

大麦田间视频采集与无线传输系统设计

王明磊 杨建青 李红岭 王关平 杨梅 高晓阳*

(甘肃农业大学 工学院,兰州 730070)

摘要 针对我国农田作物生长状况需大量人力监测的问题,以大麦农田为试验对象,设计一种大麦田间视频采集的无线传输系统。主要对视频图像的采集与传输进行了理论分析和设计,通过田间试验对结果进行验证。相关分析结果表明,本系统采用的有损压缩算法(Discrete cosine transform,DCT),在1 000 m以内传输时间 <70 ms,数据包发送成功率 $>98\%$,与农田监控直送系统采用的无损压缩算法(Differential pulse-code modulation,DPCM)相比,在相同传输距离下,数据量小,传输时间短,传输成功率高,具有较好的实时性和稳定性;而且成本低、体积小、易于安装,可实现对大麦生长视频信息的自动采集及无线传输。

关键词 图像采集;无线传输;Linux;DCT;大麦

中图分类号 TP 393.1

文章编号 1007-4333(2015)05-0256-06

文献标志码 A

Design of image acquisition and wireless transmission system in barley field

WANG Ming-lei, YANG Jian-qing, LI Hong-ling, WANG Guan-ping,

YANG Mei, GAO Xiao-yang*

(College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract Refer to the problem that a large amount of labor was consumed in monitoring field crop growth, a system was designed for image acquisition and wireless transmission for barley field. The validation of the system was verified through field tests. The results of correlation analysis showed that within 1 000 meter of transmission distance, the data packet transmitting time was less than 70 ms, the success rate of packet transmission was above 98% by DCT date compression algorithm. Compared with DPCM date compression algorithm under the same transmission distance, DCT date compression algorithm had the advantages of small amount of data, short transmission time and high transmission rate. DCT had a good real-time performance and stability, in addition, with the advantages of small size, low cost and easy installation.

Key words image acquisition; wireless transmission; Linux; DCT; barley

精细农业是20世纪80年代末提出的农业新模式,是现代农业发展的必然趋势。它通过对农田的定点监测及调控,能够在影响因素(水分、肥力、苗情,病虫害等)不同的区域采取针对性的措施,提高农作物的产量和经济效益,从而实现农业的“高产、

高效、高质、高级、低害”^[1-3]。目前我国农田农作物生长信息的采集大多采用人工观察、人工调控的方式,占用较多的人力资源,生产效率低,只有部分温室大棚、试验基地等配置了农田信息监测及调控系统,但是存在着系统复杂,成本较高等缺点^[4]。赵媛

收稿日期:2014-11-28

基金项目:国家自然科学基金项目(61164001);甘肃省教育厅高等学校科研计划项目(1102-07);甘肃省干旱生境作物学重点实验室开放基金课题(1102-11)

第一作者:王明磊,硕士研究生,E-mail:501352946@qq.com

通讯作者:高晓阳,教授,博士,主要从事农业工程检测与智能控制技术及系统研究,E-mail:gaoxiao1081@sina.com

等^[5]基于 ZigBee 技术设计的温室花房环境监测系统,以及陈天华等^[6]结合嵌入式系统和 GPRS 设计的远程土壤墒情监测预报系统,均实现了环境数据的采集及传输,但实际应用中都具有局限性。采用 GPRS 方式传输数据信息无法满足实时视频监测的需求,不易解决一般农田监测节点设置数量较多,数据处理量也相应较大等问题。肖德琴等^[7]将 CMOS 图像传感器与嵌入式 ARM11 处理器相结合得到图像采集结点,应用于获取农业图像采集系统中,实现了简便高效的图像数据采集;毛红玉等^[8]选用 ARM 及 WIFI 模块搭建无线传输系统,实现了图像数据的快速稳定的无线传输。为将简便高效的图像采集功能与快速稳定的无线传输功能相结合,本研究拟设计基于 CMOS 图像传感器及 ZigBee 与 WIFI 技术的大麦图像采集与无

线网络传输系统,以期高效稳定地获取大麦田间生长信息。

1 大麦生长监控系统结构设计

在对大麦田间生长信息需求分析和研究的基础上,本研究所设计的大麦图像采集与无线网络传输系统主要由视频采集模块、无线传输模块及视频监控终端模块组成^[9-12],整体结构见图 1。大麦田间视频采集功能节点以 ZigBee 技术构成无线局域网,采集并压缩大麦图像。各节点电源均由太阳能光伏供电系统提供;无线传输网络的协调器由 S3C6410 系统板、ZigBee 模块和 WIFI 模块为基础进行设计;视频监控终端的室内上位 PC 机与协调器节点采用无线 WIFI 实现视频信息传输。

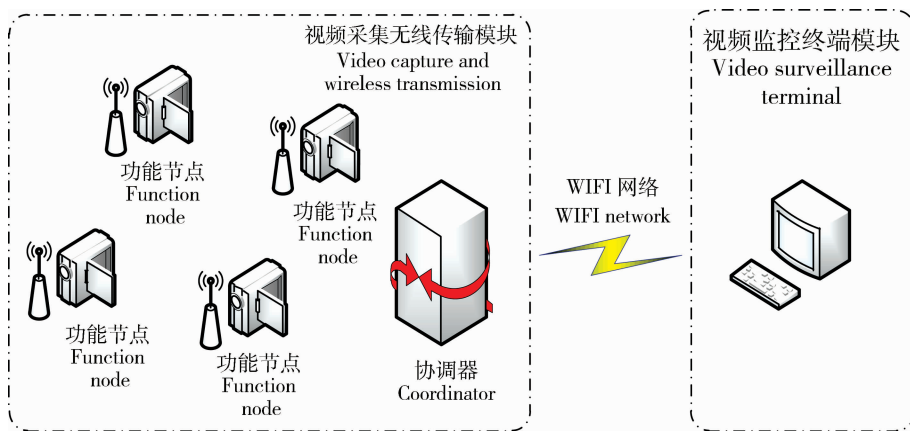


图 1 大麦田间视频采集与无线传输系统结构

Fig. 1 Structural diagram of barley field video acquisition and wireless transmission system

2 视频采集子系统的实现

2.1 视频传输方式的选择

在田间条件下,大麦农田视频监控系统的首先是无线网络。目前主要有 Blue Tooth、GPRS、ZigBee、3G 和 WIFI 等无线网络传输方式。在本设计中,大麦田间视频采集的数据量相对较大,并考虑传输速率的要求,大麦田间的每个采集节点采用 ZigBee 传输方式组成无线网络,将采集的视频信息传输到协调器;在协调器与视频监控终端间选用了 WIFI 无线传输方式,利用 TCP/IP 协议使协调器与视频监控终端之间建立连接并传输视频,实现视频监控终端对采集端视频信息的接收^[13-18]。

2.2 视频采集子系统的硬件设计

本研究选用村级试验田,地域范围较小,故各摄像头采集节点构成的 ZigBee 试验网络采用星型结构,在所选各试验田中分别建有视频采集节点,与村监控室间采用无线协调器网关通信。

本研究选用嵌入式处理器模块、CMOS 摄像头图像采集模块、ZigBee 模块、WIFI 无线网卡模块、太阳能电源等构成视频采集子系统。ZigBee 模块选用 XBee-PRO 无线模块,WIFI 模块为飞凌的 SDIO 接口 WIFI 无线网卡。本系统利用 S3C6410 嵌入式处理器来控制接收 CMOS 摄像头所采集的视频信号,通过处理器内部集成的 Video4Linux2 提供的函数、数据结构等完成摄像头的信息采集。为适应野外田间条件,每个采集节点都由设计的太阳能光

伏供电系统供电。视频采集节点硬件结构见图2。

在视频采集系统中,摄像头的选择与设置是采集系统设计的关键之一。本系统选用具有130万像素($1\,024 \times 1\,280$)的OV9650集成图像传感器,支持RGB(4:2:2)、YUV/YCrCb(4:2:2)2种数据输出格式,具有10 bit数据接口和标准的SCCB接口。选用的嵌入式处理器S3C6410内有摄像头外设接口,将OV9650摄像头芯片直接与处理器摄像头接口引脚相连,实现图像数据并行传输。

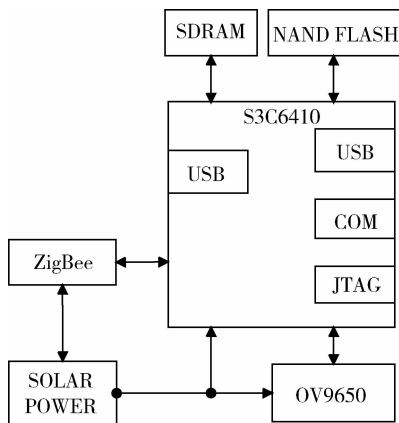


图2 视频采集节点硬件结构

Fig. 2 Hardware structural diagram of video capture node

2.3 视频采集子系统的软件设计

本系统选用Linux操作系统,通过设计的系统应用软件控制和实现硬件设备CMOS摄像头对农田视频信息的采集和存储。在Linux操作系统下,应用程序通过调用Video4Linux2(简称V4L2)提供的接口函数实现视频设备的操作,包括打开视频设备的`int open(const char * pathname, int flags)`函数,获取设备文件的属性及视频输入方式、帧格式参数的`ioctl(cam_fp, VIDIOC_QUERYCAP, &cap)`函数,读取视频数据信息的`read(cam_fp, g_yuv, YUV_SIZE)`函数等。整个视频数据采集流程见图3。

通过采集子系统控制摄像头对大麦生长信息自动采集,再经传输子系统传输视频数据。

3 视频传输子系统的实现

3.1 WIFI无线传输模块选择

无线传输模块选用基于Marvell 8686芯片和SDIO接口的飞凌SD-WIFI网卡模块。WIFI模块通过SDIO数据传输接口直接与S3C6410引脚连接,提高了传输子系统的可靠性和安全性。

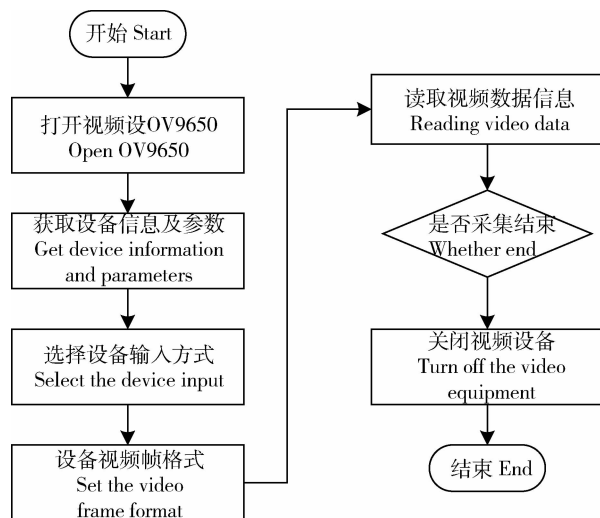


图3 视频采集流程

Fig. 3 Video acquisition flowchart

3.2 视频图像信息的压缩与解压缩

3.2.1 视频图像信息的压缩

由于WIFI和ZigBee网速的限制,必须在无线传输前将视频图像进行压缩,以减少数据量^[19-20]。

本研究为大麦生长和田间环境等信息的监控,经试验对图像的高频信息并不非常敏感,所以本系统采用有损的JPEG压缩实现农田视频图像的实时无线传输。JPEG图像压缩流程见图4。

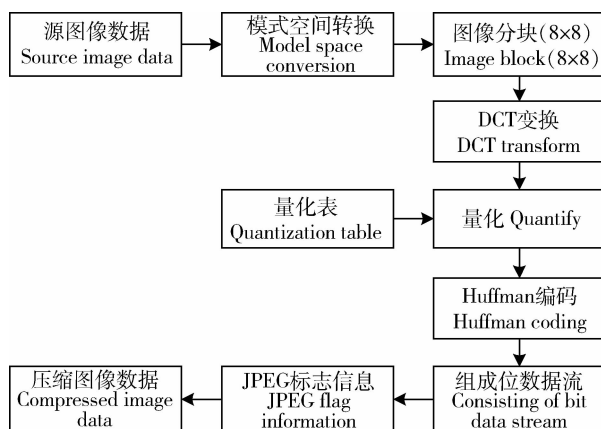


图4 JPEG图像压缩流程

Fig. 4 JPEG image compression flowchart

大麦田间源图像数据从RGB模式变换到YCbCr模式后,进行 8×8 分块和离散余弦变换(Discrete Cosine Transform, DCT)。N=8时的DCT公式为:

$$F(u, v) = \frac{c(u)c(v)}{4} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 f(i, j) \cdot \cos\left[\frac{(2i+1)u\pi}{16}\right] \cos\left[\frac{(2j+1)v\pi}{16}\right] \quad (u, v = 0, 1, \dots, 7) \quad (1)$$

式中：

$$c(u), c(v) = \begin{cases} 2^{-1/2} & u = v = 0 \\ 1 & \text{其他} \end{cases}$$

由式(1)可知,获取 1 个 DCT 系数需要分别做 64 次乘法和加法,完成 8×8 像素的 DCT 分别需要 4 096 次乘法和加法,计算量很大,而 ARM 嵌入式操作系统资源有限,为减小计算量,将式(1)按行和列转换为 2 个一维 DCT 公式:

$$Q(u, j) = \frac{\sqrt{2}}{2} c(u) \sum_{i=0}^7 f(i, j) \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \quad (2)$$

$$F(u, v) = \frac{\sqrt{2}}{2} c(v) \sum_{j=0}^7 Q(u, j) \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} \quad (3)$$

由式(2)可知,计算 1 行需要分别做 64 次乘法和加法,8 行则需要 512 次乘法和加法;式(3)计算 8 列的计算量与式(2)相同,则共计算 1 024 次乘法和 1 024 次加法,总计算量减少为二维计算的 1/4。再分别对式(2)和式(3)进行平面旋转基因式分解和尺度提升结构替代,将 DCT 中乘法运算近似转换为移位和相加运算,进一步降低计算量。

离散余弦变换后,根据已有的标准 JPEG 压缩亮度和色度量表(表 1)^[20]对 DCT 系数进行优化。处理过的数据再进行 Z 字形编码、行程编码和霍夫曼编码,并结合 JPEG 标志信息,生成 JPEG 格式的图像数据。

表 1 亮度和色度量表

Table 1 Luma and chroma quantization table

亮度 Luma								色度 Chroma							
16	11	10	16	24	40	51	61	17	18	24	47	99	99	99	99
12	12	14	19	26	58	60	55	18	21	26	66	99	99	99	99
14	13	16	24	40	57	69	56	24	26	56	99	99	99	99	99
14	17	22	29	51	87	80	62	47	66	99	99	99	99	99	99
18	22	37	56	68	109	103	77	99	99	99	99	99	99	99	99
24	35	55	64	81	104	113	92	99	99	99	99	99	99	99	99
49	64	78	87	103	121	120	101	99	99	99	99	99	99	99	99
79	92	95	98	112	100	103	99	99	99	99	99	99	99	99	99

3.2.2 视频图像信息解压缩

大麦图像传输到上位 PC 机进行分析处理时,图像格式应是 BMP 格式,因而要对接收到的

JPEG 图像数据解码,流程见图 5。JPEG 解码是 JPEG 编码的逆过程,其中 IDCT 变换的运算量虽然也较大,但解码是在 PC 机上执行的,采用直接计算。

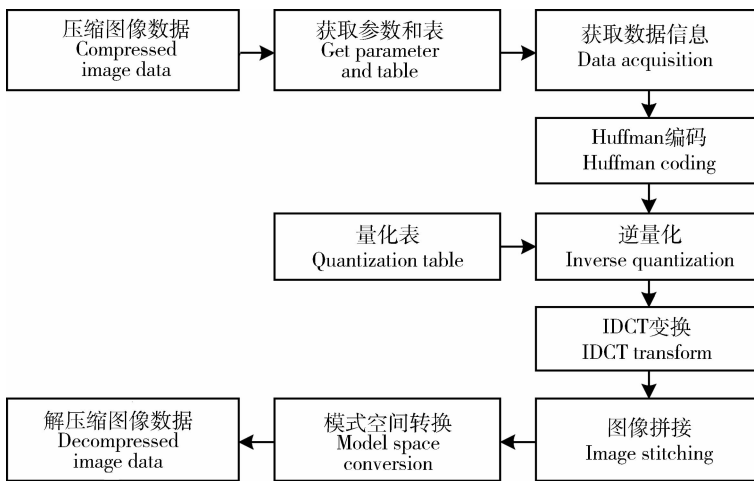


图 5 JPEG 图像解压缩流程

Fig. 5 JPEG image decompression flowchart

4 系统测试

试验地点位于甘肃省武威市黄羊镇农科院试验站(E 102°37', N 37°56'), 试验时间为 2014-05-05—09, 每天 8:00—19:00。在甘啤大麦试验田内分别部署 6 个与协调器节点不同距离的节点(分别编号 1, 2, ..., 6)依次循环采集不同地点的农田视频信息, 每个摄像头节点数据采集时长为 1 min, 两个相邻节点之间采集间隔 1 min。采集完成后将数据包压缩传输至协调器, 再由协调器通过无线传输网络传输至监控终端, 依次轮流循环。

试验中各节点发送数据包为 5 个/h, 试验 5 天节点数据包发送总数 300 个。数据包的发送成功率由式(4)计算:

$$P = \frac{N_{\text{rec}}}{N_{\text{tot}}} \times 100\% \quad (4)$$

式中: P 为数据包发送成功率; N_{rec} 为协调器节点成功接收数据包的数量; N_{tot} 为节点发送数据包的数量。

当协调器节点接收到一个数据包时, 立即回送 ACK 确认信息, 表示数据包已经成功接收, 采用式(5)计算节点发送数据包的耗时 T , ms。

$$T = \frac{T_{\text{ACK}} - T_{\text{send}}}{2} \quad (5)$$

式中: T_{ACK} 为节点收到返回的 ACK 确认信息的时间; T_{send} 为节点发送数据包的时间。

本系统与直接传送系统节点发送数据包的耗时和数据包发送成功率统计结果见表 2, 直接传送系统是与本系统硬件设备相同, 只是图像压缩算法不同的系统。大麦图像数据采集与传输系统运行稳定, 传输可靠。当数据传输距离 ≤ 800 m 时, 数据包发送成功率为 100%, 且耗时较短, 在 50 ms 之内; 当数据传输距离 $\geq 1\ 000$ m 时, 节点数据包发送出现丢失, 并且随着距离增大, 其发送成功率越低, 耗时时长也呈直线上升。系统中所选用的具有 ZigBee 无线传输功能的 XBee-PRO 模块, 室外 RF 可视距离理论值是 1 600 m, 本试验结果与理论数据基本吻合。

表 2 本系统与直接传送系统节点发送数据包耗时及成功率统计

Table 2 Statistics of node sending data packet length and success rate of this newly designed system and direct transfer system

传输距离/m Transfer distance	本系统 The system		直接传送系统 Direct transfer system	
	耗时/ms Time	成功率/% Success rate	耗时/ms Time	成功率/% Success rate
200	9.8	100.0	14.3	100.0
500	17.4	100.0	23.5	100.0
800	37.8	100.0	44.6	100.0
1 000	62.3	99.2	71.4	98.3
1 300	259.0	93.3	291.5	91.7
1 500	837.6	69.4	876.2	63.3

在数据包传输时间与传输成功率的对比试验中, 本系统采用的有损压缩算法(DCT)与农田监控直送系统采用的无损压缩算法(Differential Pulse-code modulation, DPCM)相比, 有损压缩算法(DCT)的压缩率高, 数据量减小, 在相同传输距离下, 传输时间短, 并且由于数据量小, 传输成功率也较高。由表 2 可知, 传输距离为 1 000 m 时, 本系统传送耗时 62.3 ms, 传送成功率 99.2%, 直送系统传送耗时 71.4 ms, 传送成功率 98.3%, 本系统在传送

耗时和传送成功率上都优于直送系统。

5 结束语

本研究结合 ZigBee 和 WIFI 2 种通信技术, 设计了大麦田间视频图像采集与无线传输系统。在田间试验中实现了耗时少, 成功率高的大麦生长图像采集功能, 当传输距离为 1 000 m 时, 传输时间低于 70 ms, 数据包发送成功率高于 98%, 达到了本设计的预期值。试验中分别获取了本系统与直接传送系

统的传输耗时和发送成功率的数据,数据分析表明,本系统均优于直接传送系统。同时,本系统也存在一些问题,因试验站距离学校较近,田间覆盖有WIFI无线网络,实际应用中,应在协调器上加入无线网卡进一步完善系统,增强系统使用的稳定性和便捷性。

参 考 文 献

- [1] 耿爱军,张晓辉,宋涛,等. 精细农业与信息化技术的研究现状与发展趋势[J]. 中国农机化,2011(6):38-41
- [2] 钱燕,尹文庆,张美娜,等. 精准农业中农田信息传输方式的研究进展[J]. 浙江农业学报,2010,22(4):539-544
- [3] 杨玮,李民赞,王秀. 农田信息传输方式现状及研究进展[J]. 农业工程学报,2008,24(5):297-301
- [4] 盛平,郭洋洋,李萍萍,等. 基于 ZigBee 和 3G 技术的设施农业智能测控系统[J]. 农业机械学报,2012,43(12):229-233
- [5] 赵媛,杜坚,芦澍. 基于 ZigBee 的温室花房环境监测系统设计[J]. 现代电子技术,2011,34(11):37-39
- [6] 陈天华,唐海涛. 基于 ARM 和 GPRS 的远程土壤墒情监测预报系统[J]. 农业工程学报,2012,28(3):162-166
- [7] 肖德琴,黄顺彬,殷建军,等. 基于嵌入式应用的高分辨率农业图像采集节点设计[J]. 农业机械学报,2014,45(2):276-281
- [8] 毛红玉,高晓阳,李红岭,等. 基于 ARM 和 WI-FI 技术的大麦田间监控系统设计[J]. 甘肃农业大学学报,2014,49(1):156-160
- [9] 熊迎军,沈明霞,孙玉文,等. 农田图像采集与无线传输系统设计[J]. 农业机械学报,2011,42(3):184-187
- [10] 蔡义华,刘刚,李莉,等. 基于无线传感器网络的农田信息采集节点设计与试验[J]. 农业工程学报,2009,25(4):176-178
- [11] 善挺璧,汪懋华. 一种面向温室应用的嵌入式采集终端设计方案[J]. 中国农业大学学报,2007,12(2):80-83
- [12] Nakamura N. Construction of a field in agemontoring system and an application of image recognition technology [C]// Proceedings of the 4th World congress on Computers in Agriculture and Natural Resources, Orlando, Florida, USA, 2006:78-83
- [13] 赵春江,屈利华,陈明,等. 基于 ZigBee 的温室环境监测图像传感器节点设计[J]. 农业机械学报,2012,43(11):192-196
- [14] Park D, Park J. Wireless sensor network-based greenhouse environment monitoring and automatic control system for dew condensation prevention[J]. Sensors,2011,11(4):3640-3651
- [15] Matese A, Di Gennaro S F, Zaldei A, et al. A wireless sensor network for precision viticulture: The NAV system [J]. Computers and Electronics in Agriculture,2009,69(1):51-58
- [16] 刘卉,孟志军,徐敏,等. 基于规则网络的农田环境监测传感器节点部署方法[J]. 农业工程学报,2011,27(8):265-270
- [17] 胡瑾,樊宏攀,张海辉,等. 基于无线传感器网络的温室光环境调控系统设计[J]. 农业工程学报,2014,30(4):160-167
- [18] 郭斌,钱建平,张太红,等. 基于 ZigBee 的果蔬冷链配送环境信息采集系统[J]. 农业工程学报,2011,27(6):208-213
- [19] 李小敏,臧英,罗希文,等. 基于发射功率自适应的稻田无线传感器节点设计[J]. 农业工程学报,2014,30(7):140-146
- [20] 王润辉. 数字图像处理[M]. 北京:清华大学出版社,2013:118-121

责任编辑:刘迎春