

CONTROLE INTELIGENTE DE UM TERMO-ACUMULADOR PASSIVO

LUERCE, Inessa Diniz¹; MEDEVEDOSVKI, Eduardo Saffer¹; CUNHA, Eduardo Grala²; FERRUGEM, Anderson Priebe³ (Orientador)

¹ Universidade Federal de Pelotas - Ciência da Computação; ² Universidade Federal de Pelotas - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo; ³ Universidade Federal de Pelotas, Centro de Desenvolvimento Tecnológico - ferrugem@inf.ufpel.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Conforto térmico é o estado mental do homem em que ele expressa satisfação com o ambiente térmico ao seu redor. Visando alcançar e manter o conforto térmico, sistemas de condicionamento de ar necessitam da automatização do seu controle para atingir resultados eficazes. O presente trabalho visa aplicar técnicas de inteligência artificial para o controle do protótipo de um termo-acumulador passivo, proposto em CUNHA (2009).

O protótipo foi feito por meio de um ambiente de simulação virtual, através do software de desempenho térmico e energético de edificações, o EnergyPlus. Através da interface externa do Building Controls Virtual Test Bed (BCVTB), um programa que realiza conexões de softwares de simulação, é possível gerenciar o controle do termo-acumulador virtualmente modelado. Assim, são utilizadas as técnicas de Redes Neurais e Lógica Difusa, implementadas no software Matlab em conjunto com técnicas mais simples, On-Off e Proporcional-Integral-Derivativo (PID), para efetuar diferentes controles.

2 METODOLOGIA (MATERIAL E MÉTODOS)

O termo-acumulador tem como objetivo o aquecimento de ambientes por intermédio do aproveitamento da radiação solar direta em períodos de inverno. Ele é composto por uma estrutura metálica, prismática, com fechamentos horizontais e verticais em vidro comum, 3 milímetros transparente. Na parte superior do sistema, há uma persiana plástica com o objetivo de controlar a radiação solar direta em períodos quentes. Entre a parede divisora com a edificação, há uma ventilação superior e outra inferior. Entre a região inferior divisora com o ambiente, há uma outra ventilação. Através da abertura e fechamento das três ventilações e da veneziana, foram definidos três estados de funcionamento: Ciclo Aberto, Ciclo Fechado e Desligado (MEDEVEDOSVKI, 2010).

O protótipo do termo-acumulador foi desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Pelotas (LABCEE), através do software DesignBuilder, que permite a modelagem de edificações com recursos visuais. Assim foi feita sua validação e seu modelo foi exportado para um arquivo do tipo Input Data File (IDF), o qual caracteriza a entrada principal do EnergyPlus, representando um modelo de uma construção.

Para implementação do Controle On-Off foi utilizada a comparação entre três temperaturas do modelo computacional: a temperatura de bulbo seco do ambiente externo, a temperatura interna do termo-acumulador e a temperatura interna da edificação, todas em graus Celsius. Foram definidas regras para a transição de cada estado do dispositivo de aquecimento, essas regras foram implementadas no Matlab através do uso de condicionais simples e a conexão dos dados foi construída no BCVTB.

A fórmula do PID utilizada neste trabalho foi a proposta em FRANKLIN (1991):

$$VM(t) = K_p (1 + 1/(K_i*t) + K_d*t) * E(t) + \text{bias};$$

Onde VM é a Variável Manipulada, K_p , K_i e K_d os pesos, t o tempo, $E(t)$ o erro na função do tempo e bias uma variável de correção.

Depois de definida a equação foi determinada como ela seria aplicada no controle e como seria calculado o erro, visto que o tempo é definido como relativo ao da simulação. Após alguns experimentos foi verificado que a alternativa mais eficaz seria a utilização de dois controles PID independentes: um para alternância entre os estados de Desligado e os dois estados de aquecimento e o outro para alternar entre os estados de Ciclo Aberto e Fechado, caso o mesmo fosse acionado pelo controle anterior. O Matlab foi utilizado para a sua implementação, e as simulações foram realizadas paralelamente ao controlador On-Off para avaliar seu desempenho de forma que os pesos pudessem ser ajustados.

Para a construção do controlador por base do conceito de Sistemas Difusos, que são sistemas baseados em regras que utilizam variáveis linguísticas difusas para executar um processo de tomada de decisão, foi utilizada a ferramenta Fuzzy Logic Toolbox, oferecida pelo Matlab. Ela fornece uma interface gráfica para criação dos conjuntos de entrada e saída e formulação das regras de inferência. Para a Base de Dados, foram utilizadas as três temperaturas também utilizadas no controle On-Off. Assim, foram criadas quatro variáveis de entrada, sendo que para as três primeiras foram utilizados os quantificadores “Positivo”, e “Negativo”, com uma margem de intersecção de 1,5. Para a última variável foram utilizados os quantificadores de “Baixa” e “Alta”, também com uma margem de 1,5.

Com as entradas especificadas, foram definidas as saídas, correspondendo os estados do termo-acumulador. A seguir foram escolhidas as regras de inferências através da comparação de todas as seis possibilidades de diferenças entre as três primeiras entradas. Com o estudo destas regras, acabou sendo criado um novo estado possível para a saída: o Ciclo Aquecimento, que consiste no fechamento de todas as ventilações e a abertura da veneziana.

2.1 Implementação dos Controles utilizando Redes Neurais

Redes neurais são compostas por nós conectados por links direcionados. Uma ligação de unidade j para a unidade i serve para propagar a ativação a_j de j para i . Cada ligação tem também um peso numérico associados a ela, que determina a força e sinal de conexão (RUSSEL, 2004). Para que uma Rede Neural encontre os pesos com valor mais perto do ideal, é necessário um treinamento com um grande conjunto de entradas e saídas correspondentes entre si. O conjunto de saídas das redes implementadas é intuitivamente uma combinação entre as três ventilações e a veneziana, de forma que represente um estado de funcionamento do termo-acumulador.

Foram aplicadas duas Redes Neurais: uma orientada aos três estados já determinados previamente e outra orientada todos estados possíveis. Como entrada, foram utilizadas seis variáveis provenientes do EnergyPlus.

Mesmo com o conjunto de dados de entrada e saída já definidos, é necessário estabelecer a relação de inferência entre os mesmos. Para isto, deve ser formulado um método de avaliação entre os estados dos termo-acumulador de forma que sejam selecionados apenas aqueles que apresentam um bom desempenho. Durante o método de escolha foram simulados os estados em arquivo IDF no EnergyPlus, escolhido o método de avaliação e comparado o desempenho de cada estado em função do tempo. Por fim, foram selecionadas as variáveis de entrada a partir do estado que obteve melhor resultado. Para cada método de avaliação há um conjunto de entradas e saídas diferentes, resultando em Redes Neurais com controles diferentes.

2.2 Construção dos Controladores

Para a construção da Rede Neural, foi utilizada a ferramenta Neural Network Toolbox disponibilizada pelo Matlab. Ela assemelha-se com uma biblioteca de funções, onde pode-se criar diversos tipos de Redes apenas determinando-se alguns parâmetros. A função utilizada neste trabalho foi a chamada *newff*, a qual constrói uma rede do tipo Multicamadas Backpropagation. Este tipo de rede foi escolhido por sua simplicidade e por atender todas as necessidades requeridas quanto a possibilidade de aprendizado. Com o modelo da rede já pronto, foram considerados dois métodos de avaliação e dois tipos de redes, obtendo assim quatro diferentes cenários:

- Cenário 1 - ROTEP com o método de avaliação: menor diferença entre o módulo da temperatura interna da edificação para 22°C.
- Cenário 2 - ROTE com o método de avaliação: menor diferença entre o módulo da temperatura interna da edificação para 22°C.
- Cenário 3 - ROTEP com o método de avaliação: estados com veneziana fechada para temperatura interna da edificação maior que 22°C e estados com veneziana aberta caso contrário.
- Cenário 4 - ROTE com o método de avaliação: Desligado para temperaturas maiores que 22°C e Ciclo fechado caso contrário.

Foi considerada a possibilidade de utilizar o melhor Voto Médio Estimado (PMV) como método de avaliação, mas como o termo-acumulador altera somente a temperatura, sua incidência no cálculo do PMV é muito pequena. Isso acontece pois este cálculo depende de vários fatores além da temperatura, a variável que é o foco do funcionamento do termo-acumulador. Dessa forma, não poder-se-ia obter um controle eficaz com diferenças quase imperceptíveis. Nota-se que os dois últimos cenários possuem o mesmo método de avaliação, apesar de parecerem ser distintos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O controle feito através da técnica de Lógica Difusa mostra ser mais tolerante em questões de alterar seus estados apenas quando percebe-se alterações mais bruscas de temperatura, isto em situações próximas ao setpoint de 22°C. Isso acontece pela probabilidade de escolha da troca de estado ou não, uma característica normal desta técnica. Entretanto, assim como o PID, há casos em que a diferença de aquecimento é grande, com diferenças maiores que 1,5°C.

Os resultados obtidos através das Redes Neurais foram divididos entre os quatro cenários anteriormente citados. Todas as simulações foram realizadas em conjunto com as técnicas de controle On-Off e PID para a avaliação do desempenho. O treinamento das redes foi feito com amostragens de 3 meses entre os períodos dos meses maio, junho e julho com *timestep* de 5 minutos. Dessa forma, foram obtidos mais de 26 mil exemplos de treinamento para cada cenário.

Mesmo com a possibilidade do controle de cada ventilação separada, a Rede Neural optou pela configuração de Ciclo Fechado durante quase toda a simulação. Porém, havia algumas situações em que a atitude tomada não implicava em uma boa atuação sobre a temperatura interna. Há uma perda de calor ainda no início de cada dia, provocando um desempenho inferior aos controles convencionais. Nas situações em que a temperatura destas oscilava entre o

setpoint de 22 °C, a Rede Neural também não obteve um bom desempenho.

4 CONCLUSÃO

Com a análise dos resultados verificou-se que a técnica PID foi a mais eficiente na maioria dos critérios nos dois ambientes de simulação. A única exceção para esse resultado foi na maior média de temperatura interna menor que 22°C, a qual representa o maior foco de aplicação do termo-acumulador.

Não é possível escolher o controle mais eficiente no geral, no entanto pode-se eleger o melhor controle combinando os critérios de avaliação de acordo com pesos pré-estabelecidos. Pode-se desconsiderar a renovação de ar por já haver outras janelas na edificação e eleger com maior relevância a economia de energia.

Por fim, é verifica-se a necessidade de uma nova seleção do conjunto de entradas para as Redes Neurais, combinação de desempenho de todas em uma única só. O conjunto de regras da Lógica Difusa deve ser revisto, pois sua eficácia se mostrou como a mais mediana. Já a Técnica PID apresentou ser a mais eficiente tanto em termos de implementação e simplicidade, quanto eficiência.

5 REFERÊNCIAS

RUSSEL, Stuart. NORVING, Peter. **Artificial Intelligence: a modern approach – 3th ed.** New Jersey, Pearson Education, 2004.

MEDEVEDOVSKI, Eduardo S. **Técnicas de Inteligência Artificial Aplicadas a um Dispositivo de Aquecimento Natural por Ambientes.** 2010. 78f. Trabalho acadêmico (Graduação) - Bacharelado em Ciência da Computação. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

CUNHA, Eduardo G., **Análise do desempenho de Protótipo de Aquecimento Solar para a cidade de Passo Fundo, Rs, com funcionamento em ciclo aberto e fechado.** In: X ENCONTRO NACIONAL e VI ENCONTRO LATINO AMERICANO de CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Natal, 2009.