

31764700

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Telecomunicações
e Controle

ISSN 1517-3550

BT/PTC/0106

Resolução de um Problema Inverso
de Eletromagnetismo por Meio de
Redes Neurais Artificiais

Arnaldo Megrich
Jorge Mieczyslaw Janiszewski

São Paulo – 2001

O presente trabalho é um resumo da tese de doutorado apresentada por Arnaldo Megrich, sob orientação do Prof. Dr. Jorge Mieczyslaw Janiszewski.: "Espalhamento de Campos Eletromagnéticos: Caracterização de Materiais Interferentes", defendida em 12/12/00, na Escola Politécnica.

A íntegra da tese encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica/USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Megrich, Arnaldo

Resolução de um problema inverso de eletromagnetismo por meio de redes neurais artificiais / A. Megrich, J.M. Janiszewski. – São Paulo : EPUSP, 2001.

p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle, BT/PTC/0106)

1. Espalhamento eletromagnético 2. Redes neurais (Inteligência artificial) I. Janiszewski, Jorge Mieczyslaw II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle III. Título IV. Série
ISSN 1517-3550

CDD 538.3
006.3

Resolução de um problema inverso de Eletromagnetismo por meio de redes neurais artificiais

Arnaldo Megrich e Jorge Mieczyslaw Janiszewski

Resumo: Este artigo tem por finalidade apresentar um procedimento baseado no uso de redes neurais artificiais que permite, a partir do conhecimento do perfil do campo eletromagnético espalhado determinado por um objeto interferente, avaliar as propriedades dimensionais deste (problema inverso).

Abstract: A procedure is presented, employing artificial neural networks, that allows, knowing the scattered field profile determined by an obstacle, the evaluation of the dimensional properties concerning this body (inverse problem).

1) Introdução

Neste artigo é apresentado um procedimento que possibilita identificar características de materiais a partir das distribuições de campos associadas ao espalhamento eletromagnético. Com base nas características da onda eletromagnética espalhada mensurada, estabelece-se um problema de natureza inversa que, se solucionado, permite identificar as causas dessas configurações de campos. A justificativa para este estudo encontra respaldo na reconstituição geométrica e avaliação de parâmetros de materiais, bem como na identificação de falhas nos mesmos, objetos primordiais dos ensaios não destrutivos.

Uma vez conhecido o perfil do campo espalhado, pode-se avaliar as características dimensionais do material interferente que determinou o espalhamento (problema inverso) a partir de técnicas que envolvem a adoção de redes neurais artificiais.

A questão do problema inverso pode ser ligada à determinação das propriedades físicas de uma configuração desconhecida que não se encontra disponível para a realização de medidas diretas. Tipicamente, estas medidas diretas mostram-se impraticáveis seja em função de custos, seja devido ao fato da região de interesse estar inacessível. Com isto, deve-se analisar esta região indiretamente através da avaliação de fenômenos tais como os resultantes da interferência causada em ondas eletromagnéticas.

Nas considerações aqui apresentadas assumiu-se, como exemplo, uma conformação básica representada por um cilindro condutor revestido por uma camada dielétrica sem perdas.

A modelagem óptica do espalhamento associado a materiais cilíndricos constituídos por um núcleo condutor e uma envoltória dielétrica foi analisada por Kodis (1963), em dois artigos [1], [2]. Sureau, em 1967, estudou o relacionamento entre as dimensões de um cilindro de comprimento infinito com o campo espalhado, no caso da polarização paralela, ressaltando a possibilidade do estabelecimento de fenômenos associados à ressonância. É importante observar a presença de uma formalização matemática bem estruturada em seu artigo, apesar de conter falhas de representação em certas passagens [3].

A abordagem clássica para a resolução de um problema inverso procura tratá-lo como sendo um problema de otimização, em que a função objetivo a ser extremizada indica o desajuste entre os valores medidos e os resultados simulados (com base no método dos mínimos quadrados ou em outros critérios). A resolução do problema de otimização utiliza, em geral, buscas iterativas através de técnicas de minimização. A solução de problemas inversos, sempre presente em diversos campos da Ciência em geral e da Engenharia em particular, consiste em uma importante área de pesquisa, considerando-se, como exemplo, a possibilidade de estabelecer modelagens ou avaliar características de materiais a partir de ensaios não destrutivos, dentre uma série de outras aplicações, conforme já citado. Por outro lado, o emprego de redes neurais artificiais como meio para a solução de problemas inversos, e, especificamente, de natureza elétrica e magnética consiste em uma das inúmeras ramificações originadas por esta nova área de estudo.

Os estudos referentes às redes neurais (artificiais) iniciaram-se com os trabalhos pioneiros de McCulloch e Pitts, em 1943, que descreveram uma rede neural sob uma apresentação lógica, unindo conceitos de neurofisiologia e lógica matemática, tendo influenciado von Neumann na utilização de chaves retardadas na construção do EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer), conforme cita Haykin [4]. Em 1949, Hebb propõe que a conectividade cerebral se altera continuamente conforme o organismo aprende, estabelecendo assim a regra de aprendizagem fisiológica, associada às modificações sinápticas, que determinam, em consequência, montagens neuronais. No âmbito das redes neurais artificiais, este processo de aprendizagem é denominado de “treinamento da rede”. Uma importante propriedade das redes, no que toca aos problemas inversos, consiste na habilidade destas em implementar transformações não-lineares de modo a possibilitar a aproximação de funções. Esta característica torna-se útil quando se dispõe do conhecimento parcial do sistema e, com base em um conjunto de dados, a rede procura estimar o comportamento desse sistema através de interpolações.

2) Descrição e análise do problema proposto

Descreve-se a seguir a análise do espalhamento determinado por cilindros metálicos maciços recobertos por material dielétrico (figura 1). As situações limites deste estudo conduzem a obstáculos cilíndricos constituídos em sua totalidade, seja por material dielétrico, seja por material condutor.

Considerando uma frente de onda plana uniforme, TM^z , propagando-se segundo $+a_x$ no espaço livre e incidindo perpendicularmente no cilindro condutor de raio “a” revestido por uma camada dielétrica de espessura (b-a), os campos podem ser caracterizados através das equações [5]:

$$\mathbf{E}^i = E_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} j^{-n} J_n(k_0 \rho) e^{jn\phi} \mathbf{a}_z \quad (1.1)$$

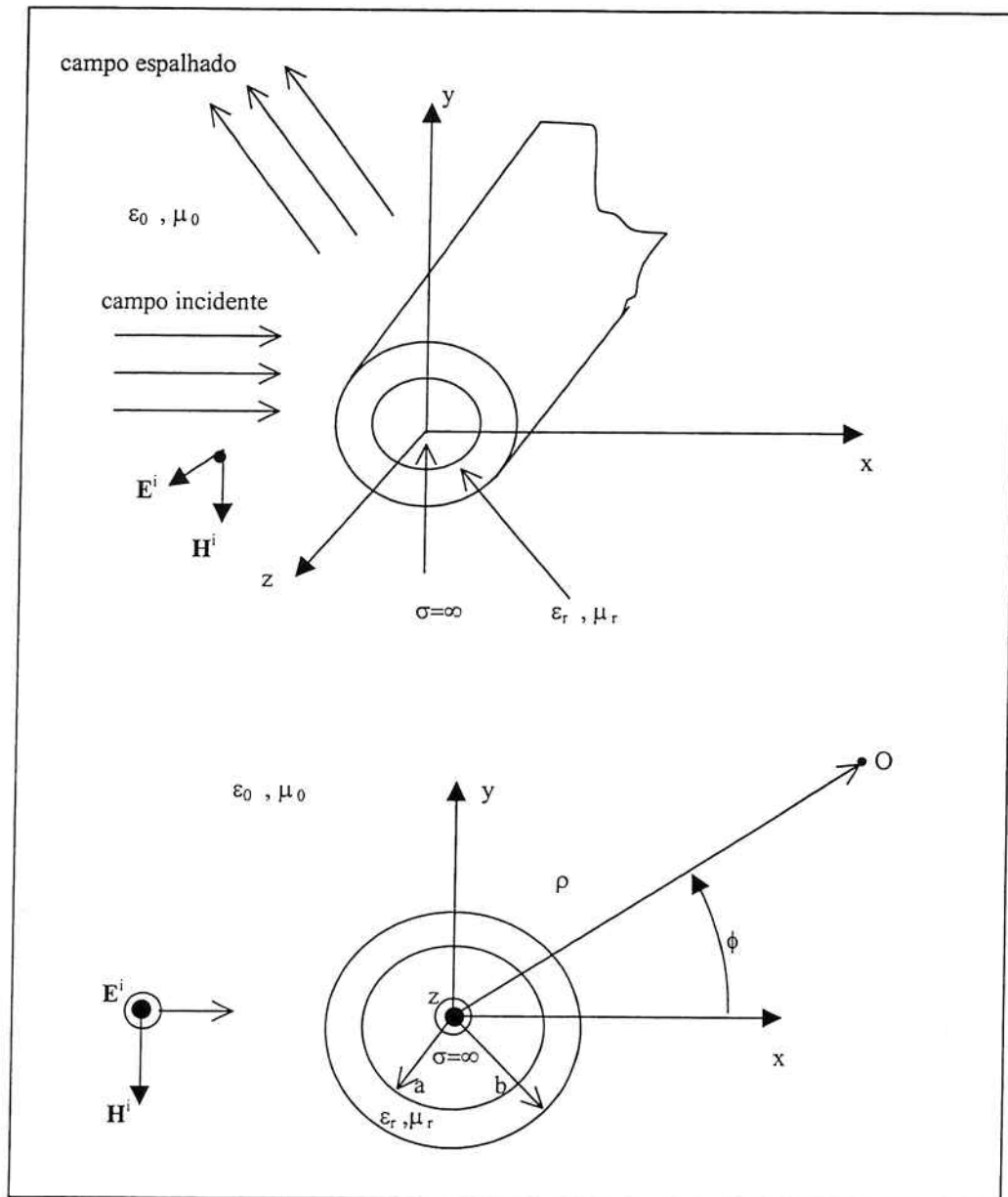


Figura 1: esboço do espalhamento associado a uma superfície cilíndrica recoberta por uma camada dielétrica (supondo incidência TM^z); “O” é o ponto de observação do campo espalhado.

$$\mathbf{E}^s = E_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_n H_n^{(2)}(k_0 \rho) e^{jn\phi} \mathbf{a}_z \quad (1.2)$$

$$\mathbf{E}^d = E_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} [b_n J_n(k_1 \rho) + c_n Y_n(k_1 \rho)] e^{jn\phi} \mathbf{a}_z \quad (1.3)$$

em que “ $\mathbf{E}^d$ ” corresponde ao campo transmitido para o interior do cilindro.

O desenvolvimento matemático desta situação, especificamente na região do material dielétrico, foi aqui estabelecido a partir dos relacionamentos apresentados nas equações 1.1 a 1.3. Os valores de a_n , b_n e c_n são avaliados em função das condições de contorno estabelecidas. Através de operações algébricas convenientes, os valores de a_n , b_n e c_n são obtidos:

$$b_n = \frac{j^{-n} (\mu_R / \varepsilon_R)^{1/2} \{ J_n(k_0 b) H_n^{(2)'}(k_0 b) - J_n'(k_0 b) H_n^{(2)}(k_0 b) \}}{P(k_0, k_1, b) Q(k_1, a, b) - R(k_1, a, b) S(k_1, a, b)} \quad (2.1)$$

com:

$$P(k_0, k_1, b) = [(\mu_R / \varepsilon_R)^{1/2} H_n^{(2)'}(k_0 b) J_n(k_1 b) - (\mu_R / \varepsilon_R)^{1/2} H_n^{(2)}(k_0 b) J_n'(k_1 b)]$$

$$Q(k_1, a, b) = \frac{J_n(k_1 a) Y_n(k_1 b)}{Y_n(k_1 a)}$$

$$R(k_0, k_1, b) = [-H_n^{(2)}(k_0 b) J_n'(k_1 b)]$$

$$S(k_1, a, b) = \frac{J_n(k_1 a) Y_n'(k_1 b)}{Y_n(k_1 a)}$$

a_n e c_n podem ser descritos em função de b_n :

$$a_n = \frac{b_n [J_n'(k_1 b) - S(k_1, a, b)] - [j^{-n} (\mu_R / \varepsilon_R)^{1/2} J_n'(k_0 b)]}{[(\mu_R / \varepsilon_R)^{1/2} H_n^{(2)'}(k_0 b)]} \quad (2.2)$$

$$c_n = \frac{-b_n [J_n(k_1 a)]}{Y_n(k_1 a)} \quad (2.3)$$

As equações 1.2, 1.3 e 2.1, 2.2, 2.3 permitem obter, através do conhecimento de características elétricas, magnéticas e dimensionais associadas ao cilindro condutor revestido com uma camada dielétrica, os campos eletromagnéticos espalhados e os transmitidos para o interior do cilindro. De forma inversa, é possível reconstituir as propriedades elétricas, magnéticas e dimensionais do cilindro condutor envolto por uma camada de material dielétrico partindo-se do campo espalhado medido em pontos adequados.

Quanto às notações adotadas, " J_n ", " Y_n " e " $H_n^{(2)}$ " representam, respectivamente, a função de Bessel de primeira espécie de ordem " n ", função de Bessel de segunda espécie de ordem " n " e função de Hankel de segunda espécie de ordem " n ". As notações " J_n' ", " Y_n' " e " $H_n^{(2)'}$ " correspondem às derivadas primeiras das funções

acima definidas, sendo “n” um número inteiro (...,-3,-2,-1,0,1,2,3,...). Tem-se também “ k_0 ”, “ k_1 ”, “ ρ ” e “ ϕ ”, indicativos das constantes de propagação no vácuo e no meio dielétrico e da distância e posicionamento angular do ponto de observação “O” em relação ao eixo do cilindro, nesta ordem.

Ao se desenvolver o ferramental necessário para o processo de treinamento da rede neural aqui empregada escolheu-se uma estrutura baseada no algoritmo de retropropagação. É importante registrar a versatilidade deste paradigma, inclusive no que se refere à utilização em problemas envolvendo aproximação de funções [6], [7]. Outras topologias poderiam vir a ser implementadas, eventualmente determinando treinamentos mais rápidos e melhor desempenho. Preferiu-se no entanto manter uma montagem com retropropagação por ser uma das mais empregadas e confiáveis, deixando para futuros estudos o desenvolvimento de alternativas e as comparações entre opções disponíveis.

O procedimento computacional desenvolvido permite o tratamento de problemas inversos caracterizados por conjuntos de informações de entrada apresentadas simultaneamente a uma rede neural, de tal modo que, quando da fase de treinamento:

- a) o conjunto considerado em uma dada apresentação pode ser decomposto em dois sub-conjuntos contendo elementos previamente distribuídos, formando pares com correspondência biunívoca, sendo estabelecidas relações entre os dois sub-conjuntos gerados;
- b) outros conjuntos, qualitativamente semelhantes ao primeiro, podem ser aplicados à entrada da rede, estabelecendo-se assim novas informações que são fornecidas à mesma;
- c) finda a apresentação de todos os conjuntos que caracterizam o problema tratado, uma “época”, em se tratando do processo de treinamento da rede, é completada;
- d) a reapresentação, na rede, dos mesmos conjuntos determina uma nova “época” e assim sucessivamente, até o término do processo de treinamento da rede.

No que concerne às saídas fornecidas pela rede, tem-se que a cada par de sub-conjuntos de informações impostos na entrada desta associa-se um conjunto de saída formado por dois elementos, estabelecendo-se uma correspondência igualmente biunívoca entre as informações inseridas e aquelas extraídas da rede neural.

3) Procedimento desenvolvido

Foi elaborado um procedimento computacional através do qual dois sub-conjuntos de dados de entrada, compostos por sete informações cada ($e_{m,n}$, $m = 1,2$; $n = 1,2,...,7$) podem ser injetados em uma rede neural com retropropagação. Quanto à rede neural em si, empregada em todos os problemas estudados, optou-se em arbitrar a quantidade de informações inseridas (sete pares), a quantidade de saídas (duas) e a utilização de uma única camada escondida. Estas premissas foram adotadas com a finalidade de reduzir a complexidade do processo computacional. A cada bloco de quatorze dados entrantes (compostos por dois grupos contendo sete informações cada) corresponde um par de saídas (s_t , $t = 1,2$), conforme a representação mostrada na figura 2.

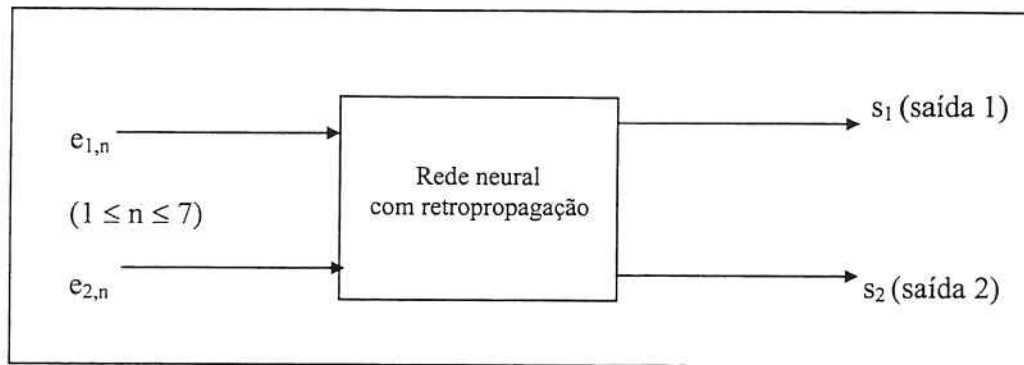


Figura 2: entradas e saídas das redes neurais implementadas.

Quanto às simulações efetuadas, as ações pertinentes podem ser classificadas segundo os itens abaixo:

- 1) criação de uma família de situações destinadas a treinar uma rede neural;
- 2) treinamento da rede;
- 3) introdução de informações propositalmente incorretas com o objetivo de verificar a tolerância a falhas;
- 4) análise dos resultados obtidos.

Para cada situação estudada foram desenvolvidas rotinas computacionais pertinentes.

Nos tratamentos desenvolvidos considerou-se a incidência de uma frente de onda (TM^z) no obstáculo considerado, conforme sugerido na figura 1. Efetuou-se a simulação de medidas do campo elétrico espalhado em pontos distantes do cilindro em questão ($\rho=100m$). Desta feita, porém, o campo incidente permaneceu inalterado (com a onda eletromagnética propagando-se ao longo do eixo “x”, para todas as avaliações), estimando-se o módulo e a fase do campo elétrico espalhado em sete posições em torno do eixo do objeto tratado, caracterizadas pelas seguintes angulações: $\phi = 0,0^\circ; 21,6^\circ; 43,2^\circ; 64,8^\circ; 86,4^\circ; 108,0^\circ$ e $129,6^\circ$.

Tais condições de medida foram estabelecidas com o objetivo de recompor as características geométricas do objeto interferente (raio do cilindro condutor (a), e espessura do revestimento dielétrico, (b-a)). Ao longo do ensaio adotou-se a frequência de 300 MHz e um revestimento dielétrico descrito pela permissividade relativa $\epsilon_r = 4.0$ e permeabilidade relativa unitária. Para o treinamento da rede neural, quarenta e nove montagens distintas foram empregadas, através da combinação de valores para os raios dos cilindros condutores (a) e o raio efetivo (b) do cilindro (isto é, considerando o revestimento).

No procedimento computacional utilizado foram estabelecidos quarenta e nove grupos em se tratando de variantes dimensionais que caracterizam o cilindro revestido. O treinamento da rede neural destinada a operar esta configuração foi então efetuado.

Os parâmetros dimensionais anteriormente considerados são aplicados às equações que descrevem a modelagem da incidência de ondas TM^z paralelamente ao

eixo de um cilindro condutor revestido com material dielétrico e ao longo do eixo “x”, fornecendo as informações que caracterizam o campo elétrico para cada posição considerada. Com base neste procedimento tem-se um conjunto de simulações de medidas para uma família de configurações dimensionais.

Com os sete pares de medidas de campo elétrico formando um vetor, as quais são aplicadas paralelamente aos acessos de entrada da rede, tem-se que a apresentação das informações correspondentes a cada geometria desenvolve-se sequencialmente, em ciclos (um ciclo corresponde a 49 casos). São gerados 49 vetores de saída, associados biunivocamente à resposta de cada caso tratado.

Finda uma época, os pesos das conexões neuronais que caracterizam a rede são atualizados.

Uma importante consideração quanto ao procedimento computacional desenvolvido para o estudo desta configuração consiste na utilização de rotinas para a obtenção de funções de Bessel de primeira e segunda espécie de ordem “n” ($n = \dots, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$), envolvendo argumentos reais. Tais rotinas, baseadas nas recomendações citadas em [8], foram incorporadas ao procedimento após terem sido previamente testadas, mostrando-se, efetivamente, funcionais e confiáveis.

4) Resultados obtidos

No que se refere ao problema do espalhamento devido à incidência de uma frente de onda em um cilindro condutor revestido por um dielétrico perfeito, cuja espessura deve ser determinada juntamente com a bitola do cilindro condutor, utilizou-se uma rede neural apropriada.

Na tabela 1 encontram-se registrados alguns casos, dentre vários experimentados, com os valores empregados para os raios efetivos e os da parte condutora do cilindro.

ensaio:	raio efetivo do cilindro (m):	raio da parte condutora do cilindro (m):	quantidade de casos:
1	0,230 a 0,410 (passo 0,03)	0,100 a 0,220 (passo 0,02)	49
2	0,230 a 0,412 (passo 0,013)	0,100 a 0,220 (passo 0,00857)	225
3	0,230 a 0,410 (passo 0,009)	0,100 a 0,200 (passo 0,005)	441

Tabela 1: sumário referente aos casos ensaiados, catalogados de acordo com as situações de teste consideradas.

A análise do desempenho da rede pode ser efetuada através dos gráficos que se seguem. O primeiro (figura 3) representa a variação dos valores fornecidos pela rede comparativamente às magnitudes esperadas, para cada um dos quarenta e nove casos pertencentes à família de treinamento, para ambas as saídas (“1” e “2”). É importante citar que tais saídas não correspondem diretamente aos valores normalizados dos raios desejados, mas sim de combinações lineares destes, com o objetivo de minimizar influências entre as saídas, conforme tratado em [9].

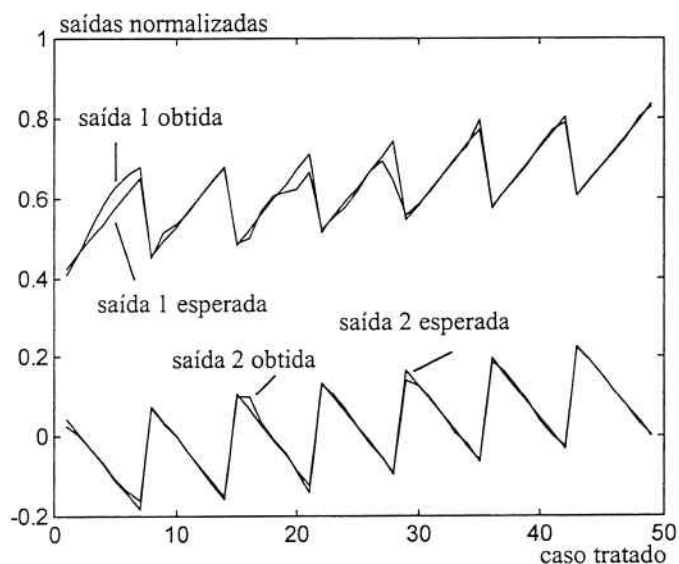


Figura 3: reconhecimento dos próprios padrões utilizados no treinamento (ensaio 1).

Constata-se o bom comportamento da rede no que concerne ao acompanhamento das saídas obtidas relativamente às desejadas. Os desvios perceptíveis, associados à saída “1” poderiam, em princípio, ser eliminados através de treinamentos mais intensos.

As propriedades interpolativas da rede foram experimentadas no segundo ensaio. As características de generalização foram testadas por meio da inserção de informações referentes ao campo elétrico espalhado (módulo e fase) convenientemente normalizados, partindo-se das seguintes premissas: a) os valores normalizados introduzidos seriam obtidos a partir de uma família de casos que incluem situações distintas daquelas empregadas ao longo da fase de treinamento e b) as informações estariam praticamente compreendidas entre as magnitudes máximas e mínimas no que se refere àquelas utilizadas durante o processo de treinamento.

A combinação dos parâmetros resultou um total de 225 casos, grande parte destes não tratados durante o treinamento da rede. Para cada caso os módulos e as fases dos campos elétricos espalhados foram avaliados em pontos bem caracterizados e já definidos. O gráfico mostrado na figura 4 apresenta os valores obtidos comparativamente aos esperados para as saídas “1” e “2”.

A interpolação de valores tratados pela rede neural (excetuando-se um leve deslocamento à direita para o raio efetivo do cilindro), característica deste ensaio, demonstra a viabilidade de sua utilização, apesar das oscilações constatadas no comportamento dos sinais obtidos, notadamente aquele referente à saída “1”.

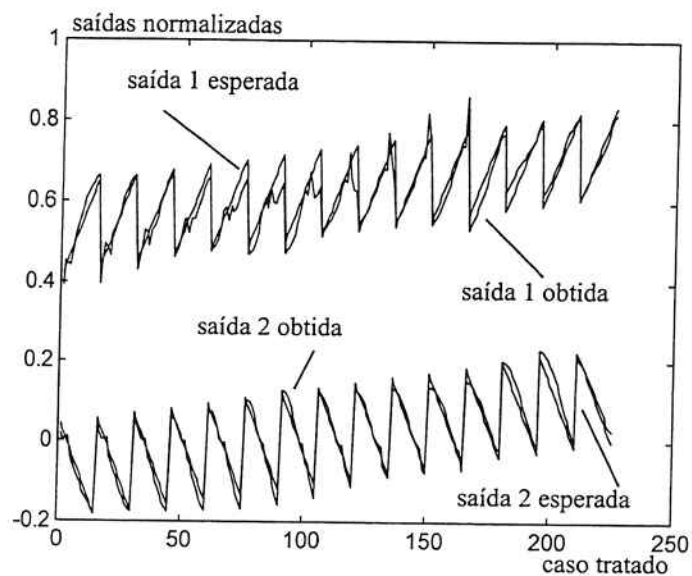


Figura 4: reconhecimento, pela rede neural, de valores associados ao ensaio 2.

O ensaio 3 consiste na introdução, na rede, de valores internos à faixa de treinamento, porém, em grande quantidade (441 casos). As características referentes ao reconhecimento dos casos inseridos encontram-se registradas na figura 5.

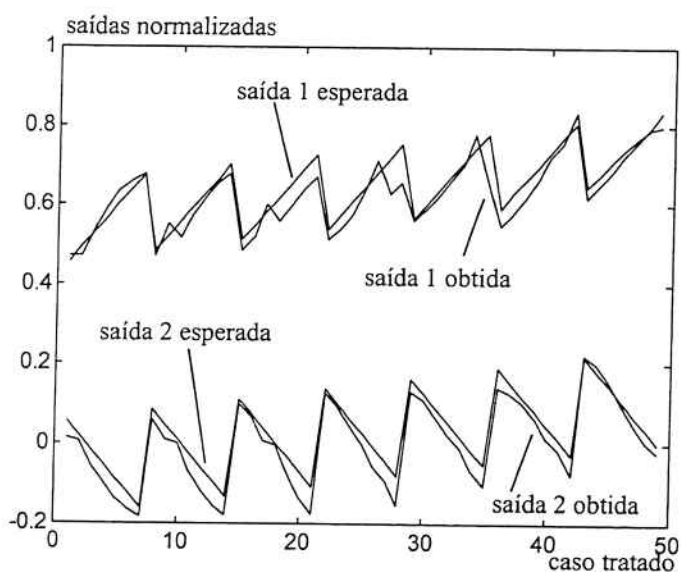


Figura 5: reconhecimento, pela rede neural, de valores associados ao ensaio 3.

Tomando-se por base o segundo ensaio, tem-se nestes resultados um comportamento interpolativo bastante semelhante, mesmo considerando-se a eliminação do pequeno deslocamento à direita associado ao raio efetivo do cilindro.

5) Conclusões

Foi proposta neste artigo a análise da reconstituição de características dimensionais de obstáculos interferentes a partir do conhecimento do campo eletromagnético espalhado. Foi verificada a viabilidade da proposta de resolução do problema inverso estabelecido através da utilização de redes neurais artificiais. O processo poderia ser estendido à reconstituição de características elétricas ou magnéticas dos materiais.

Muito embora a obtenção de uma rede neural adequada para a solução de um dado problema de natureza inversa envolva procedimentos que demandam tempos computacionais elevados, é importante observar que, uma vez alcançada a meta, isto é, tendo sido definida a rede em si, o procedimento de inserção de informações e coleta de respostas é imediato, o que recomenda sua operação em situações que consideram o tempo como um aspecto relevante. Por outro lado, as técnicas usuais para o tratamento de problemas inversos consideram procedimentos iterativos para cada novo caso apresentado. Por menor que seja o tempo necessário para as iterações em questão, não são atendidos os requisitos de resposta instantânea.

Uma consideração importante concernente ao procedimento desenvolvido consiste no fato deste ser indicado para a resolução de problemas específicos. Por outro lado, dado um problema em especial, o processo seria aplicável na faixa de valores efetivamente empregada para o treinamento da rede neural. Levando-se em conta também a resposta praticamente imediata por parte da rede neural a estímulos injetados, o comportamento de objetos cujas características se modificam com o tempo pode ser monitorado, ressaltando-se sempre a existência de limitações inerentes à faixa de operação utilizada no treinamento da rede empregada.

6) Referências bibliográficas

- [1] KODIS, R.D. The scattering cross section of a composite cylinder, geometric optics. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, v.AP-11, n.1, p.86-93, jan.1963.
- [2] KODIS, R.D.; WU, T.T. The optical model of scattering by a composite cylinder. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, v.AP-11, n.6, p.703-5, nov.1963.
- [3] SUREAU, J.C. Reduction of scattering cross section of dielectric cylinder by metallic core loading. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, v.AP-15, n.5, p.657-62, sep.1967.
- [4] HAYKIN, S. Neural networks: a comprehensive foundation. New Jersey, Prentice-Hall, 1999.
- [5] BALANIS, C.A. Advanced engineering electromagnetics. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1989.
- [6] MEHROTRA, K. et al. Elements of artificial neural networks. Cambridge, MIT Press, 1997.
- [7] HASSOUN, M.H. Fundamentals of artificial neural networks. Cambridge, MIT Press, 1995.
- [8] PRESS, W.H. et al. Numerical recipes in C. Cambridge, University Press, 1992.
- [9] MEGRICH, A. Espalhamento de campos eletromagnéticos: caracterização de materiais interferentes. São Paulo, 2000. 215p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PTC/9901 – Avaliação de Ergoespirômetros Segundo a Norma NBR IEC 601-1- MARIA RUTH C. R. LEITE, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE B. MORAES
- BT/PTC/9902 – Sistemas de Criptofonia de Voz com Mapas Caóticos e Redes Neurais Artificiais – MIGUEL ANTONIO FERNANDES SOLER, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/9903 – Regulação Sincronizada de Distúrbios Senodais – VAIDYA INÉS CARRILLO SEGURA, PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PTC/9904 – Desenvolvimento e Implementação de Algoritmo Computacional para Garantir um Determinado Nível de Letalidade Acumulada para Microorganismos Presentes em Alimentos Industrializados – RUBENS GEDRAITE, CLÁUDIO GARCIA
- BT/PTC/9905 - Modelo Operacional de Gestão de Qualidade em Laboratórios de Ensaio e Calibração de Equipamentos Eletromédicos – MANUEL ANTONIO TAPIA LÓPEZ, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PTC/9906 – Extração de Componentes Principais de Sinais Cerebrais Usando Karhunen – Loève Neural Network – EDUARDO AKIRA KINTO, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PTC/9907 – Observador Pseudo-Derivativo de Kalman Numa Coluna de Destilação Binária – JOSÉ HERNANDEZ LÓPEZ, JOSÉ JAIME DA CRUZ, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/9908 – Reconhecimento Automático do Locutor com Coeficientes Mel-Cepstrais e Redes Neurais Artificiais – ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PTC/9909 – Análise de Estabilidade e Síntese de Sistemas Híbridos – DIEGO COLÓN, FELIPE MIGUEL PAIT
- BT/PTC/0001 – Alguns Aspectos de Visão Multiescalas e Multiresolução – JOÃO E. KOGLER JR., MARCIO RILLO
- BT/PTC/0002 – Placa de Sinalização E1: Sinalização de Linha R2 Digital Sinalização entre Registradores MFC- PHILLIP MARK SEYMOUR BURT, FERNANDA CARDOSO DA SILVA
- BT/PTC/0003 – Estudo da Técnica de Comunicação FO-CDMA em Redes de Fibra Óptica de Alta Velocidade – TULIPA PERSO, JOSÉ ROBERTO DE A. AMAZONAS
- BT/PTC/0004 – Avaliação de Modelos Matemáticos para Motoneurônios – DANIEL GUSTAVO GOROSO, ANDRÉ FÁBIO KOHN
- BT/PTC/0005 – Extração e Avaliação de Atributos do Eletrocardiograma para Classificação de Batimentos Cardíacos – ELDER VIEIRA COSTA, JOSÉ CARLOS T. DE BARROS MORAES
- BT/PTC/0006 – Uma Técnica de Imposição de Zeros para Auxílio em Projeto de Sistemas de Controle – PAULO SÉRGIO PIERRI, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PTC/0007 – A Connected Multireticulated Diagram Viewer – PAULO EDUARDO PILON, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PTC/0008 – Some Geometric Properties of the Dynamic Extension Algorithm – PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PTC/0009 – Comparison of Alternatives for Capacity Increase in Multiple-Rate Dual-Class DS/CDMA Systems – CYRO SACARANO HESI, PAUL ETIENNE JESZESKY
- BT/PTC/0010 – Reconhecimento Automático de Ações Faciais usando FACS e Redes Neurais Artificiais – ALEXANDRE TORNICE, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PTC/0011 – Estudo de Caso: Tornando um Projeto Testável Utilizando Ferramentas Synopsys – REINALDO SILVEIRA, JOSÉ ROBERTO A. AMAZONAS
- BT/PTC/0012 – Modelos Probabilísticos para Rastreamento em Carteiras de Investimento – HUGO G. V. DE ASSUNÇÃO, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PTC/0013 – Influência de um Controle Imperfeito de Potência e Monitoramento da Atividade Vocal na Capacidade de Sistemas DS/CDMA – MÁRCIO WAGNER DUARTE ROLIM, PAUL JEAN ETIENNE JESZESKY
- BT/PTC/0014 – Canceladores de Interferência Sucessivo e Paralelo para DS/CDMA – TAUFIK ABRÃO, PAUL JEAN E. JESZESKY
- BT/PTC/0015 – Transmissão de Serviços de Multimídia num Sistema Móvel Celular CDMA de Banda Larga – EDUARDO MEIRELLES MASSAUD, PAUL JEAN ETIENNE JESZESKY
- BT/PTC/0016 – Disseminação do HIV em uma População Homossexual Heterogênea – MARCOS CASADO CASTÑO, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PTC/0017 – Implementação e Avaliação em Laboratório de um Monitor Cardíaco Portátil para Três Derivações – RAISA FERNÁNDEZ NUNEZ, JOSE CARLOS TEIXEIRA DE BAROS MORAES
- BT/PTC/0018 – Projeto de Filtros Recursivos de N-ésima Banda – IRINEU ANTUNES JÚNIOR, MAX GERKEN
- BT/PTC/0019 – Relative Flatness and Flatness of Implicit Systems – PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA, CARLOS CORRÊA FILHO
- BT/PTC/0020 – Estimativa de Fluxo Sangüíneo nas Artérias Coronárias Usando Imagens de Cineangiocardiografia – ANA CRISTINA DOS SANTOS, SÉRGIO SHIGUEMI FURUIE
- BT/PTC/0021 – Modelos Populacionais para AIDS e Análise do Equilíbrio sem Epidemia – ELIZABETH FERREIRA SANTOS, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA

- BT/PTC/0101 – Model-Based Soft-Sensor Design for On-Line Estimation of the Biological Activity in Activated Sludge Wastewater Treatment Plants – OSCAR A. Z. SOTOMAYOR, SONG WON PARK, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/0102 – Reconhecimento Automático do Locutor Utilizando a Rede Neural Artificial *Field Distributed Memory* – FDM – MARCELO BLANCO, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PTC/0103 – Algoritmos de Filtragem e Previsão em Modelos de Volatilidade – FERNANDO LOVISOTTO, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PTC/0104 – Método de Diferenças Temporais Aplicado às Equações de Riccati Acopladas entre Si – OSWALDO L. V. COSTA, JULIO C. C. AYA
- BT/PTC/0105 – Método de Diferenças Finitas e de Monte Carlo em Derivativos – ANDRÉ CURY MAIALI, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
-

