



Doctoral Thesis

Evaluation des C-Mode Dopplerverfahrens für die quantitative Blutflussbestimmung

Author(s):

Schumacher, Peter Matthias

Publication Date:

1994

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001374236> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Evaluation des C-Mode Dopplerverfahrens für die quantitative Blutflussbestimmung

ABHANDLUNG
zur Erlangung
des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
Peter Matthias Schumacher
Dipl. El.-Ing. ETH
geboren am 15. Juli 1963
von Schötz LU

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. Max Anliker, Referent
Prof. Dr. Peter Leuthold, Korreferent

1994

Zusammenfassung

Für die echtzeitfähige, quantitative Erfassung des Volumenflusses in Blutgefäßen wurde das Ultraschall C-Mode Dopplerverfahren vorgeschlagen. Es erlaubt erstmals die Bestimmung des Volumenflusses, ohne dass Annahmen über physiologische Verhältnisse oder Schätzungen des sogenannten Einstrahlwinkels gemacht werden müssen. Die Grundlage des C-Mode Dopplers bildet die direkte Umsetzung der mathematischen Flussdefinition in ein Messverfahren.

Das technisch aufwendige Verfahren wurde am Institut für Biomedizinische Technik in einer flexiblen Prototypenform realisiert, um die Möglichkeiten und die Handhabung des neuen Messprinzips zu erforschen. Neben der Mitwirkung an der Entwicklung des Prototypen wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit zwei Schwerpunkte des C-Mode Dopplers untersucht. Zum einen wurde eine Methode für die Bestimmung der optimierten Strahlformung bei den vom Verfahren benötigten zweidimensionalen Arraytransducern vorgeschlagen, und zum anderen wurde ein Algorithmus zur robusten Detektion der Dopplerfrequenz entwickelt.

Um die Sendefelder und die Empfangscharakteristik von zweidimensionalen Transducerstrukturen zu untersuchen, wurde eine Simulationssoftware entwickelt, welche die Simulation sämtlicher wesentlicher Parameter eines 2D-Array- oder eines segmentierten Annulärtransducers ermöglicht. Insbesondere können neben der Bestimmung der Nahfeldverhältnisse bei gepulster Anregung auch Linsen und gekrümmte Oberflächen, welche die ganze Apertur beeinflussen, vorgegeben werden. Ferner ist es möglich, beliebige, arbiträre Transducerformen zu definieren und diese als Mehrelementetransducer zu betreiben. Für die vom C-Mode Verfahren verlangte parallele, möglichst homogene Ausschallung der Messschicht und die dazu

notwendige Aufweitung des Sendefeldes der Arraytransducer wurde ein Softwarepaket entwickelt, welches für eine vorgegebene Transducer- und Messschichtengeometrie die bestmögliche Ansteuerung der Einzelelemente des Transducers findet. Für die auf den simulierten Einzelementfeldern aufbauende Optimierung kamen zwei unterschiedliche Strategien zur Anwendung: eine Gradientenmethode und das sogenannte 'Simulated Annealing'. Trotz hohem Rechenaufwand erwies sich Simulated Annealing als die erfolgreichere Strategie, weil damit meistens ein gutes lokales oder sogar das globale Optimum der Transduceransteuerung gefunden wurde. Es konnte weiter gezeigt werden, dass für eine gute Aufweitung auch mechanische Fokussiermethoden wie Linsen und/oder gekrümmte Oberflächen eingesetzt werden können; diese verschlechtern aber die Empfangsqualität massiv, so dass die optimierte elektronische Aufweitung zu bevorzugen ist.

Für die Auswertung der 2D-Geschwindigkeitsinformationen beim C-Mode Doppler wurden drei Methoden analysiert. Neben Echtzeitexperimenten wurde dazu ein versatiler Dopplersignal-Generator entwickelt, der realistische Empfangssignale für fast beliebige Transducer/Gefäß-Kombinationen generieren kann, um so eine Evaluation unter bekannten Randbedingungen durchführen zu können. Als wenig geeignet zeigte sich eine Verarbeitung im Zeitbereich, wo die Robustheit der Detektion an der zu groben lateralen Auflösung der eingesetzten 2D-Transducer scheiterte. Als weitere Variante wurde eine Auswertung mit Neuronalen Netzen untersucht, wobei ein trainiertes Neuronales Netz die mittlere Frequenz im Dopplerspektrum erkennt. Die erzielten Resultate belegen, dass nur dem Netz bekannte Signalverhältnisse richtig ausgewertet werden können, d.h. eine allgemeine Anwendung dieser Methode ist nicht ratsam. Als leistungsfähigster Detektor erwies sich eine Weiterentwicklung des Mean Frequency Followers, der Adaptive Mean Frequency-Detektor mit Minimum Power Tracking. Auch bei schlechtem Signal/Geräuschleistungsverhältnis kann dieser Detektor die mittlere Frequenz des Dopplersignals stabil erkennen, und die Gefäßsgrenzen werden auch bei Samplevolumen-Übersprechen richtig erkannt.

Messungen mit dem C-Mode Prototypen am Flussphantom bestätigten die postulierten Eigenschaften des Verfahrens und bewiesen die Robustheit des vorgeschlagenen Frequenzdetektors.

Abstract

For the quantitative real-time measurement of volume flow in blood vessels the ultrasound C-Mode Doppler procedure has been proposed. For the first time it allows for the assessment of volume flow without making assumptions of physiological conditions or estimations of the so-called angle of incidence. The C-Mode Doppler is based on the adaptation of the mathematical flow definition to a measuring procedure.

The technically demanding procedure was realised in a flexible prototype form at the Institute of Biomedical Engineering in order to study the possibilities and the handling of the new measuring principle. Apart from the co-operation in the development of the prototype two main points of interest were considered in the scope of this work. Firstly a method for the definition of the optimal beam steering for the required two dimensional array transducers has been proposed and secondly an algorithm for the robust detection of the Doppler frequency has been developed.

In order to investigate the transmit beams and the receiving patterns of two dimensional transducer structures a simulation software has been developed, that allows for the simulation of all relevant parameters of a 2D-array or a segmented annular transducer. Apart from the determination of the near field properties when using pulsed excitation it is particularly possible to define lenses or curved apertures that influence the whole aperture. Furthermore any arbitrarily shaped transducer can be defined and be used as a multi-element transducer. For the parallel and homogenous insonification of the measuring slice — as required by the C-Mode procedure — and the therefore mandatory widening of the transmit beam of the array transducer a software has been developed, which finds the best steering parameters

for each element for a given transducer and measuring slice configuration. The optimization is based on the simulated sound field of a single element. Two different optimization strategies were used: one was a gradient method, the other was the so-called 'simulated annealing' method. In spite of the high computing demand, simulated annealing proved to be the more successful strategy, because mostly a good local or even the global optimum for the transducer steering parameters was found. Further could be shown, that with mechanical steering methods like lenses and/or curved apertures a good widening can be achieved; however they massively deteriorate the receiving quality, so that the optimized electronic widening is to be preferred.

For the processing of the 2D velocity information from the C-Mode Doppler three methods were analyzed. Apart from real-time experiments a versatile Doppler signal generator was developed for that purpose. It can generate realistic receiving signals of almost any transducer/vessel combination, and therefore allows for an evaluation with known boundary conditions. The processing in the time domain proved to be unsuccessful; it failed because of the too coarse lateral resolution of the used 2D transducer. As a further method the processing with neural networks was investigated, where a trained neural network detects the mean frequency in a Doppler spectrum. The results that were obtained, show that only signal conditions known to the net were correctly evaluated, which means, that the general use of this method is not advisable. The most powerful detector proved to be an elaboration of the mean frequency follower: the adaptive mean frequency detector with minimum power tracking. Even in the presence of a low signal to noise ratio this detector evaluates the mean frequency of a Doppler signal with good stability. In addition the vessel walls are still correctly recognized in the presence of sample volume crosstalk.

Measurements with the C-Mode prototype at a flow model confirmed the postulated properties of the procedure and proved the robustness of the proposed frequency detector.