要组件的规格说明。选用 S3C6410 ARM 板作为采集平台,处理器主频达 500 MHz,拥有 64 MB SDRAM 和 256 MB NAND FLASH,还具备了丰富的外设资源,能满足图像采集和压缩的要求。CMOS 图像传感器芯片采用 Ommvision 公司的 OV3640,其最大分辨率为 320 万像素(2 048×1 536),具有 10 位数据接口和标准 SCCB 接口,可以保证图像质量。

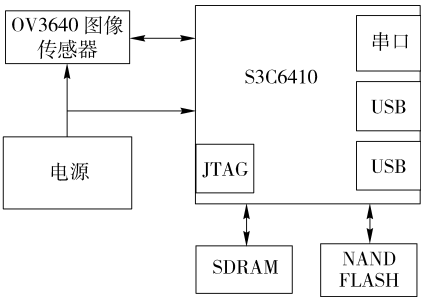


图 1 节点硬件结构

Fig.1 Hardware architecture

收稿日期: 2013-09-14 修回日期: 2013-10-09
* “十二五”国家农村领域国家科技计划课题资助项目(2011BAD21B01-1)
作者简介: 肖德琴,教授,博士,主要从事无线传感器网络、农业信息感知与传输研究,E-mail: deqinx@scau.edu.cn

表 1 节点组件说明

Tab. 1 Node component description

组件	硬件规格
处理器	S3C6410(ARM11T kernel,500 MHz)
SDRAM	64 MB
NAND FLASH	256 MB
图像传感器	CMOS OV3640(最大 3.2 M 像素)
外设资源	电源,USB2.0 接口,串口,I ² C,I ² S

1.2 图像传感器模块电路连接设计

一般情况下,图像传感器模块有两种选择方案:①从市场上直接购买 USB 摄像头模块,这是一种方便使用的工业产品。有内置驱动能做到即插即用,但其分辨率固定且较低,一般为 640 像素 × 480 像素,对图像特殊效果控制差。价格一般较高。②购买图像传感器芯片和电路底板,将两者整合成一个图像传感器模块。一般价格比前者便宜。但需要移植模块驱动程序,可以实现更高分辨率和图像效果的可控。

通过对成本、实用性等因素的考虑,本文决定采用第 2 种方案进行开发。选用 OV3640 图像传感器模块,它是一款经过 BGA 封装后高度集成的模块,内部集成了时序电路、模拟信号处理电路、数字信号处理电路,支持多种数据输出格式。内置 300 多个设备控制寄存器,通过 I²C 接口,可以方便地设置输出图像帧分辨率及白平衡、亮度、饱和度、对比度等图像特殊效果。ARM 板有专用的视频接口,故 ARM 板的 CPU 可以直接和模块芯片连接。图 2 为两者的电路连接设计:OV3640 的控制信号、输出的数据包括像素时钟(PCLK)、水平同步(HREF)、垂直同步(VSYNC)、数据总线(D₀~D₇),通过 2 × 10 针脚数据线分别和处理器的 I²C 总线、CAM 像素扫描时钟信号、CAM 行列扫描信号、CAM 数据线等信号引脚相连。VDD33 是 ARM 板提供的 3.3 V 电源可直接给 OV3640 供电。

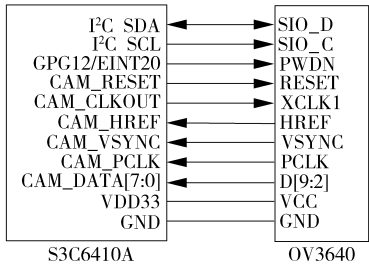


图 2 接口电路设计

Fig. 2 Design of circuit connection

2 节点软件结构设计

系统软件体系结构如图 3 所示。系统内核层由

引导启动程序 Bootloader、嵌入式 Linux2. 6. 28 内核和 yaffs 文件系统、V4L2 (video4linux2) 驱动、I²C 驱动、JPEG 压缩库等组成。在这些基础上,需要进行:① OV3640 图像传感器模块驱动开发。② 最大分辨率的寄存器配置调试。③ 图像特殊效果控制模块开发。④图像采集与压缩程序等方面的开发。

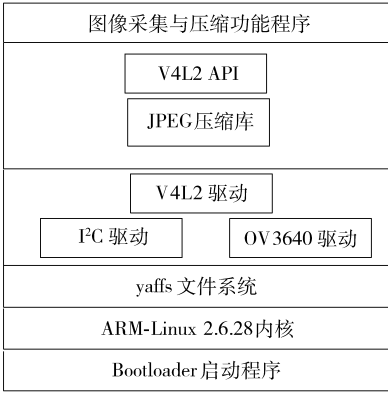


图 3 系统软件体系结构

Fig. 3 Architecture of system software

2.1 图像传感器模块驱动

OV3640 图像传感器模块在 Linux 内核中被描述为字符设备,其驱动程序为应用程序提供一个控制流接口。用户通过设备文件与模块交互,所以需定义关于模块文件操作的结构体 file_operation,并填充该结构体中关于模块文件操作的函数指针。该结构体定义如下

```
struct file_operation ov3640_fops =
{
    .owner = ov3640,
    .ioctl = video_ioctl2,
    .read = v4l2_i2c_write,
    .write = v4l2_2c_read,
};
```

要让传感器模块正常工作,还需对它进行驱动初始化。内核中的 V4L2 驱动已集成模块驱动中的输入/输出控制服务程序、中断服务程序、模块读写控制与命令控制接口,但还需添加传感器模块的 I²C 设备驱动。在 Linux 内核启动时,会对 OV3640 图像传感器模块进行初始化。module_init() 函数是初始化程序的入口,该函数指针指向添加 I²C 设备驱动 i2c_add_driver() 函数,此函数需定义 I²C 设备驱动 i2c_driver 结构体,其中 ov3640_module 为驱动名字, id_ov3640 为驱动编号,ov3640_attach 为挂载适配器函数,ov3640_command 为接收 V4L2 驱动命令的函数。

```
struct i2c_driver ov3640_driver =
```

```
{
    . name = ov3640_module,
    . id = id_ov3640,
    . attach_adapter = ov3640_attach,
    . command = ov3640_command,
};
```

成员函数设计完成后,进行驱动初始化,其主要流程如图 4 所示。

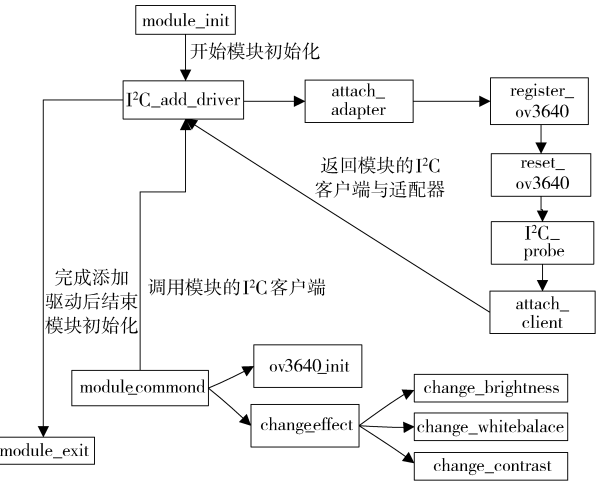


图 4 驱动初始化流程图
Fig. 4 Flowchart of drive initialization

经过这一系列初始化后,内核中将生成 OV3640 传感器的 I²C 客户端,通过适配器可以对客户端进行读写寄存器操作。

Linux2. 6. 28 内核的 bootmen. c 文件中 s3c_mdevs 结构体中默认分配给视频图像设备的内存空间一般为 1. 5 M,但是在 320 万像素图像采集时内存空间使用为 6 M,为了支持最大分辨率的图像采集,应修改内核对 OV3640 传感器模块分配的内存空间。将空间大小扩大才能满足采集要求。

```
Staticstruct s3c_media_device s3c_mdevs =
{
    . id = s3c_fimc_ov3640,
    . name = "s3c_fimc_ov3640",
    . memsize =
//CONFIG_VIDEO_SAMSUNG_MEMSIZE_FIMC *
SZ_1K, 默认的内存空间
CONFIG_VIDEO_SAMSUNG_MEMSIZE_FIMC * SZ
_4K,修改后的内存空间
};
```

2. 2 寄存器配置调试

要使 OV3640 图像传感器模块输出理想效果的图像,需写入 OV3640 芯片中相关寄存器正确的值。但由于 OV3640 是 Ommvision 公司推出的一款商用级芯片,缺少图像效果调试资料和技术支持,所以需

要调试寄存器配置。

本文采集的图像分辨率为 OV3640 输出图像的最大分辨率 320 万像素,为此需将信号的输出尺寸、感光阵列尺寸与阵列中比重、输出图像帧的宽与高等有关寄存器写入值调整为最大。表 2 是本文采用的控制分辨率的主要寄存器配置,寄存器地址与值均为 16 进制数值。

表 2 主要寄存器配置说明

Tab. 2 Configuration instructions of main register

寄存器地址	控制作用	写入值
0x303c ~ 0x303f	感光阵列尺寸	0x08, 0x18, 0x06, 0x0c
0x3030 ~ 0x3037	阵列各部比重	0x62, 0x26, 0xe6, 0x6e 0xea, 0xae, 0xa6, 0x6a
0x3104 ~ 0x3107	同步信号控制	0x02, 0xfd, 0x00, 0xff
0x3300 ~ 0x3302	电信号控制	0x12, 0xde, 0xcf
0x30b8 ~ 0x30bb	输出 YUV 格式	0x20, 0x17, 0x04, 0x08
0x3088 ~ 0x308b	图像信号输出	0x08, 0x00, 0x06, 0x00 0x04, 0x03, 0x00
0x3012 ~ 0x302b	图像帧输出	0x00, 0x01, 0x1d, 0x00, 0x0a, 0x08, 0x18, 0x06,
0x3360 ~ 0x3364	镜头缩放尺寸	0x18, 0x0c, 0x68, 0x08, 0x08, 0x04
0x300e ~ 0x3011	帧相环	0x32, 0x21, 0x20, 0x00

每种图像效果由特定的寄存器控制,改写这些寄存器的值就可控制这种图像效果。以饱和度效果控制为例,标准效果下写入的寄存器数组应该是 {{0x3358, 0x40}, {0x3359, 0x40}},其中 0x40 为写入值。- 1、- 2 级下是将控制寄存器的值降低 10、20,而 1、2 级下是将控制寄存器的值升高 10、20,从而达到调节作用。每种图像效果的不同级值下的寄存器数组配置都已定义并存储,根据要求对应的寄存器数组就可达到控制效果。表 3 是关于控制图像特殊效果的寄存器配置。

2. 3 图像特殊效果控制

在实际使用环境中需要适应光线的变化,调节图像特殊效果来满足使用要求。本文设计了 7 级亮度、5 种白平衡、5 级对比度、5 级饱和度的图像采集效果控制,图 5 显示了图像控制效果的流程图,这种控制设计最终通过配置寄存器来实现。当运行采集程序时,输入带有图像效果参数的操作指令如“./v4l2 -l 1 -b 3 -s -2 -c 2”,在程序预处理时会分析指令,指令被解析为“选择第 1 种白平衡模式,亮度 3 级,饱和度 - 2 级,对比度 2 级”,通过 V4L2 驱动程序的 ioctl() 传递控制解析后的指令,最后写入对应图像效果级数下的寄存器配置。

表 3 图像效果控制配置说明

Tab.3 Control configuration instructions of image effect

寄存器地址	控制作用	写入值
0x332b	自动白平衡	开启:0x00; 关闭:0x08;
0x33a7, 0x33a9	白平衡	模式 1:自动白平衡; 模式 2:0x5e,0x46; 模式 3:0x68,0x4e; 模式 4:0x52,0x58; 模式 5:0x44,0x70;
0x3354, 0x335e	亮度	-3 级:0x09,0x50; -2 级:0x09,0x15; -1 级:0x01,0x05; 0 级:0x01,0x00; 1 级:0x01,0x05; 2 级:0x01,0x15; 3 级:0x01,0x50;
0x3358, 0x3359	饱和度	-2 级:0x10,0x10; -1 级:0x30,0x30; 0 级:0x40,0x40; 1 级:0x50,0x50; 2 级:0x70,0x70; -2 级:0x14,0x14; -1 级:0x18,0x18;
0x335c, 0x335d	对比度	0 级:0x1c,0x1c; 1 级:0x24,0x24; 2 级:0x28,0x28;

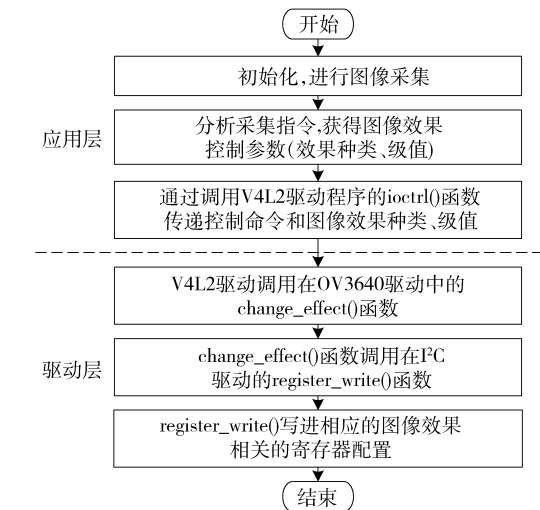


图 5 图像效果控制流程图

Fig.5 Flowchart of image effect control

2.4 图像采集与压缩程序

V4L2 是 Linux 内核中关于图像设备操作的驱动,为应用层提供一系列控制接口。通过调用 APIs 操作,图像传感器模块实现图像采集。从图 6 可以看到采集时图像数据的大致流动:采集开始后传感器模块将数据输出到 DMA 缓冲区内,应用层的采集程序通过使用 V4L2 中 VIDIOC_QBUF 与 VIDIOC_DQBUF 命令接口读取缓冲区中的图像数据,并将

输出的 YUV422 格式图像数据转换成 RGB888 格式,调用 JPEG 压缩原始图像后保存为 jpg 文件。

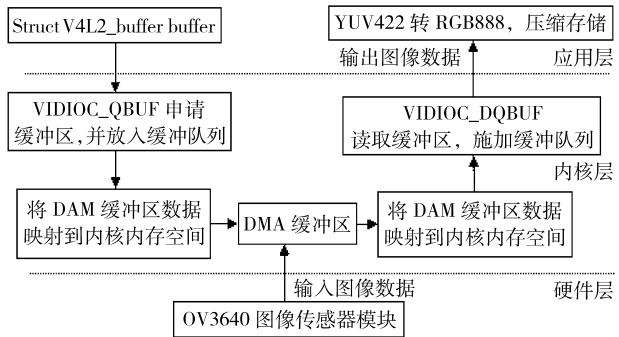


图 6 图像数据流动图

Fig.6 Diagram of image data flow

3 测试与分析

3.1 系统运行测试

测试时主机通过串口控制 ARM 板执行图像采集程序,图 7 是系统实物图与采集图像。节点体积较小,控制板约为 12 cm × 12 cm × 1 cm,图像感知模板 5 cm × 3 cm × 3 cm。图 8 是 Windows 下查看的文件属性与用专业图像处理软件 Adobe Photoshop CS4 打开后显示的图像属性,图像文件大小 448 K,图像宽度 2 048 像素,高度 1 536 像素,图像总分辨率 3 145 728 像素。测试表明传感器节点能稳定采集分辨率为 320 万的图像。

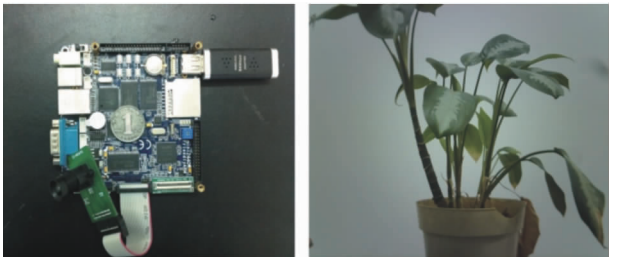


图 7 系统实物图与采集图像

Fig.7 System physical map and captured images



图 8 采集图像信息与文件属性

Fig.8 Capture images information and file property

3.2 野外测试

为了测试在农业生产现场采集的实际图像质量,选取附近菜田基地作为实验场地,对农作物进行图像采集。其中图 9a 是对玉米植株的现场采集图

像,可以清楚观察到植株的根、茎、叶与果实。图 9b 是对丝瓜植株现场的采集图像,可以清晰观察到叶子受虫害侵蚀的面积、位置。测试表明所采集图像可满足农业图像分析的要求。

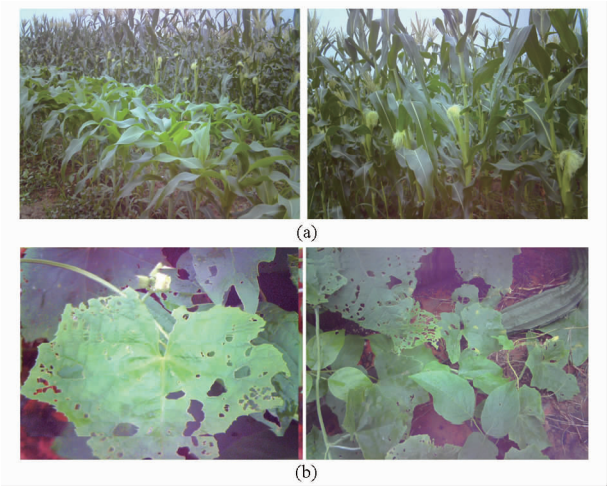


图 9 不同农作物采集图像集合
Fig. 9 Captured images of different crops
(a) 玉米现场图像采集 (b) 丝瓜现场图像采集

3.3 图像效果测试

(1) 白平衡测试

图 10 是白平衡测试中采集的图像集合。可以观察到每种模式下采集到的图像效果有明显变化。



图 10 白平衡测试图像
Fig. 10 White balance test images
(a) 自动模式 (b) 阳光模式 (c) 阴天模式
(d) 办公室模式 (e) 家里模式

(2) 亮度测试

图 11 是在 -3 ~ 3 7 个整数亮度级下采集的图像集合。可以观察到随级数的上升,图像亮度由光线较暗到光线明亮的明显变化。

(3) 对比度测试

图 12 是在 -2 ~ 2 5 个整数对比度级下采集的

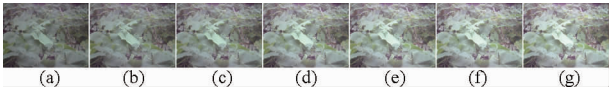


图 11 亮度测试图像
Fig. 11 Brightness test images
(a) -3 级 (b) -2 级 (c) -1 级 (d) 标准级
(e) 1 级 (f) 2 级 (g) 3 级

图像。可观察到随级数的上升,图像从黑到白的渐变层次变多。

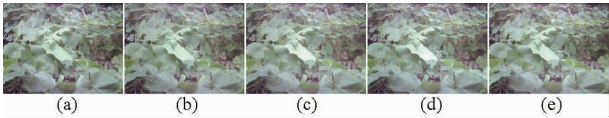


图 12 对比度测试图像
Fig. 12 Contrast test images
(a) -2 级 (b) -1 级 (c) 标准级 (d) 1 级 (e) 2 级

(4) 饱和度测试

图 13 是在 -2 ~ 2 5 个整数饱和度级下采集的图像集合。可以观察到随级数的上升,图像色彩变得越来越鲜艳而丰富。



图 13 饱和度测试图像
Fig. 13 Saturation test images
(a) -2 级 (b) -1 级 (c) 标准级 (d) 1 级 (e) 2 级

4 结束语

利用 S3C6410 ARM 板自带的视频设备接口实现了和 CMOS 图像传感器模块的电路连接,并在嵌入式 Linux 平台下开发出 OV3640 图像传感器模块驱动、图像采集控制,实现了农业上分辨率为 2 048 像素×1 536 像素的图像采集,可以进行 7 级亮度、5 种白平衡模式、5 级对比度、5 级饱和度的图像效果控制。与现有的高精度图像传感器相比,本采集节点具有图像效果控制性强、体积小、成本低等特点,可在农业上推广与应用。

参 考 文 献

1 刘继承,姬长英. 作物长势监测的应用研究现状与展望[J]. 江西农业学报,2007,19(3):17-20.
Liu Jicheng, Ji Changying. Application status and prospects of crop growth monitoring[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2007, 19(3): 17-20. (in Chinese)

2 管泽鑫,姚青,杨保军. 数字图像处理技术在农作物病虫害识别中的应用[J]. 中国农业科学,2009,42(7):231-233.
Guan Zexin, Yao Qing, Yang Baojun. Application of digital image processing technology in recognizing[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(7): 231-233. (in Chinese)

3 韩瑞珍,何勇. 基于计算机视觉的大田害虫远程自动识别系统[J]. 农业工程学报,2013,29(3):156-162.
Han Ruizhen, He Yong. Remote automatic identification system of field pests based on computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(3): 156-162. (in Chinese)

4 李峥嵘,刘月娥,何东健. 基于内容的小麦害虫图像检索系统研究与实现[J]. 农业工程学报,2007,23(11):210-215.

Li Zhengrong, Liu Yue'e, He Dongjian, et al. Investigation and implementation of content-based retrieval system for wheat pest images[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(11): 210–215. (in Chinese)

5 李明, 张长利, 房俊龙. 基于图像处理技术的小麦叶面积指数的提取[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 205–209.

Li Ming, Zhang Changli, Fang Junlong. Extraction of leaf area index of wheat based on image processing technique[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(1): 205–209. (in Chinese)

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, 43(6): 153–160.

Gu Baoxing, Ji Changying, Wang Haiqing, et al. Design and experiment of intelligent mobile fruit picking robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 153–160. (in Chinese)

7 王玲, 王超峰, 郑奎. 基于 ARM 的蛋鸡养殖场网络视频监控系统设计[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 186–191.

Wang Ling, Wang Chaofeng, Zheng Kui. Design and implementation of network video surveillance system for laying hens farm based on ARM[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 186–191. (in Chinese)

8 Jaime Lloret. A wireless sensor network for vineyard monitoring that uses image processing[J]. Sensors, 2011, 11(6): 6 165 – 6 196.

9 Cao Zhiyan. An image sensor node for wireless sensor networks[J]. Information Technology: Coding and Computing , 2005(2): 745–750.

10 Guerin C. An acquisition system for CMOS imagers with a genuine 10G bit/s bandwidth[R]. Valencia: IN2P3, Inst. de Phys. Nucl. de Lyon, Villeurbanne, France, 2011.

11 Zhang Milin. Compressive acquisition CMOS image sensor [J]. Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 2010(3): 490–500.

12 Hong Zhen, Chen Yourong, Lu Huanjia. Design of building monitoring systems based on wireless sensor networks [J]. Wireless Sensor Network, 2010, 2(9): 703–709.

13 Zhang Yongqiang. Design of a remote image monitoring system based on GPRS [R]. Singapore: International Conference on Machine Learning and Computing, 2009.

14 徐增辉, 张彦娥. 温室黄瓜叶片图像的白平衡处理[J]. 农业机械学报, 2007, 38(11): 190–191.

Xu Zenghui, Zhang Yan'e. Greenhouse cucumber leaves image's white balance processing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11): 190–191. (in Chinese)

15 刘龙申, 沈明霞, 孙玉文, 等. 基于 FPGA 的农田图像采集与 3G 无线传输系统设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(12): 187–190.

Liu Longshen, Shen Mingxia, Sun Yuwen, et al. Acquisition system and wireless transmission by 3G for farmland image based on FPGA[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(12): 187–190. (in Chinese)

Development of High-resolution Agricultural Image Capture

Node Based on Embedded System

Xiao Deqin¹ Huang Shunbin¹ Yin Jianjun¹ Fu Junqian¹ Ke Xinrong²

(1. College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Since the current agricultural image sensor was low resolution and lack of adjustable control function, a high-resolution agricultural image capture node was designed based on ARM, OV hardware platform, and embedded Linux operating system. Both the hardware and software architecture of the image capture node were designed, the node could be controlled easily. It had better control function than traditional image sensor, which had five kinds of white balance control mode, seven levels of brightness, five levels of contrast and five levels of contrast and five levels of saturation effects. It could satisfy the needs to control image acquisition, and provided a convenient remote dynamic application in different scenarios to adjust image capture effects. Experimental results showed that the node could capture the 2 048 pixels × 1 536 pixels of image. It also had the advantages of small volume and low cost. This node could be widely used in agricultural image capture, particularly suitable for wireless image sensor networks, crop images and video in real-time monitoring.

Key words: Agricultural image High resolution Node Embedded design