

网络出版时间:2017-11-06 13:53

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.12.020

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20171106.1353.040.html>

小麦条锈病孢子图像实时传输及处理系统设计

焦 林, 牛磊磊, 宋怀波

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】设计一种基于无线网络的孢子图像实时传输及处理系统,以较好地实现小麦条锈病孢子的实时传输及监测。【方法】首先基于网络云技术,在 Linux 环境下设计了传输系统的云端服务器界面,实现了微型机自动摄像,通过使用 TCP 协议包装 HTTP 协议与云端服务器的连接,实现图像的上传功能;其次,使用英特尔 NUC5CPYH 为采集传输终端,搭建图像传输系统硬件平台;最后采用 K-means 聚类算法,在接收端对远程传输得到的孢子图像进行背景与孢子的分割、孢子图像的形态学处理及基于 Harris 的角点检测等处理,并最终实现孢子的计数。【结果】该无线传输系统的发送成功率为 96.6%,该处理系统的平均计数准确率为 97.1%,效果良好。【结论】该传输及处理系统可用于小麦条锈病越冬孢子的实时在线监测。

【关键词】 小麦条锈病;越冬孢子;远程传输;云服务器;K-means;Harris 角点检测

【中图分类号】 TP391.41;S126

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)12-0148-07

Design of a real-time transmission and processing system for wheat stripe rust spore images

JIAO Lin, NIU Leilei, SONG Huaibo

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】A remote real-time transmission and image processing system based on wireless network was designed to realize the real-time transmission and monitoring of wheat stripe rust spores. 【Method】Based on the network cloud, a transmission system of the cloud server interface was designed in Linux environment to realize the microcomputer automatic camera, and the TCP protocol packaging HTTP protocol was used to connect the cloud server to realize the image upload function. Then, the hardware platform of the image transmission system for collection and transmission terminal was set up using Intel NUC5CPYH. Finally, K-means clustering algorithm and Harris corner detection method were used to process the images obtained at the receiving end. 【Result】The success rate of the wireless transmission system was 96.6%, and the average accuracy of the processing system was 97.1%, which were good results. 【Conclusion】The obtained transmission and processing system can be used in real-time on-line monitoring of summer spores of wheat stripe rust.

Key words: wheat stripe rust; summer spore; remote transmission; cloud sever; K-means; Harris corner detection

小麦条锈病一直是威胁我国西北、西南、华北和
淮北等冬麦区和西北春麦区的重要病害,可使小麦

减产 10%~30%, 年均损失小麦 10 亿 kg 左右, 因
此, 如何实现条锈病的有效防控, 一直是我国植保研

【收稿日期】 2016-10-25

【基金项目】 陕西省重点产业链项目(2015KTZDNY01-06)

【作者简介】 焦 林(1993—), 女, 安徽砀山人, 在读硕士, 主要从事农业智能化检测研究。E-mail: linlinjiao_93@163.com

【通信作者】 宋怀波(1980—), 男, 山东济宁人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事数字图像处理研究。E-mail: songyangfeifei@163.com

究领域的重点和难点。近期研究表明,如果能够实现对条锈病的早期预测,改被动防控为提前主动防控,则防控效果将得到大幅度提升^[1-8]。因此,以提高小麦广域大范围内的全程实时、在线监控及预报能力为目标,开展小麦条锈病预报技术研究,已成为解决该问题的关键和热点。开展小麦条锈病的预防方法研究,对于抑制灾情发生、保证作物产量也具有重要的研究意义。

小麦条锈病夏孢子菌源数是影响其发生的直接因素。目前对小麦条锈病越夏孢子的检测大多采用人工方法,但这会产生人工统计的误差,而且浪费资源并消耗大量人力、物力。如李爱华等^[9]对真菌孢子的 3 种计数方法进行了探讨,其中比浊法是一种相对快速的方法,但该方法浪费人力,且有人工误差,实时性也差。随着计算机网络的发展,图像的网络传输已广泛应用于农业生产中。易扬^[10]选用基于 802.11 标准的无线图像传输技术,但其传输距离比较近,且在速率和安全方面存在问题;周亚强等^[11]设计了基于 32 位 STM32F103VET6 微控制器的农田多点图像传输系统,但是由于 GPRS 通信流量资费、速度和网络质量的限制,需要对图像先进

行压缩后再传输,导致系统传输的图像分辨率较低。网络云技术得到的图像分辨率高,且传输效率也高,可保证后期图像处理的可靠性,提高小麦条锈病越夏孢子数统计的准确性。基于此,本研究设计了一种图像远程传输及处理系统,通过网络云技术将孢子图像通过互联网传至云端保存,并可在用户终端进行即时下载与处理,可实现小麦条锈病越夏孢子的实时监测,现将该系统设计过程及实际应用效果介绍如下。

1 图像远程传输系统的设计

1.1 传输系统整体设计

为了实现大田小麦条锈病孢子图像的远程传输,本设计使用网络云技术^[12-13],使图像数据能较好地保存并可以在有互联网的情况下随时随地查看与下载至用户终端。本研究所设计的传输系统流程图如图 1 所示,主要由摄像头、英特尔 NUC5CPYH 微型机、云服务器及 PC 机等组成。其中 Web 前端服务器采用 HTML5 语言设计,Web 后端服务器由 PHP 语言搭建,传输与采集客户端程序由 C++ 语言进行设计。

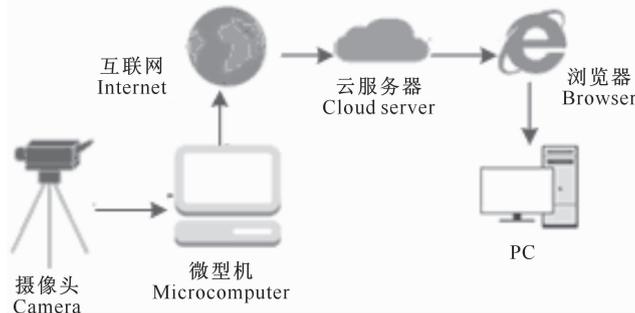


图 1 图像传输系统工作流程图

Fig. 1 Work flow of the image transmission system

1.2 基于 Linux 的图像传输客户端设计

传统通信方法采用通过 HTTP 协议与服务器进行交互,本研究对传统方法加以改进,采用了一种跳过浏览器直接与服务器进行数据交换的方法设计图像传输客户端,在 Linux 系统下使用 C++ 语言设计程序实现微型机拍照上传的功能,使用 TCP 协议组装 HTTP 协议,实现微型机与云端服务器的连接。所设计的客户端运行流程如图 2 所示,首先设置 Socket 通道来实现与云端服务器的数据交换,然后使用 TCP 协议链接到服务器,接着发送 HTTP 协议头和使用处理后的数据构成的协议体,这样服务器就会接收并保存图像数据,最后客户端释放内存完成本次发送任务。

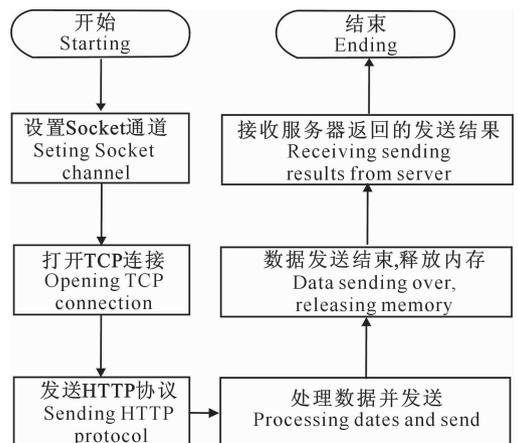


图 2 图像传输系统客户端运行流程图

Fig. 2 Client running flow of the image transmission system

1.3 图像传输系统云端服务器的架设

1.3.1 图像上传过程设计 浏览器上传图像至服务器的过程如图 3 所示。浏览器将 HTTP 协议头与图像数据发送至服务器,服务器获取图像数据、图像名,生成通用唯一识别码 UUID(universally unique identifier),其目的是让分布式系统中的所有元素都具有唯一的辨识资讯,而不需要透过中央控制端来进行辨识资讯的指定,不需考虑数据库建立时的名称重复问题。UUID 存入内容分发网络 CDN(content delivery network),以尽可能避开互联网上有可能影响数据传输速度和稳定性的瓶颈和

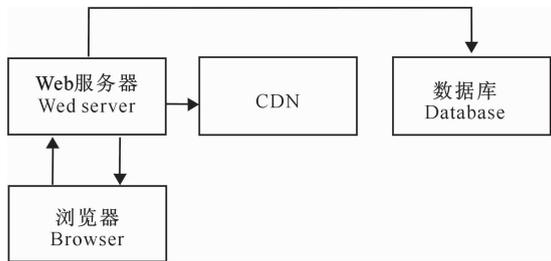


图 3 图像上传过程

Fig. 3 Images uploading process

1.3.3 服务器的前端设计 使用浏览器浏览网页时,浏览器和 Web 服务器交互的过程如下:在输入目标网站网址时,首先浏览器会缓存 DNS 记录一段时间,不同的浏览器储存各自固定的一个时间,如果在浏览器缓存里未找到需要的记录,浏览器会通过系统调用获得系统缓存中的记录,如果还未找到记录,将前面的查询请求发向路由器,路由器一般会有自己的 DNS 缓存,接下来会在 ISP 缓存 DNS 的服务器中查找。找到 IP 地址后,浏览器向 Web 服务器发送 HTTP 请求,包括 HTTP 协议头和协议体,服务器接收到获取请求,处理并返回 HEML 响应。浏览器则会根据报头信息决定如何解释该响应,在

环节,使内容传输更快、更稳定。CDN 可使用户就近取得所需内容,解决 Internet 网络拥挤的状况,提高用户访问网站的响应速度。同时服务器将 UUID、图像名插入数据库,服务器向浏览器返回执行情况。

1.3.2 图像下载过程设计 浏览器从服务器获取图像的过程如图 4 所示。浏览器将 HTTP 协议头发送至服务器,服务器向 CDN 以及数据库查询并获取所有记录,服务器通过获取的 UUID 向 CDN 查询图像文件路径,服务器向浏览器生成图像框架,浏览器通过框架从 CDN 获取图像数据。

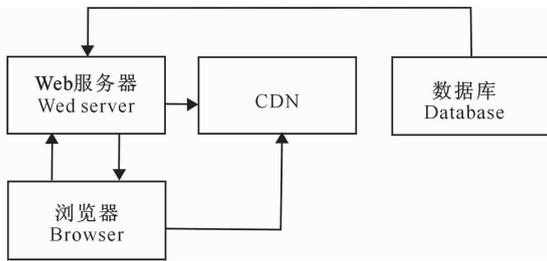


图 4 图像下载过程

Fig. 4 Images downloading process

浏览网站时,报头让浏览器将该响应内容以 HTML 形式呈现,最后即可在浏览器上看到所需信息。

可见,浏览器发送的请求中,HTTP 协议头的作用就是声明浏览器将以何种方式访问服务器,服务器收到请求后,会在服务器上查找浏览器请求的文件,如果存在则返回文件,否则返回一个错误给浏览器。如果存在被请求的文档,浏览器收到服务器的响应数据后,即可解析该文档,该文档本身是一个存文本的文档,如果存在图片、样式、脚本,则浏览器重新去请求每一个文件。本研究设计的服务器前端界面如图 5 所示。

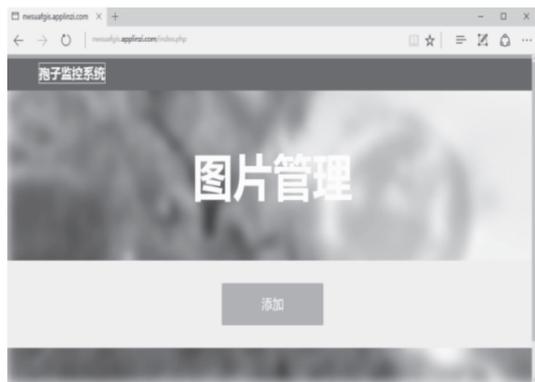


图 5 服务器前端界面

Fig. 5 Front-end interface of the server



图 6 设计工作台

Fig. 6 Design of the workbench

1.4 传输系统硬件搭建

本研究所设计的硬件部分主要由采集传输终端与图像采集设备组成,调试系统需要使用显示器、鼠标和键盘等外置设备。所搭建的工作平台如图 6 所示。采集传输终端使用英特尔 NUC5CPYH 微型机,处理器为英特尔赛扬处理器 N3050,主频 2.16 GHz,内存 4 GHz,128 G SDD 固态硬盘,5 个 USB3.0 端口,可支持 10/100/1 000 Mbps 网络连接。

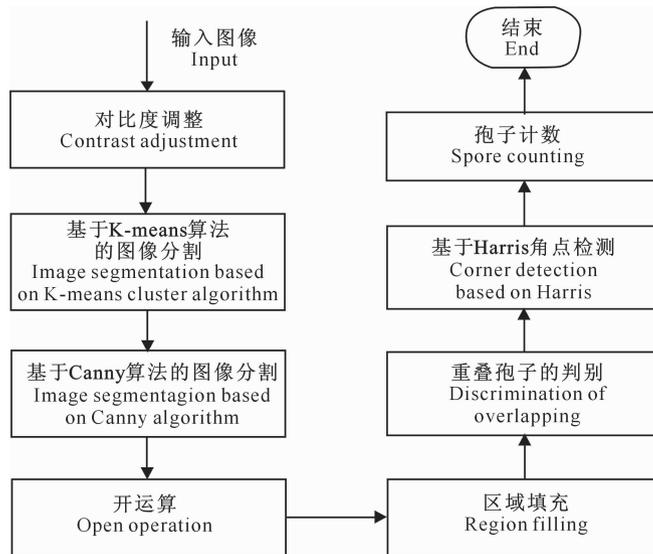


图 7 图像处理系统工作流程

Fig. 7 Work flow of the image processing system

2.2 图像的预处理

图像在成像、转换和传输过程中受到不同程度的影响,最终得到的图像存在不同程度的质量下降。图像增强可使图像更适合于机器处理和人眼观察,其中包括对图像的边缘、轮廓和对比度等进行锐化。本研究对远程传输得到的图像采用灰度变换、对比度调整,使图像显示效果增强。经过分析发现,本研究所获得的条锈病孢子图像的灰度值集中在 $[50, 200]$,故而对低于集中范围最低值的灰度值 $T < 50$ 进行置零处理,对 $T > 200$ 的灰度调整为 255,对 $50 \leq T \leq 200$ 的灰度值进行拉伸,使其覆盖 $[0, 255]$ 灰度范围以突出图像有用信息,抑制无用信息。

2.3 孢子图像的分割

2.3.1 基于 K-means 算法的背景与孢子分割 K-means 聚类算法^[14-16]的思想是首先选取聚类代表点,代表点为所需聚类的子集中全部样本数据的均值,通过不断地迭代将样本数据划分为不同类,使得生成后的各聚类间独立。在经过 K-means 聚类

2 图像处理系统的设计

2.1 图像处理系统的整体设计

图像处理系统的硬件平台是 HP 笔记本电脑, CPU: Intel Core i5-3230M, 4 G 内存, AMD Radeon HD 8 670 M 显卡, 500 G 硬盘, Win10 操作系统。所有程序在 Matlab2016a 环境下编写。处理系统工作流程如图 7 所示。

后,背景杂质完全与孢子图像区别开,为进行目标的分割奠定了良好基础。

2.3.2 基于 Canny 算法的孢子轮廓分割提取 对重叠和粘连孢子图像进行边缘轮廓分割提取,排除孢子二值图像内部的突变点对角点检测的影响。图像边缘与背景之间的灰度差说明有突变,因此图像边缘就是相邻像素间灰度值剧烈变化点的集合。对于图像中变化平坦的区域,相邻像素灰度变化很小,梯度值较小;在图像边缘像素的灰度值变化剧烈,对应的梯度值较大,根据一阶导数幅值就可判断边缘的存在性以及位置。同理,二阶导数的符号代表方向性,二阶导数的零点位置即为边缘位置,通过梯度算子检测边缘取得的效果相对较好。本研究采用 Canny 检测算法^[17-19]进行处理,在使用 Canny 算子进行边缘检测后,为了保证轮廓边缘的连续性及平滑度,尚需进行形态学处理等操作。

2.4 孢子图像的形态学处理

(1) 形态学开运算。数学形态学思想是对某种

固定形状的结构元素与目标图像进行运算,根据运算后的结果来进一步获取图像结构的相关信息,实现图像分析与处理的目的。利用半径为 5 像素的‘disk’形结构元素进行开运算后,可使原本粗糙的边缘得到平滑,影响计数的杂质点也得到了处理,且中心图像中小的缝隙点也得到填补,便于进行孢子的计数。

(2) 区域填充。图像填充的目的是为了进一步去除内部孔洞点对角点检测结果的影响,该操作是对图像的背景像素进行处理的过程。由于二值化后的孢子图像内部含有孔洞,在进行角点检测时会产生不必要的伪角点,填充后的图像为后面的粘连孢子角点检测奠定了良好基础。

2.5 孢子自动计数方法

2.5.1 计数系统整体设计思路 本研究所的孢子图像中由于存在粘连的情况,尚需对粘连孢子区域进行判断及分割处理。为了实现粘连孢子的检测,本研究采用基于几何形状因子的孢子粘连检测算法,并利用 Harris 角点检测算法实现角点的检测。

2.5.2 基于形状因子的重叠孢子判别 单个孢子的边界轮廓比重叠孢子的边界轮廓复杂,故而本研究采用几何形状因子^[20]特征区分单个和粘连孢子,形状因子 SF 的定义如式(1)所示:

$$SF = 4\pi S / C^2 \quad (1)$$

式中: S 是连通域的面积像素值, C 是连通域的周长像素值。

从式(1)可知形状因子的取值范围是 $0 \leq SF \leq 1$,当待检测图形是标准圆形时,形状因子为最大值 1。由于多个孢子重叠,图形边界重叠后出现凹陷而变得复杂,重叠和粘连孢子的周长会增大,形状因子也会相应变小。

通过比较试验,可以确定一个阈值 SF_0 及最大面积 S_{\max} 作为最终的依据,对某一区域,如果该区域的参数满足式(2)则判断其为重叠粘连区域,经过试验本研究所选参数为 $SF_0 = 0.6, S_{\max} = 7\ 000$ 。

$$SF_i < SF_0 \text{ 且 } S_i > S_{\max} \quad (2)$$

2.5.3 基于 Harris 角点的孢子角点检测 角点是图像中边缘部分有方向突变的点,孢子粘连时,孢子数量和粘连边缘的角点存在一定的数量关系,而且由于角点所在的邻域通常是图像中最稳定、信息最丰富的区域,且具有较好的旋转不变性和尺度不变性,本研究采用 Harris^[21-23]角点检测法来统计孢子数目。

通过对灵敏度参数的设置进行角点的非极大值限制,除粘连点外其余位置的伪角点已经得到了抑制,最终检测出来的角点符合设计需要,可以进行最终的孢子计数。

3 试验结果与分析

3.1 传输系统试验

为了验证采用网络云技术进行孢子图像远程传输的有效性,对所设计的传输系统进行了测试,共进行了 30 次传输测试,测试数据如表 1 所示。

表 1 图像传输系统传输试验结果

Table 1 Test results of the image transmission system

序号 Number	时间/s Time	序号 Number	时间/s Time	序号 Number	时间/s Time
1	1.2	11	3.1	21	4.4
2	0.7	12	5.9	22	0.8
3	2.1	13	0.8	23	1.3
4	1.6	14	2.1	24	1.4
5	3.3	15	1.2	25	1.2
6	1.5	16	9.3	26	2.4
7	2.2	17	1.2	27	1.6
8	失败 Fail	18	1.1	28	7.8
9	1.5	19	1.2	29	2.2
10	1.6	20	2.1	30	3.4

由表 1 可知,在网络状况良好的情况下,从输入程序指令到云端服务器返回发送成功信息,平均耗时 1.35 s,特殊情况下由于网络原因可能将发送时间最多延长至 9.3 s,基本可以保证数据的实时传输。30 次传输测试共成功发送数据 29 次,发送成

功率为 96.6%,效果较好,说明该系统可保证数据传输的可靠性。

3.2 图像处理系统试验

通过使用该图像处理系统进行孢子数目统计,利用不同精度的孢子图片进行计算,统计结果(表

2)显示平均准确率为 97.1%,表明该图像处理系统可以满足孢子准确计数的要求。

表 2 图像处理系统孢子计数试验结果

Table 2 Spore count test results of the image processing system

编号 Number	实际数目 Real number	统计数目 Statistical number	准确率/% Accuracy rate
1	45	45	100
2	27	26	96.3
3	7	7	100
4	30	32	93.3
5	24	25	95.8
平均值 Average	—	—	97.1

4 结 论

1) 本设计使用无线传输系统将图像通过互联网传至云端保存,提高了系统的传输速率,且传输过程稳定,不受传输距离的限制,在能接入互联网的环境中均可使用,有效解决了大田小麦条锈病孢子图像的远程传输问题。在满足精度的要求下,与传统孢子检测方法相比,采用数字图像处理技术进行计数的方法可提高孢子计数的效率,能够做到对小麦条锈病孢子的在线实时监测。

2) 系统采用 K-means 聚类算法进行背景无用信息的去除与孢子图像的分割,可以有效去除背景对孢子分割的影响。针对孢子计数过程中单个孢子与粘连孢子的区分计数问题,使用几何形状因子特征,通过试验比较后确定分割阈值,较好地保证了孢子计数的精准度。

3) 系统可实现对小麦条锈病的实时在线监测,其中从理论而言,该传输系统不仅可应用于小麦条锈病孢子图像的传输,也可解决其他图像的在线传输问题;该处理系统能够部分实现小麦条锈病孢子检测,也能够实现大部分孢子图像在线自动计数功能,因此本设计对除小麦条锈病以外的其他孢子图像也可实现实时传输及处理。

[参考文献]

[1] 李恩才,武剑州,袁宝凤,等. 关中西部小麦条锈病菌越冬问题研究 [J]. 陕西农业科学,2009,55(1):83.
Li E C, Wu J Z, Yuan B F, et al. A survey of over-summering stripe rust problem in Western Shaanxi [J]. Journal of Shanxi Agricultural Science, 2009, 55(1): 83.

[2] 曹世勤,金社林,段霞瑜,等. 甘肃中部麦区小麦条锈病菌越冬调查及品种抗性变异监测结果初报 [J]. 植物保护, 2011, 37(3): 133-138.
Cao S Q, Jin S L, Duan X Y, et al. A preliminary survey of o-

ver-summering stripe rust and the resistant variety of wheat cultivars in middle Gansu [J]. Plant Protection, 2011, 37(3): 133-138.

- [3] 姜玉英,金星,谈孝凤,等. 黔西部小麦条锈病菌越冬考察初报 [J]. 植物保护, 2007, 33(1): 133-134.
Jiang Y Y, Jin X, Tan X F, et al. A preliminary survey of over-summering stripe rust disease in Western Guizhou [J]. Journal of Plant Protection, 2007, 33(1): 133-134.
- [4] 刘社芳,刘新德. 小麦条锈病灾变规律和测报防治技术研究 [C]//河南省植物保护研究进展. 郑州:河南省植物病理学会, 2007: 81-82.
Liu S F, Liu X D. Wheat stripe rust reckoning rule and telemetry control technology research [C]// Henan province plant protection research progress. Zhengzhou: Henan Institute of Plant Pathology, 2007: 81-82.
- [5] 张东霞. 山西省小麦条锈病越冬菌源区精准勘界初报 [J]. 农业技术与装备, 2011(6): 42-43.
Zhang D X. A preliminary precise survey of over-summering stripe rust disease in Shanxi province [J]. Agricultural Technology and Equipment, 2011(6): 42-43.
- [6] 彭昌家,冯礼斌,白体坤,等. 小麦条锈病发生流行趋势及其成因探讨 [J]. 农学学报, 2015(5): 39-47.
Peng C J, Feng L B, Bai T K, et al. Study on the epidemic characteristics and causes of wheat stripe rust in Nanchong City [J]. Journal of Agronomy, 2015(5): 39-47.
- [7] Zeng S M, Luo Y. Systems analysis of wheat stripe rust epidemics in China [J]. European Journal of Plant Pathology, 2008, 121(4): 425-438.
- [8] Huang C, Sun Z, Wang H, et al. Spatiotemporal effects of cultivar mixtures on wheat stripe rust epidemics [J]. European Journal of Plant Pathology, 2011, 131(3): 483-496.
- [9] 李爱华,岳思君,马海滨. 真菌孢子三种计数方法相关性的探讨 [J]. 微生物学杂志, 2006, 26(2): 107-110.
Li A H, Yue S J, Ma H B. Correlativity of three counting methods of fungal spore [J]. Journal of Microbiology, 2006, 26(2): 107-110.
- [10] 易 扬. 基于 IEEE802. 11 的无线图像传输研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2005.
Yi Y. Based on IEEE802. 11 wireless image transmission study [D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2005.
- [11] 周亚强,马 俊,杜 军. STM32 的 GPRS 农田多点图像传输系统设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2015(10): 47-50.
Zhou Y Q, Ma J, Du J. GPRS farmland multipoint image transfer system based on STM32 [J]. Journal of Single-chip Microcomputer and Embedded System Application, 2015(10): 47-50.
- [12] 薛 琳. 基于 iOS 平台的云服务器管理系统研究与实现 [D]. 上海: 东华大学, 2015.
Xue L. Based on the cloud server iOS research and implementation of management system [D]. Shanghai: Donghua University, 2015.

- [13] 金明哲,郑建立,裴旭明,等. 应用于物联网的 Linux 云端服务器设计 [J]. 信息技术, 2015(9):179-183.
Jin M Z, Zheng J L, Pei X M, et al. Design of Linux cloud server application in the internet of things [J]. Journal of Information Technology, 2015(9):179-183.
- [14] Qiu X B, Zhou Y. Binary image segmentation based on optimized parallel K-means [J]. British Journal of Anaesthesia, 2015, 103(6):783-785.
- [15] Ma G Q, Wang X J. An efficient algorithm optimization of CT images segmentation based on K-means clustering [J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 530/531:386-389.
- [16] 王丹丹,徐越,宋怀波,等. 融合 K-means 与 Ncut 算法的无遮挡双重苹果目标分割与重建 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(10):227-234.
Wang D D, Xu Y, Song H B, et al. Fusion of K-means and Ncut algorithm to realize segmentation and reconstruction of two overlapped apples without blocking by branches and leaves [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2015, 31(10):227-234.
- [17] 李牧,闫继红,李戈,等. 自适应 Canny 算子边缘检测技术 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007, 28(9):1002-1007.
Li M, Yan J H, Li G, et al. Self-adaptive Canny operator edge detection technique [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2007, 28(9):1002-1007.
- [18] Mokrzycki W, Samko M. Canny edge detection algorithm modification [C]//International conference on computer vision and graphics. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2012:533-540.
- [19] Wang M, Jin J S, Jing Y, et al. The improved Canny edge detection algorithm based on an anisotropic and genetic algorithm [C]//Advances in image and graphics technologies. Beijing: Springer, 2016:115-124.
- [20] 李文勇,李明,钱建平,等. 基于形状因子和分割点定位的粘连害虫图像分割方法 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(5):175-180.
Li W Y, Li M, Qian J P, et al. Based on the shape factor and adhesion of the segmentation point positioning pest image segmentation method [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2015, 31(5):175-180.
- [21] 杨蜀秦,宁纪锋,何东健. 基于 Harris 算子的籽粒尖端识别方法 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(3):166-169.
Yang S Q, Ning J F, He D J. Identification of tipcap of agricultural kernel based on Harris algorithm [J]. Journal of Agricultural Machinery, 2011, 42(3):166-169.
- [22] 周志艳,闫梦璐,陈盛德,等. Harris 角点自适应检测的水稻低空遥感图像配准与拼接算法 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(14):186-193.
Zhou Z Y, Yan M L, Chen S D, et al. Image registration and stitching algorithm of rice low-altitude remote sensing based on Harris corner self-adaptive detection [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2015, 31(14):186-193.
- [23] Wan L, Yu Z M, Yang Q H. Corner detection algorithm with improved Harris [C]//Advances in image and graphics technologies. Berlin, Heidelberg: Springer, 2015:260-271.

(上接第 147 页)

- [17] 薛丽芳,谭海樵. 沂河流域水文特征变化及其驱动因素 [J]. 地理科学进展, 2011, 30(11):1354-1360.
Xue L F, Tan H Q. Yihe watershed hydrological characteristics change and its driving factors [J]. Journal of Geographical Science, 2011, 30(11):1354-1360.
- [18] 荣艳淑,周云,王文. 淮河流域蒸发皿蒸发量变化分析 [J]. 水科学进展, 2011, 22(1):15-22.
Rong Y S, Zhou Y, Wang W. Changes in Huaihe river basin evaporation pan evaporation analysis [J]. Advances in Water Science, 2011, 22(1):15-22.
- [19] Lee J, Pak G. Effects of land use change and water reuse options on urban water cycle [J]. Journal of Environment Sciences, 2010, 22(6):923-928.
- [20] 郑璟,方伟华,史培军,等. 快速城市化地区土地利用变化对流域水文过程影响的模拟研究:以深圳市布吉河流域为例 [J]. 自然资源学报, 2009, 24(9):1560-1572.
Zheng J, Fang W H, Shi P J, et al. Rapid urbanization areas of land use change on the influence of watershed hydrological processes simulation studies: Shenzhen Buji river basin, for example [J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(9):1560-1572.
- [21] 何其华,何永华,包维楷. 干旱半干旱区山地土壤水分动态变化 [J]. 山地学报, 2003, 21(2):149-156.
He Q H, He Y H, Bao W K. Drought happened in mountain soil moisture dynamic change [J]. Journal of Mountain, 2003, 21(2):149-156.
- [22] 范姝云. 土壤水分动态对林地地表径流的影响概况 [J]. 绿色科技, 2015(4):1-2, 6.
Fan S Y. Soil moisture dynamic impact on forest land surface runoff survey [J]. Journal of Green Science and Technology, 2015(4):1-2, 6.