

Resolução do Problema Inverso por Redes Neurais Artificiais para Localização de Fonte de Campo Magnético

Resolution of the Inverse Problem by Artificial Neural Networks for Magnetic Field Source Localization

J P Medina, D R Louzada, E C Monteiro, C R H Barbosa, R Dutra

¹Programa de Pós-graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro PUC-Rio.

E-mail: jherson.medina@aluno.puc-rio.br

Resumo: Considerando a importância do emprego de sistemas de medição que promovam diagnósticos de forma inócua e não invasiva, o LaBioMet da PUC-Rio vem realizando pesquisas para o desenvolvimento de transdutores magnéticos capazes de realizar medições biomédicas inócuas e não invasivas. Dentre essas, destaca-se a medição do campo magnético emitido por corpos estranhos metálicos, que tem o objetivo de fornecer informação sobre sua localização e orientar o procedimento para sua remoção cirúrgica. No presente trabalho é desenvolvido um algoritmo baseado em Redes Neurais Artificiais para solução do problema inverso biomagnético e determinação da localização de fontes de campo magnético simuladas.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais (RNA), Resolução de Problema Inverso, Medições biomédicas, Transdutor de Campo Magnético.

Abstract: Considering the importance of the use of measurement systems that promote innocuous and noninvasive diagnosis, LaBioMet of PUC-Rio has been carrying out researches for the development of magnetic transducers capable of performing innocuous and noninvasive biomedical measurements. Among these, the measurement of the magnetic field emitted by metallic foreign bodies, which has the objective of providing information about their location and guiding the procedure for surgical removal. In the present work, an algorithm based on Artificial Neural Networks is developed for the solution of the inverse biomagnetic problem and determination of the positioning of simulated magnetic field sources.

Keywords: Artificial Neural Networks, Inverse Problem Solution, Biomedical Measurements, Magnetic Field Transducer.

1. INTRODUÇÃO

Com relação ao desenvolvimento de sensores e transdutores magnéticos com aplicação biomédica, determinar o comportamento de padrões de densidade de fluxo magnético (B) possibilita a realização de análises diagnósticas inócuas e não-invasivas em pacientes [1]. Dada a observação de um padrão de densidade de fluxo magnético medido na superfície do corpo, informações clinicamente relevantes podem ser obtidas por meio da resolução do problema inverso.

Pesquisas do Laboratório de Biometrologia da PUC-Rio (LaBioMet) têm procurado desenvolver sensores e transdutores magnéticos, dentre as quais o desenvolvimento de técnica de medição não-invasiva e instrumentação de baixo custo para localização de corpos estranhos inseridos no organismo humano [1-7]. Com os resultados da medição da densidade de fluxo magnético, podem-se obter informações precisas sobre a localização de corpos estranhos magnéticos, possibilitando a redução do tempo cirúrgico para cerca de 10 minutos e o aumento significativo do índice de sucesso do procedimento para a remoção do corpo estranho [2].

A necessidade de remoção cirúrgica de corpos estranhos é muito comum na prática médica. No entanto, hoje em dia, estão amplamente disponíveis apenas os meios convencionalmente aplicados para determinar a localização de objetos, que abrangem procedimentos de radiografia, tomografia computadorizada e radioscopia, os quais apresentam desvantagens importantes como a exposição à radiação ionizante tanto do paciente quanto da equipe médica [2]. Além disso, essas imagens não fornecem informação precisa sobre a localização do corpo estranho, levando a procedimentos cirúrgicos longos com grande índice de insucesso [2].

O presente trabalho apresenta uma metodologia de interpretação do padrão da densidade de fluxo magnético gerado por fontes de campo biomagnético, como as geradas por corpos estranhos inseridos no organismo, desenvolvida utilizando Redes Neurais Artificiais (RNAs), objetivando a resolução do problema inverso para mapeamento magnético triaxial, e assim, a determinação inócua e não-invasiva da localização do corpo estranho para futura aplicação no ambiente clínico.

2. METODOLOGIA

Para gerar os dados necessários ao aprendizado das redes neurais artificiais, foi desenvolvida uma simulação computacional em Matlab baseada na Lei de Biot-Savart para obter padrões de densidade de fluxo magnético em uma superfície, gerados por fontes lineares de dipolos magnéticos.

As fontes de campo foram posicionadas em 15 diferentes pontos distribuídos em um determinado volume, conforme ilustrado na figura 2.

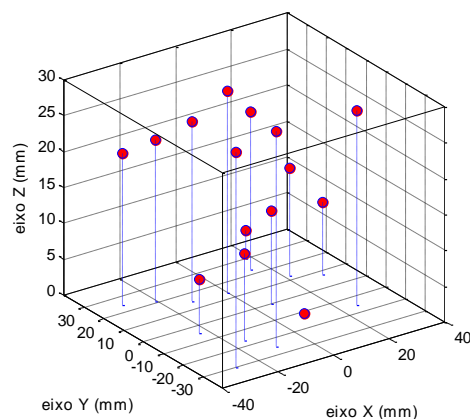


Figura 2. Posição das fontes de campo magnético simuladas para o treinamento da RNA.

Para a base de dados a ser utilizada no treinamento da rede neural, foram calculadas as componentes x , y , z da densidade de fluxo magnético em cada um dos 16 pontos de medição

distribuídos no plano XY da superfície superior do volume apresentado na figura 2, de forma a constituir uma matriz 4x4 de sensores.

Para cada uma das 15 posições simuladas de uma fonte magnética linear de 1 a 4 cm de comprimento, foram feitas quatro simulações computacionais, totalizando 240 casos distintos. Para três dessas quatro simulações repetidas, foi acrescentado um ruído de amplitude uniforme com magnitude de 3 % do valor máximo da densidade de fluxo magnético gerada.

Uma vez construída a base de dados, foram extraídos os atributos mais representativos objetivando reduzir o número de entradas para a RNA e, assim, a sua complexidade. Três atributos (posição no eixo XY de maior intensidade absoluta de B e os valores de máxima e mínima intensidade) foram extraídos para cada uma das três componentes de B associada às posições na grade 4x4 (figura 3).

Para o treinamento da RNA, a base de dados foi dividida em duas partes, um conjunto para treinamento, com aproximadamente 80 % dos dados, e outro para teste, com os demais 20 %.

3. RESULTADOS

A figura 3 apresenta os resultados obtidos da simulação em Matlab pela matriz 4x4 de sensores das componentes x, y, z da densidade de fluxo magnético geradas por um dipolo magnético com comprimento de 3 cm, posicionado no interior do volume ilustrado na figura 2.

Com os resultados simulados foi realizado o treinamento da rede neural no Matlab, variando-se o número de neurônios na camada escondida. Os melhores resultados foram observados para uma rede com oito neurônios na camada escondida.

A figura 4 apresenta alguns resultados preliminares da solução do problema inverso, obtidos a partir do grupo de teste da base de

dados. Nessa figura, as posições do centro da fonte de campo magnético simulada (em azul) são projetadas na superfície do volume representado pelo plano XY, conjuntamente com os resultados fornecidos pela RNA para essas mesmas posições (em vermelho).

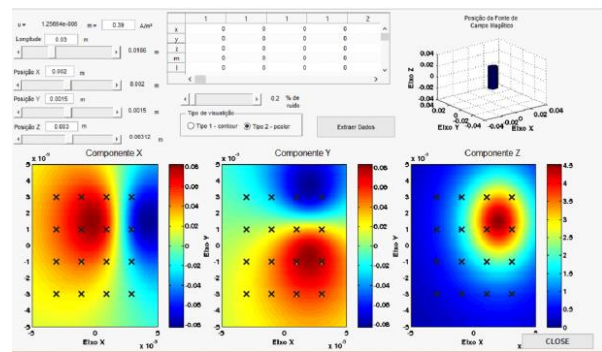


Figura 3. Componentes X, Y e Z da densidade de fluxo magnético gerada por um dipolo magnético simulado de 3 cm de comprimento.

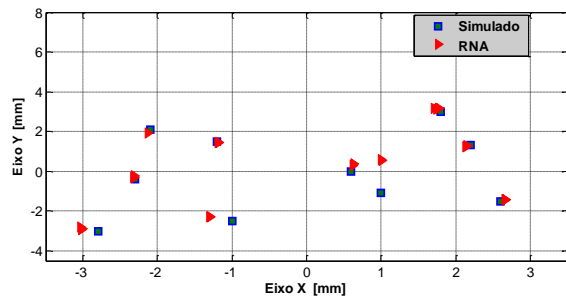


Figura 4. Projeção do ponto central de algumas das fontes de campo magnético simulado e os resultados fornecidos pela RNA.

As coordenadas nos eixos X e Y das projeções do centro do corpo estranho obtidas pela RNA apresentam-se muito próximas da posição de referência simulada (figura 4).

A tabela 1 apresenta os erros médio absolutos (EMA) e a raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE - *root mean square error*) associados ao problema inverso referente às três coordenadas de localização da fonte simulada no espaço, para os 40 casos do grupo de teste da base de dados.

Tabela 1 - Erros entre o posicionamento no eixo XY previsto pela RNA e o simulado.

	EMA [mm]	RMSE [mm]
Coordenada X	0,4	0,2
Coordenada Y	-0,9	0,3
Coordenada Z	-0,2	0,2

Os níveis de erro observados apresentaram valores inferiores a 1 mm, sendo considerados aceitáveis para garantir o sucesso da solução do problema inverso e, conseqüentemente, a adequada orientação do procedimento cirúrgico no ambiente clínico.

4. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi desenvolvida uma simulação de fontes lineares de dipolo magnético, representando corpos estranhos metálicos, posicionadas em diferentes localizações espaciais para treinamento de uma RNA para solução do problema inverso e localização dessas fontes a partir dos mapas triaxiais da densidade de fluxo magnético gerada.

Os resultados preliminares utilizando o algoritmo desenvolvido indicaram sua capacidade para localizar fontes magnéticas posicionadas a diferentes profundidades de até 3 cm, com erros inferiores a 1 mm.

Para aprimorar a capacidade de localização do sistema, em trabalhos futuros devem-se considerar outros atributos para caracterizar a inclinação do corpo estranho em relação ao plano da superfície que representa a pele do paciente. Adicionalmente, o programa já permite expandir o estudo para outras dimensões e formas do corpo estranho, posicionados em profundidades ainda maiores dos que as estudadas.

A técnica será aplicada para solução do problema inverso utilizando mapas de campo magnético obtidos experimentalmente com transdutor magnético em desenvolvimento,

objetivando, assim, contribuir para a localização não invasiva e inócua de corpos estranhos em pacientes, por meio de medições biomagnéticas.

REFERÊNCIAS

- [1] Monteiro E C and Leon L F 2015 Metrological Reliability of Medical Devices *J. Phys.: Conf. Ser.* 588 (2015) 012032
- [2] Monteiro E C, Barbosa C H, Lima E A, Ribeiro P C and Boechat P 2000 Locating steel needles in the human body using a SQUID magnetometer *Phys Med Biol* 45 8 2389–402
- [3] Barbosa C H, Monteiro E C, Lima E A, Santos S F, Cavalcanti E G and Ribeiro P C 2001 Improvement of a Technique for Localization of Steel Needles in Humans Using a SQUID Magnetometer *IEEE Trans. Appl. Supercond.* 11 1 677–80
- [4] Pompéia F, Gusmão L A P, Barbosa C R H, Monteiro E C, Gonçalves L and Machado F L A 2008 Ring shaped magnetic field transducer based on the GMI effect *Meas Sci.Tech.* 19 2 025801
- [5] Silva E C, Gusmão L A P, Barbosa, C H, Monteiro E C and Machado F L A 2011 High sensitivity giant magnetoimpedance (GMI) magnetic transducer: magnitude versus phase sensing *Measurement Sci. and Tech.* 22 3 035204
- [6] Fortaleza L G S, Barbosa C R H, Monteiro E C, Silva E C and Gusmão L A P 2015 Detecting non-magnetic metallic foreign bodies by GMR sensors through the use of eddy currents. In 8th *Braz. Congr. on Metrology*, 1–4
- [7] Louzada D, Monteiro E C, Rivero A M, Fortaleza L G S, Barbosa C R H, Velázquez R T, Silva E C and Gusmão L A P 2016 QbD approach in the development of a magnetic transducer for biomedical measurements: preliminary results on Design Space configuration *J. Phys.: Conf. Ser.* 772, 012016