

A wavelet approach to cardiac signal processing for low-power hardware applications

Citation for published version (APA):

Karel, J. M. H. (2009). *A wavelet approach to cardiac signal processing for low-power hardware applications*. Datawyse / Universitaire Pers Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.20091215jk>

Document status and date:

Published: 01/01/2009

DOI:

[10.26481/dis.20091215jk](https://doi.org/10.26481/dis.20091215jk)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

A wavelet approach to cardiac signal processing for low-power hardware applications

Joël M.H. Karel, 15 december 2009

Jaarlijks sterft een groot aantal mensen ten gevolge van cardiovasculaire aandoeningen. Door vooruitgang op het gebied van de medische wetenschap, waaronder meer specifiek implanteerbare apparaten, wordt het aandeel in de totale sterfte verkleind. Een van de eerste van dergelijke implanteerbare apparaten is de pacemaker. De vroege uitvoeringen geven met een vast ritme elektrische pulsen aan het hart, waardoor dit met het vastgestelde ritme samenknijpt en bloed door het lichaam pompt. Hier kleeft echter een aantal nadelen aan. Zo kost het voortdurend stimuleren van het hart veel energie, wat een groot probleem vormt omdat een dergelijk apparaat chirurgisch in het lichaam van de patiënt is geplaatst en daardoor moeilijk opgeladen kan worden. Ook kan het onnodig stimuleren van het hart schadelijk zijn. Daarnaast kan het vaste ritme van de pacemaker interfereren met de frequentie waarop het hart zelf wil samentrekken. Tegenwoordig zijn pacemakers daarom uitgerust met sensoren die de elektrische stromen op het hart registreren die vervolgens worden gebruikt in een beslissingsstap waarin wordt besloten of het hart gestimuleerd moet worden of niet. Dit vereist een monitoringsmechanisme dat signaalverwerkingstaken uitvoert. Aangezien het monitoring circuit altijd actief is, is het belangrijk dat dit zuinig met de energie omgaat. Daarnaast moet het de juiste beslissingen nemen, omdat deze van levensbelang kunnen zijn.

Een relatief recente signaalverwerkingstechniek die interessant is voor het gebruik in pacemakers is de zogenaamde "wavelet transformatie". Deze techniek maakt het mogelijk om een signaal tegelijkertijd in tijd en frequentie af te beelden. Het is gemakkelijk om deze techniek in een computer te implementeren. Echter een computer werkt digitaal en de sensor informatie in pacemakers is analoog. Er moet dus een analoog signaal omgezet worden in een digitaal signaal wat veel energie vergt. Een energiezuinige oplossing is om de wavelets op een analoge manier te implementeren en zo de analoog/digitaal omzetting te beperken. Om dit te doen moeten de wavelet functies benaderd worden met behulp van lineaire systemen die in de microelektronica toepasbaar zijn. Dit is echter geen triviale opgave. In het huidige werk wordt beargumenteerd waarom L_2 approximatie een goede aanpak is hiervoor. Een complete aanpak om wavelet functies (zowel van continue als discrete wavelets) met deze techniek te benaderen is uitgewerkt. Aangezien het optimalisatieoppervlak diverse lokale optima kan bevatten, wordt er besproken hoe een goed startpunt voor een lokale zoektechniek kan worden gevonden. Met diverse voorbeelden wordt de flexibiliteit van de aanpak aangetoond.

Buiten het feit dat wavelets een signaal tegelijkertijd in termen van tijd als frequentie laten zien is er nog een ander duidelijk verschil met een klassieke techniek als Fourier transformaties: er zijn geen vaste basissen en er is keuzevrijheid. Dit

geeft meteen een keuze probleem. Er worden twee criteria behandeld die in het wavelet domein bepalen hoe goed een gegeven wavelet is om een bepaald signaal te comprimeren of te detecteren. Daarnaast worden deze criteria met een parameterisatie op basis van “polyphase filters” en de “lattice” structuur van discrete, orthogonale wavelets, gebruikt om wavelets te ontwerpen. Naast reguliere wavelets zijn ook zogenaamde “multiwavelets” interessant. Deze beschikken over meerdere orthogonale wavelet en schalingsfuncties en kunnen diverse orthogonale componenten in een signaal onderscheiden. Voor deze multiwavelets is een parameterisatie opgezet in termen van zogenaamde “lossless” systemen. Deze parameterisatie is algemener dan eerdere parameterisaties die bekend zijn uit de literatuur. Van een aantal van deze bestaande parameterisaties wordt besproken hoe ze volgen uit de geïntroduceerde, algemenere parameterisatie. Daarnaast wordt besproken hoe met de geïntroduceerde parameterisatie gebalanceerde momenten kunnen worden ingebouwd, hetgeen noodzakelijk is om de, met deze parameterisatie, ontworpen multiwavelets direct op gemeten signalen toe te passen. Deze gebalanceerde momenten werden in eerdere parameterisaties niet ingebouwd.

Om de kracht van de besproken technieken te demonstreren wordt een drietal voorbeelden uitgewerkt. Als eerste worden ontworpen wavelets gebruikt om het QRS complex in een hartsignaal te detecteren. Uit numerieke gegevens blijkt dat deze ontworpen wavelets inderdaad voordelen bieden. Een opmerkelijk resultaat is dat een bepaalde wavelet, nl. de Daubechies 2 wavelet dikwijls als optimum gevonden wordt. Als tweede applicatie worden ontworpen multiwavelets gebruikt om tegelijkertijd de Q piek en de T piek in een hartsignaal te onderscheiden. Een regelgebaseerd detectiealgoritme dat als voorbeeld is ontworpen laat reeds bemoedigende resultaten zien. Als derde toepassing worden wavelets ontworpen en gebruikt voor het verwerken van afbeeldingen afkomstig van een MRI scanner. Met behulp van deze technieken wordt succesvol laagfrequente multiplicatieve ruis verwijderd bij afbeeldingen van het bekken en de knie. Op MRI afbeeldingen van hersenen is de huidige techniek minder succesvol, echter aanbevelingen om dit verder te verbeteren worden gedaan.