Introductie digitale filters

Introductie digitale filters

Digitale filters worden gebruikt voor twee algemene doeleinden:

(1) afscheiding van signalen die zijn gecombineerd
(2) herstel van signalen die zijn vervormd.

Analoge (elektronisch) filters kunnen worden gebruikt voor dezelfde taken; echter met digitale filters kan je veel betere resultaten bekomen.

Deze presentatie beschrijft de parameters die je nodig hebt bij het maken van een digitale filter.

Algemeenheden digitale filter

Digitale filters zijn een heel belangrijk onderdeel in de digitale signaalverwerking. Ze zijn een van de belangrijkste redenen waarom digitaal signaalverwerking zo populair is geworden.

Digitaal filter kan gebruik worden voor signaalafscheiding

- Nodig wanneer een signaal is verontreinigd met een storing, ruis of andere signalen
- Voorbeeld: Opnemen van een ECG (ElectroCarDiogram) van de elektrische hartactiviteit van een baby wanneer deze nog steeds in de buik van de moeder bevind.
    - Dit ruwe signaal meer dan waarschijnlijk gestoord door de ademhaling en hartslag van de moeder
    - Via een filter kan men deze signalen scheiden en afzonderlijk analyseren

Signaalrestauratie wordt gebruikt wanneer een signaal is vervormd

- Voorbeeld: geluidsopname van slechte kwaliteit (slechte apparatuur gebruikt)
- Filteren van het geluid kan het geluid verbeteren ten opzichte van het oorspronkelijk geluid

Algemeenheden digitale filter

Filter voor signaalafscheiding of signaalrestauratie kan zowel analoog als digitaal worden opgebouwd

Welke is beter?

- Analoge filters zijn goedkoop en hebben een groot dynamisch bereik in zowel amplitude als in frequentie
- Digitale filters zijn enorm superieur t.o.v. Analoge filters aangaande prestatieniveau dat kan worden bereikt
  - Voorbeeld : LDF digitale filter kan een versterking van 1 +/- 0,0002 hebben van DC tot 1000 Hz en een versterking van minder dan 0,0002 voor frequenties boven de 1001Hz.
  - Hele overgang vind plaats op 1 Hz => Niet verwachten van een analoge filterschakeling!
  - Digitale filters kunnen duizenden keren betere prestaties voorleggen dan analoge filters

Benadering van de filterproblemen:

- Analoge filters : Nadruk gelegd op nauwkeurigheid en stabiliteit van weerstanden en condensatoren
- Digitale filters: Deze zijn zo goed dat de werking van het filter vaak wordt genegeerd en de nadruk valt op de beperking van de signalen en de theoretische aspecten aangaande de verwerking

Algemeenheden digitale filter

Binnen de digitaal signaal processing worden invoer- en uitgangssignalen normaal gesproken weergegeven in het tijdsdomein.

Reden:

Signalen meestal gemaakt met samples die genomen zijn op regelmatige tijdsintervallen

Niet de enige manier waarop sampling kan plaatsvinden; sampling kan ook plaatsvinden via gelijke intervallen in de ruimte

Voorbeeld: Het gelijktijdig aflezen van een reeks sensoren op een vliegtuigvleugel die op gelijke afstand van 1 cm over de vleugel zijn geplaatst

Term tijdsdomein in digitale signaalverwerking kan bijgevolg slaan op samples in de tijd maar ook als een algemene verwijzing naar een domein waar de samples worden genomen

In een filter die wordt uitgevoerd door convolutie wordt iedere sample in de output berekend door samples van de ingang op te tellen

Algemeenheden digitale filter

Ieder lineaire filter heeft een **impulsresponse, stapresponse en een frequentieresponse**

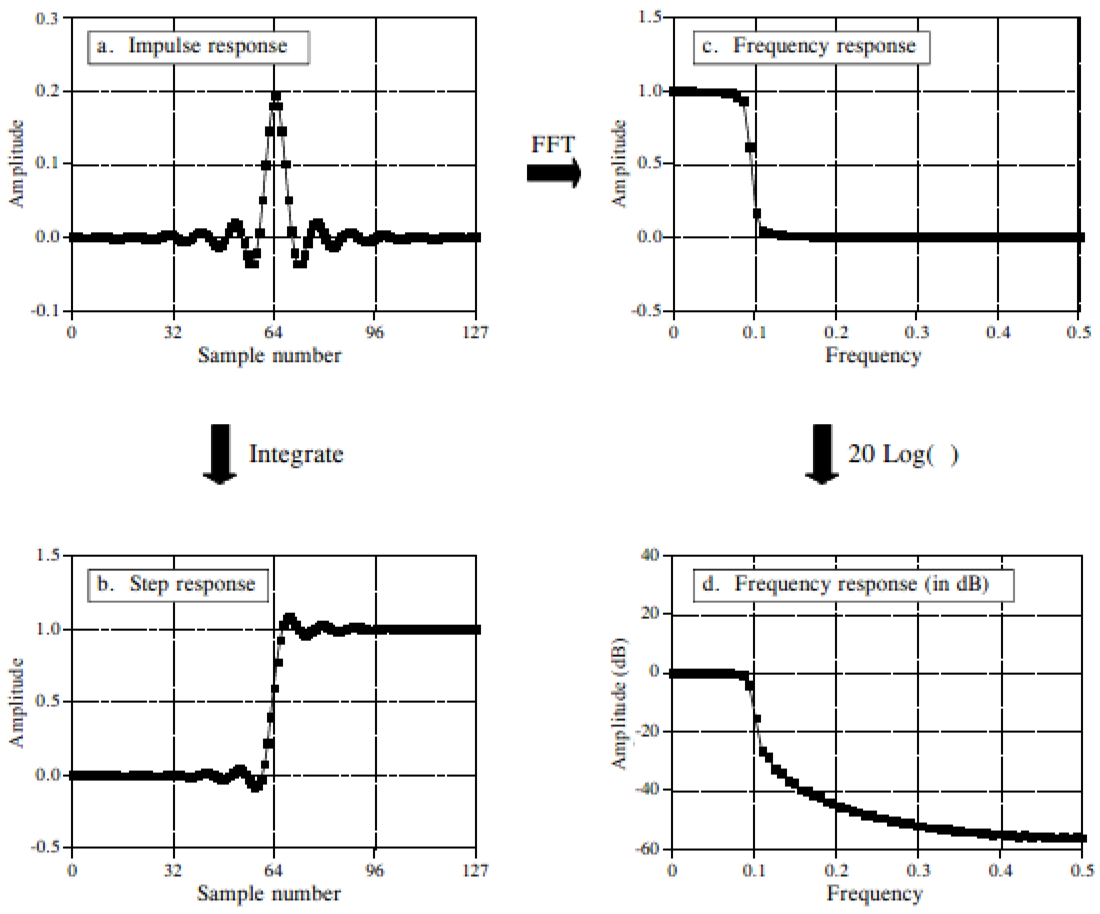
Ieder van deze responsies **bevat complete informatie over de filter** maar in een verschillende vorm.

Als één van de drie responsies is gespecificeerd, de andere twee zijn vast en kunnen direct hieruit worden berekend.

De drie representaties van de response is belangrijk omdat ze een beschrijving geven hoe de filter zal reageren onder verschillende omstandigheden.

Meest voor de hand liggende manier om een **digitaal filter** op te bouwen is door **convolutie van het ingangssignaal met de digitale filter zijn impulsrespons**

Als de impulsrespons wordt gebruikt voor de opbouw van een digitaal filter dan wordt door filterontwerpers aan deze respons een speciale naam gegeven, namelijk de **filter kernel**



Algemeenheden digitale filter

Bestaat ook een andere manier om digitale filters te ontwerpen: recursie

- In een filter die wordt uitgevoerd door convolutie wordt iedere sample in de output berekend door samples van de ingang op te tellen
- Recursieve filters zijn een uitbreiding van dit principe door, naast punten van de ingang, ook gebruik te maken van eerder berekende waarden van de output.
    - In plaats van een filterkernel worden recursieve filters gedefinieerd aan de hand van een set recursiecoëfficiënten.
- Momenteel is voor ons het belangrijkste punt dat alle lineaire filters een impulsrespons hebben (zelfs als zou je deze niet gebruiken om een lineaire filter te implementeren

Hoe de impuslresponsie van recursieve filter vinden?

- Filter gewoon voeden met een impuls en zien wat er uit komt
- De impulsresponsies van recursieve filters zijn samengesteld uit sinusoïden die exponentieel uitsterven in amplitude
- In principe is de impulsrespontie oneindig lang maar de amplitude komt op een gegeven moment lager dan het ruisniveau en de samples die daarin vallen kunnen worden verwaarloosd

Vanwege dit kenmerk worden recursieve filters ook Infinite Impulse Filters genoemd of IIR filters

Ter vergelijking, de filters die door convolutie worden uitgevoerd zijn Finite Impuls Response filters of FIR filters

Algemeenheden digitale filter

Wanneer de ingang van een lineair systeem een impuls is, is de output een impulsrespons

Wanneer de ingang van een lineair systeem een stap (step of edge) is, is de output een staprespons (step- of edgeresponse)

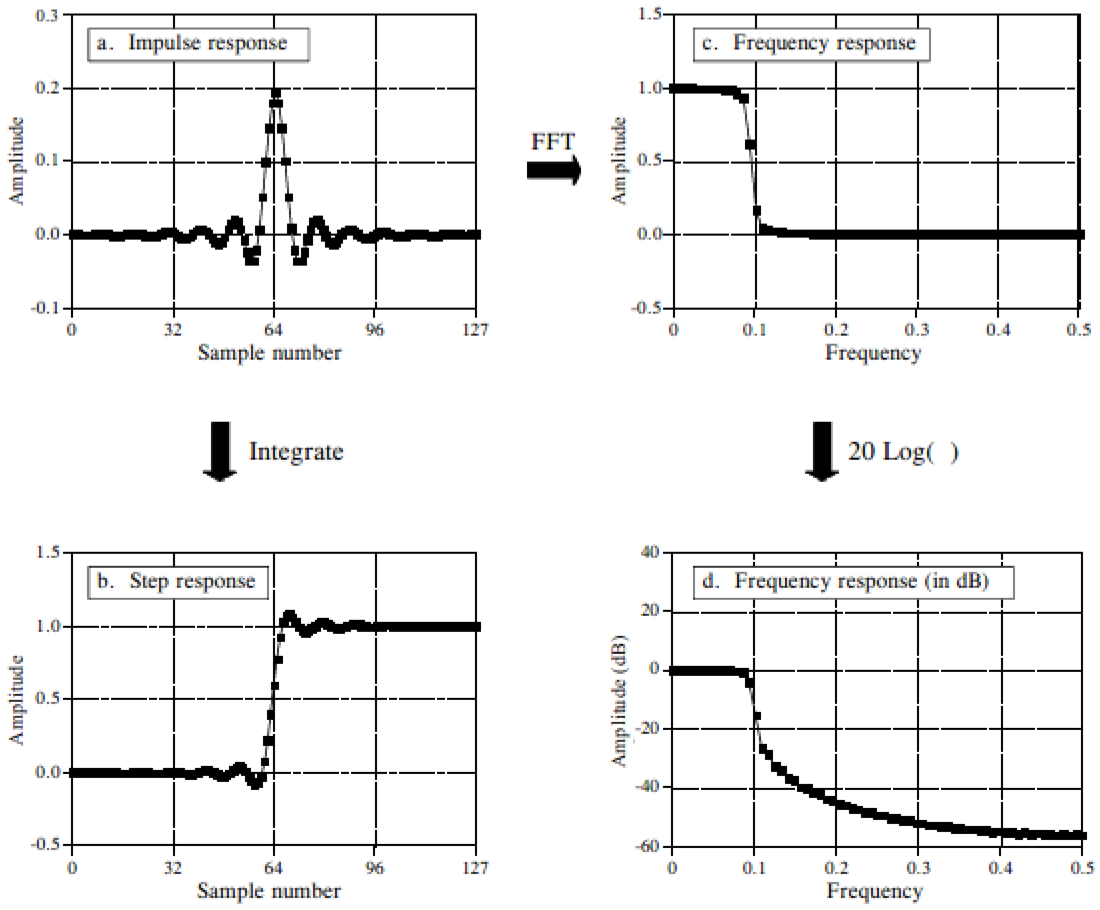
De stap is de integraal van een impuls => de staprespons is de integraal van de impulsrespons => biedt 2 manieren om de staprespons te vinden

1) Breng aan de ingang van de filter een stapgolfvorm, en zien wat er uit komt
2) De (discrete) integratie van de impulsrepons

De frequentierespons kan worden gevonden door de DFT (met het FFT-algoritme) van de impulsrespons

De frequentieresponse kan op lineaire verticale as worden uitgezet (zoals in (c)) of op een logaritmische schaal (decibels) (zoals in (d))

- Lineaire schaal => toont het best de rimpel van de doorlaatband en de roll-of
- De decibelschaal is nodig om de stopbanddemping te tonen.



Verhouding dB en versterkingsfactor: 60 dB ⬄ Au = 1000; 40 dB ⬄ Au = 100; 20 dB ⬄ Au = 10; 0 dB ⬄ Au = 1; -20 dB ⬄ Au = 0,1; -40 dB ⬄ Au = 0,01; -60 dB ⬄ Au = 0,001

Hoe informatie wordt voorgesteld in signalen

Belangrijk is te weten hoe de informatie is opgenomen in de signalen waarmee je werkt.

De mens heeft verschillende manieren bedacht om informatie te bewaren in een signaal (denk aan al de modulatieschema’s AM, FM, PCM, …)

In de natuur zijn er twee manieren die gemeenschappelijk zijn voor de informatie vervat in natuurlijk voorkomende signalen: informatie in tijdssignaal en in frequentiesignaal

informatie vervat in het tijdsdomein

- Beschreven **wanneer iets plaatsvindt en welke amplitude hetgeen voorvalt heeft**
  - Voorbeeld: experiment om lichtopbrengst van de zon te bestuderen => lichtopbrengst bv. Eenmaal per seconde gemeten en elke sample geeft aan wat er op dat moment plaatsvind, en het niveau van de lichtsterkte
  - Doet zich een zonnevlam voor => in signaal direct de informatie meegegeven op welk tijdstip dit gebeurde, hoe lang het duurde en hoe het zich ontwikkeld heeft in de tijd, …
- Elke sample bevat informatie die interpreteerbaar is zonder verwijzing naar enig andere sample
- Zelfs al heb je slechts één sample, je weet toch wat je meet
- Dit is de eenvoudigste manier om informatie op te nemen in een signaal.

Hoe informatie wordt voorgesteld in signalen

informatie vervat in het frequentiedomein.

- Deze informatie is indirect
- Veel dingen in ons universum tonen periodieke beweging : bv het aanslagen van een wijnglas met een lepel trilt, slinger staande klok, sterren en planeten die rond hun eigen as draaien, …
- Door het meten van frequentie, fase en amplitude van de periodieke beweging kan informatie worden verkregen over het systeem dat de beweging produceert
- Voorbeeld: stel dat we proeven doen op het rinkelend geluid van het aantikken van een glas wijn : de grondfrequentie en de harmonischen van de periodieke trilling zijn afhankelijk van de massa en elasticiteit van het materiaal
- Elke sample op zichzelf bevat geen informatie over het wijnglas. De informatie is opgenomen in de relatie tussen een groot aantal punten in het signaal.

Belang van stap- en frequentieresponsies

- Stapresponsie beschrijft hoe gegevens, weergegeven in het tijdsdomein, worden gewijzigd door het systeem
- Frequentieresponsie toont hoe informatie, die weergegeven wordt in het frequentiedomein, wordt gewijzigd.
- Dit onderscheid is essentieel in het filterontwerp omdat het niet mogelijk is om de filter te optimaliseren voor beide toepassingen: goede prestaties in het tijdsdomein en in het frequentiedomein.

Voorbeeld stel dat je een filter moet ontwerpen om het geluid van een ECG-signaal te verwijderen, is de stap de belangrijke parameter en is de frequentierespons van weinig belang

Voorbeeld: stel dat je een digitaal filter moet ontwerpen voor een hoortoestel (informatie in het frequentiedomein) dan is de frequentierespons belangrijk en maakt de stapresponsie niets uit.

Tijdsdomeinparameters

Waarom is de staprespons zo belangrijk in tijdsdomein filters en niet de impulsrespons?

Reden hiervoor ligt in de manier waarop de menselijke geest informatie begrijpt en verwerkt.

- De stap, impuls en de frequentie respons van alle informatie is identiek, alleen in verschillende arrangementen.
- De stapreactie is nuttig in tijdsdomein analyse, omdat het overeenkomt met de manier waarop mensen de informatie bekijken in de signalen.

Stel je krijgt een signaal van een onbekende oorsprong en er wordt je gevraagd dit te analyseren

- Eerste wat je doet: Signaal verdelen in gebieden met soortgelijke eigenschappen (eigen aan de mens om dit te doen).
- Een deel van deze gebieden kunnen glad zijn (geen amplitude); anderen juist grote amplitudepieken; anderen kunnen luidruchtig zijn, …

Deze segmentatie wordt bereikt door het identificeren van de punten die de gebieden scheiden.

De stapfunctie is de zuiverste manier om een scheiding te maken tussen twee ongelijksoortige gebieden.

- Het kan markeren wanneer een gebeurtenis (event) begint, of wanneer een gebeurtenis eindigt.
- Het vertelt je dat wat er ook links van de stap staat is verschillend van wat er rechts van staat.

Dit is hoe de menselijke geest de tijdsdomeininformatie ziet: een groep van stap functies die de informatie verdelen in gebieden van vergelijkbare kenmerken.

De stap reactie op zijn beurt is belangrijk omdat het beschrijft hoe de scheidslijnen worden gewijzigd door de filter.

Tijdsdomeinparameters

De staprespons parameters die belangrijk zijn voor filterontwerp zijn getoond in naast staande figuur.

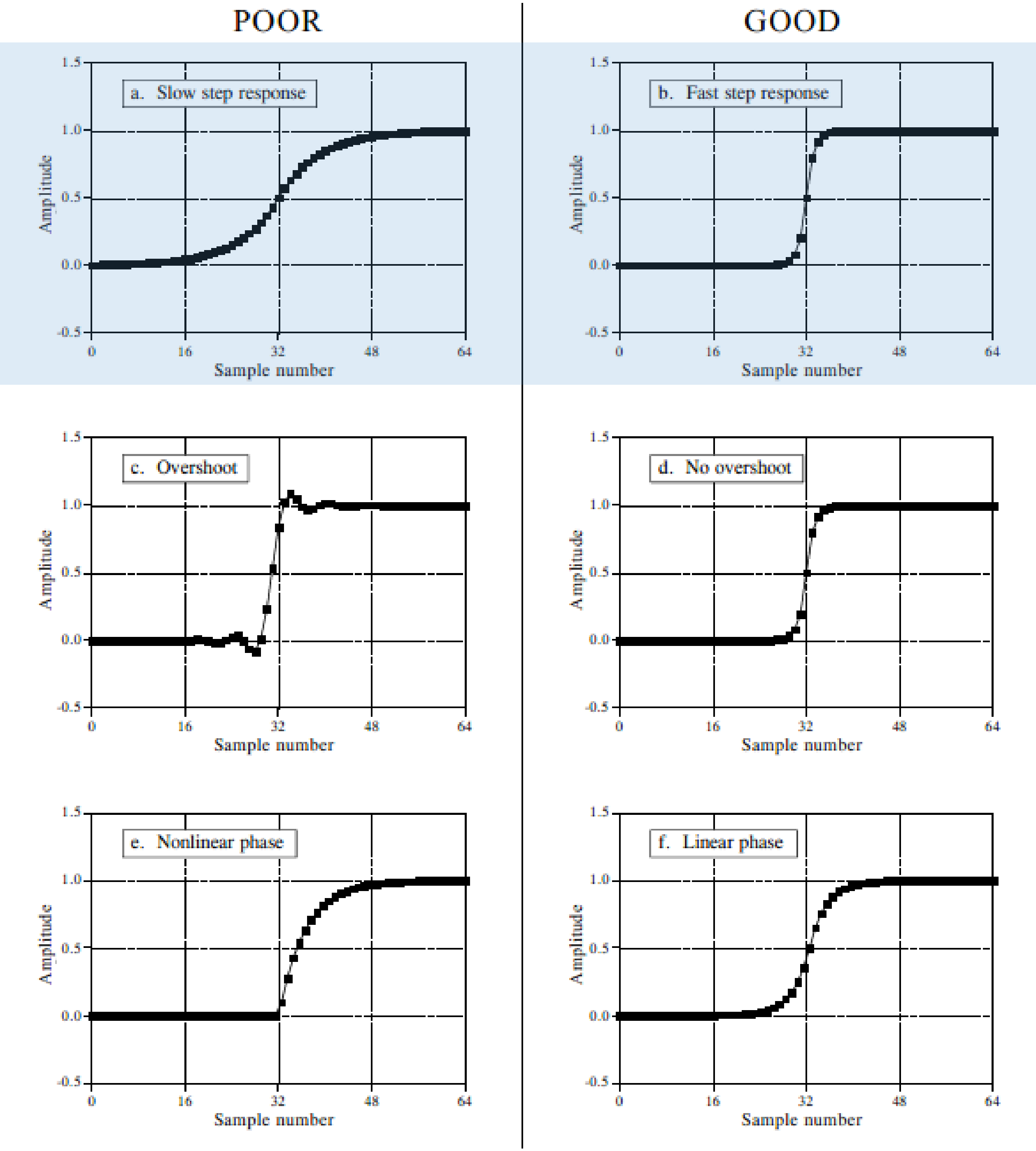
Stijgtijd

Om evenementen in een signaal te onderscheiden, moet de duur van de stapresponsie korter zijn dan de afstand van de gebeurtenissen.

Dit dicteert dat de stapresponsie zo “snel” (fast) (de DSP jargon) mogelijk moet zijn. (zie (a) en (b)
De meest voorkomende manier om de stijgtijd te specificeren is het aantal samples s tussen de 10% en 90% amplitude levels vast te leggen

Waarom is een zeer snelle stijgtijd niet altijd mogelijk?

Er zijn vele redenen hiervoor: ruisonderdrukking, inherente beperkingen van het data-acquisitiesysteem, het vermijden van aliasing, etc.



Tijdsdomeinparameters

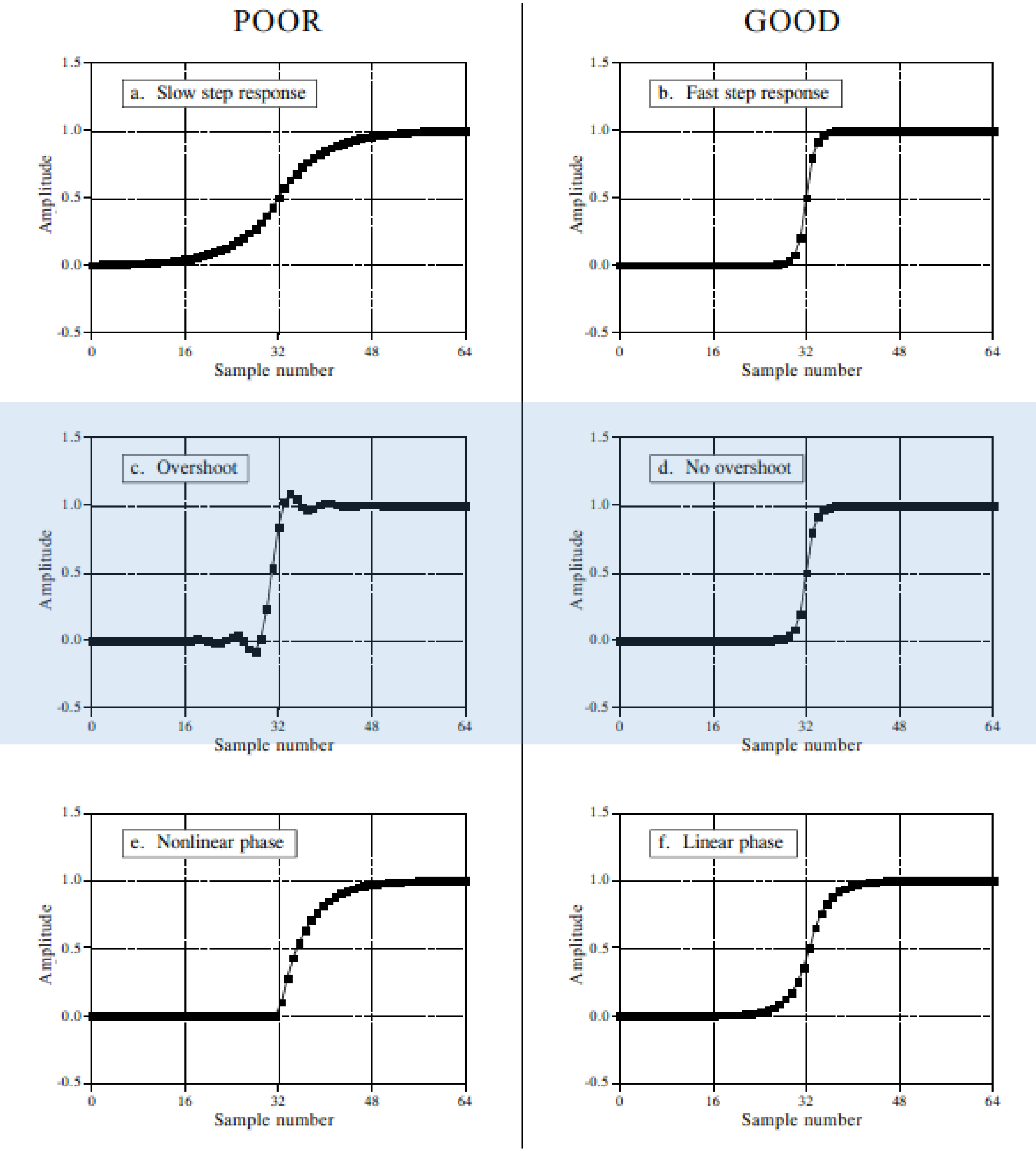
overshoot

In figuur (c) en (d) geeft overshoot in de stapresponsie

- Overshoot moet algemeen worden uitgesloten, omdat het de amplitude van de samples verandert in het signaal;
- Dit is een fundamentele vertekening van de informatie in het tijdsdomein

Dit kan worden samengevat in een vraag:

Is de overshoot die je waarneemt in een signaal afkomstig van dat wat je probeert te meten, of van het filter dat je hebt gebruikt?



Tijdsdomeinparameters

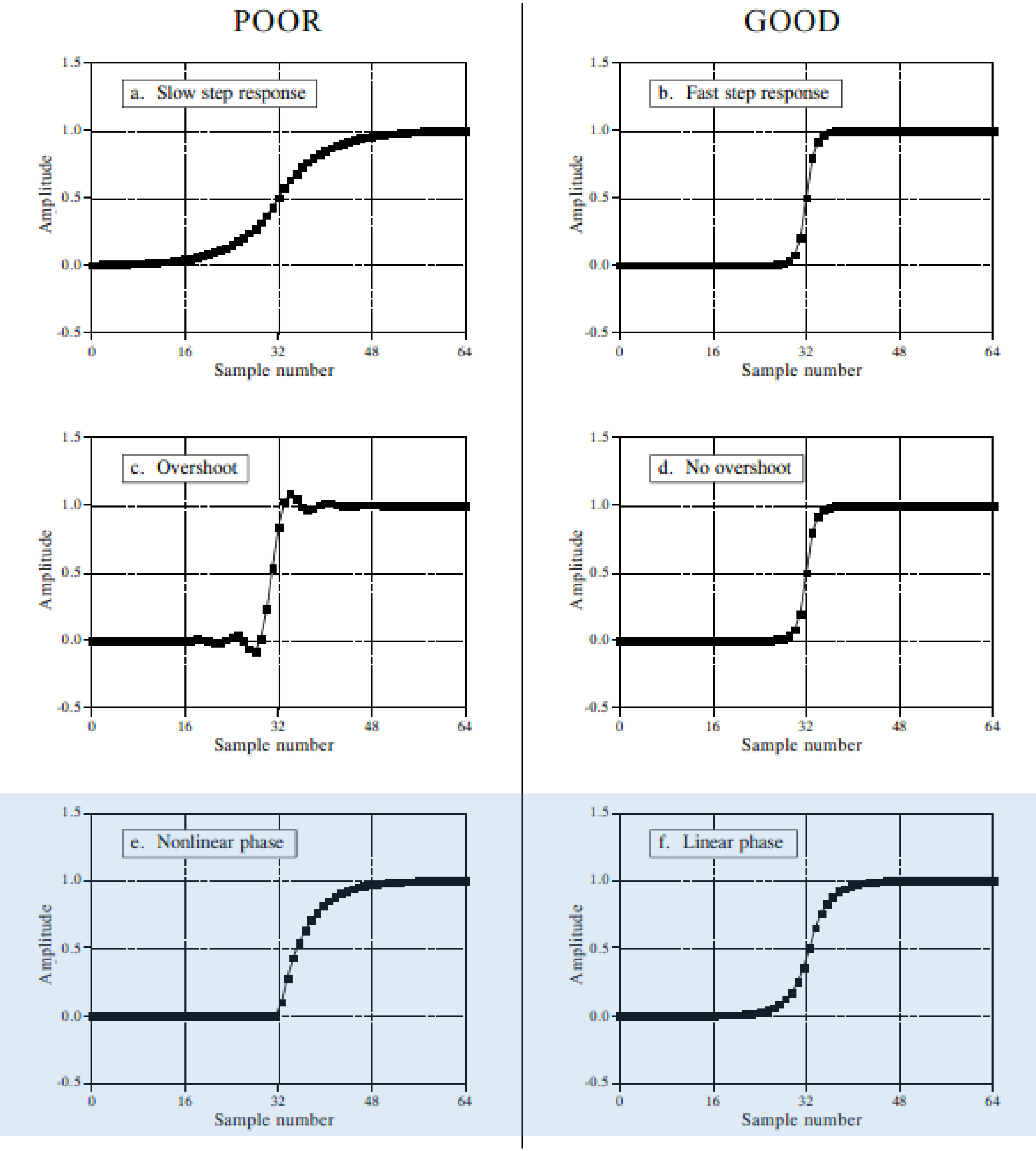
Lineaire fase

Het is vaak gewenst dat de bovenste helft van de stap respons symmetrisch is met de onderste helft, zoals in (e) en (f).

Deze symmetrie is noodzakelijk om de stijgende flanken er uit te laten zien als de dalende flanken.

Deze symmetrie wordt lineaire fase genoemd, omdat de frequentie response een fase heeft die er uit ziet als een rechte lijn.

Deze drie parameters (stijgtijd, overshoot en lineaire fase) zijn heel belangrijk voor het ontwerpen en evalueren van tijdsdomein filters.



Frequentiedomeinparameters

Figuur toont de vier fundamentele frequentieresponses.

Het doel van deze filters is om bepaalde frequenties ongewijzigd te laten passeren, terwijl andere frequenties volledig worden geblokkeerd.

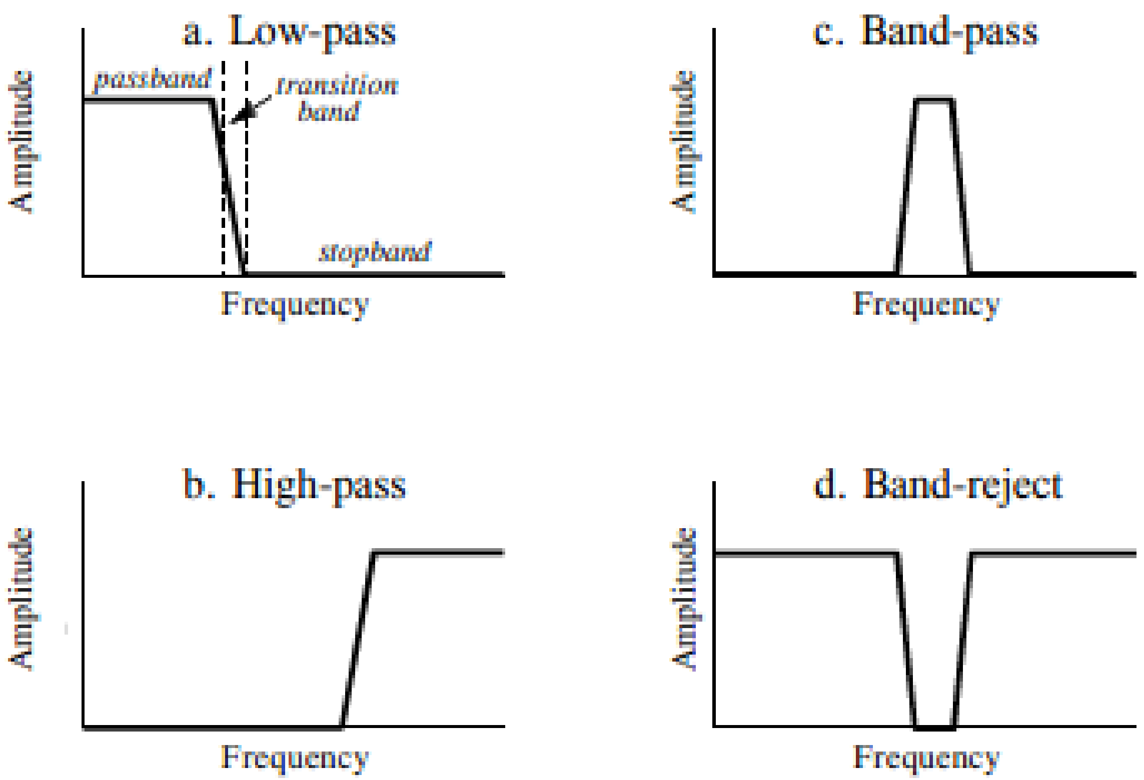
De doorlaatband verwijst naar die frequenties die worden doorgegeven, terwijl de stopband die frequenties bevat die geblokkeerd zijn.

De overgangsband is tussen de doorlaatband en de stopband. Een snelle roll-off betekent dat de overgangsband erg smal is.

De scheiding tussen de doorlaatband en de overgangsband wordt de cutoff frequentie genoemd.

In het analoge filter ontwerp, wordt de cutoff frequentie meestal gedefinieerd te zijn waar de amplitude wordt teruggebracht tot 0.707 (dwz, -3 dB).

Digitale filters zijn minder gestandaardiseerd en hier worden meestal 99%, 90%, 70,7% en 50% amplitude levels gedefinieerd als de cutoff frequentie.



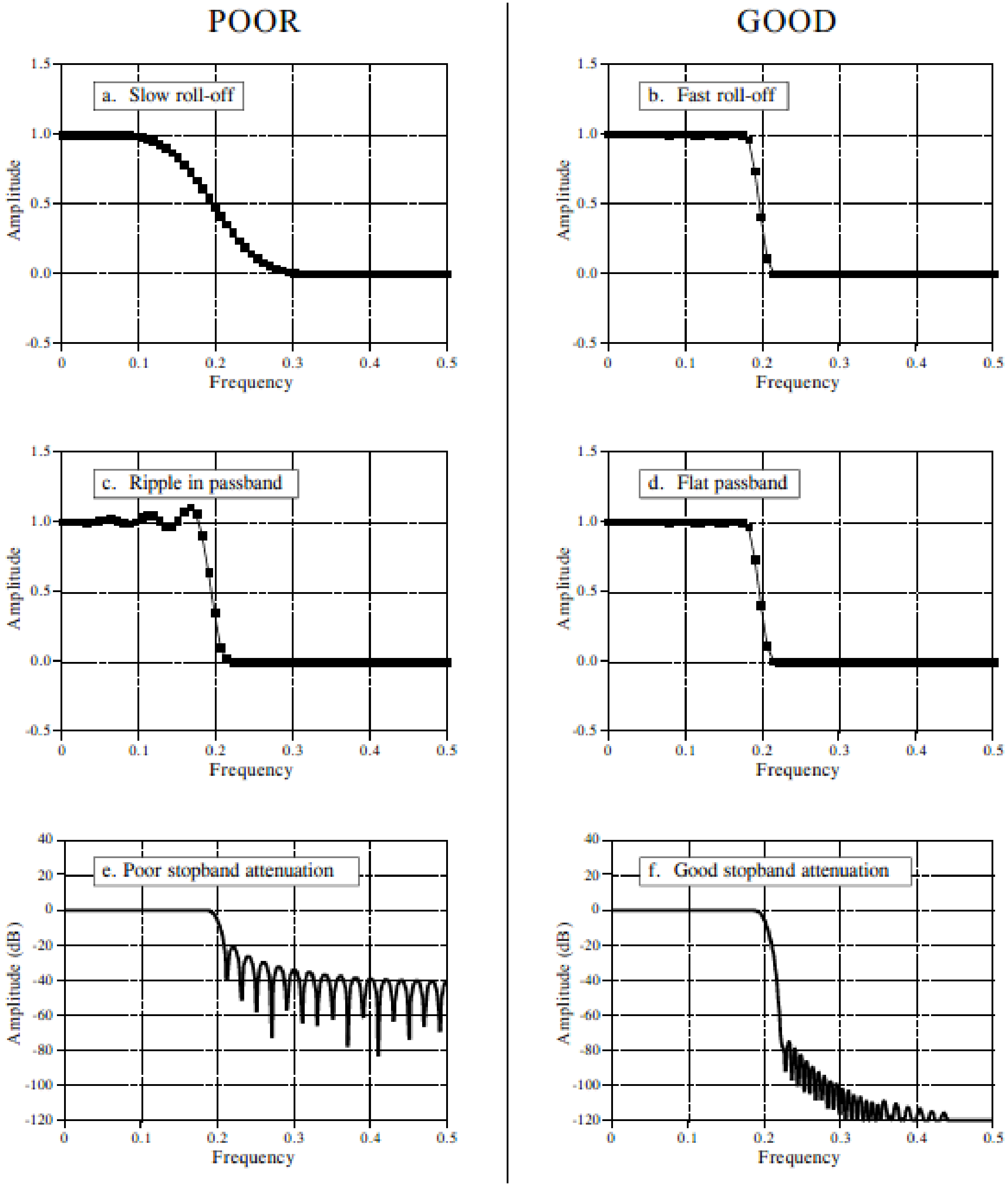
Frequentiedomeinparameters

Figuur toont de drie parameters die aangeven hoe goed een filter is in het frequentiedomein.

Om dicht bij elkaar gelegen frequenties te scheiden, de filter moet een snelle roll-off hebben, zoals geïllustreerd in (a) en (b).

Om de frequenties zo goed mogelijk door te laten in de doorlaatband van de filter, mag er geen rimpel aanwezig zijn in deze doorlaatband zie (c) en (d).

Ten slotte, om adequaat de frequenties in de stopband te blokkeren, moet de stopband een sterke demping hebben. Dit is weergegeven in (e) en (f).



Frequentiedomeinparameters

Waarom is er geen parameter aangaande de fase besproken?

- Ten eerste, de fase is niet belangrijk in de meeste frequentiedomein toepassingen.
  - Bijvoorbeeld, de fase van een audiosignaal is nagenoeg volledig willekeurig en bevat weinig nuttige gegevens.
- Ten tweede, als de fase van belang is, is het zeer gemakkelijk om digitale filters te bouwen met een perfecte fase respons, dwz alle frequenties door een bandfilter sturen met een nul faseverschuiving. Als je dit vergelijkt met analoge filters, zal je merken dat deze afschuwelijk zijn in dit opzicht.

Via DFT kan je een impulsresponsie van een systeem omzetten naar een frequentierespons De snelste manier gebeurt via FFT.

- Principe omzetting: Stel dat je start met een filterkernel van N samples lang
  - de FFT berekent het frequentiespectrum bestaande uit een N punt reëel deel en een N punt imaginaire deel.
  - Alleen de samples van 0 tot N / 2 van de reële en imaginaire delen van de FFT's bevatten nuttige informatie; de overige punten zijn duplicaten (negatieve frequenties) en kunnen worden genegeerd.
  - Aangezien de reële en imaginaire delen moeilijk voor mensen te begrijpen zijn, worden ze meestal omgezet in polaire notatie zoals beschreven in vorig hoofdstuk 8
  - Dit geeft de grootte (magnitude) en fasesignalen, elk loopt van monster 0 tot N / 2 (dat wil zeggen, N / 2 + 1 samples in elk signaal).
- Zo zal een impulsresponsie van 256 punten resulteren in een frequentiebereik dat loopt van punt 0 tot sample 128; waarbij sample 0 vertegenwoordigt DC, dat wil zeggen frequentie nul.
- Sample 128 vertegenwoordigt de helft van de samplefrequentie. (nyquistfrequentie)
  Vergeet niet, er kan geen frequentie hoger dan de helft van de samplesfrequentie verschijnen in de gesampled data.

Frequentiedomeinparameters

Het aantal samples dat gebruikt wordt om de impulsresponsie te vertegenwoordigen kan van een willekeurige grootte zijn

- Bijvoorbeeld, stel dat je de frequentierespons van een filter hebt opgebouwd met 80 punten.
- Omdat de FFT werkt alleen met signalen die een macht van twee zijn => 48 nullen toevoegen aan het signaal zodat je een lengte van 128 samples bekomt.
- Deze **opvulling met nullen verandert niets aan de impulsresponsie**. ***Waarom?*** Bedenk wat er gebeurt met deze toegevoegde nullen als je het ingangssignaal van het systeem convolueert met de impulsresponsie. => **De toegevoegde nullen verdwijnen gewoon in de convolutie,** en hebben geen invloed op de uitkomst..

Wat als je meer nullen aan de impulsresponsie toevoegt dan noodzakelijk?

- In plaats van de 48 nullen toevoegen, nullen toevoegen tot de FFT is 256, 512, of 1024 punten lang is.
- Het belangrijkste idee is dat meer impulsresponsies resulteren in een kleiner verschil tussen de gegevens in de frequentierespons.
- Dat wil zeggen, er meer samples verdeeld worden tussen DC en de nyquistfrequentie. Hoe meer punten, hoe dichter de samples bij elkaar liggen => opvullen met oneindig aantal nullen betekent dat de datapunten in de frequentierespons oneindig dicht bij elkaar liggen => doorlopende lijn
- Met andere woorden: de frequentiekarakteristiek van een filter is echt een continu signaal tussen DC en de nyquistfrequentie (fs/2)
- De uitgang van de DFT is een sampling van deze continue lijn.

Frequentiedomeinparameters

Welke lengte van impulsrespons moet je nu gebruiken bij het berekenen van de frequentierespons van een filter?

- Als een eerste gedachte, probeert N = 1024 te nemen, maar wees niet bang om het te veranderen als dat nodig is (zoals onvoldoende resolutie of overmatige rekentijd).

De “goede” en “slechte” waarden voor de parameters hier besproken zijn enkel maar veralgemeenheden.

- Slechts weinig signalen vallen netjes in deze categorieën
- Voorbeeld: Veronderstel dat het EKG-signaal invloed heeft van 50 Hz interferentie
  - De informatie is encoded in het tijdsdomein, maar de interferentie kan het best behandelt worden in het frequentiedomein.

Het beste ontwerp voor deze toepassing is dan de nodige afwegingen te maken zodat het resultaat zo goed mogelijk het gewenste resultaat benadert.

Hoogdoorlaat, banddoorlaat en Bandsper filters

Opbouw HDF, banddoorlaat- en bandsperfilter start met ontwerp LDF

2 manieren om vanuit LDF een transformatie naar HDF te maken: Spectrale inversie en Spectrale omkering

Spectrale inversie

Voorbeeld: zie figuur

(a) Toont LD-filterkernel (windowed-sinc genoemd) bestaande uit 51 punten (meeste punten zo laag dat ze een waarde hebben dicht bij 0)

- *Bij kernel 13 punten toevoegen => 64-punt FFT mogelijk*

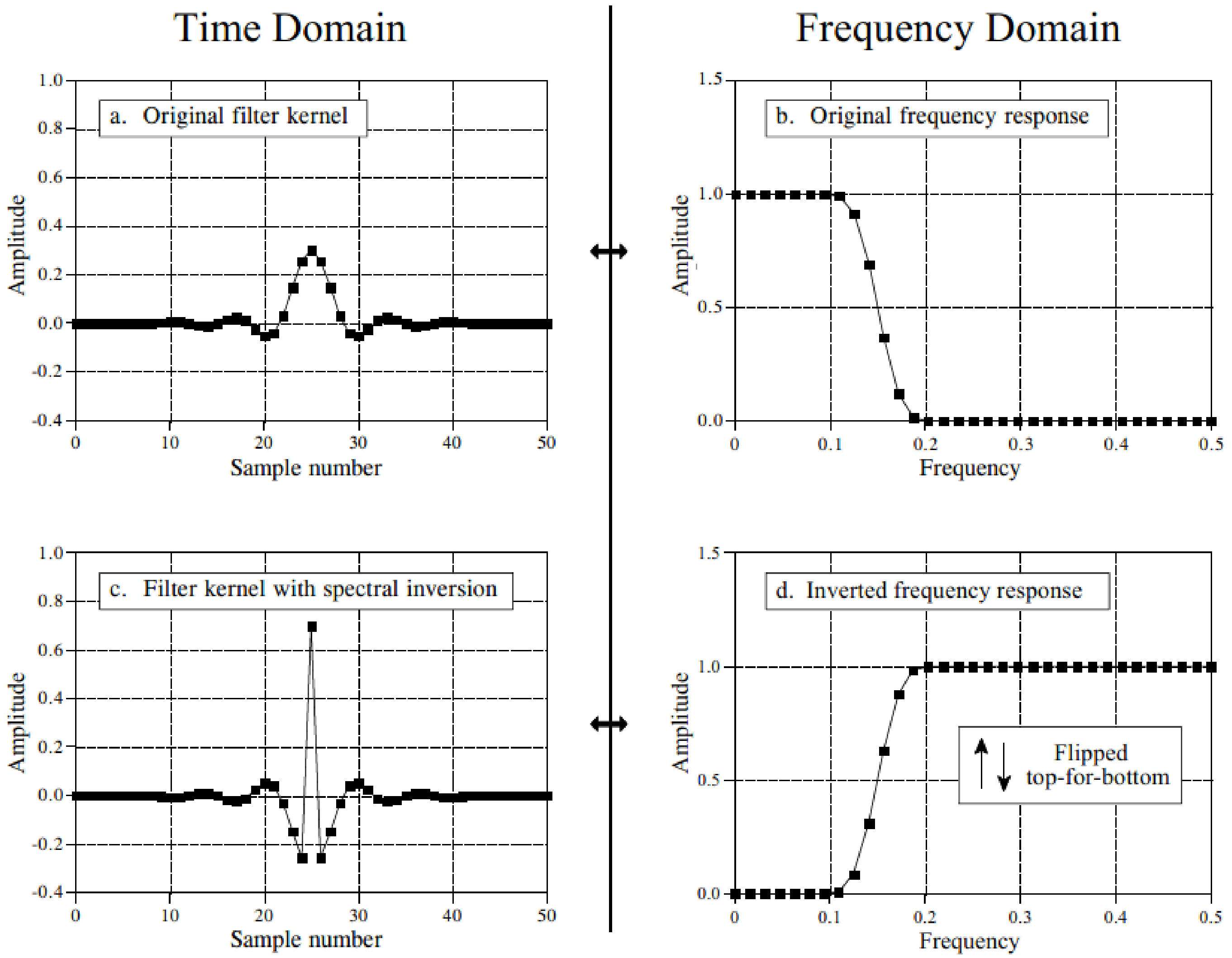
(b) Toont 64-punt FFT van (a) => frequentierespons op originele filterkernel

Veranderen LD-kernel naar HD-kernel

1) *Teken veranderen van iedere sample in de filterkernel (zie c)*
2) *Eenheidspuls δ[n] bijtellen in het midden van de symmetrie.*

Het resultaat is een HD-filterkernel (zie (d))

Spectrale inversie keert de frequentierespons (a) om via top-bottom omdraaiing en levert frequentierespons (d) op.



Spectrale inversie : LDF=>HDF en HDF => LDF
Banddoorlaatfilter => bandsperfilter; bandsperF. =>banddoorlaatF.

Hoogdoorlaat, banddoorlaat en Bandsper filters

Figuur laat zien waarom de 2 wijzigingsstappen in het tijdsdomein resulteert in een geïnverteerd frequentiespectrum

(a) het ingangssignaal x[n], wordt aan 2 parallelle systemen toegevoegd.

Een van deze systemen is een low-pass filter, met een impulsrespons gegeven door h[n].

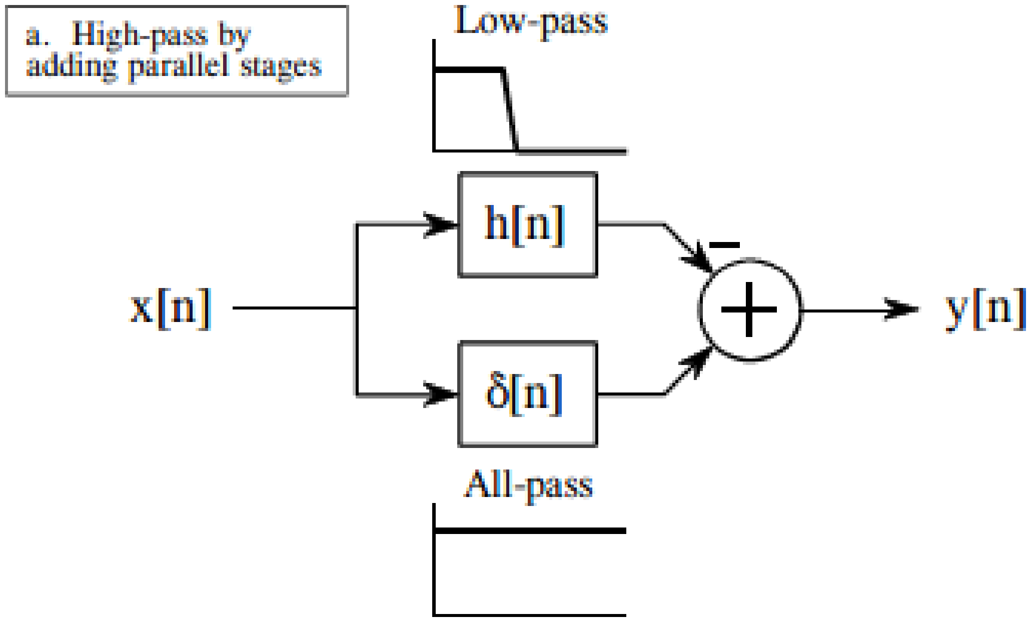
Het andere systeem doet niets aan het signaal, en heeft derhalve een impulsresponsie die gelijk is aan een delta functie δ[n].

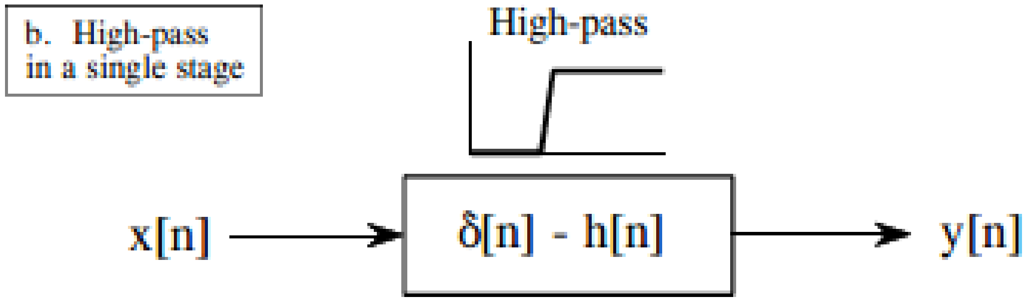
De totale output, y [n] is gelijk aan de uitgang van de alle pass – uitgang van het laagdoorlaatfilter systeem.

Aangezien laagfrequente componenten worden afgetrokken van het oorspronkelijke signaal => alleen de hoogfrequente componenten verschijnen in de output. => Aldus wordt een hoogdoorlaatfilter gevormd.

⇒ Kan uitgevoerd worden als een 2-stap operatie in een computerprogramma: laat het signaal door een LDF lopen en trek vervolgens dit signaal af van het oorspronkelijk signaal

(b) Gans de bewerking kan in één signaalblok worden uitgevoerd door de 2 filterkernels te combineren => y[n]= δ[n]. - h[n]





Hoogdoorlaat, banddoorlaat en Bandsper filters

Spectrale inversietechniek werkt enkel als de lage frequentiecomponenten die de LDF verlaten dezelfde fase hebben als de lage frequentiecomponenten die de all-pass filter verlaten.

Indien van niet => volledige aftrekking kan nooit plaatsvinden

$\Rightarrow$2 restricties aan deze methode:

1) De originele filterkernel moet over links-rechts symmetrie beschikken (bv een 0 of lineaire fase)
2) De eenheidsimpuls moet worden toegevoegd recht in centrum van de symmetrie

Hoogdoorlaat, banddoorlaat en Bandsper filters

Spectrale omkering (spectral reversal – zie figuur)

(a) LDF-kernel en (b) overeenstemmende frequentierespons

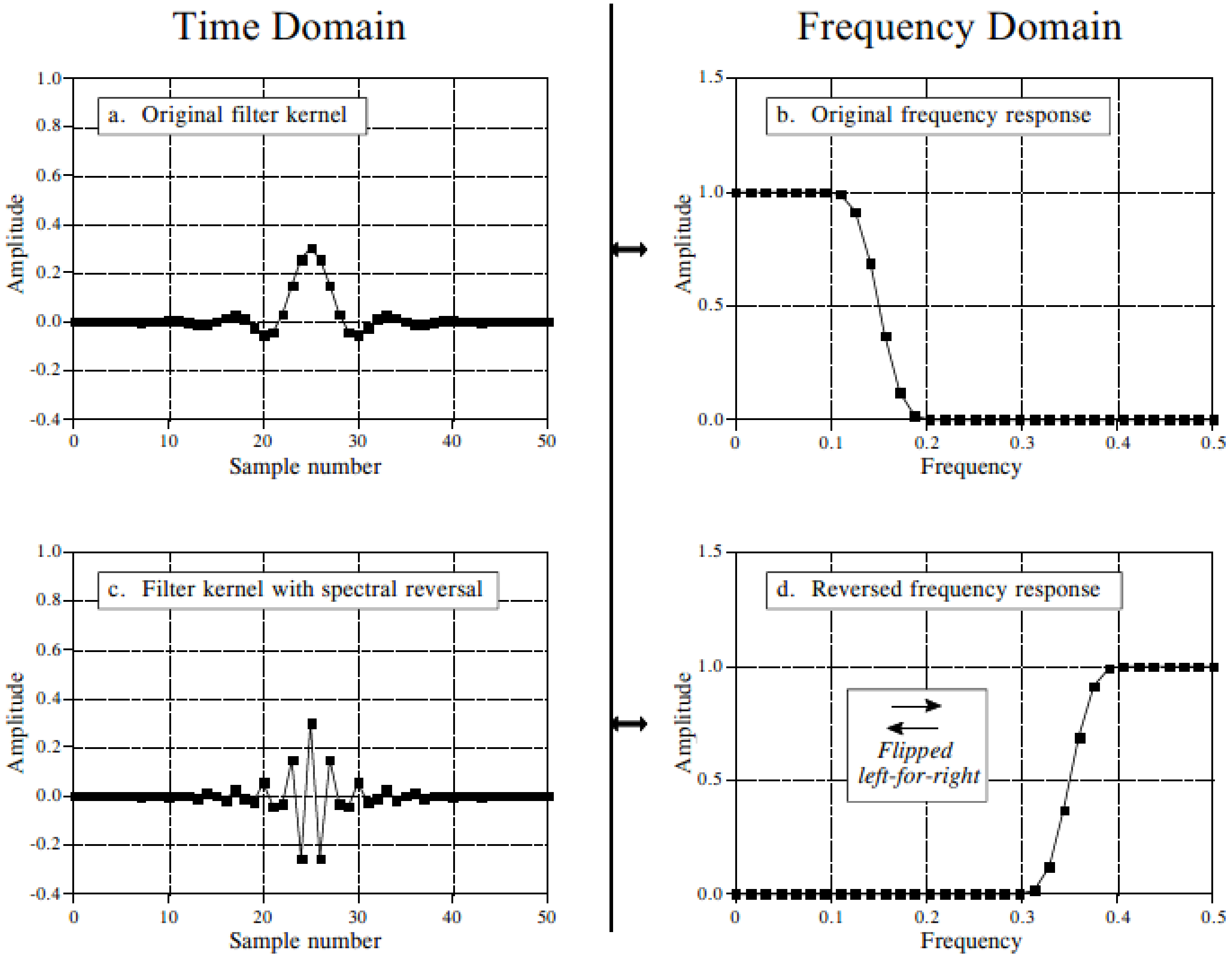
HDF-kernel (c) wordt gevormd door het teken te veranderen van iedere sample van (a) => levert een frequentierespons (d) waarbij ieder punt is gedraaid van links naar rechts (0 wordt 0,5)

Als de afsnijfrequente van LDF is 0,15 => afsnijfrequentie van HDF is 0,35

Veranderen van het teken van ieder sample komt overeen met de filterkernel te vermenigvuldigen met 0,5 => heeft als effect dat het frequentiedomein verschoven wordt met 0,5

Kijk naar (b) en beschouw de negatieve frequenties tussen -0,5 en 0 (spiegelbeeld van (b) met 0 als scharnierpunt)

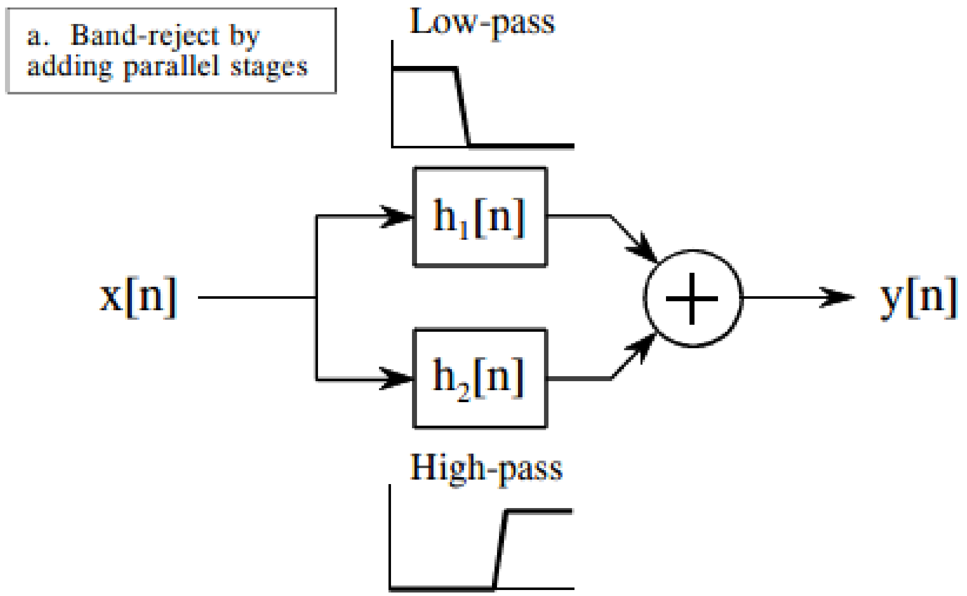
Schuif deze negatieve frequenties op met 0,5 => verschijnt frequentierespons (d)

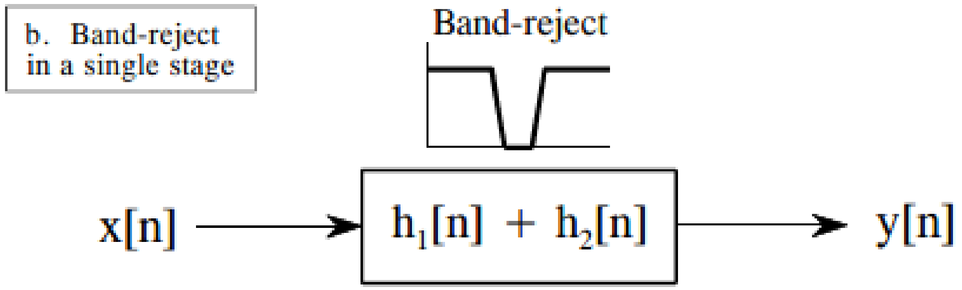


Hoogdoorlaat, banddoorlaat en Bandsper filters

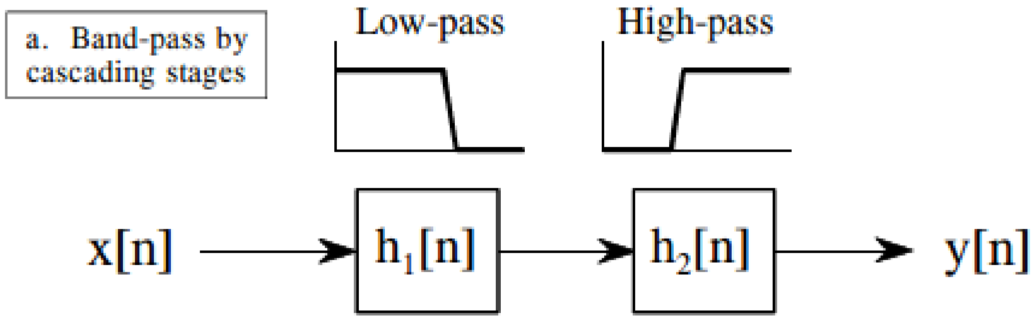
Combinatie LDF met HDF om banddoorlaatfilters en bandsperfilters te creëren

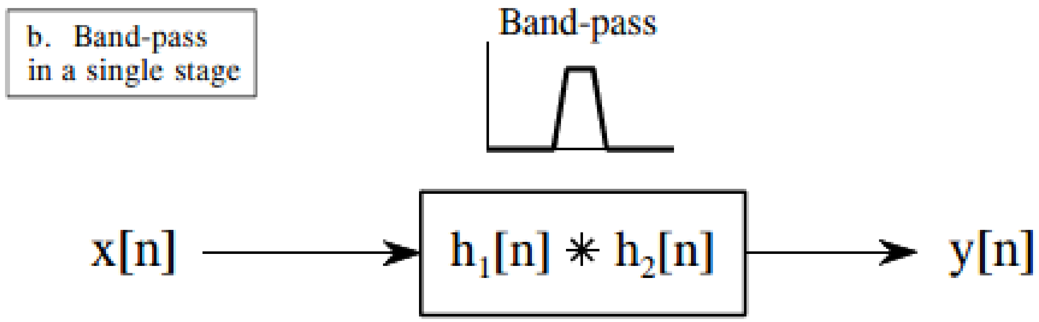
(a) Door de filterkernels samen te tellen wordt een bandsperfilter gemaakt





(b) Door een convolutie uit te voeren tussen beide filterkernels bekomt men een banddoorlaatfilter





Opmerking: vertrekkend vanuit banddoorlaatfilter en daarop spectrale inversie of spectrale omkering toepassen levert een bandsperfilter op

Indeling digitale filters bij hun gebruik en implementatie

Gebruik digitale filter kan opgesplitst worden in 3 categorieën:

***Tijdsdomein** =>als info gecodeerd is in de golfvorm van het signaal (afvlakking, verwijderen DC, vormgeving golfvorm, …)*

***Frequentiedomein** => als info zit in de amplitude, frequentie of fase van de component sinussen (scheiden frequentiebanden)*

***Custum of op maat gemaakt** => wanneer een speciale actie vereist is door het filter (iets meer uitgewerkt dan de 4 fundamentele reacties (hoog- en laagdoorlaat, banddoorlaat en bandsper) Gebruik voor deconvolutie (manier tegengaan ongewenste convolutie)*

Filters door convolutie (FIR) veel betere prestatties dan filters met recursie (IIR); maar zijn langzamer

FILTER IMPLEMENTED BY:

FILTER USED FOR:	Convolution *Finite Impulse Response (FIR)*	Recursion *Infinite Impulse Response (IIR)*
Time Domain *(smoothing, DC removal)*	Moving average	Single pole
Frequency Domain *(separating frequencies)*	Windowed-sinc	Chebyshev
Custom *(Deconvolution)*	FIR custom	Iterative design

Indeling digitale filters bij hun gebruik en implementatie

Digitale filters kunnen worden uitgevoerd op twee manieren, door convolutie (ook wel finite impulse response of FIR) en door recursie (ook wel infinite impuls response IIR) genoemd

Filters door convolutie (FIR) veel betere prestaties dan filters met recursie (IIR); maar zijn langzamer