

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERS
INDUSTRIALS DE BARCELONA (UPC)**

Institut de Cibernètica

**NOVES TÈCNIQUES EN L'ANÀLISI DEL
SENYAL ELECTROCARDIOGRÀFIC:
APLICACIÓ A L'ECG D'ALTA
RESOLUCIÓ.**

Autor: Raimon Jané Campos
Director: Antonio Bayes

Juny 1989

Capítol 6

CONCLUSIONS

L'anàlisi del senyal electrocardiogràfic, mitjançant sistemes informatitzats, necessita la disponibilitat d'una instrumentació específica, i exigeix el desenvolupament de mètodes i algorismes de processat que permetin el tractament automàtic de la informació. Així i tot l'anàlisi assistit per ordinador de l'ECG convencional no aporta *per se* nova informació per al diagnòstic, respecte a l'observada directament per un cardiòleg en un registre clàssic.

En canvi l'Electrocardiografia d'alta resolució (ECGAR) és una nova tècnica que pretén la detecció i aïllament dels potencials cardíacs de baixa amplitud, que no es poden reconèixer en l'ECG estàndard amb la metodologia convencional. L'objectiu és la identificació de l'activitat elèctrica de petita amplitud, vinculada a les ones més significatives de l'ECG.

Els treballs de ECGAR presentats fins ara consideren el cas més senzill de l'estimació dels potencials cardíacs vinculats a les ones d'amplitud més gran dins l'electrocardiograma. La majoria de les realitzacions existents són només aplicables a les ones d'elevada relació senyal-soroll. Tot i així, aquestes importants restriccions no han evitat que els resultats presentats mostrin una baixa sensibilitat (Craelius i altres, 1986) i manifestin discrepàncies en estudis comparatius (Oeff i altres, 1986).

El treball desenvolupat en aquesta tesi té el propòsit d'efectuar una anàlisi detallada dels aspectes tècnics que intervenen en les etapes de processat, dins del camp de l'Electrocardiografia d'alta resolució. Per això es proposa una estructura de processat

de senyals ECGAR, amb aportacions tant en els mètodes com en l'aplicació. L'objectiu és la realització d'un treball que tracti el problema des d'una vessant fonamentalment tècnica, en el camp del processat de senyal, enfront de la majoria de treballs centrats exclusivament en els aspectes d'aplicació clínica i avaluació estadística dels resultats.

6.1 APORTACIONS DE LA TESI

Seguidament es detallen els aspectes més importants en els que s'han efectuat contribucions, respecte a altres treballs realitzats, i que s'han concretat en un sistema d'obtenció i adquisició d'ECG d'alta resolució, i en uns programes de tractament d'aquest senyal.

En primer lloc, l'estudi metòdic del problema, emmarcant-lo dins del camp dels processos aleatoris no estacionaris, ha permès una formalització del senyal considerant una sèrie d'hipòtesis. S'ha realitzat un aportació original en la caracterització i anàlisi del problema, que ha portat a la proposta d'una estructura del sistema de processat d'ECG d'alta resolució.

Els potencials d'interès s'han modelitzat com la part determinista del procés. L'estudi de l'estimació de la mitjana del procés va mostrar que es tractava, efectivament, d'un bon estimador de la component determinista. També l'efecte de l'incompliment de les hipòtesis, en la qualitat de l'estimació, va ser formalitzat i quantificat.

Les conclusions obtingudes en aquesta part han permès identificar les etapes de processat més crítiques en les prestacions de tot el sistema, i han donat lloc a una proposta de processat concreta que millori aquests aspectes.

En segon lloc, s'ha desenvolupat un detector de complexos QRS, realitzat en *software*, per a la identificació de cada batec cardíac.

Utilitza un sistema dual de llindars adaptatius, que s'ajusten automàticament a les variacions del senyal. Les contribucions en les etapes de preprocessat, lineal i no lineal, així com en les regles de decisió, han permès el disseny d'un detector robust de molt bones prestacions en tot tipus de senyals, i de soroll.

La incorporació d'un bloc de postprocessat ha facilitat el reconeixement de les

morfologies dels ECG i les situacions d'elevat nivell de soroll i artefactes, per tal de discriminar batecs de morfologies molt desiguals. Per verificar el bon comportament del detector, s'han mostrat els resultats de l'aplicació a senyals ECG reals en tot tipus de situacions.

En tercer lloc, s'han considerat mètodes d'alineament per a senyals ECG. L'objectiu és la definició d'un punt precís de referència temporal per a cadascun dels batecs cardíacs, de manera que cada registre del procés aleatori estigui referenciat respecte al mateix impuls equivalent.

En aquest sentit, s'han revisat els enfocaments clàssics en altres àrees del processat de senyal, per exemple en el cas de les aplicacions d'acústica subaquàtica, on resulta d'interès l'estimació del temps de retard entre senyals. També s'ha considerat un altre tipus de plantejament basat en l'aplicació de tècniques de detecció de presència de senyals en soroll.

Seguint aquests criteris, s'han proposat tres mètodes diferents: doble nivell, integrals normalitzades en coincidència i filtrat adaptat. En tots ells s'han desenvolupat algorismes d'aplicació, corresponents a cada mètode, o a una combinació d'ells.

S'ha efectuat un estudi de les prestacions dels mètodes en simulació per ordinador. S'han considerat diverses situacions de relació senyal-soroll, i ones de diferents morfologies. Posteriorment s'ha aplicat a senyals reals on els resultats anteriors han quedat confirmats.

De tot l'estudi es desprenen uns criteris d'aplicabilitat dels mètodes, en funció de la relació senyal-soroll i el tipus d'ona. Així en l'estudi efectuat en l'aplicació a complexos QRS, ha quedat manifest les acceptables prestacions dels tres mètodes per a relacions senyal-soroll fins a valors de 10 dB. Valors més baixos no permeten l'aplicació del mètode de doble nivell, mentre que per sota de 0 dB només el mètode de filtrat adaptat manté més bones prestacions.

L'efecte de la morfologia de l'ona en les prestacions dels mètodes ha quedat palès en l'estudi realitzat amb ones P. En aquest cas el mètode de doble nivell presenta ja resultats dolents per a relacions senyal-soroll de 10 dB, mentre que tant el mètode de les integrals normalitzades en coincidència com el filtrat adaptat mostren la seva aplicabilitat fins a 0 dB.

Aquestes conclusions obtingudes en simulació han quedat confirmades en l'aplicació a senyals reals, on s'ha fet patent la influència del contingut espectral del soroll. En especial, la presència de soroll de banda estreta, com per exemple la interferència de 50 Hz, ha mostrat el deteriorament de les prestacions del mètode de filtrat adaptat.

Finalment, es presenta l'aplicació orientada a l'ECG d'alta resolució. Es detallen els elements de processat proposats. Seguidament es mostren els resultats obtinguts amb senyals reals. Les aplicacions estudiades contempen el cas de l'obtenció dels potencials ventriculars tardans, així com altres potencials d'interès vinculats a ones P i T.

L'aplicació dels mètodes i els programes desenvolupats han permès una més acurada obtenció i identificació dels potencials cercats.

Les elevades prestacions de les etapes de processat considerades han possibilitat l'aplicació a ones de baixa relació-soroll. També la capacitat de discriminació de morfologies del detector de QRS ha augmentat la fiabilitat del sistema de manera considerable. I a més, ha facilitat l'aplicació a casos en els que hi havia importants variacions de forma, situació en la qual la majoria de realitzacions d'altres grups de recerca no poden operar.

Cal precisar que en tot moment s'ha intentat en aquesta tesi l'estudi dels aspectes tècnics, combinats amb una aplicació a senyals reals significativa. L'estudi i avaluació mèdiques dels resultats es surt fora de l'àmbit d'aquesta tesi, i seria motiu d'un tractament específic.

6.2 EXTENSIONS FUTURES

Es proposen les possibles extensions del treball a realitzar en un futur, que millorin les característiques d'un sistema general d'electrocardiografia d'alta resolució.

Respecte el senyal tractat, es podria ampliar l'estudi a un senyal tridimensional que recollís, mitjançant les derivacions ortogonals, l'activitat cardíaca en tres projeccions adequades. Un tractament amb aquests tres canals afavoriria la interpretació dels resultats.

Quant a la hipòtesi d'invariància dels senyals, s'hauria de considerar les situacions

en les que es produeixen lleugeres variacions de la forma del senyal. En especial, produïdes per l'activitat respiratòria i muscular. També seria interessant l'estudi de situacions on degut a l'esforç o a l'administració de drogues, es manifestin importants variacions en la morfologia.

En aquests casos, l'aplicació de tècniques de classificació de senyals permetria la possibilitat d'agrupar convenientment els batecs amb característiques similars. D'aquesta manera es disposaria de subconjunts de realitzacions del procés, en les que sí es compliria la hipòtesi d'invariància del senyal.

L'aplicació de tècniques de filtrat adaptatiu permetria abordar també, de forma alternativa, l'estimació de potencials cardíacs de baixa amplitud. Una contrastada aplicació d'aquesta tècnica possibilitaria l'extensió del treball a l'estudi de transitoris o d'efectes de curta durada.

Finalment, l'aplicació dels mètodes i procediments desenvolupats en aquesta tesi es podria estendre al tractament d'altres senyals biològics d'interès. En especial al tractament de potencials evocats, en els que l'aplicació de mètodes d'alineament seria molt adequat.