Aktive akustische Maskierung an einem Büro-Container

Christian Thyes[1,2], Johannes Tschesche[1,2], Joachim Bös[1,2], Tobias Melz[1,2,3]
[1] *LOEWE-Zentrum AdRIA, 64289 Darmstadt, E-Mail: thyes@szm.tu-darmstadt.de*
[2] *TU Darmstadt, Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik SzM, 64289 Darmstadt*
[3] *Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, 64289 Darmstadt*

Einleitung

Maskierung beschreibt das Phänomen des menschlichen Hörens, dass Geräusche bei Anwesenheit von anderen Geräuschen teilweise verdeckt werden können [1]. Nachfolgend wird ein System zur aktiven akustischen Maskierung vorgestellt, welches in einem Büro-Container zum Einsatz kommt. Das Maskierungssystem überlagert dem Außengeräusch ein zusätzliches Signal für ein gleichmäßigeres Geräuschniveau im Innern des Containers.

Das Maskierungssystem besteht aus einem Mikrofon, einer Schaltung zur Signalkonditionierung am Ein- und Ausgang, einem Microcontroller zur Signalverarbeitung und Verarbeitung von Maskierungsalgorithmen, einem Audioverstärker sowie einem Lautsprecher.

Zur möglichst realitätsnahem Demonstration des Maskierungssystems mit produktnaher Hardware ist das System in einem Büro-Container implementiert. Der Büro-Container abstrahiert eine typische lärmbelastete Büroumgebung.

Aktive akustische Maskierung

Die aktive akustische Maskierung erfolgt mittels eigener Algorithmen, wobei im Folgenden nur ein Algorithmus zur Maskierung des stärksten kritischen Bandes vorgestellt wird.

Zunächst wird das mit Hilfe eines Mikrofons aufgenommene Außengeräusch (Schalldruck) digitalisiert und in den Bildbereich überführt. Dafür wird das Messsignal mit einer Abtastrate von 20 kHz abgetastet, und 512 Abtastschritte werden mit einer Überlappung von 50 % gepuffert. Daraus folgt eine Frequenzauflösung von ca. 40 Hz. Aus diesem Intervall wird mittels Fast Fourier Transformation die Frequenz mit der höchsten Amplitude bestimmt. Die Frequenz wird in das korrespondierende kritische Band umgewandelt. Für jedes kritische Band wird ein bandbegrenztes, normiertes Rauschen erzeugt. Das betreffende bandbegrenzte Rauschen wird ausgewählt und mit dem Effektivwert der Anregung gewichtet. Im Folgenden werden jeweils zwei kritische Bänder zu einem zusammengefasst, um Rechenkapazität einzusparen.

Dieser Algorithmus eignet sich prinzipbedingt vor allem für tonale Störungen, die durch das bandbegrenzte Rauschen weniger wahrnehmbar werden sollen. Simulationsergebnisse hierzu finden sich unter [2].

Maskierungssystem

Das Maskierungssystem wurde zunächst mit einem Echtzeitsystem aufgebaut und getestet. Zur besseren Technologiedemonstration erfolgte der Aufbau einer kompakten Microcontroller-Plattform. Dadurch kann auf ein kostspieliges Echtzeitsystem verzichtet und der erforderliche Bauraum erheblich reduziert werden. Der Microcontroller wurde anhand der benötigten Berechnungen pro Analyseschritt und der Samplingrate ausgewählt [3].

Der Algorithmus erfordert die Messung des Außengeräusches. Dies erfolgt mit einem konventionellen IEPE-Messmikrofon, das von einer Elektronik mit Energie versorgt wird. Gleichzeitig erfolgt eine Signalverstärkung des Messsignals zur besseren Aussteuerung des Analog-Digital-Wandlers.

Nach der Bewertung des Außengeräusches und der Erzeugung des Maskierungssignals erfolgt die Signalausgabe des Microcontrollers. Der verwendete Microcontroller besitzt keinen eigenen Analogausgang. Daher wird auf ein hochfrequentes 100 kHz PWM-Signal mit 100 kHz zurückgegriffen, welches vor der Verstärkung analog tiefpassgefiltert wird. Damit kann ein Audiosignal digital synthetisiert werden. Dies Aufgaben erfolgen auf der in Abbildung 1 gezeigten Platine.

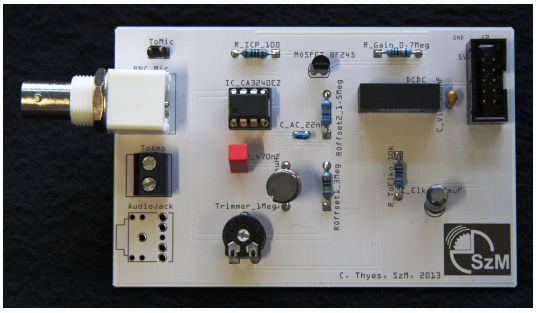

Abbildung 1: Elektronikplatine zur Signalkonditionierung und Tiefpassfilterung

Schließlich erfolgen eine Verstärkung des Signals und die Ausgabe im Büro-Container auf einem Lautsprecher. Der Büro-Container ist dabei mit einem speziellen Flachlautsprecher versehen, um möglichst wenig Raum in Anspruch zu nehmen.

Simulationsergebnisse

Das Simulationsergebnis in Abbildung 2 zeigt das Auffüllen von zwei kritischen Bändern bei einer tonalen Anregung von 1000 Hz (rote senkrechte Linie). Die jewei-

ligen Frequenzgrenzen der kritischen Bänder bei 770 Hz und 1080 Hz sind mit grauen senkrechten Linien markiert. Das Rauschen füllt den Frequenzbereich innerhalb der zwei kritischen Bänder gleichmäßig auf. Aufgrund der gleichmäßigen Anregung in Form eines Sinus mit konstanter Frequenz und Amplitude wird stets das gleiche Frequenzintervall für die Maskierung ausgewählt. Die Simulationsergebnisse werden für die Pegelbildung wie Schalldrücke ($p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa) behandelt.

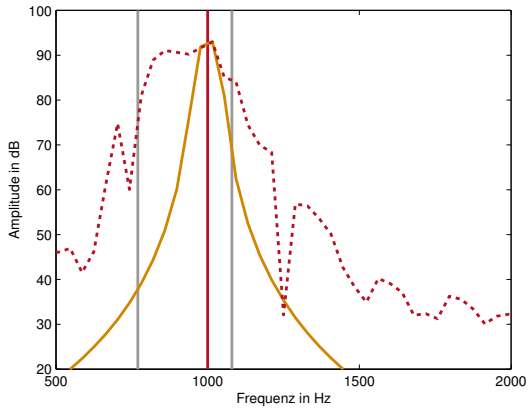

Abbildung 2: Simulation eines 1000 Hz-Tons (orange) und das Ergebnis der Maskierung (rot, gepunktet)

Wird ein realistischeres Anregungssignal in Form eines Presslufthammergeräusches aus [4] ausgewählt, ergibt sich ein Verhalten, wie es in Abbildung 3 dargestellt ist. Die orangene Linie stellt wie in Abbildung 2 die Anregung dar. Zu dem abgebildeten Zeitpunkt liegt die stärkste tonale Komponente in der Abbildung bei ca. 200 Hz. Der Maskierungsalgorithmus ermittelt zwar die stärkste tonale Komponente, allerdings ist das Ursprungssignal so breitbandig, dass eine höhere akustische Qualität durch die zusätzliche Maskierung nicht zu erwarten ist. Die Frequenzgrenzen von nun 100 Hz und 300 Hz sind wieder mit grauen, senkrechten Linien markiert. Je nach Zeitpunkt wechselt das Rauschen in das jeweilige Frequenzband mit der stärksten Anregung.

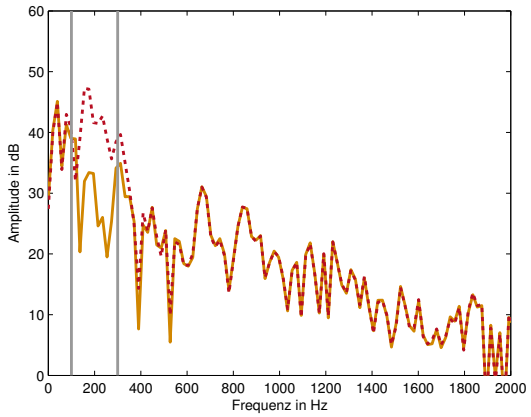

Abbildung 3: Simulation eines Presslufthammergeräusches (orange) und das Ergebnis des Maskierers (rot, gepunktet)

Experimentelle Ergebnisse

Die Maskierung eines reinen Tons von 1000 Hz wird experimentell erprobt. Außerhalb des Büro-Containers wird der Ton über einen Versuchslautsprecher abgespielt und von einem Außenmikrofon gemessen. Die Verarbeitung und Erzeugung des Maskierungsgeräusches für den Innenraum erfolgt wie oben beschrieben.

Im Innenraum des Büro-Containers befindet sich ein Mikrofon zur Messung des resultierenden Geräusches. Abbildung 4 zeigt den gemessenen Schalldruckpegel mit einer Frequenzauflösung von 1,25 Hz. Dabei ist das Auffüllen der kritischen Bänder von 770 Hz bis 1080 Hz wie in der Simulation zu erkennen. Der Sinuston mit 1000 Hz ist trotz Maskierung in der Messung als Spektrallinie deutlich erkennbar, wird aber im Innern des Büro-Containers erheblich weniger deutlich wahrgenommen.

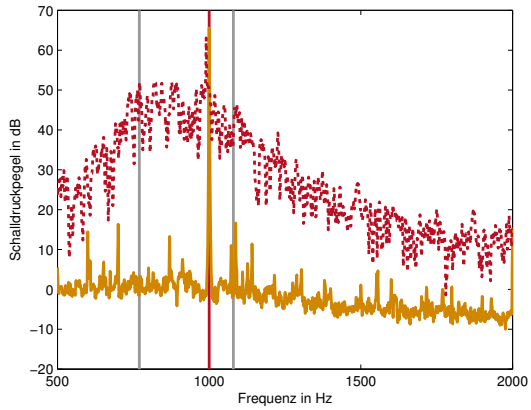

Abbildung 4: Messung eines 1000 Hz-Tons (orange) und Ergebnis mit Maskierung (rot, gepunktet)

Danksagung

Die in diesem Beitrag vorgestellten Forschungsarbeiten wurden möglich durch LOEWE-Mittel des Landes Hessen (*LOEWE-Zentrum AdRIA: Adaptronik – Research, Innovation, Application*, Förderkennzeichen III L 4 – 518/14004 (2008)).

Literatur

[1] Zwicker, E. ; Fastl, H.: Psychoacoustics. Facts and Models. Springer, Berlin u. a. 1990, ISBN 3-540-52600-5.

[2] Thyes, C.; Tschesche, J.; Bös, J.; Hanselka, H.: Acoustic masking by means of an active system. AIA-DAGA 2013, Conference on Acoustics, 18. – 21. März 2013, Meran.

[3] Produktseite Delfino Microcontroller `http://www.ti.com/product/tms320f28335`, abgerufen: 25. März 2014

[4] Presslufthammergeräusch `http://www.freesound.org/people/Tomlija/sounds/98859/`, abgerufen: 25. März 2014