

MIKROFON MIT ENTFERNUNGSABHÄNGIGER SELEKTIVITÄT

Dietmar Richter

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

Motivation

Bei der Schallaufnahme mit Mikrofonen stören oft unerwünschte Nebengeräusche, die oft von Schallquellen aus größeren Entfernungen zum Mikrofon stammen. Ziel dieser Arbeit ist es, durch digitale Signalverarbeitung die Schallfeldanteile aus dem Nahbereich eines Mikrofons von denen aus größerer Entfernung zu trennen.

Aus der Physik der Schallabstrahlung ist bekannt, dass im Nahbereich eines Punktstrahlers der Schalldruckpegel nicht dem Schallschnellepegel entspricht. Außerdem besteht im Nahbereich einer Schallquelle eine Phasendifferenz zwischen Schallschnelle und Schalldruck.

Diese Unterschiede sollen dazu ausgenutzt werden, um über eine Analyse der Mikrofonsignale die Entfernung einzelner Schallfeldanteile zur Schallquelle abzuschätzen und entsprechend dem Analyseergebnis in ihrer Amplitude zu bewerten.

In Zusammenarbeit der TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, mit der Firma Microtech Gefell GmbH wurde ein neues Mikrofon, das UM930-TWIN entwickelt. Dieses Mikrofon besitzt zwei Ausgänge, die die Signale des Schalldruckes und der Schalldruckdifferenz gleichzeitig zur digitalen Weiterverarbeitung zur Verfügung stellen. Intern enthält das UM930-TWIN zwei komplette Mikrofone. Seine Mikrofonkapseln sind dicht nebeneinander montiert (Abbildungen 1,2).



Abbildung 1
Kapselanordnung im
UM930 TWIN



Abbildung 2
UM930 TWIN

Grundlagen

Aus der Technischen Akustik ist bekannt, dass in einer akustischen Welle neben dem Schalldruck p auch die Schallschnelle \underline{v} vorhanden ist. Der Schalldruck p verringert sich bei einem Kugelstrahler nullter Ordnung mit der Entfernung r von der Schallquelle mit

$$\underline{p}(r) = \frac{j\omega\rho_0}{4\pi r} \underline{q} e^{-jkr} \quad (1)$$

Die Schallschnelle \underline{v} verringert sich dagegen mit ihrem Abstand zur Schallquelle mit

$$\underline{v}(r) = \frac{jk}{4\pi r} \underline{q} \left(1 + \frac{1}{jkr}\right) e^{-jkr} \quad (2)$$

Die Impedanz \underline{Z} berechnet sich zu $\underline{Z} = \frac{\underline{p}}{\underline{v}}$.

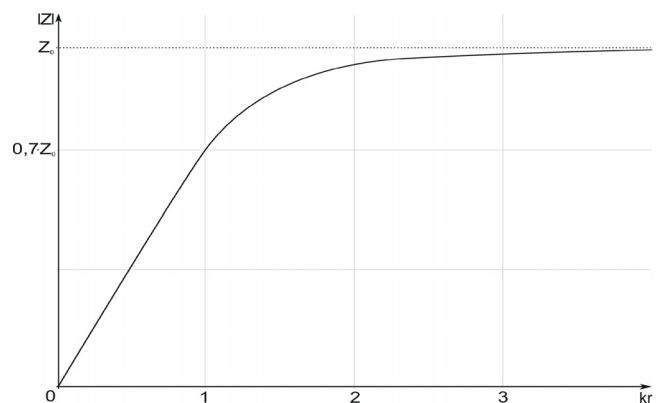


Abbildung 3
Der Betrag der spezifischen Impedanz als Funktion zum Abstand kr Schallquelle - Mikrofon

Aus Abbildung 3 ist zu erkennen, dass die spezifische Impedanz $|\underline{Z}| = \frac{p}{v}$ unterhalb einer Entfernung von $kr = 3$ kleiner als Z_0 ist.

$$\text{Im Nahbereich gilt: } \underline{Z} = j\rho_0 ckr \quad (3)$$

Die Impedanz \underline{Z} ist proportional zum Abstand r zwischen Mikrofon und Schallquelle. Die Impedanz ist imaginär. Im Nahbereich wächst $|\underline{Z}|$ mit wachsender Entfernung zur Schallquelle proportional zum Abstand r .

$$\text{Im Fernbereich gilt: } \underline{Z} = Z_0 = \rho_0 c = 408 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^3} \quad (4)$$

Die Impedanz ist konstant und reell.

Die Schallabstrahlung von Sprechern und Sängern kann für tiefe Frequenzen durch das Modell einer Punktstrahlquelle (Kugelstrahler nullter Ordnung) genähert werden. Über die entfernungsabhängige Impedanz (Abbildung 3) wird eine Trennung der Signalanteile von Schallquellen aus dem Nah- und Fernbereich erreicht.

In der Raumakustik entstehen durch Reflexionen oft stehende Wellen. Mit dieser Technik könnten diese erkannt werden und Gegenmaßnahmen im Zeit- oder Frequenzbereich durchgeführt werden.

Lösung

Ein Mikrofon, welches neben dem Schalldruck auch die Impedanz des Schallfeldes erfassen soll, erfordert zum eigentlichen Schalldrucksensor einen weiteren Sensor für die Schallschnelle. 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 ergibt sich im Schallfeld aus den Drücken, die zur Beschleunigung der „Luftteilchen“ notwendig sind. Mit der Dichte der Luft ρ_0 wird die Beschleunigung

$$a = \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho_0} \text{grad } p \tag{5}$$

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 Schalldruckgradienten $\frac{dp}{dx}$

durch den Schalldruckdifferenzenquotienten $\frac{\Delta p}{\Delta x}$ näherungsweise $\left(\frac{dp}{dx} \approx \frac{\Delta p}{\Delta x}\right)$ darstellen lässt. In der

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

Durch zeitliche Integration der Schalldruckdifferenz kann die Schallschnelle

$$v = -\frac{1}{\Delta x \rho_0} \int \Delta p dt = \frac{1}{\Delta x \rho_0} \int (p_2 - p_1) dt \tag{6}$$

berechnet werden.

Der Schalldruck in der Mitte zwischen den beiden

$$\text{Druckmikrofonen ergibt sich zu } p = \frac{p_1 + p_2}{2}. \tag{7}$$

Aus Schalldruck und Schallschnelle folgt die Impedanz

$$|Z| = \frac{p}{v}$$

Hardware

Das Mikrofon UM930 TWIN (Abbildungen 1 und 2) besitzt zwei Mikrofonkapseln, die im Abstand Δx dicht nebeneinander montiert wurden. An seinen beiden Ausgängen werden sowohl die Signale des Schalldruckes als auch die der Schalldruckdifferenz gleichzeitig zur digitalen Weiterverarbeitung zur Verfügung gestellt. Die Weiterverarbeitung der Signale p_1 und p_2 erfolgen mit dem DSP Evaluationsboard ADSP-21364 EZ-KIT Lite.

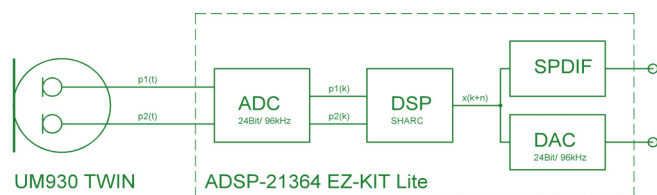


Abbildung 4
Prinzipialschaltbild UM930 TWIN mit DSP Evaluationsboard

Signalverarbeitung

Die Signalverarbeitung erfolgt auf Basis des für professionelle Audiotechnik von Analog Devices hergestellten Gleitkommaprozessors ADSP-21364. Die Signale p_1 und p_2 werden über eine Schmalbandfilterbank in ihre spektralen Bereiche zerlegt. Für jedes Frequenzband wird die Impedanz berechnet. Wird eine Impedanz in der Nähe von Z_0 errechnet, wird der Spektralbereich gelöscht. Anschließend erfolgt eine Addition der Signale der „guten“ Frequenzbereiche.

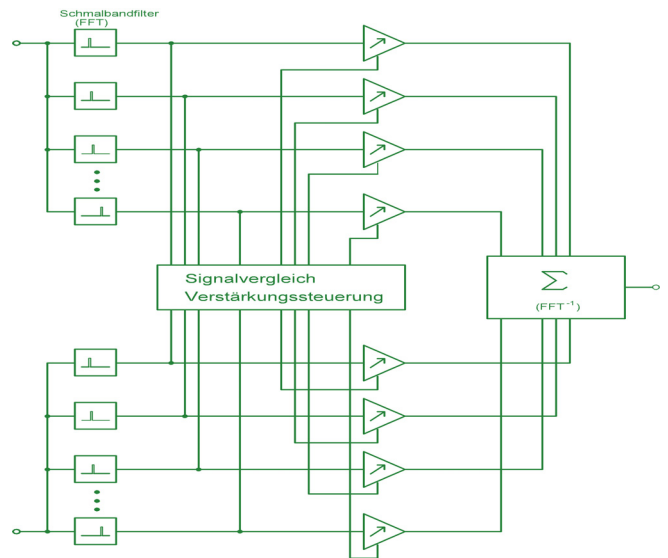


Abbildung 5
Blockschaltbild Signalverarbeitung

Unterscheiden sich Stör- und Nutzsignal spektral deutlich voneinander, ist eine saubere Signaltrennung zu erreichen. Für dicht beieinander liegende Spektralanteile ist eine FFT mit Overlap-Add vorgesehen.

Zusammenfassung

Die Kombination von zwei Mikrofonkapseln in einem Mikrofon eröffnet in Verbindung mit der digitalen Signalverarbeitung Möglichkeiten, die Aufnahmequalität zu verbessern. Eine Trennung der Signalanteile, je nach ihrer Impedanz, ermöglicht es, störende Schallfeldanteile zu erkennen und ihren schädlichen Einfluss zu verringern. Der Nahbereich eines Mikrofons, bei dem die Impedanz der Schallwellen $|Z| < \rho_0 c$ ist, endet in einer Entfernung von ca.

$\lambda/2$. Damit wird der Einsatzbereich dieser Technik auf Frequenzen unterhalb von einem kHz begrenzt. Die Zerlegung der Mikrofonsignale in ihre spektralen Komponenten erfordert Signallaufzeiten, die in Beschallungssystem problematisch werden könnten. In Spracherkennungssysteme dagegen stören diese Signallaufzeiten nur wenig, so dass mit dieser Technik Vorteile zu erwarten sind.

Literatur

- [1] Görne, T.: Mikrofone in Theorie und Praxis. Aachen: Elektor- Verlag GmbH, 1994
- [2] Eargle, J.: The Microphone Book. Boston u.a.: Focal Press, 2001