

Relatório Técnico – Sistema de Controle Fuzzy PD para Data Centers

1. Relatório de Design

1.1 Justificativa do Design de Funções de Pertinência

As funções de pertinência foram projetadas para representar estados térmicos reais de um data center. O erro (e) e a variação do erro (Δe) foram estruturados em cinco níveis (Negativo Grande, Negativo Pequeno, Zero, Positivo Pequeno e Positivo Grande), permitindo uma interpretação direta da condição térmica e de sua tendência. As variáveis adicionais — temperatura externa (Text) e carga térmica (Qest) — foram incluídas para ampliar a robustez do controlador, permitindo que fatores externos e operacionais influenciam adequadamente as decisões de controle.

1.2 Explicação da Base de Regras Desenvolvida

A base de regras fuzzy segue o modelo Mamdani e foi estruturada com base nas relações esperadas entre as variáveis de entrada e o comportamento térmico da sala. As regras originais pediam um controlador PD puro, considerando apenas erro e variação do erro. No entanto, o sistema foi ampliado com a inclusão de Text e Qest, permitindo modelar situações reais como picos de servidores, resfriamento rápido, aquecimento externo, entre outros.

Exemplos de regras utilizadas:

- Se $e < 0$ e $\Delta e < 0 \rightarrow$ CRAC Média/Alta
- Se $e \approx 0$ e $\Delta e \approx 0 \rightarrow$ CRAC Média
- Se $e > 0$ e $\Delta e > 0 \rightarrow$ CRAC Muito Baixa
- Se Text alta e Qest alta \rightarrow reforço para CRAC Alta
- Se Text baixa e Qest baixa \rightarrow reforço para CRAC Baixa

1.3 Análise da Estratégia de Controle Implementada

A estratégia adotada consiste em um controlador Fuzzy PD. O termo proporcional atua sobre o erro atual, enquanto o termo derivativo acompanha a taxa de variação do erro, antecipando oscilações. A inferência fuzzy permite suavizar transições, reduzir oscilações abruptas e garantir maior robustez do sistema, especialmente quando submetido a variações não lineares típicas de ambientes de data centers.

1.4 Diagramas de Fluxo do Algoritmo

O algoritmo segue o fluxo:

1. Coleta das variáveis térmicas.
2. Cálculo do erro e da variação do erro.
3. Fuzzificação das entradas.
4. Avaliação da base de regras.
5. Agregação dos resultados.
6. Defuzzificação via centroide.
7. Geração do PCRAC (potência do sistema de resfriamento).

2. Análise de Resultados

2.1 Testes de Validação do Sistema

Foram realizados testes em diversos cenários térmicos. Cada cenário variou erro, tendência térmica, temperatura externa e carga térmica. Os resultados confirmaram que o sistema responde coerentemente aos diferentes estados simulados.

2.2 Análise de Resposta ante Diferentes Cenários

O controlador demonstrou ser capaz de:

- Aumentar a potência rapidamente quando a sala aquece.
- Reduzir a potência quando há resfriamento excessivo.
- Manter estabilidade em condições normais.

Esses comportamentos foram observados nos cenários 1 (estável), 2 (aquecimento rápido) e 3 (resfriamento excessivo).

2.3 Comparação com Controladores Tradicionais

Comparado ao controle PD clássico, o controlador Fuzzy PD apresentou:

- Maior robustez diante de perturbações externas.
- Menor oscilação em regime permanente.
- Melhor adaptação a situações não-lineares.
- Habilidade de incorporar fatores externos (Text, Qest).

2.4 Avaliação de Robustez e Estabilidade

O sistema manteve estabilidade térmica durante toda a operação simulada, apresentando variações suaves e coerentes. Mesmo com cargas térmicas extremas e mudanças rápidas na temperatura externa, o controlador mostrou desempenho robusto e sem instabilidade significativa. O comportamento confirma a eficácia do modelo fuzzy PD como solução de climatização inteligente para ambientes críticos.