

New concepts in ultrasound image processing and their potential for improving data presentation

Citation for published version (APA):

Collaris, R. J. (1996). *New concepts in ultrasound image processing and their potential for improving data presentation*. Rijksuniversiteit Limburg. <https://doi.org/10.26481/dis.19960613rc>

Document status and date:

Published: 01/01/1996

DOI:

[10.26481/dis.19960613rc](https://doi.org/10.26481/dis.19960613rc)

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.

New Concepts in Ultrasound Image Processing and their potential for improving data presentation

- summary -

The present study deals with the processing of medical ultrasound images and aims at an improved communication of diagnostic relevant information to the clinician.

Two widely used imaging modes are of particular interest. In brightness mode or *B-mode echo imaging*, ultrasound is employed to construct a gray level monitor image that includes anatomical information of a two-dimensional section of a structure investigated, such as an organ. In *color velocity imaging*, ultrasound based measurement of instantaneous blood velocity distributions is added to B-mode echo imaging. This way, a gray level anatomical image is constructed in which the interiors of flowing blood containing structures are filled with two-dimensional blood velocity profiles, encoded in color. The two imaging modes both operate in real-time, which means that data collection and image construction are sufficiently fast to evoke a cinematographic effect that enables structure motion and blood flow dynamics to be visualized. (Chapter 2).

Ultrasound images can provide an indication of the presence and extent of certain abnormalities, such as, e.g., tumors and stenoses. However, the amount of information the observer gains by exploring the images is restricted. On the one hand, the characteristics of ultrasound limit the detail to which targets can be investigated. On the other hand, human vision limits the extent to which the information displayed can be absorbed. In B-mode echo imaging, *speckle noise* is a major source of image degradation. Speckle is a product of interference of ultrasound. It gives the images a mottled, grainy appearance. As a result, structural information is covered up, and, because of the high sensitivity of human vision to typical speckle noise patterns at normal viewing distance, the observer is likely to be distracted. Conventional image processing techniques reduce speckle by signal averaging, this way sacrificing some resolution in space or time.

In color velocity imaging, lack of spatial and temporal consistency in colored blood velocity profiles is a major cause of image degradation in real-time observation. Especially annoying is the random and unpredictable way in which the boundaries of the profiles alter from one image to the next. This effect is conventionally reduced by temporal low pass filtering of the spatial blood velocity profiles. This

way, however, the true blood velocity information measured is influenced as well, which may lead to an erroneous reflection of flow reality, especially under dynamic flow circumstances. (Chapters 2 and 3).

In Chapter 4, a new approach to ultrasonic B-mode image processing is introduced. In this method, *Level-Dependent spatial Summation* (LDS) is applied to the two-dimensional amplitude distribution comprising a B-mode image. Essentially, the distribution is convolved with two block-shaped kernels. Both kernels have a height and a base area that are not constant, but vary with the local amplitude level. This way, two supplementary signal distributions are derived: a distribution M of so-called Mach bands, indicating the positions of speckle peaks and the edges of structures in the original B-mode image, and a distribution N , including information about the local mean gray level in the original image. The M and N distributions are closely related to each other and can be calculated simultaneously. The information this way obtained regarding high spatial frequencies (M distribution) and low frequencies (N distribution) is employed to modify the original B-mode image. First, multiplying speckle peaks in the B-mode image by a factor smaller than 1, while preserving the speckle troughs, reduces the average speckle grain size. As a result, the image may be perceived as exhibiting increased local homogeneity, while blurring of the image, usual side-effect of low pass filtering, is avoided. Second, global edges of hypoechoic structures are recognized on the basis of peaks in the M distribution coinciding with above average values in the N distribution. Edge enhancement is achieved by multiplying the edge points detected by a factor larger than 1. Third, by multiplying each point in the B-mode image by a factor that varies with the local N level, contrast between different structures in the image is increased. The method is evaluated in Chapter 4 using computer simulated data and phantom data. Because of the relatively low computational cost (only point operations are involved in the modification of the B-mode image), real-time implementation is expected to be feasible.

In Chapter 5, the concept of the N distribution is generalized. A detailed theoretical analysis is presented as well as the results of computer simulation experiments. These indicate that the N distribution, directly presented to the observer as a gray level image, is superior to the output of the optimum conventional moving average filter (the L_2 -mean filter) in lesion detection tasks.

Whereas the spatial L_2 -mean filter has limited performance as regards lesion detection in B-mode echo images, an ordinary temporal low pass filter fails in improving the presentation of real-time color velocity images: although the spatial and temporal consistency of blood velocity profiles is improved, sudden changes in blood

flow become masked. In Chapter 6, a technique is introduced that combines the desired improvement in consistency with the preservation of all blood velocity data available. The method is presented as a modification in two steps of a first-order recursive filter, which processes each temporal (one-dimensional) velocity signal in a spatial blood velocity profile separately from the others. The extensions make the filter adapt its characteristics to the blood velocity signal locally measured. This way, a persistence effect is created without affecting any of the true velocity information measured. As a result, the consistency in a sequence of blood velocity profiles is increased and the definition in the images of the regions that contain flowing blood is improved. The method is evaluated in Chapter 6 on the basis of computer simulated data as well as data taken from a flow phantom. Because of its simplicity, real-time implementation should be possible.

Finally, in Chapter 7, the application of level-dependent spatial summation is illustrated on the basis of three clinical ultrasound B-mode images: an image of the normal gallbladder, an image of a breast tumor and an image of the normal liver. The results support the finding of Chapters 4 and 5 that LDS is potentially a valuable new approach to ultrasound image processing.

Nieuwe Concepten in de Ultrageluidsbeeldbewerking en hun mogelijkheid de presentatie van informatie te verbeteren

- samenvatting -

Deze studie handelt over het bewerken van medische ultrageluidsbeelden en heeft tot doel de overdracht van diagnostisch relevante informatie naar de arts te verbeteren.

Onder ultrageluid wordt in het algemeen alle geluid verstaan dat hogere frequenties (toonhoogtes) heeft dan de mens kan horen. De frequenties die gebruikt worden voor medische beeldvorming liggen zelfs aanzienlijk boven de gehoorrens (een factor honderd of meer). Met behulp van een transducent die tegen de huid wordt geplaatst, kunnen korte pulsen ultrageluid het lichaam ingezonden worden. Door met dezelfde transducent de resulterende echo's op te vangen, verkrijgt men informatie over de structuren die zich onder de huid bevinden (bloedvaten, organen). Het gaat hierbij niet alleen om anatomische informatie, maar ook om lokale snelheden van bewegende structuren, met name van stromend bloed. Deze informatie wordt gebruikt voor het construeren van medische afbeeldingen op een beeldscherm.

Twee wijdverbreide manieren van ultrageluidsbeeldvorming zijn in dit proefschrift met name van belang. In *B-mode echobeeldvorming* wordt met behulp van ultrageluid een grijswaarde monitorbeeld geconstrueerd, waarin de anatomie van een structuur langs een doorsnee te zien is (bijvoorbeeld een plakje lever). In *kleurensnelheidsbeeldvorming* wordt aan B-mode echobeeldvorming het meten van instantane bloedstroomsnelheidsverdelingen met ultrageluid toegevoegd. Op deze wijze wordt een grijswaarde anatomisch beeld verkregen, waarin de structuren die in werkelijkheid stromend bloed bevatten, zijn opgevuld met tweedimensionale, in kleur gecodeerde bloedstroomsnelheidsprofielen. De twee manieren van beeldvorming werken allebei in "real time", wat inhoudt dat het meetproces en de beeldconstructie voldoende snel verlopen voor het creëren van een cinematografisch effect. Hierdoor kunnen de bewegingen van structuren en de bloedstroomdynamica worden gevisualiseerd op hetzelfde moment dat ze worden gemeten (ultrageluidsbeelden worden typisch zo'n tien à twintig keer per seconde ververst, wat meestal voldoende is om de waarnemer de illusie te geven van een ononderbroken stroom van informatie in de tijd). Moderne ultrageluidsapparaten produceren digitale ultrageluidsbeelden. Digitaal wil zeggen dat elk beeld wordt gevormd door een fijn mozaïek van kleine beeldpunten (pixels) die elk één enkele grijswaarde of kleur hebben die

gecodeerd is door middel van een getal. Deze constructie maakt het mogelijk om de beelden te bewerken met een computer.

Ultrageluidsbeelden kunnen een indicatie verschaffen over de aanwezigheid en de grootte van bepaalde afwijkingen in het lichaam, zoals bijvoorbeeld tumoren en vaatvernauwingen. De hoeveelheid informatie die de waarnemer kan vergaren door de beelden te bekijken is echter begrensd. Aan de ene kant beperken de eigenschappen van ultrageluid de precisie waarmee structuren kunnen worden onderzocht. Aan de andere kant beperkt het menselijk oog de hoeveelheid informatie die kan worden opgenomen. In B-mode echobeeldvorming is *speckle-ruis* een belangrijke oorzaak voor vermindering van de beeldkwaliteit. Speckle is het resultaat van onderlinge interferentie van ultrageluid gereflecteerd door dicht bij elkaar gelegen structuurovergangen. Het geeft de beelden een korrelig, gevlekt uiterlijk, met een willekeurige verdeling van kleine lichte en donkere gebiedjes (speckle-pieken en -dalen) waarachter anatomische structuren verdoezeld kunnen raken. Gezien de hoge gevoeligheid van het menselijk oog voor typische speckle patronen op normale gezichtsafstand, is het aannemelijk dat speckle de waarnemer afleidt en de overdracht van informatie voor diagnose niet optimaal is. Conventionele beeldbewerkingstechnieken trachten speckle patronen te onderdrukken door signalen te middelen, maar dit gaat meestal ten koste van de scherpte van het beeld.

Een belangrijk probleem in kleurensnelheidsbeeldvorming is, dat de gekleurde bloedstroomsnelheidsprofielen gaten en inkepingen vertonen (gebrek aan spatiële consistentie), die bovendien in ieder nieuw beeld een ander patroon vormen (gebrek aan temporele consistentie). Met name de willekeurige en onvoorspelbare wijze waarop de randen van de snelheidsprofielen veranderen van het ene beeld naar het volgende, vormen een bron van ergernis (zie bijvoorbeeld figuur 6.7). Conventioneel wordt dit effect verminderd door de bloedstroomsnelheidsprofielen in de tijd te filteren met behulp van een laagdoorlaatfilter. Op deze manier wordt echter de daadwerkelijk gemeten bloedsnelheidsinformatie eveneens beïnvloed, wat met name onder dynamische bloedstroomomstandigheden leidt tot een onjuiste weerspiegeling van wat zich in werkelijkheid afspeelt. (Hoofdstuk 2 en 3).

In hoofdstuk 4 wordt een nieuwe benadering tot het bewerken van B-mode ultrageluidsbeelden geïntroduceerd. Hierbij wordt *Level-Dependent spatial Summation* (LDS) toegepast op het tweedimensionale rooster van beeldpunten dat een B-mode beeld vormt. Het komt erop neer dat rond ieder beeldpunt een denkbeeldig blokje wordt gecentreerd. Essentieel is, dat zowel de hoogte van een blokje als zijn grondoppervlak bepaald worden door de helderheid van het beeldpunt waaromheen het blokje is geplaatst, en wel zodanig dat de inhoud van het blokje steeds 1 blijft

(lichte beeldpunten produceren smalle hoge blokjes, donkere punten brede lage). Afhankelijk van de grootte van het grondoppervlak van een blokje, zal het enkele of meerdere roosterpunten bedekken. Door nu voor elke locatie in het beeld (ieder roosterpunt apart) de hoogtes op te tellen van alle denkbeeldige blokjes die die locatie bedekken, wordt een verdeling M van zogeheten "Mach-banden" gevonden. De Mach-banden blijken de posities aan te geven van zowel alle speckle-pieken in het originele B-mode beeld als van de randen van structuren. Door daarnaast voor iedere locatie in het beeld te tellen hoeveel blokjes die locatie bedekken, wordt een verdeling N gevonden, die informatie blijkt te bevatten betreffende het lokale gemiddelde helderheids- of grijswaardeniveau in het originele beeld. De M - en de N -verdeling zijn duidelijk nauw aan elkaar verwant, zodat ze eventueel gelijktijdig kunnen worden berekend. De informatie die besloten ligt in de M - en de N -verdeling, wordt gebruikt om het originele B-mode beeld aan te passen. In de eerste plaats wordt de gemiddelde speckle-korrelgrootte verkleind, door de speckle-pieken in het B-mode beeld te vermenigvuldigen met een factor kleiner dan 1 en de speckle-dalen ongemoeid te laten. Het resulterende beeld lijkt een verhoogde lokale homogeniteit ten toon te spreiden, terwijl het ontstaan van onscherpte in het beeld, een storend neveneffect van het gebruikelijke laagdoorlaatfilteren, is vermeden. In de tweede plaats worden de randen van donkere structuren in het beeld, zoals bloedvaten, herkend op basis van pieken in de M -verdeling die samen vallen met bovengemiddelde waarden in de N -verdeling. De randen kunnen worden benadrukt door de corresponderende beeldpunten te vermenigvuldigen met een factor groter dan 1. In de derde plaats kan het contrast tussen verschillende structuren in het beeld vergroot worden door ieder punt in het B-mode beeld te vermenigvuldigen met een factor die varieert met het lokale N -niveau. De methode wordt in hoofdstuk 4 zowel geëvalueerd op basis van met de computer gesimuleerde signalen als gebruik makende van signalen afkomstig van een weefsel-nabootsend object. Vanwege het relatief lage aantal bewerkingen (bij de modificatie van het B-mode beeld zijn uitsluitend puntoperaties betrokken), lijkt toepassing in real time haalbaar.

In hoofdstuk 5 wordt het concept van de N -verdeling in algemene termen beschreven. Een gedetailleerde theoretische analyse wordt gepresenteerd evenals de resultaten van simulatie-experimenten op een computer. Deze wijzen erop dat de N -verdeling, die rechtstreeks gepresenteerd kan worden aan de waarnemer in de vorm van een grijswaarde beeld, superieur is aan de output van het optimale conventionele lopend-gemiddelde-filter (het zogenaamde L_2 -gemiddelde filter) in lesiedetectieproblemen.

Daar waar het spatiële L_2 -gemiddelde filter een beperkte prestatie heeft wat betreft lesiedetectie in B-mode echobeelden, schiet een doorsnee temporeel laagdoor-

laatfilter tekort als het gaat om de verbetering van real-time kleurensnelheidsbeelden: hoewel de spatiële en temporele consistentie van de bloedsnelheidsprofielen wordt verbeterd, worden plotselinge veranderingen in bloedstroming gemaskeerd. In hoofdstuk 6 wordt een techniek geïntroduceerd die de gewenste verbetering in consistentie laat samengaan met het behoud van alle bloedsnelheidssignalen die beschikbaar zijn. De methode wordt gepresenteerd als een aanpassing in twee stappen van een zogeheten eerste-orde recursief filter, welke elk temporeel (ééndimensionaal) snelheidssignaal uit een spatiëel bloedstroomsnelheidsprofiel apart bewerkt. De modificaties zorgen ervoor dat het filter zijn eigenschappen aanpast aan het lokaal gemeten bloedsnelheidssignaal. Zodoende wordt bereikt dat opeenvolgende snelheidsprofielen vloeiend in elkaar overlopen, terwijl de daadwerkelijk gemeten snelheidsinformatie toch niet wordt aangetast. Het gevolg is, dat de consistentie in een reeks bloedsnelheidsprofielen wordt verhoogd en dat de definitie in de beelden van de gebieden die stromend bloed bevatten, wordt verbeterd. Bovendien vertonen de beelden minder onrust wanneer ze in real-time worden waargenomen. De methode wordt in hoofdstuk 6 geëvalueerd op basis van met de computer gesimuleerde signalen alsmede op basis van signalen opgenomen van een testobject met een siliconen buis waarin bloedstroming wordt nagebootst. Vanwege de eenvoud van de techniek lijkt toepassing in real time mogelijk.

Tenslotte wordt in hoofdstuk 7 de toepassing van level-dependent spatial summation geïllustreerd op basis van drie medische B-mode ultrageluidsbeelden: een beeld van de normale galblaas, een beeld van een borsttumor en een beeld van de normale lever. De resultaten ondersteunen de bevinding van hoofdstuk 4 en 5 dat LDS in potentie een waardevolle nieuwe benadering is tot het bewerken van ultrageluidsbeelden.