

Fundamentos do Filtro

Os filtros digitais são uma parte muito importante do DSP. Na verdade, seu desempenho extraordinário é uma das principais razões pelas quais o DSP se tornou tão popular. Conforme mencionado na introdução, os filtros têm dois usos: separação de sinal e restauração de sinal. A separação de sinal é necessária quando um sinal foi contaminado com interferência, ruído ou outros sinais.

A restauração do sinal é usada quando um sinal foi distorcido de alguma forma.

Os filtros digitais podem alcançar um desempenho milhares de vezes melhor do que os filtros analógicos.

Com filtros analógicos, a ênfase está no manuseio das limitações da eletrônica, como a precisão e estabilidade dos resistores e capacitores. Em comparação, os filtros digitais são tão bons que o desempenho do filtro é frequentemente ignorado. A ênfase desloca-se para as limitações dos sinais e para as questões teóricas relativas ao seu processamento.

É comum em DSP dizer que os sinais de entrada e saída de um filtro estão no domínio do tempo. Isso ocorre porque os sinais geralmente são criados por amostragem em intervalos regulares de tempo.

A segunda forma mais comum de amostragem é em intervalos iguais no espaço.

Muitos outros domínios são possíveis; no entanto, tempo e espaço são de longe os mais comuns, todo filtro linear tem uma resposta ao impulso, uma resposta ao degrau e uma resposta em frequência.

Se um dos três for especificado, os outros dois serão fixos e poderão ser calculados diretamente.

A maneira mais direta de implementar um filtro digital é convoluir o sinal de entrada com a resposta ao impulso do filtro digital.

Há também outra forma de fazer filtros digitais, chamada de recursão. Quando um filtro é implementado por convolução, cada amostra na saída é calculada ponderando as amostras na entrada e somando-as.

Em vez de usar um kernel de filtro, os filtros recursivos são definidos por um conjunto de coeficientes de recursão.

Para encontrar a resposta ao impulso de um filtro recursivo, simplesmente insira um impulso e veja o que sai. As respostas ao impulso de filtros recursivos são compostas de senóides que decaem exponencialmente em amplitude.

Os filtros recursivos também são chamados de Infinite Impulse Filtros de resposta ou IIR. Em comparação, os filtros realizados por convolução são chamados de Finite impulse Response ou FIR.

Um decibel (dB) é um décimo de um bel. Portanto, os valores de decibéis de: -20dB, -10dB, 0dB, 10dB e 20dB, significam as relações de potência: 0,01, 0,1, 1, 10 e 100, respectivamente. Em outras palavras, a cada dez decibéis significa que a potência mudou por um fator de dez.

A cada vinte decibéis significa que a amplitude mudou por um fator de dez. Em forma de equação:

$$\frac{A2}{A1} = 20 \log_{10}$$

Como os decibéis são uma forma de expressar a relação entre dois sinais, eles são ideais para descrever o ganho de um sistema, ou seja, a relação entre o sinal de saída e o sinal de entrada.

Como as informações são representadas nos sinais

Há muitas maneiras pelas quais a informação pode ser contida em um sinal. Isto é especialmente verdadeiro se o sinal for feito pelo homem.

Felizmente, existem apenas duas maneiras comuns para a informação ser representada em sinais naturais. Chamaremos isso de: informação representada no domínio do tempo e informação representada no domínio da frequência.

A informação representada no domínio do tempo descreve quando algo ocorre e qual é a amplitude da ocorrência.

Em contraste, a informação representada no domínio da frequência é mais indireta.

Muitas coisas em nosso universo mostram movimento periódico.

Ao medir a frequência, fase e amplitude desse movimento periódico, muitas vezes podem ser obtidas informações sobre o sistema que produz o movimento.

A resposta ao degrau descreve como as informações representadas no domínio do tempo estão sendo modificadas pelo sistema. Em contraste, a resposta em frequência mostra como a informação representada no domínio da frequência está sendo alterada. Essa distinção é absolutamente crítica no projeto do filtro porque não é possível otimizar um filtro para ambas as aplicações.

Um bom desempenho no domínio do tempo resulta em um desempenho ruim no domínio da

Parâmetros de domínio de tempo

A função de degrau é a forma mais pura de representar uma divisão entre duas regiões diferentes. Ele pode marcar quando um evento começa ou quando um evento termina. Diz-lhe que tudo o que está à esquerda é de alguma forma diferente do que está à direita.

A resposta ao degrau, por sua vez, é importante porque descreve como as linhas divisórias estão sendo modificadas pelo filtro.

Parâmetros de domínio de frequência

A banda passante refere-se às frequências que são passadas, enquanto a banda de parada contém as frequências que são bloqueadas. A banda de transição está entre. Um roll-off rápido significa que a banda de transição é muito estreita. A divisão entre a banda de passagem e a banda de transição é chamada de frequência de corte. No projeto de filtro analógico, a frequência de corte é geralmente definida como onde a amplitude é reduzida para 0,707 (ou seja, -3dB). Os filtros digitais são menos padronizados, e é comum ver níveis de amplitude de 99%, 90%, 70,7% e 50% definidos como frequência de corte.

A maneira mais rápida de calcular a DFT é por meio do algoritmo FFT apresentado no Capítulo 12. Começando com um kernel de filtro N amostras de comprimento, a FFT calcula o espectro de frequência consistindo de uma parte real de N pontos e uma parte imaginária de N pontos. Apenas amostras de 0 a $N/2$ das partes real e imaginária da FFT contêm informações úteis; os pontos restantes são duplicados (frequências negativas) e podem ser ignorados.

Isso fornece os sinais de magnitude e fase, cada um indo da amostra 0 para a amostra $N/2$ (ou seja, $N/2 + 1$ amostras em cada sinal).

O número de amostras usadas para representar a resposta ao impulso pode ser arbitrariamente grande.

A ideia importante é que respostas de impulso mais longas resultam em um espaçamento mais próximo dos pontos de dados na resposta de frequência. Ou seja, há mais amostras espalhadas entre DC e metade da taxa de amostragem.

Em outras palavras, a resposta de frequência de um filtro é realmente um sinal contínuo entre DC e metade da taxa de amostragem. A saída da DFT é uma amostragem desta linha contínua.

Filtros passa-alta, passa-banda e rejeita-faixa

Os filtros passa-alta, passa-faixa e rejeita-faixa são projetados começando com um filtro passa-baixa e, em seguida, convertendo-o na resposta desejada.

Existem dois métodos para a conversão de passa-baixa para passa-alta: inversão espectral e reversão espectral. Ambos são igualmente úteis.

Duas coisas devem ser feitas para alterar o kernel do filtro passa-baixa em um kernel do filtro passa-alta. Primeiro, altere o sinal de cada amostra no kernel do filtro. Em segundo lugar, adicione uma amostra no centro de simetria.

A inversão espectral inverte a resposta de frequência de cima para baixo, alterando as bandas de passagem em bandas de parada e as bandas de parada em bandas de passagem. Em outras palavras, ele altera um filtro de passa-baixa para passa-alta, passa-alta para passa-baixa, passa-faixa para rejeita-faixa ou rejeita-faixa para passa-faixa. O segundo método para conversão passa-baixa para passa-alta, é a reversão espectral.

Por último, os núcleos de filtro passa-baixa e passa-alta podem ser combinados para formar filtros passa-faixa e rejeita-faixa. Em suma, adicionar os kernels do filtro produz um filtro de rejeição de banda, enquanto a convolução dos kernels do filtro produz um filtro passa-banda. Elas se baseiam na maneira como os sistemas em cascata e paralelos são combinados, A combinação múltipla dessas técnicas também pode ser usada.