

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202412041



基于 UDP 组播协议的土壤数据 实时监测软件的设计与实现

梅小华, 黄彩虹, 董钰莹

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 针对主流土壤监测系统在实时数据监测方面的通用性和可扩展性需求, 提出一种基于用户数据报协议(UDP)组播实时数据流的模型-视图-视图模型(MVVM)分层可视化软件设计框架, 该框架在外部接口层采用 UDP 组播的方式, 从而实现“一对多”的客户端扩展能力, 同时在人机交互层采用改进后的 MVVM 模型, 实现对土壤的多维数据通用可视化效果。结果表明: 该软件能满足农业专家、农户对土壤实时状态的监测需求, 摆脱传统线下指导带来的局限, 有效地节约了人力资源, 助力智慧农业。

关键词: 土壤监测; 用户数据报协议; 模型-视图-视图模型; 智慧农业

中图分类号: TP 311.52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2025)04-0455-07

Design and Implementation of Real-Time Soil Data Monitoring Software Based on UDP Multicast Protocol

MEI Xiaohua, HUANG Caihong, DONG Yuying

(School of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: To address the requirements of generality and scalability in real-time data monitoring of mainstream soil monitoring systems, a hierarchical visualization software design framework for Model-View-View Model (MVVM) based on user datagram protocol (UDP) multicast real-time data stream is proposed. The framework adopts UDP multicast at the external interface layer to achieve “one to many” client extension capability. Meanwhile, an improved MVVM model is adopted at the human-computer interaction layer to achieve universal visualization of multi-dimensional soil data. Experimental results show that the proposed software can meet the real-time soil monitoring needs of agricultural experts and farmers, overcoming the limitations of traditional offline guidance, effectively resucing labor costs, and contributing to the advancement of smart agriculture.

Keywords: soil monitoring; user datagram protocol; Model-View-View Model; smart agriculture

土壤信息的实时获取有助于掌握农田土壤生态质量状况, 在土壤质量评估和农业可持续发展中发挥着重要作用。通过对土壤实时监测, 能够及时了解土壤中水分、氮磷钾等养分含量、酸碱度和有机质含量等数据。通过土壤湿度数据的变化趋势可以预测未来的土壤水分状况, 从而合理安排灌溉计划; 通过土壤养分含量数据, 可以提供科学的施肥建议, 保证农作物可持续化生长, 优化农业产量和质量, 降低能耗。因此, 需要通过数字化的技术手段实现更精确、更智能的土壤数据实时监测, 助力智慧农业^[1]。基于此, 本文提出一种基于用户数据报协议(UDP)组播协议的土壤数据监测软件。

收稿日期: 2024-12-31

通信作者: 梅小华(1978-), 女, 讲师, 主要从事智能控制与应用系统方向的研究。E-mail: forest999@126.com。

基金项目: 福建省厦门市自然科学基金资助项目(3502Z20227032)

1 土壤监测系统概述

1.1 设计原则

土壤监测系统的设计目标主要是精准实时地检测土壤状况,并将监测系统中各类传感器的数据传输至各监测终端软件,以供专家分析和农户跟踪,从而进行有针对性地施肥^[2]。其设计原则主要包括:1) 土壤监测系统由软、硬件系统集成,硬件系统主要实现传感器采集,软件系统主要实现数据的处理和可视化;2) 发挥软件远程数据可视化的优势,将各节点的传感器数据以曲线或图表的方式展示给领域专家和农户;3) 软件与各传感器之间通过一对多的网络通信方式实现实时数据的最大化共享^[3-4]。

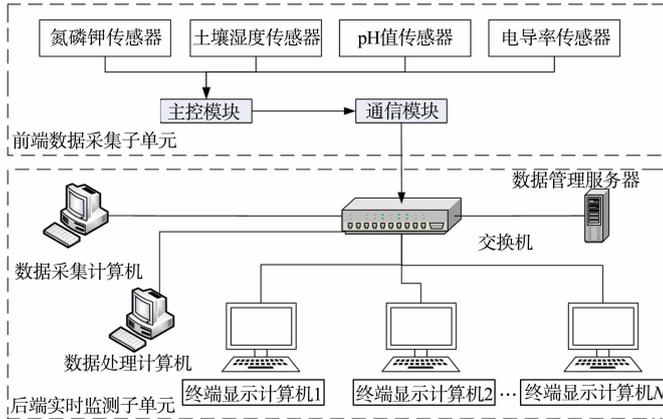


图 1 土壤监测系统硬件部署图

Fig. 1 Hardware deployment diagram of soil monitoring system

1.2 系统部署

土壤监测系统主要由前端数据收集子单元和后端实时监测子单元组成^[5-6],其中,前端数据收集子单元包括主控模块、土壤参数检测模块、网络通信模块,后端实时监测子单元主要由数据收集计算机、数据处理计算机、终端显示计算机和数据管理服务器组成。土壤监测系统硬件部署图,如图 1 所示。

传感器组用于对氮磷钾含量、土壤湿度、pH 值和电导率等土壤参数进行实时监测^[7];主控模块用于数据采集和组包;通信模块通过网络协议将组包后的土壤数据和设备工作状态数据传输至后端实时监测子单元的交换机。数据收集计算机通过交换机获取通信模块传输过来的数据包分离出土壤数据和设备工作状态数据,解析设备工作状态数据后,将土壤数据发送至数据处理计算机进行解析处理,处理后的设备工作状态数据、土壤数据均发送至终端显示计算机,解析后的设备工作状态数据、土壤数据及各类原始数据均存入数据管理服务器。

后端实时监测子单元由土壤监测系统的多个软件组成,包括土壤数据采集软件、土壤数据处理软件、土壤数据归档软件及土壤数据实时监测软件。土壤监测系统软件部署,如表 1 所示。

表 1 土壤监测系统软件部署

Tab. 1 Functional requirements for soil monitoring system

软件	软件代号	部署设备
土壤数据采集软件	RDG	数据收集计算机
土壤数据处理软件	RDP	数据处理计算机
土壤数据归档软件	RDA	数据管理服务器
土壤数据实时监测软件	RDS	终端显示计算机

2 土壤数据实时监测软件的设计与实现

在土壤监测系统中,土壤数据实时监测软件作为核心部件,不仅能为农业专家、农户提供实时测试数据,还能在专家、农户需要的时候提供历史土壤数据的查询和下载。RDS 软件通过网络接收来自前端数据采集设备(数据收集计算机、数据处理计算机)的物理量参数,包括土壤数据(氮磷钾含量、土壤湿度、pH 值和电导率等)和设备工作状态(设备数据采集是否正常、数据通信是否正常等)数据,并将解析

后的物理量参数以曲线、表格的方式形象直观地提供给农业专家、农户进行参考和分析,方便用户及时了解土壤状况及土壤监测设备的工作状态。为了实现友好的人机交互效果,RDS 软件采用基于 C# 语言的 WPF 框架进行开发。

2.1 软件设计思想

RDS 软件在设计上需要直接面对用户进行数据展示,因此,采用基于 C# 语言的 WPF 框架,利用软件分层与模块化设计,增加软件的通用性,使开发人员只需修改软件配置文件,就可适用不同项目的有效载荷测试需求^[8-9]。RDS 软件功能模块结构图,如图 2 所示。

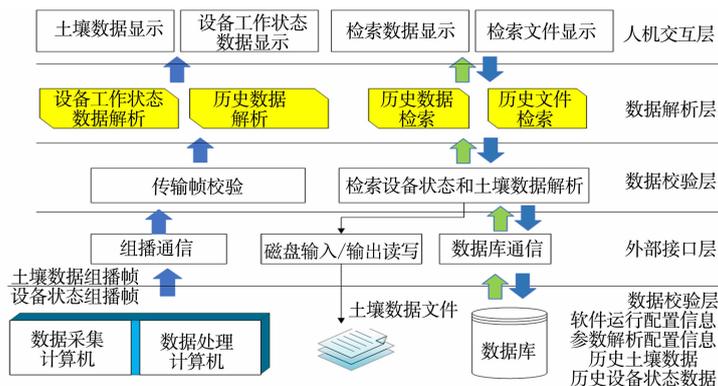


图 2 RDS 软件功能模块结构图

Fig. 2 Functional module structure diagram of RDS software

1) 外部接口层。实现 RDS 软件与前端设备、数据库和本地硬盘的数据存储与读取,RDS 软件通过网络接收来自前端数据采集设备的土壤实时监测数据和设备工作状态数据,并且为用户提供数据库的检索功能,从数据库中读取历史数据文件路径、历史土壤监测数据及解析方法等信息,下载需要的历史数据和文件。

2) 数据校验层。该层主要完成对实时数据的差错校验与恢复。由于 RDS 软件与前端设备的数据链路采用 UDP 组播通信的方式,可能存在数据帧丢失或解析错误的情况,并且对数据库的数据检索也需要进行必要的日期、字段等校验,所以,数据校验层要提供传输帧校验、检索指令和数据校验等功能。

3) 数据解析层。根据土壤监测系统内部数据接口协议,按照偏移位置、解析值和源码等字段对经过校验的实时数据帧进行处理,提取工程参数、遥测参数和设备工作状态数据等物理量,同时根据用户的检索条件,将历史数据和文件的检索条件转换成结构化查询语言(SQL),或将检索到的历史数据和数据文件目录发送至人机交互层进行显示。

4) 人机交互层。将数据解析层的计算结果、历史数据和文件的检索结果通过图表等方式实时显示给农业专家和农户,该部分采用面向实时数据流的模型-视图-视图模型(Model-View-ViewModel, MV-VM)设计模式,通过 ViewModel 与 View 的数据绑定模型,提高测试数据的可视化程度。

2.2 外部接口层设计

外部接口层包括 UDP 组播通信模块、数据库通信模块和硬盘输入/输出(IO)读写模块,其中,UDP 组播通信模块采用 UDP 组播的方式实时接收来自前端设备的各类测试数据,数据库通信模块采用 ADO 技术进行数据通信。

2.2.1 UDP 组播通信 RDS 软件部署在多台终端显示计算机上,通过网络接收从接收数据采集计算机、数据处理计算机发送的设备工作状态数据和土壤实时监测数据,支持农业专家、农户实时监视土壤监测数据和系统各传感器的工作状态。RDS 软件与前端数据采集设备的通信采用 UDP 组播技术,而不是传统的传输控制协议(TCP)或 UDP 点对点通信方式,这样可以避免传统通信方式在“一对多”的情况下出现的网络拥塞,减少前端数据采集设备的计算负荷^[10-11]。

WPF 中实现组播技术有 2 种编程模式:一种是传统的 socket 编程;另一种是封装后的 UdpClient 类,后者对前者进行封装,编程上更简洁,RDS 软件采用 UdpClient 类以轮询的方式接收组播数据^[12-13]。组播数据接收功能程序块,如图 3 所示。

```

UdpClient receiveUdp;
void InitialUDP()
{
    receiveUdp = new UdpClient();
    receiveUdp.Client.SetSocketOption(SocketOptionLevel.Socket, SocketOptionName.ReuseAddress, true);
    receiveUdp.Client.Bind(ipLocal);
    receiveUdp.JoinMulticastGroup(IPAddress.Parse(strEndIP));
    receiveUdp.Client.SetSocketOption(SocketOptionLevel.IP, SocketOptionName.MulticastTimeToLive, 10);
    iPEPEnd = new IPEndPoint(IPAddress.Parse(strEndIP), int.Parse(strEndPort));
}
void ReadThreadLoop()
{
    int receiveSum = 0;
    receiveUdp.Client.ReceiveBufferSize = 1024*512;//设置大缓冲区可以支持更大的网络数据吞吐率
    while (readThreadLooping)
    {
        byte [] receiveBuffer = null;
        receiveBuffer = receiveUdp.Receive(ref iPEPEnd);// 每次收到后都会改变 iPEPEnd 的值
        receiveSum += receiveBuffer.Length;
        ardOut.WriteData (receiveBuffer);
    }
}
    
```

图 3 组播数据接收功能程序块

Fig. 3 Multicast data receiving functional program block

上述组播发送函数中,UdpClient 类初始化后得到实例 receiveUdp, receiveUdp 的 receive 方法以阻塞的形式读取组播数据,接收到一个完整的有效载荷工程参数帧或遥测参数帧后,退出 receive 方法,并将接收到的数据通过缓冲区送到数据解析层。

2.2.2 数据库通信 土壤监测系统的数据库部署在 Windows Server2008 的数据管理服务服务器上,管理服务器上装有 Oracle 数据库软件,RDS 软件采用 ActiveX 数据对象(ADO)技术与数据库进行通信,ADO 是微软提出的应用程序接口(API),用以实现访问关系或非关系数据库中的数据,Oracle 数据库提供对 ADO 框架的托管封装 ODP.NET 驱动,在实际使用过程中,无需安装整个 ODP.NET 驱动套件,RDS 软件只需引用其中的 Oracle.ManagedDataAccess.dll 即可与数据库进行通信^[14]。数据库访问功能程序,如图 4 所示。

```

public static bool GetDataFromDB(out DataSet dt,string sqlStr)
{
    oconn.Open();
    OracleDataAdapter myAdapter = new OracleDataAdapter(sqlStr, oconn);
    DataSet dtDataSet = new DataSet();
    dtDataSet.Clear();
    myAdapter.Fill(dtDataSet);
    dt = dtDataSet;
    oconn.Close();
    if (dtDataSet.Tables.Count != 1)
        return false ;
    else
        return true;
}
    
```

图 4 数据库访问功能程序

Fig. 4 Database access function program

由于 RDS 软件对数据库的访问频次不高,农业专家、农户一般根据需要查看数据文件,因此在查询前连通数据库,查询结果后返回关闭连接,从而有效减少数据库在线维护的新连接数量。

2.3 数据校验层设计

数据校验层提供了对接收到的各类土壤实时监测数据帧、历史数据文件名和字段信息合法性的校验,其中,由于前端数据采集设备与 RDS 软件采用 UDP 组播连接,监视过程中实时接收到的土壤实时监测数据帧不存在干扰导致的数据错误,所以不用进行纠错码校验,但要按照数据帧格式进行必要的帧头、帧长及帧类型等校验。土壤实时监测数据帧字段信息说明,如表 2 所示。

表 2 土壤实时监测数据帧字段信息说明

Tab. 2 Field description of real-time soil monitoring data frames

字段	说明	字段	说明
帧头	用于标识一帧的开始和同步	系统时间	用于查询和显示历史数据的窗体
帧类型	包括土壤实时监测数据帧和设备工作状态数据帧,用于校验接收到的数据帧合法性	帧长	指示该帧长度,用于校验由于 UDP 通信产生的数据帧分段或丢失的情况
信源	标识该数据帧的来源终端	信宿	标识该数据帧的目的终端
帧计数	标识本帧序号	保留	留作后续软件扩展
应用数据段	发送的具体物理量信息		

2.4 数据解析层设计

数据解析层对接收到的各类土壤实时监测数据帧按照应用数据段的解析配置信息进行解析,同时对用户检索到的历史数据和历史数据文件按字段进行解析,解析后将结果发送至人机交互层进行显示。

其中,实时参数对土壤实时监测数据帧的解析采用数据帧驱动的方式,接收到一帧完整数据帧后才进行解析。RDS 软件数据解析流程图,如图 5 所示。

2.5 人机交互层设计

RDS 软件作为土壤实时监测数据、设备工作状态的显示部件,要求提供友好的数据显示与操作交互界面,便于有效农业专家、农户直观地监视土壤状态、设备的工作状态,及时发现存在的异常信息,因此人机交互层的设计对数据可视化程度和操作安全性要求较高等。

目前主流的软件前端设计模式主要有 3 类:模型-视图-控制器(Model-View-Controller, MVC)、模型-视图-表示模式(Model-View-Presenter, MVP)和 MVVM。Model 提供数据,View 负责显示,Controller/Presenter 负责逻辑的处理,MVP 和 MVVM 是基于 MVC 模式的改进,其主要改进思想是将 View 与 Model 层彻底分离。

MVVM 由微软 WPF 和 Silverlight 的架构师 Ken Cooper 和 Ted Peters 开发,是一种简化用户界面的事件驱动编程方式,由 John Gossman 于 2005 年发表^[15]。它利用数据绑定、属性依赖、路由事件、命令等特性实现高效灵活的架构,不同于传统 C# 语言的 WinForm 架构,MVVM 的核心是数据驱动即 ViewModel,ViewModel 是 View 和 Model 的关系映射。典型的 MVVM 软件设计模式,如图 6 所示。

由图 6 可知:传统的 MVVM 设计模式在 Model 层除了有数据实体 Entity(一般采用 Hibernate 持久化技术生成)外,还有大量的业务逻辑。因此,目前 MVVM 主要大量用于 Web 项目的建设,在面向实时数据流的项目领域应用不多,RDS 软件为了实现实时数据流和数据库数据在用户界面(UI)交互上的统一,将所有业务逻辑放置至数据解析层,而 Model 层仅保留数据实体,从而实现实时数据流和数据库数据的实时交互,并支持页面数据显示的自定义布局。RDS 软件实际 MVVM 设计模式图,如图 7 所示。RDS 软件 MVVM 类功能说明,如表 3 所示。

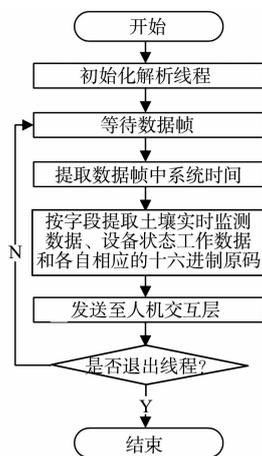


图 5 RDS 软件数据解析流程图
Fig. 5 Data parsing flowchart of RDS software



图 6 典型 MVVM 设计模式图

Fig. 6 Typical MVVM design pattern diagram

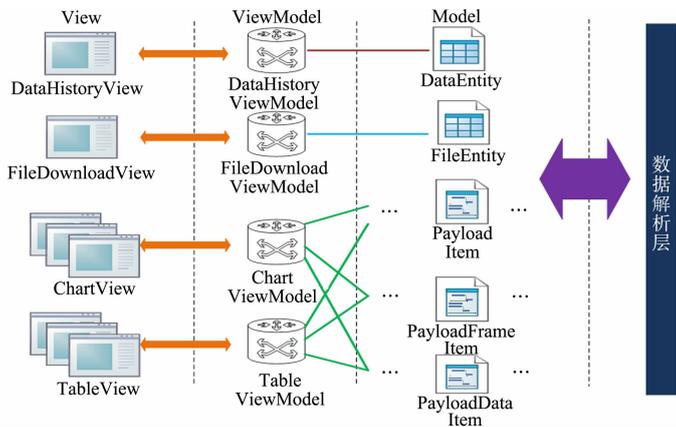


图 7 RDS 软件实际 MVVM 设计模式图

Fig. 7 Actual MVVM design patten diagram for RDS software

因此,RDS 软件在人机交互层具体实现 MVVM 设计模式时,根据外部接口层的特点,采用与传统 MVVM 不同的方式,主要有以下 2 点不同。

- 1) 传统 MVVM 中 Model 层包含了业务逻辑和实体,而 RDS 软件将 Model 层中的大部分业务逻辑剔除,划分至数据解析层。
- 2) ViewModel 与 View 采用了一对多的设计,可以有多个 View 共享一个 ViewModel。

表3 RDS软件 MVVM 类功能说明
Tab. 3 Function description of RDS software MVVM class

层	类	功能说明
View	TableView	显示土壤实时监测数据、设备工作状态数据的表格窗体
	ChartView	显示土壤实时监测数据、设备工作状态数据的曲线窗体
	FileDownloadView	用于查询和下载历史数据文件的窗体
	DataHistoryView	用于查询和显示历史数据的窗体
ViewModel	TableViewModel	绑定数据元素与表格支持表格显示参数配置
	ChartViewModel	绑定数据元素与表格支持曲线显示参数配置
	FileDownloadViewModel	绑定历史数据文件查询结果支持历史数据文件查询
	DataHistoryViewModel	绑定历史数据查询结果支持历史数据查询
Model	PayloadItem	传感器元素
	PayloadFrameItem	数据帧元素
	PayloadDataItem	数据元素
	FileEntity	数据库中的历史数据文件表
	DataEntity	数据库中的历史数据

此外,农业专家、农户可根据自身需要选取关注的参数,组成新的页面进行显示。该页面不仅提供表格和曲线两种显示方式,还配备越界报警功能。RDS 软件人机交互界面,如图 8~11 所示。

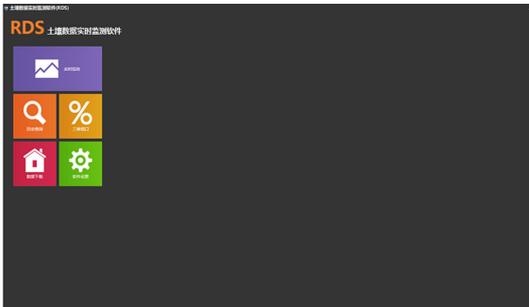


图 8 软件导航界面

Fig. 8 Software navigation interface

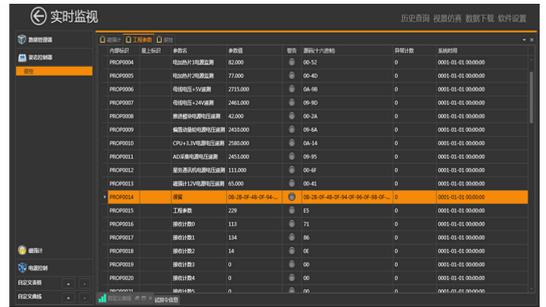


图 9 RDS 软件参数表格显示界面

Fig. 9 Parameter table display interface of RDS software

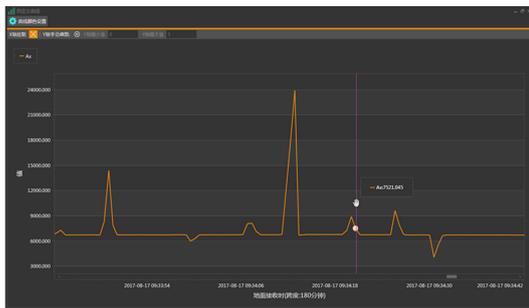


图 10 RDS 软件参数曲线显示界面

Fig. 10 Parameter curve display interface of RDS software

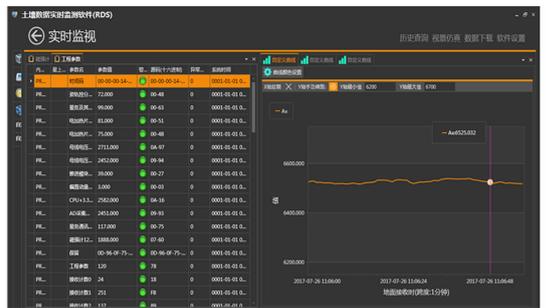


图 11 RDS 软件参数自定义显示界面

Fig. 11 Parameter custom display interface of RDS software

3 结束语

土壤数据实时监测软件是土壤监测系统与用户的主要交互部件,提供土壤实时监测数据(氮磷钾含量、土壤湿度、pH 值和电导率等土壤参数)和系统硬件设备工作状态的显示,以及支持历史数据及其文件的查询。该软件通过分层模块化设计,并在人机交互层采用 MVVM 设计模式,提高了土壤数据的可视化程度。采用 UDP 组播的数据通信方式,便于显示终端的灵活组网与扩展,具有较好的通用性和可扩展性。土壤监测系统的长期实际运行效果表明,该软件能够满足农业专家、农户对土壤实时状态的监测需求。

参考文献:

- [1] 张志颖,李虬,何雅彤,等.基于物联网的大承包地土壤数据实时分析监测系统[J].电脑知识与技术,2024,20(26):86-90.
- [2] 强云涛,杨家桂.基于多传感器技术土壤质量在线监测系统设计[J].电子制作,2024,32(14):15-18. DOI:10.3969/j.issn.1006-5059.2024.14.004.
- [3] 刘晓霞,李航,商国旭,等.基于云平台的大田农业土壤墒情数据采集监测系统设计[J].赤峰学院学报(自然科学版),2023,39(10):75-82. DOI:10.3969/j.issn.1673-260X.2023.10.013.
- [4] 李从宏,陈杨渊.基于C#的土壤渗透系数测量系统上位机软件设计[J].电脑编程技巧与维护,2024(11):40-42. DOI:10.3969/j.issn.1006-4052.2024.11.012.
- [5] 谢亮,陈天伟.数据采集分析软件的设计与实现[J].自动化与仪器仪表,2021(12):129-133. DOI:10.14016/j.cnki.1001-9227.2021.10.129.
- [6] 张春美,全钊锋,吴树添,等.基于物联网技术的智慧农业环境监测系统设计[J].电子制作,2024,32(15):37-40. DOI:10.3969/j.issn.1006-5059.2024.15.010.
- [7] 钟国财,郝泽亮,谢东东,等.土壤墒情远程监测系统软件设计[J].物联网技术,2018,8(3):26-28. DOI:10.16667/j.issn.2095-1302.2018.03.004.
- [8] 张玉民,何鑫,杨百川.基于WPF技术的无人机地面站软件设计与实现[J].计算机工程与设计,2019,40(4):1167-1173. DOI:10.16208/j.issn1000-7024.2019.04.043.
- [9] 陈帅.基于网络/WPF技术的无人机地空数据传输与监视系统设计[D].南京:南京航空航天大学,2020.
- [10] SAMPAIO A, SOUSA P. An adaptable and ISP-friendly multicast overlay network[J]. Peer-to-Peer Networking and Applications, 2018, 12(4): 809-829. DOI: 10.1007/s12083-018-0680-y.
- [11] AL HASROUTY C, LAMALI M L, AUTEFAGE V, *et al.* Adaptive multicast streaming for videoconferences on software-defined networks[J]. Computer Communications, 2018, 132: 42-55. DOI: 10.1016/j.comcom.2018.09.009.
- [12] 吴小锋,刘晓波,赵逸飞,等.UDP协议及IP组播通信模型在水电厂监控系统中的应用研究[J].中国水利水电科学研究院学报(中英文),2024,22(6):632-639. DOI:10.13244/j.cnki.jiwhr.20240055.
- [13] 诸坚彬,秦会斌,崔佳冬,等.基于组播技术的信息传递[J].计算机应用与软件,2016,33(8):172-174,205. DOI: 10.3969/j.issn.1000-386x.2016.08.038.
- [14] 李远文,耿富强.基于ODP.NET访问Oracle空间数据[J].矿山测量,2014(3):96-98. DOI:10.3969/j.issn.1001-358X.2014.03.33.
- [15] 柴青山.基于MVVM模式的Vue.js框架在物流软件自动化测试系统中的应用研究[D].北京:北京邮电大学,2019.

(责任编辑:黄晓楠 英文审校:陈婧)