

# HITWK

Hochschule für Technik,  
Wirtschaft und Kultur Leipzig

FAKULTÄT INGENIEURWISSENSCHAFTEN

BELEG

---

## Vergleich eines FIR Bandpass und eines IIR Notch Filters zur Filterung von EKG Signalen

---

Von:

Jacob UELTZEN &  
Trung Hoang NGUYEN

11. März 2020

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>II</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Zielstellung . . . . .	1
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	1
<b>2 Digitale Filter</b>	<b>2</b>
2.1 Grundlagen von FIR Filter . . . . .	2
2.1.1 Struktur von FIR Filtern . . . . .	2
2.2 Grundlagen von IIR Filter . . . . .	3
2.2.1 Struktur von IIR Filtern . . . . .	4
2.3 Entwurf digitaler Filter . . . . .	5
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>6</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Struktur eines einfachen Moving Average Filters[1]	2
2.2	Struktur eines IIR Filter[1]	4

# 1 Einleitung

Die in dieser Dokumentation beschriebene Implementierung von digitalen Filtern in VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language) ist als Belegarbeit im Fach „Schaltkreisentwurf“ entstanden. Dieses einführende Kapitel gibt einen Überblick über den Aufbau der zugehörigen Dokumentation.

## 1.1 Zielstellung

Das Ziel dieser Belegarbeit ist die theoretische Behandlung der Funktionsweise digitaler Filter und deren praktische Umsetzung in VHDL. Es werden zwei unterschiedlich Varianten von Digitalen Filtern zum Zweck der Signalfilterung von EKG Signalen umgesetzt und miteinander verglichen.

Zur Umsetzung dessen wurde der Spartan3 XC3S1000 ausgewählt, da dieser in den Labors zum testen vorhanden ist.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Das 2. Kapitel befasst sich mit der Erläuterung digitaler Filter und deren Entwurf mit Python. Am Ende des Kapitels wird beispielhaft der Entwurf und die Umsetzung eines solchen Filters in der Python Suite Jupyter gezeigt.

Die Realisierung mittels VHDL wird im 3. Kapitel verdeutlicht. Dafür werden alle Einzelmodule des Filters erklärt und vorgeführt. Anschließend wird der Filter durch Verwendung seiner teil Module umgesetzt. Zum Schluss wird auf die Simulation eingegangen und Optimierungsmöglichkeiten werden besprochen.

Das 4. Kapitel behandelt den Einsatz digitaler Filter und die vorgesehene Anwendungsmöglichkeit dieser speziellen Filter in der Signalverarbeitungskette eines EKG.

## 2 Digitale Filter

Digitale Filter sind effiziente Methoden zur Filterung digitaler Signale. Dabei wird wie bei den Analogen Filtern zwischen Tief- und Hochpass Filtern, Bandpass und Bandsperre unterschieden. Außerdem lassen sich genau wie bei den Analogen Filtern auch verschiedenen Filtercharakteristika realisieren.

### 2.1 Grundlagen von FIR Filter

FIR ist die englische Abkürzung für finite impulse response. Dies heißt übersetzt endliche Impuls Antwort und bedeutet, dass wenn der Filter am Eingang mit einem Impuls angeregt wird, dass die Antwort des Filters, also das resultierende Ausgangs Signal endlich ist, also nach einer bestimmten Zeitspanne ausgeklungen ist.

#### 2.1.1 Struktur von FIR Filtern

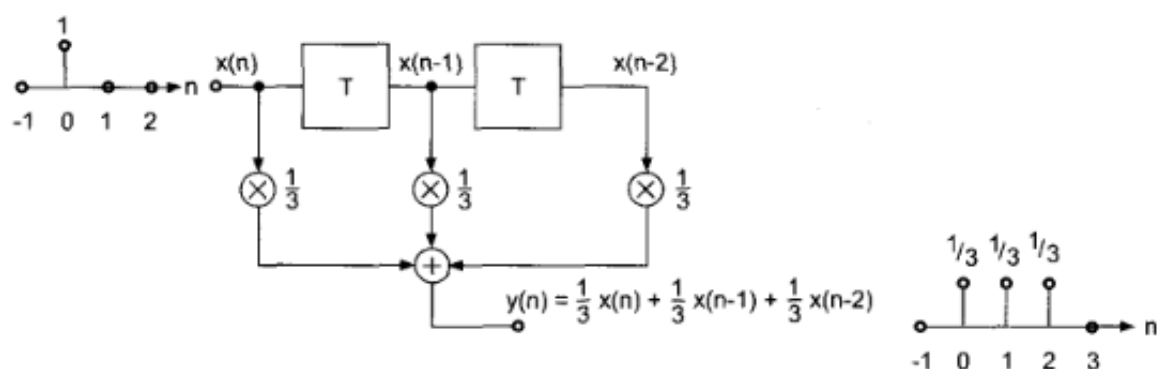


Abbildung 2.1: Struktur eines einfachen Moving Average Filters[1]

Ein digitales Filter besteht immer aus einem kaskadierenden Verzögerungsglied und den Filterkoeffizienten, mit denen die Einzelnen Verzögerungsstufen Multipliziert werden. Der Ausgabewert des Filters ergibt sich dann aus der Addition der mit den Koeffizienten Multiplizierten

verzögerten Eingabewerte. Dies wird auch als Feed Forward bezeichnet.

Im Bild 2.1 ist die Grundstruktur eines Filters zu sehen, das einen gleitenden Mittelwert der Eingabewerte bildet. Dafür wird das Signal zweimal verzögert, sodass mit dem aktuellen Eingangssignal zu jedem Zeitpunkt drei Signale vorliegen. Dann wird jedes dieser Signale mit  $\frac{1}{3}$  multipliziert und alles zum Ausgangssignal aufaddiert.

Damit wurde zu einem Zeitpunkt der Mittelwert eines Eingangssignals gebildet. Da sich das Ausgangssignal aber zeitlich abhängig vom Eingangssignal auch ändern kann, haben wir einen gleitenden Mittelwert (Moving Average). Die  $\frac{1}{3}$  fungieren in diesem Fall als Filterkoeffizienten.

Für kompliziertere Filter bleibt das Konzept identisch, doch werden mehr Verzögerungsstufen hinzugefügt und dementsprechend mehr Filterkoeffizienten.

Das Ausgangssignal eines solchen Filters lässt sich mit folgender Formel beschreiben:

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} h[k] \times x[n-k]$$

Dabei ist  $h[k]$  der Wert des jeweiligen Filterkoeffizienten und  $x[n-k]$  der Wert des dazu gehörenden verzögerten Eingangssignals.

Für die in Abbildung 2.1 gezeigte Struktur gilt also folgendes:

$$y[n] = h * x[n] + h * x[n-1] + h * x[n-2] \quad | h = \frac{1}{3}$$

## 2.2 Grundlagen von IIR Filter

Die Abkürzung IIR steht im Gegensatz zu den gerade besprochenen FIR Filtern für eine unendliche Impulsantwort (infinite impulse response). Ein einfacher Eingangsimpuls könnte bei einem solchen Filter also dafür sorgen, dass der Ausgang des Filters nie wieder einen Ruhezustand erreicht. Dies kann mitunter dazu führen, dass das Filter sich aufschwingt und beginnt zu oszillieren, was zu in der Regel ungewollten Effekten führen kann.<sup>1</sup>

Die Vorteile einer IIR Struktur sind jedoch, dass zumeist ein gleichwertiges Ergebnis wie mit einer FIR Struktur mit weit weniger Filterkoeffizienten erreicht werden kann. Dies bedeutet natürlich auch, dass dementsprechend weniger Rechenleistung verbraucht wird, da weniger Multiplikationen und Additionen durchgeführt werden müssen, um das selbe Ergebnis zu erlangen.

---

<sup>1</sup>aber auch gelegentlich zur Schwingungserzeugung genutzt wird.[2]

### 2.2.1 Struktur von IIR Filtern

Für die Struktur eines IIR Filters wird der bereits bekannten Struktur des FIR Filters noch ein Feed Back hinzugefügt. Dies bedeutet, dass nicht nur Verzögerungen des Eingangssignal in die Bildung des Ausgangssignales mit einfließen, sondern auch verzögerungen des Ausgangssignales selbst. Durch diese Beschaffenheit entsteht auch die Möglichkeit der unendlich dauernden Impulsantwort.

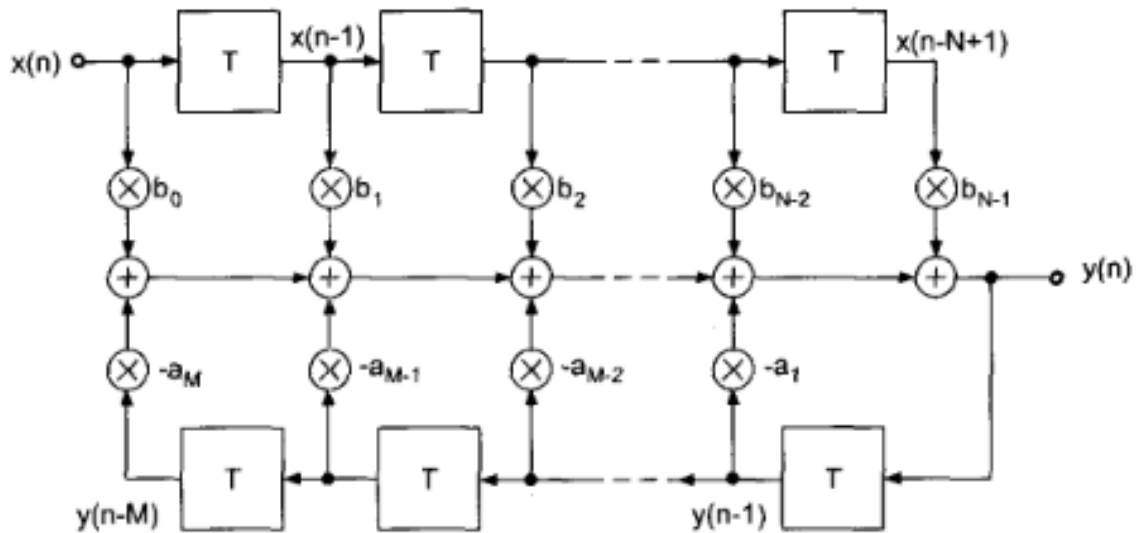


Abbildung 2.2: Struktur eines IIR Filter[1]

Im Bild 2.2 ist die Struktur eines IIR Filters zu sehen. Diese wird so wie sie hier zu sehen ist auch als Biquad Struktur bezeichnet. Hier ist zu sehen, dass sowohl das Eingangs, als auch das Ausgangssignal verzögert in das neue Ausgabesignal eingerechnet werden. Der obere Teil der Abbildung zeigt dabei den Feed Forward Teil des Filters, und der untere Teil den Feed Back. Für diese Art von Filter ist die Berechnungsvorschrift des Ausgangssignals wie folgt:

$$y[n] = \sum_{j=1}^M a_j y[n-j] + \sum_{i=0}^N b_i x[n-i]$$

und die allgemeine Differenzengleichung ist:

$$y[n] = b_0 x[n] + b_1 x[n-1] + b_2 x[n-2] + \dots + b_N x[n-N] + a_1 y[n-1] + a_2 y[n-2] + \dots + a_M y[n-M]$$

## 2.3 Entwurf digitaler Filter



# Literaturverzeichnis

- [1] Udo Zölzer. DAFX - Digital Audio Effects. publisher, April 2002.
- [2] Verschiedene Autoren. Sinusgenerator mit IIR-Filter, abgerufen am 11.03.2020.  
[https://www.mikrocontroller.net/articles/Sinusgenerator\\_mit\\_IIR-Filter](https://www.mikrocontroller.net/articles/Sinusgenerator_mit_IIR-Filter).