

# Metode Termografice pentru Determinarea Formei Tumorilor de San

Oana Drosu<sup>1)</sup>, Bogdan Cupceancu<sup>2)</sup>, Florea I. Hantila<sup>1)</sup>, *Member, IEEE*,  
Mihai Vasiliu<sup>1)</sup>, *Member, IEEE*, Cleante Mihai<sup>1)</sup>

**Rezumat** — Practica medicala actuala se limiteaza la explorarea campului de temperaturi la suprafata sanului, imaginile obtinute in infrarosu fiind interpretate de medici specialisti cu experienta in domeniu, reusind diagnosticarea precoce a unor anomalii in activitatea celulara, care de multe ori pot fi inceputul unor tumori maligne. Din pacate nu exista inca o procedura de a determina locul si dimensiunile tumorii (o tehnica de „radiografie” termografica)..

## I. INTRODUCERE

Diagnosticarea a cancerului de san se face in principal prin ecografie, tomografie sau mamografie ultima fiind o procedura invaziva. Termografia, total neinvasiva, are si avantajul de a constata, inaintea celorlalte proceduri, o activitate celulara anormala. Din pacate, tehnicile termografice solicita de multe ori experienta si abilitatea medicului specialist. Dezavantajul tehnicilor termografice actuale este limitarea doar la a constata existenta unei tumori, fara a permite localizarea acesteia.

In [1], este luata in considerare posibilitatea extinderii modelarii numerice in detectia cancerului de san, utilizand analiza termografiei medicale, ca factor de depistare a modificarilor fiziologice, completate ulterior de analiza modificarilor anatomice sesizate mamografic, in vederea reducerii cazurilor fals pozitive/negative de cancer. Autorii dezvoltat un model de transfer termic la nivelul sanului pe baza caruia fac simulari numerice, comparand rezultatele cu cele experimentale si discutand posibilitatile de aplicare ale metodei in detectarea timpurie a afectiunilor. Segmentarea imaginilor in infrarosu, analiza asimetrilor si generarea de statistici ce pot servi ca date de intrare pentru retele neurale artificiale (RNA) [2]. Este proiectata o retea simpla pentru preziceri clinice bazate pe diferentele statistice dintre temperatura principala si deviatiile standard. Rezultatele sunt comparate cu diagnoza clinica actuala. Ohashi și Uchida [4] investigheaza dificultatea interpretarii termografice, datorata complexitatii cailor vasculare, precum si a existentei asa-numitelor “tumori reci”, care dau indicatii false. Pentru depasirea acestor dificultati, se propune investigarea termografica dinamica dupa expunerea la socuri termice de temperaturi scazute. La expunerea la temperaturi scazute, harta cailor vasculare dispare, ea aparand treptat. Aceeasi autori [5] mai fac referiri si la studii clinice pe 26 pacienti cu tumori de san nepalpabile, examinati prin termografie.

Din acestia, 15 pacienti (55%) au fost corect diagnosticati cu ajutorul termografiei in regim static, 4 pacienti (14%) au fost corect diagnosticati cu ajutorul termografiei dinamice iar la 3 (11%) diagnosticul corect a fost pus pe baza microtermografiei.

In Romania, exista Societatea Nationala de Termografie a carei presedinte, doctor Bogdan Cupceancu, are 3 brevete si importante lucrari, in domeniul termografiei senologice [6,7]. Din pacate, in Romania nu exista nici un rezultat privind metodele termografice pentru analiza formei tumorilor de san.

In lume, aceasta directie de cercetare a demarat in ultimii 2 ani, reunind colective interdisciplinare, formate din cercetatori medici si ingineri. Lucrarile publicate raporteaza posibilitatea determinarii campului de temperaturi la suprafata sanului prin rezolvarea ecuatiei temperaturii in structura 3-D a sanului.

Eddie Y-K Ng, S.C Fok si colaboratorii [8] au abordat tema detectiei computerizate 3D a cancerului de san prin inteligenta artificiala si termograme, prezentand rezultate obtinute prin utilizarea simultana a termografiei si a retelelor neurale artificiale (RNA) pentru diagnoza timpurie a cancerului de san.

Se raporteaza faptul ca termografia de san poate detecta tumorile cu pana la 10 ani mai devreme decat metodele conventionale, ca mamografia, in special la pacientele mai tinere. Cu toate acestea, termografia este dependenta de foarte multi factori, cum ar fi simetria temperaturii sanilor si stabilitatea termica, starea psihologica, precum si de microclimatul cabinetelor de investigare termografica. Se examineaza utilizarea RNA pentru a completa harta termica in infrarosu, ce radiaza de la suprafata corpului, cu alte date fiziologice. Sunt dezvoltate si rulate patru retele neurale pentru propagare inversa utilizand rezultatele ce privesc datele fiziologice si termografice ale pacientilor de la Singapore General Hospital. Datorita inacuratetii termografiilor si numarului scazut de populatie considerata de acest proiect, retelele dezvoltate au putut diagnostica cu acuratete numai 61,54% din cazurile de cancer de san. Fara indoiala insa, cadrul unei retele neurale de baza a fost stabilit si constituie un inceput promitator pentru dezvoltarea viitoare a unui sistem inteligent de diagnosticare a tumorilor mamare. Acest lucru poate fi util in mod deosebit adolescentelor si adultilor tineri, pentru care o mamografie la aceasta varsta nu este indicata. O retea neurala inteligenta pentru termografia sanului va fi capabila sa dea cu acuratete un diagnostic si poate crea un impact pozitiv asupra detectiei tumorilor de san.

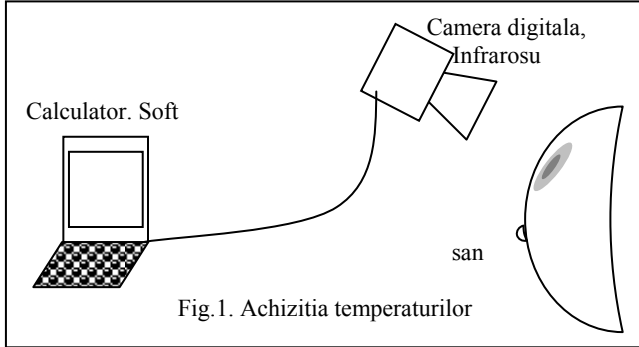
Cercetarile prezentate in lucrare au fost realizate in cadrul contractului CEEX/125/2006-INVTERM, finantat de MEC, prin INFOSOC .

<sup>1)</sup>Catedra de Electrotehnica, Universitatea Politehnica Bucuresti, Romania; e-mail: [hantila@elth.pub.ro](mailto:hantila@elth.pub.ro).

<sup>2)</sup>MEDIS, Campina, Romania.

## II. ACHIZITIA TEMPERATURILOR LA SUPRAFATA SANILOR

Crearea fișierelor de date privind câmpul de temperaturi de la suprafața sanului este o problemă studiată și fundamentată la nivel teoretic și tehnic, care respecta, în principiu, schema din Fig.1.



Din păcate achiziția datelor necesare definirii geometriei sanului este o problemă cotisitoare și nu formează obiectul acestui studiu. Din acest motiv, pentru început, vor fi adoptate soluții, în care se aproximează geometria sanului cu un elipsoid, pentru care dimensiunile axelor și poziționarea lor pot fi alese prin câteva măsurători, la nivelul sanului. Pot fi cercetate și proceduri numerice complexe de modelare a acestei geometrii.

## III. SOLUTIONAREA PROBLEMEI DIRECTE DE CAMP TERMIC

### A. Metoda Elementului Finit

Ecuatia Fourier pentru regimul staționar al câmpului termic este:

$$-\nabla(\lambda\nabla T) = p \quad (1)$$

unde  $\lambda$  este conductibilitatea termică iar  $p$  densitatea de volum a puterii ce rezultă din metabolismul țesutului.

Condiția de frontieră este :

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha(T - T_e) \quad (2)$$

unde  $\alpha$  este coeficientul de convecție termică iar  $T_e$  este temperatura în exteriorul domeniului. Pentru rezolvarea numerică a ecuației (1) se poate alege tehnica Galerkin, cu elemente nodale de ordinul 1. Se definește în domeniul de calcul o rețea de tetraedre și fiecărui nod  $i$  se asociază funcția:

$$\varphi_k = 1 - \frac{S_{k,i}}{3V_i} \mathbf{r} \quad (3)$$

unde  $S_{k,i}$  este suprafața orientată a feței opuse nodului  $k$  în tetraedrul  $i$ , orientată spre exterior, iar  $V_i$  este volumul tetraedrului  $i$ . Se scrie temperatura sub forma:

$$T = \sum_{j=1}^n a_j \varphi_j \quad (4)$$

și se proiectează ecuația (1) pe funcțiile test  $\varphi_k$  :

$$\sum_{j=1}^n a_j \left( \int_{\partial\Omega} \alpha \varphi_k \varphi_j dA + \int_{\Omega} \lambda \text{grad} \varphi_k \text{grad} \varphi_j dv \right)$$

$$- \int_{\partial\Omega} \varphi_k T_e dA - \int_{\Omega} p \varphi_k dv = 0, \quad k=1,2,\dots,n \quad (5)$$

unde  $\Omega$  este domeniul de calcul iar  $\partial\Omega$  este frontiera sa. În Fig.2 este ilustrată rețeaua de tetraedre și câmpul de temperaturi de la suprafața sanului obținut în [1].

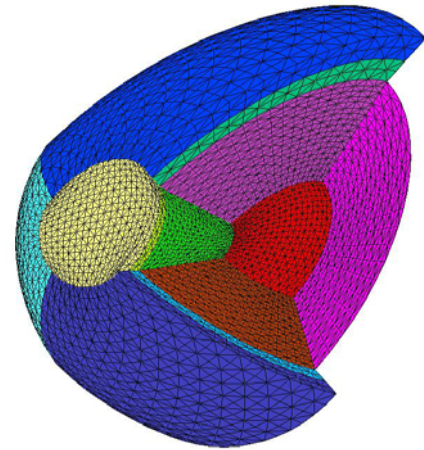
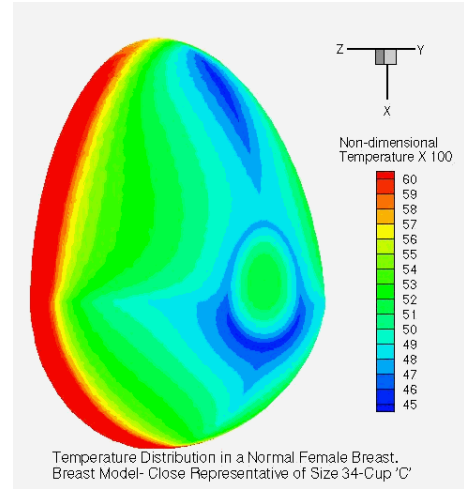


Fig.2. Rețeaua de tetraedre și câmpul de temperaturi la suprafața sanului

### B. Metoda elementelor de frontieră

Se împarte domeniul de calcul în  $m$  subdomenii  $\omega_k$ . Se poate arăta că, pe frontierele subdomeniilor, sunt valabile relațiile (Fig.3):

$$\frac{1}{\lambda_k} \int_{\omega_k} \frac{p(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} dv' + \oint_{\partial\omega_k} \frac{1}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} \frac{\partial T(\mathbf{r}')}{\partial n} dS' - \oint_{\partial\omega_k} T(\mathbf{r}') \frac{(\mathbf{r}-\mathbf{r}') \cdot \mathbf{n}'}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|^3} dS' = \alpha T(\mathbf{r}), \quad k=1,2,\dots,m \quad (6)$$

Unde  $\alpha$  este unghiul solid sub care se vede din punctul de observație  $\mathbf{r}'$ , o mică vecinătate a domeniului  $\omega_k$ . Pe o suprafață ce separă subdomeniile  $\omega_k$  și  $\omega_j$  sunt valabile relațiile de trecere:

$$T_k = T_j \text{ și } \lambda_k \frac{\partial T_k}{\partial n_k} = \lambda_j \frac{\partial T_j}{\partial n_j} \quad (7)$$

iar la frontiera  $\partial\Omega$  a intregului domeniu este verificata conditia (2). Spre deosebire de sistemul (5), sistemul (6), (7), (2) are un numar mai mic de necunoscute, dar are matricea plina.

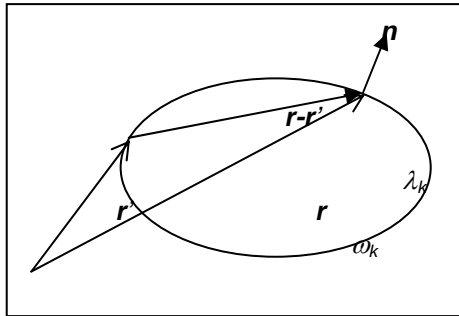


Fig.3. Subdomeniu

#### IV. REZOLVAREA PROBLEMEI INVERSE DE CAMP TERMIC

Tumoarea canceroasa conduce la schimbarea distributiei de volum a pierderilor din tesutul sanului. Diferenta distributiei de putere conduce la modificarea temperaturii la suprafata sanului. Ideea stabilirii formei defectului prin utilizarea câmpului termic consta in masurarea temperaturii la suprafata corpului, folosind, de exemplu, o camera de infrarosu si compararea masuratorile cu valorile calculate prin problema directa de camp termic. Este definita o functionala patratica a diferentii dintre valorile masurate si cele calculate pentru o presupusa tumoare si este minimizata printr-o procedura de gradient. Din pacate functionala nu este convexa si pot apare solutii parazite.

In calculele numerice se imparte zona in care se presupune localizata tumoarea in mici subdomenii. Putem presupune necunoscutele au valorile 0 sau 1, asociate subdomeniilor ocupate de tumoare. Mai putem presupune ca in tumoarea avem densitatea de volum a pierderilor  $p_T$ , spre deosebire de restul tesutului unde avem  $p$ . Daca avem  $m$  subdomenii, detectia tumorii presupune  $2^m$  cautari, ceea ce impune un urias efort de calcul. Daca modelarea pierderilor nu se face binar, ci in baza  $q$ , atunci avem  $q^m$  cautari. Este utila elaborarea unor algoritmi de accelerare a cautarii. O solutie poate fi utilizarea retelei neurale pentru solutionarea problemei inverse de camp termic. Ele au dezavantajul ca "solutia" se poate bloca intr-un minim local. Algoritmi genetici pot evita acest neajuns, dar necesita foarte multe calcule. In masura in care se poate admite superpozitia surselor (tumorilor), se poate utiliza o procedura originala semideterminista.

Fie  $T \in R^M$  vectorul temperaturilor din cel  $M$  puncte de masura si fie  $F \in Z_2^N$  vectorul surselor tumorale, unde  $Z_2 = \{0,1\}$ . Avem:

$$T=AF \quad (8)$$

unde coeficientul  $a_{ij}$  al matricei  $A$  este temperatura in punctul de frontiera  $i$ , produs de sursa tumorala din subdomeniul  $j$ . Acest coeficient se obtine prin metoda

directa de calcul al campului termic. Evident, relatia (8) este valabila doar daca admitem superpozitia. Pentru un vector dat al temperaturilor  $T$ , folosim o schema de pivotare Gauss pentru a determina o submatrice  $A'$  suficient de bine conditionata. Ea corespunde unei multimi de subdomenii tumorale  $F'$ . Pentru restul subdomeniilor  $F''$ , incercam valorile 0 sau 1, in fiecare caz având de calculat valorile  $F'$ . Astfel, relatia (8) poate fi partitionata:

$$\begin{pmatrix} T' \\ T_u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A' & A'' \\ A'_u & A''_u \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F' \\ F'' \end{pmatrix} \quad (9)$$

si avem

$$F' = A'^{-1}(T - A''F'') \quad (10)$$

Inversa  $A'^{-1}$  trebuie calculata o singura data. Daca avem  $N'$  necunoscute  $F''$ , atunci relatia (10) este utilizata de  $2^{N'}$  ori. Este determinata abaterea valorilor  $F'$  fata de numerele 0 sau 1:

$$abatere = \sum_k^{N'} |F'_{k,calculat} - (1 \text{ or } 0)| < \varepsilon N \quad (11)$$

#### V. BIBLIOGRAFIE

- [1] Y-K Ng Eddie and N.M. Sudharsan, "Computer, simulation in conjunction with medical thermography as an adjunct tool for early detection of breast cancer" *BMC Cancer* 2004, vol 4, pp 17;
- [2] J. Koay, C. Herry, and M. Frize, "Analysis of breast thermography with an artificial neural network", *Engineering in Medicine and Biology Society*, 2004. EMBC 2004. Conference Proceedings, Vol 1, 2004 pp 1159 – 1162;
- [3] D.N. Popov, E.V. Vavilova, "Using infrared thermography in the diagnostics of breast and lung oncological pathologies", *MTT 2001, Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists*, 2001, pp.148 - 151;
- [4] Y. Ohashi, and I. Uchida, "Applying dynamic thermography in the diagnosis of breast cancer", *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE* Vol. 19, Issue 3, May-June 2000, pp.:42 – 51;
- [5] Y. Ohashi, and I. Uchida, "Some considerations on the diagnosis of breast cancer by thermography in patients with nonpalpable breast cancer", *Engineering in Medicine and Biology society, Proceedings of the 19th Annual International Conference of the IEEE*, Vol. 2, 30 Oct.-2 Nov. 1997 pp.670 – 672;
- [6] B. Cupceancu and I. Mogos. "The multiparameter analysis concept in computerized contact breast thermography", *Endocrinologie*, 1987 Apr-Jun; vol. 25(2), pp.121-124;
- [7] B. Cupceancu, I. Mogos.C., and C. Cotruta, "Tamoxifen responders selection by computerized contact thermography in benign breast disease", *Endocrinologie*, 1986 Apr-Jun;vol. 24(2), pp.115-112;
- [8] E.Y. Ng, S.C. Fok, Y.C. Peh, F.C. Ng, and L.S. Sim, "Computerized detection of breast cancer with artificial intelligence and thermograms", *J Med Eng Technol.* 2002 Jul-Aug;26(4), pp. 152-157;