

F I L T E R

Filter adalah perangkat atau algoritma yang digunakan dalam pemrosesan sinyal untuk memanipulasi sinyal masuk dengan cara menghilangkan komponen frekuensi tertentu atau memperkuat komponen lain. Filter dapat digunakan untuk berbagai tujuan seperti noise remover, ekstraksi informasi, dan modifikasi sinyal. Filter adalah alat penting dalam pemrosesan sinyal digital yang digunakan untuk memanipulasi sinyal dengan menghilangkan atau memperkuat komponen frekuensi tertentu. Terdapat berbagai jenis filter dengan berbagai jenis filter, mulai dari pengolahan audio dan gambar hingga komunikasi digital dan biomedic analytics.

A. Low Pass Filter

Low-pass Filter adalah alat penting dalam pemrosesan sinyal digital yang memungkinkan frekuensi rendah melewati dan meredam frekuensi tinggi. Filter ini digunakan untuk menghilangkan noise, menghaluskan sinyal, dan mengekstrak komponen frekuensi rendah dalam berbagai aplikasi.

1. Fungsi Transfer

$$\begin{cases} 1 & \text{untuk } |f| \leq f_c \\ 0 & \text{untuk } |f| > f_c \end{cases}$$

2. Desain Low-Pass Filter

Desain LPF melibatkan penentuan koefisien untuk menghasilkan respons frekuensi yang diinginkan. Metode desain meliputi :

- Windowing method : untuk desain filter FIR, impulse respons ideal dipotong dengan fungsi window (Rectangular, Hamming, Hanning, Blackman).
- Bilinear Transform : untuk desain filter IIR, mengubah filter analog menjadi digital dengan memetakan sumbu $j\omega$ dari domain laplace ke lingkaran unit dalam domain z .
- Butterworth Filter : Filter IIR dengan respon frekuensi halus di passband dan roll-off moderat di stopband, meminimalkan distorsi fase.
- Chebyshev Filter : Filter IIR dengan ripples di passband (Type I) atau stopband (Type II) dan roll-off lebih tajam.
- Elliptic Filter : Filter IIR dengan ripples di passband dan stopband serta roll-off paling tajam untuk tingkat pesanan filter tertentu.

3. Aplikasi Low-Pass Filter

- Pengolahan sinyal audio : menghilangkan noise frekuensi tinggi.
- Pengolahan sinyal biomedis : membersihkan sinyal seperti ECG dari interferensi frekuensi tinggi.
- Pengolahan gambar : menghaluskan gambar dengan menghilangkan detail frekuensi tinggi.

A) Karakteristik Low-Pass Filter.

- a.) Frekuensi cutoff tepat : mengurangi amplitudo semua frekuensi diatas frekuensi cutoff ke nol.
- b.) Response langsung di Passband : respons sempurna tanpa penurunan amplitudo di Passband
- c.) Pemotongan tepat di ~~Pass~~ Stopband : amplitudo semua frekuensi diatas frekuensi cutoff dihilangkan.
- d.) Fase Linier : fase sinyal tetap linier di semua frekuensi, menghindari distorsi fase.

B. High - Pass Filter

HPF adalah filter yang memungkinkan frekuensi tinggi melewati dan meredam atau menghilangkan frekuensi rendah. Filter ini sering digunakan untuk menyortir sinyal frekuensi tinggi dalam berbagai aplikasi pemrosesan sinyal.

1. Fungsi transfer

Fungsi transfer HPF menggambarkan perubahan amplitudo dan fase komponen frekuensi sinyal oleh filter, ditentukan oleh parameter seperti frekuensi cutoff dan redaman di passband dan stopband.

2. Desain HPF

Metode desain meliputi :

- a.) Transformasi bilinear : mengubah filter analog menjadi digital.
- b.) Filter FIR atau IIR : memilih struktur dan parameter filter yang sesuai.
- c.) Jenis Filter : memilih antara Butterworth, Chebyshev atau Elliptic sesuai kebutuhan.

3. Aplikasi HPF

- a.) Analisis audio : menekankan suara tinggi seperti percikan atau instrumen musik tertentu.
- b.) Penghilang noise : meredam frekuensi rendah yang mewakili noise.
- c.) Sistem komunikasi : menghilangkan komponen DC dan mempertahankan informasi sinyal modulasi.

A. Karakteristik HPF

- a.) Transisi tajam di frek. cutoff : mengizinkan frek. tinggi melewati tanpa distorsi dan menghentikan frek. rendah.
- b.) Redaman total pada frek. rendah : menghilangkan semua komponen frek. rendah di bawah frek. cutoff.
- c.) Fase linier : menjaga fase sinyal tetap linier di semua frekuensi, menghindari distorsi fase di passband.

C. Band-Pass Filter

BPF adalah filter yang memungkinkan rentang frekuensi tertentu (bandpass) melewati, sementara meredam frek. di luar rentang tersebut.

1. Fungsi transfer

Fungsi transfer BPF menggambarkan perubahan amplitudo dan fase komponen frekuensi sinyal oleh filter, ditentukan oleh frek. pusat, bandwidth dan karakteristik roll-off di passband dan stopband.

2. Desain Band-Pass Filter

Metode desain umum meliputi :

- a) Transformasi bilinear : mengubah filter analog menjadi digital.
- b) Filter FIR atau IIR : memilih struktur dan parameter filter yang sesuai.
- c) Jenis filter.

3. Aplikasi Band-Pass Filter.

- a) Komunikasi wireless : menentukan rentang frek. untuk transmisi data.
- b) Pendeteksian sinyal : mengekstrak sinyal dalam rentang frekuensi tertentu.
- c) Pengolahan sinyal medis : memisahkan komponen frek. tertentu dalam sinyal EEG atau ECG.

4. Karakteristik Band-Pass Filter.

- a) Transisi tajam di batas frek. : mengizinkan rentang frek. yang diinginkan melewati tanpa distorsi dan menghentikan frek. di luar rentang tsb.
- b) Redaman total diluar rentang
- c) Fase linier : menjaga fase sinyal tetap linier dalam rentang frek. yg diizinkan.

D. Band - Stop Filter

BSF juga dikenal sebagai notch filter atau band reject filter, memungkinkan frek. diluar rentang tertentu (stopband) untuk melewati, sementara meredam frek. dalam stopband.

1. Fungsi Transfer

Menggambarkan perubahan amplitudo dan fase komponen frek. sinyal oleh filter, ditentukan oleh frek. pusat, bandwidth stopband, dan roll-off di passband dan stopband.

2. Desain Band - Stop Filter

Melibatkan penentuan parameter desain seperti frek. pusat, bandwidth stopband, dan roll-off di pass-band dan stopband. Metode yg umum digunakan transformasi bilinear, desain filter FIR atau IIR, dan pemilihan jenis filter.

3. Aplikasi Band - Stop Filter

- a) Penghapusan noise : menghilangkan frek. tertentu seperti 50 Hz pada arus listrik
- b) Sistem komunikasi : menghilangkan frekuensi interferensi di sinyal.
- c) Pengolahan audio : menghilangkan komponen frek. yang menyebabkan gangguan.

4. Karakteristik Band-Stop Filter

- Transisi tajam dibatas frekuensi: menghentikan frek. dan stopband secara tiba-tiba sementara frekuensi di luar stopband melewati tanpa distorsi.
- Redaman total pada frek. dalam stopband.
- ~~Fase~~ Menjaga fase sinyal tetap linier di semua frekuensi di luar stopband.

E. FIR (Finite Impulse Response) Filter

FIR adalah filter digital dengan respon impuls yang berakhir dalam waktu tertentu. FIR banyak digunakan dalam pemrosesan sinyal digital karena stabilitas inheren dan fase linier.

1. Fungsi Transfer

Secara matematis, FIR dinyatakan sebagai :

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

dimana :

- $y[n]$ adalah sinyal output
- $x[n]$ adalah sinyal input
- $h[k]$ adalah koefisien filter atau tanggapan impuls filter
- M adalah panjang filter atau jumlah koefisien

2. Desain

FIR melibatkan penentuan koefisien $h[k]$ untuk mencapai ~~ke~~ frekuensi yang diinginkan. Metode desain meliputi :

- Windowing method : menggunakan fungsi Window untuk membatasi respon impuls ideal.
- Frequency Sampling method: menetapkan spesifikasi frek. langsung dan melakukan transformasi balik.
- Optimal Design Method : menggunakan algoritma optimasi seperti metode Remez exchange.

3. Aplikasi FIR Filter

- Pengolahan audio: menghilangkan noise atau mengubah karakteristik frekuensi.
- Pengolahan citra : meningkatkan atau menghilangkan ~~gambar~~ detail dalam gambar digital.
- Kontrol sistem : mengatur respon sistem dalam kontrol industri.

4. Karakteristik FIR Filter

- Selalu stabil karena tidak memiliki komponen umpan balik.
- Dapat dirancang untuk memiliki fase linier, menghindari distorsi fase.
- Sifat non recursive : keluaran tergantung pada nilai masukan saat ini dan sebelumnya, bukan pada nilai keluaran sebelumnya.

5. Kelebihan FIR Filter

- Stabilitas inheren
- Fase linier (jika dirancang demikian)
- Mudah diimplementasikan dengan arsitektur digital.

6. Kekurangan FIR Filter

- Membutuhkan panjang filter (M) yang lebih besar untuk karakteristik tajam, meningkatkan kompleksitas komputasi.
- Kurang efisien dibandingkan IIR Filter untuk aplikasi dengan respon frekuensi tajam dan panjang filter pendek.

F. IIR (Infinite Impulse Response) Filter

IIR adalah filter digital dengan respon impuls yang secara teoritis tidak terbatas dalam waktu. Menggunakan umpan balik, IIR Filter dapat mencapai respon frek. yang diinginkan dengan lebih sedikit koefisien dibandingkan FIR.

1. Fungsi transfer

Secara matematis IIR Filter dapat dinyatakan sebagai :

$$y(n) = \sum_{k=0}^M b(k) x(n-k) - \sum_{j=1}^N a(j) y(n-j)$$

dimana :

- $y(n)$ adalah sinyal output
- $x(n)$ adalah sinyal input
- $b(k)$ adalah koefisien umpan maju (feed forward)
- $a(j)$ adalah koefisien feedback
- M dan N adalah orde filter untuk umpan maju dan umpan balik.

2. Desain

IIR Filter melibatkan penentuan koefisien $a(j)$ dan $b(k)$ untuk mencapai frek. yang diinginkan → Metode desain yang umum digunakan :

- a.) Transformasi bilinear yang mengubah filter analog menjadi digital.
- b.) Aproksimasi polinomial: menggunakan polinomial seperti Butterworth, Chebyshev, atau Elliptic.
- c.) Pole zero placement: menempatkan pole dan zero dalam bidang z .

3. Aplikasi IIR Filter

- a.) Pengolahan audio
- b.) Pengolahan citra
- c.) Telekomunikasi

4. Karakteristik IIR Filter

- a.) Membutuhkan lebih sedikit koefisien
- b.) Bisa menjadi tidak stabil karena feedback.

c.) Umumnya tidak memiliki fase linier, menyebabkan distorsi fase.

6. Kelebihan

- memerlukan lebih sedikit koefisien untuk mencapai respon frek. tertentu.
- lebih efisien dalam hal komputasi untuk respon frekuensi tajam.

7. Kekurangan

- potensi instabilitas karena umpan balik.
- umumnya memiliki distorsi fase.
- desain dan implementasi lebih kompleks dibandingkan FIR