

2. Übung

Audio-Effekte wie Delay, Hall, Echo, Kamm-Filterung, Flanging, Chorusing etc. sind unverzichtbare Hilfsmittel bei der Produktion und Aufführung von Musikstücken. Viele dieser Effekte lassen sich auf Signalprozessoren implementieren und sind inzwischen fester Bestandteil von Keyboard-Stationen und Tongeneratoren. Im folgenden soll auf dem EVB ein Echo-Prozessor implementiert und untersucht werden.

Echo Prozessor

Unter einem Echo versteht man eine durch Reflexion zum Ursprungsort wieder zurückkehrende Schallwelle. Ein dort stehender Beobachter nimmt damit ein akustisches Ereignis zweimal wahr, einmal unmittelbar und nach einer gewissen zeitlichen Verzögerung nochmals. Ein einfacher Echo-Prozessor läßt sich damit durch die Differenzgleichung:

$$y(k) = x(k) + a \cdot x(k-D)$$

beschreiben, mit $0 < |a| < 1$. Damit setzt sich der momentane Ausgangswert $y(k)$ aus dem momentanen Eingangswert $x(k)$ und einen mehr oder weniger abgeschwächtem früheren Eingangswert zusammen.

Auf dem EVB ist ein derartiger Echo-Prozessor mit einer Abtastfrequenz von $f_a = 10\text{kHz}$ und einem Echokoeffizienten von $a = 0.6$ zu implementieren. Die Verzögerung D ist dabei so zu dimensionieren, daß hiermit Echolaufzeiten von

$$\tau \cong 10 \text{ ms} \text{ sowie } \tau \cong 200 \text{ ms}$$

realisiert werden.

1. Vorbereitung

- Gebe das Strukturbild des Echo-Prozessors als diskretes System an.
- Stelle die z -Übertragungsfunktion auf.
- Stelle die Impulsantwortfolge auf.
- Welche Verzögerungsparameter D sind für die beiden Echolaufzeiten erforderlich?
- Stelle den Amplitudengang und den Phasengang auf.
- Bei welchen Frequenzen zeigt der Amplitudengang $H(f)$ Maxima und Minima?

g) Bei welchen Frequenzen zeigt der Phasengang $\varphi(f)$ Nullstellen?

2. Durchführung

- a) Entwickle das lauffähige Assemblerprogramm für das EVB. Das Programm muß dabei so organisiert sein, daß sich die beiden Laufzeiten nur durch Änderung eines Parameters im Programm realisieren lassen.
- b) Bestimme die Echolaufzeiten für $\tau \cong 10$ ms und $\tau \cong 200$ ms mittels Oszilloskop aus der Impulsantwortfolge.
- c) Bei welchen Frequenzen zeigt der Amplitudengang die ersten vier Minima und Maxima?
- d) Bei welchen Frequenzen zeigt der Phasengang die ersten vier Nullstellen?
- e) Speise den Eingang des Echo-Prozessors mit dem Musiksinal eines Recorders und höre das Echo-Ausgangssignal mit einem Kopfhörer ab.

Hinweis: Die Messungen zu c und d sind nur für $\tau = 10$ ms durchzuführen.

3. Auswertung

- a) Berechne mittels MATLAB den Verlauf von Amplitudengang $H(f)$ und Phasengang $\varphi(f)$ im Bereich von $0 \leq f \leq f_a/10$ für die beiden Echolaufzeiten.
- b) Überprüfe aus den Darstellungen von (a) die theoretischen Ergebnisse von (1.f und 1.g) sowie die Meßwerte von (2.c und 2.d). Stelle diese verschiedenen Werte in einer Tabelle dar.
- c) Berechne mittels MATLAB den Verlauf von Phasen- und Amplitudengang bei einem Echokoeffizienten von $a = -0.6$?
- d) Bei welchen Frequenzen treten nunmehr die Minima bzw. Maxima auf und mit welchen Werten?
Bei welchen Frequenzen treten nunmehr die Nullstellen des Phasenganges auf?
- e) Bestimme mittels MATLAB den allgemeinen Einfluß des Echokoeffizienten $a \in \mathbb{R}$ auf Phasen- und Amplitudengang.

Anhang:

MATLAB und SIMULINK

MATLAB und SIMULINK sind Tools, mit denen man komplexe mathematische Probleme bearbeiten und die Ergebnisse visualisieren bzw. komplexe zeitkontinuierliche und zeitdiskrete Systeme modellieren und in ihrem Verhalten simulieren kann. Beide Tools benutzen einen gemeinsamen Arbeitsbereich (Workspace) über den sie miteinander verbunden sind.

MATLAB ist eine eigene Programmiersprache, mit der man ausführbare Dateien - sogenannte m-Files - erstellen kann. Diese m-Dateien werden im ASCII-Format mit der Erweiterung *.m abgespeichert; woher auch deren Bezeichnung resultiert. Dabei unterscheidet man zwei Arten von m-Dateien:

- Skript-Files
- Funktionen

In den Skript-Files wird eine Folge von MATLAB-Anweisungen und -Funktionen abgelegt, die von dem MATLAB-Interpreter ausgeführt werden.

Eine Funktion ist inhaltlich das gleiche wie eine Skript-Datei, nur daß diese mit dem Wort **function** beginnt, gefolgt von der eigentlichen Funktionsbeschreibung im Formalismus der MATLAB-Programmiersprache. Im Rahmen dieser Beschreibung werden auch die verwendeten Eingangsvariablen und die Rückgabewerte als Übergabeparameter definiert. Im Gegensatz zu den Variablen eines Skript-Files haben die Variablen einer Funktion nur lokale Bedeutung (lokale Variablen).

Beim Arbeiten mit MATLAB muß man zwei Ebenen unterscheiden, zum einen die Editor-Ebene zur Erstellung von Skript-Files und Funktionen und zum anderen die Kommando-Ebene (auch Interpreter-Ebene genannt) um MATLAB-Files oder einzelne MATLAB-Anweisungen auszuführen.

Eine detailliertere Einweisung in MATLAB stellt die HTML-Hilfe selbst zur Verfügung. Diese erreicht man durch den Aufruf „helpdesk“ in der Kommandoebene. Hier erhält man unter „Getting Started“ eine einfache Übersicht über MATLAB. Ebenso kann man über die Suchfunktion detaillierte Beschreibungen aller implementierten Funktionen bekommen.

2. Übung

Audio-Effekte wie Delay, Hall, Echo, Kamm-Filterung, Flanging, Chorusing etc. sind unverzichtbare Hilfsmittel bei der Produktion und Aufführung von Musikstücken. Viele dieser Effekte lassen sich auf Signalprozessoren implementieren und sind inzwischen fester Bestandteil von Keyboard-Stationen und Tongeneratoren. Im folgenden soll auf dem EVB ein Hall-Prozessor implementiert und untersucht werden.

Hall-Prozessor

Befindet sich in einem größerem Raum mit schallreflektieren Wänden und Gegenständen ein Beobachter, so nimmt dieser außer dem direkten Schall auch Schallwellen wahr, die aufgrund von Reflexionen längere Wege zurücklegen. Diese gegenüber dem direktem Schall verspätet eintreffenden Schallwellen faßt man unter dem Begriff Hall zusammen.

Ein einfacher Hall-Prozessor läßt sich damit durch die Differenzgleichung:

$$y(k) = x(k) + a \cdot y(k-D)$$

beschreiben, mit $0 < |a| < 1$. Damit setzt sich der momentane Ausgangswert $y(k)$ aus dem momentanen Eingangswert $x(k)$ und einen mehr oder weniger abgeschwächtem früheren Ausgangswert zusammen.

Auf dem EVB ist ein derartiger Hall-Prozessor mit einer Abtastfrequenz von $f_a = 10\text{kHz}$ und einem Hallkoeffizienten von $a = 0.6$ zu implementieren. Die Verzögerung D ist dabei so zu dimensionieren, daß hiermit Hallzeiten von

$$\tau \cong 10 \text{ ms} \text{ sowie } \tau \cong 200 \text{ ms}$$

realisiert werden.

1. Vorbereitung

- Gebe das Strukturbild des Hall-Prozessors als diskretes System an.
- Stelle die z -Übertragungsfunktion auf.
- Stelle die Impulsantwortfolge auf.
- Welche Verzögerungsparameter D sind für die beiden Hallzeiten erforderlich?
- Stelle den Amplitudengang und den Phasengang auf.

f) Bei welchen Frequenzen zeigt der Amplitudengang $H(f)$ Maxima und Minima?

g) Bei welchen Frequenzen zeigt der Phasengang $\varphi(f)$ Nullstellen?

2. Durchführung

- a) Entwickle das lauffähige Assemblerprogramm für das EVB. Das Programm muß dabei so organisiert sein, daß sich die beiden Zeiten nur durch Änderung eines Parameters im Programm realisieren lassen.
- b) Bestimme die Hallzeiten $\tau \cong 10$ ms sowie $\tau \cong 200$ ms aus der Impulsantwortfolge mittels Oszilloskop.
- c) Bei welchen Frequenzen zeigt der Amplitudengang die ersten vier Minima und Maxima? Bestimme deren Werte.
- d) Bei welchen Frequenzen zeigt der Phasengang die ersten vier Nullstellen?
- e) Speise den Eingang des Hall-Prozessors mit dem Musiksignal eines Recorders und höre das Hall-Ausgangssignal mit einem Kopfhörer ab.

Hinweis: Die Messungen zu c und d sind nur für $\tau = 10$ ms durchzuführen.

3. Auswertung

- a) Berechne mittels MATLAB den Verlauf von Amplitudengang $H(f)$ und Phasengang $\varphi(f)$ im Bereich von $0 \leq f \leq f_a/10$ für die beiden Echolaufzeiten.
- b) Überprüfe aus den Darstellungen von (a) die theoretischen Ergebnisse von (1.f und 1.g) sowie die Meßwerte von (2.c und 2.d). Stelle diese verschiedenen Werte in einer Tabelle dar.
- c) Berechne mittels MATLAB den Verlauf von Phasen- und Amplitudengang bei einem Echokoeffizienten von $a = -0.6$?
- d) Bei welchen Frequenzen treten nunmehr die Minima bzw. Maxima auf und mit welchen Werten? Bei welchen Frequenzen treten nunmehr die Nullstellen des Phasenganges auf?
- e) Bestimme mittels MATLAB den allgemeinen Einfluß des Echokoeffizienten $a \in \mathbb{R}$ auf Phasen- und Amplitudengang.