

TELEMEDICINA ÎN ROMÂNIA – DE LA DISCUȚII LA PRACTICĂ: MEDCARE - SISTEM DE TELEMONITORIZARE CARDIOLOGICĂ PRIN INTERNET

Conf. dr. ing. Hariton COSTIN*, **Asist. ing. C. Rotariu***, **Asist. drd. ing. A. Bârleanu****

*Univ. de Medicină și Farmacie "Gr. T. Popa" Iași, Facultatea de Bioinginerie Medicală, **Univ. Tehnică "Gh. Asachi" Iași, Facultatea de Automatică și Calculatoare (hcostin@iit.tuiasi.ro)

Situată în cadrul mai larg al *tele-asistenței medicale*, definită încă din 1978 [2] ca „totalitatea sistemelor care ajută îngrijirea sănătății prin schimbul cât mai eficient de informație medicală”, telemedicina se constituie ca un sistem integrat de îngrijire a sănătății (asistență medicală+educație) bazat pe resurse tehnologice, organizaționale și/sau sistemice. Având numeroase definiții formale, *telemedicina* constă în esență în utilizarea semnalelor electronice, a *tehnologiei informației (TI)* și a *telecomunicațiilor (TC)* pentru a transfera informațiile medicale de la un sistem la altul.

Caracteristicile majore ale *sistemelor de telemedicină (ST)* sunt [1]: (1) separarea geografică între furnizorii de servicii medicale și client (pacient) în timpul actului medical de tipul *telediagnostic* sau *teleconsultare* (inclusiv între personalul medical); (2) folosirea exhaustivă a TI și TC pentru a crește interacțiunea între actorii actului medical; (3) dezvoltarea unei structuri organizaționale capabilă să implementeze ST. În plus, existența unor aspecte legale și a standardelor de comportament pentru înlocuirea contactului direct între personalul medical și pacient sunt condiții obligatorii pentru viabilitatea unui ST. Un caz particular de ST sunt sistemele de *telemonitorizare* [5][6], care permit supravegherea de la distanță a pacientului pentru o boală anume, precum și a funcțiilor sale vitale.

Principalele probleme la rezolvarea cărora telemedicina își aduce contribuții majore sunt următoarele:

1. asistența medicală / îngrijirea sănătății în locuri izolate, caz în care accesul la datele medicale ale pacientului ce se află la distanță poate fi hotărâtor pentru viața sa;

2. asistența medicală / îngrijirea sănătății la domiciliul pacienților, atât pentru persoanele greu deplasabile cât și pentru a micșora costurile prin evitarea / reducerea spitalizării;
3. asistența medicală de înaltă competență - accesul la consultații medicale acordate de clinici specializate fără a se deplasa pacientul sau accesul la rezultatele unor investigații ce implică tehnologie înaltă (CT, RMN, scintigrafie) fără deplasarea medicului;
4. asistența medicală în cooperare - discutarea unui caz medical în comun de către specialiști aflați în locuri diferite, utilizând tehnologii CSCW - Computer Supported Cooperative Work;
5. medicina de urgență primește un ajutor substanțial, uneori decisiv pentru salvarea vieții în situații critice, din partea sistemelor de telemonitorizare a pacienților;
6. accesul la cele mai noi rezultate privind diagnosticarea, tratamentul, medicația etc.

Se întrevăd astfel trei parametri de analiză ai oricărui ST: *accesul*, *costurile* și *calitatea*, în sensul că un ST *optimal* asigură accesul universal la funcțiile sale, având costuri limitate și menținând o calitate ridicată, adică respectând și îmbunătățind protocoalele medicale existente. Legat de aspectul economic, *analiza beneficiu-cost* determină structura minimală a ST care poate furniza un set specificat de obiective cantitative și calitative.

Beneficiile generale pe care ST le aduc stării de sănătate și economice a populației, precum și bugetului de stat, sunt:

- Acces egal, eficient și rapid la specialiștii medicali;
- Reducerea deplasării pacienților și specialiștilor, deci costuri de transport mai mici și confort mărit;
- Reducerea absențelor la serviciu;
- Reducerea numărului de servicii în ambulator;
- Creșterea productivității specialiștilor;
- Transfer de cunoștințe mai bun și rapid spre medicii de la sate;
- Educația medicală continuă, la distanță, mai eficientă și ieftină, inclusiv pentru teleconsultație cooperativă;
- Reducerea generală a costurilor sănătății, prin transferarea mai accentuată a serviciilor medicale către medicii de familie sau chiar la domiciliul pacienților;
- Salvarea vieții umane în medicina de urgență;
- Creșterea calității asistenței medicale prin telemonitorizarea pacienților;
- Evitarea chirurgiei când nu e necesară (telepatologie);
- Calitate crescută a serviciilor de sănătate printr-un management superior și o mai bună informare a pacientului;

- Reducerea fluctuației personalului medical din zonele rurale datorita izolării și lipsei de acces rapid la rețeaua profesională lărgită.

Realizarea noastră constă într-un *sistem de telemedicină de telemetrie și telemonitorizare cardiologică*, MEDCARE (Figura 1), bazat pe un modul de achiziție a semnalului ECG, pe un sistem de calcul pentru prelucrarea și transmisia în timp real a ECG prin Internet către experții cardiologi și pe un software de vizualizare și analiză în timp real a ECG.

Deși cu mortalitate în descreștere, boala arterială coronariană rămâne încă principala cauză de deces din boală în toată lumea. Incidența crescută a ischemiei miocardice silențioase subliniază nevoia pentru monitorizarea pacienților asimptomatici. Existența dispozitivelor Holter asigură înregistrarea pe termen scurt, mediu sau mare (până la 24 de ore) a activității cardiace, urmând ca analiza să fie efectuată „off-line”. Astfel, tehnologia Holter nu este în general „în timp real”, cazurile de urgență medicală neputând fi tratate corespunzător. În plus, monitorizarea ambulatorie Holter nu se practică la noi din motive de ... „securitate” a dispozitivului în cauză. Dezvoltarea conceptului de „*home health care*” se bazează și pe reducerea cheltuielilor pentru sănătate, fapt avut în vedere chiar în cele mai bogate țări. Din punctul lor de vedere, pacienții pot salva timp, bani și confort, cu menținerea sau creșterea calității actului medical (în termeni de sensibilitate și specificitate a diagnosticului), coborât fizic chiar la nivelul domiciliului pacientului.

Deși în țara noastră se discută aspecte teoretice și organizatorice legate de telemedicină, după știința noastră nu s-a depășit stadiul construirii unor pagini web de informare despre diverse boli sau al creării unor baze de date interconectate pentru schimbul de informații despre pacienți, neexistând încă nici o aplicație de monitorizare în timp real.

Implementarea hardware a sistemului (Figura 2).

Sistemul nostru de telemonitorizare ECG este construit folosind o electronică și un hardware dezvoltate special pentru proiect, precum și o parte software bazată atât pe programe „open-source”, cât și pe programe de aplicație proprii.

Unitatea de monitorizare este compusă în principal dintr-un amplificator ECG pentru toate cele 12 derivații, un modul de achiziție de semnal și un subsistem pentru interfața cu Internet. Este construită cu tehnologie profesională și respectă standardul de electrosecuritate IEC 601.

Amplificatorul ECG are o bandă de frecvență limitată la (0.05 – 150) Hz. Rejecția înaltă de mod comun (CMRR>90dB), impedanța de intrare foarte mare (>100 MΩ), partea flotantă față de pacient, intrările izolate și protejate la defibrilare sunt trăsături esențiale ale amplificatorului ECG.

Modulul de achiziție ECG oferă numeroase capacități de achiziție de date și poate fi folosit în orice sistem de calcul „embedded”, compatibil PC. Principalele sale caracteristici includ: 16 intrări

asimetrice sau opt intrări diferențiale, autocalibrate, un convertor A/D pe 16 biți, frecvența de eșantionare maximă de 100KHz, gama semnalului de intrare programabilă în domeniul +/-10V, patru ieșiri analogice opționale și programabile, opt intrări și ieșiri digitale dedicate, compatibile TTL.

Interfața Internet se bazează pe un microcontroler pe 32 de biți (Am5x86® CPU) care lucrează la 133MHz. Sistemul integrează funcționalitatea completă a unei plăci de bază de calculator și conține: CPU, BIOS sistem, până la 64MB SDRAM, controler de tastatură, ceas de timp real. Câteva funcții suplimentare legate de comunicații și echipamente periferice sunt: patru porturi seriale, unul paralel și două USB, interfață hard-disk de tip IDE, acces Ethernet și interfață cu magistrala CAN. Afișorul folosit pentru vizualizarea locală a ECG și a unor date alfanumerice este un LCD Seiko 628-G321 având rezoluția grafică de (320 x 240) pixeli.

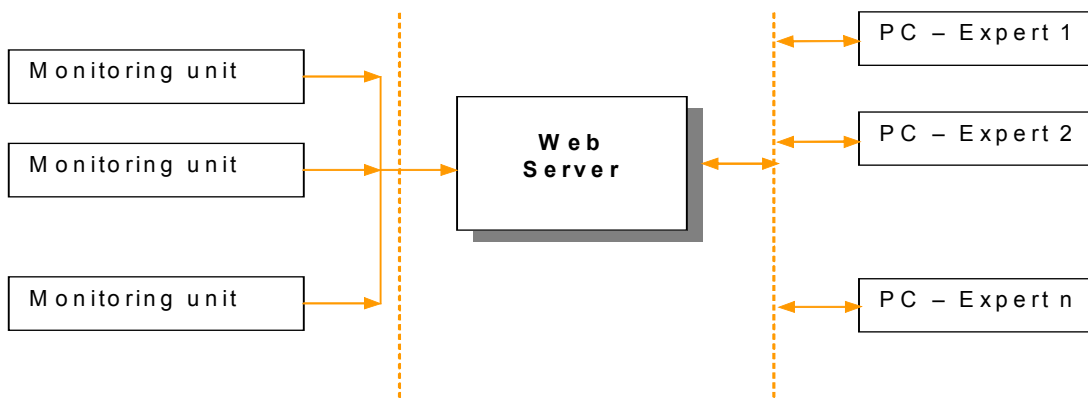


Figura 1. Schema bloc de ansamblu a sistemului MEDCARE

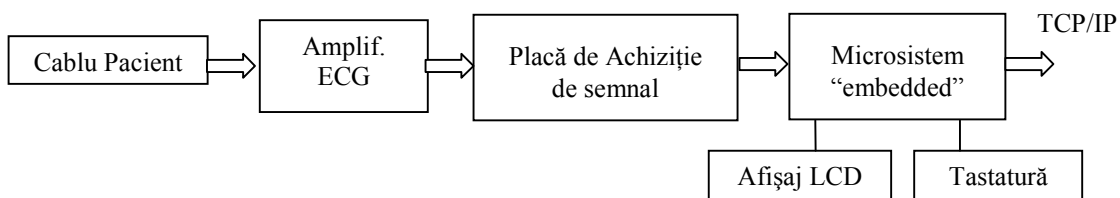


Figura 2. Unitatea de monitorizare ECG

Implementarea software a sistemului.

Pentru a realiza o implementare software a interfeței Internet cât mai simplă și ieftină, am ales binecunoscutul protocol de rețea de comunicații TCP/IP. Cât privește sistemul de operare folosit, pentru aplicații de achiziții de date în timp real, cum este a noastră, trebuie utilizate *sisteme de operare multitasking în timp real (RT-OS)*. O soluție modernă și economică este adoptarea unui RT-OS „open source” (care în principiu este gratuit), cum ar fi RT-Linux. Acesta conține un mic

nucleu RT care rulează: (i) un proces C/C++ RT cu prioritate maximă și (ii) nucleul standard Linux ca proces cu prioritate scăzută. Viteza înaltă de operare și predictabilitatea timing-ului se obțin limitând procesul RT la funcții esențiale lucrului în timp real.

Întregul sistem MEDCARE lucrează ca o *aplicație client-server*. *Modulul server* include: un server de baze de date ce folosește resurse deschise („*open sources*”) pentru proceduri, tabele, restricții venind de la aplicația „client”; un modul pentru administrare și control care supervizează fluxul general de date; un modul pentru acces și securitatea datelor; un modul pentru configurarea parametrilor ș.a. De asemenea, el folosește protocoalele HTML și HTTP pentru a trimite informația reactualizată despre starea inimii pacienților către „clienți”, care sunt experții cardiologi aflați într-un centru de cardiologie sau oriunde pe glob.

Modulul client conține totalitatea programelor care rulează pe calculatoarele medicilor specialiști cardiologi. El este implementat cu ajutorul applet-urilor Java și are următoarele facilități: interfață grafică (GUI - Graphic User Interface) pentru afișarea ECG în timp real; calculează și afișează viteza inimii și parametrii segmentelor ECG de importanță în diagnostic (QRS, P, PQ, QT) [3][4]; afișează alte date trimise de unitatea de monitorizare ECG (de ex. presiunea arterială); comunică mesajele transmise de expert și deciziile medicale către medicul de familie sau pacient. De asemenea, programul va conține câteva prelucrări ECG off-line, cum sunt filtrări avansate, analiză morfologică a ECG (intervale, amplitudini, axe electrice), analiză statistică, analiza variabilității vitezei inimii (HRV) etc.

În acest stadiu al proiectului toate blocurile funcționale ale sistemului MEDCARE (unitatea de monitorizare în timp real a ECG, programele de calcul pentru aceasta și pentru calculatoarele experților cardiologi), incluzând implementarea protocolului TCP/IP, sunt abordate de colectivul nostru extins. Testarea algoritmilor pentru analiza morfologică a ECG a condus la obținerea unor rezultate foarte bune pe bazele de date „MIT/BIH Arrhythmia Database” și „European ST-T Database”.

Sistemele informatice clinice moderne cer memorarea și transmisia unei cantități mari de semnal ECG. Pentru aceasta sunt necesare metode eficiente de compresie de date. Algoritmii de compresie a ECG folosiți de noi conduc la o rata de compresie maximă, cu păstrarea informației relevante în semnalul reconstruit la recepție.

Astfel, compresia ECG a fost realizată în timp real folosind programul „open source” Linux Gzip, care utilizează eficientul algoritm Lempel-Ziv. Raportul de compresie obținut cu Gzip depinde de mărimea fișierului ECG de intrare și este, în general, mult mai bun (cca. 2/1) decât cel obținut cu alți algoritmi, la o rată a distorsiunilor sub 9%.

Tabelul 1 arată rezultatele compresiei aplicate pe o înregistrare ECG achiziționată cu 12 bits pe eșantion. Ca urmare, viteza (debitul) conexiunii Internet necesare transmisiei ECG în timp real este sub 4.5KB/sec. (mică).

Tabelul 1 – Rezultatele compresiei pentru diferite mărimi ale buffer-ului TCP/IP

Timp (sec.)	Fișier original (bytes)	Fișier comprimat (bytes)	Raport de compresie (%)
10	60000	26592	55.7
9	54000	24125	55.3
8	48000	21681	54.9
7	42000	19027	54.8
6	36000	16541	54.1
5	30000	14061	53.2
4	24000	11502	52.2
3	18000	8904	50.7
2	12000	6123	49.2
1	6000	3205	47.0

Calitatea transmisiei pe Internet a fost evaluată folosind ca parametru obiectiv PRD (percentage root mean square difference – suma pătratică medie procentuală), care evaluează distorsiunile semnalului ECG reconstruit:

$$PRD = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N [x(n) - \tilde{x}(n)]^2}{\sum_{n=1}^N x^2(n)}} \times 100 ,$$

unde $x(n)$ este semnalul original, $\tilde{x}(n)$ este semnalul reconstruit, iar N este lungimea ferestrei de analiză. Teste elocvente au fost făcute folosind fișiere ECG din baza de date MIT-BIH Arrhythmia Database [7]. Medicii cardiologi consultați au agreat aceste valori, capabile să ofere un prediagnostic de calitate.

Nr.	Semnal	Timp (min)	PRD
1	No.100	1	6.2
		2	6.9
		3	7.2
2	No.201	1	6.3
		2	7.1
		3	7.9
3	No.107	1	2.1
		2	2.2
		3	2.4

Fereastra interfeței-utilizator a sistemului MEDCARE este reprezentată în Figura 3. Sunt afișate derivațiile folosite (bipolare), precum și mărimea ritmului cardiac și durata complexului QRS.

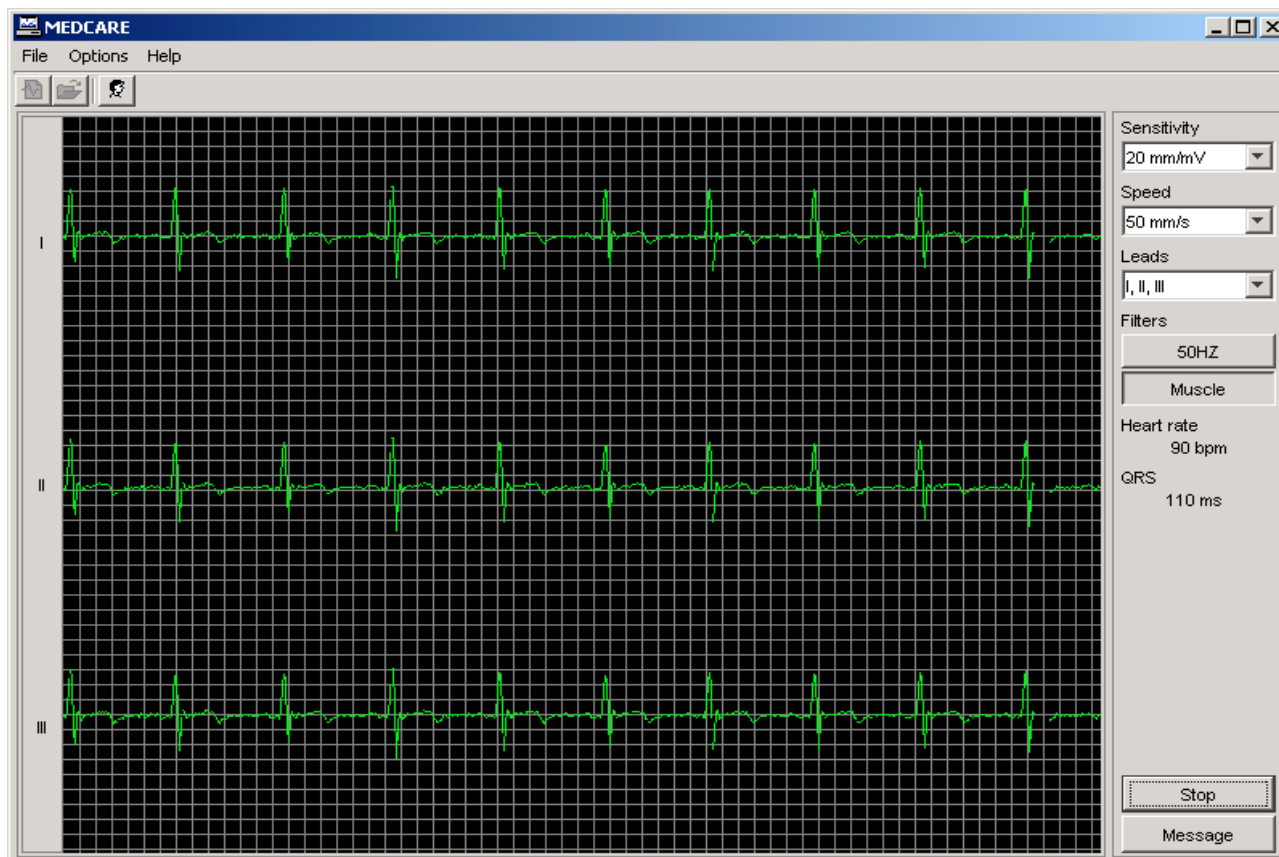


Figura 3. Fereastra de lucru a interfeței-utilizator

În **concluzie**, *monitorizarea în timp real a pacienților*, atât preventiv cât și după evenimente cardiologice majore, reprezintă o procedură din ce în ce mai utilizată în practica medicală. Ea cere dispozitive cu performanțe înalte pentru achiziția și transmiterea biosemnalelor. Sistemul de telemonitorizare MEDCARE va putea fi folosit ca sistem de alarmare în cazul monitorizării aritmiilor sau ischemiilor cardiace în timpul activității normale sau al exercițiilor fizice. Caracteristici importante sunt modularitatea și flexibilitatea sistemului, astfel încât nucleul său va permite achiziția, monitorizarea și analiza unui domeniu larg de biosemnale, cum sunt ECG, EEG, EMG, EGG, EOG ș.a. Sistemul poate fi extins cu noi tipuri de intrări de date, incluzând corelații între stări fiziologice și emoționale, ceea ce ar putea dezvolta semnificativ interfața și interacțiunea om-calculator. Bineînțeles, realizarea noastră va respecta standardele tehnice și medicale din domeniu, precum și cerințele statistice privind *sensibilitatea* și *specificitatea* telediagnosticului ECG, adică a preciziei sale.

Constatăm încă o dată că tehnologia informației (TI), în cazul nostru bazată pe Internet și sisteme „embedded”, concură activ și eficient la creșterea calității deciziei medicale, mai ales în situații în care lipsa specialistului „in situ” este încă o realitate în prag de mileniu trei. Iar pe cei care

mai aduc în discuție costurile financiare legate de implementarea unui sistem de telemonitorizare și în România, i-am întreba direct cam cât consideră domniile lor că valorează viața unui om ...

Mulțumiri. Munca noastră este finanțată în principal printr-un grant al Comisiei Europene, în cadrul proiectului INES 2001-32316 (www.euroines.com).

Referințe bibliografice

- [1] Bashshur R.L., „On the definition and evaluation of telemedicine”, *Telemedicine Journal*, Vol.1, No.1, pp.19-30, 1995.
- [2] Bennet A.M., et al., *Telehealth Handbook*, US Department of Health, Education and Welfare, Publ. No. (PHS) 78-3210, 1978.
- [3] Cohen A., “Biomedical signal processing”, in A. Prochazka, *et al.* (eds.), *Signal Analysis and Prediction I*, EURASIP, ICT Press, Prague, 1997.
- [4] Pan J., Tompkins W.J., "A real-time QRS detection algorithm", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 32, No. 3, March 1985, pp. 230-236.
- [5] Rollins, D.L., *et al.*, “A telemetry system for the study of spontaneous cardiac arrhythmias”, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 47, No. 7, July 2000, pp. 887-892.
- [6] Ruha A., *et al.*, "A real-time microprocessor QRS detector system with a 1-ms timing accuracy for the measurement of ambulatory HRV", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 44, No. 3, March 1997, pp. 159-167.
- [7] MIT-BIH database and Software Catalog, <http://ecg.mit.edu/dbinfo.html>