

Über ein neues Verfahren zur Rückkopplungsreduzierung

Holger Pastillé, Robin Sehlmeier

IAV GmbH, 38518 Gifhorn, Deutschland

Email: holger.pastille@iav.de, robin.sehlmeier@iav.de

Intro

Innenraumkommunikationssysteme (ICCS) im Fahrzeug haben die Aufgabe, die Kommunikation zwischen den einzelnen Sitzplatzreihen zu unterstützen. Diese Systeme erhöhen nicht nur den Komfort, sie sind vor allem auch ein wichtiger Beitrag zur Verkehrssicherheit, da der Fahrer sich nicht mehr zu den Passagieren auf den hinteren Sitzen umdrehen muss, um verstanden zu werden. Die elektronischen Unterstützungen, egal ob uni- oder bidirektional, gelangen sehr leicht an ihre Grenzen. Prinzipiell sollen die Systeme den spektralen Verlust ergänzen, der sich auf der Strecke Sprecher-Zuhörer im Fahrzeug ergibt. Höhere Geschwindigkeiten sowie schlechte Fahrbahnverhältnisse führen in der Fahrzeugkabine zu Pegeln, die das ICCS nicht mehr ergänzen kann. Wenn die Verstärkung weiter erhöht wird, wird das System instabil und gerät in die Rückkopplung.

Generell kann die Rückkopplungsgrenze erhöht werden, wenn entsprechende Maßnahmen ergriffen werden. Zu hoher Einsatz von passiven Maßnahmen lässt das "akustische Klima" unangenehm werden. Zu den weiteren bekannten Maßnahmen gehören die automatische Verstärkungsregelung, Glättungsfilter, Sperrfilter, Kohärenzfilter, Mittelungsverfahren oder Pitch Shifter. In der Bühnenbeschallung zeigen die Verfahren eher mäßige Ergebnisse, der Einsatz von entsprechend gerichteten Mikrofonen und Lautsprechern zeigt oft mehr Erfolg. Für das von IAV entwickelte System "DSV Light", ein unidirektionales System für den Einsatz im PKW, ist mit minimalen Rechenaufwand im DSP nach einer Alternative zu den genannten Verfahren gesucht worden, welches in Echtzeit arbeitet.

Grundidee

Eine Rückkopplung entsteht, wenn Teile des Ausgangssignals auf den Eingang zurückgeführt werden. Aus der Systemtheorie sind die Kriterien für das Entstehen einer Rückkopplung seit über 80 Jahren durch die Schriften von BARKHAUSEN [1] bekannt: Der Betrag der Schleifenverstärkung muss ≥ 1 sein, also $|A \cdot F(j\omega)| \geq 1$ (Anmerkung: Beim Hören ist es egal, ob die resultierende Oszillation stabil ist oder nicht). Weiterhin muss die Phasenlage (2π -periodisch) konstant sein.

Neben den allgemein bekannten theoretischen Grundlagen wie Raumübertragungsfunktion, resultierender Impulsantwort nach n Durchläufen etc. ist vor allem die Tatsache interessant, dass eine akustische Rückkopplung im Allgemeinen keine Frequenzstabilität aufweist. Schaut man sich bei Bühnenmikrofonen die Empfindlichkeit bei 180° an, stellt man fest, dass die rückkoppelfesteren Mikrofone ein Minimum in der Übertragungsfunktion zwi-

schen 200 Hz und 1 kHz aufweisen. Nach n Durchläufen in der Schleife erhöht sich die Rückkoppelfrequenz auf einen annähernd stabilen Wert, der durch Änderung der Randparameter Raum, Abstand und Winkel variiert werden kann. Im geschlossenen System Automobil bleiben als Einflussgröße die Lautstärke und die Position der Insassen übrig. Der Beginn der Rückkopplung liegt im Bereich zwischen 250 Hz und 600 Hz. In diesem Frequenzbereich soll das neue Verfahren wirken: Die Phasenlage wird verändert und damit eine Bedingung für die Entstehung einer Rückkopplung beeinflusst. Weitere Anforderungen bestehen in der Echtzeitfähigkeit, da zu hohe Latenzen zu einem halligen Klang führen und in der Vermeidung einer Veränderung der Koppelfrequenzen, da diese das Klangbild verändern.

Umsetzung im Zeitbereich

Der Algorithmus basiert auf der Grundlage, dass das zeitkontinuierlich abgetastete Audiosignal zur digitalen Signalverarbeitung in Blöcken zusammengefasst wird. Aus einer bestimmten Anzahl aufeinanderfolgender Blöcke wird jeweils eine bestimmte Menge Abtastwerte entnommen und anschließend die gleiche Anzahl wieder hinzugefügt. Um die Blocklänge zu erhalten, werden fehlende Abtastwerte aus Abtastwerten benachbarter Blöcke durch Verschieben ersetzt. Das in Abbildung 1

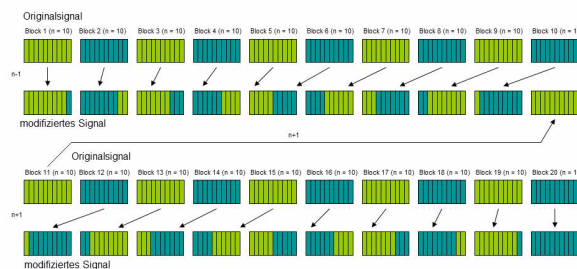


Abbildung 1: Grundstruktur des Modulierten Delay

beispielhaft dargestellte Schema besteht aus Abtastblöcken mit einer Länge von 10 Abtastwerten. Aus 10 aufeinanderfolgenden Blöcken wird jeweils 1 Sample entnommen und anschließend wird 10 aufeinanderfolgenden Blöcken ein Sample hinzugefügt. Um die spektrale Änderung des Signals möglichst gering zu halten, wird die Position der Abtastwerte, welche aus den Blöcken entfernt bzw. hinzugefügt werden mittels eines Algorithmus ermittelt, welcher die minimale Amplitudendifferenz zu den benachbarten Abtastwerten bestimmt.

Daraus resultieren Phasenverschiebungen im gesamten Signalspektrum. Da sich bei einer Überlappung von Signalen um π eine komplette Phasenauslöschung einstellt (Gegenkopplung), ergibt sich bei der Wahl der maximal

zu entnehmenden Samples folgender Zusammenhang:

$$f_{min} = \frac{f_A}{2x_n} \quad \text{mit}$$

f_{min} : niedrigste Frequenz bei kompletter Phasenauslöschung

f_A : Abtastfrequenz

x_n : entnommene Samples pro Modulationsdurchlauf

Mit steigender Zahl von entnommenen Abtastwerten kann also eine komplette Phasenauslöschung zu niedrigeren Frequenzen hin erreicht werden. Eine erfolgrei-

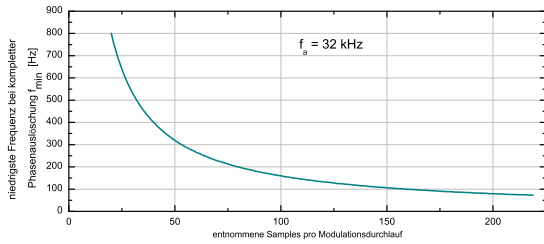


Abbildung 2: Phasenauslöschung in Abhängigkeit der Frequenz und der entnommenen Samples pro Sekunde

che Variante des Algorithmus besteht darin, die Anzahl aufeinanderfolgender Blöcke, in der Samples gelöscht (positive Steigung) und hinzugefügt (negative Steigung) werden, von 10 auf 30 moduliert wird. Je größer die Modulationszahl ist, desto tieffrequenter kann das Rückkopplungssignal in eine Gegenkopplung übergehen. Die Wirkung unterschiedlicher Modulationsarten ist in der Abbildung 4 für Stabilitätsgrenzen zu erkennen.

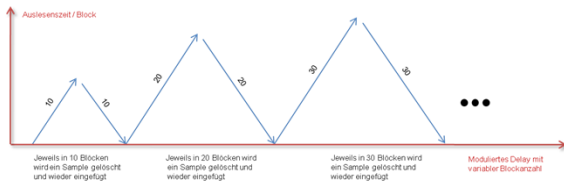


Abbildung 3: Moduliertes Delay mit var. Blockzahl

Ergebnisse

Das Verfahren ist zunächst unter Laborbedingungen verifiziert worden. Der DSP verarbeitet Audiodaten mit 32 kHz Abtastrate und einer Blocklänge von 64 Samples. Die Anzahl der Samples, welche pro Block gelöscht/eingefügt werden ist auf 1 festgelegt. Die Anzahl der Blöcke bei der aufeinanderfolgend eine Löschung/Einfügung stattfindet, wird moduliert. Folgende Werte stehen im Algorithmus zur Parametrisierung zur Verfügung:

BlockzahlMin: Minimale Anzahl von aufeinanderfolgenden Blöcken bei Entnahme/Einfügung von Samples

BlockzahlAdd: Steigung der Blockzahl pro Durchlauf

AnzahlAdd: Maximale Anzahl von Block Additionen

In Abbildung 4 ist die interne Verstärkung an der Stabilitätsgrenze bei unterschiedlichen Parameterkombinationen angegeben. Die Differenz zum Grenzwert des originalen (unmodulierten) Signals gibt den Verstärkungsgewinn an, der maximal erreicht werden kann. Die Parameter werden als Kombination (BlockzahlMin - BlockzahlAdd - AnzahlAdd) angegeben.

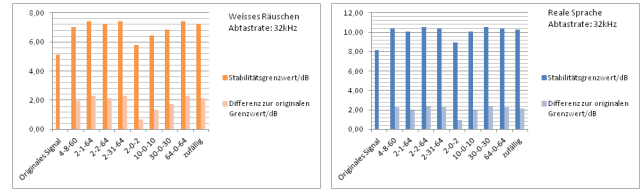


Abbildung 4: Stabilitätsgrenzen im Labor; links: Rauschen, rechts: Sprache

Im weiteren Verlauf ist der Aufbau in das Fahrzeug übertragen worden. Auch hier zeigt der Algorithmus,

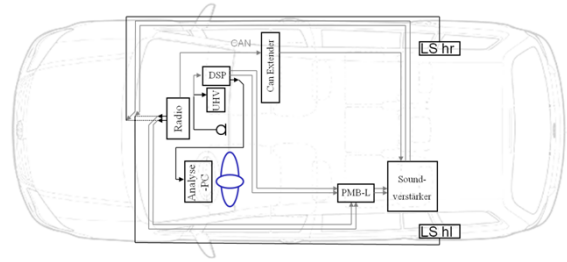


Abbildung 5: Aufbau im Fahrzeug

dass sich die Stabilitätsgrenze um 2 dB erhöhen lässt. Die Parameterkombinationen mit variiert Länge zusammenhängender Blöcke verhalten sich im Fahrzeug effektiver gegenüber denen mit fester Länge.

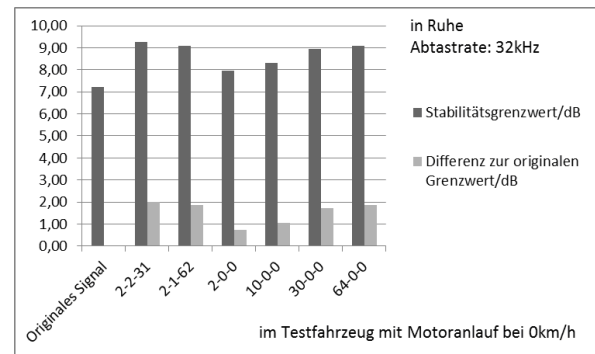


Abbildung 6: Stabilitätsgrenzen im Fahrzeug

Zusammenfassung/Ausblick

Mit dem hier vorgestellten Verfahren ist es möglich, Sprachsignale in einer Beschallungsumgebung rund 2 dB lauter wiederzugeben. Damit wird unter Verwendung dieses Verfahrens, die Verständlichkeit durch ICCS im Fahrzeug bei schlechten akustischen Gegebenheiten wie Kopfsteinpflaster und/oder hohen Geschwindigkeiten weiter erhöht. Das zum Patent angemeldete Verfahren im Zeitbereich wird derzeit um eine Variante im Frequenzbereich erweitert. Die Autoren bedanken sich bei Xiaoxuan Wang, die u.a. dieses Thema im Rahmen Ihrer Masterarbeit an der TU Berlin umgesetzt hat.

Literatur

- [1] H. Barkhausen.: *Lehrbuch der Elektronen-Röhren, Bd.3.* S. Hirzel, Leipzig 1944
- [2] X. Wang.: *Kommunikationsverbesserung im Fahrzeug.* Masterarbeit, TU Berlin, Februar 2011