

Diss. ETH Nr. 7053

ERFASSUNG VON BLUTGEFAESSERKRANKUNGEN
MIT HILFE EINES COMPUTERUNTERSTUETZTEN
ULTRASCHALLDOPPLERGERAETES

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels eines
Doktors der technischen Wissenschaften
der
EIDGENOESSICHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZUERICH

vorgelegt von

MARCO BERTOLI

Dipl. El. Ing. ETH Zuerich
geboren am 30. Mai 1953
von Novaggio (Kt. Tessin)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. M. Anliker, Referent
Prof. Dr. P. Leuthold, Korreferent

Zuerich 1982

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der vorliegende Arbeit wurde ein computerunterstuetztes vielkanaliges Ultraschall-Doppler-Geraet entwickelt, das perkutan die quantitative quasi-instantane Bestimmung von Blutgeschwindigkeit und Blutfluss erlaubt.

Das Geraet basiert auf einer Grundfrequenz von 4.2 MHz und hat eine Reichweite von 10cm. Die Verarbeitung des demodulierten Echosignals erfolgt digital unter Verwendung eines Multiplexverfahrens, mit dem in 64 verschiebbaren Kanaelen Betraege und Richtungen der Geschwindigkeiten ermittelt werden.

Die computergesteuerte Signalverarbeitung ermoeoglicht eine Optimierung der Geschwindigkeitsbestimmung durch eine geeignete Anpassung der wesentlichen Systemparameter die vorliegenden Messverhaeltnisse. Unter anderem sind mittels des Computers die Sendepulslaenge, die Pulsrepetitionsfrequenz, die Kanalabtastfrequenz und die Auswertzeit bei der Frequenzbestimmung sowie Anzahl und Distanz der Kanaele waelhbar.

Zur Unterdrueckung der quasistationaeren Echos, die hauptsaechlich von Gefaesswandbewegungen herruehren, wurde ein digitales Filter 4.Ordnung realisiert, dessen Grenzfrequenz durch entsprechende Aenderung der Koeffizienten via Computer gewahlt werden kann. Die Steilheit der Charakteristik dieses Filters sowie die variierbare Grenzfrequenz erlauben eine dem Messproblem angepasste Trennung der stoerenden quasi-stationaeren Echos vom Dopplersignal bei minimalem Verlust an Aufloesung im Bereiche kleiner Geschwindigkeiten.

Das Filter ist als analog-digitale Schleife realisiert und uebernimmt gleichzeitig die Aufgabe, das demodulierte Echosignal mit grosser Aufloesung und Geschwindigkeit (16bit, 2MHz) zu digitalisieren.

Die Synthese und Simulation sowie die zahlreichen Realisierungsaspekte, die mit dem Bau des Stationaerecho-Filters verbunden sind, werden eingehend behandelt. Vorgestellt wird eine flexible Loesung mit einem speziell fuer diese Aufgabe zugeschnittenen mikroprogrammierbaren Filterprozessor.

Auswirkungen von Aenderungen der Systemparameter auf die Messgenauigkeit wurden allgemein und im Hinblick auf den praktischen Einsatzes des Systems untersucht. Eine unguenstige Wahl der Grenzfrequenz des Stationaerecho-Filters manifestiert sich durch signifikante Verfaelschungen der Geschwindigkeitsprofile, Flusskurven und mittleren Flusswerte. Die zugehoerigen Daten basieren auf Messungen am Flussmodell und an Probanden.

Der mit dem Geraet gekoppelte Computer steuert die Parameterwahl, berechnet die Stoemungsparameter und verwaltet die Messdaten. Die Verwendung eines digitalen Displays erlaubt eine uebersichtliche farbkodierte Darstellung der

Zusammenfassung

Geschwindigkeitsprofile sowie eine prompte Sichtbarmachung der Resultate. Dank der Computerunterstützung ist eine einfache und komfortable Bedienung des Gerätes gewährleistet. Die Wählbarkeit der Systemparameter erlaubt den Einsatz des Doppler-Messsystem fuer die Untersuchung der Blutstroemung in Gefaessen der Halsregion, des Abdomens und der Extremitaeten.

Mit dem Ziel, die Blutstroemung der extrakraniellen zerebralen Arterien zu erfassen, wurde als erste klinische Anwendung eine Serie von 13 gesunde Probanden untersucht und die mittleren Flusswerte in der A.Carotis Communis, A.Carotis Interna und A.Carotis Externa bestimmt. Die Messresultate lassen sich anhand eines Flussbilanztestes ueberpruefen, indem man die Summe der Fluesse in der A.Carotis Interna und Externa dem Fluss in der A.Carotis Communis gegenueberstellt. Die Messresultate zeigen, dass bei Vermeidung von Bewegungsartefakten die Bilanz mit einem Fehler von weniger als 20% behaftet ist.

Als klinisches Beispiel werden Messungen in der Carotisbifurkation eines Hirnschlag-Patienten dokumentiert. Der Bilanztest ist innerhalb von 4% erfuehrt und erbringt eine objektive Bestaetigung des vermuteten Verschlusses der A.Carotis Interna sinistra.

SUMMARY

A computer assisted multichannel pulsed ultrasound Doppler-instrument was developed for the percutaneous evaluation of the velocity distribution and volume flow rate in blood vessels. The instrument utilizes an ultrasound frequency of 4.2 MHz and has a range of 10 cm. It determines magnitude and direction of the velocity in 64 contiguous distance intervals (channels) by digitally processing the demodulated echo signals on the basis of a multiplex procedure.

The signal processing can be rendered nearly optimal through an appropriate choice of varyable instrument-parameters in accordance with the measuring conditions on hand. For example, it is possible to choose via computer the pulse length, the pulse repetition frequency, the number of distance intervals (channels) and their distance from the transducer.

To suppress the quasi-stationary echoes induced by the slightly moving vessel walls a fourth order digital filter was designed whose cut-off frequency can be selected by corresponding computer commands. This permits a distinct separation of the quasi-stationary echoes from the Doppler-signal with a minimal loss in velocity resolution. As the velocities near the vessel wall are generally small the filter plays a particular important role in their accurate determination.

The effects of varying the instrument-parameters on the measuring accuracy are examined in general and in regard to practical applications of the system. Inadequate selections of the filter cut-off frequency manifest themselves by marked errors in the spatial velocity profiles, the temporal flow patterns and the mean flow. The corresponding data have been obtained through measurements on a laboratory model of the circulatory system and on blood vessels of volunteers.

The computer utilized controls the instrument-parameters, computes the flow variables and manages the measurement data. The on-line display of the instantaneous velocity profiles in color-coded form on a video monitor provides for a convenient and continuous assessment of the flow patterns. Preliminary clinical tests have proven the applicability of the Doppler-system to evaluate the flow in blood vessels in the neck region, in the abdomen and in the extremities.

A systematic study was performed with the system on 13 healthy volunteers whose blood flow in the A.Carotis communis, the A.Carotis interna and the A.Carotis externa were quantified. The reliability of the measurements was examined by way of a flow balance test in which the volume flow in the A.Carotis communis was compared with the sum of the flows in the A.Carotis interna and externa. The data show a balance error of less than $\pm 20\%$ when motion artefacts are avoided.

Finally the system was applied in the case of a stroke patient with an occluded A.Carotis Interna on the left side. The balance test was met within 4% and the flow data provided an objective confirmation of the tentative clinical diagnosis.