



Instituto Politécnico, Nova Friburgo
August 30th - September 3rd, 2004

Paper CRE04 – TF39

Utilização de Redes Neurais para Identificação de Parâmetros em Transferência Radiativa

Patrícia O. Soares¹ e Antônio J. Silva Neto²

Departamento de Engenharia Mecânica e Energia, Instituto Politécnico, IPRJ
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ
CP 97282, 28601-970, Nova Friburgo, RJ, Brasil
¹pattyoliva@uol.com.br, ²ajsneto@iprj.uerj.br

Francisco J.C.P. Soeiro

Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ
20550-013, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
soeiro@uerj.br

A transferência radiativa em um meio participante (emissor, absorvedor e/ou espalhador) é um fenômeno que está associado à propulsão de foguetes, câmaras de combustão a alta pressão e temperatura, projeto de equipamentos sujeitos a altas temperaturas, tomografia computadorizada, entre outros.

A modelagem dos fenômenos que ocorrem quando a radiação eletromagnética interage com um meio participante é feita com a versão linear da equação de Boltzmann. Para um meio unidimensional, homogêneo, espalhador isotrópico, de espessura óptica τ_0 , com superfícies refletoras difusas (reflectividades iguais a ρ_1 e ρ_2), submetido à incidência de radiação externa, tem-se

$$\begin{aligned} \mu \frac{\partial I(\tau, \mu)}{\partial \tau} + I(\tau, \mu) &= \frac{\omega}{2} \int_{-1}^1 p(\mu, \mu') I(\tau, \mu') d\mu' \quad \text{em } 0 < \tau < \tau_0, \quad -1 \leq \mu \leq 1 \\ I(0, \mu) &= F_1(\mu) + 2\rho_1 \int_0^1 \mu' I(0, -\mu') d\mu', \quad \mu > 0 \\ I(\tau_0, \mu) &= F_2(\mu) + 2\rho_2 \int_0^1 \mu' I(\tau_0, \mu') d\mu', \quad \mu < 0 \end{aligned} \quad (1)$$

onde I é a intensidade da radiação eletromagnética, τ a variável óptica, μ o cosseno do ângulo do feixe de radiação com o eixo τ , ω o albedo de espalhamento simples e F_1 e F_2 as intensidades das fontes externas de radiação incidentes em $\tau = 0$ e $\tau = \tau_0$.

Se a geometria, as condições de contorno e as propriedades radiantes do meio forem conhecidas, o problema (1) pode ser resolvido diretamente, obtendo-se $I(\tau, \mu)$ para todo τ e todo μ . Se as propriedades do meio não forem conhecidas, mas medidas experimentais da intensidade da radiação que deixa o meio estiverem disponíveis, podemos resolver o problema inverso, que consiste justamente na determinação das propriedades do meio através das medidas experimentais.

Os problemas inversos em transferência radiativa podem ser formulados explicita ou implicitamente, este último geralmente envolvendo um problema de otimização que exige a minimização de uma função custo, como por exemplo aquela dada pela soma dos resíduos quadrados entre as intensidades calculada e medida da radiação que deixa o meio. Nestes

métodos, é necessário que o problema direto seja resolvido diversas vezes, o que pode exigir um elevado esforço computacional. Para a solução do problema direto é aqui utilizado o método de ordenadas discretas [1] combinado com o método de diferenças finitas.

Neste trabalho empregamos uma rede neural artificial (ANN – *Artificial Neural Network*) do tipo perceptron com múltiplas camadas, com algoritmo de retropropagação de erro [2], para resolver problemas inversos em transferência radiativa. O objetivo principal é a redução do esforço computacional.

A rede neural utilizada consiste de uma camada de entrada com 20 neurônios (onde são fornecidas as intensidades da radiação), uma camada oculta que pode ter de 20 a 40 neurônios e uma camada de saída, com no máximo 4 neurônios (onde serão obtidas as propriedades do meio). Em uma primeira etapa a rede neural é treinada com um conjunto de padrões consistindo de 20 intensidades de radiação e as 4 propriedades radiantes correspondentes. Após aprender com estes exemplos, a rede neural é capaz de generalizar, ou seja, de fornecer as propriedades do meio em estudo para qualquer conjunto de intensidades de radiação medido.

Inicialmente a rede neural foi utilizada para solucionar efetivamente o problema inverso, para duas incógnitas (ω e τ_0) [3]. Os resultados obtidos foram satisfatórios para todos os casos considerados, mesmo utilizando dados experimentais ruidosos.

Em uma segunda estratégia a rede neural foi utilizada para gerar estimativas iniciais para serem utilizadas em um método de solução de problemas inversos baseado no gradiente, o método de Levenberg-Marquardt (LM) [4]. A convergência deste método está diretamente relacionada com as estimativas iniciais fornecidas, sendo importante então ter um método eficiente que forneça estimativas confiáveis. Neste caso, a rede neural foi utilizada para resolver o problema inverso com quatro incógnitas ($\rho_1, \rho_2, \omega, \tau_0$), e foram obtidos bons resultados em todos os casos utilizados, inclusive quando foram utilizados dados experimentais com ruídos de até 8%.

Em relação ao esforço computacional, observamos que as redes neurais mostraram-se mais eficientes do que outros métodos tradicionalmente utilizados. Mais especificamente, a combinação ANN-LM mostrou-se mais eficiente do que outras combinações, como GA (*Genetic Algorithm*)-LM e SA (*Simulated Annealing*) utilizadas por Silva Neto e Soeiro [5,6].

REFERÊNCIAS

- [1] Chandrasekhar, S., **Radiative Transfer**, *Dover*, 1960.
- [2] Haykin, S., **Redes Neurais: princípios e prática**, *Bookman*, 2001.
- [3] Soeiro, F.J.C.P., Oliva Soares, P., Campos Velho, H.F. e Silva Neto, A.J., **Using Neural Networks to Obtain Initial Estimates for the Solution of Inverse Heat Transfer Problems**, *Inverse Problems, Design and Optimization Symposium*, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.
- [4] Soeiro, F.J.C.P., Oliva Soares, P. e Silva Neto, A.J., **Solution of Inverse Radiative Transfer Problems with Artificial Neural Networks and Hybrid Methods**, *Inverse Problems in Engineering Seminar*, Cincinnati, USA, 2004.
- [5] Silva Neto, A.J. e Soeiro, F.J.C.P., **Estimation of Phase Function of Anisotropic Scattering with a Combination of Gradient Based and Stochastic Global Optimization Methods**, *5th World Congress on Computational Mechanics*, Viena, Áustria, 2002.
- [6] Silva Neto, A.J. e Soeiro, F.J.C.P., **Solution of Implicit Formulated Inverse Heat Transfer Problems with Hybrid Methods**, *Mini-Symposium Inverse Problems from Thermal/Fluids and Solid Mechanics Applications – 2nd MIT Conference on Computational Fluid and Solid Mechanics*, Cambridge, USA, 2003.