

基于物联网和 PLC 的公共建筑 电气控制系统设计与应用

裘希菲[†]

(上海思博职业技术学院, 上海 200000)

摘要:针对现有电气控制系统控制能力不足的问题,基于物联网和 PLC(Programmable Logic Controller)技术设计了一种公共建筑电气控制系统。该系统选用 S3C2440A 芯片作为中央处理器,通过模糊 PID 控制方法实现电力设备的能源管理,引入改进粒子群算法优化管理效果;并通过射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术进行电气系统的精准故障分析预测,大幅提高系统预测效率。在实验中,该控制系统节能效果提高约 50%,效率提高约 41.18%,预测效率平均提高 35.23%。该系统有效提高了对公共建筑中电力设备的控制能力。

关键词:电气控制;物联网;PLC;模糊 PID 控制;射频识别;能源管理;故障预测

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Design and Application of Electrical Control System for Public Buildings Based on Internet of Things and PLC

QIU Xifei[†]

(Shanghai SIPO Polytechnic, Shanghai 200000, China)

Abstract: Aiming at the problem of insufficient control ability of existing electrical control systems, a public building electrical control system based on the internet of things and PLC (Programmable Logic Controller) technology is designed. The system uses S3C2440A chip as the central processor, realizes the energy management of power equipment by fuzzy PID control method, and introduces improved particle swarm optimization algorithm to optimize the management effect. And through radio frequency identification (RFID) technology for accurate fault analysis and prediction of electrical systems, greatly improve the efficiency of system prediction. In the experiment, the energy saving effect of the control system is increased by about 50%, the efficiency is increased by about 41.18%, and the prediction efficiency is increased by 35.23% on average. The system can effectively improve the control ability of power equipment in public buildings.

Key words: electrical control; internet of things; PLC; fuzzy PID control; radio frequency identification; energy management; fault prediction

公共建筑是指办公建筑、科教文卫建筑、旅游建筑、通信建筑、交通运输建筑等为民众提供公共活动场所的建筑。随着公共建筑规模的扩大,建筑中电力设备越来越多,且电力设备的部署方式也越来越复杂,通过控制系统对其进行相应规划管理可减少大量的管理控制成本,减少电力设备的维护工作。

对此,文献[1]对公共建筑内电气设备按功能进行分类,通过对应的控制系统完成设备控制,并建立相应的网络模型进行控制信息共享。但该控制方法较为烦琐,且控制成本较高。

文献[2]基于 PLC 技术设计出公共建筑电气智能化系统,以 PLC 控制器为系统核心,控制公共

建筑中各类电力设备所构成功能模块的智能运行。但该系统不具备能源管理功能。

文献[3]通过分析建筑内电力设备的内耗指标,建立耗能最小的目标函数,并基于机会约束构建优化模型,实现电气系统的能源管理。但该方法不能对电气系统进行故障分析及预测。

文献[4]通过智能感知技术,基于神经网络建立自编码器参量模型,确定网络参数后,进行动态特征提取,实现电力设备的故障分析预测。但该方法的预测时间较长。

综上所述,本次研究基于物联网和 PLC(Programmable Logic Controller)技术设计出电气控制系统,使用模糊 PID 控制方法进行能源管理,引入改进粒子群算法优化管理效果;通过射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术进行电气系统的精准故障分析预测。并在实验中与其他电气控制系统或方法进行对比,以验证该系统的可行性。

1 公共建筑电气控制系统总体设计

针对上述研究存在的技术缺口,本研究设计了公共建筑电气控制系统。并通过模糊 PID 控制方法优化电气系统的可控性,实现更稳定的能源管理,实现能源节约;通过射频识别技术优化电气系统的故障分析功能,提高故障预测效率。最后通过实验验证本研究的可行性。

本研究有以下 2 个创新点:

(1)基于模糊 PID 控制方法实现能源管理。模糊 PID 控制方法是一种通过控制比例、微分、积分等运算环节的权重比例,实现系统自动化控制的闭环控制方法。通过对该方法进行改进,可以有效提高控制系统的控制能力,从而提升系统的节能效果。

(2)使用射频识别技术进行故障预测分析。射频识别技术属于物联网技术,通过对特征数据进行标注形成标签,并由阅读器向标签发射射频信号生成标签信息,再进行数据分析处理。该方法可以进行精准的电气系统故障分析,并大幅度提升了预测效率。

2 基于物联网和 PLC 的电气控制系统设计

在电气控制系统中,常通过若干电器元件互相配合,实现对某电力设备的自动控制、远程监控和预测分析等。但控制能力有待提升。

物联网是一种能够实现万物联网的信息交换

和通信技术,通过射频识别、全球定位系统(GPS)和激光传感器等传感器件,使不同类型的物体能够进行通信^[5]。而可编程逻辑控制器是由中央处理器、电源、通模数转换元件等构成的一种可编译的运算控制器^[6],也广泛应用于自动控制领域。

现基于物联网技术和 PLC 技术设计公共建筑电气控制系统,系统主要结构图如图 1 所示。

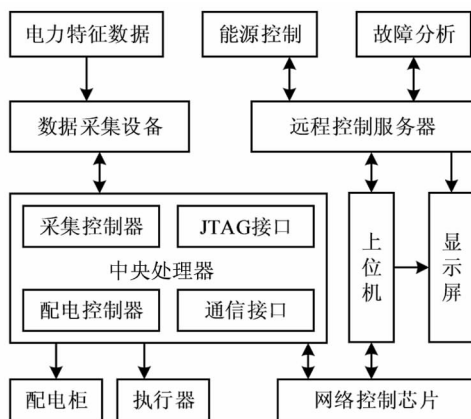


图 1 公共建筑电气控制系统主要结构图

由图 1 可知,该电气控制系统主要由中央处理器模块、数据存储模块、数据分析模块、通信模块以及数据采集设备、执行设备、显示设备构成,中央处理器控制采集设备进行电力数据的采集,由通信单元发送至上位机于远程控制服务器进行数据存储及分析处理,实现电力设备能源管理和故障预测分析,并通过显示屏显示数据实现数据可视化。分析后做出的电力设备管理决策再由通信单元重新反馈至中央处理器,通过执行单元进行电力设备控制。

在电气控制系统中,核心元件为中央处理器,本次研究选用 S3C2440A 芯片作为中央处理器,通过该芯片控制各个模块,可实现数据收集、数据分析、数据存储、系统能源控制、设备故障预测等功能。

通信模块能够将数据采集模块和数据处理模块进行衔接。在本研究中采用 RS485 标准通信接口进行数据信息传输,并选用 MAX13485E 通信驱动芯片进行通信模块的控制。该芯片的通信模式简单,采取半双工的形式进行通信,不容易出现数据干扰现象^[7]。芯片的数据接收与发送由高低电平控制 DE 和 RE 引脚来实现,当输入高电平时,则表示允许发送和接收数据;反之,则不可进行数据发送和接收操作^[8]。

远程控制服务器收到由通信模块传输的电力数据后,在服务器中进行存储,并与服务器中的信息数据库数据进行对比分析,实现公共建筑电气系统的能源管理与故障预测分析。本研究主要针对电气系统的数据分析模块进行改进。

3 公共建筑电气系统能源管理与故障分析

3.1 基于模糊闭环控制的能源管理

闭环控制是一种进行控制后的输出量重新回到控制系统的输入端,成为输入端控制因素的一部分的反馈控制方式^[9]。模糊PID控制是一种通过比例(Proportional, P)、积分(Integral, I)、微分(Derivative, D)各环节之间权重的控制,从而实现各类系统的自动控制管理的闭环控制方法^[10]。

由于建筑电气设备所包含的控制变量较多,且模糊PID控制并不需要确切的被控对象,故本研究在传统的模糊PID控制方法的基础上进行改进,用于公共建筑电气系统的能源管理优化。主要包括误差参数 k_e 、误差变化参数 k_{ec} 、比例参数 k_{pu} 、积分参数 k_{iu} 和微分参数 k_{du} 这5个控制参数,以控制参数偏差值为目标,建立的函数模型为:

$$F = \int_0^{\infty} t \cdot |W| dt \quad (1)$$

式中, t 是采样的瞬时时间值, W 是输入数据值和输出数据值的相对差值。

现引入粒子群算法提高模糊PID控制方法的控制能力^[11],式(1)即为寻优函数模型,相对差值 W 就是寻优的对象,设算法中粒子的初始速度和位置分别为 v_i 和 x_i ,则粒子的速度和位置变化更新可表示为:

$$\begin{cases} v_i^{n+1} = \varphi v_i^n + \lambda_1 r_1 (p_i^n - x_i^n) + \lambda_2 r_2 (q_i^n - x_i^n) \\ x_i^{n+1} = x_i^n + v_i^{n+1} \end{cases} \quad (2)$$

式中, i 代表某一类控制参数, n 是粒子更新的次数, φ 是算法中的惯性参数, λ_1 和 λ_2 是算法中的学习因子, r_1 和 r_2 是两个不相等的随机数, p_i 和 q_i 分别为部分最优解和整体最优解。且惯性参数的取值与控制参数的适应度有关,当第 i 类控制参数的适应度比平均适应度小或与平均适应度相等时,

$$\varphi = \varphi_{\min} - \frac{(\varphi_{\max} - \varphi_{\min})(\mu_i - \mu_{\min})}{\bar{\mu} - \mu_{\min}}; \text{反之, } \varphi =$$

φ_{\max} 。 μ_i 是第 i 类控制参数的适应度, $\bar{\mu}$ 是平均适应度, φ_{\max} 和 φ_{\min} 是惯性参数的最大值和最小值。

现对传统的粒子群算法进行改进,引入动态学习因子,构造 λ_1 为单调递增函数, λ_2 为单调递减函数:

$$\begin{cases} \lambda_1 = 2 \sin^2 \left(\frac{\pi n}{2n_{\text{limit}}} \right) \\ \lambda_2 = 2 \sin^2 \left[\frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{n}{n_{\text{limit}}} \right) \right] \end{cases} \quad (3)$$

式中, n_{limit} 是最大限制更新次数,函数图像如图2所示。

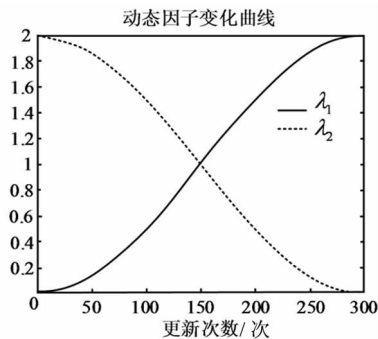


图2 动态因子变化曲线图

该方法使得初期时能在较短时间内快速搜索到最优解,将最优解赋予模糊PID控制系统中的对应参数,即可完成建筑电气控制系统的能源优化管理。

3.2 基于射频识别技术的故障分析

射频识别技术是一种可进行自动识别的物联网技术,该技术对典型数据进行标签操作,阅读器发射射频信号至标签,标签接收后由感应电流主动生成标签信息,递交至数据分析处理单元进行信息处理^[12]。

在本研究中,公共建筑电气设备系统中发生故障的位置信息为 (x, y) ,第 i 个阅读器的位置信息为 (X_i, Y_i) ,且阅读器的总数为 N ,则公共建筑系统中电气设备的运行误差函数模型为:

$$\varphi = T - L_a z_a^0 \approx \begin{bmatrix} cR_{2,1}^0 \kappa_{2,1} \\ cR_{3,1}^0 \kappa_{3,1} \\ \vdots \\ cR_{N,1}^0 \kappa_{N,1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, T 为时间参数, L_a 是阅读器常量, z_a 是电气设备未来数据量, $z_a = [z_p, R_1]^T$, R_i^0 是包含故障信息的数据标签,则故障数据标签于阅读器之间的位置差距可用 $R_{i,1}$ 表示。 c 为误差因子, κ 是误差因子模型。

通过式(4)计算电气设备发生故障的位置信息初始值 (x_0, y_0) ,由此可计算出故障信息的预计位置差异为:

$$\begin{cases} (L_i^T \Sigma^{-1} L_i)^{-1} L_i^T \Sigma^{-1} T_i = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = R'_i = \sqrt{(X_i - x_0)^2 + (Y_i - y_0)^2} \end{cases} \quad (5)$$

式中, L_i 是阅读器权重系数矩阵, Σ 是数据信息的协方差矩阵, T_i 是时间参数的权重矩阵, R'_i 是第 i 个包含故障信息的数据标签。且位置差异的约束条件为:

$$|\Delta x| + |\Delta y| < \alpha \quad (6)$$

式中, $|\Delta x|$ 和 $|\Delta y|$ 分别为 x 方向和 y 方向的位置绝对差异, α 是约束门限值。

阅读器再根据标签信息获取算术平均值后, 进行故障预测分析:

$$\begin{cases} X = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \\ Y = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \end{cases} \quad (7)$$

式中, n 是故障分析次数, X 和 Y 是最终的故障预测分析结果。

为使故障预测分析结果更加精确, 现基于标准分数方法对数据筛选处理:

$$x_{m} = \frac{x_{m,1} - a_m}{s_m} \quad (8)$$

式中, x_{m} 是筛选后电气系统中的设备数据, m 是数据总数, $x_{m,1}$ 是在 t 时刻设备数据的特征向量 $X_{t,1}$ 中的元素, 且 $X_{t,1} = [x_{t,1,1}, x_{t,1,2}, \dots, x_{t,1,m}]$, a_m 是数据的算术平均值, s_m 是数据的标准差。

通过上述方法可以有效完成公共建筑电气系统故障分析预测。

4 实验分析

为测试电气控制系统的能源管理和故障分析预测性能, 现在某小型办公大楼内进行实验测试, 且经人工检验, 该建筑内的电气设备, 即照明系统、通风系统、消防系统等电气设备均正常运行, 保证测试环境条件一致。现将本研究所设计的改进型模糊 PID 控制方法与经典 PID 控制方法进行对比, 从而验证本文所设计的控制方法的可行性。将目标参数控制量设为 10, 两种控制方法的控制结果如图 3 所示:

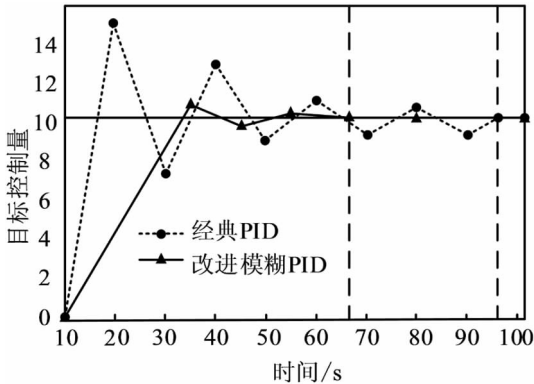


图 3 控制结果对比图

由图 3 可知, 本研究所设计的改进模糊 PID 控制方法比经典 PID 控制方法更容易实现对目标参数的控制, 稳定性更好。且使用经典 PID 控制方法使控制参数达到稳定的时间为 96 s, 而本研究

所设计的控制方法仅需 68 s, 控制效率提升约 41.18%。

接着将本研究所使用的能源管理方法与文献[3]控制方法进行对比。在该办公大楼内, 使用上述两个电气控制系统进行同时间段内的电气设备能源优化管理, 并进行不同数量设备的分组实验, 电气设备节能情况统计如表 1 所示:

表 1 电器设备节能情况对比表

电气设备数量	本文方法	文献[3]方法 能耗/kW
100	178	301
200	293	747
300	398	1101
400	452	1314
500	498	1570
600	646	1731
700	904	2208

表 1 中, 所节约能耗的单位为千瓦, 且随着电气设备的增多, 节能效果越好, 与文献[3]相比, 设备平均能耗节约 50%。

现进行电气设备的故障预测分析实验。在办公大楼电气设备运行时, 可通过射频识别技术对电力设备设置不同的预测标签, 通过对电力设备运行情况进行综合评分, 再转化为电力设备的故障预测值。设备运行状况综合评分模型为:

$$S = \sum_{j=1} a_j b_j \quad (9)$$

式中, S 是电力设备运行状态的综合评分, a_j 是电力设备相关数据, b_j 是综合评分指标。电力设备在 k 时刻的综合评分为:

$$S_k = \frac{S_e}{k + t_e} \quad (10)$$

式中, S_k 是 k 时刻的综合评分, S_e 是综合评分的估计值, t_e 是预期还可运行的时间。

建立电力设备相关运行数据的概率分布函数模型:

$$F_q = \min \left(\sum_{k=1}^K D[f_q(t) \| f_{kq}(t)] \right) \quad (11)$$

式中, $D[f_q(t) \| f_{kq}(t)]$ 是在概率分布中各数据的信任程度, $f_q(t)$ 是数据的概率密度函数, $f_{kq}(t)$ 是交叉熵参数。

在该办公大楼中电气设备最终故障预测模型为:

$$\begin{cases} S = \sum_{i=1}^K p_k S_k \\ H = \frac{[f_q(t) \cdot f_{kq}(t)] p_k}{F_q \cdot S} \end{cases} \quad (12)$$

式中, p_k 为 k 时刻数据信息的权重指标, H 是电力设备运行时间预测模型。

由上述模型即可完成公共建筑电气系统故障分析预测。

现验证本研究所设计方法的故障预测准确度和效率。在办公大楼中人为制造若干电力设备运行故障,记录故障运行原因,并通过本文所设计方法对故障进行预测分析,结果如表 2 所示。

表 2 故障预测结果表

实际故障原因	故障预测分析结果
配电设备绝缘层故障	配电设备绝缘层故障
电路中电线损坏	电路中电线损坏
配电柜状态异常	配电柜状态异常
互感元件发生电干扰	互感元件发生电干扰

由表 2 可知,本研究设计方法所预测的故障类型与实际故障原因一致,表明本研究所设计的故障预测分析方法可以完成公共建筑电气系统的故障预测分析。

现将本文方法与文献[4]中故障预测方法进行对比。分别设置数据标签个数不同的 5 个实验对照组,并监测其进行故障预测分析所需要的时间,结果如图 4 所示:

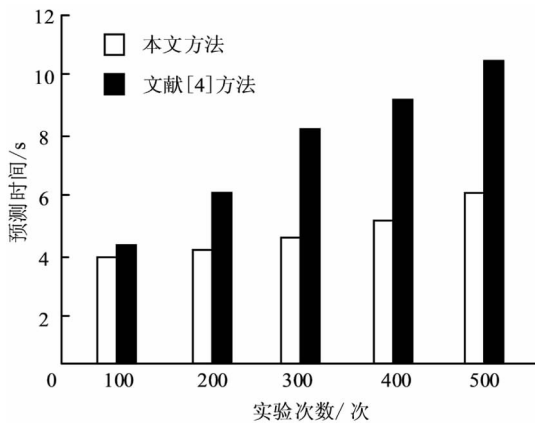


图 4 故障预测时间对比图

图 4 中,本文所设计的方法相较于文献[4]中的方法预测时间更短,效率更高,且效率平均提高了 35.23%。由上述实验可证明本文所设计的电气控制系统能够有效提高电力设备的控制能力。

5 结 论

本研究基于模糊 PID 控制方法和射频识别技术设计出新型公共建筑电气控制系统,并通过实验,验证了系统在能源管理和故障预测中的可

行性。

本研究的创新之处在于:引入改进粒子群算法提高模糊 PID 控制方法的控制能力,通过动态学习因子提高系统的寻优能力,从而提高能源管理能力,使系统的节能效果提高 50%,效率提高约 41.18%;通过射频识别技术实现系统的故障预测分析,使预测效率平均提高 35.23%。有效提高了公共建筑电气控制系统的控制能力。

本研究所设计系统可以有效提高公共建筑中的电气设备的控制能力,但射频识别技术的成熟度不高,技术标准没有统一,且该技术所需的建设成本较高,在一定程度上降低了该系统的市场积极性,使得该系统存在一定的局限性。

参考文献

- [1] 吴英夫. 基于以太网的智能建筑电气设备控制系统研究[J]. 电工技术, 2020(6): 8-11+21.
- [2] 徐启, 杨世品. 基于 PLC 的大型公共建筑电气智能化系统设计[J]. 现代电子技术, 2021, 44(6): 111-114.
- [3] 王晓晶, 陈星莺, 余昆, 等. 保障舒适度的城市建筑电力节能优化[J]. 现代电力, 2019, 36(4): 38-47.
- [4] 赵仕策, 赵洪山, 寿佩瑶. 智能电力设备关键技术及运维探讨[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(20): 1-10.
- [5] LIN W M, ZHANG X Y, QI L Y, et al. Location-aware service recommendations with privacy-preservation in the Internet of Things[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2021, 8(1): 227-235.
- [6] 李鹰. PLC 自动控制技术在电力系统中的应用[J]. 电子技术, 2023, 52(8): 142-144.
- [7] 吴兴校, 王零超, 蔡华祥, 等. 基于 MODBUS-RS485 多路集成系统的快速通信[J]. 现代机械, 2020(3): 12-16.
- [8] 任瑶瑶, 马金平. 基于 RS485 的多主机对等通信系统的设计与实现[J]. 山东大学学报(工学版), 2023, 53(5): 156-164.
- [9] 刘俊磊, 钱峰, 王峰, 等. 基于闭环控制的两相电源直流输电系统线路稳态电压协控方法[J]. 电源学报, 2022, 20(4): 138-145.
- [10] PHU N D, HUNG N N, AHMADIAN A, et al. A new fuzzy PID control system based on fuzzy PiD controller and fuzzy control process[J]. International Journal of Fuzzy Systems, 2020, 22(7): 2163-2187.
- [11] 朱文琦. 基于 PLC 和粒子群算法的采摘机械手电气控制系统[J]. 农机化研究, 2021, 43(12): 238-241+246.
- [12] 陈海宁, 沈洁, 马福龙等. 基于射频识别技术的电能质量计量评估模型[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(6): 25-31.