

基于遗传算法的长输管道送风静压控制设计与实现

王晓瑜¹, 阎宇威²

(1. 西安航空学院 电子工程学院, 陕西 西安 710077;

2. 西安建筑科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要:针对长输管道送风静压系统稳定性和精确性要求,提出了遗传算法优化 PID 控制器策略,建立了直流电机转速闭环调速系统数学模型并在 MATLAB 仿真实现;搭建了长输管道送风静压控制系统,设计了拓扑图和控制流程图,控制器选用西门子 S7-1200 PLC 及拓展模块,在 TIA Portal V18 环境下编写风机调速控制程序,使用腾讯云完成远程手机端监控界面搭建。实验结果表明,该控制策略超调量同比降低 1.34%,快速性同比提高 70%,稳态误差及管道静压分别在 0.6% 和 5% 范围变化,手机端作为操作面板,在线实时监控,实现控制风机转速及管道压力稳、准、快的控制目标。

关键词:直流风机;闭环调速系统;遗传算法;PID 控制;PLC;物联网平台

中图分类号:TP336

文章编号:1000-0682(2025)05-0042-05

文献标识码:A

DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2025.05.008

Design and implementation of supply air static pressure control for long distance pipeline based on genetic algorithm

WANG Xiaoyu¹, YAN Yuwei²

(1. Electronic Engineering College, Xi'an Aeronautical Institute, Shaanxi Xi'an 710077, China;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Shaanxi Xi'an 710055, China)

Abstract: Aiming at the requirement of stability and accuracy of air supply static pressure system in long-distance pipeline, a strategy of PID controller optimized by genetic algorithm was proposed. The mathematical model of DC motor speed closed-loop speed regulation system was established and simulated in MATLAB. The static pressure control system for air supply in long distance pipeline was built and the topology diagram and control flow chart were designed. The controller were Siemens S7-1200PLC and expansion module. The fan speed control program was written in TIA Portal V18 environment. The remote mobile monitoring interface was built by Tencent Cloud. The experimental results showed that the overshoot of the control strategy was increased by 1.34%, the rapidity was increased by 70%, and the steady-state error and static pressure of the pipeline were in the range of 0.6% and 5%, respectively. As the operation panel, the mobile phone could complete functions online in real time to achieve the control of fan speed and pipeline pressure stable, accurate, fast control goals.

Keywords: DC motor; closed-loop speed control system; genetic algorithm; PID controller; PLC; Internet of Things platform

收稿日期:2024-08-30

基金项目:陕西省省级一流线下课程(陕教[2021]107号)

第一作者:王晓瑜(1974—),女,陕西西安人,博士,教授,高级工程师,现从事工业物联网、智能控制算法教学与科研工作。

E-mail:1143468861@qq.com

0 引言

随着智能算法的发展,基于遗传算法与 PLC 技术相结合的 PID(Automatic Guided Vehicle)控制器,应用于石油、天然气和化工等行业。文献[1]设计

了一种基于遗传算法的自整定 PID 控制器预测方法,仿真证明降低了稳态误差和超调量。文献[2]提出了一种基于改进型遗传算法的 PID 参数整定方法,仿真证明显著提高 PID 参数整定效果。文献[3]将遗传算法应用于长输管道 PID 控制参数寻优,仿真结果表明寻优后的 PID 参数调节时间短,超调量小。文献[4]采用了改进遗传算法的 PI 参数整定,仿真证明具有快速响应、稳定性好以及超调小的优点。文献[5]设计了基于改进自适应遗传算法的 PID 控制器,削弱进化过程中优良参数的退化影响,仿真证明稳定性更好,超调更小。上述文献均由仿真验证,但未搭建试验系统验证算法的有效性,也未实现远程监控。该文针对化工等行业的长输管道送风静压远程监控的稳定性和精确性问题,提出了遗传算法(genetic algorithm, GA)优化 PID 控制器策略,构建其仿真模型;通过远程手机端监控,设计并搭建长输管道送风静压实验系统。控制器选用 SIMATIC S7-1200 PLC;在 TIA Portal V18 环境下编写 PLC 控制程序,在 Node-RED 平台设计手机端实时监控画面。实验结果表明,通过遗传算法优化 PID 参数控制电机转速,进而控制输送至管道的空气压力,实现送风静压且具备物联网远程手机端实时监控功能。

1 直流风机转速闭环调速系统数学模型

设定直流风机转速 n 为被调控量, U_n^* 为转速参考电压, U_n 为反馈电压, ΔU_n 为转速偏差电压, U_c 为控制电压, U_{d0} 为电力电子变换器, α 为转速反馈系数, C_e 为电动势系数, T_l 为风机时间常数, T_m 为励磁时间常数, 构建的直流电机转速闭环调速系统传递函数模型如图 1 所示。

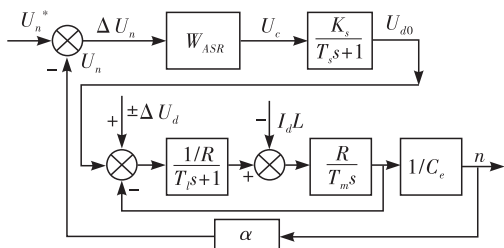


图1 直流风机转速闭环调速系统传递函数模型

2 GA-PID 控制器

2.1 GA-PID 控制器结构

遗传算法(GA, genetic algorithms)是1960年美国 Michigan 大学 Holland 教授基于达尔文生物进化

提出的概念,其更适合优化大规模复杂问题且计算简单,功能强^[6]。传统 PID 算法可以将系统稳态误差调控至零,但需依靠大量经验和反复试验;GA 具有大规模并行随机搜索的最优化特性,因此,两者叠加为 GA-PID 则性能更优。选用 GA 算法优化 PID-Controller 及其参数,其结构如图 2 所示。将系统的给定值 $r(t)$ 叠加测量元件的负反馈 $y(t)$, 得到的偏差 $e(t)$ 作为 GA-Controller 的输入,遵从 GA 规则,计算出在时变状态下 GA-Controller 的 3 个输出参数(比例调节系数 K_p 、积分调节系数 K_i 和微分调节 K_d) 的值,作用于 PID 控制器,实现对被控对象的调节。通过遗传算法不断优化 PID 控制器参数,使其紧密跟随响应系统变化,达到最优控制效果^[2-3]。

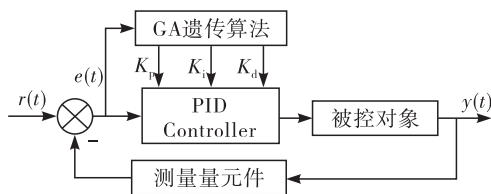


图2 遗传算法整定 PID 控制器结构图

2.2 GA 整定 PID Controller 参数实现

2.2.1 初始化种群

通用 PID Controller 有 3 个参数,故设定决策变量个数为 3,设置种群大小为 30。使用 rand 函数生成 1 个 30×3 的随机数矩阵,矩阵中每 1 行代表 1 组 PID 参数。

2.2.2 评估个体适应度

适应度函数表征个体在生存环境的适应能力,该值越小则控制效果越好。适应度函数见式(1):

$$f = \frac{1}{0.001 + \int_0^{\infty} t |e(t)| dt} \quad (1)$$

2.2.3 选择

将选择算子作用于群体,将优化的个体遗传至下一代,选用轮盘赌方法。个体被选择的概率正比于适应度函数 f 。计算得到其累积和,找到该值中第 1 个大于它的位置,添加到新种群中,便于后续的交叉操作。

2.2.4 交叉

交叉是 2 个相互交叉的染色体按照某种方式互换其部分基因,形成新一代个体。设计选用均匀交叉法,见式(3)。在进化过程中以交叉概率 P_c 对种群中染色体进行交叉。

$$m = \{1 | 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 | 7 \ 8\} \rightarrow m' = \{1 | b \ c \ d \ e \ f | \}$$

7 8}

$$n = \{a | b c d e f | g h\} \rightarrow n' = \{a | 2 3 4 5 6 | g h\} \quad (2)$$

将染色体 m 和 n 的交叉点设置在第 1 位与第 2 位、第 6 位和第 7 位中间,交叉之后产生了新的个体 m' 和 n' ,此处交叉概率 P_c 为 0.9。

2.2.5 变异

变异是将个体染色体编码串中的某基因座上的数值,替换其对应基因座的其他等位基因,以此生成一个新个体,保留优秀的个体,淘汰适应度值小的个体,设置变异概率 P_m 为 0.01。

GA 算法整定 PID 参数流程如图 3 所示^[4]。

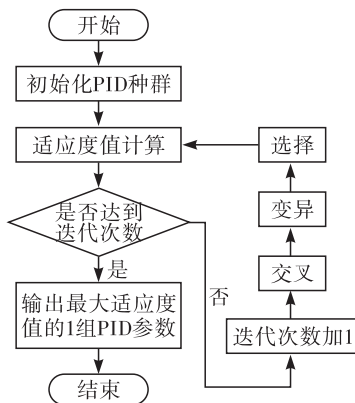


图 3 GA 算法整定 PID 参数流程图

2.3 MATLAB 仿真设计与分析

$$\text{系统传递函数为 } G(s) = \frac{166.67}{0.00017s^2 + 0.01s + 1}。$$

在 MATLAB/SIMULINK 环境下,用传统仿真方法搭建的 PID 控制器和基于遗传算法优化的 PID 控制器^[5],系统的输出响应曲线如图 4 所示,GA 整定后的 PID 参数为 $K_p = 10.261, K_i = 9.727, K_d = 0.073$ 。

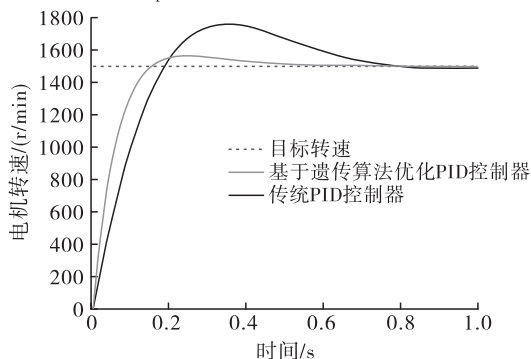


图 4 PID 控制器及 GA - PID 控制器输出响应曲线

图 4 中设定风机转速为 1500 r/min,转速波动误差带允许范围 $\pm 5\%$ 。可以发现,在同样条件下,GA - PID 控制器输出响应曲线的动态性能指标都有所下降,其中超调量为 4%,与 PID 控制器相比降

低 1.34%;系统约在 0.074 5 s 进入稳定状态,快速性同比提高 70%;证明了 GA - PID 控制的有效性。

3 GA - PID 长输管道送风静压控制系统实验实现

3.1 系统总体方案设计

基于遗传算法的长输管道送风静压控制系统拓扑图如图 5 所示。旋转编码器采集直流风机转速,风压变送器检测风机静压值并传送至系统 S7 - 1200 PLC 及拓展模块,通过模数转换处理,将采集的风机转速及管道风压值传送至智能网关和云端,实现数据的实时远程交互;在手机端界面输入风机设定转速,控制 PLC,通过腾讯云物联网平台,调节整流调压模块的电压实现直流风机转速的实时监控^[6]。

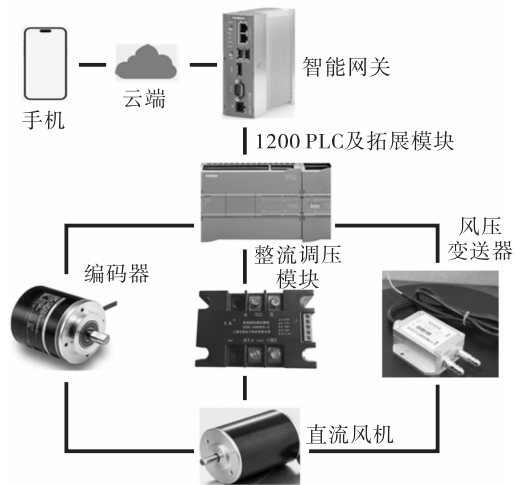


图 5 系统拓扑图

3.2 硬件系统设计

选用西门子 PLC 1214C DC/DC/DC、模拟量拓展模块 SM1234 及 IOT2050 智能网关、YK300 风压变送器、增量式旋转编码器(2000 PPR)以及单项全隔离智能调压整流模块(输入 220 VAC)各 1 个;选取直流风机 1 个,风机参数见表 1。

表 1 风机参数表

名称	注释
额定电压 U_e/V	220
额定功率 P/W	120
电动势系数 $U_d/(Vmin/r)$	0.132
电机时间常数 T_l/s	0.017
额定电流 I_n/A	0.5
额定转速 $n/(r/min)$	1500
励磁时间常数 T_m/s	0.01

3.3 软件系统设计

软件设计分为 3 部分:(1)上位机在 TIA Portal

V8 环境下编写的 PLC 控制程序,由主程序和循环中断程序组成,其中主程序实现系统的启动和停止,循环中断程序编写风机转速对应电压的 PID 程序、GA 算法程序和电机风速计算程序;(2)腾讯云物联网平台的产品开发,主要完成管道送风静压远程监控界面(手机端)管理、相关状态和数据的监控等任务;(3)物联网平台 Node - RED 程序设计,主要完成 PLC 在该平台上腾讯云节点的设置、数据转换为报文的上传和下发。

系统控制运行流程如图 6 所示^[7]。系统上电初始化后,实时采集风机转速、管道风压值并反馈给 PLC 及其拓展模块;手机端发送指令至云端,通过 IOT2050 智能网关发送给 PLC 及其拓展模块,PLC 将遗传算法优化后的 PID 参数进行处理,并通过拓展模块调整单项整流调压模块及风机的输出电压,进而调整风机转速;远程手机端快速实现管道送风静压控制。

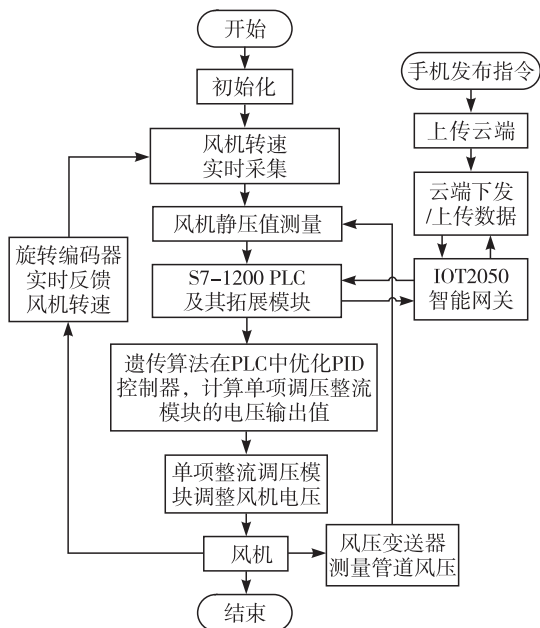


图 6 长输管道送风静压控制系统运行流程图

3.4 腾讯云物联网平台的产品开发

3.4.1 腾讯云相关设置

登录腾讯云物联网开发平台,在产品控制台中新建产品,自定义管道送风系统的启动、停止、风机速度和风机速度设定 4 个变量,在数据推送界面布局并连接设备数据、数据过滤及公众号推送 3 个节点,完成公众号推送信息功能。

3.4.2 远程监控界面(手机端)开发

创建好变量后,在交互开发中进行可视化面板(手机端远程监控、控制界面)配置,包括启动停止

状态、直流风机设定速度模式以及管道风压测量值和风机当前速度显示 3 部分。手机端远程监控界面如图 7 所示,直流风机设定速度为 3115 r/min,此时管道风压值为 16 Pa,直流风机当前速度为 3112 r/min。



图 7 手机端远程监控界面

该系统设定静压波动范围小于 8%,实测静压波动为 16 ~ 17 Pa,约为 5%;设定转速误差小于 5%,实测转速为 3115 ~ 3134 r/min,转速误差约为 0.6%,满足控制要求。

3.4.3 通信及节点安装

首先上位机与 IOT2050 智能网关通过以太网通信连接,利用远程访问软件 putty 连接 IOT2050 智能网关,并通过 IOT2050 命令进入网关,更改网关地址、网络等设置;然后在浏览器上输入网关地址,进入网关的物联网平台 Node - RED,在右上方节点管理中安装 S7 - 1200 PLC 通信、输入、输出节点以及腾讯云物联网开发平台通信、上传数据、下发数据节点,最后将上传数据写入到上传腾讯云报文中;同样从腾讯云下发的报文中读取所需的数据,通过数据流与订阅话题的方式实现腾讯云和 S7 - 1200 PLC 交换数据。

3.4.4 变量的分配与节点设置

首先,新建 PLC 通信节点并对其进行以下配置:Address 地址为实物 PLC 地址,在 Rack/Slot 处选择端口为 1,其他设置均保持默认值;其次,在 PLC 节点 Variables 中填写需要与 PLC 通信的变量的地址与名称;再通过 PLC 输入输出节点调用上一步骤创建的变量;最后,新建腾讯云通信节点,在节

点中输入腾讯云产品 ID、设备名称和设备密钥等信息。

3.5 Node - RED 控制程序

3.5.1 数据下发

首先, Tencent IoT Subscribe 节点订阅下发数据 topic, 读取腾讯云下发的报文, 报文中每个变量数值自动存放在 payload:msg. payload. params 节点中; 其次, 通过函数节点编写提取报文中实时数据的语句; 然后将函数节点输出的每个值分别赋给对应 s7 out 节点的 PLC 变量; 最后, 连接以上 3 个节点构成数据流, 实现腾讯云数据下发到 PLC。

3.5.2 数据上传

数据上传是数据下发的逆过程, 文中不再赘述。

4 GA - PID 长输管道送风静压物联网实验系统测试

基于遗传算法的长输管道送风静压实验系统如图 8 所示。

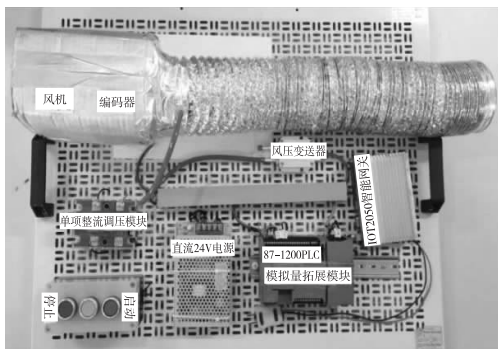


图 8 AGV 物联网运动控制实验系统

系统分为 4 部分: 转速测量部分(编码器输出脉冲测量电机转速)、电压控制部分(模拟量输出)、风压监控部分(模拟量输入)和物联网部分。

(1) 连接编码器输出端至 PLC, 测试 PLC 能否捕捉到编码器发送的脉冲, 缓慢转动编码器, 观察 PLC 的 I0.0 和 I0.1 端口信号是否交替闪烁, 如果交替闪烁则读取到编码器脉冲; 将博图软件处于监控状态, 观察该通道是否有计数产生, 若有则在博图软件中添加 OB 循环中断组织块, 编写脉冲个数转化为电机转速程序, 完成转速测量。

(2) 连接单项整流调压模块至 PLC, 通过模拟量输出 0 ~ 10 V 电压, 控制单项整流模块从而控制风机电压, 将该通道数值分别设置为 13 824 和 27 648, 使用万用表观察输出是否为 5 V 和 10 V, 若符合, 则电压控制部分测试达到控制要求。

(3) 连接风压变送器至 PLC, 配置模拟量输入

组态, 编写模拟量输入程序, 观察是否有风压产生, 若有, 则风压监控部分达到控制要求。

(4) 腾讯连连小程序和腾讯云控制台调试物联网功能, 调试是否达到远程手机端监控要求。

测试结果表明, 基于 GA 算法优化 PID 控制器参数的长输管道送风静压实验控制系统控制策略正确有效。

5 结语

针对化工行业长输管道送风静压控制的稳定性和精确性问题, 设计了基于遗传算法优化 PID 控制器及其参数的控制策略, 在 MATLAB/SIMULINK 环境下搭建了直流风机调速系统的数学模型, 仿真结果表明, 同比传统 PID 控制器, GA - PID 控制器超调量降低 1.34%, 快速性提高 70%。

实验实现中, 以西门子 S7 - 1200 PLC 及其模拟量拓展模块为控制器, 通过输入到模拟量拓展模块 SM1234 的 AI 信号, 测量管道中的风压数据, 通过输出的 AQ 信号, 控制整流调压模块的输出电压, 从而改变风机转速; 然后通过 IOT2050 智能网关, 结合腾讯云搭建物联网平台, 将风机转速和管道风压值发送至云端完成远程手机端监控。实验结果表明, 基于遗传算法的长输管道送风静压控制系统, PLC 控制风机转速误差约为 0.6%, 静压在 5% 范围变化, 控制策略正确有效, 实现了长输管道送风静压稳、准、快的控制目标。

参考文献:

- [1] 曾彬洋. 一种基于遗传算法的 PID 参数优化方法[J]. 当代化工研究, 2024(02): 187 - 190.
- [2] 刘延飞, 彭征, 王艺辉, 等. 基于改进的遗传算法的有刷直流电机 PID 参数整定[J]. 计算机应用, 2022, 42(05): 1634 - 1641.
- [3] 任亮, 许超. 基于遗传算法的长输管道 PID 控制参数优化[J]. 化工管理, 2020(33): 178 - 179.
- [4] 赛东, 朱阔, 孔祥宣. 基于改进遗传算法的直流电机双闭环调速系统控制参数整定[J]. 自动化应用, 2024, 65(04): 29 - 33 + 36.
- [5] 代健超, 孟焯, 孙志军, 等. 基于改进自适应遗传算法的小径短绳自动打捆机步进电机 PID 控制[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2024, 50(01): 63 - 69.
- [6] 王晓瑜, 李嘉伟. 基于物联网与 PLC 的高炉槽下液压站控制系统试验台设计与实现[J]. 工业仪表与自动化装置, 2023(06): 54 - 59.
- [7] 王建荣, 陈斌. 基于 PLC 的工业物联网云平台研究与设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2022, 273(07): 104 - 107.