
Algoritmos de otimização em problemas de processamento de sinais digitais: Design de filtros

28 de junho de 2018

Pedro Marcondes
Universidade de São Paulo
IME-USP

Sumário

1	Introdução	3
2	Metodologia de estudos	3
2.1	Estudos	3
2.2	Reuniões do grupo de computação musical	3
2.3	Seminários	3
3	Cronograma	5
3.1	Sobre as semanas	5

3.2	Semana 1	5
3.3	Semana 2	5
3.4	Semana 3	5
3.5	Semana 4	6
3.6	Semana 5	6
3.7	Semana 6	6
3.8	Semana 7	7
3.9	Semana 8	7
3.10	Semana 9	7
3.11	Semana 10	8
3.12	Semana 11	8
3.13	Semana 12	9
3.14	Semana 13	9
3.15	Semana 14	9
3.16	Total de horas	9
4	Resultados	9
5	Conclusão	11
6	Trabalhos futuros	11

1 INTRODUÇÃO

O principal objetivo desta iniciação científica era aprofundar um pouco mais no estudo de algoritmos de otimização aplicadas em processamento de sinais digitais. Além de estender a formação básica do BCC, uma motivação desse projeto é ganhar intuição e conhecimento acerca dessa intersecção de disciplinas, que contém desafios importantes em computação sonora e musical.

Neste projeto em específico o escopo escolhido para o estudo desses algoritmos foi o design de filtros com resposta em frequências especificadas. Escolhemos 4 algoritmos diferentes de otimização para podermos comparar o comportamento dos filtros usando esses métodos diferentes, seja em resposta de fase, tempo ou erro em relação a um filtro ideal.

2 METODOLOGIA DE ESTUDOS

2.1 Estudos

Os estudos foram distribuídos ao longo da semana de acordo com a necessidade e tempo disponível. Durante a primeira etapa do projeto o estudo baseava em ler e procurar novas referências nos tópicos de interesse. Já na segunda etapa o foco maior foi implementar os algoritmos e os filtros, assim foi necessário reduzir um pouco o trabalho de leitura. A terceira etapa foi onde nos focamos no resultados e ajustes finais ao código e a compilação das notas para fazer o pôster e esse relatório final.

2.2 Reuniões do grupo de computação musical

Durante o semestre participei das reuniões do grupo de computação musical IME-USP. As reuniões aconteceram entre 16:00 até as 18:00 de todas as quartas-feiras, com exceção dos feriados.

Nestas reuniões, além de expor o trabalho semanalmente realizado, houve também o contato com os trabalhos de outros alunos, não só da graduação, como também do mestrado e do doutorado.

2.3 Seminários

O grupo de computação musical realizou seminários ao longo do semestre, cada seminário durou cerca de uma hora:

textbfDetecção de voz cantada em sinais de áudio polifônicos

Palestrante: Shayenne da Luz Moura

Data e hora: seg, 23/04/2018 - 17:00

Modelagem física para síntese de áudio: uma visão geral

Palestrante: Nicolas Figueiredo

Data e hora: seg, 07/05/2018 - 17:00

Medindo popularidade musical usando sinais de fontes diversas

Palestrante: Giuliano Mega e Daniel Cukier (Playax)

Data e hora: seg, 21/05/2018 - 17:00

Uma Breve Introdução a Redes Neurais e Redes Neurais Convolucionais com foco em Computação Musical

Palestrante: Marcos Leal

Data e hora: qui, 24/05/2018 - 16:00

Similaridade entre Áudio e MIDI para Consulta Cantarolada

Palestrante: Fábio Goródscy

Data e hora: seg, 04/06/2018 - 17:00

Balanceando Exploration e Exploitation como Estratégia para Aprimorar Recomendadores de Música

Palestrante: Rodrigo Borges

Data e hora: seg, 18/06/2018 - 17:00

Dissonância sensorial: modelos, contexto histórico e aplicações musicais

Palestrante: Guilherme Feulo e Micael Antunes

Data e hora: seg, 25/06/2018 - 17:00

3 CRONOGRAMA

3.1 Sobre as semanas

Nesta seção será relatado o que foi feito em específico em cada semana, o tempo gasto na pesquisa durante a semana. Essa seção se baseia nos relatos semanais que estão no site <https://www.linux.ime.usp.br/~msart/ic/> como especificado na proposta do projeto.

3.2 Semana 1

Nessa primeira semana estudei o material conforme especificado no planejamento. Iniciei com a primeira referência [1] com o intuito de estudar um pouco design de filtros e alguns algoritmos de otimização.

Dois algoritmos ocuparam meus estudos essa semana, algoritmo de Newton e Quasi-Newton. O segundo sendo apenas uma modificação do primeiro. Foquei em estudar os algoritmos, o como e porquê ele é usado nesse contexto.

Tempo: 2hrs(reunião do grupo de computação musical) + 5hrs(estudos) = 7hrs

3.3 Semana 2

Ainda continuando a leitura do livro "Digital Filters" me deparei com o uso de algoritmos minimax no design de filtros. Isso me chamou atenção pois estava estudando o algoritmo para a matéria de IA e achei interessante dado que são contextos bem diferentes. Em IA os algoritmos são usados geralmente em jogos. No design de filtro esses algoritmos são usados para minimizar o máximo de alguma norma (norma infinita). É um método bem simples em conceito e fácil de entender a intuição. Entendendo como utilizá-los no design, o passo é estudar os algoritmos em si.

Até agora os algoritmos são simples e possuem bastante referências de como utilizá-los no design. Me parece interessante selecioná-los afim de comparar a performance.

Tempo: 2hrs(reunião do grupo de computação musical) + 5hrs(estudos) = 7hrs

3.4 Semana 3

Mesmo com algumas coisas já selecionadas essa semana passei a estudar as outras referências para checar se o caminho pensado na semana passada é mesmo o que vamos seguir nesse trabalho ou até mesmo achar coisas que contribuam para ele. Logo comecei a ler a segunda referência [2] para ver se acho uma abordagem diferente.

Além disso paralelamente comecei a estudar conceitos sobre filtros (analógicos, digitais, ordem do filtro, etc.).

Tempo: 2hrs(reunião do grupo de computação musical) + 7hrs(estudos) = 9hrs

3.5 Semana 4

Essa semana eu finalizei a leitura do "Optimal Filtering" e parti para os artigos pré-selecionados. Após uma discussão da reunião achamos uma boa tática realmente seguir com a ideia de encontrar algoritmos usados nos mesmos tipos de filtro para facilitar a comparação entre eles.

Um algoritmo que me chamou atenção foi o algoritmo de substituição de Remez pelo fato de ser uma solução minimax e ser muito eficiente. O que seria interessante para comparação.

Além disso paralelamente continuei a estudar conceitos sobre filtros, nessa semana pesquisando sobre filtros FIR e IIR. O algoritmo se apoia no Teorema de alternância, o que foi meu foco essa semana.

Tempo: 2hrs(reunião do grupo de computação musical) + 6hrs(estudos) = 8hrs

3.6 Semana 5

Como gostaria de comparar algum outro algoritmo com o algoritmo de Newton, selecionei o algoritmo de colônia artificial de abelhas (ABC) pois pode ser usado no mesmo tipo de filtro que usamos o algoritmo de Newton. Além disso é um algoritmo bem diferente dos outros e algo com uma intuição nova para mim, logo me parece uma boa oportunidade para entender esse tipo de abordagem tanto de maneira teórica como na própria implementação.

Com isso juntamos 4 algoritmos onde podemos estabelecer uma comparação (Newton x ABC x quadrados mínimos x Remez). Agora o passo é aprofundar nos algoritmos, suas implementações e o design de filtro que planejo implementar usando esses algoritmos.

Tempo: 2hrs(reunião do grupo de computação musical) + 4hrs(estudos) = 6hrs

3.7 Semana 6

Como estabelecemos o que iria ser estudado foi proposto que eu preparasse apresentações sobre os algoritmos e os filtros para as reuniões semanais do grupo de computação musical. São apresentações técnicas curtas de cerca de 15 minutos e decidi fazer a primeira mais geral e as outras tratando cada algoritmo individualmente para no fim poder mostrar a comparação.

Além disso essa semana voltei a focar no algoritmo de Remez com mais calma, dado que era o algoritmo que estava tendo mais dificuldade e o de colônia artificial de abelhas por ser algo totalmente novo para mim. Para entender melhor o segundo eu decidi primeiro estudar no geral algoritmos de enxame.

A dificuldade com o algoritmo de Remez era entender a teoria que fornece a base para o método, em termos práticos já me sentia seguro para implementar os algoritmos.

Tempo: 0.5hrs(planejando apresentação para o grupo) + 2hrs(reunião do grupo de computação musical) + 6hrs(estudos) + 1hr(seminário do grupo de computação musical) = 9.5hrs

3.8 Semana 7

Como foi semana de break, tradicionalmente temos muito trabalho relacionado as matérias e acabei não sendo muito produtivo. Nessa semana montei a apresentação para a reunião e continuei estudando o algoritmo de colônia artificial de abelhas.

Outro ponto feito foi separar novos materiais sobre o banco de filtros "two-channel quadrature mirror" e desenhos de filtros passa-baixa para entender o como funciona o desenho dos mesmos. Acredito que usarei uma dessas opções para fazer a comparação dos algoritmos.

Tempo: 0.5hrs(planejando apresentação para o grupo) + 2hrs(reunião do grupo de computação musical) + 2hrs(estudos) = 4.5hrs

3.9 Semana 8

Estudei os novos materiais sobre as opções de filtros para implementar e pela complexidade das implementações acabei decidindo comparar usando os passa-baixas pois poderia focar mais na implementação dos algoritmos em si. Comecei a fazer algumas implementações dos algoritmos individualmente para testá-los em problemas genéricos.

Além disso trabalhei sobre o *feedback* recebido nas apresentações anteriores sobre como abordar as implementações afim de montar uma comparação válida entre os algoritmos.

Tempo: 0.5hrs(planejando apresentação para o grupo) + 2hrs(reunião do grupo de computação musical) + 3hrs(estudos) + 3hrs(implementações) + 1hr(seminário do grupo de computação musical) = 9.5hrs

3.10 Semana 9

Essa semana foquei em resolução de ep's e afins logo tive um desenvolvimento bem pequeno na pesquisa. Alguns algoritmos funcionando em outros contextos, comecei a implementar

o algoritmo de colônia artificial de abelhas. Percebi que o algoritmo necessita de uma boa quantidade de testes para descobrir valores ideais para seus parâmetros (número de abelhas, iterações, os limitantes das pesquisas que necessitam de um conhecimento do próprio problema, etc.).

Além disso pesquisei algumas implementações de algoritmos quasi-Newton para aplicar no filtro, olhando qual era a mais simples e adequada para o processo.

Tempo: 0.5hrs(planejando apresentação para o grupo) + 2hrs(reunião do grupo de computação musical) + 3hrs(implementações) = 5.5hrs

3.11 Semana 10

Essa semana e a próxima o foco foi e será daqui pra frente fazer as implementações já dos filtros para que tenha tempo de realizar mudanças necessárias e gerar os resultados para montar o poster.

Comecei com o filtro passa baixa usando um algoritmo quasi-Newton para em sequência implementar o mesmo usando o algoritmo de colônia artificial de abelhas. Com o quasi-Newton escolhi o método BFGS por possuir algumas características que facilitam seu uso (garantia que a hessiana aproximada seja positiva definida se a da iteração anterior também for) e os resultados foram obtidos sem nenhum problema (detalhes do algoritmo e implementação no pôster e resultados discutidos juntos no fim), porém o algoritmo ABC eu tive dificuldade em conseguir fazer funcionar, e continuará sendo pauta na próxima semana

Tempo: 2hrs(reunião do grupo de computação musical) + 6hrs(implementações) + 2hr(seminários do grupo de computação musical) = 10hrs

3.12 Semana 11

De volta a implementação do algoritmo ABC e conseguimos resolver o problema de implementação e calibração, apesar de ainda demorar muito para funcionar (o algoritmo permite bastante paralelização e talvez uma calibração melhor dos parâmetros fizesse que diminuísse o tempo).

Após isso comecei a fazer os outros dois algoritmos porém são mais clássicos no contexto de filtros, logo tinha várias implementações para me apoiar e resolver os problemas mais rápido. Consegui terminar a implementação usando do método dos quadrados mínimos e avancei bastante no algoritmo de Remez

Tempo: 2hrs(reunião do grupo de computação musical) + 6hrs(implementações) = 8hrs

3.13 Semana 12

Nessa semana fui na terça para Belo Horizonte participar do SysMus 2018, que é uma conferência internacional de musicologia sistemática onde fiquei a semana inteira. Apesar de ter tido pouco tempo para trabalhar no projeto em si, foram 3 dias de apresentações que foram extremamente proveitosas para mim.

Acabei aproveitando essa semana para finalizar a última implementação e gerar alguns testes que anteriormente foram discutidos na reunião do grupo sobre como deveria abordar. Gerei a resposta de fase dos filtros passa-baixas usando ordem 8 (pois dois filtros eram IIR, que são lentos para quando usamos uma ordem muito grande) com uma frequência de corte de 7500hz e uma banda de transição de 500hz, além de duas medidas de erro para um filtro ideal (Euclidiana e de Chebyshev) e o tempo médio de execução em 1000 tentativas. Apenas o algoritmo ABC que demora mais que não teve seu teste concluído por demorar mais pra executar.

Tempo: 3hrs(implementações e resultados) + 1hr(seminário do grupo de computação musical) = 4hrs

3.14 Semana 13

Semana reservada para fazer e revisão do mesmo.

Tempo: 6hrs(pôster)

3.15 Semana 14

Semana reservada pra escrita do relatório final (organização das notas feitas durante a pesquisa e complementação de algumas discussões).

Tempo: 10hrs (relatório) + 2hrs (seminários de computação musical) = 12hrs

3.16 Total de horas

Foram gastos um total de 106 horas de estudo para conclusão do trabalho. Porém não foi contabilizado o tempo na conferência que foi pertinente com a área de pesquisa.

4 RESULTADOS

Com o intuito de observar o comportamento gerado por cada implementação que usa um algoritmo diferente de otimização, observamos a resposta em magnitude 4 deles, o tempo de

execução e algumas medidas para medir o erro em relação ao filtro ideal.

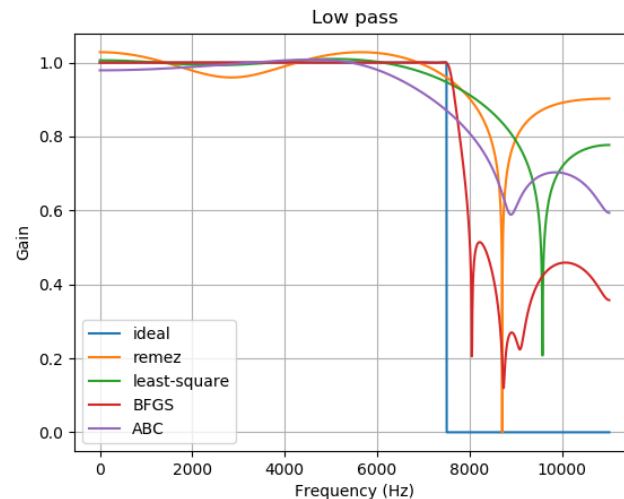


Figura 1: Resposta em magnitude dos filtros com ordem 8, frequência de corte 7500hz e faixa de transição de 500hz

Algoritmos	Dist. Euclidiana	Dist. Chebyshev
Quadrados mínimos	20.274	0.946
Remez	22.028	0.959
BFGS	12.403	0.998
ABC	18.113	0.869

Distâncias em relação a resposta em magnitude do filtro ideal

Algoritmos	Tempo médio	Desvio padrão 100 amostras
Quadrados mínimos	0.045	0.101
Remez	0.0007	5.755e-05
BFGS	0.063	0.044
ABC	8.295	1.889

É importante notar que os filtros que usam BFGS e ABC são IIR enquanto os outros dois são filtros FIR e que o filtro com o algoritmo de Remez minimiza a norma L_∞ (do erro entre resposta do filtro e a ideal) enquanto os outros minimizam a norma L_2 . Maiores detalhes sobre os algoritmos e como foram usados na implementação dos filtros podem ser encontrados no pôster no site da iniciação científica¹.

¹<https://www.linux.ime.usp.br/~msart/ic/>

Podemos observar uma melhor performance em termos de erro nos filtros IIR e uma melhor performance em termos de tempo nos filtros FIR. O que é o esperado quando estamos trabalhando com ordem pequena.

Um detalhe é que para o algoritmo ABC podemos melhorar o tempo com paralelização e o erro com uma melhor calibração dos parâmetros, mas isso será discutido nos trabalhos futuros.

5 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho era estudar algoritmos de otimização (conceito teórico, implementação) e como aplicá-los em problemas de processamento de sinais digitais. Durante este trabalho foi estudado 7 algoritmos diferentes (quadrados mínimos, algoritmo de Newton, quasi-Newton, algoritmo de Remez, otimização por enxame de partículas, algoritmo ABC e algoritmo de Charalambos), apesar de 4 terem sido selecionados.

Além disso, como trabalhamos com design de filtros, foi necessário estudar muito sobre filtros. Passamos pelas categorias de filtros, as vantagens e desvantagens de cada uma delas, conceitos básicos, design de um filtro e a implementação dos mesmos.

Conseguimos atingir o objetivo de ganhar intuição sobre o problema, analisando como, onde e o porquê de cada algoritmo ter sido usado para minimizar o erro das respostas do filtro. Outro ponto importante foi que conseguimos reproduzir os resultados apresentados nas referências usadas no projeto, tarefa que nem sempre é trivial, o que nos permitiu variar os parâmetros para obter observações e comparações diferentes.

6 TRABALHOS FUTUROS

Para um trabalho futuro o primeiro passo será gerar mais resultados. O primeiro teste necessário para complementar mais o trabalho será gerar as mesmas métricas de performance porém com variações na ordem dos filtros. O objetivo seria observar se os filtros possuem o comportamento esperado de apresentar a melhora de performance, no caso dos filtros FIR e a piora em termos de tempo no caso dos filtros IIR.

Outro ponto interessante seria trabalhar na implementação do algoritmo de colônia artificial de abelhas (ABC) para melhorar sua performance.

E por último seria trabalhar com outros algoritmos ou abordar outro problema de processamento de sinais digitais onde algoritmos de otimização são amplamente utilizados.

REFERÊNCIAS

- [1] Andreas Antoniou. *Digital filters*. McGraw Hill, 1993.
- [2] Brian DO Anderson and John B Moore. Optimal filtering. *Englewood Cliffs*, 21:22–95, 1979.
- [3] Dervis Karaboga. Artificial bee colony algorithm. *scholarpedia*, 5(3):6915, 2010.
- [4] Er. Karamjeet Singh and Gurpreet Kaur. Design of low pass fir filter using artificial bee colony optimization technique and its comparison with particle swarm optimization. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 4(9), 2014.
- [5] Palghat P. Vaidyanathan and T. Q. Nguyen. A simple proof of the alternation theorem. *Conference Record of the Forty-First Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, pages 1111–1115, 2007.