

Echounterdrückung in hydroakustischen Messungen

Stephan Schulze, Werner Loges

ATLAS ELEKTRONIK GmbH, 28309 Bremen, E-Mail: Stephan.Schulze@atlas-elektronik.com

Einleitung

Anwendungen in der Raumakustik messen oder unterdrücken Verzerrungen (Obertöne) durch Ausblendung in der Impulsantwort (Impulse Response), der Fourier-Rücktransformierten der Transferfunktion. In der hydroakustischen Messtechnik in räumlich begrenzenden Umgebungen, hat man es mehr mit Echos und Nachhall zu tun, die das gewünschte Messergebnis stören. Sowohl Harmonische als auch Echos separieren sich in der Impulsantwort abseits der Grundkomponente.

Das Ausblendprinzip wurde jetzt auf Echos und Nachhall adaptiert. Es gelingt, das Messergebnis auf den Direkt-schallanteil zu reduzieren und so Freifeldbedingungen zu simulieren. Das Verfahren erlaubt die Verwendung beliebig langer Anregungspulse von typisch 10 Sekunden. Die mangelnde Frequenzauflösung der Kurzfensteranalyse, in Messtanks wenige Millisekunden bis zum Eintreffen des ersten Echos, wird überwunden. Als Anregungen eignen sich Rauschen (Gaußisch oder Binär, breitbandig oder bandbegrenzt), besonders aber FM-Sweeps. Mit bestimmten Sweeps lassen sich Harmonische und Echos gleichzeitig entfernen. Eigens abgestimmte FM-Kennlinien vorkompensieren den Frequenzgang des Senders (Preemphasis), so dass das Empfangsspektrum oder das Signal-Rausch-Verhältnis akustisch weiß wird.

Der Algorithmus, genannt *Blanked Impulse Response* Methode, wird am Blockschaltbild erläutert. Gemessene Transferfunktionen einer hydroakustischen Messstrecke werden mit denen der klassischen Kurzfensteranalyse verglichen.

Algorithmus

Der Kern des Algorithmus ist die Bestimmung der Impulsantwort eines Übertragungssystems, dessen Anregung und Reaktion als Zeitsignal bekannt sind (Abb. 1.). In dieser separieren sich die Störungen zeitlich vom interessierenden Nutzsignal. Abb. 2 veranschaulicht die Signaltrennung beispielhaft anhand der Darstellung einer Impulsantwort aus einer Simulationsrechnung mit zwei überlagerten Echos nach 10 ms und 25 ms. Durch anschließende Multiplikation mit einer geeigneten Fensterfunktion lassen sich die Störsignale ausblenden. Die Rücktransformation in den Frequenzbereich ergibt die störbefreite Transferfunktion des Systems.

Wird ein frequenzmodulierter (FM-) Sweep als Anregungsart gewählt, so separieren sich harmonische Verzerrungen (Oberwellen) für einen frequenzaufsteigenden Sweep auf der negativen und für einen frequenzabsteigenden auf der positiven Zeitachse der Impulsantwort. Die interessierende Grundschwingung konzentriert sich bei der Zeit $t=0$ [1, 2]. Die Wahl der Kennlinie des Anregungssignals beeinflusst dabei nicht nur die Lage (links oder rechts der Ordinate,

Entfernung zu $t=0$), sondern auch, ob die Harmonischen über der Zeitachse breit verschmiert sind oder sie sich, wie z.B. beim exponentiellen FM, lokal voneinander absetzen.

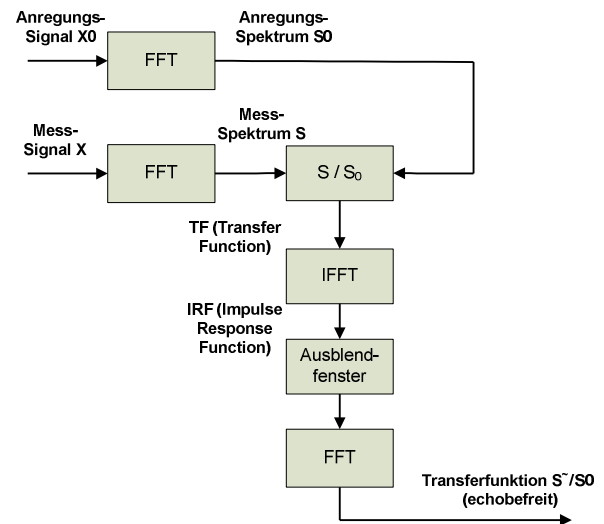


Abbildung 1: Blockschaltbild der Blanked Impulse Response Methode.

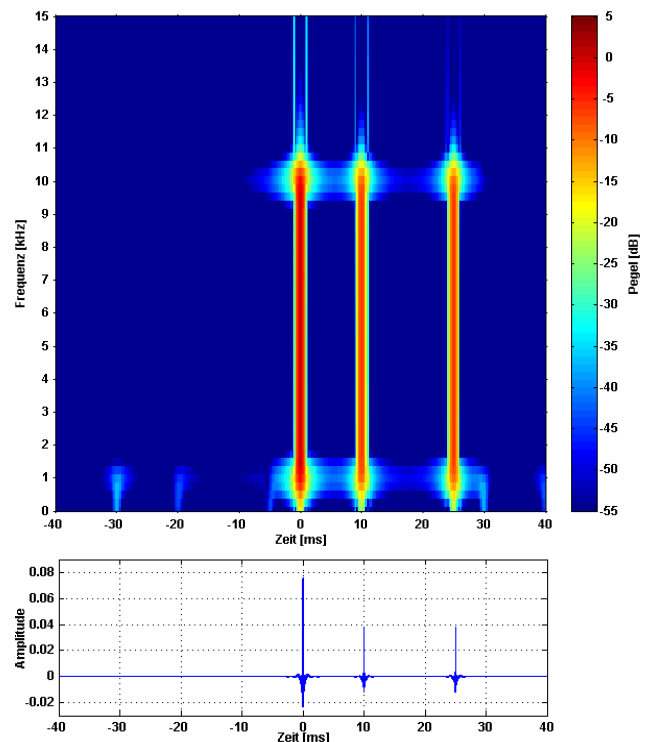


Abbildung 2: Simulierte Impulsantwort mit linearem Sweep als Anregung und überlagerten Echos nach 10 ms und 25 ms.

Unabhängig von der Art des gewählten Anregungssignals, bilden sich Echos, entsprechend ihrer Umweglaufzeiten, in der Impulsantwort stets lokal auf der positiven Zeitachse ab. Das entwickelte Verfahren zur Nachhallausblendung ist somit nicht auf bestimmte Anregungsarten beschränkt.

Praxiserprobung

Der Algorithmus wird auf Daten einer hydroakustischen Vermessung einer 2m x 2m abmessenden Reflektorplatte angewendet. Die Ermittlung einer echobefreiten Transferfunktion erfolgt in diesem Fall zw. zwei geometrisch voneinander entfernten Hydrophonen (bekanntes Referenz- zu Prüfhophon in definiertem Abstand vor dem Reflektor), die gemeinsam mit einem Sendewandler geometrisch auf einer Linie angeordnet sind. Aufgrund des geometrieabhängig unterschiedlichen Echoeintrags in den Messsignalen, ist der beschriebene Algorithmus für jedes Hydrophonsignal separat, und zwar unter jeweiliger Referenzierung auf das ungestörte Sendesignal (z.B. Signal vom Ausgang des Frequenzgenerators) durchzuführen. Die Differenz aus den beiden auf diese Art gebildeten Übertragungsfunktionen ergibt schließlich die gesuchte echobefreite Transferfunktion zw. Referenz- und Prüfsensor.

Abb. 3 zeigt das Ergebnis der Untersuchung im Vergleich zu dem der klassischen Kurzfensteranalyse (Auswertung kurzer Zeitfenster vor Echoeintritt) von monofrequenten Sinuspulsen ($f < 1$ kHz) bzw. gaußschen Rauschpulsen ($f \geq 1$ kHz). Als Referenz ist das Ergebnis einer Simulationsrechnung in das Diagramm mit eingezeichnet.

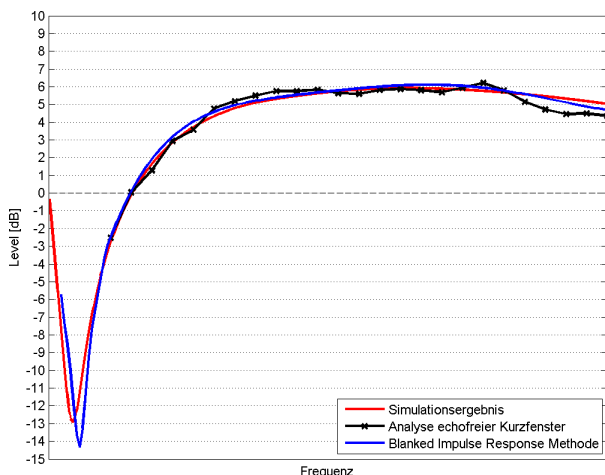


Abbildung 3: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Blanked Impulse Response Methode zur klassischen Kurzfensteranalyse. Das Ergebnis einer Simulationsrechnung dient als Referenz.

Zu erkennen ist (Abb.3), dass das Ergebnis aus der BIR-Methode den erwarteten Verlauf aus der Simulation sehr genau wiedergibt. Im Vergleich zur klassischen Kurzfensteranalyse weist es zudem einen wesentlich stetigeren und höher aufgelösten Verlauf auf. Im Bereich des tiefrequenten Einbruchs liefert die BIR-Methode qualitativ hochwertige Ergebnisse, während die Kurzfensteranalyse verfahrensbedingt bereits versagt. Die im Bereich des tiefrequenten Einbruchs zu erkennenden Abweichungen zw. BIR-Methode und Simulationsrechnung sind sehr wahrscheinlich weniger auf Ungenauigkeiten der BIR-Methode als vielmehr auf die immanenten Unterschiede zw. idealisierten Rechenmodellen (unendlich ausgedehnte Reflektorplatte, unendliches SNR) und toleranzbehafteten Messungen (Umwelteinflüsse, endliche Positionier- und Messgenauigkeiten des verwendeten Equipments, etc.) zurückzuführen.

Fazit / Ausblick

In einem echobehafteten Messraum wird der Sendepuls bzw. das Auswertefenster im klassischen Freifeldverfahren so schmal gewählt, dass keine Echos darin enthalten sind. Eine schlechte Frequenzauflösung ist die Folge. Tieffrequent liefern auch monofrequente Sinuspulse nicht die erforderliche Qualität hinsichtlich zukünftiger Aufgabenstellungen (echofreie Auswertzeit reicht unterhalb einer gewissen Frequenzgrenze zur Ausbildung mindestens einer (eingeschwungenen) Halbwelle nicht aus). Mit der vorgestellten Methode entfallen diese Nachteile. Der Algorithmus wurde erfolgreich auf die Ausblendung von Nachhall adaptiert und seine Funktion anhand von synthetischen als auch messtechnischen Daten nachgewiesen.

In der praktischen Erprobung hat sich erwiesen, dass das Verfahren, im Vergleich zu den klassischen Nachweisverfahren, bei signifikant reduzierter Mess- und Auswertedauer, über den gesamten interessierenden Frequenzbereich, hochaufgelöste und qualitativ hochwertige Ergebnisse liefert. Das Verfahren ermöglicht zudem die Verwendung längerer Anregungspulse wodurch das Signal-Rausch-Verhältnis deutlich erhöht wird. Die Verwendung langer Anregungssignale hat weiterhin den Vorteil, dass die untersuchten Systeme im eingeschwungenen Zustand vermessen werden. Somit ist sichergestellt, dass die Messungen und Ergebnisse unbeeinflusst vom akustischen Einschwingverhalten der eingesetzten Materialien sowie evtl. vorhandener Filter in der Signalkonditionierung sind. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass permanente Störungen (z.B. elektr. Brummen in der Messkette, Umwelt- und Umgebungsstör) über den Algorithmus ebenfalls wirksam unterdrückt werden. Die Kompensation des Zeitverzugs zw. den Signalen und die anschließende Korrelationsrechnung zw. Messsignal und störungsfreiem Sendesignal ergibt, dass sich in der Impulsantwort ausschließlich der Direktschall im zeitlichen Nullpunkt konzentriert. Die permanent einwirkenden Störungen verteilen sich hingegen breit auf der Zeitachse der Impulsantwort und werden über die anschließende Ausblendung ebenso wie die Echos unterdrückt. Das Verfahren ist daher äußerst robust gegenüber jeglichen Störungen und dadurch vielseitig einsetzbar. Mögliche künftige Einsatzgebiete sind:

- Transferpfadanalysen (Unterdrückung von Mehrwegeausbreitungen)
- Ermittlung der hydroakustischen Eigenschaften von Antennen im Einbauzustand (Designüberprüfung)
- Materialparameterbestimmung mittels Durchschallungsmessungen
- Ermittlung der Steifigkeitskennlinien von Lagern im Einbauzustand
- FEM-Rechenmodelle

Literatur

- [1] Schaer, T., et al.: Measurement, modelling and compensation of nonlinearities in hearing aid receivers. NAG/DAGA 2009 – Rotterdam, S. 614 – 617
- [2] Müller, S., Massarani, P.: Transfer-Function Measurement with Sweeps. J. Audio Eng. Soc., Vol. 49, No. 6, 2001.