

杜盼, 孙道宗, 李震, 等. 基于故障树分析法的柑橘病虫害诊断专家系统 [J]. 华南农业大学学报, 2022, 43(4): 106-112.
DU Pan, SUN Daozong, LI Zhen, et al. An expert system for diagnosing citrus diseases and pests based on fault tree analysis[J]. Journal of South China Agricultural University, 2022, 43(4): 106-112.

基于故障树分析法的柑橘病虫害诊断专家系统

杜盼¹, 孙道宗^{1,2}, 李震^{1,2}, 宋淑然^{1,2}

(1 华南农业大学 电子工程学院/人工智能学院, 广东 广州 510642; 2 广东省农情信息监测工程技术研究中心/岭南现代农业科学与技术广东省实验室, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】为解决柑橘病虫害防治工作中植物保护主业知识普及不足、高效病虫害诊断手段缺乏的问题, 研制一种基于故障树分析法的柑橘病虫害诊断专家系统。【方法】首先, 利用故障树分析法计算病虫害发生的概率、建立病虫害知识库; 其次, 根据知识库以及正向推理策略设计实现专家系统的推理机; 最后, 利用微信开发者工具在微信小程序内搭建故障树分析法的计算规则、专家系统的推理机, 构建基于故障树分析法的专家系统。【结果】建立了一种包含病虫害模块、最新资讯模块、知识库查询模块、病虫害诊断模块、用户中心模块 5 大功能模块的柑橘病虫害诊断专家系统。经测试, 系统可以在不同型号的手机中平稳运行, 占用内存的平均大小为 175 MB, 系统启动的平均耗时为 1.0984 s, 页面切换的平均耗时为 0.0495 s; 连续运行系统 1 h, 手机与服务器的连接均未出现异常。【结论】本系统运行稳定可靠、页面样式显示正常。用户通过此系统能够诊断病虫害并获得具体的防治技术, 同时也能够了解专业的植物保护知识。

关键词: 柑橘病虫害; 故障树分析法; 专家系统; 微信小程序

中图分类号: S431; TP311

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2022)04-0106-07

An expert system for diagnosing citrus diseases and pests based on fault tree analysis

DU Pan¹, SUN Daozong^{1,2}, LI Zhen^{1,2}, SONG Shuran^{1,2}

(1 College of Electronic Engineering/College of Artificial Intelligence, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2 Guangdong Engineering Research Center for Monitoring Agricultural Information/Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】 An expert system for diagnosing citrus diseases and pests based on fault tree analysis was developed to solve the problems of insufficient popularization of professional plant protection knowledge and lack of efficient diagnosis methods in the prevention and control of citrus diseases and pests. 【Method】 First, fault tree analysis method was used to calculate the occurrence probability of diseases and pests and establish a knowledge base of diseases and pests. Secondly, based on the knowledge base and forward reasoning strategy, the reasoning engine of the expert system was designed and implemented. Finally, Weixin DevTools were used to equip the calculation rules of fault tree analysis method and the inference engine of expert system in weixin mini program, and build the expert system based on fault tree analysis method.

收稿日期: 2021-10-31 网络首发时间: 2022-05-23 15:46:56

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20220523.1048.002.html>

作者简介: 杜盼, 硕士研究生, 主要从事信息管理系统及微信小程序开发与应用研究, E-mail: 1131357127@qq.com; 通信作者: 宋淑然, 教授, 博士, 主要从事喷雾技术及测试控制技术研究与应用, E-mail: songshuran@scau.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金 (31671591); 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项资金 (2021KJ108); 广州市科技计划项目 (202002030245); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助项目 (CARS-26)

【Result】We established an expert system for diagnosing citrus diseases and pests with five functional modules: Pest knowledge module, latest information module, knowledge base query module, diseases and pest diagnosis module as well as user center module. After testing, the system could run smoothly in different types of mobile phones. The average size of memory occupied was 175 megabytes, the average time for system startup was 1.0984 s and the average time for page switching was 0.0495 s. After running the system continuously for 1 h, the connection between the mobile phone and the server was normal. 【Conclusion】The system is stable and reliable, and the page style is displayed normally. Users can exploit the system to diagnose diseases and pests and obtain corresponding control methods. Meanwhile, users can also learn professional plant protection knowledge from the system.

Key words: Citrus diseases and pests; Fault tree analysis; Expert system; Weixin mini program

柑橘病虫害导致的经济损失严重,做好病虫害防治工作是减少损失的主要途径^[1]。但目前病虫害防治工作有两大不足:一是从业者的植保专业知识不足;二是缺乏高效的病虫害诊断手段^[2-4]。

针对上述问题,本文提出将故障树分析法与专家系统相结合的方法,以期实现积累和传播植保知识、诊断病虫害等功能。基于故障树分析法的专家系统是一种智能化诊断方式,应用广泛并且具有很高的诊断效率和准确度^[5]。潘学文等^[6]根据故障树分析法设计了一种基于故障树的电动无轨胶轮车故障诊断专家系统,可有效地对电动无轨胶轮车进行故障诊断。李艳艳等^[7]建立电动公交车的故障诊断专家系统,能够按一定的推理策略逐步求解问题,推理结果再通过人机界面显示给用户,从而提高诊断效率。陈浩敏等^[8]利用故障树分析法构建故障诊断专家系统,从而实现对故障类型、模式和部件的准确诊断。但由于这些系统的终端设备为电脑或服务器,适用人群受限,这直接阻碍了专家系统在实际生产中的应用和推广。

为了进一步发挥专家系统在柑橘病虫害防治工作中的作用,本文提出将基于故障树分析法的专家系统搭载于手机微信上。微信是一种普及率极高的在线社交媒体,拥有庞大的用户基础,用微信小程序展现专家系统,有利于专家系统的快速推广^[9-11]。同时,微信小程序可以通过微信扫码、搜索、公众号关联等方式灵活登录,使专家系统真正能够“触手可及”^[12-13]。基层的柑橘种植者、柑橘种植公司、想要了解柑橘种植的用户都可以便捷地获取并使用专家系统。用户在实际使用时,不需要下载多余的软件,打开微信扫描小程序的二维码即可,用完即退,不占用移动终端设备的系统资源^[14]。

本研究以微信小程序为基础,结合专家系统与故障树分析法,构建基于故障树分析法的柑橘病虫

害诊断专家系统。系统利用故障树分析法计算病虫害发生概率并建立病虫害诊断知识库,在知识库的基础上运用专家系统的推理机分析柑橘病虫害类型及推荐具体的防治技术。

1 材料与方法

1.1 材料

柑橘常见病虫的形态学、分类学、植保学知识,主要来自于《中国果树科学与实践》丛书《柑橘》一书^[15]以及其他参考文献^[16-18];系统开发软件:微信开发者工具(1.05.2108130);系统开发硬件:电脑(处理器 i7-7700,内存 32GB,硬盘 2TB);系统运行软件基础:微信客户端 7.0.22 及以上版本;系统运行硬件基础:各类 Android 手机或平板和 iOS 手机或平板。

1.2 方法

本系统使用故障树分析法和专家系统 2 种方法诊断病虫害。根据故障树分析法建立柑橘病虫害故障树,并计算柑橘病虫害发生的概率,同时利用故障树建立专家系统的专业知识库。依据专家系统的知识库和正向推理的推理机即可实现具体病虫害的诊断。

1.2.1 故障树分析法 故障树分析法 (Fault tree analysis, FTA) 是一种能够系统地查找故障产生原因,并且可以通过故障事件产生的概率进行系统分析的方法^[19]。利用故障树分析法诊断病虫害,首先需要分析与归纳柑橘病虫害的类型,其次在全面分析的基础上构建故障树,经过定性分析求得故障树的最小割集,最后利用故障树底事件计算顶事件的概率,即可求得病虫害的发生概率。

柑橘病虫害类型分析与归纳:将柑橘病虫害类型层次化、模块化是构建柑橘病虫害故障树的前提条件。据统计,我国柑橘害虫有 2 门 14 目 106

科 865 种, 病害有 152 种^[20]。由于种类繁多, 本系统目前只考虑常见病虫害, 并按照 4 类为害部位 (叶片、枝干、果实、根), 归纳出 14 种典型为害症状, 包括叶片脱落、叶片干枯、叶片反卷、叶片黄化、嫩叶受损、树枝干枯、树枝易断、果实油渍状斑点、果实黄绿斑、果实脱落、蛀蚀果肉、果实腐烂、根部腐烂和根瘤。

柑橘病虫害故障树的构建: 建立故障树就是把顶事件和各中间事件、底事件通过逻辑符号联系起来构成一个树状层次逻辑关系。其中, 柑橘病虫害为故障树的顶事件, 病虫害发生部位为中间事件, 典型症状为底事件, 连接上、下级事件的逻辑符号为“或门”。故障树事件如表 1 所示, 柑橘病虫害故障树详见图 1。

表 1 故障树事件
Table 1 Fault tree events

编码 Code	事件名称 Event name	事件类型 Event type	编码 Code	事件名称 Event name	事件类型 Event type	编码 Code	事件名称 Event name	事件类型 Event type
T	柑橘病虫害	顶事件	X_1	叶片脱落	底事件	X_8	果实油渍状斑点	底事件
M_1	叶	中间事件	X_2	叶片干枯	底事件	X_9	果实黄绿斑	底事件
M_2	枝干	中间事件	X_3	叶片反卷	底事件	X_{10}	果实脱落	底事件
M_3	果实	中间事件	X_4	叶片黄化	底事件	X_{11}	蛀蚀果肉	底事件
M_4	根	中间事件	X_5	嫩叶受损	底事件	X_{12}	果实腐烂	底事件
			X_6	树枝干枯	底事件	X_{13}	根部腐烂	底事件
			X_7	树枝易断	底事件	X_{14}	根瘤	底事件

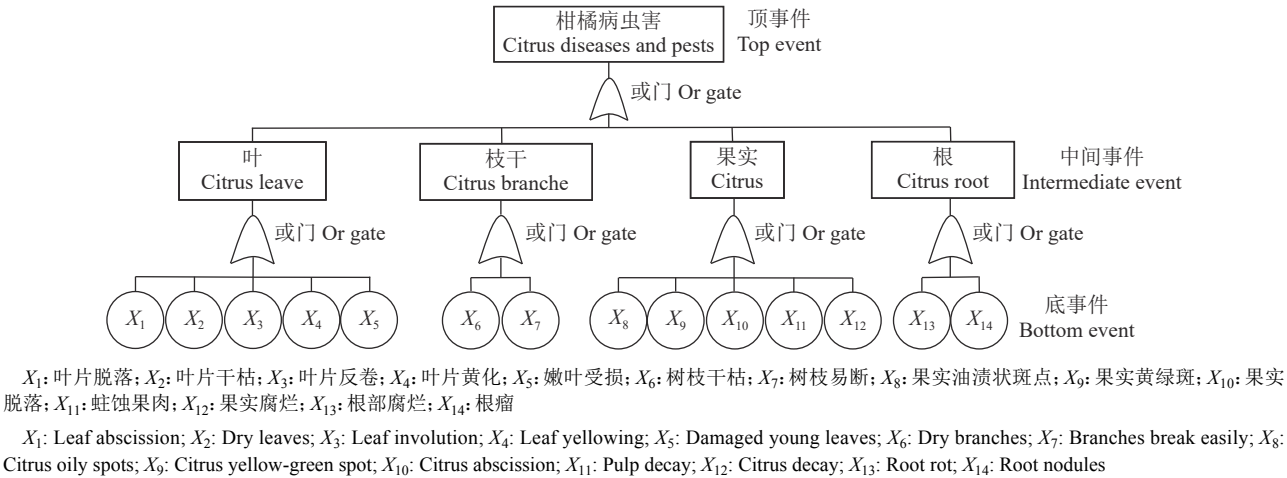


图 1 柑橘病虫害故障树
Fig. 1 Fault tree of citrus diseases and pests

柑橘病虫害故障树定性分析: 对故障树进行定性分析, 就是计算出所有可能导致顶事件发生的故障因子, 即求出故障树的所有最小割集。由于故障树上、下级事件之间都为“或”的逻辑关系, 因此布尔代数表达式用逻辑加表示, 表达式如下:

$$T = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5) + (X_6 + X_7) + (X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12}) + (X_{13} + X_{14}) = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14}.$$

(1)

由计算结果可知, 柑橘病虫害故障树有 14 个最小割集: $\{X_1\}$ 、 $\{X_2\}$ 、 $\{X_3\}$ 、 $\{X_4\}$ 、 $\{X_5\}$ 、 $\{X_6\}$ 、

$\{X_7\}$ 、 $\{X_8\}$ 、 $\{X_9\}$ 、 $\{X_{10}\}$ 、 $\{X_{11}\}$ 、 $\{X_{12}\}$ 、 $\{X_{13}\}$ 、 $\{X_{14}\}$ 。

基于故障树分析法的柑橘病虫害发生概率计算: 用户依据柑橘园中病虫害为害症状的实际情况, 勾选底事件的发生情况, 由系统根据用户的选择判断发生概率 $P(X_i)$, 然后计算中间事件的发生概率 $P(M_j)$:

$$P(M_j) = 1 - \prod_{i=a}^b [1 - P(X_i)],$$

(2)

式中, M_j 为中间事件, $j=1, 2, 3, 4$; X_i 为底事件, $i=1, 2, \dots, 14$; $P(X_i)$ 为底事件发生概率; $P(M_j)$ 为中间

事件的发生概率。由图 1 可知, 4 个中间事件分别对应 14 个不同的底事件, 因此, $j=1$ 时, $a=1$ 、 $b=5$; $j=2$ 时, $a=6$ 、 $b=7$; $j=3$ 时, $a=8$ 、 $b=12$; $j=4$ 时, $a=13$ 、 $b=14$ 。根据底事件的概率, 利用公式 (1) 可计算出 4 个中间事件的概率。

依据中间事件的发生概率, 可以计算顶事件的发生概率 $P(T)$:

$$P(T) = 1 - \prod_{j=1}^4 [1 - P(M_j)], \tag{3}$$

式中, T 为顶事件; M_j 为中间事件, $j=1, 2, 3, 4$; $P(M_j)$ 表示中间事件的发生概率; $P(T)$ 表示顶事件的发生概率。

例如, 某柑橘园中存在病虫害为害症状: 少部分柑橘树的根部出现根瘤且有轻微腐烂现象。用户在底事件 X_{13} “根瘤” 和 X_{14} “根部腐烂” 2 处勾选 “少部分” 选项, 系统判断底事件的发生概率并利用故障树分析法计算各层事件发生概率, 过程如下:

$$P(X_{13}) = P(X_{14}) = 0.25,$$

$$P(X_1) = P(X_2) = \cdots = P(X_{12}) = 0。$$

将底事件的概率带入到公式 (1) 可得中间事件的概率:

$$P(M_1) = P(M_2) = P(M_3) = 0,$$

$$P(M_4) = 1 - [(1 - P(X_{13}))][1 - P(X_{14})] = 1 - [(1 - 0.25) \times (1 - 0.25)] = 0.4375。$$

将中间事件的概率代入公式 (2) 可得顶事件的概率为:

$$\begin{aligned} P(T) &= 1 - [1 - P(M_1)][1 - P(M_2)] \\ &\quad [1 - P(M_3)][1 - P(M_4)] = 1 - \\ &\quad [1 \times 1 \times 1 \times (1 - 0.4375)] = 0.4375。 \end{aligned}$$

由此可得, 故障树的顶事件 T 的发生概率为 0.4375, 中间事件 M_1 、 M_2 、 M_3 的发生概率为 0, M_4 的发生概率为 0.4375。即柑橘树患根瘤病的概率为 0.4375, 叶、枝干、果实部分病变的概率为 0。

1.2.2 病虫害诊断专家系统 本文采用正向推理策略, 根据用户选择的柑橘园为害症状来推理柑橘病虫害, 具体流程如图 2 所示。首先, 用户根据柑橘园实际情况勾选为害症状发生的范围。其次, 系统根据用户的选项判断底事件的发生概率, 并选取概率不为 0 的 “真” 底事件与数据库中的规则表匹配, 匹配成功则得到最终诊断结果 (病虫害名称、防治技术), 匹配失败则返回上一步重新选择一条规则进行匹配, 如此往返重复, 直

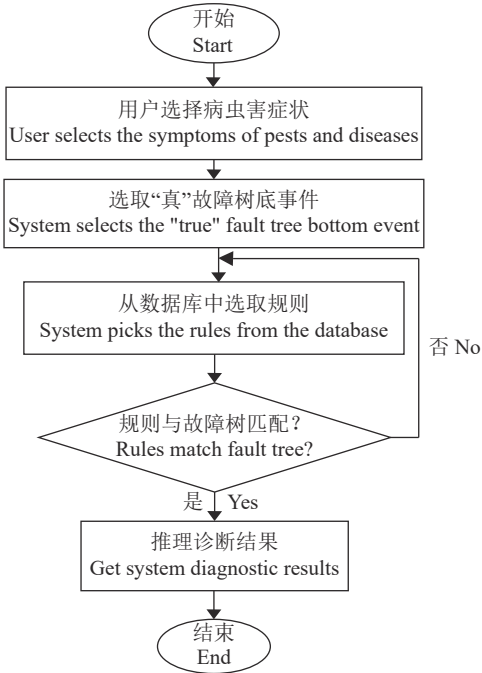


图 2 正向推理流程图
Fig. 2 Flow chart of forward

至得到诊断结果。

2 微信小程序的构建与实现

2.1 微信小程序系统框架

本文设计的柑橘病虫害诊断专家系统主要包含 5 个功能模块, 即病虫害模块、最新资讯模块、知识库查询模块、病虫害诊断模块和用户中心模块 (图 3)。其中, 病虫害模块包括了常见病虫害的详细信息如名称、分类学及病理学知识等; 最新资讯模块主要介绍种植技术、最新惠农助农政策、涉农新闻等; 知识库查询模块为用户提供查询入口, 用户可用关键词检索或继续浏览柑橘病虫害相关知识; 病虫害诊断模块可为用户提供诊断意见和防治建议; 用户中心模块实现用户登录与退出的功能, 并提供在线互动服务。

2.2 微信小程序的实现

本系统的首页如图 4A 所示, 页面中部有 4 个点击入口: 常见病虫害、最新资讯、知识库查询和病虫害诊断, 页面底部有 2 个按钮: 首页和我的。首页中展示了系统 5 个功能模块的入口, 用户点击图标就会进入对应的功能模块。

用户点击首页中 “常见病虫害” 图标, 即可查看病虫害列表 (图 4B), 其左侧有虫害和病害 2 个图标供用户点击, 点击后进入病害或虫害下拉列表, 用户可进一步点击感兴趣的病虫害的图标, 查看病虫害的详细介绍。

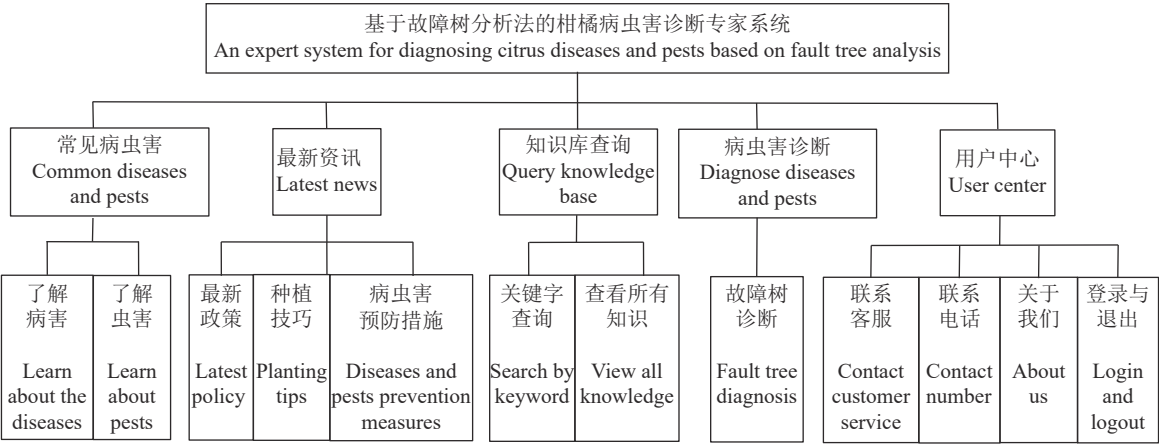


图 3 系统功能结构图

Fig. 3 Diagram of system functional structure



图 4 微信小程序页面

Fig. 4 Pages of weixin mini program

用户点击首页中“最新资讯”图标,即可跳转到资讯列表页面(图 4C),点击资讯的标题或封面,进入到文章的详细页面,页面中有标题、文字介绍和图片介绍。资讯列表页面右上角有“了解更多”按钮,点击此按钮,可进入更多种类的资讯页面。

用户点击首页中“知识库查询”图标,即可看到页面中“条件查询”与“查询全部”2 个部分。用户在“条件查询”标题下的文本输入框输入关

键字,可系统查询含有关键字的柑橘病虫害知识。例如:用户输入“落叶”,病虫害知识库中所有含有“落叶”这一症状的柑橘病虫害都会展示出来(图 4D)。用户点击“查询所有”按钮,页面下方会分页展示知识库中所有的病虫害知识。

用户点击首页中“病虫害诊断”图标,会出现答题页面(图 4E)。用户依据柑橘园的实际情选择题目的对应选项,勾选选项后点击提交答

案, 进入下一题, 直至答完 14 道题。根据用户勾选的 14 道题的答案, 系统进行自动化诊断, 包括计算病虫害概率、诊断病虫害类型及推荐病虫害防控技术。

用户点击页面底部“我的”图标, 系统跳转到用户中心。此页面共有 5 个按钮: 联系客服、登录、退出登录、联系电话、关于我们。用户点击“联系客服”按钮, 进入客服聊天界面, 可以通过发送文字、图片等信息反馈建议。用户点击“联系电话”按钮, 还可以查看到本系统的联系电话。用户点击“关于我们”的按钮, 进入到系统介绍页面, 详细展示了系统的目标、框架以及主要功能。

其次, 用户中心具有登录与退出功能。用户通过微信扫码、搜索等方式登录小程序, 系统会自动识别用户是否为首次登录。若用户为新用户, 页面下方会弹出提示框, 请求用户授权登录, 授权成功后, 进入首页; 若用户不是首次使用小程序, 系统则直接跳转到首页。

2.3 应用举例

某柑橘园中, 用户发现园内少部分果树的果实上存在油渍状斑点, 需要利用系统进行病虫害诊断。用户点击微信小程序登录, 系统识别出用户为

新用户, 页面下方立即弹出请求用户授权登录的提示框, 用户点击“允许”, 系统进入到首页。用户点击首页中“病虫害诊断”图标, 进入答题页面。由于系统默认选择“不存在”选项, 用户仅需点击页面中“提交答案”按钮, 题目就会跳转到下一题, 当“果实油渍状斑点”问题出现, 勾选“少部分”选项, 继续点击“提交答案”, 直至提交完 14 道题答案为止。随后, 系统进行自动化诊断, 运算结果如图 4F 所示。其中, 柑橘树患病的概率为 0.25, 柑橘园内可能存在疮痂病、油斑病 2 种病害。

3 系统测试

系统测试主要从兼容性、响应性能 2 个方面进行。兼容性测试检测在不同型号手机上小程序的组件是否产生冲突, 小程序页面是否出现样式异常, 比如图片显示不完全、页面不能跳转等。响应性能测试时, 重点测试小程序启动总耗时、页面切换耗时、内存消耗、服务器连接情况等。

3.1 兼容性测试

为了检测系统在不同情况下的运行情况, 采用 5 种不同型号的手机、3 种微信版本和 3 种网络信号进行了性能测试, 测试条件及结果如表 2 所示。

表 2 系统的兼容性测试
Table 2 Compatibility test of system

手机型号 Phone model	手机处理器 Phone processor	手机系统 Phone system	微信版本 Weixin version	网络信号 Network signal	页面显示 Pages display
RedMi K40	骁龙888 Xiaolong 888	MIUI 12	8.0.16	4G	正常 Normal
OPPO OnePlus	骁龙865 Xiaolong 865	Android 11	8.0.11	Wifi	正常 Normal
HUAWEI Mate30	麒麟990 Qilin 990	EMUI 10	8.0.16	5G	正常 Normal
Redemi K30i	骁龙765 Xiaolong 765	MIUI 11	8.0.8	4G	正常 Normal
iPhone12	苹果A14 Apple A14	iOS14	8.0.8	5G	正常 Normal

3.2 响应性能测试

使用 5 种不同型号的手机, 对系统的启动耗时、页面切换耗时分别测试 10 次, 取耗时的平均值

为其耗时结果; 对服务器连接状态则连续测试 1 h, 观察使用本系统时网络连接情况是否异常; 测试数据如表 3 所示。由表 3 可知, 系统可以在不同型号

表 3 系统的响应性能测试
Table 3 Response performance test of system

手机型号 Phone model	占用内存/MB Memory footprint	启动耗时/ms Startup time	页面切换耗时/ms Time to switch pages	服务器连接状态 Server connection status
RedMi K40	143	1 150	49	正常 Normal
OPPO OnePlus	193	947	62	正常 Normal
HUAWEI Mate30	141	881	42	正常 Normal
Redemi K30i	248	1 634	50	正常 Normal
iPhone12	150	880	46	正常 Normal
均值 Average	175	1 098.4	49.5	

的手机中平稳运行,其中占用内存的平均大小为 175 MB,启动系统的平均耗时为 1.098 4 s、最长耗时为 1.634 0 s,页面切换的平均耗时为 0.049 5 s、最长耗时为 0.062 0 s;连续运行本系统 1 h,手机与服务器的连接均未出现异常,结果表明本系统使用时响应迅速、运行稳定。

4 结论

本研究针对柑橘病虫害防治工作中的两大不足,将微信小程序作为平台,结合专家系统与故障树分析法 2 种技术,建立了基于故障树分析法的柑橘病虫害诊断专家系统。首先,本系统能够依据用户输入的柑橘园病虫害症状,诊断病虫害类型、计算病虫害概率、推荐病虫害防控措施。其次,本系统通过新闻、病虫害列表、知识库查询等多种方式,向基层的柑橘种植者、柑橘种植公司、想要了解柑橘种植的用户提供柑橘种植的先进技术与专业知识。

柑橘病虫害诊断专家系统还需在使用中逐渐完善,其中,柑橘病虫害识别与防治知识库还需随着科学技术的发展不断进行补充完善,微信小程序内部的查询算法也需要不断改进和优化。此外,本系统也可以扩展到其他果树,构建更加丰富的专家系统,以满足不同用户对病虫害诊断的需求。

参考文献:

[1] YOU J, LEE J. Offline mobile diagnosis system for citrus pests and diseases using deep compression neural network[J]. *IET Computer Vision*, 2020, 14(6): 370-377.

[2] 洪波, 张锋, 李英梅, 等. 基于微信平台的陕西蔬菜病虫害专家诊断系统[J]. *中国植保导刊*, 2017, 37(12): 48-52.

[3] 彭曙光, 唐前君, 肖启明, 等. 烟草病害诊断专家系统的建立与应用[J]. *中国烟草科学*, 2010, 31(4): 28-32.

[4] RACHID L, MANAL J, ALIEU M, et al. Farmers' knowledge, perceptions, and farm-level management practices of citrus pests and diseases in Morocco[J]. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2021, 128(5): 1-

14.

[5] 彭华亮. 基于故障树的故障诊断专家系统软件平台设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2017.

[6] 潘学文, 张福生, 路超. 基于故障树的故障诊断专家系统设计[J]. *煤矿机械*, 2021, 42(3): 174-176.

[7] 李艳艳, 刘佳, 孙澄泉, 等. 基于故障树的电动公交车故障诊断专家系统[J]. *机械设计与制造*, 2009(1): 42-44.

[8] 陈浩敏, 王军龙, 李俊一, 等. 基于故障模式与影响分析法和故障树的全光纤电流互感器故障诊断专家系统[J]. *电力系统及其自动化学报*, 2019, 31(2): 1-8.

[9] 彭奎, 邓亚辉, 赵星标, 等. 基于微信小程序的田间作物管理系统开发与应用[J]. *农村科技*, 2018(10): 52-56.

[10] 张妮, 刘铸德. 微信小程序在“互联网+农业”中的应用探析[J]. *广西农学报*, 2019, 34(2): 42-45.

[11] 张小斌, 杨素, 郑可锋, 等. 基于微信小程序的水稻减药增效信息服务平台实践与应用[J]. *农业网络信息*, 2018(2): 77-80.

[12] 李佳丹, 詹柴, 徐志豪. 基于微信的西瓜嫁接栽培管理专家系统开发与应用[J]. *南方农业*, 2019, 13(16): 73-77.

[13] 于俊丽. 高校图书馆应用微信小程序的实践与展望[J]. *出版广角*, 2018(12): 73-75.

[14] 倪红军, 李霞, 周巧扣, 等. 基于微信小程序的高校实验室安全教育平台构建[J]. *实验室研究与探索*, 2020, 39(12): 280-284.

[15] 周常勇. 柑橘[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2020: 121-222.

[16] 马凤梅, 李敦松, 张宝鑫. 中国柑桔病虫害及其综合治理研究概述[J]. *中国生物防治*, 2007(S1): 87-92.

[17] 罗义灿, 章勇, 刘家莉, 等. 粤东粤北柑桔病虫害草害调查及农药使用状况分析[J]. *广东农业科学*, 2018, 45(11): 81-88.

[18] NICHOLAS J, PHILIP A S, LUKASZ L S. Secondary hosts of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama: Survivorship and preference[J]. *Journal of Applied Entomology*, 2019, 143(9): 921-928.

[19] 李丹. 江西户用沼气池故障树分析及养户技合模式仿真研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2016.

[20] 张宏宇, 王永模, 蔡万伦, 等. 我国主要柑橘害虫发生为害现状[J]. *湖北植保*, 2009(S1): 52-53.

【责任编辑 霍 欢】