

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.03.041

面向叶类蔬菜病害识别的温室监控视频采集系统*

马浚诚^{1,2} 李鑫星^{1,2} 温皓杰³ 陈英义^{1,2} 傅泽田^{1,2} 张领先^{1,2}

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 农业部农业信息获取技术重点实验室, 北京 100083;
3. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 为满足温室叶类蔬菜病害准确识别的视频数据需求,结合温室叶类蔬菜病害发生的特点,采用物联网技术,基于传感器感知的环境信息与摄像机监控视频信息,构建了一种面向叶类蔬菜病害识别的温室监控视频采集系统。该系统将案例检索与模糊推理方法相结合,设计温室监控视频获取方法,将传感器实时采集的数据与知识库中的病害产生环境条件相匹配,以匹配结果作为视频采集的依据,实现了监控视频的智能采集;并利用模糊推理方法,弥补案例检索结果不够全面的问题,确保了数据的准确获取。同时,该系统还提供了实时数据显示、实时视频监控等功能。系统应用结果表明,该系统能够满足温室叶类蔬菜病害识别的视频数据需求。

关键词: 叶类蔬菜 病害识别 温室监控 视频获取 模糊推理

中图分类号: S436.36; TN941.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)03-0282-06

Monitoring Video Capture System for Identification of Greenhouse Vegetable Diseases

Ma Juncheng^{1,2} Li Xinxing^{1,2} Wen Haojie³ Chen Yingyi^{1,2} Fu Zetian^{1,2} Zhang Lingxian^{1,2}

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology, Ministry of Agriculture, Beijing 100083, China
3. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: With the development of technology of internet of things (IOT), video data plays more and more important roles in monitoring of facility agriculture. Aiming at the video data requirement of identification for greenhouse vegetable diseases, this paper presents a monitoring video capture system orienting the identification of greenhouse vegetable diseases according to the characteristics of diseases of greenhouse leafy vegetables. The monitoring video capture system utilized the technology of IOT and the information acquired by sensors and monitoring cameras in greenhouse. The monitoring video capture system achieved the goal of intelligent greenhouse monitoring video acquisition by using a designed greenhouse video acquiring method. The greenhouse video acquiring method fused the case based reasoning and fuzzy reasoning, more specially, monitoring videos can be acquired through the greenhouse video acquiring method by matching the data collected by sensors in real time with the combination of environmental conditions in knowledge base. The fusion of case based reasoning and fuzzy reasoning can make up the incompleteness of the use with single method of case retrieval and ensure the accuracy of the data. The system also consisted of the functions of real time monitoring data and real time monitoring video. The results showed that the recall of the monitoring video capture system was 95.4%, which indicated that the monitoring video capture system can meet the video data requirement of identification for greenhouse vegetable diseases.

Key words: Leafy vegetable Diseases identification Greenhouse monitoring Video acquisition
Fuzzy inference

收稿日期: 2014-06-11 修回日期: 2014-08-13
* 国家自然科学基金资助项目(31271618)和北京农业局财政资助项目(blvt-20)
作者简介: 马浚诚, 博士生, 主要从事农业信息技术、图像处理和计算机视觉技术研究, E-mail: forever.mjc.cau@gmail.com
通讯作者: 张领先, 副教授, 博士生导师, 主要从事农业信息化技术研究, E-mail: zlx131@163.com

引言

农作物病害防治的关键是准确地识别病害^[1]，而病害的准确识别是以病害病症信息的准确获取为基础。当前病害病症信息获取的方法主要有文字^[2-4]和图像^[5-13]两种途径。随着物联网技术的发展,越来越多的蔬菜温室都已经配备了视频监控摄像机,可以辅助农民实时感知生产现场的状况以及蔬菜的生长情况。当叶类蔬菜染病后,引起植株外部形态改变,产生病斑,反映在叶片上则会形成颜色、纹理、形状等病症特征的差异。这些病害病症信息,都记录在了海量的监控视频信息中,具有重要的使用价值。若能从这些视频信息中及时提取出叶类蔬菜病害的相关病症信息用于病害的准确识别和诊断,对温室叶类蔬菜病害早期防治具有重要的意义。

由于现场监控视频是 24 h 采集,而叶类蔬菜病害不是时刻都在发生,如果不停地对监控视频进行运算诊断,会造成大量的计算冗余;同时,视频采集量巨增,也会为后期准确诊断带来困难。为解决以上问题,针对温室叶类蔬菜病害识别的视频数据需求,结合温室叶类蔬菜叶部病害产生的特点,本文提出一种面向叶类蔬菜病害识别的温室视频采集系统。

目前,在视频采集方面的研究有很多,但这些研究多从硬件开发角度展开^[14-20],在其特定的应用领域能够取得理想的效果。而在本研究应用中,这些方法和系统没有针对性,没有充分考虑温室叶类蔬菜病害产生的环境条件及病害病症信息特征,针对性不强,其应用效果不理想。由于温室叶类蔬菜每一种叶部病害的发生,都拥有一种适宜其发生的环境条件^[21-22],因此,本文系统结合模糊推理与案例检索,构建温室监控视频采集方法,将实时采集的环境数据与构建的知识库中的案例进行对比,并将结果作为视频获取的依据,从而实现从海量视频监控信息中提取包含病害病症特征信息监控视频段,为叶类蔬菜病害的准确识别奠定基础。

1 系统设计

1.1 设计目标

本系统综合利用物联网技术,结合温室叶类蔬菜病害产生的特点,旨在提供一种能够从海量监控视频中获取包含温室叶类蔬菜病害病症信息视频的手段,从而为温室叶类蔬菜病害早期识别提供可靠的视频数据。

1.2 系统的功能结构设计

根据设计目标,系统基于模块化思想从功能角

度划分为 4 个模块,分别是实时环境数据、实时视频监控、视频采集和系统管理(图 1)。4 个模块相互独立,分别具有不同功能:

- (1)实时环境数据模块。温室内环境信息实时有效的采集是系统进行视频获取的基础之一。通过该模块,用户可以看到温室内实时的环境数据。
- (2)实时视频监控模块。该模块主要是为用户提供现场视频信息,用户可以查看实时现场视频和历史视频数据。
- (3)视频采集模块。该模块是该系统的核心模块,集合温室叶类蔬菜病害产生的特点,提供了监控视频数据实时智能采集的功能。
- (4)系统管理模块。该模块由系统管理员对用户相关信息及登录权限进行管理,同时负责系统的日常事务管理和维护以及数据库的管理,以提高系统的安全性和数据的完整性。

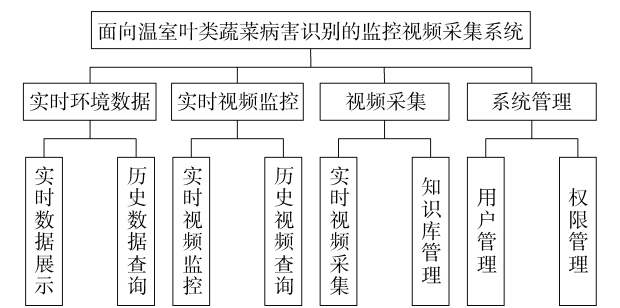


图 1 系统功能模块图

Fig. 1 Function module structure of system

1.3 知识库设计

知识库的设计是构建整个面向叶类蔬菜病害识别的温室视频采集系统重要的一环,而该视频获取系统的可靠性就直接取决于知识库中所存储的知识的质量。

本研究知识获取工作主要通过查阅大量书籍、论文,以及对北京市叶类蔬菜创新团队专家、北京地区蔬菜病害的防治研究人员、农技人员和有经验的蔬菜种植户的调研。通过对调查结果进行整理和数据分析,并邀请领域专家进行确认,以油菜病害识别为例,知识库中共收集了 6 种温室油菜叶部病害(表 1)。

本系统结合油菜病害知识表示的特点,选择了产生式规则表示方法,如油菜白斑病的一条产生式规则

IF Temperature: 11 ~ 23℃ W_1
And Humidity: >60% W_2
THEN 油菜白斑病 w

其中, $W_j(j=1,2)$ 为第 j 个环境条件在知识库案例中所占的权重,其计算式为^[3]

表 1 常见油菜叶部病害及其易发环境条件
Tab.1 Common leafy diseases of oilseed rape
and environmental condition

病害名称	温度/℃	相对湿度/%
油菜白斑病	11 ~ 23	>60
油菜白粉病	20 ~ 25	45 ~ 75
油菜白锈病	7 ~ 13	>90
油菜黑斑病	13 ~ 15	>90
油菜黑腐病	27 ~ 30	>90
油菜霜霉病	8 ~ 14	90 ~ 95

$$W_j = \frac{P(s_j)}{\sum_{x=1}^n P(s_x)} \tag{1}$$

式中 $P(s_j)$ ——相同环境条件在不同案例中出现概率的总和

$$\sum_{x=1}^n P(s_x)$$
——所有环境条件出现概率总和

w 为推断概率,其计算式为

$$w = \sum_{i=1}^n w_i \tag{2}$$

1.4 温室监控视频获取算法

系统将案例检索与模糊推理相结合,提出面向叶类蔬菜病害识别的温室监控视频获取方法。

案例推理是现有专家系统最常用的推理技术之一,其最常用的案例检索算法是最近邻法^[23-25]。利用最近邻法进行案例检索,所得到的结果通常只有2个,即:成功,实时环境条件与知识库中某一种或几种病害案例完全符合;失败,实时环境条件不符合知识库中任意一种病害发生的环境条件。当传感器采集到的环境条件组合不能够和知识库中的病害的环境条件完全吻合时,就导致案例检索通常都不能检索到相同案例。而在温室的实际情况中,不能完全匹配的情况占大多数,因此,单纯采用案例检索的方法并不可行。

本文将模糊推理引入案例检索,对案例检索方法进行有效补充,计算传感器采集到的环境条件组合与知识库中病害产生环境条件的相似度。只要相似度在一定范围之内,即使没能与案例完全匹配,也可输出结果。相似度的计算采用 AARS 方法 (Turksen’s approximate analogieal reasoning sehema)^[26-29]。AARS 是一种相似推理,其规则为

$$\text{IF } A \text{ THEN } C(CF = \mu), T_h, w$$

其中, A 表示前提,由 and、or 连接, μ 为可信度因子, T_h 为设定的阈值, w 为前提 A 的权重, C 为推理结果。其相似度计算公式为

$$S(A,A^*) = 1 - d(A,A^*) \tag{3}$$

若相似度 S 大于设定的阈值 T_h ,则启用模糊推

理的规则,利用调整函数输出推理结果,即

$$C^* = \min \{ 1, C/S \} \tag{4}$$

因此,本文在借鉴 AARS 方法的基础上,结合案例检索算法及温室叶类蔬菜病害产生环境条件的特点,最终确定相似度的计算公式为

$$S(A,A^*) = \min \left\{ 1, \frac{\sum_{k=1}^m w_k W_k}{\sqrt{\sum_{k=1}^m w_k^2 \sum_{k=1}^m W_k^2}} \right\} \tag{5}$$

在本文具体的研究应用中,式(5)中 A 可进一步表示为知识库中的油菜病害案例; A^* 表示为传感器采集的环境条件组合; $S(A,A^*)$ 为二者的相似度,其含义表示为在 A^* 环境条件下,油菜病害案例 A 的发病概率;在相似度计算中, w_k 具体表示为传感器采集的环境条件组合中第 k 个环境条件的权重,权重的计算方法见公式(1)。

这样就将诊断结果修正为3个,即:①成功。从知识库中检索到相同案例($S(A,A^*) > 0.9$)。②成功但不够精确。从知识库中检索到相似案例($0.7 \leq S(A,A^*) \leq 0.9$)。③失败。未能检索到相关案例($S(A,A^*) < 0.7$)。其中,0.9、0.7 为预先设定的阈值。

本文采用的阈值首先由系统进行相似度计算得出,并在系统应用过程中根据实际情况进一步验证。当温室环境条件中只有某一个环境条件与知识库中某个案例相符时,系统计算出的最低相似度约为0.71,当温室环境条件与知识库中案例完全相符时,其相似度为最低约为0.94。为确保数据获取的完备性,选取的阈值应小于最低相似度,因此选择阈值0.7和0.9进行下一步验证。在系统的应用测试试验中,采用这2个阈值进行视频获取后的病害分析处理,计算得出系统查全率达到95.4%,满足了生产实际监测的精度需求。

当推理结果为成功时,即开始截取长度为10~20 s 的监控视频片段,并上传至视频处理服务器进行下一步处理;当推理结果为成功但不够精确时,通知用户推理的结果,并询问用户是否截取视频进行上传处理,如果用户选择“是”,则截取长度为10~20 s 的监控视频片段,并上传至视频处理服务器进行下一步处理,如果用户选择“否”,则视频只存储到视频存储服务器;推理结果为失败时,视频只进行存储,不进行上传处理,推理算法的流程如图2所示。

2 系统开发与应用

利用 Java 技术将互联网与视频获取相结合,以

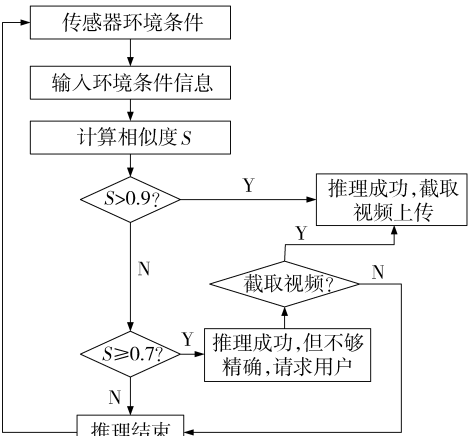


图 2 匹配算法流程图
Fig. 2 Flow chart of matching algorithm

MyEclipse 6.0 为设计开发工具,采用 SQL Server 2000 为数据库开发工具来实现面向叶类蔬菜病害识别的温室监控视频采集系统(图 3、4)。

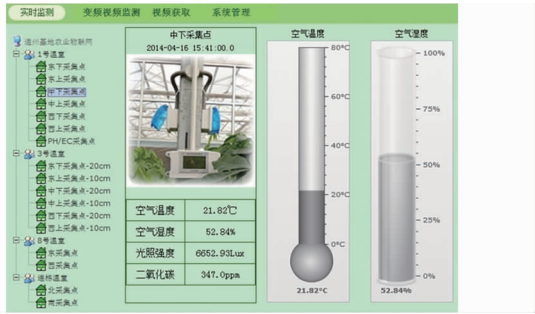


图 3 传感器数据实时显示
Fig. 3 Real time display of data



图 4 实时视频监控
Fig. 4 Real time monitoring

首先设置算法的参数,包括 2 个相似度阈值以及截取视频的长度和截取视频的存放位置。2 个相似度的参数分别为 0.7 和 0.9。

在参数设置完成后,运行算法进行视频获取,当前温室内的温度为 21.82℃,相对湿度为 52.84%,匹配的结果如图 5 所示。

从算法的结果来看,当前的温湿度符合知识库中油菜白粉病的温湿度条件,其发病概率为 0.96,而只有温度条件达到知识库中油菜白斑病的温度条件,其发病概率为 0.71。此时,根据之前设定的截

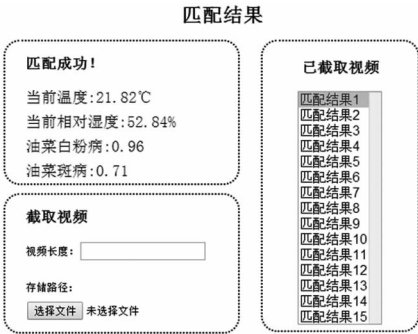


图 5 匹配成功截取视频
Fig. 5 Match succeeds results

取视频的长度,截取一段视频存放至指定的路径。当温室内的环境条件变化为温度 27.64℃,相对湿度 47.26%时,此时算法的匹配结果如图 6 所示。

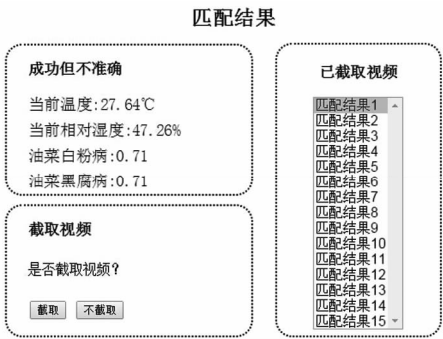


图 6 询问用户是否截图
Fig. 6 Interaction with users

从结果来看,当前温湿度条件下,温度条件达到了油菜黑腐病的温度条件,其发病概率为 0.71;湿度条件达到了油菜白粉病的湿度条件,其发病概率为 0.71。此时,需要询问用户是否截取视频,如果用户选择“是”,则根据之前设定的截取视频的长度,截取一段视频存放至指定的路径,如果选择“否”,则不截取视频。

当室内环境条件变化为温度 25.91℃,相对湿度 43.46%时,匹配的结果如图 7 所示。

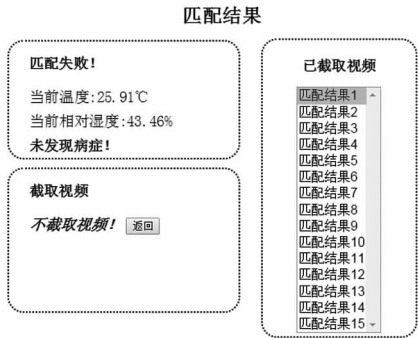


图 7 匹配失败,不用截取视频
Fig. 7 Match fails results

从结果中可以看到,此时的温湿度条件与知识库中任意一种病害的温湿度条件都不符合,因此不截取视频。

在温室实时环境条件与知识库中案例的相似度低于 0.7 时,仍有可能产生病害。但在系统的应用测试试验过程中,采用这 2 个阈值进行视频获取后对采集的视频进行病害分析处理,计算得出系统查全率达到 95.4%,可以满足实际监测的精度需求。

3 结束语

本文将案例检索和模糊推理融合设计了视频获

取方法,针对温室叶类蔬菜病害发生的条件,构建了一种面向叶类蔬菜病害识别的温室监控视频采集系统,以推理结果作为视频获取的依据,实现了监控视频数据的智能获取。该系统应用结果良好,查全率达到 95.4%,可以满足实际监测的精度需求,为下一步基于视频特征的蔬菜病害识别研究奠定了基础。

参 考 文 献

1 彭占武,王雪,司秀丽,等. 温室蔬菜病害智能识别图像预处理及其特征提取方法的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2007, 29(2): 219 – 223.

Peng Zhanwu, Wang Xue, Si Xiuli, et al. A study on the method of image pre-processing and feature extraction for intelligent recognition of greenhouse vegetable diseases [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2007, 29(2): 219 – 223. (in Chinese)

2 李鑫星,傅泽田,张领先. 农业病虫害远程诊断与知识呼叫中心系统[J]. 农业机械学报, 2010, 41(6): 153 – 157.

Li Xinxing, Fu Zetian, Zhang Lingxian. Call-center system for agricultural knowledge based on remote diagnosis of pests and diseases[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(6): 153 – 157. (in Chinese)

3 李鑫星,张领先,傅泽田,等. 棉花虫害诊断系统的设计与 Web 实现 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊 2): 208 – 212.

Li Xinxing, Zhang Lingxian, Fu Zetian, et al. Design and implementation of pest diagnosis system for cotton based on Web [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(Supp.2): 208 – 212. (in Chinese)

4 温皓杰,张领先,傅泽田,等. 基于 Web 的黄瓜病害诊断系统设计[J]. 农业机械学报, 2010,41(12): 178 – 182.

Wen Haojie, Zhang Lingxian, Fu Zetian, et al. Disease diagnosis system design for cucumber based on Web [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 178 – 182. (in Chinese)

5 Camargo A, Smith J S. Image pattern classification for the identification of disease causing agents in plants [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 66(2): 121 – 125.

6 Stegmayer G, Milone D H, Garran S, et al. Automatic recognition of quarantine citrus diseases [J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40(9): 3512 – 3517.

7 Zhang W, Teng G, Wang C. Identification of jujube trees diseases using neural network [J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2013, 124(11): 1034 – 1037.

8 邓继忠,李敏,袁之报,等. 基于图像识别的小麦腥黑穗病害特征提取与分类[J]. 农业工程学报,2012,28(3):172 – 176.

Deng Jizhong, Li Min, Yuan Zhibao, et al. Feature extraction and classification of Tilletia diseases based on image recognition [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3): 172 – 176. (in Chinese)

9 贾建楠,吉海彦. 基于病斑形状和神经网络的黄瓜病害识别[J]. 农业工程学报, 2013, 29(增刊 1): 115 – 121.

Jia Jiannan, Ji Haiyan. Recognition for cucumber disease based on leaf spot shape and neural network [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(Supp.1): 115 – 121. (in Chinese)

10 彭占武,司秀丽,王雪,等. 基于图像处理和模糊聚类方法的黄瓜霜霉病识别研究[J]. 中国农机化学报, 2013,34(2): 212 – 216.

Peng Zhanwu, Si Xiuli, Wang Xue, et al. Study on the recognition of cucumber downy mildew based on image processing and fuzzy clustering [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013, 34(2): 212 – 216. (in Chinese)

11 霍迎秋,唐晶磊,尹秀珍,等. 基于压缩感知理论的苹果病害识别方法[J]. 农业机械学报, 2013, 44(10): 227 – 232.

Huo Yingqiu, Tang Jinglei, Yin Xiuzhen, et al. Apple disease recognition based on comprehensive sensing [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10): 227 – 232. (in Chinese)

12 田杰,韩冬,胡秋霞,等. 基于 PCA 和高斯混合模型的小麦病害彩色图像分割[J]. 农业机械学报, 2014,45(7): 267 – 271.

Tian Jie, Han Dong, Hu Qiuxia, et al. Segmentation of wheat rust lesion image using PCA and Gaussian mix model [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7): 267 – 271. (in Chinese)

13 袁媛,李森,陈晟,等. 复杂背景黄瓜叶部病害图像分割方法[J]. 农业机械学报, 2013, 44(10): 233 – 237.

Yuan Yuan, Li Miao, Chen Sheng, et al. Segmentation of cucumber leaf disease images with complex background [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10): 233 – 237. (in Chinese)

14 肖灵通,谢琪,何成,等. 基于 TMS320DM6446 的 USB 数字视频采集显示技术的设计与实现[J]. 电子测量技术, 2014, 37(2): 40 – 42.

Xiao Lingtong, Xie Qi, He Cheng, et al. Design and realization of USB digital video capturing and displaying based on TMS320DM6446[J]. Electrical Measurement Technology, 2014, 37(2): 40 – 42. (in Chinese)

15 王健,姜伟,向建军. 基于 MX27 的嵌入式视频采集系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(8): 2296 – 2297.

Wang Jian, Jiang Wei, Xiang Jianjun. Design and implementation of video acquisition system based on MX27 in unmanned aerial vehicle [J]. Computer Measurement & Control, 2013, 21(8): 2296 – 2297. (in Chinese)

16 刘勇, 张忠伟, 董文涛, 等. 基于 DM642 的视频采集系统的设计与实现[J]. 计算机应用, 2013, 33(增刊 2): 302 – 304. Liu Yong, Zhang Zhongwei, Dong Wentao, et al. Design and realization of video acquisition system based on DM642[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(Supp. 2): 302 – 304. (in Chinese)

17 余涵, 夏显成, 杜亚娟. 基于 DM6467T 的音视频采集模块设计[J]. 计算机工程, 2013, 39(11): 312 – 316. Yu Han, Xia Xiancheng, Du Yajuan. Design of audio and video collection module based on DM6467T [J]. Computer Engineering, 2013, 39(11): 312 – 316. (in Chinese)

18 李勇, 卢世江, 宋芳, 等. 真实场景的三维视频采集及显示[J]. 光子学报, 2012, 40(11): 1706 – 1710. Li Yong, Lu Shijiang, Song Fang, et al. Three-dimensional capture and display of real scene with video speed [J]. ACTA Photonica Sinica, 2012, 40(11): 1706 – 1710. (in Chinese)

19 张钢, 陈婧. 移动手持设备上视频采集与传输系统的实现[J]. 计算机应用与软件, 2010, 27(12): 75 – 77. Zhang Gang, Chen Jing. Implementation of video capture and transmission system on mobile handheld devices [J]. Computer Applications and Software, 2010, 27(12): 75 – 77. (in Chinese)

20 吴勇, 刘学军, 赵华, 等. 可定位视频采集方法研究[J]. 测绘通报, 2010(1): 24 – 27. Wu Yong, Liu Xuejun, Zhao Hua, et al. Research on the method of capturing the locating video based on DM642 [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2010(1): 24 – 27. (in Chinese)

21 李明, 赵春江, 杨信廷, 等. 温室蔬菜病害预警体系初探[J]. 中国农学通报, 2010, 26(6): 324 – 331. Li Ming, Zhao Chunjiang, Yang Xinting, et al. Towards an early warning framework of greenhouse vegetable diseases—a case of cucumber downy mildew [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(6): 324 – 331. (in Chinese)

22 牛海微. 基于遗传 BP 神经网络构建温室月季花卉病害的预警系统[D]. 长春: 吉林大学, 2011. Niu Haiwei. Building of warning system on greenhouse roses diseases based on genetic BP neural network [D]. Changchun: Jilin University, 2011. (in Chinese)

23 乔丽, 姜慧霖, 贾世杰. 基于改进 K-means 聚类的案例检索策略[J]. 计算机工程, 2011, 37(5): 193 – 195. Qiao Li, Jiang Huilin, Jia Shijie. Case retrieval strategy based on improved K-means clustering [J]. Computer Engineering, 2011, 37(5): 193 – 195. (in Chinese)

24 张英菊, 仲秋雁, 叶鑫, 等. 基于案例推理的应急辅助决策方法研究[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(4): 1412 – 1415. Zhang Yingju, Zhong Qiuyan, Ye Xin, et al. Research on method of emergency aid decision-making based on CBR [J]. Application Research of Computers, 2009, 26(4): 1412 – 1415. (in Chinese)

25 Schank R C. Dynamic memory: a theory of learning in people and computers [M]. New York: Cambridge University Press, 1982.

26 Turksen I B, Zhong Z. An approximate analogical reasoning approach based on similarity measures [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1988, 18(6): 1049 – 1056.

27 Turksen I B, Zhong Z. An approximate analogical reasoning schema based on similarity measures and interval-valued fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1990, 34(3): 323 – 346.

28 Yeung D S, Tsnag E C C. A comparative study on similarity-based fuzzy reasoning methods [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1997, 27(2): 216 – 227.

29 何映思. 模糊控制的模糊推理算法研究[D]. 重庆: 西南大学, 2005. He Yingsi. Research on fuzzy reasoning methods [D]. Chongqing: Southwest University, 2005. (in Chinese)