

Adaptive Echo-Kompensation in Audiosignalen

In dieser Aufgabe entwickelt ihr ein System zur Echtzeit-Echounterdrückung in Audiosignalen. Ziel ist es, mithilfe eines adaptiven Filters unerwünschte Echos im Audiosignal zu eliminieren, sodass das Primärsignal möglichst ohne Störgeräusche wiedergegeben wird. Ihr werdet dazu einen adaptiven LMS-Filter (Least Mean Squares) implementieren, der in der Lage ist, Echos dynamisch zu erkennen und kontinuierlich anzupassen, um sie in Echtzeit zu unterdrücken.

Hintergrund:

Echos entstehen, wenn ein Signal von einer Quelle auf eine Fläche (wie eine Wand oder ein anderes Hindernis) trifft und reflektiert wird, sodass es verzögert und abgeschwächt zurück zur Quelle gelangt. In Kommunikationssystemen, bei Sprachaufnahmen oder Audioübertragungen kann dieses Echo störend wirken und die Qualität des Signals stark beeinträchtigen (bei der digitalen Nachrichtentechnik nennt sich das dann Mehrwege-Ausbreitung und erfordert z.B. ein cyclic-prefix bei OFDM). Eure Aufgabe besteht darin, das Echo zu identifizieren und zu eliminieren, ohne das Primärsignal zu verfälschen.

Der adaptive LMS-Algorithmus, den ihr verwendet, passt sich kontinuierlich an, indem er das **Verhalten des Echos im Verhältnis zum Primärsignal „lernt“**. Er passt die Filterparameter so an, dass das Echo im Ausgangssignal minimiert wird. Die Konfiguration des Algorithmus ist flexibel, sodass ihr Parameter wie die **Filterordnung** (Anzahl der Filterkoeffizienten) und die **Schrittweite** (Anpassungsgeschwindigkeit des Filters) **anpassen könnt**, um die bestmögliche Echounterdrückung in verschiedenen Umgebungen zu erreichen.

Implementierung des LMS-Algorithmus:

Der LMS-Algorithmus basiert auf einer Echtzeit-Anpassung der Filterkoeffizienten. Er analysiert das **Eingangssignal, das das Primärsignal und das Echo** enthält, und vergleicht es mit dem **geschätzten „idealen“ Primärsignal**. Der Unterschied zwischen dem tatsächlichen Signal und dem idealen Signal, das Echo, wird durch den Algorithmus als Fehler behandelt. Dieser Fehlerwert wird verwendet, um die Filterparameter laufend anzupassen und das Echo zu eliminieren.

1. Eingangssignal und Primärsignal:

Euer System wird in Echtzeit Audiosignale empfangen, die ein Nutzsignal (Primärsignal) sowie ein verzögertes Echo enthalten. Eure Aufgabe besteht darin, das Echo zu identifizieren und zu unterdrücken, während das Primärsignal unverändert bleibt.

2. Fehlerberechnung:

Der LMS-Algorithmus berechnet den Unterschied zwischen dem tatsächlichen Signal (mit Echo) und dem geschätzten Primärsignal. Dieser Fehler wird minimiert, indem der Algorithmus die Filterparameter laufend anpasst.

3. Anpassung der Filterkoeffizienten:

Ihr werdet den Algorithmus so konfigurieren, dass die Filterkoeffizienten dynamisch in Echtzeit angepasst werden. Das Ziel ist, das Echo zu entfernen, indem die Filter ständig optimiert werden, um das Echo vom Primärsignal zu trennen.

Konfigurierbare Parameter:

Euer Algorithmus ist so gestaltet, dass ihr ihn an verschiedene Szenarien anpassen könnt. Ihr werdet folgende Parameter einstellen können:

- **Filterordnung:**

Die Anzahl der Filterkoeffizienten beeinflusst die Komplexität des Filters und seine Fähigkeit, komplexe Echos zu verarbeiten. Je höher die Filterordnung, desto leistungsfähiger ist der Filter, aber desto mehr Rechenressourcen werden benötigt.

- **Schrittweite:**

Die Schrittweite legt fest, wie schnell sich der Filter an Veränderungen im Echo anpasst. Eine kleine Schrittweite führt zu langsamerer Anpassung, aber stabilerem Verhalten. Eine größere Schrittweite sorgt für schnellere Anpassung, birgt aber das Risiko von Instabilitäten, wenn sie zu groß gewählt wird.

- **Verzögerungszeit des Echos:**

Ihr könnt die Verzögerung des Echos einstellen, um den Filter auf spezifische Echoverzögerungen abzustimmen. Dies ermöglicht eine präzisere Erkennung und Filterung des Echos.

Echtzeit-Demonstration:

Sobald euer LMS-Algorithmus auf dem Mikrocontroller implementiert ist, wird das System in der Lage sein, in Echtzeit Audiosignale zu empfangen, die Echos enthalten. Der Algorithmus wird diese Echos entfernen, und das gefilterte Signal kann über einen Lautsprecher oder Kopfhörer wiedergegeben werden. Ihr solltet den Effekt der Echounterdrückung sofort hören können.

Präsentation:

Ihr präsentiert die Ergebnisse in einer Live-Demonstration und einem Foliensatz.