

INTERAÇÃO MUSICAL VIA PURE DATA (Pd) COM SONORIDADE DA CLARINETA OBTIDA POR MODELAGEM FÍSICA E SÍNTESE ADITIVA

Luís Carlos Oliveira

FEEC e NICS - Universidade de Campinas (UNICAMP)
lucaoliv@fee.unicamp.br

Ricardo Goldemberg

IA e NICS - Universidade de Campinas (UNICAMP)
rgoldem@iar.unicamp.br

Rafael Santos Mendes

FEEC e NICS - Universidade de Campinas (UNICAMP)
rafael@fee.unicamp.br

Jonatas Manzolli

IA e NICS - Universidade de Campinas (UNICAMP)
jonatas@nics.unicamp.br

Resumo: Este trabalho estuda a interação musical entre um instrumentista e o computador. Esta interação procede-se em três estágios: captação do sinal sonoro; análise e processamento para recuperar informação de interesse musical. A resposta do computador tem sonoridade de clarineta sintetizada com modelos obtidos de estudos anteriores.

Palavras-chave: Sistemas musicais interativos; Recuperação de informação musical; síntese de instrumentos musicais.

Abstract: This paper studies the musical interaction between performer and computer. This interaction is made in three events: sensing, processing and response of musical information from the performer to the machine and vice-versa. The sonority of the computer is obtained by synthesis models studied earlier.

Keywords: Interactive musical systems; Musical Information Retrieval; Synthesis of musical instruments.

INTRODUÇÃO

A aplicação dos computadores na atividade musical vem proporcionando uma expansão do pensamento e do fazer musical principalmente em duas direções. Na primeira estabelece a composição de novos timbres. O desempenho computacional dos atuais “laptops” possibilitam ao compositor ou projetista sonoro maior controle sobre a evolução e combinação de eventos sônicos além da facilidade de transporte (utilização em apresentação ao vivo). Na segunda direção os processadores atuais permitem utilizar algoritmos complexos para gerar material musical (ROWE, 1993).

Para estabelecer a interação entre usuário e computador será utilizado um instrumento acústico melódico (voz ou sopro ou corda, etc), nesta fase inicial, pois introduzem um evento de cada vez. Sua sonoridade será captada por um microfone e este sinal (uma pequena frase ou trecho musical) será enviado ao computador. O Pd possui um objeto que transforma o sinal analógico em digital para posterior processamento. A Figura 1 ilustra a cadeia de

processamento de sistemas interativos por computador para música onde está composta por três estágios: captação (*sensing*), processamento (*processing*) e resposta (*response*) (ROWE, 1993; TRALDI, 2009; MONTEIRO, 2012).

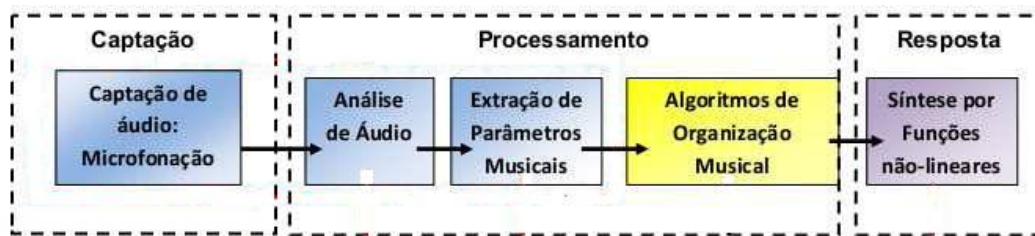


Fig.1: Diagrama para ilustração dos três estágios envolvidos no desenvolvimento da interação instrumentista e computador: captação, processamento e resposta.

Para capacitar o computador com uma “percepção auditiva” ferramentas de Recuperação de Informação Musical (da sigla em inglês, MIR) capaz de informar o início e fim da atividade sonora de entrada assim como as notas emitidas no tempo (que terão utilidade neste trabalho), entre outras características, serão descritas em seção adiante.

Inicialmente neste estudo o sinal processado seguirá determinadas regras pré-estabelecidas que possibilitará ao computador enviar uma resposta ao sinal de entrada, podendo utilizar novas sonoridades timbrísticas obtidas dos modelos.

O desenvolvimento de nova sonoridade timbrística a partir dos modelos de síntese propostos será obtido fazendo-se variar os valores dos parâmetros e variáveis contidos nos modelos. Por isso a relação torna-se não-linear.

Seguindo o fluxo indicado na Figura 1, a próxima seção lida com os processos de captação sonora.

A seção seguinte apresenta as técnicas de análise e de extração de parâmetros de interesse musical que farão parte do processamento. Serão apresentadas algumas técnicas de Recuperação de Informação Musical (MIR) contida num sinal de entrada para proporcionar ao computador uma ‘percepção auditiva’ que dará subsídio ao processamento computacional que fornecerá a resposta de saída ao sinal da entrada.

Será mencionado também o algoritmo que possibilitará a organização musical do computador para produzir uma resposta estético-musical que está em fase inicial de implementação.

Finalmente, serão apresentadas as possibilidades de alterações timbrísticas dos modelos da clarineta por síntese aditiva, obtido a partir de resultados experimentais, e por modelagem física, obtido a partir das Leis de Conservação.

Em ambos os casos têm-se por proposta manipular parâmetros e variáveis de modo a explorar resultados timbrísticos que possibilitem tanto se ‘aproximar’ como se ‘afastar’ da sonoridade da clarineta.

O texto encerra com uma discussão sobre os resultados atingidos e indicam propostas de continuidade deste trabalho.

CAPTAÇÃO SONORA

Atualmente existem diferentes dispositivos para a captação do sinal de entrada. Este pode ser gestual, sonoro ou visual.

A tecnologia digital e protocolo MIDI (*Digital Interface Musical Instrument*) possibilita a comunicação de vários sensores com o computador.

Este estudo inicia esta interação máquina-usuário, portanto, um simples microfone é suficiente para captar o sinal de entrada de um evento sonoro melódico em tempo real. Visto que o Pd já possui objetos para converter o sinal analógico em digital e outro para fazer o percurso inverso.

PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS

Uma vez detectado o sinal sonoro de entrada e convertido em sinal digital (seqüência de números) tem-se disponível toda a teoria de processamento digital de sinais para ser empregada da forma mais conveniente.

Deste modo, diferentes aplicações de filtros digitais possibilitarão análise e síntese dos sinais digitais. A preocupação assenta-se em utilizar técnicas digitais de detecção de alturas musicais, padrões rítmicos, etc de modo a possibilitar a interação em **tempo real**.

ANÁLISE DE SINAIS DE ÁUDIO

Para obter os dados que serão apresentados a seguir deve-se ter em mente que o sinal musical é inicialmente digitalizado sendo composto por amostras no domínio do tempo. Cada amostra, $x(n)$, corresponde à amplitude do sinal no instante n . Costuma-se dividir o sinal musical em pequenos trechos de amostras denominados janelas. Na literatura encontram-se janelas de algumas dezenas até centenas de milissegundos. Por exemplo, para uma taxa de amostragem de 48000 amostras por segundo e uma janela com 1024 amostras, esta terá a duração de 21,3 ms.

Deve-se observar que os parâmetros designados para a análise de sinais musicais ainda são objetos de pesquisa e isoladamente **não** possuem capacidade discriminativa, porém, **em conjunto** são capazes de descrever as qualidades acústicas de um sinal musical (PEREIRA, 2006).

Por isso, os parâmetros da análise temporal podem ser obtidos tanto para o sinal todo como janela a janela onde possibilitará indicar a diferença dos parâmetros em função do tempo.

Para as estimativas tempo-freqüenciais (espectral e cepstral), geralmente, o problema é resolvido primeiro estimando uma função de autocorrelação associada aos dados e em seguida por uma transformada de Fourier (FFT) para obter a descrição espectral desejada do sinal. Existem diferentes algoritmos de estimativa espectral que se diferenciam quanto à complexidade computacional, resolução freqüencial, precisão e outros aspectos estatísticos (DINIZ et al, 2010).

RECUPERAÇÃO DA INFORMAÇÃO MUSICAL

A informação de interesse musical de um determinado som corresponde a uma das facetas no contexto da Recuperação de Informação Musical (DOWNIE, 2003). Trata-se de estudos recentes de diferentes pesquisadores que utilizam sofisticadas tecnologias de processamento de sinais.

Mesmo assim, Bodden (BODDEN, 1997) observa que a análise de sinais usuais é abstrata e ainda está aquém da percepção auditiva humana. Porém, existe uma tentativa de procurar índices acústicos e psicoacústicos para avaliar a sonoridade próxima à capacidade humana.

Neste trabalho utilizam-se ferramentas quantitativas para recuperar parte da informação musical e assim caracterizar aspectos da sonoridade de interesse musical.

Denominam-se descritores de áudio. Estão listados separadamente quanto à análise temporal e espectral.

Na análise temporal a estatística é um caminho para obter um conjunto de características quantitativas com o qual possíveis descritores da sonoridade podem ser observados (Charles10). São utilizados momentos de primeira à quarta ordem, na seqüência: média, variância, simetria (*skew*) e curtose.

Na análise espectral determinam-se outros parâmetros que se somarão aos da análise temporal de modo a formar melhor critério na observação da sonoridade.

Tem-se a transformada **Q** constante que corresponde a uma análise tempo-freqüencial onde a freqüência é logarítmica. É adequada para analisar o conteúdo harmônico de uma nota devido à sua resolução freqüencial. Ela difere da Transformada Discreta de Fourier (TDF) que faz uma divisão linear no domínio freqüencial. Pelo fato da transformada **Q** constante utilizar escala logarítmica na freqüência, ela se ajusta melhor à escala temperada que divide uma oitava em 12 partes iguais (CHARLES, 2010).

Outro descritor freqüencial é o fluxo espectral. É a relação entre a amplitude espectral entre janelas adjacentes onde a amplitude espectral corresponde à magnitude da Transformada Discreta de Fourier (TDF), $|X(n)|$. É utilizada como parâmetro na 'recuperação de informação musical'. É aplicado ao sinal com a idéia de detectar o surgimento de freqüências indesejáveis (*crunch*) no sinal.

ALGORITMO DE ORGANIZAÇÃO MUSICAL

O termo 'Sistema Interativo' em música ainda é motivo de especulação teórica. Há autores que preferem o termo 'reativo' ao invés de interativo (GIMENES, 2011).

Neste estado incipiente da pesquisa o termo reativo é realmente mais adequado. Os modelos computacionais atualmente empregados para possibilitar ao computador uma resposta estético-musical ainda estão aquém dos estabelecidos na interação entre dois músicos experientes.

Assim, este trabalho estabelecerá um conjunto de regras sobre as quais o algoritmo de resposta do computador tomará decisões. Por exemplo, se o sinal de entrada tem uma dinâmica *pp* com poucas notas pode-se estabelecer que a resposta também terá a mesma dinâmica e poucas notas. No entanto, do ponto de vista estético-musical nem sempre esta é uma resposta satisfatória. Uma discussão mais aprofundada sobre esta terminologia é encontrada em MONTEIRO, 2012.

RESPOSTA VIA COMPUTADOR

Da mesma forma que estão disponíveis diferentes sensores para a captação de sinais a resposta pode ser efetuada por diferentes mecanismos. Por exemplo, disparo de efeitos sonoros pré-gravados, atuação de algoritmos de síntese, sinais luminosos, visuais, etc.

Neste estudo optou-se pela utilização de modelos de sínteses construídos a partir de trabalhos anteriores, pois proporcionam o controle de diferentes parâmetros e variáveis. Espera-se que o resultado sonoro seja mais amplo do ponto de vista estético-musical.

Assim, caminhando em diferentes pontos do espaço paramétrico além do espaço de variáveis dois modelos de clarineta serão utilizados para produzir o timbre de saída e serão descritos nas subseções seguintes.

CLARINETA POR SÍNTESE ADITIVA

Na construção do modelo da clarineta por síntese aditiva foi utilizada uma expressão linear tanto para a frequência como para a amplitude da fundamental e parciais de algumas notas em diferentes regiões do instrumento (OLIVEIRA et al, 2008; OLIVEIRA et al, 2006).

De modo genérico pode-se estabelecer que a sonoridade da clarineta por síntese aditiva, S_{ad} , foi obtida através da expressão,

$$S_{ad} = f(a_i, b_i, x_k)$$

onde a_i e b_i ($i = 0, \dots, 5$) correspondem aos parâmetros de frequência e amplitude, respectivamente, obtidos experimentalmente para a fundamental e parciais de cada nota e x_k ($k = 1, \dots, 5$) são as variáveis manipuladas pelo instrumentista, como posição na palheta, dureza da palheta, abertura da boquilha, etc.

A Figura 2 mostra o valor destes parâmetros para a nota D_2 de 146 Hz. Os parâmetros a_i são os seis primeiros à esquerda em cada 'objeto' *partial* e os b_i são os seis seguintes. Na caixa no alto da Figura 2 à esquerda estão as variáveis manipuladas pelo instrumentista (OLIVEIRA et al, 2008; OLIVEIRA et al, 2006).

Obtém-se variações timbrísticas fazendo-se os parâmetros a_i e b_i ($i = 0, \dots, 5$) não mais constantes e sim variáveis.

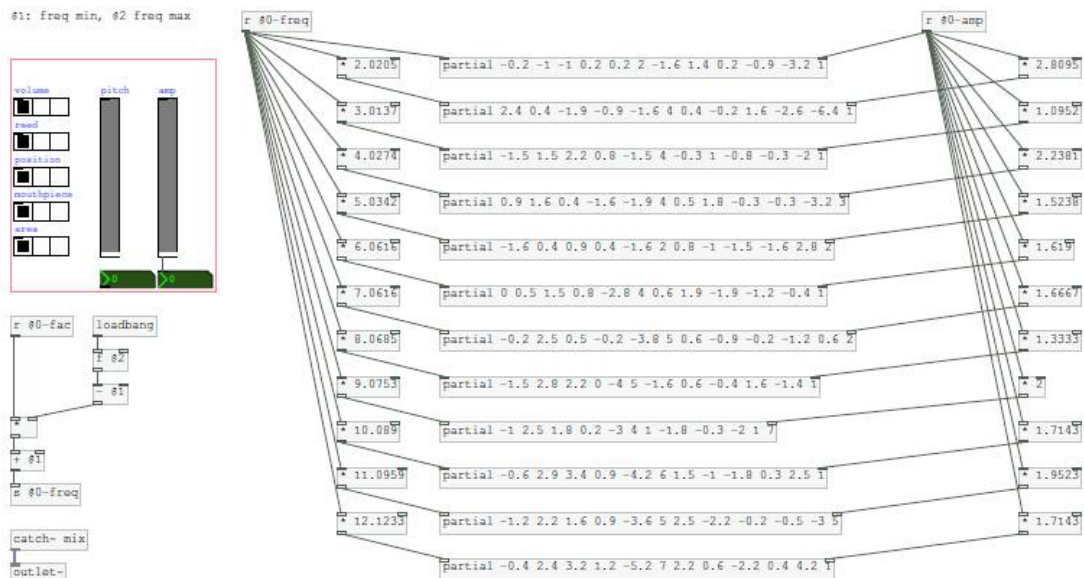


Fig. 2: Modelo da clarineta para síntese aditiva com os parâmetros a_i (os seis primeiros à esquerda de cada 'objeto' *partial*) e b_i (os seis seguintes) constantes para a nota D_2 de 146 Hz.

CLARINETA POR MODELAGEM FÍSICA

A modelagem física da clarineta foi obtida utilizando a técnica do guia de ondas digitais (DWG, da sigla em inglês) desenvolvida por Smith (SMITH, 1992; SMITH, 1987). Sua configuração utiliza filtros digitais os quais têm representação por objetos em Pd.

A inclusão de escoamento e perfis de velocidade foram resultados de trabalho recente (OLIVEIRA, 2011) e possibilitam características timbrísticas mais realistas de instrumentos de sopro.

De modo análogo a sonoridade da clarineta obtida por modelagem física, S_{mf} , pode ser representada genericamente pela expressão,

$$S_{mf} = g(c_i, x_k)$$

onde neste caso g representa um **conjunto** de equações contendo os parâmetros c_i , $i = 1, \dots, M$, e variáveis x_k , $k = 1, \dots, N$.

Grosso modo, os parâmetros incluem geometria do instrumento, propriedades físicas do ar, velocidade de propagação sonora, espessura da camada limite, perfil de velocidade, etc. Isto é, na modelagem física os parâmetros têm relação com características e propriedades físicas. As variáveis incluem as mesmas do caso por síntese aditiva, isto é, posição na palheta, dureza da palheta, área de contato, etc e ainda pressão na cavidade bucal que está relacionada com a velocidade média de escoamento no interior do tubo.

DISCUSSÃO E CONTINUIDADE

Na interação instrumentista e computador, para execução em tempo real e com expressividade musical, as qualidades encontradas no músico quanto à habilidade de ouvir, executar, improvisar, etc devem ser incorporadas à máquina. A procura por uma sistemática de estabelecer os fundamentos musicais e uma comunicação artística é promissora (ROWE, 1993).

No entanto dificuldades existem. Os métodos de análises por FFT não são precisos e na realidade a identificação da nota (*pitch*) é feita indiretamente, isto é determina-se o período para depois determinar a frequência.

Portanto, a procura por ferramentas mais adequadas para possibilitar a percepção da máquina é motivo de contínua pesquisa.

O algoritmo para a organização musical do computador também é motivo de estudo constante tendo por perspectiva aproximar da capacidade humana de observar e expressar-se musicalmente.

REFERÊNCIAS:

ROWE, R. **Interactive Music Systems**. Cambridge: MIT Press, 1993.

TRALDI, C.A. **Percussão e Interatividade PRISMA: Um Modelo de Espaço Instrumento Auto-Organizado**. Tese de doutorado. Campinas: UNICAMP/SP, 2009.

MONTEIRO, A.C. **Criação e Performance Musical no Contexto de Instrumentos Musicais Digitais**. Dissertação de mestrado. Campinas: UNICAMP/SP, 2012.

PEREIRA, E.M. **Estudos sobre uma Ferramenta de Classificação Musical**. Dissertação de mestrado. Campinas: UNICAMP/SP, 2006.

- DINIZ, P.S.R.; da SILVA, E.A.B.; NETTO, S.L. **Digital Signal Processing - System Analysis and Design**. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2010.
- DOWNIE, J.S. "Music Information Retrieval". In: **Annual Review of Information Science and Technology 37**. Medford, NJ: ed. Blaise Cronin, 2003.
- BODDEN, M. "Instrumentation for Sound Quality Evaluation", **Acustica/acta acústica**, 83, p.775 - 783, 1997.
- CHARLES, J.A. **Playing Technique and Violin Timbre: Detecting Bad Playing**. PhD Thesis. Dublin: Dublin Institut of Technologie, 2010.
- GIMENES, M. "Tecnologia, Artes Musicais e a Mente". In: **Anais do VII Simpósio de Cognição e Artes Musicais - SIMCAM**, Curitiba – PR, 2011.
- OLIVEIRA, L.C.; GOLDEMBERG, R.; MANZOLLI, J. "Estudo da Sonoridade da Clarineta através de Modelo Experimental". In: **Anais da XII Convenção Nacional da AES**, São Paulo: AES – Brasil, 2008.
- OLIVEIRA, L.C.; GOLDEMBERG, R.; MANZOLLI, J. "Modelo Empírico da Sonoridade da Clarineta Aplicado como Ferramenta Composicional". In: **Anais do XVI Congresso da ANPPOM**, Brasília: ANPPOM, 2006.
- SMITH III, J. O. "Physical Modeling using Waveguides". In: **Computer Music Journal**, 16(4), p.74 – 91, 1992.
- SMITH III, J. O. **Music Application of Digital Waveguides**. Tech. Report no. STAM-M-39. California: CCRMA, 1987.
- OLIVEIRA, L.C. **Síntese por Modelagem Física da Clarineta: Modelo por Guia de Ondas com Escoamento**. Tese de doutorado. Campinas: UNICAMP/SP, 2011.