

Versuch 2: Digitale Filter

In diesem Versuch werden digitale FIR-Filter für die Filterung von ein- und zweidimensionalen Signalen untersucht. In der ersten Aufgabe sollen Sie Koeffizienten schätzen. Auf diese Weise soll das Verständnis vertieft werden, welche Eigenschaften der Filterkoeffizienten zu welchen Filtertypen führt. Natürlich ist das Schätzen von Filterkoeffizienten für die meisten praktischen Anwendungsfälle nicht gut geeignet. Daher wird in der zweiten Aufgabe das Programm "FirDesigner" verwendet. Es ermöglicht die Berechnung von grundlegenden Filtertypen unter Angabe der Grenzfrequenzen und der Anzahl der gewünschten Koeffizienten. Die Aufgaben 3 und 4 thematisieren die Anwendung von FIR-Filtern für digitalisierte Bilder.

Aufgabe 1: Einfache Filter

Versuchsdurchführung:

1. Erstellen Sie zwei Textdateien (tp.txt und hp.txt). Tragen Sie in diese Textdateien Koeffizienten für ein Tiefpass- und Hochpass-Filter ein. **Hinweis:** In jeder Zeile darf nur ein Koeffizient eingetragen sein.

Die Wahl der Koeffizienten ist Ihnen – abgesehen von den folgenden Einschränkungen – freigestellt: Die Anzahl der Koeffizienten soll mindestens 3 und höchstens 9 betragen und die Koeffizienten sollen nur die Werte 1 und -1 besitzen. Das erste Minimum des Tiefpass Frequenzgangs soll etwa bei 5000 Hz liegen und das letzte Minimum des Frequenzgangs des Hochpass soll ungefähr bei 10 kHz auftreten ($f_s=44100$ Hz). Beides können Sie mit dem Programm *Filter* im nächsten Schritt überprüfen.

Exemplarische Frequenzgänge für beide Filter finden Sie im Anhang dieses Dokumentes.

2. Starten Sie das Programm *Filter* und wählen Sie über das Menü (File→Audio Input File) die Datei Pirates.wav. Wählen Sie über das Menü eine Ihrer Koeffizienten-Dateien aus.

Überprüfen Sie den angezeigten Frequenzgang der beiden Filter. Sind die Anforderungen erfüllt? Falls ja, weiter mit dem nächsten Schritt. Falls nein, ändern Sie die Koeffizienten um die beiden Filter zu verbessern.

3. Geben Sie nun noch die Ausgabedatei an: File→Audio Output File. Den Namen können Sie frei wählen. Spielen Sie die gefilterte Datei ab (Programm *Playback*) und überprüfen Sie auf diese manuelle Weise die Funktion der beiden Filter.

Aufgabe 2: Entwurf von Filtern

Versuchsdurchführung:

1. Hören Sie sich die Datei *elise1m-dist-22kHz.wav* (Abtastfrequenz: 22,05 kHz) an. Es handelt sich um Musik, der ein Störsignal überlagert ist. Dieses Störsignal soll herausgefiltert werden.
2. Mit Hilfe des Programms *Spectrumanalyzer* können Sie die Störfrequenz identifizieren, denn es zeigt Ihnen die Frequenzanteile eines Ausschnitts einer Audiodatei an. Den untersuchten Ausschnitt können Sie mit einem "Scrollrad" wählen.

Laden Sie die gestörte Datei in den *Spectrumanalyzer* und scrollen Sie durch die Datei (Rad auf der rechten Seite des Programmfensters). Mit *Zoom* und *Pan* können Sie den für Sie interessanten Frequenzbereich genauer darstellen.

Welche Frequenz (in Hz) muss herausgefiltert werden?

3. Nachdem Sie die Störfrequenz identifiziert haben, können Sie ein Filter entwerfen, dass diese Frequenz aus dem Signal herausfiltert. Hierfür verwenden wir das Programm *FirDesigner*.
4. Zunächst soll eine Bandsperre entworfen werden. Wählen Sie den Filter-Typ "Band Stop" aus. Geben Sie die Grenzen des Sperrbereichs¹ (*Fußnote lesen!*) ein und speichern Sie die berechneten Koeffizienten in der Datei *coeff.txt*. Als *Window-Type* wählen Sie "None".

Starten Sie das Programm *Filter* und wählen Sie als Eingabedatei das gestörte Signal, als Koeffizienten die zuvor erzeugte Datei *coeff.txt* und als Ausgabedatei die Datei *filtered.wav*.

Mit Hilfe des Programms *Spectrumanalyzer* können Sie die Wirkung des Filters (*Verhältnis zwischen Stärke der Störung im gefilterten Signal zur Stärke der Störung im Eingangssignal*) in Abhängigkeit von der Koeffizientenanzahl analysieren.

Stellen Sie die Abhängigkeit zwischen Koeffizientenanzahl und Filterwirkung in Ihrem Versuchsbericht sinnvoll grafisch dar.

Hinweis: Die Programme erkennen, wenn sich Eingabedateien ändern. Sobald neue Koeffizienten in die Datei coeff.txt geschrieben wurden, wird eine neue Filterausgabe berechnet, deren Frequenzgang kurz darauf auch im Spectrumanalyzer angezeigt wird. Sie müssen die Programme also nicht mehrfach neu starten oder die Neuberechnung der Ausgabewerte manuell anstoßen.

5. Wiederholen Sie den letzten Schritt. Verwenden Sie diesmal ein Hochpass-Filter ("High Pass"). Als Grenzfrequenz wählen Sie die obere Frequenz des Sperrbereichs aus dem vorangegangenen Schritt.

Vergleichen Sie die Filterwirkung mit der Bandsperre. Welches der beiden Filter würden Sie bevorzugen?

Aufgabe 3: Filterung von Bildern

Versuchsdurchführung:

1. In diesem Teil des Versuchs soll die Wirkung von FIR-Filtern auf Bilder verdeutlicht werden. Erzeugen mit Hilfe des Programms *FirDesigner* eine Koeffizientendatei für ein Tiefpassfilter mit der Grenzfrequenz $0.01 f_s$. Wählen Sie als Koeffizientenanzahl den Wert 7.
2. Starten Sie das Programm *ImageFilter* und laden Sie die Datei *Palme_klein.jpg* (Auswahl des Bildes durch Anklicken des Buttons in der Zeile Input Image). Wählen Sie die zuvor erzeugte Koeffizientendatei als horizontale Filterkoeffizienten ("Hor Coeffs") aus. Welche Änderungen im Bild sehen Sie?

Sie können das Bild abspeichern. Hierzu muss ein gültiger Dateiname in der Zeile "Output Image" ausgewählt sein. Mit einem Klick auf "Save Output Image" wird das Bild gespeichert.

3. Erhöhen Sie die Koeffizientenanzahl auf 35. Wie ändert sich der Frequenzgang? Welche Änderungen sehen Sie im Bild?
4. Wählen Sie die Koeffizientendatei auch für die vertikalen Koeffizienten aus. Wie ändert sich das Bild?
5. Erzeugen Sie die Datei *bp.txt* und tragen Sie die Koeffizienten 0.5 0 und -0.5 ein. So erhalten Sie ein einfaches Bandpassfilter.

Prüfen Sie die Wirkung dieses Filters (evtl. müssen Sie den Kontrast des Bildes mit dem Schieberegler erhöhen), indem sie die Koeffizienten nur horizontal, nur vertikal und in sowohl horizontal als auch vertikal einsetzen.

Wie würden Sie die Wirkung des Filters mit eigenen Worten beschreiben?

¹ Wählen Sie ca. $\pm 15\%$ der Störfrequenz und runden Sie auf die dritte Nachkommastelle (Tausendstel-Stelle). Wenn Sie richtig gerechnet haben, kommen für die Grenzfrequenzen relativ kleine Werte heraus (bei denen nur die Tausendstel-Stelle ungleich Null ist).

Aufgabe 4: Bildskalierung und Aliasing

Versuchsdurchführung:

1. Öffnen Sie die Datei *AC.jpg* mit Hilfe des Programms *ImageFilter*. Die Größe dieses Bildes soll verkleinert werden. Hierzu kann mit dem Schieberegler "Image Scale" der Skalierungsfaktor eingestellt werden.
2. Stellen Sie die Skalierung auf den Faktor 4 ein. Sie sehen deutliche "Störungen" (Fachbegriff: Artefakte) im Bild. Da die Skalierung durch Unterabtastung ("Weglassen von Pixeln") stattfindet, wird damit die Abtastfrequenz verringert. Dies führt dazu, dass vormals hohe Frequenzanteile nun als niedrige Frequenzen erscheinen: Das nennt man Aliasing.
3. Kann man Aliasing verhindern? Ja. Es muss sichergestellt sein, dass die hohen Frequenzen, vor der Unterabtastung aus dem Bild entfernt wurden. Hierzu kann man digitale Filter auf dem Originalbild anwenden.

Welcher Filtertyp wird benötigt?

Entwerfen Sie mit dem Programm *FirDesigner* ein geeignetes Filter (wählen Sie maximal 7 Koeffizienten) und speichern Sie die Koeffizienten ab.

4. Tragen Sie die Datei mit den Filterkoeffizienten im Programm *ImageFilter* unter *Hor. Coeffs* und *Ver. Coeffs* ein.

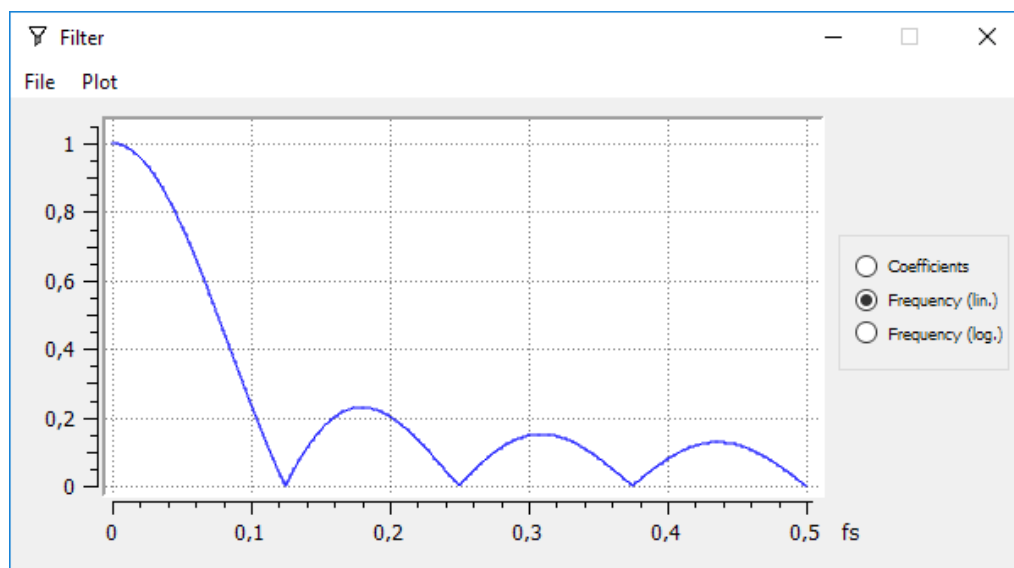
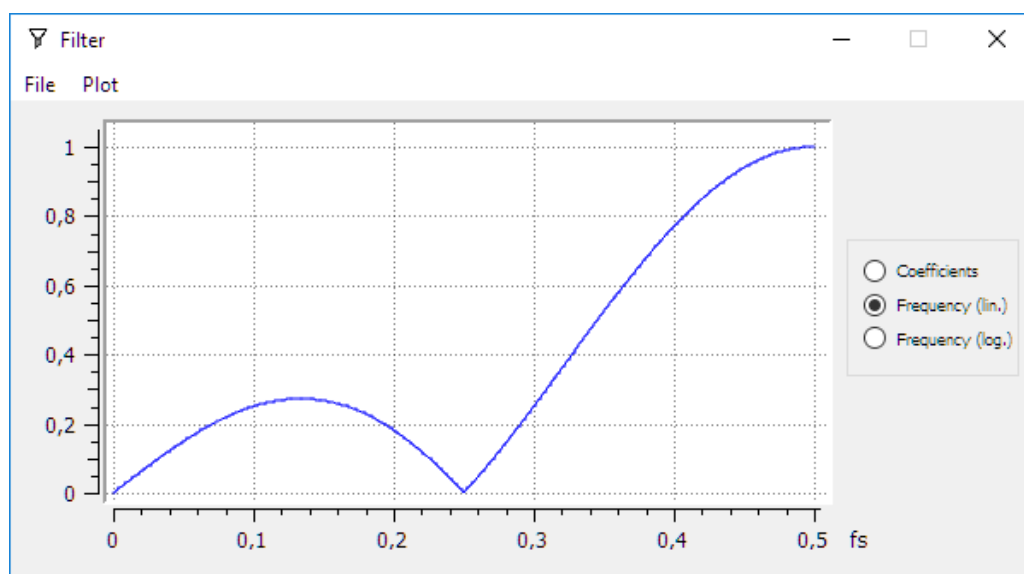
Die Artefakte sollten nun deutlich reduziert sein. Falls nicht, überprüfen Sie die Filterkoeffizienten bzw. erzeugen Sie sie erneut.

Was passiert, wenn Sie das Bild weiter herunterskalieren? Treten Artefakte auf?

5. Löschen Sie im Programm *ImageFilter* die Einträge für die beiden Koeffizientendateien. Nun werden die Bilder wieder ungefiltert dargestellt.

Laden Sie die Datei *Zoneplate.bmp* in das Programm *ImageFilter* und skalieren Sie das Bild um den Faktor 6.

Sogenannte *Zoneplates* (deutsch: Zonenplatten) werden auch für Frequenzanalysen von optischen Systemen eingesetzt: Die dargestellten Frequenzen steigen von der Bildmitte zu den Bildrändern hin an.

Anhang:**Bild A1:** Exemplarischer Frequenzgang des Tiefpassfilters (Aufgabe 1)**Bild A1:** Exemplarischer Frequenzgang des Hochpassfilters (Aufgabe 1)