

RICHTMIKROFON MIT DIGITALER SIGNALVERARBEITUNG

Dietmar Richter

*TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation
dietmar.richter@ias.et.tu-dresden.de*

Abstract: Mikrofone mit einstellbaren Richtcharakteristiken nutzen zur Formung ihre Richtcharakteristik neben der Aufnahme des Schalldruckes die Aufnahme der Schallschnelle. Durch gewichtete Addition bzw. Subtraktion der Mikrofonsignale von Schalldruck und Schallschnelle können damit Richtcharakteristiken wie Kugel, Acht, Niere oder Superniere realisiert werden. In Zusammenarbeit mit der Firma Microtech Gefell GmbH wurde ein neues Mikrofon (UM930-twin) entwickelt, das intern mit zwei Mikrofonkapseln aufgebaut ist. Die Signale beider Mikrofonkapseln stehen am Ausgang parallel zur Verfügung. Aus den Pegel- und Phasendifferenzen zwischen den einzelnen Mikrofonsignalen kann die Richtung der Schallquelle zum Mikrofon berechnet werden. Unterscheiden sich Nutz- und Störsignale in ihren Spektren und in ihren Einfallrichtungen voneinander, ist eine Trennung der einzelnen Signalanteile möglich. Ein DSP realisiert eine Filterbank und ermittelt die Schalleinfallrichtung getrennt in jedem Frequenzbereich. Wird aus der Analyse des Schalleinfallwinkels der spektrale Anteil als Nutzsinal erkannt, erfolgt eine Addition zum Ausgangssignal.

1 Einleitung

Das Richtmikrofon ist ein Mikrofontyp, der primär frontal eintreffenden Schall aufnimmt und dadurch eine Richtcharakteristik aufweist. Schall aus anderen Richtungen wird stärker gedämpft. Durch den Einsatz von Richtmikrofonen kann die Sprachverständlichkeit in lauter oder halliger Umgebung oft erheblich verbessert werden.

Richtmikrofone müssen in zwei Klassen unterschieden werden.

1. Die mechanischen Abmessungen des Mikrofons sind groß gegenüber der Wellenlänge
2. Die mechanischen Abmessungen des Mikrofons sind klein gegenüber der Wellenlänge

Zur ersten Klasse der Richtmikrofone gehören:

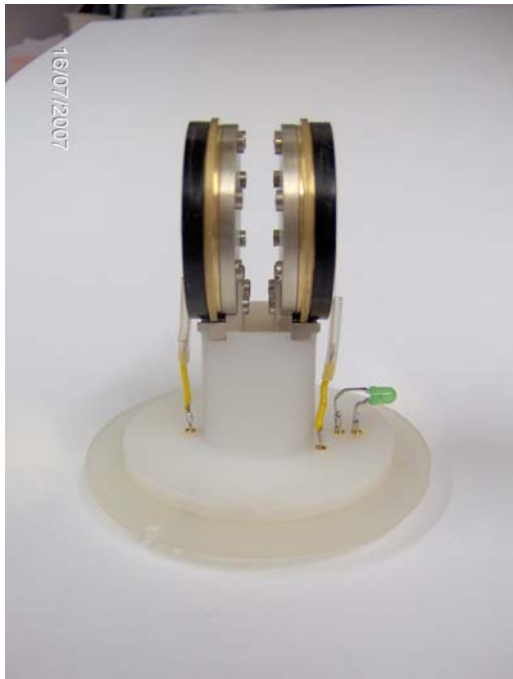
1. das Rohrrichtmikrofon auf Basis eines Interferenzrohres
2. das Mikrofonarray
3. das Mikrofon mit Parabolspiegel oder akustischer Linse

Diese Klasse der Mikrofone erreicht erst dann eine nennenswerte Richtcharakteristik, wenn ihre geometrischen Abmessungen groß gegenüber der Wellenlänge werden. Dadurch werden sie unhandlich und finden nur für spezielle Aufgaben in der Akustik Anwendung. In dieser Arbeit werden diese Mikrofone nicht betrachtet.

Zur zweiten Klasse gehören die gebräuchlichsten Richtmikrofone, deren Abmessungen klein gegenüber der Wellenlänge sind. In diesen Mikrofonen wird zusätzlich zum Schalldruck die Schallschnelle erfasst. Durch gewichtete Addition der Signale von Schalldruck und Schallschnelle erreicht man Richtcharakteristiken wie Niere, Superniere und Hyperniere. Eine weitere Erhöhung des Bündelungsgrades ist durch eine einfache lineare Signalverarbeitung nicht mehr möglich.

Auf dem Markt existieren zahlreiche umschaltbare Mikrofone, die alle nach diesem Prinzip arbeiten. Diese Mikrofone haben nur einen Ausgang, auf den die gewünschte Richtcharakteristik geschaltet werden kann. In Zusammenarbeit der TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, mit der Firma Microtech Gefell GmbH wurde ein neues Mikrofon, das UM930-twin, entwickelt, das an zwei Ausgängen die Signale des Schalldruckes und der Schallschnelle gleichzeitig zur digitalen Weiterverarbeitung zur Verfügung stellt. Intern enthält das UM930-twin zwei komplette Mikrofone. Seine Mikrofonkapseln sind dicht nebeneinander montiert. Die Formung der Richtcharakteristiken kann sofort erfolgen bzw. erst später beim Abmischen im Studio.

In der hier vorliegenden Arbeit werden erste Ansätze zum digitalen Beamforming bearbeitet.



Abbildungen 1,2 – Kapselanordnung im UM930 twin

2 Grundlagen

Aus der Akustik ist bekannt, dass in einer akustischen Welle neben dem Schalldruck p auch die Schallschnelle \vec{v} vorhanden ist. Der Schalldruck p ist eine skalare Größe und damit von der Schalleinfallrichtung am Mikrofon unabhängig. Ein Mikrofon, das nur die Komponente des Schalldrucks p einer Welle aufnimmt, hat keine Richtwirkung. Seine Richtcharakteristik ist kugelförmig.

Die Schallschnelle \vec{v} dagegen ist eine vektorielle Größe. Sie hat in allen drei Richtungen x , y , z die räumlichen Schnellekomponenten v_x, v_y, v_z . Jede dieser Komponenten hat als Richtcharakteristik in ihrer jeweiligen Richtungen x , y , z die Form einer Acht.

Mit der in der Akustik üblichen Pegeldarstellung erhält die Schallschnelle als Schallschnellepegel folgendes Aussehen.

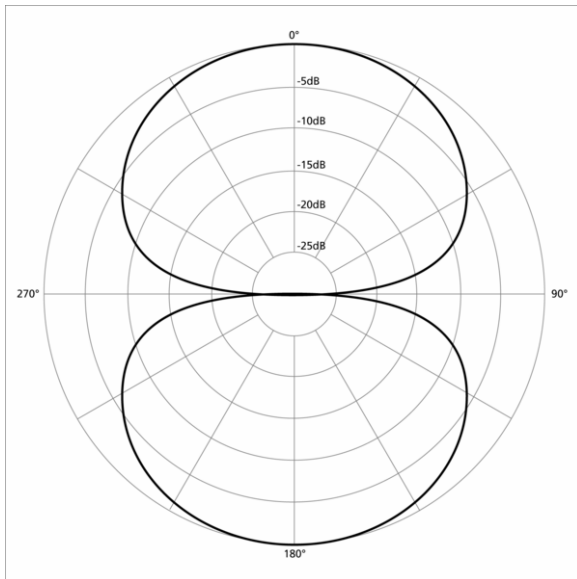


Abbildung 3– Richtcharakteristik des Schallschnellepegels

Mikrofone, die die Schallschnelle erfassen, lassen sich in der Praxis nur sehr schwer realisieren. Deshalb wird die Schallschnelle meistens indirekt über den Schalldruckgradienten ermittelt. Der Schalldruckgradient im Schallfeld resultiert aus den Kräften, die zur Beschleunigung der „Luftteilchen“ ($F = ma$) notwendig sind. Mit der Dichte der Luft ρ_0 wird die Beschleunigung

$$a = \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho_0} \text{grad } p .$$

Der Schalldruckgradient $\text{grad } p$ kann durch zwei im Abstand Δx angebrachte Druckmikrofone erfasst werden. Für den diskreten Mikrofonabstand Δx muss die Bedingung eingehalten werden, dass sich der Schalldruckdifferenzenquotient $\frac{\Delta p}{\Delta x}$ dem

$$\text{Schalldruckgradienten } \frac{dp}{dx} \text{ nähert } \left(\frac{dp}{dx} \approx \frac{\Delta p}{\Delta x} \right).$$

In der Mikrofonpraxis reicht dazu meist ein Abstand von $\Delta x \leq \frac{\lambda}{6}$ für die höchste Signalfrequenz aus.

Durch zeitliche Integration von [1] kann die Schallschnelle aus der Druckdifferenz zweier im Abstand Δx positionierten Mikrofone berechnet werden.

$$v = -\frac{1}{\Delta x \rho_0} \int \Delta p dt = \frac{1}{\Delta x \rho_0} \int (p_2 - p_1) dt$$

In einer ebenen akustischen Welle besteht zwischen dem Schalldruck p und der Schallschnelle \vec{v} ein fester Zusammenhang, der über die Schallkennimpedanz ρc der Luft definiert ist. $\frac{p}{v} = \rho c$

Sind im Mikrofon die Signale von Schalldruck und Schallschnelle gleichzeitig vorhanden, kann leicht durch gewichtete Addition der Mikrofonsignale Richtcharakteristiken wie Kugel, Niere, Superniere oder Hyperniere realisiert werden.

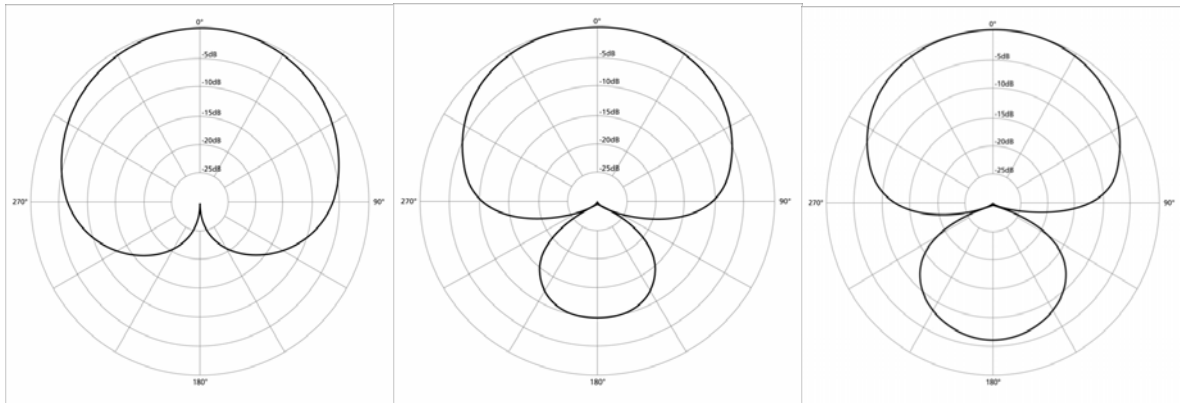


Abbildung 4– Richtcharakteristiken von Niere, Superniere und Hypernieren

3 Signalverarbeitung mit DSP

Im Bereich der Mikrofontechnik hat sich die digitale Signalverarbeitung noch nicht durchgesetzt. Erste Mikrofone mit integriertem DSP sind auf dem Markt. Der DSP hat in diesen Mikrofonen in erster Linie die Aufgabe, den großen Dynamikbereich, den klassische Analogmikrofone besitzen, in einen qualitativ äquivalenten digitalen Datenstrom zu wandeln. Die besten heute verfügbaren ADCs besitzen einen Signal- Rauschabstand von ca. 120 dB. Dieser reicht für hochwertige Mikrofone nicht aus. Deshalb wird der große Pegelbereich der analogen Mikrofone, der heute bis über 150 dB reichen kann (Messmikrofone), auf zwei oder mehrere ADCs in ihrem Pegelbereich verteilt und über einen DSP miteinander verrechnet.

In Zusammenarbeit der Firma Microtech Gefell GmbH mit der TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, entstand das neue zweikanalige Mikrofon UM930-twin. Dieses Mikrofon besitzt zwei Mikrofonkapseln, die im Abstand Δx montiert sind. Die Signale beider Mikrofonkapseln stehen vorerst analog an zwei Ausgängen parallel zur Verfügung. Aus historischen und konstruktiven Gründen wurde festgelegt, dass nicht die primären Schalldrucksignale den Ausgängen zugeführt werden, sondern im Mikrofon eine erste analoge Signalvorverarbeitung stattfinden soll. Somit liegt am Ausgang 1 des Mikrofons immer die Summe der Signale von Schalldruck und Schallschnelle (Niere nach vorn) an. Ausgang 2 dagegen, kann vielfältig konfiguriert werden. Zum Beispiel:

1. nur Schalldruck (Kugel)
2. nur Schallschnelle (Acht)
3. Schalldruck minus Schallschnelle (Niere nach hinten)

Durch die „Verrechnung“ der Kapselsignale im Mikrofon nach der klassischen Methode der Addition gewichteter Mikrofonensignale stehen dem Anwender auch ohne DSP gleichzeitig zwei Richtcharakteristiken zur Verfügung. Erst durch die Nachbearbeitung der Mikrofonensignale mit einem DSP werden zahlreiche neue Möglichkeiten realisierbar. Zum Beispiel:

1. kontinuierliche Einstellung der Richtcharakteristik zwischen Kugel, breite Niere, Niere, Superniere, Hypernieren und Acht
2. Drehung der Nullstellen im Richtdiagramm auf unerwünschte Störgeräusche
3. Veränderung der Übertragungsfunktion des Mikrofons z.B. Linearisierung der Frequenz- und Phasengänge

4. Klangveränderung durch nichtlineare Übertragungsfunktionen z.B. durch die nichtlineare Kennlinie einer Vakuumröhre oder Berücksichtigung der Hysteresiskurve eines Ausgangstransformators
5. Analyse der Schalleinfallrichtung und Bewertung der Mikrofonsignalanteile je nach Schalleinfallswinkel

Der Schwerpunkt der Untersuchungen am Institut für Akustik und Sprachkommunikation der TU Dresden konzentriert sich im Bereich Frontend auf eine Verbesserung des Abstandes zwischen Sprach- und Störsignal. Durch geeignete Signalverarbeitung soll eine Trennung der Signalanteile von räumlich unterschiedlich angeordneten Schallquellen erreicht werden. Diese Arbeit konzentriert sich nur auf Mikrofone, deren mechanische Abmessungen klein gegenüber der Wellenlänge sind.

Die Aufnahme der Schallsignale erfolgt mit dem zweikanaligen Mikrofon UM930-twin von Microtech Gefell. Die Signalverarbeitung erfolgt mit DSP ADSP 21364 von Analog Devices. Im Institut für Akustik und Sprachkommunikation steht für diese Untersuchungen ein Evaluationsboard ADZS-21364-EZLITE zur Verfügung.

Die Gleichheit und die Unterschiede zwischen den Mikrofonsignalen entscheiden darüber nach welchem Signalanalyseverfahren die Signalanteile voneinander getrennt werden können. Möglichkeiten:

1. Die Signale der Schallschnelle sind in ihren Beträgen winkelabhängig. Durch Pegelvergleich mit dem winkelunabhängigem Schalldrucksignal kann eine Trennung der Signalanteile von Vorn und von der Seite erfolgen. Zweckmäßig ist es, die einzelnen Signale in ihre spektralen Anteile zu zerlegen und je nach Frequenz oder Frequenzband richtungsabhängig zu bewerten.
2. Die Signale unterscheiden sich in ihrer Laufzeit zwischen den einzelnen Mikrofonkapseln. Durch Kreuzkorrelation kann die Laufzeitdifferenz bestimmt werden. Die zeitliche Struktur der Signale ist dafür verantwortlich, ob eine Signaltrennung möglich wird.
3. Über die Kohärenz der Signalanteile kann ermittelt werden, ob die Signale vom Direktschall oder vom störenden diffusen Nachhall dominiert werden.
4. Durch Phasenvergleich zwischen Schalldruck und Schallschnelle kann zwischen ebenen und stehenden Wellen unterschieden werden. In einer ebenen Welle (Direktschall) ist der Phasenwinkel zwischen Schalldruck und Schallschnelle 0 Grad. Dagegen verursachen stehende Wellen einen Phasenwinkel von 90 Grad.

4 Zusammenfassung

Die Kombination von zwei oder mehrkanaligen Mikrofonen in Verbindung mit der digitalen Signalverarbeitung eröffnet zahlreiche neue Möglichkeiten die Aufnahmequalität von Sprache und Musik zu verbessern. Die Einstellung der Richtcharakteristik durch lineare Operationen bereitet keine Probleme. Eine Verschärfung der Richtcharakteristik über die Hyperniere hinaus gelingt nur durch Analyse der Signale und die Trennung der Signale in einzelne Komponenten. Die Trennung der Signale kann zeitlich oder frequenzmäßig erfolgen. Die Schalleinfallrichtung einzelner Signalanteile kann durch Signalanalyse bestimmt werden. Durch eine anschließende richtungsabhängige Bewertung können einzelne Signalanteile verstärkt oder gedämpft werden.

Literatur

- [1] Görne, T.: Mikrofone in Theorie und Praxis 1994 Elektor- Verlag GmbH Aachen

[2] Eargle, J.: The Microfone Book 2001 by Butterworth-Heinemann