

Technische Evaluierung verschiedener Verfahren zur binauralen Synchronisation der Dynamikkompression in Hörgeräten

Mareike Buhl^{1*}, Birger Kollmeier^{1,2,3}, Stephan M. A. Ernst^{1,3}

¹ CvO Universität Oldenburg, Department für medizinische Physik und Akustik,
² Fraunhofer IDMT

³ Cluster of Excellence 'Hearing4all'

* E-Mail: mareike.buhl@uni-oldenburg.de

Einleitung

Im Alltag kommt es oft zu Situationen, in denen man einen bestimmten Sprecher verstehen möchte, zusätzlich aber noch Störsprecher und weitere Störgeräuschquellen vorhanden sind. Zur Lösung dieser Herausforderung nutzt das gesunde auditorische System u.a. verschiedene binaurale Informationen, wie z.B. die interaurale Pegeldifferenz (ILD) oder die interaurale Zeitdifferenz (ITD).

Bei Schwerhörigen ist der Dynamikbereich des hörbaren Schalls aufgrund des Verlusts von äußeren Haarzellen häufig stark eingeschränkt (Recruitment). Um dennoch alle wichtigen Informationen erfassen zu können, muss dieser Verlust durch z.B. den geeigneten Einsatz eines Dynamikkompressionsalgorithmus im Hörgerät kompensiert werden.

Eine auf beiden Ohren unabhängig durchgeführte Dynamikkompression allerdings kann zu einer Verfälschung der wichtigen binauralen Information und somit u.a. zu einer veränderten Lokalisation führen [1].

Im Folgenden wird gezeigt, dass eine binaurale Synchronisation der Dynamikkompression in der Lage ist, die ursprüngliche Signal-ILD zu erhalten und somit trotz einer notwendigen Hörgeräteversorgung die Informationen für eine korrekte Lokalisation nicht zerstört.

Dynamikkompressionsalgorithmen

Es wurden drei Varianten eines modellbasierten Dynamikkompressionsalgorithmus (MDC2, [2]) in Bezug auf ILD-Erhalt getestet. Abbildung 1 zeigt schematisch das Funktionsprinzip des Dynamikkompressors. Er besteht im Wesentlichen aus einer Teilbandfilterung [3] mit anschließender Pegelbestimmung in jedem Filter. Hieraus wird hörverlustabhängig eine Verstärkung ermittelt und angewendet. Abschließend wird das Signal mit Hilfe einer weiteren Filterbank resynthetisiert.

Neben der bilateral unabhängigen Variante wurden zwei verschiedene Möglichkeiten, die Dynamikkompressoren zwischen den Ohren binaural zu koppeln, untersucht. Bei der Langzeitpegelkopplung (MDC2_{bin}) wird die Summe der Pegelschätzung beider Ohren gebildet und zur Verstärkungsbestimmung verwendet.

Bei der Synchronisation der verschriebenen Verstärkung (MDC2_{binGain}) werden Pegelschätzung und Berechnung der Verstärkung zunächst wie im nicht gekoppelten Fall MDC2 unabhängig durchgeführt, anschließend aber die minimale Verstärkung von beiden Ohren gebildet und dann auf beiden Ohren gleich angewendet.

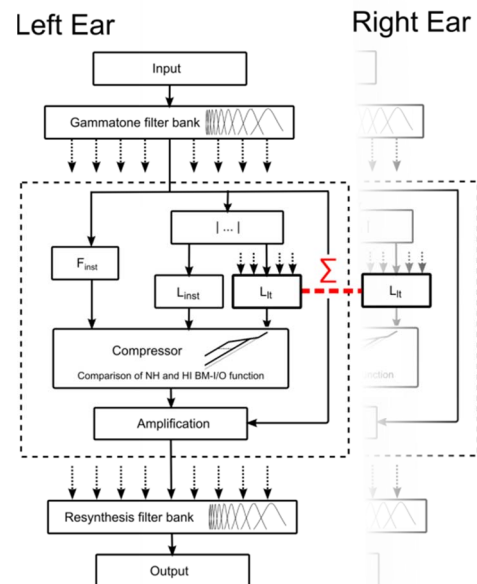


Abbildung 1: Blockschaubild des über die Langzeitpegel-Schätzung gekoppelten Algorithmus MDC2_{bin}.

Stimuli/Konditionen

Angelehnt an [4] werden durch Faltung mit Kopfübertragungsfunktionen [5] räumliche Testsituationen erzeugt. Die Abkürzung S₀N₃₀ steht dabei z.B. für ein Zielsignal von vorne (Azimutwinkel 0°) und ein Störsignal von rechts (Azimutwinkel +30°). Als Zielsignal wird Sprachmaterial aus dem Oldenburger Satztest [6] verwendet, als Störgeräusch das International Speech Test Signal [7].

Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der ILD in der Testsituation S₀N₀ in Abhängigkeit von der Zeit. Für die Simulation wurde außerdem ein asymmetrischer Hörverlust angenommen. Die unverarbeitete ILD zeigt sich als nahezu null, da die räumliche Kondition symmetrisch ist. Durch die Algorithmen MDC2 und MDC2_{bin} ergibt sich hörverlustbedingt eine ILD von etwa 11 dB. Dieser durch die Kompensation des individuellen Hörverlusts entstehende, konstante Offset ist für den Schwerhörigen in der Regel aber erlernbar und spielt somit für die Richtungsperzeption keine wesentliche Rolle. Mit MDC2_{binGain} bleibt die ILD und somit der Herkunftseindruck wie im unverarbeiteten Fall erhalten, jedoch wird durch die Anwendung der minimalen Verstärkung nur das physiologisch bessere Ohr optimal versorgt.

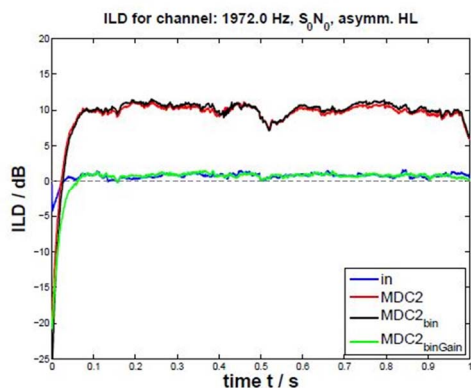


Abbildung 2: Interaurale Pegeldifferenz (ILD) in der räumlichen Kondition S_0N_0 bei asymmetrischem Hörverlust für unverarbeitete Signale (blau) sowie für Verarbeitung durch die modellbasierten Algorithmen MDC2 (rot), $MDC2_{bin}$ (schwarz) und $MDC2_{binGain}$ (grün).

In der in Abbildung 3 gezeigten Situation S_0N_{30} ist der Hörverlust nun symmetrisch, damit der Einfluss der räumlichen Asymmetrie des Testszenarios isoliert betrachtet werden kann. Es kann beobachtet werden, dass für den ungekoppelten Algorithmus MDC2 die ILD signalabhängig um bis zu 3 dB verschoben wird, mit den beiden getesteten Kopplungsvarianten bleibt der Verlauf der unverarbeiteten ILD aber weitestgehend erhalten. Bestätigt wird dies auch durch den zwischen Eingangs- und Ausgangs-ILD gebildeten Korrelationskoeffizienten von 0.95 bzw. 0.96 im Gegensatz zu 0.73 für den ungekoppelten MDC2.

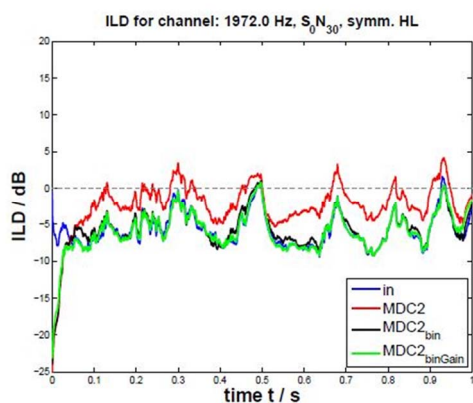


Abbildung 3: Interaurale Pegeldifferenz (ILD) in der räumlichen Kondition S_0N_{30} bei symmetrischem Hörverlust für unverarbeitete Signale (blau) sowie für Verarbeitung durch die modellbasierten Algorithmen MDC2 (rot), $MDC2_{bin}$ (schwarz) und $MDC2_{binGain}$ (grün).

Im Allgemeinen, wenn sowohl Hörverlust als auch räumliche Situation asymmetrisch sind, addieren sich die bisher gezeigten Effekte. Binaurale Synchronisation kann gerade dann beim Erhalt binauraler Information deutliche Vorteile gegenüber bilateraler Versorgung der Ohren mit Dynamikkompressoren zeigen. Hierbei ist für eine optimale Versorgung $MDC2_{bin}$ dem $MDC2_{binGain}$ vorzuziehen, da dieser nur ein Ohr optimal versorgen kann.

Sprachverständlichkeit

Zusätzlich zur reinen ILD wurde für die vorliegenden Situationen und Algorithmen auch die Sprachverständlichkeit mithilfe des binauralen Sprachverständlichkeitsmodells BSIM [8] untersucht. Im Modell wird hierzu aus dem maximalen SNR von linkem und rechtem Ohr sowie einer binauralen Equalization-Cancellation-Stufe (EC) ein binauraler Speech Intelligibility Index (SII) berechnet.

Passend zu den in [4] mit 16 schwerhörenden Probanden gemessenen Sprachverständlichkeitsschwellen zeigen die Modellergebnisse, berechnet in 20 ms-Abschnitten, dass zwar in räumlich getrennten Situationen ein größerer SII erreicht wird, aber auch, dass sich keine Unterschiede zwischen den getesteten gekoppelten und ungekoppelten Algorithmusversionen ergeben.

Eine detaillierte Betrachtung der während der Rechnung genutzten SNRs zeigt, dass in dem getesteten Szenario der SNR für das linke Ohr sowie der SNR der EC-Stufe nahezu identisch sind. Somit deuten sowohl die Modellanalyse wie auch die gemessenen Daten aus [4] darauf hin, dass die Sprachverständlichkeit im getesteten Szenario im Wesentlichen nur durch das bessere Ohr bestimmt wird.

Literatur

- [1] Wiggins, I.M., and Seeber, B.U. (2012). "Effects of dynamic-range compression on the spatial attributes of sounds in normalhearing listeners," *Ear. Hear.* 33, 399-410.
- [2] Ewert, S.D., Kortlang, S., and Hohmann, V. (2013). "A model-based hearing aid: Psychoacoustics, models and algorithms," *Proceedings of the ICA/ASA meeting, Montreal.*
- [3] Hohmann, V. (2002). "Frequency analysis and synthesis using a Gammatone filterbank," *Acta acustica united with Acustica* 88, 433-442.
- [4] Ernst, S.M.A., Grimm, G., and Kollmeier, B. (2013). "Evaluation of a binaurally-synchronized dynamic-range compression algorithms for hearing aids," *Proceedings of the ICA/ASA meeting, Montreal.*
- [5] Kayser, H., Ewert, S.D., Anemüller, J., Rohdenburg, T., Hohmann, V., and Kollmeier, B. (2009). "Database of multichannel inear and behind-the-ear head-related and binaural room impulse responses," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2009, Article ID 298605.
- [6] Wagener, K., Brand, T., Kühnel, V., and Kollmeier, B. (1999a). "Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache. I. Design des Oldenburger Satztests," *Zeitschrift für Audiologie/Audiological Acoustics* 381, 4-14.
- [7] Holube, I., Fredelake, S., Vlaming, M., Kollmeier, B. (2010). "Development and analysis of an international speech test signal (ISTS)," *Int. J. Audiol.* 49, 891-903.
- [8] Beutelmann, R., Brand, T. (2006). "Prediction of speech intelligibility in spatial noise and reverberation for normal-hearing and hearing-impaired listeners," *J. Acoust. Soc. Am.* 120 1, 331-342.