

Modelagem e simulação de instrumentos musicais utilizando filtros digitais

Gustavo de Melo Valeira e Marcio Eisencraft

Resumo—Este trabalho de iniciação científica apresenta os resultados da simulação por meio de filtros digitais de um instrumento musical de corda. A resposta em frequência do filtro é modelada a partir da Transformada de Fourier da resposta ao impulso do instrumento obtida batendo-se em uma das cordas. A comparação entre as saídas do filtro e do corpo do instrumento indica que este pode ser efetivamente modelado por filtros digitais.

Palavras-chave—Processamento de sinais musicais, modelagem de instrumentos musicais, filtros digitais.

Abstract—This short paper presents results of the simulation by digital filters of a musical string instrument. The frequency response of the filter is modeled using the Fourier Transform of the instrument's impulse response obtained beating in one of the strings. The comparison between filter and real instrument body outputs indicates that it can be effectively modeled by digital filters.

Keywords—Musical signal processing, musical instruments modeling, digital filters.

I. INTRODUÇÃO

A modelagem de instrumentos musicais utilizando filtros digitais tem gerado muitos artigos interessantes [1-3]. O objetivo deste trabalho é modelar digitalmente um baixo, criando uma entrada e um filtro que juntos gerem um sinal semelhante ao produzido pela corda Si deste instrumento. Os filtros digitais seletivos em frequência têm a mesma função que o corpo do baixo ao receber um som: deixar passar determinadas faixas de frequência e remover outras [4].

Sintetizadores simulam vários instrumentos musicais, como baixo, guitarra e violão. Para isso, usam filtros que criam uma determinada nota dependendo do instrumento selecionado pelo usuário [5]. Notas são os sons produzidos por instrumentos musicais e recebem nomes de acordo com sua frequência fundamental. As sete notas principais são: Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá e Si.

O uso de filtros digitais para a síntese de notas musicais tem uma série de vantagens práticas. Entre elas, destaca-se a facilidade em se mudar as características naturais de um instrumento, permitindo assim maiores variações do som gerado [5]. Além disso, podem-se simular diversos instrumentos musicais usando o mesmo equipamento, bastando para isso ajustar os coeficientes dos filtros para cada caso.

Na Seção II é examinada a obtenção da resposta em frequência do instrumento em questão, o baixo. Na Seção III é discutido o projeto do filtro que simula o corpo do instrumento. Na Seção IV são descritas simulações que permitem comparar o

desempenho do filtro frente ao instrumento musical. Por fim, na Seção V, são traçadas conclusões acerca dos resultados deste trabalho.

II. RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO INSTRUMENTO

Uma estimativa da resposta impulsiva do corpo do baixo ao se acionar a corda Si foi obtida batendo-se rapidamente na corda Si de um baixo Washburn® XB-125, de forma a simular um impulso. Para capturar este som foi usado um amplificador WarmMusic® 108rb e um microfone SoundMax® Superbeam® ligado a entrada de microfone de uma placa de som Realtek® AC'97 com frequência de amostragem de 44.1 kHz. O sinal normalizado obtido, $h_{si}(t)$, é mostrado na Figura 1.

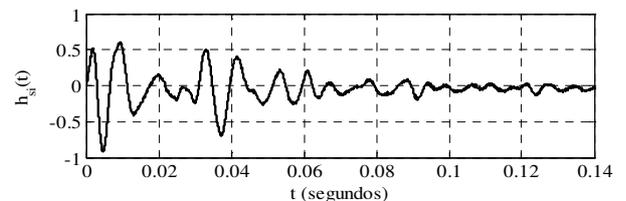


Fig. 1. Resposta ao impulso da corda Si do baixo.

Com a resposta impulsiva $h_{si}(t)$ é possível obter a resposta em frequência deste sistema, para que posteriormente projete-se um filtro digital que corresponda de forma satisfatória a essa resposta. Para isso foi usada a Transformada Rápida de Fourier [4] e obteve-se a resposta em frequência $H_{si}(f)$, cujo módulo é mostrado na Figura 2.

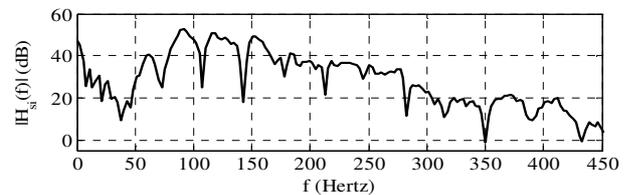


Fig. 2. Módulo da resposta em frequência da corda Si.

III. PROJETO DO FILTRO

O espectro em frequência da Figura 2 é usado como base para projetar um filtro digital correspondente ao corpo do baixo ao ser acionada a corda Si. Foram usados filtros de 2ª ordem em cascata para simular o corpo do instrumento, como feito em [5].

Pela Figura 2 verifica-se que este espectro possui muitos vales anti-ressonantes e picos ressonantes. Dessa forma, é neces-

sário projetar um filtro que selecione as faixas de frequência mais relevantes das notas que a corda Si produz. Foram usados sete filtros em cascata usando o método de projeto descrito em [5], em que foi modelado um violão.

O módulo da resposta em frequência $H_{Fsi}(f)$ do filtro projetado é mostrado na Figura 3. Esta resposta é semelhante à da Figura 2 nas faixas de frequência mais relevantes, ou seja, que contribuem mais para a resposta acústica do instrumento.

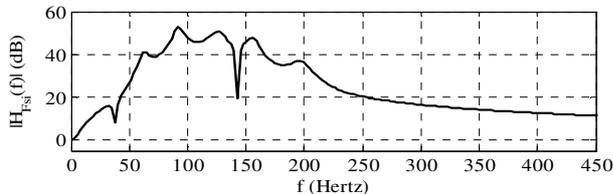


Fig. 3. Espectro em frequência do filtro projetado.

IV. SIMULAÇÕES

Como o corpo do baixo está sendo modelado pelo filtro, espera-se que com uma entrada adequada, a saída do filtro seja um sinal semelhante ao som original do baixo.

A corda ao ser tocada produz uma frequência fundamental e outras harmônicas, que são frequências múltiplas da fundamental. A excitação gerada pela vibração da corda no corpo do instrumento é simulada aqui por um sinal dente de serra com frequência igual à fundamental da nota. A amplitude da n -ésima harmônica no espectro deste sinal é proporcional a $1/n$ [4]. O sinal dente de serra foi escolhido porque mostrou ser uma boa solução experimentalmente.

O resultado da filtragem $y_{Filtro}(t)$ de um dente de serra de 30.87 Hz, que é a frequência fundamental da nota Si mais grave do baixo, é apresentado na Figura 4(b). Na Figura 4(a) é mostrada a forma temporal do sinal $y_{Si}(t)$ relativo à nota Si produzida pelo baixo.

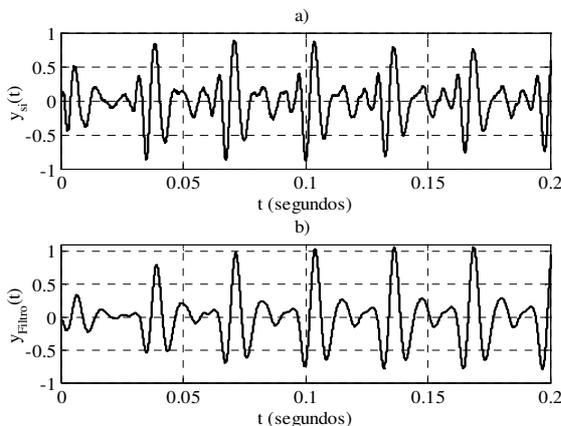


Fig. 4. a) Nota Si produzida pelo baixo; b) sinal gerado pelo filtro.

Na Figura 5 é apresentado o espectro em frequência dos dois sinais. As duas maiores amplitudes de ambos os espectros normalizados estão em torno da mesma frequência. O corpo do

baixo atenuou muito a frequência fundamental da nota Si, o que também aconteceu na filtragem do sinal dente de serra. A 2ª e 5ª harmônicas têm amplitudes semelhantes em ambos os espectros $Y_{Si}(f)$ e $Y_{Filtro}(f)$, porém a 6ª harmônica apresenta uma diferença maior. A partir da 7ª harmônica as amplitudes são praticamente desprezíveis nos dois espectros.

Ouvindo os dois sinais, nota-se que eles são parecidos, porém existe uma diferença entre eles. Esta é causada pelo decaimento natural, ou seja, o sinal gerado pelo baixo diminui de intensidade com o tempo, enquanto que no sinal filtrado isso não ocorre.

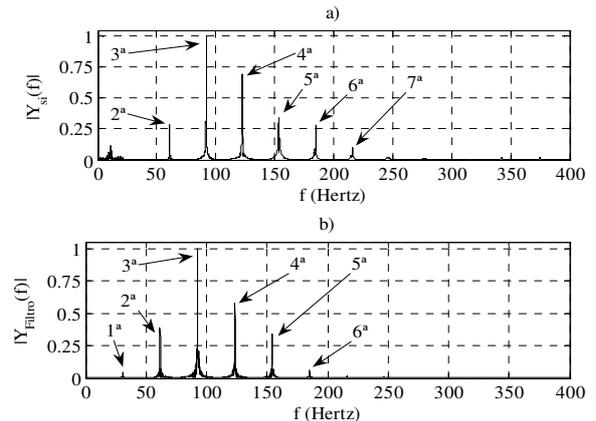


Fig. 5. Espectro em frequência normalizado: a) nota Si do baixo $y_{Si}(t)$; b) dente de serra filtrado $y_{Filtro}(t)$. São indicadas as posições das harmônicas em cada espectro.

V. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nas Figuras 4 e 5 mostram que um filtro digital pode modelar adequadamente o corpo de um baixo. Acusticamente os sinais obtidos na saída da cascata de filtros alimentados pelo dente de serra e o som real gerado pelo instrumento são parecidos. O dente de serra mostrou ser uma boa solução para a excitação do filtro.

O decaimento natural no domínio do tempo que ocorre ao tocar uma corda não foi levado em conta, pois precisa de uma análise mais detalhada de como modelar esse efeito nas cordas do instrumento. Este problema está em estudo atualmente.

REFERÊNCIAS

- [1] K. Bradley, M. Cheng and V. L. Stonick, "Automated analysis and computationally efficient synthesis of acoustic guitar strings and body", *IEEE ASSP Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, p. 238-241, Outubro 1995.
- [2] M. Karjalainen, V. Välimäki and Z. Jánosy, "Toward high-quality sound synthesis of the guitar and string instruments", *Proceedings of the ICUC*, p. 56-63, Setembro 1993.
- [3] C. Traube and J. O. Smith III, "Extracting the fingering and the plucking points on a guitar string from a recording", *IEEE Workshop on the Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, p. 7-10, 2001.
- [4] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer and J. R. Buck, *Discrete-time signal processing*. Prentice Hall, 1999.
- [5] V. Stonick and K. Bradley, *Labs for signals and systems using Matlab*. PWS BookWare Companion Series, 1996.