

基于B/S架构的空调智能监控系统设计与实现

余秋亮¹, 王少林¹, 王泽宇²

(1. 山东建筑大学信息与电气工程学院, 山东 济南 250100; 2. 山东邦展建筑设计有限公司, 山东 济南 250101)

摘要: 为解决空调系统设备种类众多、协议不统一的问题, 针对空调系统的监控需求, 设计了基于分布式监控与集中管理模式、B/S架构的空调智能监控系统。首先, 在设备监控层利用多线程技术实现设备实时数据的采集处理, 采用多协议转换技术进行统一协议转换、封装, 将多种协议数据上传存储到数据库服务器。然后, 通过模糊自适应PID控制器对监测数据进行轮询计算, 调节变频器实时控制空调系统温度。最后, 通过Web服务端口访问数据库服务器, 实现系统集成与数据交换, 建立集中控制、管理、运维的集成平台, 实现系统设备的统一监控和调度, 系统的统一部署和高可用性, 完成空调监控系统的界面可视化并提升空调系统智能化水平。实践表明, 该系统运行稳定, 能实时监控空调运行状况, 且具有较高的扩展性与管理效率。

关键词: 空调监控系统; B/S架构; 分布式; 多协议转换; 模糊自适应PID

DOI: 10.11907/rjdk.231122

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



中图分类号: TP181

文献标识码: A

文章编号: 1672-7800(2024)003-0114-07

Design and Implementation of Air-conditioning Intelligent Monitoring System Based on B/S Architecture

YU Qiuliang¹, WANG Shaolin¹, WANG Zeyu²

(1. School of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250100, China;

2. Shandong Bangzhan Architectural Design Co., Ltd., Ji'nan 250101, China)

Abstract: To solve the problem of numerous types of air conditioning system equipment and inconsistent protocols, an intelligent air conditioning monitoring system based on distributed monitoring and centralized management mode and B/S architecture was designed to meet the monitoring needs of the air conditioning system. Firstly, in the device monitoring layer, multithreading technology is used to collect and process real-time data from the device. Multi protocol conversion technology is used for unified protocol conversion and encapsulation, and multiple protocol data is uploaded and stored on the database server. Then, a fuzzy adaptive PID controller is used to poll and calculate the monitoring data, and the frequency converter is adjusted to control the temperature of the air conditioning system in real time. Finally, accessing the database server through the web service port enables system integration and data exchange, establishing an integrated platform for centralized control, management, and operation, achieving unified monitoring and scheduling of system equipment, unified deployment and high availability of the system, completing the interface visualization of the air conditioning monitoring system, and improving the intelligence level of the air conditioning system. Practice has shown that the system operates stably, can monitor the operation status of air conditioning in real time, and has high scalability and management efficiency.

Key Words: air conditioning monitoring system; B/S architecture; distributed; multi-protocol conversion; fuzzy adaptive PID

0 引言

随着计算机控制技术、通信技术、Web技术的不断发

展, 空调系统已成为智能建筑及智能工业的重要组成部分。智能控制是空调系统的核心, 一套优良的空调控制系统需要具有足够的稳定性、快速调节性, 能实现高精度控制^[1]。然而, 传统的空调监控由于缺乏科学的系统流程,

收稿日期: 2023-02-16

基金项目: 山东省智慧住区项目(鲁财建指[2019]31号)

作者简介: 余秋亮(1996-), 男, 山东建筑大学信息与电气工程学院硕士研究生, 研究方向为建筑智能化与能效管理; 王少林(1963-), 男, 博士, 山东建筑大学信息与电气工程学院教授、硕士生导师, 研究方向为建筑智能化与能效管理、智慧城市、智慧住区; 王泽宇(1989-), 男, 硕士, 山东邦展建筑设计有限公司建筑师, 研究方向为工业建筑设计。

系统设备分散,数据采集各自独立,难以汇总分析,导致空调系统控制单一且不灵活^[2-4],无法满足智能空调的控制需求。

针对智能空调系统的控制需求,部分研究人员提出一些空调监控系统方案,在一定程度上优化了空调系统的监控性能。郭鲁等^[5]提出基于物联网云平台的空调智能控制系统,利用手机 APP 客户端、云平台及 WIFI 模块控制空调启停、工作模式及温度,但无法对空调系统工作流程进行控制。高照等^[6]提出基于 OPC 的中央空调群控系统,系统实现了设备参数的读取与写入功能,但空调智能控制效率较低。文献^[7-8]设计了 Web 端远程监控系统,系统偏向于对空调进行整体化控制,虽然有效降低了系统能耗、系统整体实时性,但并未实现空调系统冷水机组设备的节点控制。文献^[9-11]采用模型预测控制算法虽有效提升了空调系统能源利用效率,但在系统控制稳定性上依然存在不足。

本文针对空调智能监控系统进行了系统设计,构建了一种基于 B/S 架构的空调智能监控系统。系统采用分布式采集与集中监控模式,实现了对空调系统机组设备的节点控制,能提升系统运行稳定性、快速调节性及管理效率。

1 空调智能监控系统总体结构设计

1.1 系统需求分析

本文以某产业园空调自动监控系统为研究对象,整个系统由能耗电表、空调主机、积算仪、温度表、组空及冷水机组 6 个子系统组成。系统依托智能化设备仪表和通信技术,对各子系统通过传感器进行分布式的实时信息采集,然后将信息经过计算处理,生成控制信息调节系统的设备参数与运行状态。同时,采集的系统设备信息按照协议解析后,按照实时数据库的数据格式进行封装^[12],并传输到数据库服务器,实现系统监测信息的集中存储。通过数据端口调用,实现空调系统的集中实时监控与远程管理^[13-14]。因此,整个空调自动监控系统需要满足实时、可靠、智能化的需求。

空调系统冷水机组监控原理如图 1 所示。空调系统主要由制冷机组、冷冻水循环系统、冷却水循环系统和冷却塔等构成^[15]。系统控制功能通过 DDC 控制冷水机组调节冷冻水、冷却水系统的压力、流量、频率等参数进行实现,从而控制空调运行、调节温度。

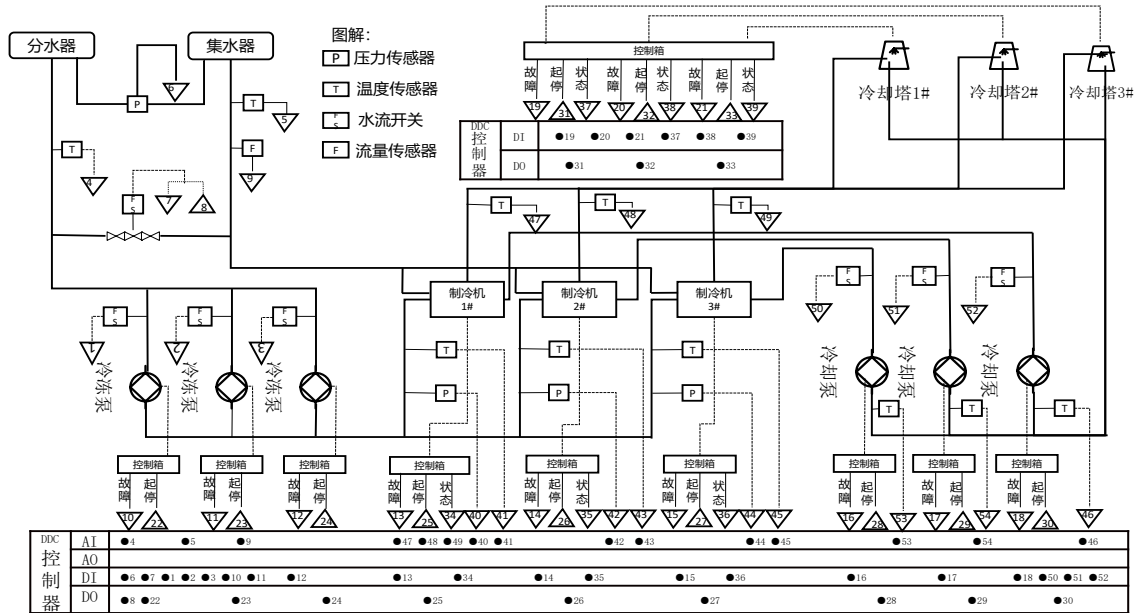


Fig. 1 Schematic of water chiller monitoring of air conditioning system

图 1 空调系统冷水机组监控原理

目前,控制器选择兼容三菱 AMX-FX3U-26MR-E 以太网型控制器和支持 RS-422/RS-485/以太网通讯的设备。根据冷水机组监控原理,将冷水机组的分水器、集水器、冷却泵、冷冻泵、冷却塔及机组管道的传感器连接到 DDC 控制器,通过控制器模拟量输入通道(AI)与数字量输入通道(DI),采集支持 RS-485 和以太网通讯的传感器数据。传入控制算法模块通过运算输出控制信号,然后利用模拟量输出通道(AO)和数字量输出通道(DO)直接控制设备的运行状态。

1.2 空调智能监控系统框架设计

本文基于空调智能监控系统的需求分析及监控原理,采用 B/S 三层网络结构提升系统通信实时性。系统网络结构自底向上分为设备监控层、服务层、系统管理层^[16-17]。

具体的,设备监控层由智能仪表与数据采集模块组成,负责设备运行实时信息的采集操作,并进行数据解析处理与传输、调节设备运行参数,以实现设备过程信号的实时监测与控制;服务层由 Web 服务器与数据库服务器组成,负责系统监测数据的接收存储与发布处理,实现数据

存储与交换,提供空调系统前后端信息交互的条件,在接收、解析上层下发的指令后传输到下层,以实现智能设备的实时动态控制;系统管理层为Web客户端,通常采用B/S架构,通过HTTP协议实现前后端的数据交互,将现场设备

的监控与管理纳入管理平台,结合网页组态,使用户在B/S模式下通过Web网页或APP跨平台^[18]直接访问空调监控系统。本文所设计的空调智能监控系统网络结构如图2所示。

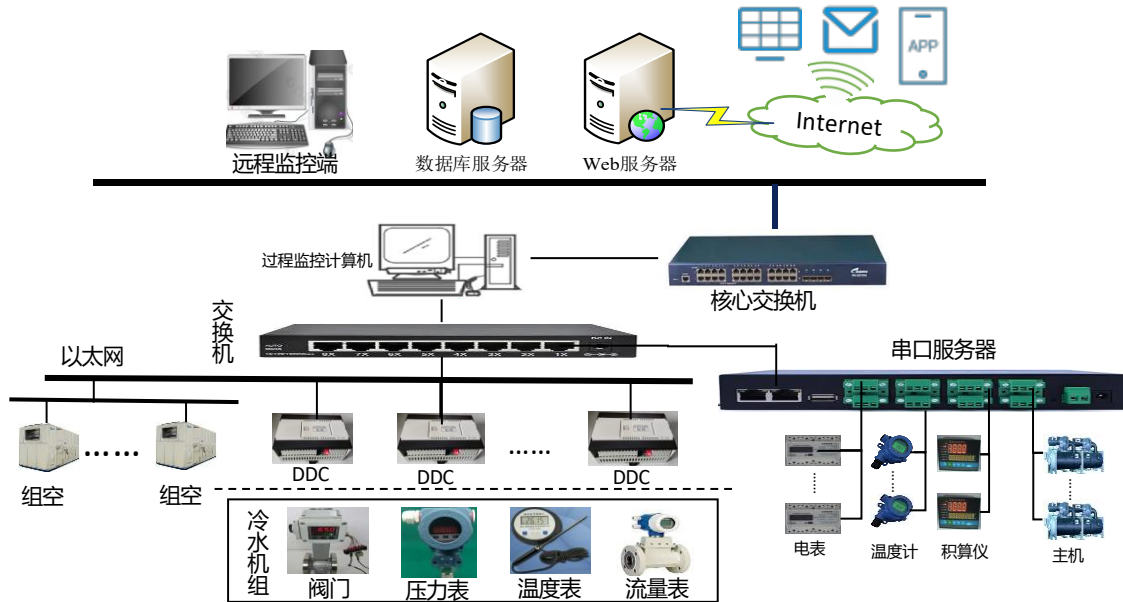


Fig. 2 Network structure of air conditioning intelligent monitoring system

图2 空调智能监控系统网络结构

2 系统软件方案设计

根据空调系统网络结构,本文采用分布式采集与集中监控模式,对空调系统的温度、湿度、能耗、运行状态等信息进行实时监测和控制。基于B/S分布式空调监控系统软件由设备监控软件与远程管理软件构成,通过设备监控软件将采集的空调系统信息实时传输到远程管理软件。

(1)设备监控软件。由于设备监控软件需要承担对空调系统设备的监测、控制以及对信息管理层软件的数据传输,因此实时性与多任务性是其主要性能。为此,本文采用单进程多线程架构设计多客户端设备监控软件,以监控多种协议设备,并将数据上传至服务器。为了使系统运行达到设定期望值,通过控制程序对监测数据进行运算得到控制参量,并下发控制指令调节设备,使系统运行在期望的运行状态,通过多线程间的配合,以实现空调系统设备的实时监控。

(2)远程管理软件。远程管理软件采用B/S架构,在B/S模式下设备监控软件采集的数据经解析处理后存储到数据库服务器。远程管理软件使用Restful Api、WebService接口调用数据库服务器的数据,实现系统设备监测数据的可视化。用户只需通过浏览器就可访问监控界面、实时下发控制指令、监控系统流程、精准定位故障、综合管理能耗等功能,降低了操作难度。

3 关键技术实现

3.1 多线程数据采集

由于空调系统由多个功能子系统组成,且各子系统设备接口协议不统一,为了提升空调系统的工作效率,系统通过多个线程实现多客户端模式,不同客户端负责不同子系统模块的数据采集与处理。现将采集的数据按不同通信协议进行解析、处理后封装,然后将其传输到数据库服务器集中存储。

数据采集线程周期性的轮询监听设备,实时监测系统运行状态信息,实现系统设备数据的采集、解析与存储。具体流程为:根据不同系统设备创建客户端进行设备连接,然后通过通信协议对设备下发指令,接收响应数据并依照协议进行数据解析,实现设备实时信息采集、解析与处理。同时,通过多协议转换模型将采集的不同数据格式、协议不统一的监测数据转换成统一格式的数据,然后将采集、处理后的数据与系统参数分别结合后进行封装,最后调用线程按照TCP/IP通信协议传输到数据库服务器。多线程数据采集模块设计流程如图3所示。

3.2 数据滤波处理

根据环境干扰导致空调系统出现异常数据的情况,综合运用范围检验法、尖峰检验莱因达法^[19]、持续计数检验法等方法进行数据滤波处理。数据滤波处理流程如图4所示。

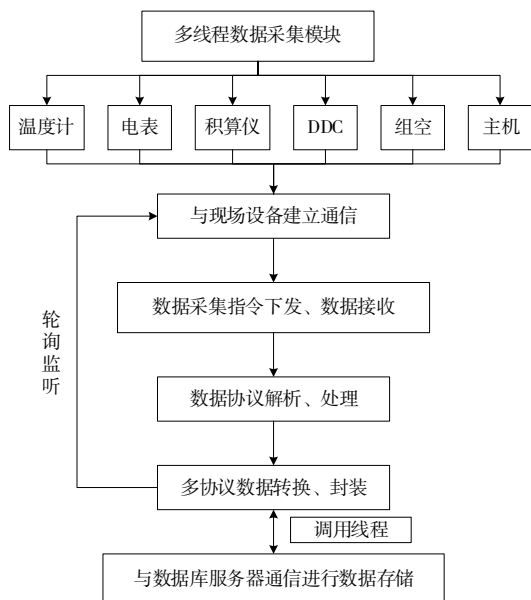


Fig. 3 Multi-thread data collection design flow

图 3 多线程数据采集设计流程

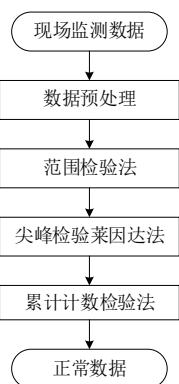


Fig. 4 Data filtering process flow

图 4 数据滤波处理流程

(1)数据预处理。空调系统受环境等因素干扰出现重复或空记录等异常状态信息,通过条件检索、筛查、排除重复和空记录数据。

(2)范围检验法。空调系统每个采集节点具有正常的数值范围,将此范围设定为检验条件,对监测数据进行筛查,排除超出参数范围外的数据。

(3)尖峰检验莱因达法^[19]。空调系统监测数据中存在一种与相邻数据形成明显差异的突变尖峰数据。传统尖峰检验法中,假设当前监测数据为 X_i ,其前后相邻数据分别为 X_{i-1} 和 X_{i+1} ,则检测值如式(1)所示。然而,尖峰检验法并不能检验出空调系统正常参数范围内的异常数据,为此将莱因达准则计算的3倍标准差作为标准范围。根据尖峰检验莱因达法,将监测的时序数据中每一个数与其前一邻居进行比较,计算邻差(首位数的邻差为0),形成邻差序列值。假设一组观测数据 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i, i > 1$ 时, X_i 的前一邻居为 X_{i-1} ,计算邻差 V_i 的公式如式(2)所示。

$$S = ABS \left[X_i - (X_{i-1} + X_{i+1}) / 2 \right] - ABS \left[(X_{i-1} - X_{i+1}) / 2 \right] \quad (1)$$

$$V_i = |X_i - X_{i-1}| \quad (2)$$

V_i 为邻差且 $V_i=0$ 。首先,计算平均值:

$$\bar{V} = \left(\sum_{i=1}^n V_i \right) / n \quad (3)$$

然后,根据贝塞尔公式计算标准差:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2 / (n - 1)} \quad (4)$$

最后,计算残差:

$$R_i = |V_i - \bar{V}| (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

综上,当 $R_i > 3\sigma$ 且 $R_{i+j} > 3\sigma$,即 V_i 和 V_{i+j} 的残差均大于 3σ 时, X_i 为异常数据。然而,该方法的局限性在于只适用出现尖峰异常的数据前后邻居均为正常值的情况。

(4)累计计数检验法。针对系统中存在连续突变数据的情况,提出持续计数检验法。假设突变前监测值为 X_i ,突变后一序列值为 $X_{i+1}, X_{i+2}, \dots, X_{i+n}$,对突变后的每一个值都与突变前的 X_i 进行差值计算。若差值在一定范围内,则累计加1,否则计数归零,设定当累计数值等于5时则可判定此次突变值属于正常值。

综上,通过一系列数据滤波方法处理能获得真实可靠的有效监测数据。然后,将滤波后的数据进行统一协议封装后传输到数据库服务器,实现空调系统实时监测数据的集中存储。

3.3 多协议转换

针对系统设备接口协议不统一的情况,提出一种多协议转换模型,如图5所示。该模型针对数据类型不同、通信标准不统一的通信协议进行解析,将解析后的设备数据转换成统一的数据格式,通过以太网将监测数据上传到数据库服务器。

多协议转换模型首先与不同设备建立通信,通过设备通信协议解析采集的设备实时状态信息,实现底层设备数据的采集;然后,将多协议数据存放在数据缓存区等待协议转换。最后,将缓存区数据转换成以太网协议的数据格式,并统一为标准 byte 数据格式,利用以太网通信技术将数据上传到数据库服务器实现集中存储。

3.4 数据容灾冗余存储设计

由于系统设备各节点的状态监测数据要被多线程调用,需要设计数据存储共享区,因此本文提出一种采用txt文件、数据库文件两种存储方式相互联合的数据冗余存储方案。其中,txt文件数据以JSON格式进行存储,文件较小,可实现较高的存储效率,能提升数据的调用查询效率;选择MySQL数据库软件进行数据存储,能实现Web网页的数据展示。

系统监控数据通过解析、处理后,通过数据存储模块动态生成以日期为文件名的txt文件,将实时数据结合参数点名处理成规定的JSON格式,并以一定时间间隔进行存储。同时,利用ADO.NET技术与数据库连接,将能耗、制冷量等累计量参数分别以小时、天、月、年为间隔,将参数点名的统计数据存入相应的数据库表。

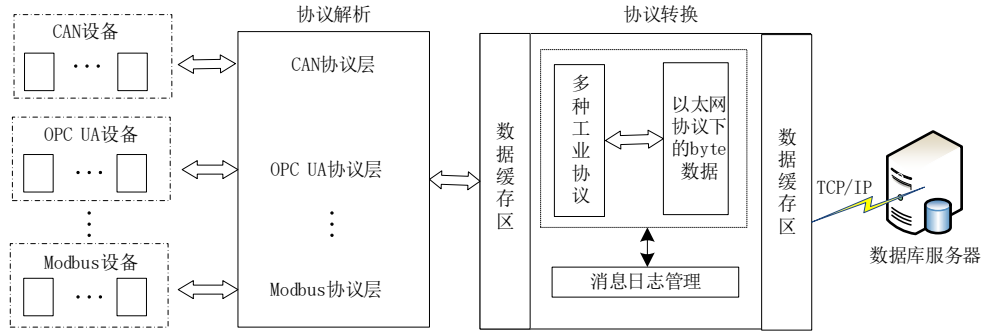


Fig. 5 Multi-protocol conversion model
图5 多协议转换模型

为了保证系统安全可靠,本文还对系统进行容灾冗余服务设计,部署两台服务器为备份中心,设备监测工作站同时向两台服务器传输数据,实现统一、安全的数据备份。当主服务器出现故障时,系统自启备份服务器恢复服务,保障空调监控系统正常工作,如图6所示。

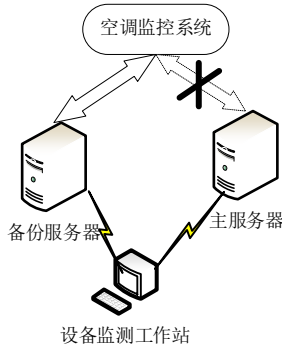


Fig. 6 System disaster tolerance redundancy design
图6 系统容灾冗余设计

3.5 数据接口设计实现

根据系统的数据展示需求,采用Webservice标准框架进行数据接口API开发。在Webservice标准框架下,利用

SQL语句实现MySQL数据库数据的交互,对设备数据进行增删改查;调用WCF获取实时数据,将数据服务封装成接口并通过IIS发布。具体的设计过程如下:①创建Service接口,创建接口实现类;②实现业务逻辑,在接口实现类里利用SQL语句实现数据库数据的增删改查;③调用WCF获取和控制实时数据库中设备的实时状态,从而实现数据接口的业务逻辑;④接口发布,在Web服务器上安装并配置IIS管理器,将数据接口通过IIS发布,使接口API能通过Ajax调用数据进行操作。

3.6 基于模糊自适应PID变频温度控制设计

在空调系统运行进行温度控制过程中,最重要的是控制制冷机组中供回水的温度,将温度维持在期望值是空调控制系统的关键。为此,本文通过设计模糊自适应PID控制器,原理如图7所示。

由图7所示,模糊控制器采用两输入三输出结构,引入温度偏差 $e(k)$ 和偏差变化率 $ec(k)$ 作为控制器输入,根据模糊自适应规则输出PID控制器的3个参数变化量,使PID控制器根据响应自整定 K_p, K_i, K_d 这三个参数的大小,最终得到控制信号输出^[20-22],驱动空调系统变频器工作,以达到系统温度控制的目的。

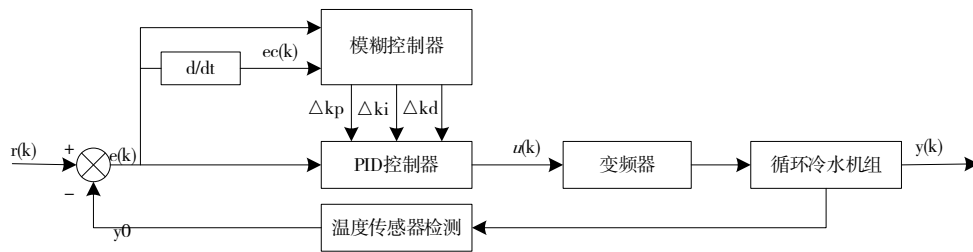


Fig. 7 Principle of fuzzy adaptive PID controller
图7 模糊自适应PID控制器原理

空调系统运行过程中,模糊自适应PID控制程序将空调冷冻泵供回水温度监测值与设定期望温度值进行比较,将温度偏差 $e(k)$ 与偏差变化率 $ec(k)$ 作为控制器输入,得到系统设备频率控制量输出 $u(k)$ 。系统控制程序流程图如图8所示。

在空调系统监控过程中,设定冷冻泵供回水的期望温差为 5°C ,将每次监测的冷冻泵供回水温度实际差值与

定期望温差值进行比较,得到温度偏差与偏差变化率,并将其作为控制程序的输入值,经过控制算法得到自整定后的PID控制器的 K_p, K_i, K_d 参数,计算系统冷冻泵频率的调节量 $u(k)$,驱动空调系统冷冻泵变频器工作。

综上,本文设定调节周期 T ,通过不断比较监测数据与设定期望温度,循环运算更新控制值,将输出控制值作为实际的变频器频率进行输入,自动调节冷冻泵的运行转

速,改变空调冷冻水循环系统流速,从而调节空调温度。

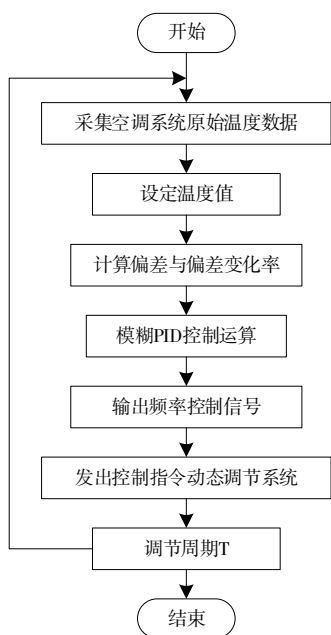


Fig. 8 System control flow
图8 系统控制流程

4 系统运行效果

4.1 系统运行情况

系统基于B/S架构开发,在服务器上搭建程序并在某产业园稳定运行,终端使用浏览器访问,具体软硬件部署环境如表1所示。

Table 1 System operation deployment environment

表1 系统运行部署环境

序号	类型	型号
1	CPU	11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11700F 2.50 GHz
2	操作系统	Windows 10
3	Web服务器	IIS 6.0
4	数据库服务器	MySQL 5.7;实时数据库(团队自研)
5	浏览器	兼容常用浏览器

系统通过设备监控软件与现场设备进行通信,以采集空调系统设备仪表的实时运行参数。通过Web网页与网页组态结合形象地展示空调系统冷水机组的工艺流程及控制过程,实时显示冷冻水循环系统、冷却水循环系统、制冷循环系统中各检测节点的数值与设备运行状态,并设计控制节点实现各设备的实时在线调控,根据实际工况调节参数与状态。

本文通过空调系统对温度进行调节,设定冷冻水供水期望温差为5℃。当空调末端负荷发生变化时,控制模块检测冷冻水回水温度与出水温度的温差,并与设定期望温差进行比较。当实际温差大于期望温差时,提升冷冻泵频率增大流量;当实际温差小于期望温差时,降低冷冻泵

频率减小流量,控制冷冻水供回水温差基本稳定在5℃。实验表明,所提系统具有较高的控制稳定性,能满足控制精度需求。此外,系统在Web端实现空调运行的系统流程,管理人员可直接在线调控所有设备,有效节省了人力,提升了系统管理效率。

4.2 系统界面展示

系统采用B/S架构,基于Spring MVC+Vue.js框架,通过HTML5、JavaScript、CSS进行页面布局,ECharts图表完成数据展现。其中,Web前端利用Ajax数据交互技术与服务器通信,通过数据接口调用数据,采用Vue.js框架技术实现前端组件开发与数据绑定,后端采用Spring MVC框架。整个系统采用前后端分离的开发方式,通过HTTP协议进行前后端数据交互,实现了空调系统的动态实时监控、实时数据与历史数据分析、系统能耗分析、故障诊断与报警等功能。系统应用部署简单,具有优越的扩展性,能轻松实现多用户跨平台监控与信息共享。

图9为空调监控系统首页,页面集中展示了空调系统的主要实时指标,例如系统COP、制冷量、温湿度、能耗及故障报警面板。系统在运行过程中实时刷新,使客户能快速、直观的了解系统各项指标。



Fig. 9 Home page of air-conditioning monitoring and management system

图9 空调监控管理系统首页

图10展示了空调系统运行流程,通过网页组态构建空调系统控制工艺流程,以实时显示空调系统冷水机组的工作过程,点击设备即可弹窗显示设备当前运行实时信息,包括设备当前运行模式、频率及故障报警状态等。

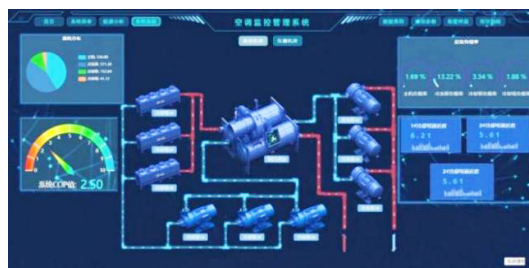


Fig. 10 Control flow interface of air conditioning monitoring management system

图10 空调监控管理系统控制流程

5 结语

针对空调监控系统空调系统设备种类繁多、协议不统

一的问题。本文设计开发了一套空调智能监控系统Web应用客户端,通过多线程采集与数据协议转换实现空调系统现场设备运维信息的统一集成,利用数据接口实现数据可视化,并对空调系统运行状态进行实时监控,实现了系统运营维护的远程集中管理。

本文结合Web组态设计空调系统的工艺流程,实现了网页端空调系统流程的实时监控、在线调节、诊断等功能,整套系统运行稳定可靠,实现了空调系统设备的统一监控和调度、统一部署和高可用性。后续,将对网页进行进一步设计,以更直观地向用户展示多种数据和功能。

参考文献:

- [1] LIU Y. Design of ammonia absorption air conditioning control system based on DSP [J]. *Engineering Technology Research*, 2022, 7(6): 122-125.
刘英. 基于DSP的氨水吸收式空调控制系统设计[J]. *工程技术研究*, 2022, 7(6): 122-125.
- [2] ZHOU L Q, WANG L A, WANG M Y. Design of new central air-conditioning control system[J]. *Automation Instrument*, 2020, 41(1): 65-68.
周利黔,王路安,王梦宇. 新型中央空调控制系统设计[J]. *自动化仪表*, 2020, 41(1): 65-68.
- [3] XIE H T. Design and application of central air-conditioning monitoring system for office buildings based on cloud platform[D]. Ji'nan: Shandong Jianzhu University, 2022.
谢浩田. 基于云平台的办公建筑中央空调监控系统设计与应用[D]. 济南: 山东建筑大学, 2022.
- [4] GU L, YANG X, DING D W, et al. Energy consumption optimization of air conditioning based on building monitoring system[C]// *Chinese Control and Decision Conference*, 2017: 4114-4119.
- [5] GUO L, WEI Y, HE J. Design of air conditioning intelligent control system based on the cloud platform of the Internet of Things[J]. *Computer Measurement and Control*, 2022, 30(3): 114-119, 138.
郭鲁,魏颖,何金. 基于物联网云平台的空调智能控制系统设计[J]. *计算机测量与控制*, 2022, 30(3): 114-119, 138.
- [6] GAO Z, XU B G, KUANG F H, et al. Design and implementation of central air-conditioning group control system based on OPC [J]. *Electric Drive*, 2018, 48(5): 43-48.
高照,胥布工,匡付华,等. 基于OPC的中央空调群控系统设计与实现[J]. *电气传动*, 2018, 48(5): 43-48.
- [7] ZHANG X D, LI H. Design of the Internet of Things monitoring and management platform for the solar-air source heat pump air-conditioning system[J]. *Automation Instrument*, 2019, 40(8): 74-78.
张小东,李慧. 太阳能—空气源热泵空调系统物联网监控管理平台设计[J]. *自动化仪表*, 2019, 40(8): 74-78.
- [8] GUI C J, ZENG X H. Real-time control technology of intelligent air conditioning mobile environment combined with Redis and WebSocket [J]. *Software Guide*, 2020, 19(1): 190-194.
桂成杰,曾献辉. 结合Redis与WebSocket的智能空调移动环境实时控制技术[J]. *软件导刊*, 2020, 19(1): 190-194.
- [9] RAN J J, YUAN L. Central air-conditioning energy consumption prediction system for large buildings based on deep learning [J]. *Automation Technology and Application*, 2022, 41(12): 1-4.
冉均均,袁磊. 基于深度学习的大型建筑中央空调能耗预测系统[J]. *自动化技术与应用*, 2022, 41(12): 1-4.
- [10] HE H W, JIA H, SUN C, et al. Stochastic model predictive control of air conditioning system for electric vehicles: sensitivity study, comparison, and improvement [J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2018, 14(9): 4179-4189.
- [11] FANG X J, WANG J P. Research on air conditioning control of electric vehicle based on fuzzy PID model prediction [J]. *Journal of Anhui Engineering University*, 2022, 37(2): 34-42.
方祥建,王建平. 基于模糊PID模型预测的电动汽车空调控制研究[J]. *安徽工程大学学报*, 2022, 37(2): 34-42.
- [12] WANG X L. Distributed real-time database of construction equipment operation and maintenance system [D]. Ji'nan: Shandong Jianzhu University, 2020.
王晓乐. 建筑设备运维系统的分布式实时数据库[D]. 山东建筑大学, 2020.
- [13] HUANG X Y, DU Y Q. Centralized control system of split air conditioner based on Internet of Things [J]. *Computer Measurement and Control*, 2015, 23(8): 2709-2712.
黄晓艳,杜勇前. 基于物联网的分体空调集中控制系统[J]. *计算机测量与控制*, 2015, 23(8): 2709-2712.
- [14] LIU C, ZHAO T, ZHANG J, et al. Operational electricity consumption analyze of VRF air conditioning system and centralized air conditioning system based on building energy monitoring and management system [J]. *Procedia Engineering*, 2015, 121: 1856-1863.
- [15] ZHANG H S. Energy saving of intelligent control system for ventilation and air conditioning in subway stations [J]. *Research on Urban Rail Transit*, 2018, 21(9): 45-48.
张海尚. 地铁车站通风空调智能控制系统的节能[J]. *城市轨道交通研究*, 2018, 21(9): 45-48.
- [16] LIN W W, CUI B, TONG D W, et al. Development and application of three-dimensional intelligent monitoring system for earth-rock dam rolling quality based on B/S architecture [J]. *Journal of Hehai University (Philosophy and Social Sciences Edition)*, 2022, 50(5): 131-138.
林威伟,崔博,佟大威,等. 基于B/S架构的土石坝碾压质量三维智能监控系统研发与应用[J]. *河海大学学报(哲学社会科学版)*, 2022, 50(5): 131-138.
- [17] SONG X. Design of online interactive education system of art course based on B/S architecture [C]// *International Conference on Smart Grid and Electrical Automation*, 2021: 106-111.
- [18] CUI W C, GOU M H. Design and implementation of a SSH proxy system based on B/S architecture [J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2010: 12020.
- [19] REN H P, ZHANG B, TAN Z T, et al. A refined quality control method for marine buoy data [J]. *Marine Science*, 2021, 45(10): 93-103.
任焕萍,张斌,谭哲韬,等. 一种精细化的海洋浮标数据质量控制方法[J]. *海洋科学*, 2021, 45(10): 93-103.
- [20] SHENG P, ZHU Q F. Design of measurement and control system for leafy vegetable greenhouse based on fuzzy PID controller [J]. *Software Guide*, 2017, 16(6): 100-103.
盛平,朱庆夫. 基于模糊PID控制器的叶菜温室测控系统设计[J]. *软件导刊*, 2017, 16(6): 100-103.
- [21] YANG Y P, YU Y S, LU X Y. Design of air conditioning temperature control system for textile mill based on fuzzy PID [J]. *Wool Textile Technology*, 2021, 49(2): 79-82.
杨云鹏,于有生,路向阳. 基于模糊PID的纺织厂空调温度控制系统设计[J]. *毛纺科技*, 2021, 49(2): 79-82.
- [22] SUN Z L, WANG Y F. Design of HVAC intelligent control system based on ModBus communication protocol [J]. *Modern Scientific Instruments*, 2021, 38(4): 23-27.
孙增利,王亚峰. 基于ModBus通信协议的暖通空调智能控制系统设计[J]. *现代科学仪器*, 2021, 38(4): 23-27.