Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 97 (2006)
Heft: 19

Artikel: Freisprechtelefonie ohne störende Echos
Autor: Faller, Christof
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857724

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Freisprechtelefonie ohne störende Echos

Das Problem der akustischen Echos

Wer mit einer Freisprechanlage oder einem externen Mikrofon eines Computers telefoniert, hört oft das Echo seiner eigenen Stimme. Es gibt zwar entsprechende Elektronik, die das Echo herausfiltern sollte; nicht lineare Elemente wie zu kleine Lautsprecher oder unterschiedliche A/D- und D/A-Wandler machen es dieser aber schwer. So ist in der Praxis immer ein leises Echo zu hören. Ein spezieller Algorithmus könnte die herkömmlichen Echo Canceler ersetzen und wäre robust genug, dass er mit beliebiger Hardware des Computers zurechtkommt.

Seit der Erfindung des Telefons am Ende des 19. Jahrhunderts von Elisha Gray und Alexander Graham Bell hat sich bezüglich der Audioverbindung nicht viel geändert. Noch heute ist die Bandbreite

Christof Faller

der Sprachsignale, wie sie von Telefonen übertragen werden, limitiert bei etwa 3,5 kHz. Selbst Mobiltelefone arbeiten überwiegend mit Bandbreiten von 3,5 kHz. Eine Audio-CD dagegen hat eine Bandbreite von 20 kHz und mehr.

Ebenfalls hat sich kaum geändert, dass die meisten Telefone einen Hörer haben, den man sich ans Ohr hält. Es wird nicht frei mit dem Telefon gesprochen. Dass sich Freisprechtelefonie nicht breit durchgesetzt hat, liegt am Problem mit den akustischen Echos. Eine einfache Methode, die Echos zu umgehen, gibt es seit Langem: Das Telefon kann das Sprachsignal nur in eine Richtung durchlassen. So übertragen die meisten Tischtelefone, die Freisprechen unterstützen, nur das lautere, stärkere Signal. Um jedoch komfortabel und natürlich zu kommunizieren, ist eine Duplex-Verbindung wünschenswert. Das heisst, eine Verbindung, die gleichzeitig die Signale in beide Richtungen durchlässt.

Heute wäre es technisch möglich, die oben genannten Limitationen zu umgehen. Zwei Faktoren begünstigen den Umstieg auf höhere Bandbreiten und das Freisprechen mit einer Duplex-Verbindung: Erstens haben sich die Mikroprozessoren so weit entwickelt, dass leistungshungrige Signalverarbeitungsalgorithmen günstig implementiert werden können. Der zweite Faktor sind neue Verbindungstechnologien wie Voice over IP (VoIP). Ein Grund, wieso sich die 3,5-kHz-Audiobandbreite so lange gehalten hat, ist der (ökonomische) Zwang zur Rückwärtskompatibilität in Telefonnetzwerken. Heute können mit VoIP virtuelle Telefonnetzwerke günstig erweitert werden – die Bandbreite ist nur noch eine Frage der Software und nicht der Hardware.

Das Problem akustischer Echos

Neben der Rückwartskompatibilität, die vorwiegend ein ökonomisches Problem ist, bleibt also noch ein fundamentales technisches Problem, das den Fortschritt in der Telefonie behindert: die akustischen Echos in der Freisprechtelefonie. Ansonsten ist die Übertragung von qualitativ hochstehenden Sprachsignalen – auch in Stereo oder Surround – kein Problem. Bild 1 veranschaulicht das Echo-Problem: Benutzer A ruft B an, der ein Freisprechtelefon besitzt. Wenn A spricht, wird sein Signal, verzögert vom Lautsprecher, bei B reproduziert. Das Mikrofon bei B nimmt das reproduzierte Sprachsignal auf und überträgt es zurück zu A, der es als störendes Echo wahrnimmt. Wenn beide Seiten Freisprechtelefone verwenden, gibt es zusätzlich ein Problem der Instabilität (Feedback).

Acoustic Echo Canceler (AEC)

Das Problem der akustischen Echos wird im Allgemeinen gelöst, indem ein Acoustic Echo Canceler (AEC) [1] ins Freisprechtelefon integriert wird. Dieser eliminiert das Echosignal vom Mikrofon, bevor es übertragen wird. Auf der rechten

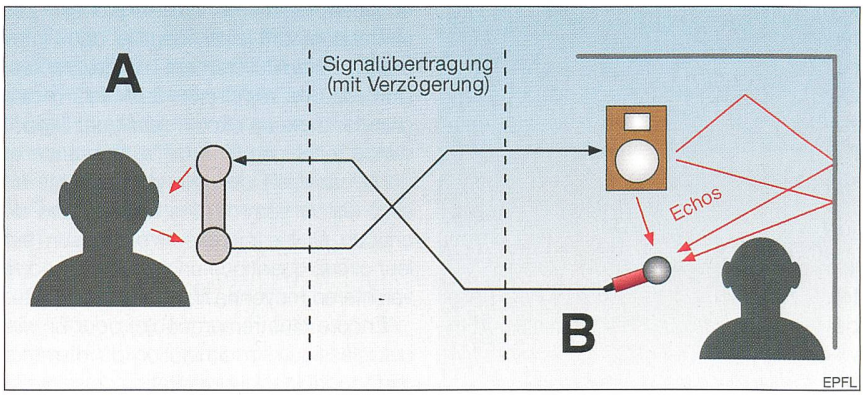


Bild 1 Das Problem der akustischen Echos

Benutzer A ruft Freisprechtelefonbenutzer B an. Benutzer A hört seine eigene, verzögerte Stimme wegen des akustischen Echos auf Seite B.

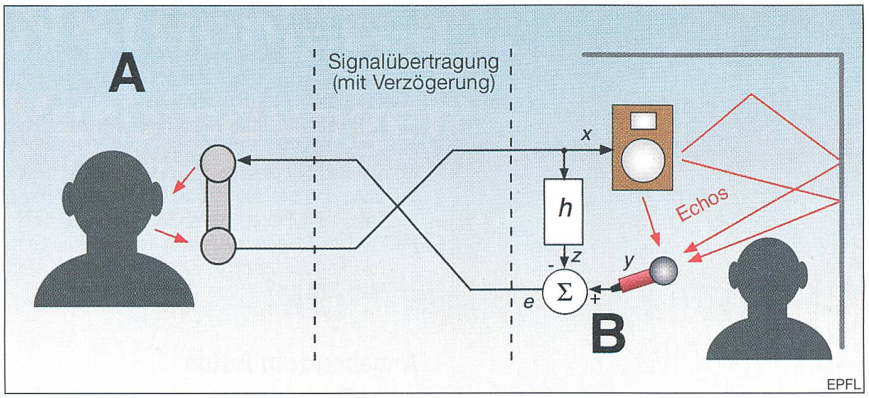


Bild 2 Freisprechtelefon mit Acoustic Echo Canceler (AEC), um das Echo vom Mikrofonsignal zu entfernen

Seite (B) von Bild 2 ist ein Freisprechtelefon mit AEC veranschaulicht. Es wird angenommen, dass die Übertragungsfunktion vom Lautsprecher zum Mikrofon mit einem linearen Filter h modelliert werden kann. Ein adaptiver Filteralgorithmus [2] schätzt diese Übertragungsfunktion rekursiv. Das Lautsprechersignal x, gefiltert mit der geschätzten Übertragungsfunktion h, ergibt eine Schätzung des Echosignals z, die dann vom Mikrofonsignal y subtrahiert wird (Signaldefinitionen siehe Bild 2). Das Filter h wird so adaptiert, dass die Leistung des AEC-Ausgangssignals e minimiert wird. Man kann zeigen, dass dies ein optimales lineares Modell der Übertragungsfunktion zwischen x (Lautsprechersignal) und y (Mikrofonsignal) ergibt.

Während das akustische Echo Canceling für Monosignale in professionellen Konferenzsystemen akzeptabel funktioniert, gibt es immer noch keinen Algorithmus, der robust genug ist, dass er für alle PC-basierten VoIP-Konfigurationen funktioniert. Die Algorithmen, die in Skype, Microsoft Messenger (MSN), Gizmo oder iChat integriert sind, mögen unter gewissen Umständen gut funktionieren, leider aber versagen sie allzu oft. Die Gründe dazu haben damit zu tun, dass die Übertragungsfunktion zwischen Lautsprecher und Mikrofon oft zeitvariabel und nicht linear ist:

- Wird eine Webkamera benutzt als Mikrofon, sind die A/D- und D/A-Konverter unabhängig getaktet. Daraus resultiert eine zeitvariable Verzögerung zwischen Lautsprecher- und Mikrofonsignal.
- Billige Komponenten (A/D- und D/A-Konverter, analoge Elektronik) resultieren ebenfalls in einer nicht linearen Übertragungsfunktion zwischen Lautsprecher und Mikrofon.
- Kleine Lautsprecher erzeugen ein *Clipping:* Bei grosser Lautstärke wird das Signal nicht linear verzerrt, weil die Lautsprechermembran nicht weiter ausschlagen kann.

Aus diesen Gründen funktioniert ein AEC in der Praxis meist nicht gut genug, um das Echo so weit zu entfernen, dass es nicht mehr stört. Der Teil des Echos, der mit dem AEC nicht entfernt wird, heisst verbleibendes Echo (Engl. residual echo). Um das verbleibende Echo so weit zu eliminieren, dass es nicht mehr stört, wird nach dem AEC noch ein sogenannter Post-Prozessor verwendet, der das verbleibende Echo unterdrückt. Der Post-Prozessor funktioniert ähnlich wie ein Rauschunterdrückungsalgorithmus [3]: Das Spektrum des verbleibenden Echos wird zeitvariabel geschätzt, und das Kurzzeitleistungsspektrum des Mikrofonsignals wird so skaliert, dass das verbleibende Echo unterdrückt wird. Diese Art der Signalunterdrückung wird oft spektrale Modifikation oder spektrale Subtraktion (Engl. spectral modification/ spectral subtraction) genannt.

Der Vorteil der spektralen Modifikation, verglichen mit dem Subtrahieren eines Signals, ist, dass man das Signal, das man eliminieren will, nicht genau kennen muss. Das heisst, es reicht, wenn man das Kurzzeitleistungsspektrum eines Signals kennt. In unserem Beispiel muss man nur das Kurzzeitleistungsspektrum des verbleibenden Echos schätzen. Dann wird das Kurzzeitspektrum des Mikrofonsignals mit einem Filter so skaliert, dass das resultierende Signal dasselbe Kurzzeitleistungsspektrum hat, als hätte man das Signal wirklich subtrahiert. Der Effekt dieses Prozesses ist, dass das verbleibende Echo unterdrückt wird. Der Nachteil der spektralen Modifikation gegenüber wirklicher Subtraktion ist, dass das resultierende Audiosignal oft unerwünschte Verzerrungen enthält. Man kann diese Verzerrungen vermindern, indem man die Frequenzauflösung der spektralen Modifikation vermindert.

Spektrale Modifikation

Der wohl schwierigste Fall für AEC ist die PC-basierte Telefonie oder Videotelefonie. Die Vielfalt der möglichen Hardwarekonfigurationen ist enorm. Die Wahl der Lautsprecher und Mikrofone mit verschiedenen Verstärkungsfaktoren und möglichen Nichtlinearitäten bestimmt die Übertragungsfunktion zwischen den Lautsprechern und Mikrofon mit. Des Weiteren gibt es je nach Soundkarte und Webkamera verschiedene Verzögerungen zwischen Lautsprecher und Mikrofonsignal. Darum ist es nicht erstaunlich, dass Skype, MSN, Gizmo und iChat oft versagen, wenn man frei sprechen will und nicht einen Hörer oder ein Headset verwendet.

Das Institut für audiovisuelle Kommunikation der EPFL in Lausanne entwickelte einen Algorithmus zur Echounterdrückung, der so robust ist, dass er mit praktisch allen möglichen PC-Konfigurationen zurechtkommt [4]. Das heisst, er muss resistent gegen Nichtlinearitäten und Zeitverschiebungen zwischen den Lautsprecher- und Mikrofonsignalen sein. Um den PC nicht mehr als nötig zu belasten, soll er nur wenig Rechenleistung beanspruchen. Der Algorithmus be-

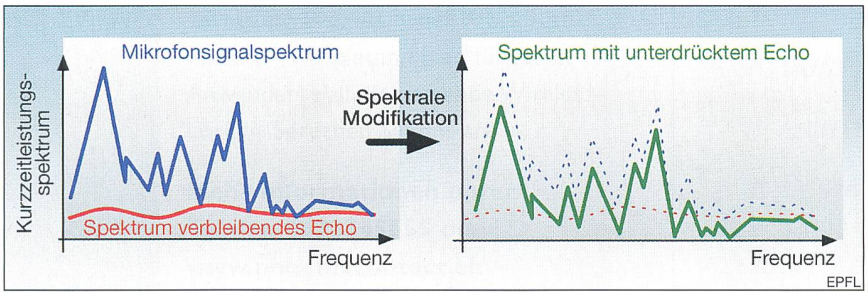


Bild 3 Spektrale Modifikation

Anstatt ein Signal zu subtrahieren, wird das Spektrum so skaliert, dass das resultierende Spektrum dieselbe Leistungsdichte hat, als hätte man das Signal subtrahiert

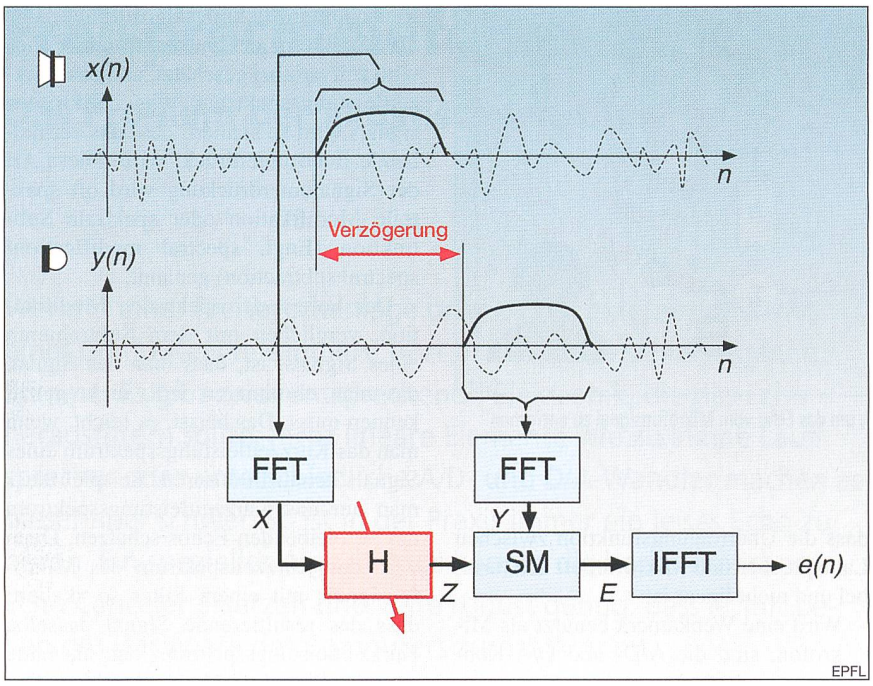


Bild 4 Algorithmus zur Unterdrückung akustischer Echos, basierend auf spektraler Modifikation

nutzt keinen AEC mehr, sondern wendet nur spektrale Modifikation an. Um das Echo mit spektraler Modifikation zu entfernen, muss man das Kurzzeitleistungsspektrum des Echos schätzen. Man erreicht eine grobe Schätzung, indem man das Lautsprechersignal verzögert und mit einem Filter tiefer Ordnung filtert. Da keine Übertragungsfunktion h mit tausend Parametern geschätzt werden muss wie beim AEC, benötigt der Algorithmus eine tiefere Rechenleistung.

Das Schema des Algorithmus zur Echounterdrückung zeigt Bild 4. Der Algorithmus ermittelt die Verzögerung zwischen dem Lautsprechersignal und dem Hauptteil des Echos. Eine schnelle Fouriertransformation (FFT) wird blockweise auf das Lautsprechersignal x und das verzögerte Mikrofonsignal y angewendet, um die Kurzzeitspektren X und Y zu berechnen. Das Filter H wird direkt im spektralen Bereich geschätzt. Dieser modelliert einen Teil der Übertragungsfunktion h (nur einen Teil davon, da H nur mit Kurzzeitspektren berechnet wird). Das Spektrum X des Lautsprechersignals wird mit H multipliziert, um eine grobe Schätzung des Kurzzeitleistungsspektrums des Echos zu erhalten, das benutzt wird, um mittels spektraler Modifikation Y so zu verändern, dass das Echo unterdrückt wird. Eine inverse schnelle Fouriertransformation (IFFT) wandelt das resultierende Spektrum in das Zeitsignal e ohne Echo um.

Aus verschiedenen Gründen ist der beschriebene Algorithmus sehr robust. Da die spektrale Modifikation das Kurzzeitspektrum des Mikrofonsignals nur skaliert, spielen Phasenfehler in der Schätzung von H keine Rolle. Des Weiteren kann man die spektrale Modifikation heuristisch so steuern, dass die Echos auch unterdrückt werden, wenn H nicht sehr präzise geschätzt wurde.

Referenzen

[1] J. Benesty, T. Gänsler, D. R. Morgan, M.M. Sondhi, S. L. Gay: Advances in Network and Acoustic Echo Cancellation, Springer, 2001.
[2] S. Haykin: Adaptive Filter Theory, Prentice Hall, 1996.
[3] S. F. Boll: Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction, IEEE trans. Acoust. Speech Sig. Processing, Vol. 27, No. 2, Nov. 1979.
[4] C. Faller, C. Tournery: Robust Acoustic Echo Control Using a Simple Echo Path Model, Proc. ICASSP, May, 2006.

Angaben zum Autor

Dr. Christof Faller ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Audiovisual Communications Laboratory der EPFL in Lausanne. Spezielles Interesse widmet er der Akustik und der Psychoakustik sowie der Signalverarbeitung. Mehrere seiner Algorithmen sind patentiert oder als Patent eingereicht. Für seine Arbeiten mit Audio-Kodierung erhielt er 2005 von der APLE (Association pour la promotion des liaisons EPFL-Economie) den Preis für die beste Erfindung an der Hochschule in Lausanne und wurde von der amerikanischen Zeitschrift Red Herring als einer der zehn vielversprechendsten jungen Wissenschaftler erkoren.
EPFL, 1015 Lausanne, christof.faller@epfl.ch

Résumé

Téléphoner les mains libres sans écho gênant

Le problème de l'écho acoustique. En téléphonant avec une installation «à mains libres» ou le microphone externe d'un ordinateur, on entend souvent l'écho de sa propre voix. Il existe des systèmes électroniques destinés à filtrer l'écho, mais les éléments non linéaires tels les haut-parleurs trop petits ou divers convertisseurs A/N et N/A ne leur facilitent pas la tâche. En pratique, on entend toujours un faible écho. Un algorithme spécial permettrait de remplacer les suppresseurs d'écho conventionnels et serait suffisamment robuste pour arriver à bout de n'importe quel matériel de l'ordinateur.

Wir schaffen FUNK(tionierende) Verbindungen!

Daten und Signale einfach drahtlos übertragen

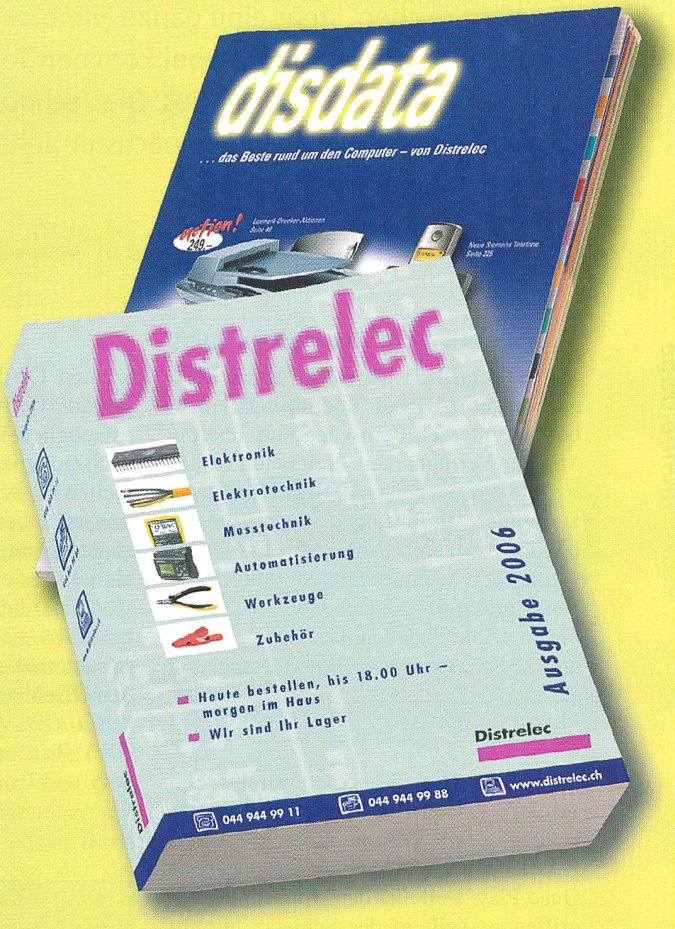
Sie stehen vor der Herausforderung, Daten oder Signale schnell, zuverlässig und kostengünstig an dynamische Maschineneinheiten, temporäre Installationen oder entfernte Teilnehmer zu übertragen? Dann sind Sie bei uns genau richtig!
Egal ob serielle oder E/A-Daten, ob Feldbus- oder Ethernet-Kommunikation, ob Neuinstallation oder Anlagenerweiterung, Prozess- oder Fabrikautomation – wir bieten Ihnen für jeden Anwendungsfall die passende Wireless-Lösung. Sprechen Sie uns an!

Mehr Informationen unter Telefon 0523545555 oder www.phoenixcontact.ch

PHOENIX CONTACT
INSPIRING INNOVATIONS

© PHOENIX CONTACT 2006

Täglich im Einsatz...



www.distrelec.ch

- 85'000 Qualitätsprodukte
- Heute bestellen – morgen im Haus
- Kein Mindermengenzuschlag
- Günstige Versandkosten
- Bester Service

Jetzt Katalog kostenlos bestellen!

Distrelec Industrie Elektronik
disdata Computer Produkte
Distrelec
Telefon 044 944 99 11
Fax 044 944 99 88