

Disclaimer

Aufgaben aus dieser Vorlage stammen aus der Vorlesung *Grundlagen der Biosignalverarbeitung* und wurden zu Übungszwecken verändert oder anders formuliert! Für die Korrektheit der Lösungen wird keine Gewähr gegeben.

1. Sensoren

- (a) Welche Arten von Sensoren existieren?

Antwort:

Aktiv gibt Spannung/Strom ab, wobei er für Funktion Energie benötigt/umwandelt. wirkt wie elektrische Signalquelle

Passiv ändert elektrische Größen (z.B. Widerstand) ohne Energiezufuhr von außen

- (b) Wie lösen Sensoren auf? Mit Beispielen

Antwort:

temporal Zeitabstand zwischen Messungen (z.B. Aktionspotentiale)

spektral Abstand von Spektrallinien (z.B. Wärmebildkamera)

räumlich räumlicher Abstand (z.B. EEG, Ultraschall)

... Kombinationen (z.B. spatialtemporale Auflösung in Frequenzband)

- (c) In welche Klassen können Messgrößen unterschieden werden?

Antwort:

Physikalisch Kraft, Druck, Moment, Durchfluss

Elektrizität Potential, Strom, Impedanz

Magnetismus Fluss, Induktion

Optik/Licht spektrale Dämpfung, Extinktion

Chemisch Partialdruck von Gasen, Zucker, Hämoglobin

Akustik Herzschalltöne, Atmung

Temperatur Körpertemperatur

- (d) Welche Methoden sind unter Ultraschall nutzbar?

Antwort:

CW (Continuous Wave) keine Tiefeninformation, Information über Dopplerfrequenz mit hoher Variationsbreite, stochastischer Charakter mit viel Rauschen

PW (pulsed Wave) Auflösung von der Signalverarbeitung abhängig, physikalische Grenzen erreicht

Doppler-Technologie CW/PW vereint, Summe aller Vor- und Nachteile

2. Übertragung

- (a) Warum muss man bei der Übertragung von Biosignalen über größere Distanz das Signal modulieren?

Antwort: Theoretisch können Signale direkt übertragen werden. Dabei können jedoch Störsignale auf das abgenommene Signal einwirken und dieses verfälschen oder das Signal ist zu schwach und geht bei der Übertragung verloren bzw kommt nicht am Empfänger an.

Deshalb ist es empfohlen, das abgenommene Biosignal 1. zu verstärken und 2. gegenüber Störungen resistent zu modulieren.

- (b) Welche Form der analogen Modulation ist besonders störungsresistent und warum?

Antwort: Eine besonders störresistente Form der Modulation ist die Analog-Digital-Wandlung des Analogen Signals in sein digitales Äquivalent. Auch mit größeren äußeren Störungen, die auf das digitale Signal einwirken, kann der Empfänger durch die große Differenz zwischen 0- und 1- Signalen klar unterscheiden und das Originalsignal (falls notwendig/gewünscht) rücktransformieren in sein Original.

3. Elektroden

- (a) Welche chemischen/elektrischen Vorgänge an Elektroden

Antwort:

- Metallelektrode umgeben von selektiv durchlässiger Membran eingetaucht in die zu untersuchende Elektrolytlösung
- die zur Elektrode gelangenden Ionen (Moleküle) verändern die Potentialdifferenz zwischen Mess- und Bezugselektrode
- Spannung proportional log. Ionenkonzentration (pH)
- Bsp pCO_2 -Elektrode: $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ HCO_3^-$

(b) Probleme bei Signalauswertung

Antwort: Metallelektroden selbst können polarisierbar sein und positiv geladene Metallionen in der Elektrolytlösung das Signal verfälschen.

(c) Elektroden auf Haut erzeugen Gleichspannung. Wie entsteht diese Gleichspannung?

Antwort: polarisierbare Metallelektroden → positiv geladene Metallionen gelangen in umgebende Elektrolytlösung → molekulare Doppelschicht mit hoher Impedanz für Niederfrequenzbereich (Hochpassfilter bei Ableitung evozierter Potentiale)

(d) Wie kann man diese Gleichspannung reduzieren?

Antwort: unpolarisierbare Metallelektroden nutzen

Ag/AgCl: Verminderung und Stabilisierung der galvanischen Spannung → geringe Übergangsimpedanzen im gesamten Frequenzbereich

AgCl-Schicht liegt der Ag-Schicht an, positiv geladene Metallionen gelangen in umgebende Elektrolytlösung → molekulare Doppelschicht mit hoher Impedanz für Niederfrequenzbereich (Hochpassfilter bei Ableitung evozierter Potentiale)

4. Störungen

(a) Welche Arten von Biosignalen existieren?

Antwort:

Signal	Frequenz [Hz]	Amplitude [mV]
EKG (Herz)	0,2-200	0,1-10
EEG (Hirn)	0,5-100	2-100 μV
EMG (Muskel)	10-10000	0,05 -1

(b) Welche Arten von Störungen existieren? Mit Erklärungen

Antwort:

periodische Störungen	transiente Störungen	biologische Störungen
geringes Problem, spektrale Filter	unbekannter, einmaliger, nicht reproduzierbarer Verlauf	lassen sich nicht abschalten/kaum unterdrücken
NF-magnetische Felder nicht eliminierbar durch Schirmung, erzeugen Differenzspannung	kaum eliminierbar, Signalform unbekannt/nicht reproduzierbar	
NF-elektrische Felder gut beherrschbar, erzeugen Gleichtaktstörungen	bestenfalls Detektion möglich, Messdaten nicht korrigierbar	
HF-Felder immer mehr vorhanden (Kommunikation), Abschirmung unwirtschaftlich		
Bsp: öffentliche Stromversorgung	Bsp: Lastschwankungen	Bsp: Muskelbewegung

(c) Entstehung von biologischen Störungen

Antwort: Körperfunktionen lassen sich (ohne Beschädigung) nicht abschalten wie z.B. Rechner. Deshalb wirken unterschiedliche Funktionen des Körpers, wie z.B. Atmung oder Herzschlag auf die Messung ein. Diese Störungen können nicht entfernt werden aber möglichst unterdrücken, indem bestimmte Abnahmepfade (z.B. EKG mit Goldberg) genutzt werden. Die Aktivität des Patienten spielt hierbei eine wichtige Rolle.

- Spektral alle Biosignale im selben Band (0-100Hz)
- Nichtlineare Verkopplung der Biosignale verhindern Trennung mit herkömmlichen Methoden
- Kein Biosignal deterministisch und reproduzierbar
- Transiente/aperiodische, instationäre Biosignale nicht qualifizierbar

- Trennung kaum möglich, bestenfalls Reduktion/Abschwächung
- Problem: funktionelle Verkopplung/Überlagerung im Mensch

(d) Methoden zur Eindämmung von Störungen

Antwort:

- Basislinienschwankung: Gute mechanische Elektrodenfixierung verwenden und prüfen, Kontaktcreme zufügen, eventuell Verwendung anderer Elektroden. Ruhigstellung, Entspannung der Muskeln, Anhalten oder Reduzierung der Atmung.
- Netzbrummen: Gerät oder Netzkabel aus Patientennähe entfernen, Kontrolle Elektrodenkontakt! Zur Unterdrückung der 50-Hz-Störungen, die in dem Nutzspektrum des QRS-Komplexes liegt, können nur phasenlineare Filter angewendet werden. Dies ist z.B. mit digitalen Notch-Filtern oder mit Kompensationsfiltern zu erzielen.
- Biologische Störungen: Ruhigstellung, Entspannung der Muskeln, Anhalten oder Reduzierung der Atmung

5. Gradiometer

(a) Was ist ein Gradiometer?

Antwort: Ein Gradiometer wertet den Unterschied zwischen zwei Messungen aus. Zum Beispiel kann ein Gradiometer den Grad messen, auf den ein Hügel ansteigt, d.h. die Differenz der Messung von flacher Erde und der Neigung.

(b) Aufbau, Funktionsweise?

Antwort: Anordnung mehrerer Beschleunigungsmesser, die je nach Bauart zwischen 10 cm und 1 m voneinander entfernt sind. Die Differenz der Ablesungen zweier Beschleunigungsmesser in eine Raumrichtung, dividiert durch ihren Abstand, entspricht der Messung einer Komponente des Gravitationsensors.

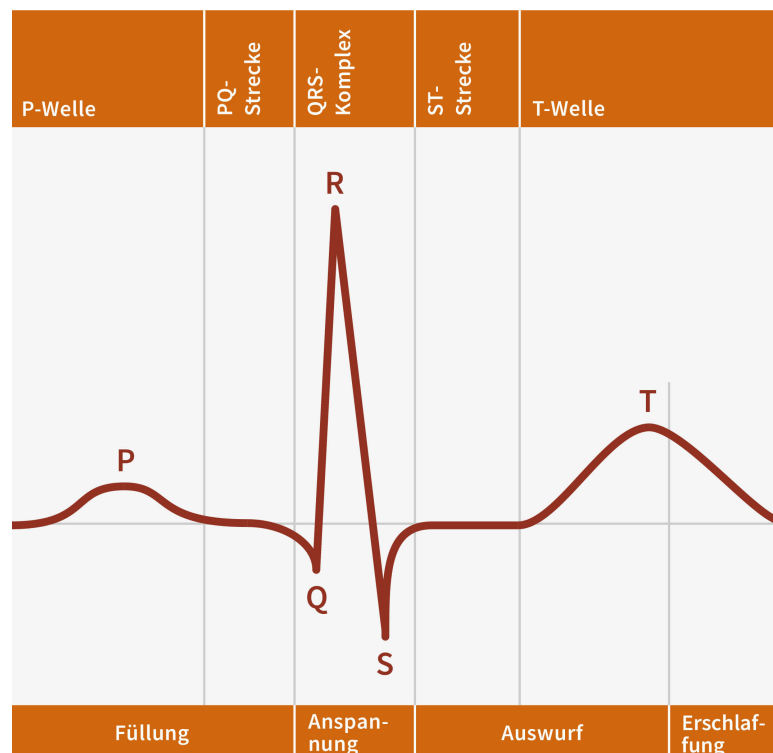
(c) Warum stört Erdmagnetfeld nicht? Gradiometerprinzip reicht nicht aus für Erklärung

Antwort: Das Erdmagnetfeld wirkt in beiden Messsensoren ungefähr gleich (verschwindend geringer Unterschied je nach Entfernung der Sensoren voneinander). Durch die Differenzbildung wird diese Störung in beiden Sensoren mit entfernt.

6. EKG

(a) Wie sieht EKG aus? Zeichne

Antwort:



(b) Was bedeutet welche Zacke?

Antwort:

P-Welle Füllen der Vorkammern, Erregung in Vorhöfen

Q-Zacke Erregung in Kammern zur Herzspitze

R-Zacke Erregung in Kammermuskulatur spitzenwärts

S-Zacke Erregung der Kammerwände breiten sich basalwärts aus

T-Welle Erregungsrückgang (umgekehrt registriert)

Ablauf

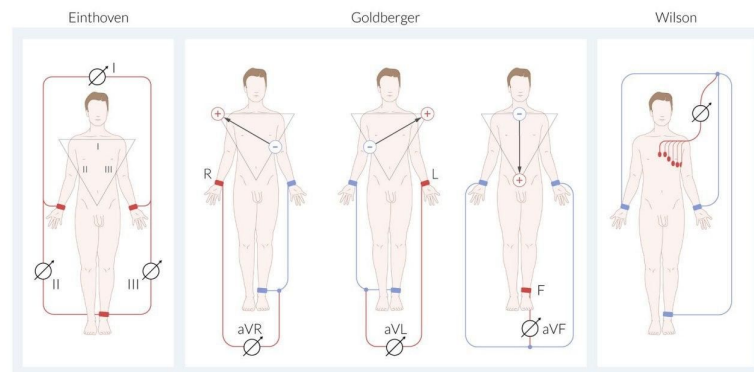
1. Die erschlafften Vorhöfe füllen sich mit Blut.
2. Beim Zusammenziehen der Vorhöfe strömt das Blut durch die Segelklappen in die Herzkammern.
3. Während der Anspannungsphase der Kammern schließen sich die Segelklappen.
4. Beim Zusammenziehen (Systole) drücken die Kammern das Blut durch die geöffneten Taschenklappen in die Hauptschlagader bzw. Lungenschlagader, gleichzeitig beginnen die Vorhöfe sich mit Blut zu füllen.

(c) Arten der Ableitung? Wie und wo abgeleitet?

Antwort:

Bipolare Extremitätenableitung nach **Einthoven**

Unipolare Ableitung nach **Wilson** und **Goldberger** mit Referenz als Sternpunkt der Zusammenschaltung von verschiedenen Elektroden über gleich große Widerstände (Durschnittsreferenz)



7. EEG

(a) Welche Frequenzbänder?

Antwort:

Delta 0-4 Hz, Tiefschlaf

Theta 4-7 Hz, Schlaf

Alpha 8-13 Hz, Wach und in Ruhe

Beta 13-30 Hz, Wach mit geistiger Aktivität

Gamma >30 Hz, starker Konzentration, Lernprozessen oder Meditieren

(b) Nach welchem Prinzip ableiten?

Antwort: Da die auf der Kopfhaut zu messenden Signale in der Größenordnung von 5 bis 100 μV liegen, wird ein empfindlicher Messverstärker benötigt. Zur Unterdrückung des allgegenwärtigen Netzbrummens und anderer Störungen wird ein Differenzverstärker mit hoher Gleichtaktunterdrückung benutzt. Aus Gründen der Patientensicherheit ist dieser bei als Medizingerät zugelassenen Elektroenzephalographen als Isolationsverstärker implementiert, wodurch gleichzeitig aber auch die Gleichtaktunterdrückung erhöht wird.

Die Elektroden für das EEG sind jeweils in einem bestimmten System angebracht, wonach verschiedene Arten von Ableitungen unterschieden werden. Üblich ist das 10-20-System; es werden aber auch alternative Montagen wie das 10-10-System angewendet sowie invasive Ableitungen.

(c) Fenster festlegen, wenn Arzt 0,4Hz Auflösung will

Antwort:

Abtastintervall T_A : Zeit zwischen zwei Messpunkten $T_A = \frac{1}{\text{Abtastfrequenz}}$

Zeitfenster: Messzeit $T = N * T_A$ für N Abtast-Punkte

$$\text{Niedrigste Frequenz } \Delta f = \frac{1}{N_A * T_A}$$

$$\text{Höchste Frequenz } f_{max} = \frac{N_A/2}{N_A * T_A} = \frac{1}{2} f_A$$

8. Guarding-Technik beschreiben

Antwort: Schirm am Ausgang eines OV und über Ausgangswiderstand des OV mit der Masse niederohmig verbunden. Gleichaktwiderstand bleibt erhalten, Schutz gegen Störungseinkopplung

Für Mess-Sicherheit: um Kabel und Guarding-Schirm zweiter Schirm mit Masse verbunden

⇒ Abschirmung der Signalleitungen vor Störungen aus dem Messkreis

9. Abtasttheorem

(a) Beschreibe

Antwort: ein bandbreitenbegrenztes Signal der Grenzfrequenz f_g ist durch seinen periodischen Abtastwert $s(nT)$ vollständig bestimmt, wenn die Abtastrate größer als die Nyquistrate ist: $F_T = \frac{1}{T} > 2 * f_G$

(b) Abtasttheorem: Welche notwendige und hinreichende Bedingung benötigt man für die Abtastung bei $f_c=100\text{Hz}$ und USB 0,1...1kHz

Antwort:

10. Aliasing erklären

Antwort: Frequenzsignale innerhalb der Signalverarbeitung überschritten oder in unzureichender Abtastrate gemessen → Verzerrung

Anti-Aliasing-Filter: wandeln Frequenzen oberhalb der Nyquistfrequenz um und verhindern bei Abtastfrequenz, dass Signale in Frequenz nicht verändert werden

11. Gibbsche Phänomen erklären

Antwort: das typische Verhalten von Fourierreihen in der Umgebung von Sprungstellen. Wird eine Fourierreihe aus einer Funktion mit Unstetigkeiten entwickelt, ergeben sich an den Unstetigkeitsstellen typische Über- und Unterschwinger, die sich aber mit steigendem Anteil hochfrequenter Schwingungen verringern. Erst bei einer unendlichen Reihe verschwinden die Überschwinger.

12. Messverstärker

(a) Welcher Phasenfrequenzgang bei Messverstärker?

Antwort:

(b) Warum? Was passiert bei Nichteinhaltung?

Antwort:

(c) Eigenrauschen qualitativ beschreiben, aus welchen Komponenten besteht es

Antwort:

13. Signal mit $f(t) = 2 * \cos(t * 2 * \pi * f)$, die Frequenz war 9Hz, das Signal war im Bereich von 0 bis 4,5s gegeben. Gegeben TM,...?

(a) Eine Matlab funktion nutzt $f = f_s : df : f_e$ um das Fenster zu berechnen. Berechne f_s , df und f_e

Antwort: Um Signalfrequenz f_c mit einer der diskreten Frequenzen im DFT-Spektrum zu treffen, muss die Signalfrequenz f_c ein ganzzahliges Vielfaches der spektralen Auflösung δf sein: $f_c = \frac{1}{T_c = k * \Delta f = \frac{k}{T_{DFT}}}$. Die Analysezeit T_{DFT} sollte ebenso ganzes vielfaches der Periodendauer T_C sein: $T_{DFT} = k * T_C = N * T_A$

$$T_M = \frac{1}{T_{DFT}} = 1/4,5s = \dots$$

$$f_a = N \text{ Samples} * T_M = \dots$$

$$\begin{aligned}
fc &= N \text{ Perioden} * T_M = ... \\
fs &= 0 \\
df &= 1/T_M \\
fe &= fa - df = ...
\end{aligned}$$

(b) Wodurch wird hoher Spektralteil links im DFT Betragsspektrum verursacht?

Antwort: Spektralwert bei f_s entspricht dem Gleichanteil des Signals. Dieser ist im angegebenen Signal nicht Null sondern 0,5.

$$y(t) = \cos(2\pi f_c t) + 0,5$$

Dass dieses Spektrum nicht exakt 0,5 ist, liegt am Leckeffekt

(c) Welcher Effekt verursacht viele Spektralteile?

Antwort:

- Leckeffekt = Auslaufen der Spektralanteile auf benachbarte Frequenzen $\Rightarrow$ führt zu Verzerrungen und falsch detektierte Spektralanteile durch Überlagerung unterschiedlicher Perioden
- Zeitbereich: Periodifizierung der Abtastwerte ergibt kein cos-Signal sondern erzeugt Sprungstellen an Rändern
- Frequenzbereich: ausschneiden des Signals entspricht im Spektralbereich einer Faltung mit Fouriertransformierten dieses Rechteckfensters. Signal wird in Blöcken verarbeitet, diese Blöcke sind endlich $\rightarrow$ Leckeffekt entsteht, wenn Blocklänge nicht natürlichzahliges Vielfaches der Periode des Signals ist.

(d) Gebe Abtastfrequenz f_A und Messdauer T_M an, so dass das resultierende DFT-Spektrum exakt wird

Antwort: T_M muss natürliches vielfaches von $T_C = 1/f_C$ sein und zugleich vielfaches von $T_A = 1/f_A$ sein, wobei f_A das Abtasttheorem einhalten muss.

$$T_M = M * T_C = M * \frac{1}{f_C} = N * T_A = N * \frac{1}{f_A}$$

Bsp:

$$T_M = \frac{1}{7}s, f_A = 21Hz, N = 3 \text{ Samples}, M = 1$$

$$T_M = \frac{7}{7}s, f_A = 21Hz, N = 21 \text{ Samples}, M = 7$$

$$T_M = 2s, f_A = 21Hz, N = 42 \text{ Samples}, M = 14$$

14. Filter

(a) Anhand welcher Merkmale kann man einen Filter klassifizieren, ob er FIR oder IIR ist?

Antwort:

FIR = Finite Impulse Response

+ Lineare Phase, keine Phasenverzerrung, alle Frequenzen um gleichen Betrag verschoben
+ Stabil, keine Rückkopplung, niemals instabil

+ arbiträrer Frequenzgang $\rightarrow$ beliebiger Betragsverlauf

- hoher Rechen+Speicherbedarf, viel mehr Koeffizienten als IIR

- höhere Latenz: möglicherweise große Gruppenverzögerung

- kein analoges Äquivalent

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k)$$

IIR = Infinite Impulse Response

+ Niedrige Kosten, weniger Koeffizienten + Speicher

Niedrige Latenzzeit für Echtzeitsteuerung und schnelle HF Anwendung

+ Analoges Äquivalent zur Nachahmung der Eigenschaften von analogen Filtern

+ hohe Flankensteilheit

- nicht linearer Phaseeigenschaft, besonders an Grenzfrequenzen

- aufgrund Rückkopplung numerisch weniger stabil als FIR

$$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)x(n-k)$$

(b) Können FIR instabil werden? Begründen Sie Ihre Vermutung.

Antwort: Nein, keine Rückkopplungen im Filter

(c) Wie kann man schnell die Koeffizienten eines FIR Filters ausrechnen?

Antwort:

15. Für Signale mit festgelegtem Abtastparameter können die Eigenschaften des DFT-Spektrums durch den Einsatz von Fensterfunktionen gezielt beeinflusst werden

- (a) Wie sind Fensterfunktionen $h(n)$ auf diskretes Zeitsignal $y(n)$ anzuwenden?

Antwort: Multiplikation des Fensters mit „darunter liegendem“ Signal, entspricht im Spektralbereich einer Faltung des Fenster-Spektrums mit Spektrum des Signals

- (b) Nenne mögliche Fensterfunktionen für DFT Spektralanalyse

Antwort: Hamming, Blackman, Tschebyscheff, Hann, Rechteck

- (c) Welche Eigenschaft muss eine Fensterfunktion haben damit Leckeffekt verringert wird?

Antwort: Fenster verhindern Leckeffekt: Signal an Fenster Anfang/Ende ein/ausblenden → künstliche Periodisierung

- (d) Wie muss man die Eigenschaft der Fensterfunktion wählen, damit 1. Dynamischer Amplitudengang und 2. Gute Auflösung im Spektralbereich entsteht?

Antwort:

hohe Auflösung schmale Hauptkeule

dynamischer Amplitudengang geringe Nebenkeulen, große Sperrdämpfung

schmale Fensterung → flache Übergänge, große Sperrdämpfung

breite Fensterung → steile Übergänge, geringe Sperrdämpfung

- (e) Mit welcher Fensterfunktion wird die höchste spektrale Auflösung erreicht?

Antwort: Rechteck

16. Berechne diskrete Faltung im Zeitbereich für $n = -1 \dots 5$ das Ausgangssignal $y[n]$ durch die Filterkoeffizienten $b[n]$ und Eingangssignal $x[n]$

Antwort: $y[n] = b[n] * x[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b[k] * x[n - k]$

17. Filtertypen (nicht für Informatiker)

- (a) Filtertypen anhand ihres Amplitudengangs klassifizieren
 (b) Welcher ist am besten für (vorgegebene) Biosignale geeignet und warum?
 (c) Filtertypen die nach Namen ihres Erfinders heißen?

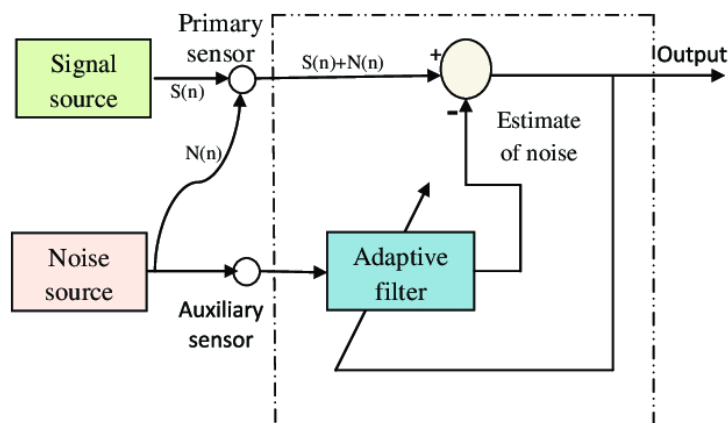
Antwort:

Filter	Eigenschaften	Vorteile	Nachteile
Butterworth-Filter	Maximal flacher Verlauf des Betragsfrequenzganges im Durchlassbereich, Dämpfung im Sperrbereich monoton verlaufend	Gutes Amplitudenverhalten im Durchlass- und Sperrbereich	Geringe Flankensteilheit im Übergangsbereich
Tschebyscheff-Filter	Welligkeit (Ripple) im Durchlassbereich, Dämpfung im Sperrbereich monoton verlaufend	Gute Flankensteilheit im Durchlassbereich	Große Änderung der Gruppenlaufzeit, schlechtes Zeitverhalten
Bessel-Filter	Impulsformung	Konstante Gruppenlaufzeit (=lineare Phase) im Durchlassbereich	Geringe Flankensteilheit im Übergangsbereich
Gauß-Filter	Impulsformung	Konstante Gruppenlaufzeit im Durchlass- und Sperrbereich. Kein Überspringen bei der Sprungantwort. Reduzierte Intersymbolinterferenz	Geringe Flankensteilheit im Übergangsbereich

18. Adaptive Noise Canceller

- (a) Erläutern Sie anhand eines Blockschaltbilds die Funktionsweise eines adaptiven noise Cancellers

Antwort:



- (b) Was muss für das Rauschen gelten, damit das LMS Prinzip angewendet werden kann? Welche Signale müssen korellieren und welche dürfen nicht in Korrelationsbeziehung stehen?

Antwort:

19. LTI System

- (a) Blockschaltbild -> daraus die Übertragungsfunktion ableiten,

Antwort:

- (b) Z-Transformation,

Antwort:

- (c) Stabilität $y(n) = x(n) + 2x(n-1) - 3(n-1)$?

Antwort:

20. cos Funktion

- (a) cos-Fkt. gegeben (Gleichung, Graph zu Original-Fkt. + ihrer DFT), Sample-Freq. 10Hz, Abtastung für 2sec:

Antwort:

- (b) Matlab-Befehl ermitteln für Parameter der $DFT(f_s, d_f, f_e)$

Antwort:

- (c) Warum im DFT-Graph soviele Freq-Anteile? (vmtl. Leck-Effekt)

Antwort:

- (d) Ursachen dieses Effekts im Zeit und Freq-Bereich (Zeit: Signal nicht genau an Periodengrenze abgeschnitten)

Antwort:

- (e) Wie durch Fensterung beheben?

Antwort:

- (f) Wie muss Spektrum des Fenster beschaffen sein um:

- hohe spektrale Auflösung
- hohe Amplitudendynamik

zu erreichen?

Antwort:

21. Berechne mit $t_{ab} = 10s$, $f_{s1} = 9kHz$ und $f_{s2} = 10kHz$, Peaks gegeben

(a) Welche Frequenzbereiche der Signale

Antwort:

(b) Fehler - Aliasing, graphisch erklären, wie vermeiden?

Antwort:

(c) wie sieht analoges Signal im Spektrum aus?

Antwort:

22. Signalflussgraph

(a) Zeitdiskretes vs. Analog?

Antwort:

(b) Rekursionsgleichung aus Signalflussgraph ermitteln

Antwort:

(c) Übertragungsfunktion $G_z(Z)$ im z-Bereich?

Antwort:

(d) Ermitteln aller Pol und Nullstellen

Antwort:

(e) Zeichne Pol-Nullstellendiagramm mit $b=1$

Antwort:

(f) Welcher Filtertyp? IIR oder FIR

Antwort:

(g) Ist das System stabil? Begründe

Antwort:

(h) wie muss man b wählen, damit aus dem System ein Allpass wird (mit $b>1$)?

Antwort:

23. Blockschaltbild

(a) rekursive Gleichung aus Blockschaltbild bestimmen,

Antwort:

(b) Übertragungsfunktion ermitteln

Antwort:

(c) Pol /Nullstellen bestimmen

Antwort:

(d) Pol /Nullstellen-Diagramm zeichnen

Antwort:

- (e) für welchen Parameter a wird aus rekursiver Gleichung ein FIR-Filter?

Antwort:

- (f) in welchem Intervall für a wird Filter stabil, wann/warum instabil?

Antwort:

- (g) Eingangssignal als Graph gegeben, Ausgangssignal als Graph bestimmen (Faltung durchführen)

Antwort:

24. $H(z) = \frac{1-0,8z^{-1}}{1+0,3z^{-1}}$

- (a) Signalflussdiagramm zeichnen

Antwort:

- (b) IIR oder FIR?

Antwort:

- (c) Differenzgleichung?

Antwort:

- (d) Pol/Nullstellendiagramm zeichnen?

Antwort:

- (e) Stabilität im Z- und Zeitbereich?

Antwort: