



© Analog Devices

A<sup>2</sup>B-TECHNOLOGIE UND DIGITALE MIKROFONE REDUZIEREN GERÄUSCHKULISSE IM AUTO

## Bitte nicht **stö**ren

Zukünftige Fahrzeugarchitekturen sind zunehmend von leistungsstarker akustischer Sensortechnik wie Mikrofonen und Beschleunigungsaufnehmern abhängig. Ein vollständig digitaler Ansatz, der Sensor, Anschlüsse und Prozessor umfasst, bietet erhebliche Leistungs- und Systemkostenvorteile, wie Analog Devices und Harman International mit ihrer Zusammenarbeit demonstrieren.

Im Bereich der Fahrzeuginnenraumelektronik zeigt sich immer deutlicher, dass sich das Universum der Audio-, Sprach- und Akustikanwendungen rasch ausdehnt, weil Automobilhersteller ihre Fahrzeuge von der Konkurrenz abheben wollen. Darüber hinaus werden die Erwartungen an das Fahrerlebnis und die persönliche Interaktion mit dem Fahrzeug immer größer, da der Durchschnittsverbraucher immer technikaffiner wird. Soundsysteme in Heimkinoqualität sind mittlerweile in allen Fahrzeugpreisklassen üblich und werden durch hochentwickelte Freisprech- (HF) und In-Car-Kommunikationssysteme (ICC) ergänzt. Zudem halten aktive Geräuschunterdrückung (ANC) und Systeme zur Unterdrückung von Fahrbahngeräuschen (RNC), die bis-

her nur in der Oberklasse zum Einsatz kamen, nun in preisgünstigeren Segmenten Einzug. Zukünftig werden akustische oder auf Akustik basierende Techniken zu einer wesentlichen Komponente in den Steuergeräten (ECUs) von Fahrzeugen der Autonomiestufen 4 und 5, wenn diese versuchen, die Anwesenheit von Einsatzfahrzeugen zu erkennen.

All diese Anwendungen verbindet die Abhängigkeit von leistungsstarker akustischer Sensortechnik wie Mikrofonen und Beschleunigungssensoren. Und da fast alle neuen Anwendungen mehrere akustische Sensoren benötigen, um die bestmögliche Leistung auf Systemebene zu erreichen, ist eine einfache, kostengünstige Verbindungstechnologie erforderlich, um eine Minimierung der Gesamtsystemkosten zu

gewährleisten. In der Vergangenheit war das Fehlen einer für Mikrofone optimierten Verbindungstechnologie ein erheblicher Problemfaktor für Automobilhersteller, weil jedes Mikrofon über teure und schwere, abgeschirmte Analogkabel direkt mit der Signalverarbeitungseinheit verbunden werden musste. Diese zusätzlichen Kosten – erstens in Bezug auf die tatsächliche Verkabelung und zweitens in Hinsicht auf das zusätzliche Gewicht und die verringerte Kraftstoffeffizienz – haben in vielen Fällen die weit verbreitete Einführung dieser Anwendungen verhindert oder sie zumindest auf das Super-Premium-Segment beschränkt. Jüngste Fortschritte bei den digitalen Mikrofon- aber auch bei den Verbindungstechnologien erweisen sich als Wegbereiter für die rasche Einfüh-

rung neuer Anwendungen in zukünftigen Infotainment-Systemen. Die A<sup>2</sup>B-Technologie wird dabei eine entscheidende Rolle spielen.

**Einschränkungen analoger Mikrofon-Implementierungen**

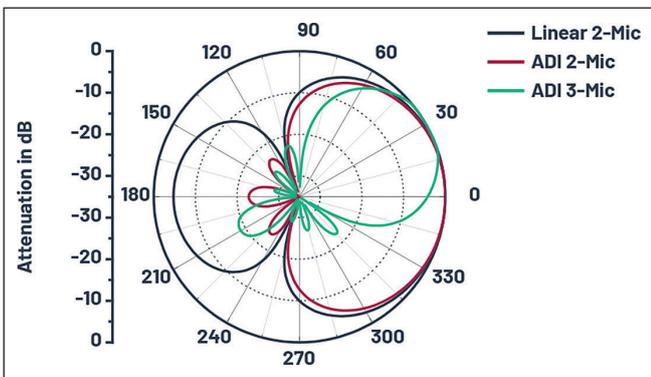
In den meisten Ländern ist es verboten, während des Fahren mit dem Handy in der Hand zu telefonieren, wohingegen Bluetooth-fähige Freisprecheinrichtungen in fast allen Fahrzeugen zur Standardausrüstung gehören. Es sind derzeit diverse Freisprechlösungen erhältlich, von einfachen Stand-alone-Geräten mit einem Lautsprecher und einem Mikrofon bis hin zu fortschrittlichen Lösungen, die vollständig in das Infotainment-System des Fahrzeugs integriert sind. Bis vor kurzem wurden die meisten Freisprechanlagen auf recht ähnliche Weise implementiert. Sie bestanden aus einem (seltener zwei) Mikrofon(en), und die zugehörige Mikrofontechnik war das 50 Jahre alte Elektret-Kondensatormikrofon (ECM). Die Sprachqualität des übertragenen Audiosignals war oft unbefriedigend, vor allem bei einfachen

Stand-alone-Geräten, bei denen der Abstand zwischen Mikrofon und Mund des Sprechers recht groß sein konnte. Die Kommunikationsqualität könnte verbessert werden, wenn das Mikrofon möglichst in Mundnähe montiert würde, beispielsweise im Dachhimmel des Fahrzeugs. In diesem Fall sind jedoch für beide Vordersitze einzelne Mikrofone erforderlich, wenn sowohl Fahrer als auch Beifahrer unterstützt werden sollen.

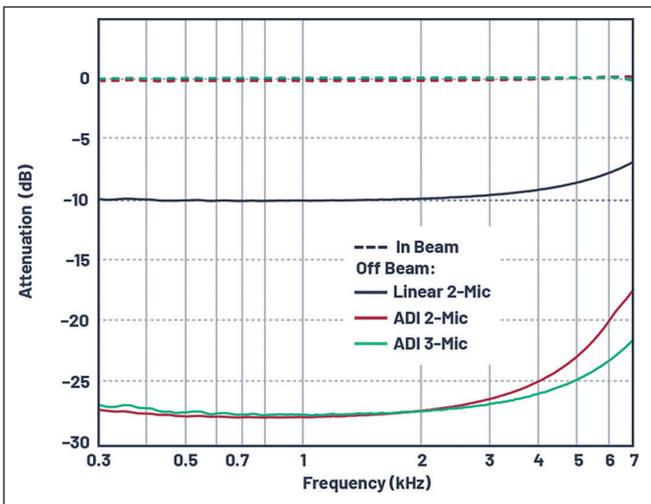
Ein typisches Kfz-ECM ist ein Gerät, bei dem die ECM-Kapsel mit einer kleinen Verstärkerschaltung in einzigen Gehäuse kombiniert ist. Der Verstärker liefert ein analoges Signal mit einem Spannungspegel, der den Transport über mehrere Meter lange Leitungen erlaubt, wie sie in typischen Fahrzeuginstallationen benötigt werden. Ohne Verstärkung wäre das ursprüngliche ECM-Signal für eine solche Leitungslänge zu niedrig, da sich der Signal-Rausch-Abstand (SNR) aufgrund von elektromagnetischen Störungen auf der Leitung zu stark verschlechtern würde. Auch das verstärkte Signal erfordert eine abgeschirmte Verkabelung, die typischerweise als zweidrahtiges Kabel mit einer Vorspannung (8

V) ausgeführt ist, die das Mikrofongerät versorgt. Angesichts dieser Verdrahtungsanforderungen ist es offensichtlich, dass die Anzahl der ECM-Geräte, die im Fahrzeug verwendet werden können in Hinsicht auf Gewicht und Systemkosten begrenzt ist.

Einer der wenigen Vorteile von ECMs ist ihre eingebaute akustische Richtcharakteristik, die in der Regel auf eine Super- oder Hypernierencharakteristik getrimmt ist. Üblicherweise lässt sich eine Rückwärtsdämpfung von 10 dB oder mehr erreichen, wobei „rückwärts“ die Richtung zur Windschutzscheibe bedeutet, von der nur Rauschen – also keine erwünschten Signale, wie die Stimme des Sprechers – ausgeht. Eine höhere Empfindlichkeit in der Eingangsrichtung des gewünschten Signals ist von Vorteil, um das SNR zu erhöhen. Allerdings führen direktionale ECM-Kapseln unerwünschte Nebeneffekte ein, beispielsweise die Hochpasscharakteristik, die dazu führt, dass die Empfindlichkeit bei niedrigeren Frequenzen abnimmt. Die 3-dB-Grenzfrequenz eines solchen Hochpasses liegt typischerweise im Bereich von 300 bis 350 Hz. In den Anfängen der Freisprechtechnik war dieses Hochpassverhalten von Vorteil, weil Motorengeräusche vor allem bei tieferen Frequenzen auftraten, so dass das Motorengeräusch bereits durch das Mikrofon gedämpft wurde. Seitdem jedoch Breitband- oder HD-Telefonie verfügbar ist, beginnt dieses Hochpassverhalten zum Problem zu werden. Bei einem Breitbandanruf erhöht sich die effektive Bandbreite von 300 bis 3.400 Hz auf 100 bis 7.000 Hz. Der eingebaute Hochpassfilter des Mikrofons macht es notwendig, Signale zwischen 100 und 300 Hz in der Nachbearbeitungseinheit zu verstärken, was nicht nötig wäre, wenn das Mikrofon von vornherein eine bessere Audiobandbreite liefern würde. Ein weiterer Nachteil sind die erheblichen Schwankungen von Bauteil zu Bauteil in Bezug auf Empfindlichkeit und Frequenzgang. Die relativ großen Fertigungstoleranzen von ECMs stellen für Einzelmikrofonanwendungen möglicherweise kein Problem dar. Wenn jedoch mehr als ein Mikrofon-signal in einer Mikrofon-Array-Anwendung mit kleinen Abständen eingesetzt wird, ist eine enge Abstimmung zwischen den Mikrofonen für eine optimale



**Bild 1: Richtcharakteristik verschiedener BF-Algorithmen.**  
© Analog Devices



**Bild 2: In-Beam- und Off-Beam-Frequenzgänge (gestrichelte Linien) verschiedener BF-Algorithmen.**  
© Analog Devices

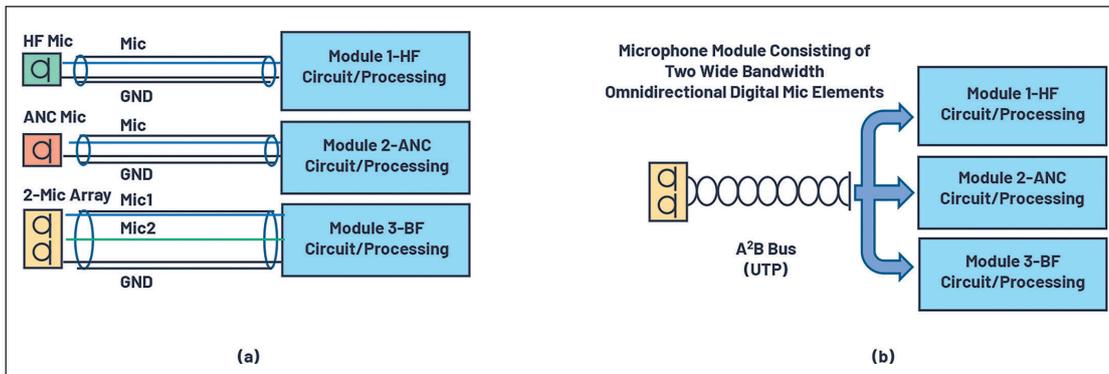


Bild 3: (a) Systemaufbau mit analogen Mikrofon-Elementen (geschirmte Leitungen). (b) Systemaufbau mit digitalen Mikrofon-Elementen (A²B-Technologie und UTP-Leitungen).

© Analog Devices

Array-Leistung unerlässlich. In einem solchen Fall können ECMs kaum verwendet werden. Darüber hinaus sind herkömmliche ECM-Kapseln aufgrund ihrer Größe nicht für Mikrofon-Arrays mit kleinem Formfaktor geeignet.

Mikrofon-Arrays sind inzwischen auch in Fahrzeugen weit verbreitet, weil sie im Vergleich zu herkömmlichen ECMs eine ähnliche und oft sogar bessere Richtwirkung bieten. Mit zwei oder mehr geeigneten Mikrofonen, die in einem Array gruppiert sind, lassen sich aus den Mikrofonsignalen räumliche Informationen über die Auftreffrichtung des Schalls extrahieren. Diese Klasse von Algorithmen wird oft als Beamforming (BF) bezeichnet. Die Bezeichnung Beamforming (Strahlformung) ist eine Analogie zur Phased-Array-Antennentechnik abgeleitet, bei der aus der Abstrahlung einer in eine bestimmte Richtung fokussierten Antennengruppe mit Hilfe eines einfachen, rein linearen Filter- und Summenalgorithmus ein Funk-„Strahl“ gebildet wird. Obwohl es in einem Mikrofonarray keinen derartigen Strahl gibt, ist der Begriff Beamforming auch im Bereich der Mikrofonsignalverarbeitung gebräuchlich. Hier umfasst er eine viel breitere Palette von linearen und nicht-linearen Algorithmen, die eine höhere Leistung und größere Flexibilität als das einfache lineare Strahlformungsverfahren ermöglichen.

Zusätzlich zur BF-Verarbeitung erfordert ein rohes Mikrofonsignal fast immer eine Nachbearbeitung, weil jedes Freisprechemikrofon erwünschte Sprachsignale aber auch Störungen in der Umgebung aufnimmt. Wind-, Straßen- und Motorgeräusche ver-

schlechtern das SNR, und von Lautsprechern wiedergegebene Signale (Lautsprecherechos) sind zusätzliche Quellen für unerwünschte Signale. Um derartige Störungen zu reduzieren und die Sprachqualität zu verbessern, sind digitale Signalverarbeitungstechniken erforderlich, die oft als akustische Echokompensation (AEC) und Störgeräuschunterdrückung (NR) bezeichnet werden. AEC eliminiert den Lautsprecherton vom Mikrofon, der sonst als Echo der Stimme der am anderen Ende der Leitung sprechenden Person übertragen wird. NR reduziert das konstante Fahrgeräusch und erhöht gleichzeitig den Signal-Rauschabstand des übertragenen Signals. Obwohl die Internationale Fernmeldeunion (ITU) umfangreiche Spezifikationen (z. B. ITU-T P.1100 und P.1110) veröffentlicht hat, die viele Leistungsdetails eines Freisprechsystems definieren, kann der subjektive Eindruck der Kommunikationsqualität bei einem Anruf aus einem fahrenden Fahrzeug unbefriedigend sein, wenn die AEC/NR-Verarbeitung von minderwertiger Qualität ist. Zusammen mit dem BF-Algorithmus ermöglicht das Bündel aus AEC/NR/BF neue Anwendungen, die alle mit digitaler Audiosignalverarbeitung zu tun haben. Um diese Anwendungen zu unterstützen, ist eine neue Generation von Mikrofontechnologie erforderlich.

### Vorteile digitaler MEMS-Mikrofone

Die MEMS-Technologie entwickelt sich immer mehr zum neuen Industriestandard für Mikrofone, weil sie viele Vorteile im Vergleich zu ECMs bietet. In erster Linie ermöglicht der Einsatz von MEMS einen kleineren Formfaktor des Schallsensors als bei derzeitigen ECM-Kapseln. Durch die Integration eines MEMS-Sensors mit einem Analog-Digital-Wandler (ADC) in einem IC entsteht zudem ein digitales Mikrofon, das Signale für die AEC/NR/BF-Verarbeitung liefert.

Analog angeschlossene MEMS-Mikrofone ohne integrierten ADC sind ebenfalls erhältlich, haben aber ähnliche Nachteile wie analoge ECMs und benötigen sogar komplexere Verstärkerschaltungen, wenn sie an der analogen Zweidraht-Schnittstelle betrieben werden. Nur mit einer volldigitalen Schnittstellentechnologie lassen sich die Interferenz- und SNR-Probleme, die mit analogen Leitungen verbunden sind, deutlich mildern. Auch aus produktionstechnischer Sicht sind MEMS-Mikrofone zu bevorzugen, weil sie mit viel geringeren Spezifikationsabweichungen hergestellt werden können als ECM-Kapseln, was für BF-Algorithmen von entscheidender Bedeutung ist. Schließlich wird mit MEMS-IC-Mikrofonen der Herstellungsprozess stark vereinfacht, weil sich automatisier-

Merkmale	AD2420/ AD2420W	AD2426/ AD2426W	AD2427/ AD2427W	AD2428/ AD2428W	AD2429/ AD2429W
Hauptknotenfähig	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja
Anzahl erkennbare Unterknoten	–	–	–	Bis zu 10	Bis zu 2
Funktionale TRX-Blöcke	Nur A	A + B	A + B	A + B	Nur B
I <sub>2</sub> S/TDM-Unterstützung	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja
PDM-Mikrofoneingänge	2 Mikros	4 Mikros	4 Mikros	4 Mikros	4 Mikros
Max. Kabellänge von Knoten zu Knoten	5 m	15 m	15 m	15 m	5 m

Tabelle 1. Funktionsvergleich A²B-Transceiver © Analog Devices

te Montagetechniken einsetzen lassen, was die Gesamtproduktionskosten reduziert. Aus Anwendungsperspektive ist der kleine Formfaktor der größte Vorteil. Aufgrund der kleinen Schalleintrittsöffnungen können MEMS-Mikrofonarrays praktisch unsichtbar gemacht werden. Die Öffnung und der Schallkanal zum Sensor erfordern große Sorgfalt in Bezug auf Design und Fertigungsqualität. Wenn die akustische Dichtung nicht richtig geschlossen ist, können Geräusche aus der inneren Struktur den Sensor erreichen. Undichtigkeiten zwischen zwei Sensoren können die Leistung des BF-Algorithmus beeinträchtigen. Anders als typische ECM-Kapseln werden MEMS-Mikrofonelemente fast immer mit Kugelcharakteristik hergestellt. Als solche sind MEMS-Mikrofone phasentreue omnidirektionale Schalldrucksen-

besten durch ein integriertes Algorithmenbündel erreichen, das unverfälschte Mikrofonsignale empfängt.

Im Folgenden werden lineare Standard-BF-Algorithmen und ADI-eigene Algorithmen im Detail verglichen, um das Leistungspotenzial der BF-Algorithmen zu demonstrieren. Die Diagramme in Bild 1 zeigen drei BF-Algorithmen in Hinblick auf die Richtcharakteristik und des Frequenzgangs innerhalb und außerhalb des Strahlungsbündels. Als Benchmark dient dabei ein standardmäßiger linearer Supernieren-Algorithmus auf Basis eines Arrays mit zwei Mikrofonen (schwarze Kurven). Die Benchmark-Kurve zeigt die maximale Dämpfung in den typischen Null-Winkel-Richtungen (d. h. die maximale Rückwärtsdämpfung) und eine „Rückkeule“ bei 180 Grad, wo die Rückwärtsdämpfung geringer ist. Die

der imaginären Linie entspricht, die die beiden Mikrofone verbindet. Die dreidimensionale Strahlform kann man sich durch Drehen des 2D-Polarplots um diese Mikrofonachse vorstellen. Asymmetrische Strahlformen ohne Rotationssymmetrie oder schmalere Strahlen erfordern mindestens drei im Dreieck angeordnete Mikrofone. Beispielsweise kann ein 2-Mikrofon-Array bei einer typischen Overhead-Konsolen-Installation den Schall von der Windschutzscheibe dämpfen. In einer solchen Ausrichtung kann ein 2-Mikrofon-Array jedoch nicht zwischen Fahrer und Beifahrer unterscheiden. Mit einer Drehung des Arrays um 90 Grad könnte es zwar zwischen Fahrer und Beifahrer unterscheiden, aber nicht zwischen den Geräuschen von Windschutzscheibe und des Kabineninneren. Sowohl die Dämpfung von Windschutzscheibengeräuschen als auch die Unterscheidung von Fahrer und Beifahrer sind nur mit drei oder mehr Kugelmikrofonen möglich, die in einem Array angeordnet sind. Eine beispielhafte Richtcharakteristik eines entsprechenden ADI-eigenen 3-Mikrofon-Algorithmus ist durch die grüne Kurve in Bild 1 gegeben, wobei die Mikrofone in einem gleichseitigen Dreieck mit 20 mm Abstand angeordnet sind.

Die Richtdiagramme werden mit bandbegrenztem weißem Rauschen berechnet, das aus verschiedenen Winkeln auf das Mikrofon-Array trifft. Die Audio-bandbreite ist auf 100 bis 7.000 Hz begrenzt, was der Bandbreite (oder HD-Sprachbandbreite) von modernen Mobilfunknetzen entspricht. In Bild 2 sind die Frequenzgangkurven der verschiedenen Algorithmentypen dargestellt. In Richtung des Strahlenbündels ist der Frequenzgang aller Algorithmen erwartungsgemäß flach innerhalb der gewünschten Audiobandbreite. Die Off-Beam-Frequenzgänge werden für den rückwärtigen Halbraum – 90 bis 270 Grad – berechnet und bestätigen eine hohe Rückwärtsdämpfung über einen großen Frequenzbereich. Die Beziehung zwischen Array-Mikrofonabstand und Audiobandbreite im Vergleich zur Abtastrate ist eine weitere Betrachtung wert. Wideband-HD-Voice verwendet eine Abtastrate von 16 kHz, was für die Sprachübertragung eine gute Wahl ist. Es besteht ein enormer Unterschied in der Sprachqualität und Sprachverständlichkeit zwischen der aktuellen 16-kHz-

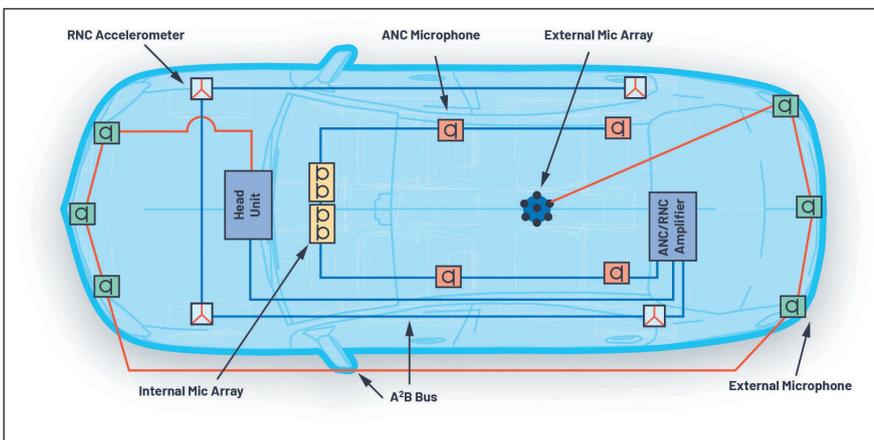


Bild 4: Gebräuchliche A<sup>2</sup>B-Mikrofone und -Sensoren. © Analog Devices

soren, die ideale Signale für BF-Algorithmen liefern, bei denen der Benutzer Dämpfungsrichtungen und Strahlbreiten per Software konfigurieren kann.

Grundsätzlich ist es wichtig, dass alle Signalverarbeitungsmodule in einer integrierten Algorithmus-Suite gruppiert sind. Wenn Funktionsblöcke isoliert voneinander implementiert werden, erhöhen sich die Verarbeitungszeiten unnötig, und die Gesamtleistung des Systems würde sich verschlechtern. So sollte zum Beispiel ein BF-Algorithmus immer zusammen mit der AEC implementiert werden und am besten vom gleichen Anbieter stammen. Wenn der BF-Algorithmus nicht-lineare Effekte in das Signal einführt, wird die AEC wahrscheinlich unbefriedigende Ergebnisse liefern. Optimale Ergebnisse der digitalen Signalverarbeitung lassen sich am

resultierende Rückkeule ist ein Kompromiss mit der Strahlbreite bei einem linearen Algorithmus. Ein nierenförmiger Strahl hat sein Dämpfungsmaximum bei 180 Grad; sein Empfangsbereich ist jedoch breiter als bei einer hyper- oder supernierenförmigen Konfiguration. Strahlen mit weniger signifikanten Rückkeulen und höherer Rückwärtsdämpfung können mit nicht-linearen algorithmischen Ansätzen erreicht werden, wobei die rote Kurve einen ADI-eigenen 2-Mikrofon-Algorithmus dieser Klasse zeigt.

Bei zwei Mikrofonen mit Kugelcharakteristik in einem Array ist die Strahlform immer rotationssymmetrisch. Mit anderen Worten ist die Dämpfung bei  $X$  Grad im Polardiagramm die gleiche wie bei  $360$  Grad minus  $x$  Grad. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Nullgrad- bis 180-Grad-Linie des Polardiagramms

Breitband-Abtastrate und 8 kHz, die in früheren Generationen von Schmalbandsystemen verwendet wurde. Forciert durch die Spracherkennung gibt es eine wachsende Nachfrage nach noch höheren Abtastraten, wie 24 oder 32 kHz. Zudem finden sich Spezifikationen, bei denen die Abtastrate der Sprachbandanwendung bis zu 48 kHz betragen soll, was üblicherweise die primäre System-Audio-Abtastrate ist. Die zugrundeliegende Motivation ist die Vermeidung einer internen Abtastratenwandlung. Die zusätzlichen Rechenressourcen, die zur Unterstützung dieser hohen Abtastraten erforderlich sind, sind nicht durch einen hörbaren Vorteil zu rechtfertigen, so dass 16 oder 24 kHz als empfohlene Abtastraten für viele Sprachbandanwendungen akzeptiert sind.

Hohe Abtastraten sind für BF-Anwendungen problematisch, weil räumliches Aliasing bei Frequenzen auftritt, die der Schallgeschwindigkeit geteilt durch den doppelten Mikrofonabstand entsprechen. Räumliche Alias-Effekte sind unerwünscht, weil BF bei solchen Frequenzen nicht möglich ist. Räumliches Aliasing kann in einem Breitbandsystem (16 kHz Abtastrate) vermieden werden, indem der Mikrofonabstand auf  $\geq 21$  mm begrenzt wird. Höhere Abtastraten erfordern zur Vermeidung von räumlichem Aliasing kleinere Abstände. Zu kleine Mikrofonabstände sind ebenfalls unerwünscht, weil Mikrofontoleranzen und insbesondere Eigenrauschen der Mikrofonensoren zum Problem werden können. Signalunterschiede zwischen den Mikrofonen eines Arrays werden marginal, wenn der Abstand klein ist und Störungen wie Eigenrauschen und Empfindlichkeitsabweichungen zwischen den Mikrofonen den Signalunterschied zwischen den Mikrofonen überdecken können. In der Praxis sollte der Mikrofonabstand nicht weniger als 10 mm betragen.

## Übersicht A<sup>2</sup>B-Technologie

Die A<sup>2</sup>B-Technologie wurde speziell dazu entwickelt, die Verbindungsprobleme bei neuen Mikrofon- und sensorintensiven Anwendungen im Fahrzeug zu vereinfachen. Aus Implementierungssicht handelt es sich um eine Linientopologie mit einem Hauptknoten und bis zu 10 Unterknoten. Die dritte Transceiver-Ge-

neration, die sich derzeit in voller Produktion befindet, besteht aus fünf Familienmitgliedern, die alle in den Temperaturbereichen für Fahrzeug-, Industrie- und Unterhaltungselektronik angeboten werden. Der AD2428W mit vollem Funktionsumfang bildet zusammen mit vier funktionsreduzierten, kostengünstigeren Derivaten – AD2429W, AD2427W, AD2426W und AD2420W – ADIs jüngste Familie an Pin-kompatiblen, erweiterten A<sup>2</sup>B-Transceivern. Der AD2427W und der AD2426W bieten eine reduzierte Funktionalität (nur Subknoten) und sind in erster Linie für Mikrofonanwendungen wie Freisprechen, ANC/RNC oder ICC gedacht. Der AD2429W und der AD2420W sind A<sup>2</sup>B-Derivate der Einstiegsklasse, die im Vergleich zu ihren voll ausgestatteten Pendants erhebliche Kostenvorteile bieten und sich für kostensensitive Anwendungen wie eCall im Automobilbereich und Multi-Element-Mikrofon-Arrays eignen. Tabelle 1 zeigt einen Funktionsvergleich zwischen den A<sup>2</sup>B-Transceivern der dritten Generation.

Die AD242x -Serie unterstützt die Verkettung eines einzelnen Hauptknotens mit bis zu 10 Unterknoten über eine Gesamtbuslänge von 40 m, wobei zwischen den einzelnen Knoten bis zu 15 m ermöglicht werden. Die Daisy-Chain- und Linientopologie von A<sup>2</sup>B ist im Hinblick auf die Gesamtintegrität und Robustheit des Systems ein wichtiger Vorteil gegenüber bestehenden Ringtopologien. Wenn eine Verbindung der Daisy-Chain ausfällt, bricht nicht gleich das gesamte Netzwerk zusammen. Nur die der fehlerhaften Verbindung nachgeschalteten Knoten sind von dem Ausfall betroffen. Zudem kann die eingebettete Diagnose von A<sup>2</sup>B die Fehlerquelle isolieren und einen Interrupt signalisieren, um Korrekturmaßnahmen einzuleiten.

Die Leitungstopologie mit Haupt- und Nebenknoten ist im Vergleich zu bestehenden digitalen Busarchitekturen von Natur aus effizient. Nach einem einfachen Bus-Erkennungsprozess ist kein zusätzlicher Prozesseingriff erforderlich, um den normalen Busbetrieb zu verwalten. Ein zusätzlicher Vorteil der A<sup>2</sup>B-Architektur ist die deterministische Systemlatenz (eine Verzögerung von 2 Buszyklen, also  $\leq 50 \mu\text{s}$ ), unabhängig von der Position des Audioknotens auf dem Bus. Diese Eigenschaft ist wichtig

für Sprach- und Audioanwendungen wie ANC/RNC und ICC, bei denen Audio-Samples von mehreren entfernten Sensoren zeitlich abgestimmt verarbeitet werden müssen.

Alle A<sup>2</sup>B-Transceiver liefern Audio, Steuersignale, Takt und Strom über ein zweidrahtiges UTP-Kabel. Das verringert die Gesamtkosten des Systems aus etlichen Gründen, wie:

- Die Anzahl der physikalischen Leitungen wird im Vergleich zu herkömmlichen Implementierungen reduziert.
- Für die eigentlichen Leitungen selbst können kostengünstigere, leichtere UTP-Kabel im Gegensatz zu teureren geschirmten Kabeln zum Einsatz kommen.
- Die neue Technologie bietet für bestimmte Anwendungsfälle eine Bus-Power-Fähigkeit, die bis zu 300 mA Strom an die Audioknoten in der A<sup>2</sup>B-Daisy-Chain liefern kann. Das macht lokale Stromversorgungen am Audio-Steuergerät überflüssig.

Die von der A<sup>2</sup>B-Technologie bereitgestellte Busbandbreite von insgesamt 50 Mbit/s unterstützt bis zu 32 Upstream- und bis zu 32 Downstream-Audiokanäle mit Standard-Abtastraten (44,1 kHz, 48 kHz usw.) und -Kanalbreiten (16-, 24-Bit). Das bietet Anschlussmöglichkeiten für eine Vielzahl von Audio-I/O-Geräten. Die Aufrechterhaltung einer vollständig digitalen Audiosignalkette zwischen den Audio-Steuergeräten stellt sicher, dass die bestmögliche Audioqualität erhalten bleibt, ohne dass das Potenzial für eine Audioverschlechterung durch ADC/DAC-Wandlung entsteht.

Die Möglichkeit der Diagnose auf Systemebene ist ein wesentlicher Bestandteil der A<sup>2</sup>B-Technologie. Alle Knoten sind in der Lage, eine Vielzahl von Fehlerzuständen zu erkennen, wie Leitungsunterbrechungen, miteinander kurzgeschlossene Leitungen, vertauschte Leitungen aber auch gegen die Versorgungsspannung oder gegen Masse kurzgeschlossenen Leitungen. Diese Fähigkeit ist aus Sicht der Systemintegrität wichtig, da A<sup>2</sup>B-Knoten oberhalb des Fehlers noch voll funktionsfähig sind. Die Diagnosefunktion ermöglicht zudem die effiziente Isolierung von Fehlern auf Systemebene.

Bei der vierten Generation von A<sup>2</sup>B-Transceivern, AD243x, wurden

Funktionsparameter erweitert und ein zusätzlicher SPI-basierter Steuerkanal von 10 Mbit/s hinzugefügt, der eine Software-over-the-Air-Fähigkeit (SOTA) für die Fernprogrammierung von intelligenten A<sup>2</sup>B-Knoten bietet. Mit den neuen Funktionen ist die Baureihe für LED-bestückte Mikrofonknoten in Super-Premium-Mikrofonarchitekturen geeignet.

### Anwendungen in der Automobilindustrie

Mikrofone finden zunehmend Anwendung in der Automobilindustrie. Entsprechend dem Technologie- und Markttrend ist fast jedes neue Fahrzeug mit mindestens einem Mikrofonmodul für die freihändige Kommunikation ausgestattet. Premium- und Luxusfahrzeuge können mit sechs oder mehr Mikrofonmodulen ausgestattet sein, die notwendig sind, um das Potenzial von BF, AEC, ANC, RNC oder ICC auszuschöpfen, wobei digitale MEMS-Mikrofone Vorteile bieten.

Die wachsende Anzahl von Mikrofonen stellt Infotainment-Ingenieure im Fahrzeug vor eine große Herausforderung: die Vereinfachung der Verbindungskabel und die Minimierung ihres Gewichts. Das ist keine triviale Aufgabe für traditionelle analoge Systeme. Ein analoges Mikrofon benötigt mindestens zwei abgeschirmte Drähte, Stifte und Steckerhohlräume für den Anschluss. Die Anzahl der Adern ist somit immer doppelt so groß wie die Anzahl der Mikrofonmodule im System. Gleichzeitig könnte das Gesamtgewicht des Kabelbaums noch schneller ansteigen, je nachdem, welche Kabellänge für den Anschluss der einzelnen Mikrofonmodule benötigt wird. Eine einfache Möglichkeit, dieses Problem abzumildern, wäre, die Anzahl der im System verwendeten Mikrofone zu reduzieren, indem ein Mikrofonensignal von mehreren Anwendungen gemeinsam genutzt wird. Beispielsweise könnte das gleiche Mikrofonensignal in der Freisprechkommunikation und als Fehlersignal im ANC-System zum Einsatz kommen. Verschiedene Anwendungen können jedoch unterschiedliche Mikrofoneigenschaften erfordern. Im erwähnten Beispiel hat der Frequenzgang eines Freisprechmikrofonensignals oft eine ansteigende Form, um den niederfrequenten Rauschanteil im Fahrzeuginnenraum zu eliminieren. Das ist eine effektive

Technik zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit, die von einem Sprachmikrofon geliefert wird. Im Gegensatz dazu erfordert ein ANC-Mikrofon eine ausreichende Empfindlichkeit bei niedrigen Frequenzen, da der Hauptzweck des ANC-Algorithmus darin besteht, das tief-frequente Rauschen zu reduzieren. Um also dasselbe Mikrofon in zwei Anwendungen in einem analogen System gemeinsam zu nutzen, muss das vom Mikrofon kommende Signal in verschiedene Schaltkreise eingespeist werden, um die Frequenzen entsprechend zu filtern. In diesem Fall können sich Masseschleifen bilden, die erhebliche Rauschprobleme verursachen können.

Als digitaler Bus mit Daisy-Chain-Fähigkeit ist die A<sup>2</sup>B-Technologie zusammen mit dem digitalen MEMS-Mikrofon eine Lösung für die Zusammenschaltung und/oder gemeinsame Nutzung mehrerer Mikrofonensignale, die für die in Fahrzeugen schnell wachsenden Audio-, Sprach-, Geräuschunterdrückungs- und anderen akustischen Anwendungen benötigt werden. Ein Beispiel: Eine Fahrzeuganwendung erfordert ein HF-Mikrofonmodul, ein ANC-Mikrofonmodul und ein einfaches, aus zwei Mikrofonelementen für BF bestehendes Array-Mikrofonmodul, und diese drei Module sind alle im Bereich der Dachkonsole integriert. Die Bilder 3a und 3b zeigen, wie ein solches Design mit herkömmlichen analogen und digitalen A<sup>2</sup>B-Systemen realisiert werden kann.

Weil das analoge System die gemeinsame Nutzung von Mikrofonen nicht ohne weiteres zulässt, benötigt jeder Anwendungsblock (HF, ANC und BF) ein eigenes Mikrofon oder eigene Mikrofone und separate Kabelbäume für den Anschluss an die entsprechende(n) Funktionsschaltung(en). Das führt zu vier Mikrofonelementen und drei Kabelbaumsätzen, also insgesamt sieben Drähte plus Abschirmung. Da die gemeinsame Signalnutzung durch das digitale A<sup>2</sup>B-System unterstützt wird, lässt sich die Anzahl der Mikrofonelemente möglicherweise von vier auf zwei reduzieren. In diesem Beispiel kann ein einziges Mikrofonmodul, bestehend aus zwei breitbandigen omnidirektionalen Mikrofonelementen, zum Einsatz kommen, um zwei Kanäle mit akustischen Signalen bereitzustellen, die den Bedarf aller Anwendungsblöcke abdecken. Sobald diese beiden Signalkanäle über ei-

ne einfache UTP-Leitung an die zentrale Verarbeitungseinheit angeschlossen sind, können sie gemeinsam genutzt und digital verarbeitet werden.

Obwohl das in Bild 3 dargestellte Beispiel keine reale Situation darstellt, zeigt es deutlich die Vorteile der A<sup>2</sup>B-Technologie im Vergleich zur analogen Technologie. Tatsächlich hat die Markteinführung der A<sup>2</sup>B-Technologie viele Anwendungen möglich gemacht, die entweder neu auf dem Automobilmarkt sind oder zuvor schwer zu realisieren waren. Beispielsweise hat Harman International eine Familie digitaler Mikrofon- und Sensormodule entwickelt, die diese Technologie nutzen, um verschiedene Fahrzeuganwendungen zu ermöglichen. Bild 4 zeigt einige gängige A<sup>2</sup>B-Mikrofone und -Sensoren für Kraftfahrzeuge und deren Einsatz im Fahrzeug. Zu diesen Sensoren gehören einzelne Mikrofone und Multi-Element-Mikrofon-Arrays für ANC und Sprachkommunikation, Beschleunigungsmesser für RNC, extern montierte Mikrofone für Stoßstangen und Mikrofon-Arrays auf Dächern für die Erkennung von Notfallsirenen und die Überwachung der akustischen Umgebung. Mit Hilfe dieser A<sup>2</sup>B-Mikrofone und Beschleunigungssensoren werden derzeit immer mehr Anwendungslösungen entwickelt, die mehrere Sensoreingänge benötigen, um das Benutzererlebnis in der Automobilindustrie weiter zu verbessern.

■ (eck)

[www.analog.com](http://www.analog.com)



**Ken Waurin** ist strategischer Marketing-Manager bei Analog Devices, wo er die Gesamtverantwortung für den Bereich Automotive Audio-Bus-Technologie trägt.  
© Analog Devices



**Dietmar Ruwisch** ist leitender Audio-techniker bei Analog Devices. Er studierte Physik in Münster und promovierte 1998 über künstliche neuronale Netze.  
© Analog Devices



**Yu Du** ist leitender Akustikingenieur bei Harman International. Er hat einen Bachelor- und einen Masterabschluss in Fahrzeugtechnik von der Tsinghua University und erhielt seinen Dokortitel in Maschinenbau von der Virginia Tech University.  
© Analog Devices