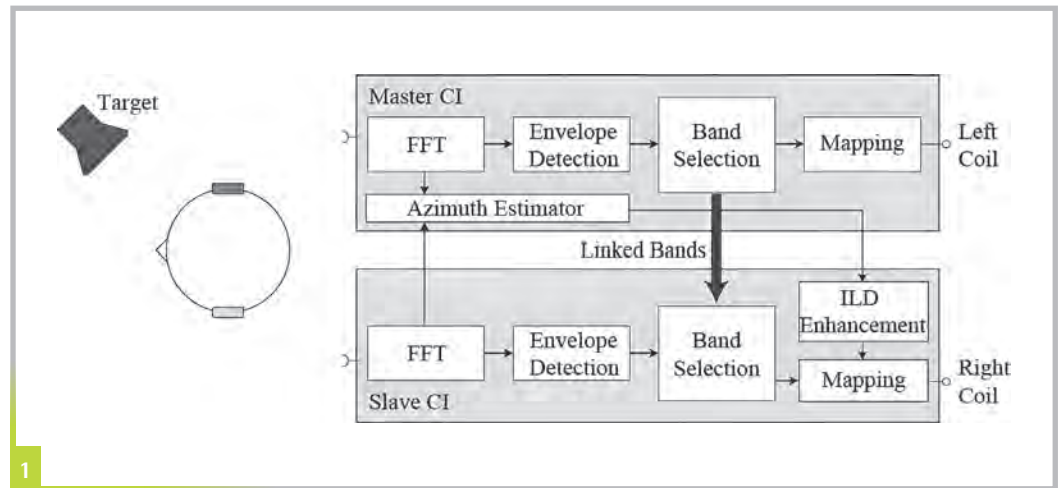


Binaurales Hören:

auf dem Weg zum räumlichen Hören mit Cochlea-Implantaten

Räumliches Hören soll verbessert werden. Während die Auditory Prosthetic Group (APG) der HNO-Klinik der Medizinische Hochschule Hannover (MHH) sich auf binaurale Soundcodierungsstrategien für Cochlea-Implantate sowie grundlegende Experimente am Menschen konzentriert, werden Wissenschaftler vom Institut für Informationsverarbeitung (TNT) der Leibniz Universität Hannover (LUH) an Kompressionsalgorithmen zur drahtlosen Übertragung von Audio- und elektrischen Signalen für bilaterale Cochlea-Implantate arbeiten.



Ein Cochlea-Implantat (CI) ist ein chirurgisch implantiertes Medizinprodukt, welches den Hörnerv elektrisch stimuliert. Menschen mit schwerem Hörverlust können nach einer Implantation lernen, diese elektrischen Signale als akustische Signale zu interpretieren, und damit das Hörempfinden wiederherstellen. Um CI-Nutzer Vorteile in Bezug auf Sprachverständnis, Sprachentwicklung, Höranstrengung, aber auch kognitiven Funktionen und allgemeiner Lebensqualität zu bieten, werden CIs zunehmend in beide Ohren implantiert. Obwohl momentan CIs hauptsächlich für die monaurale (einseitige) Verwendung entwickelt worden sind, haben mehrere Studien Wahrnehmungsvorteile der bilateralen (beidseitigen) Implantation (bilaterale CIs; BiCIs) und verbesserte Sprachverständlichkeit gezeigt.

Binaurales Hören basiert auf der Kombination der Informationen beider Ohren im Gehirn, was eine akustische Wahrnehmung von Tiefe und Ort der Schallquellen ermöglicht. In der horizontalen Ebene wird die Lokalisation unter Verwendung des Azimutwinkels gemessen.

Jeder Unterschied im Schall, der an den beiden Ohren ankommt (interaurale Differenz), kann zur Lokalisation der Schallquelle verwendet werden. Drei Eigenschaften können verwendet werden, um die Schallrichtung wahrzunehmen: interaurale Zeitunterschiede (ITDs), interaurale Pegelunterschiede (ILDs) und die gerichtete spektrale Filterung durch Kopf und Ohrmuschel. Binaurales Hören bietet gegenüber monauralem Hören mehrere Vorteile für bessere Lokalisation und Sprach-

verstehen in Situationen mit Hintergrundgeräuschen, zum Beispiel durch binaurale Summierung, räumliche Unmaskierung und aufgrund des binauralen Squelch-Effekts.

Aus diesem Grund wurden mehrere Soundcodierungsstrategien vorgeschlagen, um das binaurale Hören gezielt zu verbessern. Allerdings ist die kognitive Fusion bilateraler CI-Stimulationen für CI-Patienten, insbesondere in Bezug auf Sprachverständnis und Lokalisation, variabel und eher eingeschränkt im Vergleich zu Normalhörenden (NH). Die grundlegenden individuellen Mechanismen, die die binaurale Fusion mit BiCIs erklären, bleiben unklar. Darüber hinaus erfordern binaurale Soundcodierungsstrategien die Übertragung von Informationen von einer zur anderen Seite über einen

Abbildung 1
Blockdiagramm der BiNoM-Soundcodierungsstrategie für bilaterale Cochlea-Implantate (BiCIs).

Quelle: MHH/eigene Darstellung

drahtlosen Kanal, der die empfangenen Signale auf beiden Seiten verzerrt kann. Die resultierenden Auswirkungen, die mögliche Fehler bei der Datenübertragung zwischen CIs haben, wurden in Bezug auf Sprachverständlichkeit und Klanglokalisation von BiCI-Benutzern noch nicht untersucht. In den nächsten Jahren werden wir nicht nur neuartige Soundcodierungsstrategien untersuchen, sondern auch Algorithmen zur Codierung und Übertragung der Signale zwischen den Soundprozessoren, um das binaurale Hören zu verbessern. Die Auditory Prosthetic Group (APG) der HNO-Klinik der Medizinische Hochschule Hannover (MHH) wird sich auf binaurale Soundcodierungsstrategien für Cochlea-Implantate sowie auf grundlegende Experimente am Menschen konzentrieren, um die Mechanismen des binauralen Hörens mit elektrischer Stimulation zu verstehen. Das Institut für Informationsverarbeitung (TNT) der Leibniz Universität Hannover (LUH) wird sich auf Kompressionsalgorithmen zur drahtlosen Übertragung von Audio- und elektrischen Signalen in bilateralen Cochlea-Implantaten konzentrieren.

Neue binaurale Audiocodierungsstrategien für Cochlea-Implantate

In früheren Arbeiten haben wir eine binaurale Soundcodierungsstrategie entwickelt, die auf einer monauralen N-von-M-Soundcodierungsstrategie, welche immer nur N der M in einer Cochlea implantierten Elektroden anregt, basiert. Wir nannten es binaurales N-of-M (BiNoM). Diese Soundcodierungsstrategie wurde entwickelt, um die Sprachverständlichkeit und die Lokalisationsfähigkeit von BiCI-Nutzern auf Basis von drei Prinzipien zu verbessern;

1) Abgabe einer bilateral synchronisierten elektrischen Stimulation, 2) Durchführung einer bilateral verknüpften Bandauswahl, also der Stimulation der gleichen N Elektroden in beiden Implantaten und 3) durch künstliche Verstärkung der ILDs basierend auf dem Winkel der Ankunft des Zielschalls (*Abbildung 1*).

In früheren Arbeiten in der APG der HNO Klinik an der MHH haben wir die Wirkung der synchronisierten elektrischen Stimulation und der verknüpften Bandauswahl auf Sprachverständlichkeit von BiCI-Nutzern untersucht. BiCI-Nutzer können durch die Darbietung einer bilateral synchronisierten elektrischen Stimulation (elektrische Impulse werden gleichzeitig auf beiden Seiten für jede Elektrode abgegeben) sowie der Durchführung einer verknüpften Bandauswahl (dieselben Bänder werden in beiden CIs ausgewählt) in einem Worterkennungstest 15 Prozent mehr Wörter im Vergleich zu aktuellen klinischen Setups erkennen.

Darüber hinaus hat das APG die Schalllokalisationsperformance von BiCIs untersucht. Wir charakterisierten die Auswirkungen der ILD-Verbesserung und der verknüpften Bandauswahl auf die Fähigkeit von BiCI-Benutzern, Geräusche zu lokalisieren. Die ILD-Verstärkung basiert auf einer Funktion, die linear mit dem Winkel des Zielschalls variiert. Diese Methode hebt die ILDs hervor, indem eine Abschwächung proportional zum Einfallswinkel auf die aktuellen Pegel des CIs angewendet wird, das sich auf der kontralateralen Seite der Schallquelle befindet. Die verknüpfte Bandauswahl stützte sich auf das CI auf der Seite der Zielschallquelle, das die Bänder für die Stimulation auch für das CI auf der anderen Seite auswählte. Die Er-

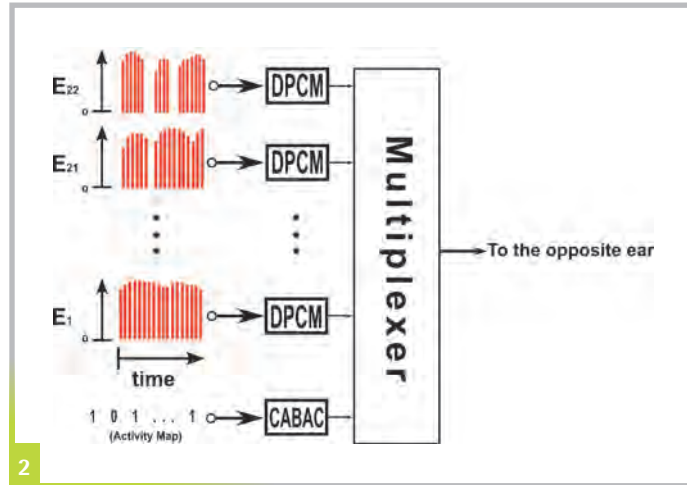
gebnisse der Studie zeigten, dass der ILD-Verstärkungsalgorithmus und die verknüpfte Bandauswahl die Lokalisierungsgenauigkeit in Situationen mit kleinem Azimut verbessern.

Neue Codierungsmethoden für die drahtlose Übertragung für bilaterale Cochlea-Implantate

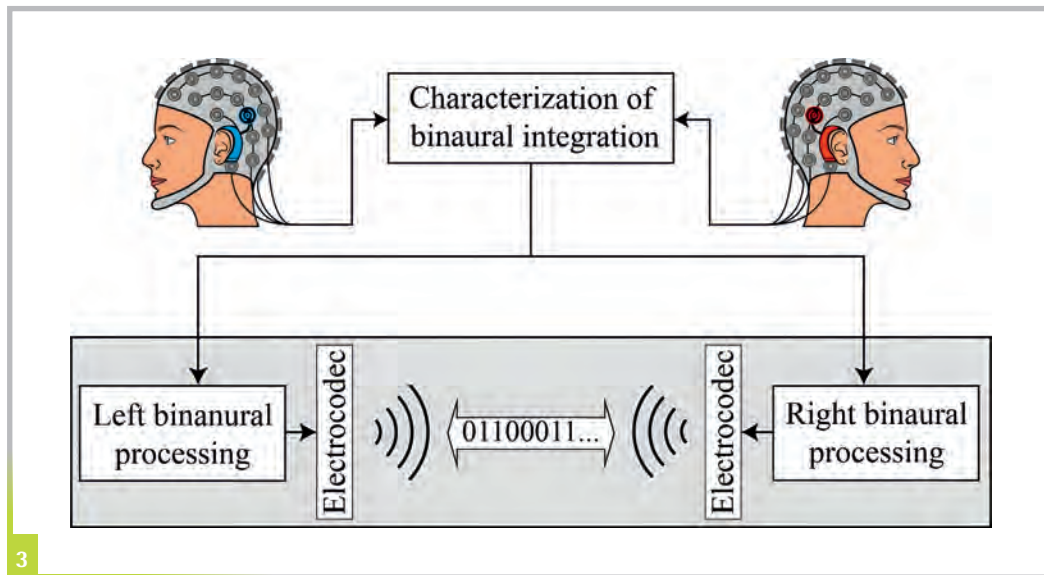
Um binaurale Soundcodierungsalgorithmen wie BiNoM durchzuführen, müssen Audiosignale von zwei CIs, die sich auf gegenüberliegenden Seiten des Kopfes befinden (bilaterale CIs), ausgetauscht werden. Dies erfordert eine Audiokommunikation zwischen beiden CIs, die über einen drahtlosen Kanal durchgeführt wird. Da die Energieversorgung in CIs begrenzt ist und die drahtlose Kommunikation viel Energie benötigt, müssen Audiocodieralgorithmen vor der drahtlosen Datenübertragung angewendet werden. Die Audiocodierung wird angewendet, um die sogenannte Bitrate (Anzahl der Bits pro Sekunde) zu reduzieren, die zur Darstellung eines Signals notwendig ist. Je niedriger die Bitrate, desto weniger Bits pro Sekunde müssen übertragen werden, was die erforderliche Sendeleistung für die drahtlose Kommunikation verringert. Der vielleicht bekannteste Audiocodierungsstandard mp3 ist aufgrund der hohen Latenz für unsere Aufgaben nicht geeignet. Auch die in der Telefonie verwendeten Algorithmen wie G.722 sind mit einer minimalen Latenz von 12,3 ms für die Wiederherstellung des räumlichen Hörens nicht geeignet.

Die aktuelle Generation von CIs ermöglichen den drahtlosen Empfang von Audiosignalen externer Geräte, wie zum Beispiel einem Mobiltelefon. Als batteriebetriebenes Gerät hat ein CI eine begrenzte

Abbildung 2
 Blockschaltbild des Electrocodec bestehend aus differentieller Puls-codemodulation (DPCM) und kontextadaptiver binärer arithmetischer Codierung (CABAC). CABAC codiert die Bandauswahl, dargestellt durch die Aktivitätskarte, einen binären Vektor.
 Quelle: LUH/eigene Darstellung



ten verwendet wird. Die Soundcodierungsstrategie entfernt Signalteile, die für einen CI-Nutzer irrelevant sind. Daher kann das Elektrogramm im Vergleich zu einem Audiosignal mit einer niedrigeren Bitrate codiert werden. Es wurde gezeigt, dass der Electrocodec Low-Delay-Audio-Coderns in Bezug auf Bitrate, Sprachverständlichkeit und Qualität übertrifft und dabei eine algorithmische Latenz von 0 ms erreicht.



In den kommenden Jahren werden wir die grundlegenden Mechanismen der binauralen Fusion untersuchen, um die Variabilität der binauralen Performance von BiCI-Nutzer zu erklären. Dazu werden wir eine neue binaurale Soundcodierungsstrategie (i-BiNoM) mit einem neuen Codec entwickeln. i-BiNoM wird individueller binauraler Integrationsfähigkeiten berücksichtigen und neue KI-Methoden anwenden, um die binaurale Sprachperformance von BiCI zu verbessern.

Waldo Nogueira
 Tom Gajeci
 Reemt Hinrichs
 Jörn Ostermann

Abbildung 3
 Allgemeines Konzept zur Wiederherstellung des binauralen Hörens durch individualisierte drahtlose Soundcodierungsstrategien für Cochlea-Implantat-Träger. Bilaterale Cochlea-Implantat-Träger werden hinsichtlich der binauralen Integration individuell charakterisiert, um eine individualisierte binaurale Soundcodierungsstrategie (i-BiNoM) zu erstellen. Bei dieser Soundcodierungsstrategie werden die beiden Implantate drahtlos mit Hilfe eines Codes verbunden, der speziell für die Übertragung von audiobezogenen Informationen entwickelt wurde.
 Quelle: MHH/eigene Darstellung

Energieversorgung, und daher müssen die Daten für die bilaterale Kommunikation oder das Streaming effizient übertragen werden. Um dieses Problem für unseren Anwendungsfall, dem räumlichen Hören mit Cochlea-Implantaten, zu lösen, schlugen wir den sogenannten Electrocodec für die Daten vor, die an die Elektroden eines CIs gesendet werden. Diese Daten, auch Erregungsmuster genannt, können als Elektrogramme visualisiert werden. Der Electrocodec codiert die Bandauswahl eines CIs mittels einer kontextadaptiven arithmetischen Codierung und die Stromstärke eines Bandes mit-

tels einer Differential Pulse Code Modulation (DPCM). Ein Blockdiagramm, das die Struktur der Electrocodecs darstellt, ist in *Abbildung 2* dargestellt. In BiNoM muss der Electrocodec die Elektrogramme mit niedriger Bitrate und Latenz für die drahtlose, bilaterale Kommunikation mit dem kontralateralen CI komprimieren. Der Electrocodec erreicht im Vergleich zu Audio-Coderns niedrigere Bitraten bei geringeren Latenzen. *Abbildung 3* zeigt eine allgemeine Anwendung, bei der der Electrocodec zusammen mit einer binauralen Soundcodierungsstrategie zum Austausch der erforderlichen Da-

→ Weitere Informationen siehe Autor*innenseiten.