

METODE DE PROCESARE A SEMNALELOR MEDICALE, BAZATE PE IMPLEMENTAREA HARDWARE ȘI SOFTWARE A ALGORITMILOR MATEMATICI ȘI INGINEREȘTI

- Rezumat -

Conceptul de cadru universitar este unul complex și extrem de dinamic. Acesta implică pe de-o parte competența științifică validată prin studii și comunicări științifice, sau nevoia de perpetuu profesionalizare; pe de altă parte, ideea de profesor nu poate exista fără vocația de dascăl, care crează emulație în rândul studenților, gata de sacrificii în numele unei satisfacții greu de cuantificat și care se manifestă doar pe termen lung.

Astfel, dezvoltarea unei baze solide de cercetare în domeniul ingineriei medicale, având ca suport fundamentul didactic al ingineriei electrice, este o chestiune de mare actualitate în societatea contemporană. Iar acest deziderat poate fi atins în primul rând prin experiența profesională și umană a cadrelor didactice implicate în acest domeniu.

În sensul ideilor enunțate anterior, **primul capitol** al tezei de abilitare se constituie ca un preambul și prezintă evoluția candidatului din momentul accederii în Universitate, în anul 2000, și până în clipa de față: etapele parcurgerii ierarhiei universitare, experiența profesională și cea din mediul economic al industriei medicale, stagiile efectuate la Universități din țară și străinătate sau rezultate științifice remarcabile.

Al doilea capitol prezintă metode de investigare a semnalelor provenite de la cord. De cele mai multe ori, abordarea aspectelor de ritmicitate ale inimii vizează calculul variabilității ritmului cardiac (HRV - Heart Rate Variability), adică a intervalelor dintre două vârfuri R-R consecutive. Metoda utilizată în studiile noastre implică folosirea transformatei Hilbert în analiza aspectelor de periodicitate/ritmicitate ale semnalului EKG; astfel, pentru un semnal sănătos, vectorcardiograma obținută (reprezentarea transformatei Hilbert în funcție de semnalul EKG analizat) trebuie să parcurgă cu exactitate și ritmicitate o traiectorie bine delimitată în plan bidimensional. Această metodă a fost aplicată pe un semnal test, simulat printr-un set de ecuații matematice, dar și pe semnale reale, cu sau fără patologii cardiace, obținându-se rezultate consistente: pentru semnale EKG reale, cu ritm sinusal, se poate observa aceeași tendință ca și în cazul semnalului ideal (simulat), anume că ritmul cardiac tinde spre un ciclu limită (în schimb, un semnal real cu patologie cardiacă, nu mai prezintă niciun caracter de ritmicitate, nemaiermărind o traiectorie bine definită în plan bidimensional).

Apoi, există cazuri când o parte a informației dintr-un semnal nu poate fi sesizată în totalitate în domeniul timp, ci doar în domeniul frecvență. De aceea, utilizarea transformatei Fourier facilitează – prin distribuția de energie și putere a semnalului în domeniul frecvență, dar și prin analiza fazei acestuia – o mai bună analiză și descriere a caracteristicilor semnalului. Datorită caracterului nestaționar al semnalului EKG, o analiză riguroasă a acestuia poate fi efectuată prin utilizarea algoritmului STFT (s-a ales o fereastră Hamming, cu lățimea de 512 puncte). În acest sens, s-au analizat 23 de înregistrări holter EKG „*ante finem*”, pentru pacienți cu diferite afecțiuni cardiace și diverse trecuturi medicale; datele au fost prelucrate apoi în Matlab, în final obținându-se spectrograma și graficul fazei semnalului. În acest fel, s-a pus în evidență importanța analizei fazei unui semnal EKG, ca și complement la analiza semnalului în domeniul timp și a spectrogramei. Dacă în semnalul din domeniul timp pot fi sesizate anumite schimbări morfologice sau de perioadă, investigația devine mai complexă la studiul spectrogramei, care

însă pune în evidență doar modificări cu conținut mare energetic din semnal (evenimente materializate în forme de undă cu amplitudini mari). De aceea, analiza fazei semnalului oferă informații utile și asupra evenimentelor cu conținut energetic redus (materializate în schimbări succesive de fază), care nu sunt sesizabile nici pe semnalul din domeniul timp, nici pe spectrogramă.

Un alt aspect discutat în capitolul doi a vizat tipurile de interferențe care contaminatează semnalele EKG și modul în care acestea pot fi rejectate optim. Din acest punct de vedere, s-au considerat două situații:

- *Inteferențe de natură tehnică în semnalul EKG*

În acest sens, s-a considerat un semnal EKG real, achiziționat cu ajutorul unui holter EKG, dar care a fost parazitat în momentul prelevării de zgomot alb. Deoarece zgomotul alb este un zgomot de bandă infinită, soluția propusă pentru înlăturarea optimă a interferenței constă într-o filtrare dublă. În primul rând, s-a proiectat un filtru medie alunecătoare (filtru FIR) cu șapte coeficienți în configurație trece-jos, caracterizat de o fază liniară; rezultatul acestei filtrări preliminare a fost supus unei filtrări Butterworth, folosindu-se un filtru predefinit în bibliotecile programului LabVIEW (filtru IIR de ordinul 6, în configurație trece-bandă).

Semnalului rezultat în urma acestor filtrări i-a fost apoi aplicat algoritmul Pan-Tompkins, un algoritm specific de detecție a vârfului R și care include mai multe etape de procesare a semnalului: filtrare, diferențiere, ridicare la pătrat, integrator de tip fereastră mobilă și stabilirea unor valori adaptive de prag în partea sa finală (în cadrul etapei decizionale). De asemenea, în acest paragraf, s-au pus în evidență avantajele algoritmului Pan-Tompkins față de detecția simplă a unei R, bazată pe simpla alegere a unei valori de prag.

- *Interferențe de natură fiziologică în semnalul EKG*

O situație de o complexitate aparte o reprezintă interferența dintre EKG –ul matern și cel fetal. În consecință, s-a implementat un algoritm de filtrare al EKG-ului matern pentru electrocardiografia fetală, având ca punct de plecare semnale sintetizate matematic și folosindu-se zgomote oferite de baza de date MIT-BIH, cu diferite rapoarte semnal/zgomot.

Ca și parametri inițiali ai scenariului simulat, s-a considerat amplitudinea EKG-ului matern de două ori mai mare decât a celui fetal, iar frecvența cardiacă fetală de două ori mai mare decât cea maternă. Cu toate că în situațiile reale aceste rapoarte au alte valori, în cazul de față au fost preferate acestea, din rațiuni de simplificare a modelului.

Pentru realizarea filtrării, s-a apelat la filtrarea adaptivă, implementându-se algoritmul „Convex Variable Step Size” - o versiune modificată a „Least Mean Square Algorithm”. Rezultatele obținute arată că cele două electrocardiograme (maternă și fetală) au fost identificate și separate cu succes.

Ultima parte a capitolului a tratat problematica determinării ritmului cardiac, fără a implica un contact fizic cu pacientul. O astfel de abordare prezintă avantaje în situații în care subiectul este victima unui incendiu (arsuri severe pe suprafața corpului), a unei avalanșe sau cutremur, sau dacă măsurătoarea vizează aplicații militare – descoperirea inamicilor ascunși după ziduri sau evaluarea stării combatanților pe câmpul de luptă.

Realizarea acestui obiectiv are ca punct de plecare un set de algoritmi de procesare și analiză a schimbării fazei semnalului recepționat de un sistem radar Dopler cu emisie continuă. Un astfel de sistem radar va transmite o purtătoare nemodulată și va recepționa semnalul reflectat, care va fi modulată în fază.

Mișcarea permanentă a corpului uman datorată ritmului cardiac și respirației va produce o modulație în fază a semnalului reflectat; în consecință, partea de recepție a sistemului radar va evalua ritmul cardiac și pe cel respirator al subiectului, pe baza estimării parametrilor modulației în fază.

Cercetările au vizat detectarea cu mare acuratețe a ritmului cardiac pentru perioade de măsurare foarte scurte și pentru un raport semnal/zgomot mic, prin implementarea în Matlab a unui algoritm bazat pe estimarea spectrală parametrică de tip **MUSIC** (**MU**ltiple **S**ignal **C**lasification) și a unui algoritm de tip FFT, de estimare spectrală non-parametrică. Validarea rezultatelor s-a realizat prin utilizarea unui sistem de referință, anume kitul de laborator VERNIER, care efectuează măsurarea ritmului cardiac prin contact direct cu subiectul aflat sub investigație.

Rezultatele analizelor au pus în evidență capacitatea algoritmului MUSIC de a separa semnalul util de zgomot și de a identifica în mod corect ritmul cardiac, spre deosebire de algoritmul FFT care are dificultăți în evaluarea acestui parametru vital, cu precădere pentru segmente mici de semnal măsurat. În plus, o analiză statistică a rezultatelor obținute arată faptul că în cazul a 66% dintre măsurători, algoritmul MUSIC estimează ritmul cardiac cu o eroare mai mică de 10 bătăi/minut, în timp ce algoritmul FFT furnizează aceleași performanțe pentru doar 23% dintre măsurătorile efectuate.

Studiile următoare vor viza testarea algoritmului MUSIC în diferite medii (zăpadă, apă) și în prezența diferitelor obstacole (ziduri de materiale și grosimi diferite), dar și pentru un număr mare de subiecți.

Capitolul trei abordează investigarea relației dintre semnalul EMG și temperatură, în timpul efortului. Experimentele efectuate au vizat studiul comportamentului musculaturii antebrăului la efort izotonic pentru diverse sarcini, din perspectivă electrică (semnalul EMG) și termică (se dorește evaluarea încălzirii globale a zonei studiate)

Pe parcursul experimentelor, subiectul a fost supus unor teste succesive, având mâna dreaptă pe un suport fix, brațul și antebrăul făcând un unghi de 90°. Efortul a fost simulat cu ajutorul unui dinamometru de mână, pe care subiectul îl strângea succesiv cu diferite forțe (50 N, 100 N, 150 N, 200 N), iar senzorii pentru culegerea semnalului EMG au fost plasați pe braț, în zona mușchiului radial. Camera în infraroșu cu care se culege semnalul de temperatură a fost poziționată fix, la o distanță de 50 cm. deasupra antebrăului investigat (cel al mâinii drepte, subiectul investigat fiind dreptaci).

Ca urmare a procesării în Matlab a datelor experimentale, s-a constatat faptul că liniaritatea caracteristicii forță-EMG este admisă doar pentru sarcini mici (50 N, 100 N, 150 N); continuarea experimentului cu valori mai mari ale forței (200 N) are ca efect pierderea liniarității, caracteristica urcând brusc la valori mari ale amplitudinii EMG. De asemenea, odată cu creșterea solicitării, musculatura obosește rapid (amplitudinile EMG cresc mult), iar temperatura, după ce a crescut relativ liniar pe parcursul solicitărilor, tinde să se stabilizeze către o anumită valoare (fapt pus în evidență de caracteristica forță-temperatură).

Măsurarea distribuției termice a fost de asemenea studiată pentru zona facială, în timpul procesului masticator. Pe parcursul experimentelor, s-a urmărit felul în care variază electromiograma și câmpul termic în timpul masticăției, pentru alimente de diferite consistențe. Electrozii pentru culegerea semnalului EMG au fost dispuși pe obraz, în zona musculaturii active, iar din punct de vedere termic, s-a considerat o arie

de interes de formă dreptunghiulară (care cuprinde ramificații ale arterei faciale), pentru care s-a monitorizat temperatura medie și cea maximă.

Tematica propusă pune în evidență corelația dintre nivelul efortului la care este supusă musculatura și răspunsul electric al acesteia (semnalul EMG), împreună cu evaluarea calitativă și cantitativă a schimbărilor termice înregistrate la nivelul zonei investigate.

Ca urmare a aportului de sânge care încălzește zona în cauză, acest mod de abordare pune în evidență și traiectoriile vaselor de sânge aflate în proximitatea pielii. În cazul de față, odată cu creșterea efortului la care este supusă musculatura, pe harta termică a antebrațului sunt vizibile artera brahială și ramificațiile acesteia, iar pe cea a obrazului se observă zonele străbătute de artera facială.

Cercetările pot fi extinse în viitor pe persoane de ambele sexe și diferite configurații fizice (înălțime, greutate), diferite ca activități fizice acoperite (sportivi, persoane cu distrofii musculare sau aflate în perioadă recuperatorie, post-traumatică), în vederea comparării rezultatelor și stabilirii unor relații de cauzalitate-efect.

În **capitolul patru** se discută posibilitățile de transfer ale semnalului EKG, pornind de la ierarhizarea transmisiilor biosemnalelor, din perspectiva distanței. Astfel, transferul proximal s-a efectuat prin tehnologia Fast InfraRed (FIR), prin implementarea în LabVIEW a unei arhitecturi client-server. Aceeași arhitectură (client-server) a fost creată și pentru transferul pe distanță scurtă a semnalului EKG, pe un telefon mobil, prin tehnologia Bluetooth (Bt).

Deoarece datele medicale trebuie diseminate la nivelul comunităților internaționale de specialiști, este necesară dezvoltarea unor tehnici de transmitere la distanțe mari. Soluția propusă constă în crearea unui sistem flexibil (cu trei niveluri de acces – administrator, medic specialist și pacient) și cu cost redus, de monitorizare și transfer al datelor medicale, care să conțină terminale (server, client) și care să implice (pe lângă semnalul EKG achiziționat) și cunoștințe de Java, PHP, MYSQL, HTML.

Preocupările în domeniul reabilitării, discutate în **capitolul cinci**, au avut în vedere crearea unui sistem de monitorizare wireless a încărcării membrului inferior, prin măsurarea forței de apăsare la nivelul tălpii. Prin acest demers s-a vizat evitarea încărcării exagerate a piciorului, în cazul pacienților aflați în cadrul unui proces de recuperare post-traumatică. Astfel, sistemul permite pacientului să înceapă un tratament controlat al încărcării piciorului, pe perioada reabilitării, într-un spital sau la domiciliu propriu.

Presiunea plantară este măsurată într-o rețea de trei camere flexibile, plasate sub trei zone anatomice de apăsare maximă a tălpii; măsurarea se face cu ajutorul unui senzor de presiune, iar valoarea obținută este convertită în valoare de forță.

În acest mod, monitorizarea forței maxime de apăsare a membrului inferior se face folosind doar un singur traductor de presiune; informația obținută este convertită într-o valoare de forță pe baza unui algoritm de calibrare implementat pe un microcontroller, iar comunicarea valorilor măsurate către medicul specialist se desfășoară printr-o interfață radio. De asemenea, există posibilitatea de alarmare a pacientului prin semnale luminoase și acustice, în situația depășirii valorilor de prag prestabilite de medic și memorate în blocul de măsurare.

Pentru ca sistemul propus să fie accesibil, ideea a avut la bază următoarele concepte: sistemul să fie compact și să aibă un cost redus al componentelor electronice. Toată informația obținută pe durata tratamentului poate fi folosită de către medic și în evaluarea progresului pacientului în intervalul de timp ales. Astfel, se dă posibilitatea

specialistului să verifice atât respectarea recomandărilor, cât și să ajusteze tratamentul într-un fel care se potrivește cel mai bine evoluției specifice a fiecărui pacient.

Apoi, o altă direcție discutată în acest capitol a vizat implementarea unei metode eficiente de comunicare (ca o alternativă la folosirea vorbirii, gesticularea mâinilor sau a mișcărilor capului), care să permită îmbunătățirea calității vieții persoanelor cu dizabilități severe (paralizie și paraplegie).

Controlul unor interfețe prin mișcarea globului ocular își au sorginea în aplicații care au fost implementate în domeniul militar, dar și în industria producătoare de jocuri video. În cazul de față, semnalul EOG înregistrat a fost folosit la controlul unei interfețe grafice, subiectul putând astfel să-și exprime nivelul de durere, starea emoțională, să comute canalul TV sau să scrie un text.

Algoritmul după care s-a realizat această aplicație clasifică mișcarea ochilor pentru fiecare canal (orizontal și vertical), iar clipirile voluntare decid momentul când se va activa un anumit buton de pe interfața grafică.

Dinamica științelor exacte, în care apar mereu noi tehnologii și algoritmi, oferă un potențial solid pentru investigații și demersuri făcute în sprijinul îmbunătățirii calității vieții și a actului medical. În consecință, **capitolul șase** discută problematica direcțiilor viitoare de cercetare ale aspectelor legate de organismul uman.

Conf. Dr. Mult. Ing. Mihai MUNTEANU