

Diss. ETH Nr. 9961

**Digitale Signalverarbeitung
für Hörbehinderte:**

Mehrkanalige Lautheitskorrektur im Frequenzbereich

ABHANDLUNG

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

vorgelegt von
Thomas Fröhlich
Dipl. El. Ing. ETH
geboren am 6. Juni 1964
von Basel/BS

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. M. Anliker, Referent
Dr. N. Dillier, Korreferent

Zürich 1993

Kurzfassung

Konventionelle Hörgeräte leisten für viele sensorineural hörgeschädigte Personen nur beschränkte Hilfe. Vor allem in Situationen mit Störgeräuschen oder mehreren Sprechern ist die Sprachdiskrimination schwierig. In den letzten 20 Jahren wurde immer wieder versucht, mittels einer Mehrkanal-Verarbeitung (Aufteilen des Eingangssignals in mehrere Frequenzbänder und unabhängige Verstärkung jedes einzelnen Kanals) die Sprachverständlichkeit zu erhöhen. Mit der Entwicklung schneller digitaler Signalprozessoren ist es möglich, komplizierte Algorithmen für die Sprachverarbeitung in Echtzeit zu realisieren. Zur Kompensation des häufig bei sensorineural hörgeschädigten Personen auftretenden Rekrutments wurde ein Algorithmus zur frequenz- und intensitätsabhängigen Verstärkung des Eingangssignals implementiert und mit 13 Versuchspersonen evaluiert. Der Algorithmus basiert auf einer Filterung im Frequenzbereich, bei dem das Kurzzeitamplituden-Spektrum gemäss individuell programmierbaren Tabellen verändert wird. Da die bisher verwendeten Einstellregeln für ein kompliziertes Hörgerät bei weitem nicht genügend sind, wurde ein Verfahren entwickelt, um möglichst viele Parameter des Algorithmus durch einfache audiometrische Messungen zu bestimmen. Das Kernstück der Anpassmethode ist eine Lautheitsskalierungsprozedur mit Sinustönen bei verschiedenen Frequenzen. Durch Vergleich der Lautheitsfunktionen einer Gruppe von normalhörenden Personen mit den Ergebnissen der hörgeschädigten Person ist es möglich, den meist frequenz- und intensitätsabhängigen Hörverlust zu bestimmen. Da die Messungen mit schmalbandigen Signalen durchgeführt werden, enthält der Algorithmus ein einfaches Lautheitsmodell, mit dem die unterschiedliche Lautheitswahrnehmung von schmal- und breitbandigen Signalen korrigiert werden kann.

Der Algorithmus wurde bei unterschiedlichen Intensitäten und Signal/Rauschabständen sprachaudiometrisch untersucht. Als Vergleich diente jeweils das konventionelle Hörgerät der Versuchsperson. Bei den Sprachtests in Ruhe bei einer Intensität von 70 bzw. 60 dB SPL konnte eine mittlere Verbesserung der Sprachverständlichkeit von 15 bzw. 30 % beim Konsonantentest und 5 bzw. 15% beim Vokaltest erreicht werden. In der Situation mit Störgeräuschen ($S/N=0$ dB und $S/N=-5$ dB) war die Verbesserung 14 bzw. 16% beim Konsonantentest und 8 bzw 15% beim Vokaltest gegenüber dem konventionellen Hörgerät. Einzelne Versuchspersonen konnten ihre Sprachdiskrimination um bis zu 60 % steigern. Eine Verallgemeinerung dieser Resultate ist nicht zulässig, da die Ergebnisse unter künstlichen Laborbedingungen und mit einer relativ geringen Anzahl Versuchspersonen erreicht wurden. Trotzdem scheint der digitale Algorithmus zumindest für einige Hörbehinderte in der Lage zu sein, die Sprachverständlichkeit signifikant zu erhöhen. Für eine weitere Evaluation müsste ein tragbares System entwickelt werden, mit dem auch Feldversuche in einer natürlichen Geräuschumgebung durchgeführt werden könnten.

Abstract

Many persons with sensorineural hearing loss profit only in a limited way from a conventional hearing aid. Speech discrimination often becomes difficult in situations with background noise or multiple speakers. In the last two decades, many authors have reported attempts to improve these speech discrimination abilities using a multiband approach (i.e. splitting the signal into several frequency bands and then amplifying and compressing each of the respective bands separately). With fast digital signal processors, it is now possible to implement complex algorithms in real-time to perform speech processing for the hearing impaired.

In this work, an algorithm was developed which compensates for the recruitment associated with sensorineural hearing loss. The algorithm operates in the frequency domain and is able to perform frequency-dependent as well as intensity-dependent filtering of an input signal. The filtering is achieved by modification of the short-time amplitude spectrum according to pre-programmed tables which contain data related to the individual hearing loss. Existing hearing aid fitting procedures are not sufficient for fitting a complex digital hearing aid. Consequently, a new procedure was developed which would determine most of the required processing parameters through simple audiometric measurements. The heart of this new method is a loudness scaling procedure involving sinewave tones at different frequencies to assess the loudness function. By comparing the resulting loudness function from a hearing impaired subject with that from a normal hearing group, the individual frequency- and intensity-dependent hearing loss can be determined. The measurements are performed with narrowband signals and the algorithm uses a simple loudness estimation model to correct for differences in loudness perception between a narrowband and a broadband signal.

The algorithm was evaluated with 13 hearing impaired persons under several conditions in quiet and with background noise. Speech discrimination was evaluated with their own conventional hearing aid as well as the digital hearing aid. The mean improvement in speech recognition scores for the test in quiet at 70 and 60 dB SPL were 15% and 30% respectively for a consonant test, and 5% and 15% respectively for a vowel test. Some subjects indicated an improvement in speech recognition scores of up to 60% with the digital hearing aid.

A generalization of these results is not possible because the tests were performed under laboratory conditions with only a few subjects. Nevertheless, it seems that the digital algorithm is able to significantly improve speech discrimination for at least some hearing impaired subjects. To evaluate the algorithm further, implementation in a wearable device will be necessary so that field trials can be conducted in a natural noisy environment.