

Introdução à Computação Musical

E. M. Miletto, L. L. Costalonga, L. V. Flores, E. F. Fritsch, M. S. Pimenta e R. M. Vicari

Instituto de Informática - Laboratório de Computação & Música

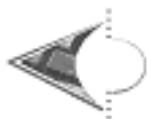
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Av. Bento Gonçalves, 9500 Bloco IV - Campus do Vale - Bairro Agronomia - CEP 91501-970

Porto Alegre - RS - Brasil

{miletto, llcostalonga, lvflores, fritsch, mpimenta, rosa}@inf.ufrgs.br

RESUMO



E. M. Miletto, L. L. Costalonga, L. V. Flores, E. F. Fritsch, M. S. Pimenta e R. M. Vicari. 2004. Minicurso: Introdução à Computação Musical. In: CBComp - Congresso Brasileiro de Computação, 4., Itajaí, 2004. "Anais...", pp. 883-902. Itajaí, SC - Brasil, ISSN 1677-2822.

A idéia deste minicurso é propiciar aos alunos conhecer alguns conceitos introdutórios de Computação Musical, uma área eminentemente interdisciplinar e que engloba problemas computacionais interessantes e relevantes (por exemplo, de representação de conhecimento musical, de controle a tempo-real de dispositivos, de interação com usuários possivelmente leigos em informática, para enumerar apenas alguns) subjacentes ao universo musical, que já é fascinante por si só. É uma área emergente no Brasil, mas já possui um reconhecimento da comunidade acadêmica de informática, uma vez que a SBC possui uma Comissão Especial de Computação Musical, que organiza um evento periódico (Simpósio Brasileiro de Computação Musical – SBCM). Ano passado, o IX SBCM aconteceu em Campinas em conjunto com o Congresso da SBC (ver <http://www.nics.unicamp.br/nucom/portugues>). As características interdisciplinares do tema têm sido, nos últimos anos, objeto de trabalho cotidiano do Grupo de Computação Musical da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), que conta com a participação e interação efetivas de professores, alunos e pesquisadores tanto do Instituto de Informática quanto do Instituto de Artes da UFRGS (ver <http://www.musicaeletronica.ufrgs.br>). A equipe que está propondo este minicurso é formada por membros do Laboratório de Computação & Música (LC&M) do Instituto de Informática e do Centro de Música Eletrônica (CME) do Instituto de Artes, ambos da UFRGS. Alguns de seus membros têm atuado na área de Computação Musical há mais de 10 (dez) anos e certamente estão entre os pioneiros a fazer pesquisa sobre este tema no Brasil. Neste minicurso são apresentados fundamentos teórico-práticos do uso de sistemas e tecnologias computacionais para composição, síntese, performance de sons e música, assim como para educação musical com auxílio do computador. As principais tecnologias envolvidas serão apresentadas e discutidas através de exemplos práticos. Se possível, equipamentos estarão disponíveis para demonstrações, experimentos e exercícios.

PALAVRAS DE INDEXAÇÃO ADICIONAIS: *Tecnologia aplicada à música, música eletrônica, áudio digital, MIDI, síntese sonora, instrumentos virtuais, software musical.*

INTRODUÇÃO: COMPUTAÇÃO MUSICAL

Computação Musical é uma área da Ciência da Computação (tendo, obviamente, relações interdisciplinares com a Música) dedicada ao estudo das aplicações dos computadores a problemas musicais. Como referência, tomemos sua irmã de nome, a Computação Gráfica, mais conhecida do público geral, que investiga métodos, técnicas e algoritmos para processamento, geração, representação digital e armazenamento de imagens. Da mesma forma, a Computação Musical investiga métodos, técnicas e algoritmos para processamento e geração de som e música, representações digitais e armazenamento de informação sônica e musical. Mas talvez a maior diferença entre essas duas disciplinas seja o fato de que boa parte da Computação Musical lida com a forma de *arte* ligada ao som - a música. Na Computação Gráfica não há tantos estudos relativos às artes plásticas, pelo menos não com a intensidade com que a música é investigada na Computação Musical (doravante abreviada CM).

O fato da CM lidar muito com a arte torna essa disciplina um campo fértil para investigações com variadas técnicas da

computação, por exemplo, técnicas de Inteligência Artificial (ver MIRANDA, 2000). Isso, então, torna a CM uma área bastante excitante do ponto de vista da investigação científica.

Para se ter uma idéia da imensa variedade de problemas com os quais a CM se ocupa, basta darmos uma olhada num trecho da chamada de trabalhos para o último Simpósio Brasileiro de Computação Musical:

“Tópicos de interesse incluem, mas não se restringem a:

- Modelagem Acústica e Difusão
- Composição Algorítmica
- Vida Artificial e Música Evolutiva
- Inteligência Artificial
- Hardware para Áudio
- Processamento de Sinais para Áudio
- Musicologia Auxiliada por Computador
- Bibliotecas Digitais de Áudio
- Musica e Áudio na Internet
- Integração de Multimeios
- Representação e Estruturas de Dados Musicais

- Bancos de Dados Musicais
- Notação, Impressão e Reconhecimento Óptico
- Novas Interfaces para Expressão Musical
- Psicoacústica e Modelagem Cognitiva
- Sistemas Generativos em Tempo Real
- Compressão de Áudio
- Síntese Sonora
- Sistemas para Análise Musical
- Sistemas para Educação Musical” (SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 2004b). Não cabe, neste momento, uma discussão mais aprofundada de cada um desses tópicos. Por ora, apenas nos valemos dessa citação para estimular a curiosidade do leitor.

Entretanto, tendo citado o Simpósio Brasileiro de Computação Musical - SBCM, vale ressaltar que até o presente momento já foram realizados no Brasil nove desses simpósios reunindo músicos, especialistas em computação, compositores e pesquisadores em CM (ver KON, 2004). Organizado pelo Núcleo Brasileiro de Computação Musical - NUCOM (PALOMBINI, 2000), o SBCM é o principal encontro desta comunidade em nível nacional, contando com trabalhos inscritos e visitantes da comunidade internacional, tendo o apoio da Sociedade Brasileira de Computação e tendo se constituído num marco na história da música no Brasil, propiciando grande avanço no intercâmbio das pesquisas sobre tecnologia musical (maiores informações sobre o NUCOM através da Comissão Especial de Computação Musical da SBC - ver SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 2004a). A efervescência deste simpósio é intensa, a qualidade dos trabalhos e obras apresentadas é muito boa e por estas razões este simpósio tem atraído pesquisadores e interessados de várias partes do mundo. No entanto, movimentos desse tipo ficam restritos a pessoas altamente especializadas que fazem parte do círculo acadêmico das universidades, nos âmbitos nacional e internacional. O objetivo deste minicurso é também o de divulgar a área da CM de modo que a comunidade geral possa tomar um primeiro contato com as diferentes formas pelas quais a tecnologia e a música podem ser associadas.

Neste minicurso daremos uma idéia bastante geral da disciplina de Computação Musical, ressaltando seus conceitos básicos, numa linguagem acessível. Nossa intenção é justamente introduzir a área àqueles que não a conhecem, mais do que entrar fundo em detalhes. A partir das bases que forem ensinadas aqui, os mais interessados poderão se aprofundar e terão indicações de como fazê-lo. Para informações gerais sobre a CM, desde já podemos sugerir que sempre consultem as fontes principais da área:

- SBCM
- NUCOM
- International Computer Music Conference - ICMC
(INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC ASSOCIATION, 2004b)
- International Computer Music Association - ICMA
(INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC ASSOCIATION, 2004a)
- Computer Music Journal (MIT PRESS, 2004a)
- Leonardo Music Journal (MIT PRESS, 2003)

Para dar início ao nosso panorama geral da CM revisaremos, na próxima seção, o *histórico da tecnologia musical*. Em seguida apresentaremos alguns *conceitos básicos sobre som*, veremos como o som pode ser representado no computador (*áudio digital*) e como a música (que não é só som...) pode também ser codificada digitalmente (seguindo-se o padrão *MIDI*). Após, explicaremos a *síntese sonora*, muito estudada na CM, da qual mostraremos as técnicas básicas com as quais podemos gerar sons e timbres totalmente novos, impossíveis de se encontrar na natureza e, por isso mesmo, de grande valor como material para satisfazer a criatividade dos músicos. Depois da síntese, veremos outra coisa muito útil para os músicos: os tipos de *software musical* que

existem à sua disposição e suas respectivas aplicações na música. Para finalizar, resumiremos algumas das principais *linguagens de programação* usadas na CM para construir programas musicais e apontaremos algumas das *tendências* e rumos que a área está tomando atualmente.

HISTÓRICO DA TECNOLOGIA MUSICAL

A intenção em relatar os marcos do avanço tecnológico é de ressaltar a importância que os novos instrumentos eletrônicos adquiriram ao longo dos anos, principalmente a partir da década de 70, e as alterações que eles causaram na maneira de fazer música. O avanço da ciência na área da música é marcante a tal ponto de utilizar inteligência artificial, redes neurais e realidade virtual na construção de sistemas inovadores e que permitem uma grande flexibilidade ao usuário.

Nossa viagem inicia com a invenção do telefone por Alexander Graham Bell (1876), considerado como o marco inicial do desenvolvimento da música eletrônica. Esta invenção estabeleceu que o som podia ser convertido em sinal elétrico e vice-versa. Por sua vez, a invenção do gramofone, que rapidamente se seguiu, estabeleceu as possibilidades de armazenamento e alteração do som.

Por volta de 1906 Thaddeus Cahill mostrou seu dínamofone - “Telharmonium”, o primeiro instrumento que produzia som por meios elétricos. A geração do som era feita a partir de dínamos e a transmissão por meio de cabos telefônicos.

Por volta de 1915, um outro passo importante veio a ser dado com a invenção do oscilador a válvula, por Lee De Forest. O oscilador, que representa a base para a geração do som eletrônico, tornava possível a geração de frequência a partir de sinais elétricos e, conseqüentemente, a construção de instrumentos eletrônicos mais fáceis de manejar. O primeiro desses foi desenvolvido pelo russo Lev Termen (Leon Theremin), em 1919/1920 e foi posteriormente melhorado por volta da década de trinta. Este instrumento, o “Theremin”, usava dois osciladores controlados pelo movimento das mãos do executante em torno de duas antenas verticais, sem nunca tocá-las. Outros instrumentos eletrônicos rapidamente o seguiram. O inventor alemão Jörg Mager introduziu alguns deles na década de trinta. O “Ondas Martenot” foi criado pelo francês Maurice Martenot e o “Trautonium” pelo alemão Friedrich Trautwein, ambos em 1928. Neste mesmo ano o americano Lores Hammond produziu o primeiro órgão elétrico.

Alguns compositores estavam voltados para a utilização e desenvolvimento de técnicas de composição que tratavam do som de uma maneira diferente da utilizada pelos compositores convencionais. Essas composições eram baseadas em gravações de sons pré-existentes, posteriormente transformados a partir de processos de alteração de rotação, superposição de sons ou fragmentos sonoros, execução em sentido inverso, etc. Isto foi chamado de **música concreta**. Pierre Schaeffer, compôs varias peças de *Musique Concrète* em colaboração com Pierre Henry, seu colega na Radiodiffusion et Télévision Française (RTF) em Paris. *Symphonie pour un Homme Seul* (1949-1950) foi uma das primeiras obras eletrônicas apresentadas ao público e um dos principais trabalhos dos dois compositores.

Em 1952, foi criado em Köln, na Alemanha, o segundo estúdio de música que, em oposição aos princípios da música concreta, trabalhava exclusivamente por meios eletrônicos sem a interferência de sons naturais. Isto foi chamado de **música eletrônica**. Karlheinz Stockhausen foi o principal compositor deste estúdio e, ao contrário de Pierre Schaeffer, não se preocupava em transformar sons naturais, mas sim em criar música eletrônica sintetizando o som a partir de frequências puras.

A primeira composição eletrônica foi *Studie I* (1953) seguida de *Studie II* (1954).

A utilização simultânea de sonoridades concretas e sons eletrônicos resultou na **música eletroacústica**, que tem na peça *Gesang der Jünglinge* (1955-56), de Stockhausen, o exemplo pioneiro e mais significativo. Nesta peça, Stockhausen gravou a voz de um menino soprano que cantou versos que se intercalaram com texturas eletrônicas. *Gesang der Jünglinge* foi composta para ser executada em 5 alto-falantes em movimento para projetar os sons no espaço. A mediação entre Paris e Colônia estabeleceu-se nesta obra de Stockhausen pois este utilizou tanto sons naturais gravados quanto sons gerados eletronicamente. Stockhausen compôs várias outras peças eletroacústicas como *Kontakte* (1960), *Mikrophonie* (1964-65) e *Telemusik* (1966). Em 1968 realiza *Kurzwellen* (Ondas Curtas) onde o material composicional é fornecido por ondas curtas de rádio. O uso de aparelhos de rádio com o papel de instrumentos já havia sido feito por John Cage em sua composição *Imaginary Landscape n.4* para doze receptores em 1951.

Os compositores de música eletroacústica geram suas composições em estúdios e laboratórios. As audições são realizadas através da reprodução das composições em fita. Este tipo de técnica foi chamada de **“tape-music”**, ou música para fita magnética. Tal música, independente do processo de composição (acústico ou eletrônico), tem como particularidade o fato de que a sua execução em público só poderia ser feita por meio de reprodutores de fita e amplificação eletrônica. A sua execução era exatamente a criação do compositor, eliminando com isso a idéia do instrumento/intérprete. O compositor fazia os dois papéis utilizando-se de audições para mostrar suas obras, já que essas eram concebidas em laboratórios musicais.

Outro compositor de destaque na música eletroacústica foi Varèse. Uma de suas grandes obras foi *Poème Électronique*, que foi executada em 1958 através de vários canais independentes ligados a um grande número de alto-falantes nos Pavilhões da Philips em Bruxelas. As sonoridades reconhecíveis, como a voz de uma soprano acompanhada de coro, de sinos e de um órgão, juntaram-se a outras totalmente eletrônicas, resultando numa espacialização global da música e afirmando os concertos de música eletroacústica através da *tape-music*.

A pesquisa em música eletroacústica é realizada tanto em instituições particulares quanto públicas. Entre elas estão os centros internacionais de pesquisa Utrecht, Stanford, MIT e o IRCAM dirigido por Boulez em Paris.

Ainda na década de 50, a partir da antiga idéia de criar sons usando a eletricidade, Herbert Belar e Harry Olsen inventaram o Mark II RCA Music Synthesizer, o primeiro sintetizador controlado por voltagem. Deste instrumento somente um modelo foi fabricado. Milton Babbitt realizou as mais importantes composições com o Mark II Music Synthesizer, dentre elas *Compositions for Synthesizer* (1961) e *Esembles for Synthesizer* (1964) para *tape-music*. O Mark II representa o final da era dos primeiros instrumentos eletrônicos.

Max Mathews, considerado o pai da Computação Musical, desenvolveu no Bell Laboratories, em Nova Jersey, o primeiro programa de computador para a música em 1957, num computador de grande porte. O programa chamado Music I tinha uma única voz, uma forma de onda triangular, não possuía ADSR e só controlava a afinação, intensidade e duração dos sons. O Music I deu origem a uma série de programas musicais como Music II, Music III e Music IV. Estes programas abriram espaço para uma “avalanche” de novos programas musicais de todas as categorias que foram criados a partir de 1976 com a difusão dos

microcomputadores e a utilização de linguagens de programação de alto nível e grande portabilidade.

Na década de 50, Robert Moog era um engenheiro que montava e vendia Theremins. Na década de 60 ele iniciou a construção de novos equipamentos que resolveu chamar de sintetizadores. Ele foi o responsável pela invenção dos primeiros sintetizadores modulares Moog, que foram mundialmente difundidos através dos primeiros tecladistas que utilizaram sintetizadores em suas gravações e performances, como Keith Emerson (ver LPs “Emerson, Lake & Palmer”, 1970 e “Tarkus”, 1971) e Wendy Carlos (ver LP “Switched-On Bach”, 1968). A chegada do sintetizador Moog e de outros instrumentos eletrônicos semelhantes ao mercado, em 1964, representou uma revolução nas técnicas da música eletrônica. Os compositores não precisavam mais de tantas horas nos estúdios preparando e editando o seu material, como o caso de Stockhausen que utilizou 18 meses para produzir os 3 minutos da obra *Gesang der Jünglinge*. Os sintetizadores possibilitaram o surgimento de novos gêneros musicais baseados em suas possibilidades tímbricas e de controle eletrônico dos parâmetros musicais. Os músicos, então, utilizavam a síntese para criar seus próprios sons exigidos em suas composições e que até então não eram possíveis de serem produzidos pelos instrumentos convencionais.

A esta altura o interesse maior voltava-se para a execução ao vivo de instrumentos e equipamentos musicais eletrônicos, que viria a ser chamada **“live electronic music”**. Em meados da década de 60 multiplicavam-se os conjuntos de música eletrônica ao vivo, entre eles Sonic Arts Union dos EUA, o conjunto de Stockhausen e a Música Eletrônica Viva de Roma.

A música popular começou a assimilar a música eletrônica de vanguarda, e grupos ingleses de **rock progressivo** da década de 70 como ELP, Yes e Genesis começaram a utilizar sintetizadores em suas performances. A utilização da orquestra sinfônica, coral e sintetizadores na música popular foi difundida principalmente por Rick Wakeman com a obra *Viagem ao Centro da Terra* obtendo uma sonoridade ímpar até então na música popular. A utilização só de equipamentos eletrônicos originou também a **música eletrônica popular**, tendo como expoentes Kraftwerk, Jean-Michel Jarre e Vangelis. Este último recebendo um Oscar nos EUA pela trilha sonora do filme *Chariots of Fire*, realizada apenas com piano e sintetizadores, abrindo ainda mais o caminho para a música eletrônica. Até então, apenas compositores eruditos com trilhas para orquestra haviam alcançado esse prêmio.

Os sintetizadores evoluíram e deixaram de ser teclados analógicos com osciladores e potenciômetros para alteração do som para se tornarem uma incrível linha de produtos que vão desde módulos de som até computadores com software que os tornam sintetizadores. Grandes empresas fabricantes de sintetizadores ganharam o mercado como a Roland, Yamaha e a Korg. Com base nos conceitos herdados dos sintetizadores analógicos modulares, vários tipos de síntese como FM, aditiva, subtrativa, linear e modelagem física foram desenvolvidas para os sintetizadores digitais modernos.

Na década de 70 já existiam ligações entre os instrumentos musicais, mas foi só em 1983 que a MIDI - Musical Instrument Digital Interface - surgiu para padronizar as comunicações entre instrumentos eletrônicos. Como o computador já havia sido usado para a música, mas sem uma ligação efetiva com instrumentos do meio externo, ele foi rapidamente empregado na ligação com sintetizadores através do interfaceamento MIDI. Essa utilização da MIDI originou uma revolução no campo da música.

A criação dos microcomputadores pessoais e sua difusão nos anos 80 facilitou a configuração de um sistema MIDI completo pois barateou e simplificou a aquisição do hardware básico para

aplicações em sistemas musicais. Logo após o padrão MIDI ser difundido, fabricantes de software iniciaram uma produção em grande escala dos mais diversos aplicativos musicais que utilizavam a comunicação entre instrumentos e o computador. No final de 1986, uma grande linha de produtos já existia.

Os computadores PC multimídia tornaram o padrão MIDI e a gravação digital em computador ainda mais difundida por já apresentarem esses recursos inclusos no preço final do computador.

Atualmente, com o aumento da capacidade de processamento e o barateamento da memória utilizada nos equipamentos, foram criados sintetizadores virtuais como o Virtual Sound Canvas da Roland e sistemas para gravação de áudio digital em discos rígidos.

A música por computador está sendo amplamente utilizada na Internet através dos recursos de áudio digital compactado e MIDI. Instrumentos baseados em realidade virtual, laser e inteligência artificial já são uma realidade em laboratórios e mega-espetáculos de música eletrônica. A gravação de grupos musicais pela Internet e a educação musical à distância tornam-se realidade.

CONCEITOS BÁSICOS SOBRE SOM

Diariamente, nós ouvimos uma grande quantidade de sons, vozes, sons de portas abrindo e fechando, passos, ruído dos motores dos automóveis, chuva e música. Em outras palavras, vivemos toda a nossa vida rodeados por sons. O som não é algo que podemos ver com nossos olhos. Então, o que é isso que chamamos de som? Tomando como exemplo o som de uma campainha, temos que quando a energia cinética é aplicada a ela, através de um martelo, ocorre uma “deformação” da campainha, gerando desta maneira a energia que trata de devolver a campainha ao seu estado original. Começa, então, uma repetição periódica de deformações e restaurações. A isto chamamos de vibração. Estas vibrações produzem mudanças de pressão do ar, resultando em seções de ar que são mais densas e outras que são rarefeitas, ocorrendo sucessivamente uma depois da outra e expandindo-se. Estas são chamadas condensações e rarefações. O processo é similar ao que conhecemos quando jogamos uma pedra dentro d’água, a qual produz ondas circulares em sua superfície. Estas ondas de condensações e rarefações são propagadas para dentro do ouvido humano e irão vibrar o tímpano. As vibrações são captadas pelas terminações nervosas, de maneira que nós as escutamos como sons. Se os corpos que vibram são diferentes, também será diferente a classe de vibração que produzem, isto significa que escutamos distintas classes de sons. No espaço, onde não existe ar, também não existem sons.

O som é, portanto, a vibração do ar, ou seja, variações na pressão do ar, que percebemos com nossos ouvidos. Se essa pressão varia de acordo com um padrão repetitivo dizemos que o som tem uma forma de onda periódica. Se não há um padrão perceptível no som este é chamado de ruído.

Quando as variações na pressão do ar são representadas de forma gráfica, podem ser interpretadas como “formas de onda”. Um osciloscópio, por exemplo, é um aparelho prático que converte sons em sinais elétricos mostrando-os em forma de onda num monitor. A representação gráfica de um som mostra as mudanças na pressão do ar conforme a passagem do tempo. Lendo-se o gráfico da esquerda para a direita, quando a linha curva está próxima da parte inferior do gráfico, então a pressão do ar é mais baixa, e quando a curva está próxima do topo do gráfico, a pressão do ar aumentou (Figura 1).

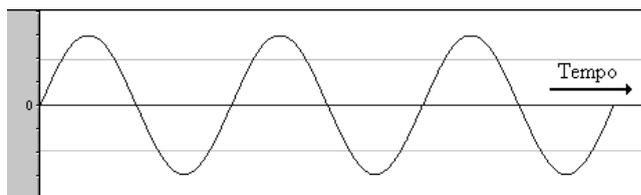


Figura 1 - Representação gráfica, no domínio temporal, de uma forma de onda senoidal.

Os três elementos básicos do som

Altura tonal

Quando se toca as teclas de um piano, nota-se que os sons são mais agudos quanto mais tocados à direita e mais graves quanto mais se tocar à esquerda. Essa “altura” de um som, ou seja, se é alto ou baixo, agudo ou grave, é chamada “altura tonal”.

Uma repetição de uma onda periódica é chamada de ciclo. Quando são comparados em um osciloscópio sons com alturas tonais diferentes, nota-se que difere o número de ciclos por unidade de tempo. Quanto mais agudo o som, maior o número de ciclos por unidade de tempo e quanto mais grave o som, menor será este número. O número de ciclos dentro do intervalo de um segundo é geralmente chamado frequência e expresso em unidades chamadas *hertz* (Hz). 100Hz indica que a vibração ocorre com uma frequência de 100 ciclos por segundo. Quanto maior o valor em hertz, mais agudo é o som. Dobrando a frequência de um som, este é elevado em uma oitava, então é possível dizer que a frequência e a altura tonal estão relacionadas logaritmicamente. A faixa de frequências que podem ser ouvidas por um ouvido humano é de aproximadamente 20Hz para os sons mais graves e de até 20.000Hz para os sons mais agudos.

Volume

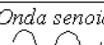
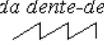
Se uma tecla de piano é pulsada fortemente, o som produzido será forte. Se for pulsada suavemente, o som produzido será fraco. As denominações alto e baixo devem ser utilizadas de maneira correta apenas para designar a altura tonal e não o volume. Através de um osciloscópio, a mudança no volume de um som pode ser vista como uma diferença na altura das ondas. A altura de uma onda chama-se “amplitude”. Quanto maior a amplitude, mais forte é o som. Portanto o volume de um som é determinado pela amplitude (altura da onda). Ao contrário do que é falado coloquialmente, um som alto, do ponto de vista da amplitude corresponde a um som forte. Já um som baixo, corresponde a um som fraco.

Timbre

Um clarinete e uma flauta não produzem o mesmo som ao serem tocados com a mesma altura tonal e o mesmo volume. Isso se deve ao fato de haver um fator distinto a mais para o som além da altura tonal e do volume. Este fator é o timbre. Observando-se sons com timbres diferentes, através de um osciloscópio, nota-se que as formas de onda diferem entre si. De um modo geral, formas de ondas arredondadas produzem um timbre mais suave enquanto que as formas de ondas ponteadas dão um timbre mais penetrante e estridente.

Na Tabela 1 são mostradas três formas de onda básicas, seus timbres característicos e os instrumentos que se assemelham a cada caso.

Tabela 1: Formas de onda simples e seus timbres.

Forma de onda	Timbre	Instrumento
Onda senoidal 	suave, doce	flauta, assovio
Onda dente-de-serra 	claro, brilhante	violino, trompete
Onda retangular 	simples, "quente"	clarinete, oboé

Categorias sonoras

Podemos encontrar dois tipos de sons:

- Sons Complexos
- Sons Harmônicos ou Parciais

Os sons complexos são formados por ondas simples (ondas senoidais) que são os harmônicos e a fundamental. Os harmônicos ou parciais são múltiplos da frequência básica ou fundamental. A fundamental de um som complexo é o componente de mais baixa frequência. A frequência fundamental e seus harmônicos constituem a série harmônica. A resultante é uma forma de onda que representa um som complexo.

Na Tabela 2 está a representação matemática correspondente à Figura 2 onde podemos encontrar exemplos de fundamental e seus harmônicos.

Tabela 2: A fundamental e seus harmônicos.

p1	p2	p3	p4	p5	resultante
fundamental	parcial 2	parcial 3	parcial 4	parcial 5	série
senxt	1/2sen2xt	1/3sen3xt	1/4sen4xt	1/5sen5xt	p1+p2+p3+p4+p5

onde $x = 2\pi f$
 f = frequência
 t = tempo

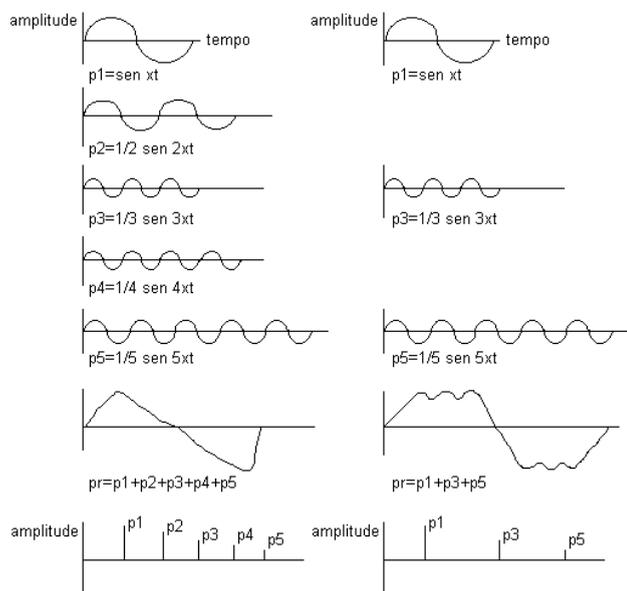


Figura 2 - Exemplos de fundamental, suas parciais, formas de onda resultantes e espectros.

A estrutura de uma onda produzida por um instrumento musical pode ser representada por um espectro gráfico. Na Figura 2 as barras verticais representam a amplitude da fundamental p1 e a dos parciais. A partir da Figura 2 observa-se que podem ser desenvolvidas várias formas de onda a partir das estruturas harmônicas mais complexas. Por exemplo, na Figura 3 é

apresentada a forma de onda e a equação de uma onda dente-de-serra. Para a produção de uma onda dente-de-serra é necessária uma série com um infinito número de senos. O espectro contém os componentes da onda até 2000 ciclos e possui uma fundamental de 100 ciclos. Esta onda contém todos os harmônicos.

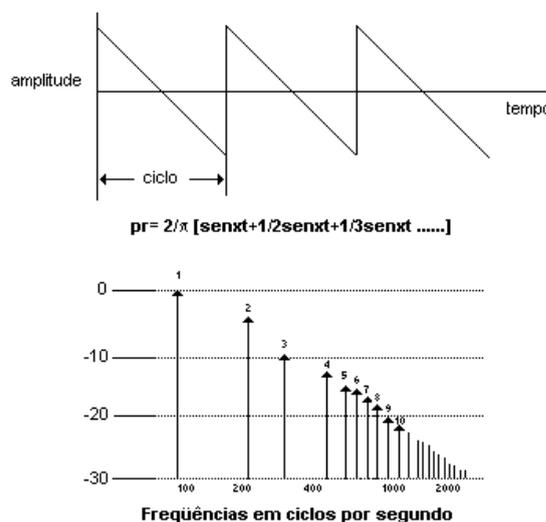


Figura 3 - Onda dente-de-serra.

Outra forma de onda bastante comum é a triangular. Um infinito número de co-senos ímpares na série são necessários para produzir este tipo de onda. O espectro da Figura 4 contém os componentes da onda até 2000 ciclos, com uma fundamental de 100 ciclos. Esta onda contém somente os harmônicos ímpares.

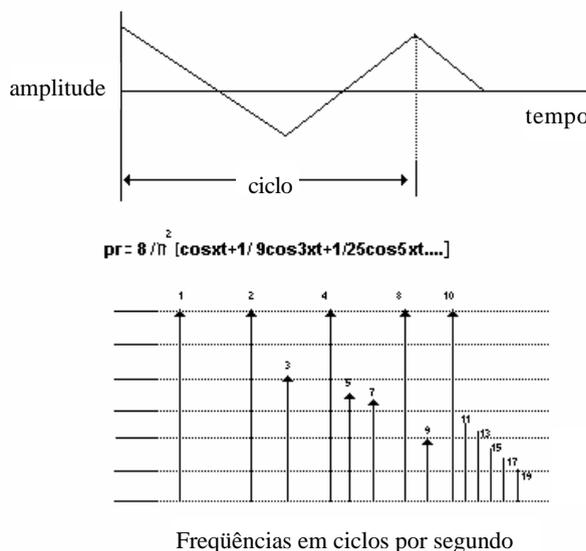


Figura 4 - Onda triangular.

A onda quadrada mostrada na Figura 5, assim como a triangular, também contém só os harmônicos ímpares.

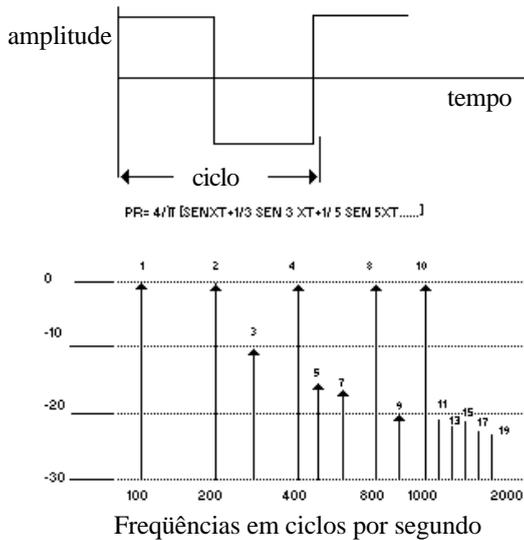


Figura 5 - Onda quadrada.

Configurando o timbre

É importante saber como se pode determinar o contorno de uma onda (timbre) para criar a classe de som desejada. A seguir exemplificamos como é o processo de combinar duas ondas senoidais para formar uma onda dente-de-serra. B é a onda senoidal básica enquanto C tem duas vezes a frequência de B (sendo uma oitava mais alta) e somente a metade de sua amplitude (volume). Quando B e C se combinam, dão como resultado a forma de onda A. A, todavia, não é uma onda dente-de-serra perfeita, mas vai aproximar-se infinitamente ao contorno de uma dente-de-serra perfeita se ondas senoidais juntarem-se com triplas (3 x), quádruplas (4 x), quádruplas (5 x) frequências. Se, por outro lado, só se agregarem ondas senoidais com múltiplos ímpares de frequências, a onda senoidal básica vai gradualmente se aproximando de uma onda retangular. Desta maneira pode ser criada qualquer forma de onda, ao somar-se um número de ondas senoidais a uma onda senoidal básica. Chamam-se harmônicas as ondas tais como a C, com frequências que são múltiplos inteiros da frequência da onda básica (neste caso, B). Em outras palavras, a forma de onda e, portanto, o timbre, são determinados pela classe de harmônicas somadas à onda senoidal básica. Dito de outra maneira, quase todos os sons (com seus timbres diferentes) que chegam aos nossos ouvidos incluem uma variedade de harmônicas diferentes e são estas as responsáveis pelos inúmeros timbres característicos. Os gráficos que mostram os componentes harmônicos de uma forma de onda são chamados espectros harmônicos.

Sons musicais e sons não-musicais

O som é dividido em sons musicais e não-musicais dependendo do tipo de vibração principal. Os sons com vibrações regulares (ou seja, sons em que existem muito poucos componentes distintos dos harmônicos) são considerados musicais, enquanto os sons causados por vibrações irregulares complicadas (ou seja, sons com muitos componentes que não são harmônicos), cuja altura tonal não pode, portanto, ser medida, são chamados sons não-musicais. Os sons não-musicais incluem também os sons do tipo desagradáveis. A maioria dos sons usados na música são, por

pressuposto, sons musicais. Várias classes de ruídos, como os produzidos por instrumentos de percussão, são também usados para realizar o efeito musical.

Tons puros

Chama-se de tons puros os sons que não têm em absoluto nenhum outro componente (tais como harmônicos) e consistem em uma só frequência simples. Relembrando: chama-se de harmônicas as frequências que são múltiplos inteiros de uma onda básica. O timbre (forma de onda) é determinado pelos componentes harmônicos. A forma de onda de um tom puro sempre é uma onda senoidal. Os timbres de um diapasão afinador ou toque do telefone são quase tons puros (ondas senoidais perfeitas), mas esta classe de timbre não existe no mundo natural. Portanto, os tons puros só podem ser criados artificialmente, por exemplo, eletronicamente.

Envolvente da onda

Além dos três fatores básicos do som explicados anteriormente, altura tonal, volume do som e timbre, há outro fator importante que determina o som. Trata-se da variação do som em um transcurso de tempo. Mais precisamente, a variação de cada um dos três elementos em um transcurso de tempo que vai desde o começo do som até um ponto do tempo onde ele desaparece completamente. Se um violino for tocado com arco, por exemplo, geralmente o volume do som aumenta gradualmente e também o timbre e a altura tonal mudam ligeiramente. Estas mudanças no tempo são o que determina o timbre característico de um violino, além do seu espectro harmônico. Por outro lado, o relaxamento do som de um piano é um caimento contínuo. Sem este caimento seria muito difícil distingui-lo do som de uma flauta. Estas variações de um som em um transcurso de tempo são chamadas envolventes (envelopes ou envoltórias). Envoltentes são, portanto, as mudanças de altura tonal, volume e timbre em um transcurso de tempo. Ocasionalmente, a mudança apenas do volume (amplitude) em um transcurso de tempo é também chamada envolvente.

No caso da envolvente de amplitude (volume) de um som, pode-se descrevê-la a partir de quatro parâmetros, conhecidos como ADSR:

- (Tempo de) Ataque (A)
- (Tempo de) Decaimento (D)
- (Nível de) Sustentação (S)
- (Tempo de) Relaxamento (R)

Na Figura 6 vemos, em cima, a forma de onda original, sem variação na amplitude. Embaixo, vemos a aplicação de um envelope ADSR na mesma onda, causando variações de volume no tempo.

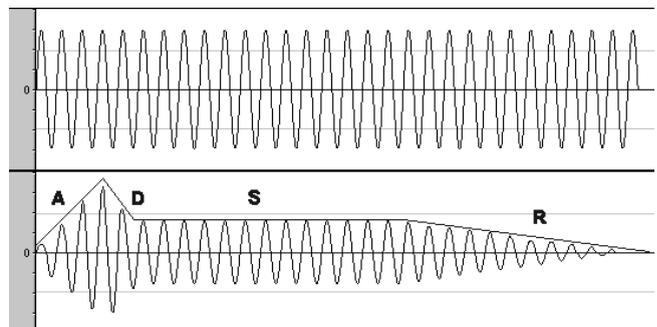


Figura 6 - Envolvente aplicado a uma onda.

REPRESENTAÇÃO DE INFORMAÇÃO SONORA: ÁUDIO DIGITAL

Se o sinal de um microfone for introduzido em um gravador de fita magnética, seu circuito transformará o sinal elétrico em magnético (preservando ainda as características oscilatórias originais do som), que pode então ser registrado na fita (pelo alinhamento magnético das partículas metálicas existentes na superfície da fita). Uma vez gravado na fita, esse sinal magnético pode ser reproduzido, desde que se efetue o processo inverso, recompondo o sinal elétrico a partir do sinal magnético registrado na fita e, depois, transformando o sinal elétrico em acústico, através de um sistema composto de amplificador e alto-falantes.

Como já vimos, pode-se representar o som usando-se um gráfico que mostre as variações que ocorrem na pressão do ar no decorrer do tempo. O mesmo gráfico serve também para representar as variações da tensão elétrica no tempo (no caso do sinal convertido pelo microfone) ou as variações do campo magnético da fita no tempo (no caso do sinal gravado), pois todos esses sinais mantêm as mesmas características oscilatórias.

O processo de gravação usado pelos gravadores convencionais de fita magnética (cassete ou rolo) é, portanto, um processo **analógico**. A gravação de áudio analógica possui certos inconvenientes, alguns deles inerentes ao próprio meio usado para a gravação, que é a fita magnética. Por exemplo, quando o sinal elétrico (representando a onda sonora) é registrado na fita (convertido em sinal magnético) há uma perda de fidelidade, com a distorção do sinal original e a eliminação de alguns componentes harmônicos de alta frequência. Além disso, existe ainda a adição de ruído gerado pela própria fita.

Como solução alternativa a esse processo de gravação convencional, existem hoje processos mais aprimorados para o registro de sinais de áudio, que usam tecnologia **digital**.

A amostragem digital

O processo de representar numericamente o som é chamado de **digitalização**. O som é a variação da pressão do ar. Sendo assim, a forma de produzir um determinado som depende da maneira como a pressão do ar varia. O som da nota Dó central de um piano tem uma variação periódica de pressão que se repete 256 vezes em um segundo. Isto significa que sua frequência de vibração é de 256Hz.

O alto-falante produz variações de pressão do ar por intermédio do movimento vibratório do cone de papel, em que uma bobina de fios é submetida a um campo magnético. Isso só acontece porque uma voltagem elétrica é aplicada à bobina. Os computadores são máquinas digitais que trabalham somente com o zero e o um. Para um computador recriar um fenômeno analógico como o som, o computador tem que primeiro converter os dados analógicos em digitais. Isto é feito através do circuito denominado conversor analógico-digital (ADC). Quando os sons gravados digitalmente precisam ser reproduzidos, se faz necessário o processo inverso. O conversor digital-analógico (DAC) transforma os dados digitais novamente em analógicos. Todo o circuito digital para a produção de som, seja um toca disco a laser, um "digital audio tape" (DAT) ou um computador, realiza a conversão digital para analógica a fim de reproduzir o som.

"**Sampling**" é a técnica de fazer um determinado número de amostragens de uma certa forma de onda em um determinado espaço de tempo. O processo de amostragem é realizado pela determinação de N pontos de amplitude da onda e a representação destes pontos por números que sejam proporcionais às amplitudes. Na Figura 7, cada um dos números contidos na memória do computador é a amplitude da onda em um único instante de tempo. Um som contendo frequências limitadas pode então ser representado por uma seqüência de números.

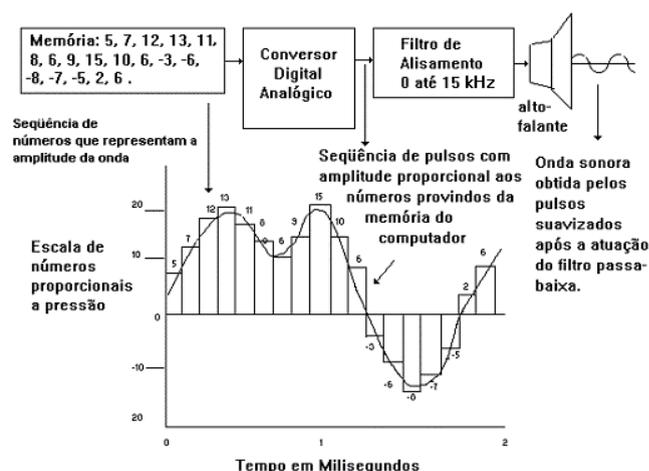


Figura 7 - O processo de reprodução do som digital.

A **taxa de amostragem** ("sampling rate" - SR) deve ser no mínimo o dobro da frequência que está sendo amostrada, ou seja, a maior frequência do som amostrado deve estar entre 0 e a SR/2. Logo, um som que contenha frequências neste limite pode ser representado por amostragem digital. Ao exceder este limite, o processo de "sampling" gera erros denominados de "foldovers" ou distorções de "aliasing". Tais erros são distorções e reflexões de frequências ouvidas na escala entre 0 e a SR.

O processo de **quantização**, mostrado na Figura 8, é usado quando o nível dinâmico (amplitude) de uma determinada amostra fica entre dois valores digitais. Então a quantização consiste em arredondar o nível dinâmico para o valor mais próximo.

Suponha que o computador da Figura 7 trabalhe apenas com dois dígitos. Dessa forma todos os números contidos na memória que representam as amplitudes entre 10,5 e 11,5 serão representados pelo número 11. Se o computador em questão utilizasse até três dígitos, então as amplitudes entre 10,65 e 10,75 seriam quantizadas para 10,7. Da mesma forma, para um nível maior de detalhamento na representação das amostras é necessária uma quantidade maior de bits por amostra, o que é conhecido como a **resolução** do áudio digitalizado.

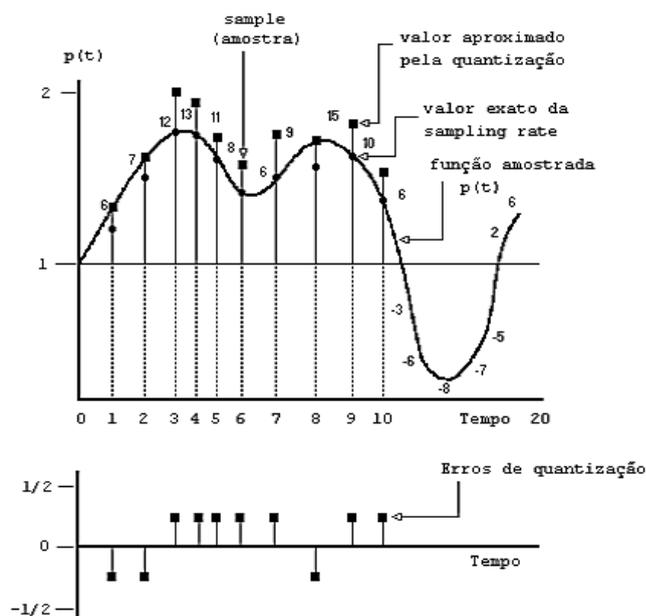


Figura 8 - Quantização e erros de quantização.

Qualidade do áudio digital

Três fatores predominantes determinam a qualidade do som digitalizado:

1) Número de amostras tiradas por segundo, também chamada de “sample rate” (ou taxa de amostragem). Quanto maior este número melhor o detalhamento e mais fiel ficará o som.

2) Número de bits usados para cada amostra também chamado de resolução da amostra. Neste caso quanto maior a resolução, mais precisa será a representação do som original no momento em que a amostra foi tirada. Os sistemas digitais usam números binários, cujos algarismos (dígitos) são chamados de bits, e podem ter valor “0” ou “1”. Quanto maior for o número de bits, melhor será a capacidade de resolução do equipamento, mas, infelizmente, também mais alto será o seu custo. Quanto mais bits houver, mais números podem ser representados, conforme mostra a Tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Valores possíveis de representar com diferentes precisões binárias.

Quantidade de bits	Números representados
3	8
4	16
8	256
10	1.024
12	4.096
14	16.384
16	65.536

A resolução ideal é aquela que utiliza o maior número possível de bits. Mas como isso tem um custo, a saída é optar por uma situação otimizada.

3) O projeto e a qualidade do circuito de áudio usado para filtragem e amplificação do som.

Um equipamento “sampler” profissional tem a capacidade de fazer 44.100 amostras por segundo, ou seja, produz uma taxa de amostragem de 44,1 quilohertz (milhares de ciclos por segundo, abreviado por kHz). Isso também acontece no caso de outros equipamentos como computadores destinados ao tratamento do som. Alguns equipamentos, no entanto, fazem amostragens de mais baixa qualidade, com taxas de 22kHz. Neste caso a frequência que pode ser gravada com precisão é menor. A taxa de amostragem digital tem que ser sempre pelo menos o dobro da frequência amostrada para que o som seja gravado digitalmente com precisão. Este limite máximo é chamado de frequência de Nyquist, em honra ao cientista que descobriu o fenômeno.

A resolução também afeta a qualidade do som porque determina a precisão com a qual o computador detecta variações dinâmicas, ou seja, mudanças na amplitude do som que está sendo examinado. Quanto mais bits forem atribuídos a cada amostra, maior será a precisão com a qual o som é medido. Um equipamento profissional usa uma taxa de 16 a 24 bits, permitindo o reconhecimento e a reprodução de milhares de níveis de amplitude diferentes. Em geral, com a utilização de placas de expansão qualquer computador atual pode ser transformado num equipamento profissional de amostragem digital fornecendo vários outros recursos, como a edição de sons pré-gravados.

Após a apresentação desses parâmetros fundamentais da digitalização de áudio, vejamos alguns números práticos interessantes. Tomemos o exemplo da amostra de um sinal de áudio com duração de 1 segundo. Se for usada uma frequência de amostragem igual a 44,1kHz, significa que serão efetuadas 44.100 amostragens do sinal. Se as amostragens são representadas por

números de 16 bits (2 bytes), serão usados $44.100 * 2$ bytes, ou seja, 88.200 bytes. Dessa forma, podemos calcular que para digitalizar 1 minuto de música com essa qualidade, seriam necessários 5.292.000 bytes, ou seja, mais ou menos 5 megabytes (MB) de memória. Um disco CD, por exemplo, que pode conter cerca de 74 minutos de música digitalizada (a 44,1kHz, 16 bits, em estéreo), possui capacidade de armazenamento de 650 MB.

Exemplo:

Frequência de amostragem: 44,1kHz

Resolução: 16 bits

⇒ $44.100 * 16 = 705.600$ bits ou 88.200 bytes (86,15 kB)

para cada segundo.

Para digitalizar um minuto de música com qualidade de CD:

⇒ $88.200 * 60 = 5.292.000$ bytes ou +/- 5 MB

(10 MB no caso de som estéreo).

Formatos de áudio digital

A partir da idéia básica da amostragem digital explicada acima, criaram-se muitas formas de codificar o som para que seja processado em computadores, o que resulta na existência de uma quantidade equivalente de formatos de arquivo para o armazenamento do som digitalizado.

Os formatos de arquivo mais utilizados para o processamento de som são:

- Wave, da Microsoft (extensão .wav)
- AIFF, da Apple (extensão .aiff ou .aif)
- Sun Audio, da Sun (extensão .au)
- Real Audio, da RealNetworks (extensão .ra)
- MPEG Layer 3 (extensão .mp3)
- Windows Media Audio, da Microsoft (extensão .wma)

Os formatos Wave e AIFF são do tipo áudio digitalizado sem compressão. Baseiam-se na codificação PCM (Pulse Code Modulation), onde a própria onda sonora é representada como uma sucessão de números correspondentes às amplitudes do sinal medidas a uma frequência constante. Ou seja, armazenam dados de um processo de digitalização simples, conforme explicamos na seção anterior. Como já vimos, esse tipo de codificação origina normalmente um grande volume de dados, na ordem de 0,6 MB a 10 MB por minuto de gravação, dependendo da qualidade definida para o arquivo. Por consequência, exige muito espaço para seu armazenamento definitivo. Sua única vantagem é a reprodução fiel do áudio, se o arquivo for gravado com qualidade de CD.

Uma das alternativas é a **compressão** desse tipo de arquivos, reduzindo o seu tamanho. Diferentes técnicas desenvolvidas acabaram por originar novos formatos de arquivos, como o Sun Audio (que também é aceito pela plataforma Apple), o MPEG-3, o Real Audio e o Windows Media Audio. Esses são, portanto, formatos de arquivos tipo áudio digitalizado com compressão. Alguns desses algoritmos são muito eficientes, alcançando taxas de compressão de até 12:1 se for mantida uma aparente qualidade, no caso do MPEG-3 (ou até maiores, mas com declínio na qualidade). Ou seja, o arquivo não comprimido poderá ser reduzido a 1/12 do seu tamanho original. O problema é que essas taxas só são alcançadas através de compressão com perdas: parte da informação sonora é descartada, o que reduz a fidelidade da representação em relação ao áudio original.

Software para áudio digital

Atualmente existem vários fabricantes de software para gravação de áudio digital, como a Digidesign (fabricante do Pro Tools) e a Steinberg (fabricante do Nuendo e do Cubase). Os programas tornam o computador um estúdio digital “multitrack” para gravação, edição, processamento e mixagem de áudio digital. Além dos gravadores existe uma outra categoria de programas

chamados de “samplers”. Estes, por sua vez, permitem gravar amostras e depois reproduzi-las com o auxílio do instrumento MIDI. Por exemplo, com o programa sampler é possível gravar a voz com o microfone e disponibilizá-la sob a forma de um timbre (“preset”) para ser executada por um teclado. Assim os sons gravados podem ser armazenados numa biblioteca em CD. Posteriormente esses sons poderão ser lidos para a memória do programa sampler e executados.

REPRESENTAÇÃO DE INFORMAÇÃO MUSICAL: MIDI

Outro problema dos arquivos do tipo áudio digitalizado, além do grande volume de dados gerado, é que eles representam a informação sonora porém nenhuma informação musical. Isso quer dizer que, se quisermos manipular os sons no nível de elementos musicais, para alterar parâmetros da música ou gerar uma música nota por nota, por exemplo, teremos que buscar uma representação mais adequada a esse objetivo.

Felizmente essa opção existe e é adotada na codificação MIDI. Essa codificação é uma representação da informação musical. Em geral, arquivos MIDI (extensão .mid ou .smf) contém o equivalente a uma partitura para o computador, mais especificamente para o sintetizador presente na placa de som. Seu código são instruções para um sintetizador, correspondentes a eventos musicais como soar uma nota, silenciar uma nota, mudar o andamento ou o tom da música, etc. O sintetizador, por sua vez, interpreta este código e o executa, podendo usar vários timbres de instrumentos simultaneamente. O tamanho desses arquivos, portanto, tende a ser bem reduzido, já que a codificação de eventos musicais pode ser bem compacta. A limitação desse sistema está, justamente, no sintetizador, pois de sua qualidade dependerá a qualidade final da música executada. Isso também quer dizer que a mesma música poderá soar bastante diferente se tocada em diferentes sintetizadores.

MIDI é a sigla de Musical Instrument Digital Interface, um padrão de comunicação de dados criado em 1983 por um acordo entre diversos fabricantes de instrumentos musicais norte-americanos e japoneses, para possibilitar a transferência de informações entre instrumentos musicais e computadores.

O padrão MIDI usa tecnologia digital, codificando eventos musicais em dados binários (bits) que são transferidos por meio de uma linha física (cabo MIDI) de um equipamento para outro. Todos os detalhes técnicos relativos aos códigos e os circuitos básicos necessários à comunicação MIDI são definidos na MIDI Specification 1.0, publicada pela MIDI Manufacturers Association (MMA, antiga International MIDI Association) (MIDI MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2004; MCQUEER, 1989).

Embora o objetivo principal do MIDI seja transferir informações de caráter musical, tais como a execução de notas e outros controles de expressão, seu uso tem sido expandido de tal forma que atualmente o MIDI é usado não só para a transferência de dados relativos à execução musical propriamente dita, mas também para outras aplicações de alguma forma correlatas à música, como controle de iluminação e equipamentos de áudio.

Na forma mais simples de se usar MIDI, um músico pode controlar um teclado a partir de outro (controle remoto), pois todas as suas ações de execução musical são codificadas e transmitidas pelo cabo MIDI para o outro teclado, que recebe, decodifica e executa aquelas mesmas ações. Assim, numa implementação bastante simples, é possível tocar dois ou mais instrumentos a partir de um deles, o que possibilita, entre outras coisas, a superposição dos sons dos vários instrumentos controlados simultaneamente.

É importante frisar que as informações MIDI transferidas de um equipamento (mestre) para outros (escravos) não carregam consigo nenhum sinal de áudio (som). Essas informações são mensagens que codificam as ações do músico, tais como o ato de pressionar uma tecla, ou o de soltar uma tecla. O som (áudio) conseqüente do ato de pressionar uma tecla não é transferido via MIDI, mas sim gerado em cada um dos instrumentos da cadeia. Dessa forma, quando um instrumento “mestre” comanda outro via MIDI, basicamente ele “diz” ao outro quais as notas que devem ser tocadas, mas o som (áudio) do segundo instrumento será determinado pelo próprio “escravo”.

Principais características do sistema MIDI

- Sistema digital de comunicação de dados.
- Transmissão serial assíncrona.
- Taxa de transmissão: 31.250 bits/s.
- Comunicação unilateral.
- Permite padronizar a comunicação entre os instrumentos (protocolo MIDI).
- Facilita a ligação entre instrumentos e computadores.
- Permite a edição de qualquer evento musical através de software.
- Permite tocar vários instrumentos simultaneamente.
- Permite gerar arquivos MIDI Standard.

Evento MIDI

Um evento MIDI é gerado pela ação do músico ao tocar o instrumento MIDI.

Ao ser pressionada uma tecla, além do instrumento MIDI soar a nota com o timbre previamente escolhido, ele codifica o evento em bytes e envia os bits serialmente para a porta MIDI OUT.

Ligações

Os conectores MIDI são 3 (Figura 9):

MIDI IN: é uma entrada, por onde o equipamento recebe as mensagens;

MIDI OUT: é uma saída, por onde o equipamento transmite as mensagens geradas por ele próprio;

MIDI THRU: é uma saída, por onde o equipamento retransmite as mensagens recebidas por MIDI IN (não geradas por ele).

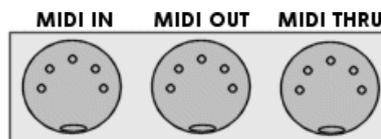


Figura 9 - Conectores dos equipamentos MIDI.

Cabos MIDI

- Tomadas do tipo DIN de 5 pinos.
- Cabos blindados, com 2 condutores e a malha de blindagem.
- Cabos com mais de 15 metros podem trazer problemas de perda de sinal.

Limite da transmissão MIDI

Quando se utiliza um grande número de equipamentos conectados em cadeia e um volume considerável de mensagens, poderá ocorrer atrasos na transmissão de eventos.

Exemplo de conexão MIDI

A ligação entre os instrumentos pode ser feita da seguinte forma (Figura 10):

O instrumento mestre transmite por MIDI OUT os dados gerados nele próprio (gerados pela execução do músico em seu teclado). O instrumento escravo 1 recebe os dados do mestre através de sua entrada MIDI IN, executa os comandos se estiver habilitado para isso e, executando ou não os comandos, retransmite por MIDI THRU todas as mensagens que recebe. O instrumento escravo 2, por sua vez, recebe por MIDI IN as mensagens do mestre (que passaram pelo escravo 1). Se houvesse mais instrumentos, estes poderiam ser incluídos sucessivamente no encadeamento, usando o esquema de ligação THRU-IN-THRU-IN, etc. Além disso, nada impede que um desses escravos possa ser o mestre de um encadeamento secundário.

Como podemos perceber, a concepção do encadeamento MIDI permite a implementação de sistemas complexos, com vários instrumentos encadeados em série, comandados por um ou mais deles.

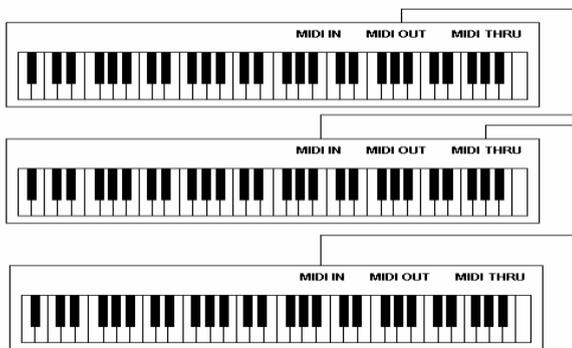


Figura 10 - Exemplo de encadeamento de conexões MIDI.

Canais MIDI

Um dos recursos mais poderosos do MIDI é a possibilidade de se endereçar mensagens para determinados equipamentos, de uma forma discriminada. Isso é feito através de 16 canais de MIDI, algo que funciona de forma semelhante aos canais de televisão. Quando um instrumento transmite uma mensagem (por exemplo, uma nota pressionada), inclui nesta um código que identifica um canal (no caso, um canal de transmissão). Para que um outro instrumento possa executar o comando contido naquela mensagem, é necessário, em princípio, que ele esteja ajustado para receber no canal de mesmo número daquele codificado na mensagem. Se isso não ocorrer, o instrumento ignora a mensagem, pois ela não está destinada a ele (ao seu canal de recepção).

Com os 16 canais de MIDI, pode-se transmitir informações diferentes para até 16 instrumentos, simultaneamente, através do mesmo cabo, de forma que é possível ter-se até 16 instrumentos comandados por um mestre (um seqüenciador, por exemplo) que lhes transmite todas as notas a serem executadas, como se fossem 16 músicos tocando seus instrumentos, individualmente. Algumas interfaces, entretanto, possuem mais do que um par de conectores, oferecendo múltiplas saídas que permitem expandir além do limite dos 16 canais, possibilitando ter-se um sistema de 16 canais em cada uma das saídas MIDI OUT. Dessa forma, usando-se uma interface com duas saídas MIDI OUT, por exemplo, pode-se endereçar até 32 instrumentos diferentes, tocando notas totalmente independentes, pois uma das saídas constitui-se em um sistema próprio de 16 canais (pode-se ter um equipamento A conectado à MIDI OUT 1 e recebendo pelo canal 1, e ter um equipamento B

recebendo outras informações diferentes também pelo canal 1, mas pela MIDI OUT 2).

É importante certificar-se de que a interface possui realmente saídas independentes, pois pode acontecer que as MIDI OUT sejam duplicadas, isto é, que os mesmos dados são transmitidos igualmente por todas as MIDI OUT (esse último caso não caracteriza saídas múltiplas). Evidentemente, para se operar as saídas múltiplas é necessário que o software usado suporte tal recurso (o que acontece na maioria deles).

Interfaces MIDI

Existem dois tipos de interfaces MIDI: internas e externas. Uma interface interna é a placa de som que é inserida em um dos conectores ("slots") internos de expansão, por onde o computador entrega e acessa dados na interface. Na face externa da placa estão os conectores MIDI, que permitem interligá-la aos demais instrumentos musicais. Na interface externa, por sua vez, o circuito eletrônico está contido em uma pequena caixa, que, dependendo do modelo, é ligada ao computador através da porta paralela (normalmente usada pelo mouse ou pelo modem). As interfaces internas em geral são mais baratas, pois dispensam acabamento (caixa, pintura, etc.), enquanto as interfaces externas são a solução para usuários de computadores portáteis (laptops e notebooks), que não dispõem de conectores internos de expansão e não podem por isso usar placas internas.

Transmissão de mensagens MIDI

As informações são transmitidas por mensagens digitais, cujo tamanho (em bytes - grupos de 8 bits) varia, dependendo da finalidade. Todas as mensagens contêm um código inicial, chamado de Byte de Status, que determina o teor da mensagem. Algumas mensagens contêm ainda um ou mais Bytes de Dados, que complementam a informação que está sendo transmitida (Figura 11).

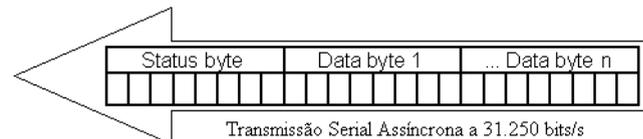
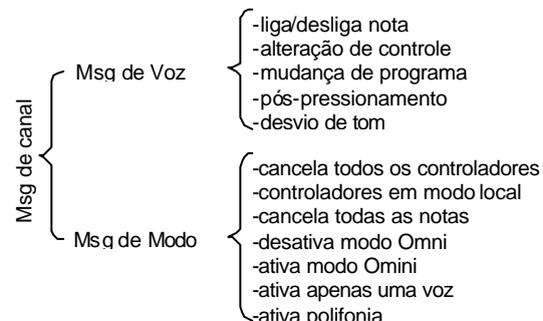
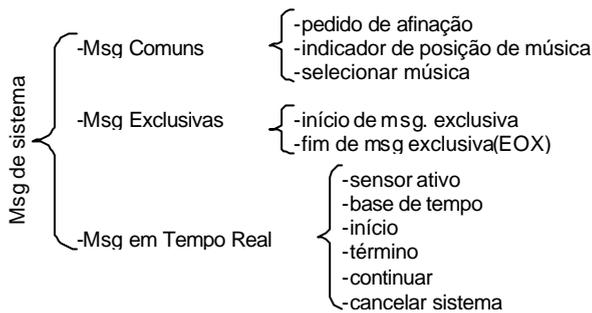


Figura 11 - Transmissão de uma mensagem MIDI.

Classificação das mensagens MIDI

(Segundo a MIDI Specification 1.0 - MIDI MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2004)





SÍNTESE SONORA

Geralmente a primeira idéia que vem a uma pessoa pouco familiarizada com os aspectos relativos ao sintetizador é a da sua utilização como simulador de instrumentos utilizados na música clássica como, por exemplo, o som das cordas da orquestra. Mas a verdadeira função do sintetizador não é a de imitar, e sim a de criar sons totalmente inéditos e irrealizáveis por outros métodos. A imitação é uma função adicional do sintetizador e, portanto, não se pode esperar que os sons sejam exatamente iguais aos instrumentos os quais se pretende imitar ou simular.

Existem várias técnicas que podem ser utilizadas para sintetizar sons. Muitas delas utilizam o modelo de fonte e modificadores do som. O uso desse modelo fica mais claro na síntese subtrativa, mas ele pode ser aplicado a outros métodos de síntese como a Waveshaping (distorção de fase), ou a modelagem física, por exemplo. Alguns métodos de síntese são mais complexos, como a síntese FM (frequência modulada).

Uma metáfora de modelo desses métodos mais complexos pode ser muito difícil de compreender. Esta é uma das razões pela qual os métodos mais fáceis de compreender como as sínteses subtrativa e por onda fixa obtiveram um maior sucesso comercial. Os sintetizadores digitais implementam diferentes técnicas de síntese sonora. No entanto, a síntese subtrativa é comum a quase todos os sintetizadores comerciais. Certos sintetizadores apresentam mais de uma forma de síntese e até combinações delas.

Síntese por Onda Fixa

Segundo DE POLI (1989), o método de síntese por onda fixa é um dos mais simples e procura repetir periodicamente uma onda gerando um sinal periódico por uma repetição contínua desta onda. A técnica é levada a cabo por um módulo chamado de oscilador, o qual repete a onda com amplitude e frequência especificadas. Em certos casos, a onda é característica do oscilador e não pode ser modificada. Mas geralmente ela pode ser escolhida em um conjunto predeterminado de opções ou fornecida explicitamente quando requisitada.

Usualmente, na síntese digital, o valor da onda em determinado instante não é computada novamente para cada amostra. Em vez disto, uma tabela, contendo os valores periódicos computados em pontos equidistantes, é construída de antemão. Obviamente, quanto mais numerosos os pontos na tabela, melhor será a aproximação. Para produzir a amostra, o oscilador requer o valor da onda naquele exato instante. Ele procura ciclicamente na tabela pelo ponto mais próximo ao requisitado. Por vezes uma maior precisão é obtida pela interpolação entre dois pontos adjacentes.

Os resultados da síntese por onda fixa são de baixa qualidade musical, já que o som não apresenta nenhuma variação ao longo de sua duração. Esta técnica pode ser modificada permitindo-se que a amplitude varie no tempo. Em sons reais, a amplitude é raramente constante: ela começa em zero, alcança um máximo

após um certo tempo (ataque), permanece aproximadamente constante e, após uma certa evolução, retorna a zero (relaxamento). Esta seqüência de comportamento da amplitude é chamada de envolvente da onda. Portanto, quando a amplitude varia de acordo com uma função de controle, temos síntese por onda fixa com envolvente de amplitude (DE POLI, 1989).

A envolvente pode ser gerada de muitas maneiras. Em síntese baseada em software, o método mais freqüente usa um módulo oscilador, visto anteriormente, usando uma frequência muito baixa igual ao inverso da duração. Neste caso, ele realiza um único ciclo e sua onda corresponde à envolvente de amplitude.

Analizando-se cuidadosamente sons periódicos naturais, foi demonstrado que mesmo os mais estáveis contém pequenas flutuações de frequência. Estas melhoram a qualidade do som e evitam pulsações desagradáveis quando mais sons estão soando ao mesmo tempo.

A técnica por onda fixa pode também ser modificada de modo a que a frequência do oscilador possa variar em torno de um valor. Isto permite a produção de um efeito de trêmolo e, com variações mais amplas, de um glissando ou melodias.

A combinação dessas duas variações constitui a síntese por onda fixa com amplitude e frequência variáveis no tempo. A onda é fixa, enquanto a amplitude e frequência variam. As parciais são múltiplas exatas da fundamental, e todas se comportam da mesma maneira.

A síntese por onda fixa é realizada de modo bem simples. Daí ser utilizada quando boa qualidade sonora não é exigida. A onda constante dá ao som um caráter mecânico, abafado e artificial, que logo aborrece a audiência. Por causa disto, em aplicações musicais, a síntese por onda fixa não é muito eficaz quando usada sozinha. Ela é empregada pela sua simplicidade quando variedade de timbres não é requerida, por exemplo, para síntese em tempo real em hardware bastante limitado. Por economia, outros métodos de geração de onda que não utilizam tabelas ou multiplicações foram concebidos. O mais simples deles gera uma onda quadrada ou (mais usualmente) retangular, através da alternância de seqüências de amostras positivas e negativas do mesmo valor. As frequências que podem ser obtidas são submúltiplas da taxa de amostragem (DE POLI, 1989).

Síntese Aditiva

Na síntese aditiva, sons complexos são produzidos pela superposição de sons elementares. Em certas condições, os sons constituintes se fundem e o resultado é percebido como um único som. Este procedimento também é utilizado em alguns instrumentos tradicionais. Em um órgão, os tubos geralmente produzem sons relativamente simples; para obter-se um espectro mais rico em certos registros, notas são criadas usando-se mais tubos soando em diferentes alturas ao mesmo tempo. O piano usa um procedimento diferente. Muitas notas são obtidas pela percussão simultânea de duas ou três cordas, cada uma oscilando a uma frequência levemente diferente. Isto melhora a intensidade do som e a enriquece com pulsações.

Segundo DE POLI (1989), para escolher os sons elementares da síntese aditiva, primeiramente notamos que o modelo de análise de Fourier nos permite analisar sons de um modo similar ao do ouvido humano e assim extrair parâmetros que são significativos em termos de percepção. Ao analisar-mos um som real relativamente periódico, imediatamente notamos que cada amplitude parcial não é proporcionalmente constante, mas varia no tempo de acordo com diferentes leis.

Qualquer som relativamente periódico pode ser aproximado por um somatório de senóides. A frequência de cada onda senoidal é praticamente múltipla da fundamental, e cada senóide evolui no

tempo. Para uma maior precisão, a frequência de cada componente pode ser considerada como lentamente variável. Dessa forma, a síntese aditiva consiste na adição de alguns osciladores senoidais, cujas amplitudes, e às vezes frequências, são variáveis no tempo (DE POLI, 1989).

A técnica da síntese aditiva proporciona igualmente boa reprodução de sons não-periódicos, apresentando em seu espectro a energia concentrada em algumas linhas espectrais. Por exemplo, Risset (RISSET, 1969) imitou um som de sino através da soma de componentes senoidais de frequências não relacionadas harmonicamente, algumas das quais estavam ressoando. No exemplo de Risset a envolvente exponencial era mais longa para as parciais mais baixas.

Síntese Subtrativa

A síntese subtrativa parte de um som rico em harmônicos que é filtrado e seu conteúdo harmônico retirado.

Os sons originais são, tradicionalmente, formas de onda simples, calculadas, tais como quadrada, dente-de-serra e triangular, sendo que os modernos sintetizadores subtrativos disponibilizam amostras digitais ao invés de osciladores para essas formas de onda. A filtragem tende a ser um filtro ressonante de passa-baixa onde as mudanças no ponto de corte da frequência ("cut-off frequency") desse filtro produzem o som de filtro "sweep" que é característico da síntese subtrativa.

Segundo DE POLI (1989), um dos aspectos mais atraentes da filtragem digital é o de que ela é análoga ao funcionamento de muitos instrumentos musicais acústicos. Na verdade, a física dos instrumentos pode ser usada como um modelo para síntese. Por exemplo, no caso dos metais e das madeiras, os lábios ou palhetas que vibram geram um sinal periódico rico em harmônicos. As várias cavidades e a forma do instrumento atuam como ressoadores, acentuando alguns componentes do espectro e atenuando outros. No caso da voz humana, os sinais de excitação são pulsos periódicos das cordas vocais (no caso de sons vocalizados) ou ruído branco (no caso de sons não vocalizados - por exemplo, as consoantes s e z). A garganta, a boca e o nariz são as cavidades de filtragem, e suas dimensões variam no tempo. Sua grande variabilidade faz da voz humana o mais rico e interessante instrumento musical.

Síntese Granular

A técnica de síntese por onda fixa produz sons praticamente estáticos no tempo. Porém uma característica fundamental do som musical é sua evolução tímbrica no tempo. Um som pode ser pensado como uma seqüência de sons elementares de duração constante, analogamente a um filme, no qual uma imagem móvel é produzida por uma seqüência de imagens.

Em CM, os sons elementares são denominados grãos e a técnica que explora este recurso é a síntese granular (ROADS, 1978). Os grãos podem ser produzidos por um simples oscilador ou por outros métodos. A duração de cada grão é muito curta, na ordem de 5-20 ms.

Existem duas maneiras de implementar a síntese granular. A primeira é uma abordagem esboçada por XENAKIS (1971) que consiste em organizar os grãos em quadros, como os quadros de um filme. A cada quadro, os parâmetros de todos os grãos são atualizados. A segunda maneira envolve a dispersão dos grãos através de uma máscara, que delimita uma particular região de frequência/amplitude/tempo. A densidade dos grãos pode variar dentro da máscara. Este foi o método implementado por ROADS (1978).

Um problema com a síntese granular é a grande quantidade de dados paramétricos a serem especificados. Em alguns outros tipos

de síntese, como a aditiva e a subtrativa, estes dados podem ser obtidos pela análise de sons naturais. Entretanto, até o momento, nenhum sistema de análise foi desenvolvido para a síntese granular. Outra possibilidade é a de obter os dados paramétricos de um sistema de composição interativa, o qual permite ao compositor trabalhar com conceitos musicais de alto nível enquanto gera automaticamente as centenas de parâmetros de grãos necessárias (DE POLI, 1989).

Técnicas não-lineares

As transformações não-lineares são bem mais utilizadas em música do que as transformações lineares. Elas provêm principalmente da teoria da comunicação elétrica, e têm provado serem promissoras e eficazes. Um dos usos da síntese não-linear é na grande quantidade de música computacional gerada com síntese por modulação de frequência (FM) (CHOWNING, 1973).

No caso clássico, técnicas não-lineares utilizam simples senóides como sinais de entrada. A saída é composta por muitas senóides, cujas frequências e amplitudes dependem principalmente das de entrada.

Dois tipos principais de técnicas não-lineares podem ser distinguidos, modelagem de onda ("waveshaping") e modulação (AM e FM). Na "waveshaping", uma entrada é moldada por uma função dependente apenas do valor da entrada naquele instante. Nas técnicas de modulação (com duas ou mais entradas), um simples parâmetro de um sinal, "carrier", é variado de acordo com o comportamento de outro sinal, denominado o modulador. Em comunicações elétricas (por exemplo, rádio) os espectros dos sinais são claramente distinguíveis e por isso facilmente separáveis. A originalidade na aplicação em música computacional é a utilização de sinais na mesma faixa de frequência. Desse modo, os dois sinais interagem de uma maneira complexa, e simples variações na entrada afetam todos os componentes resultantes.

Muitas vezes, as amplitudes de entrada são variadas através de sua multiplicação por um parâmetro constante ou tempo-dependente I, chamado de índice de modulação. Assim, agindo somente sobre um parâmetro, as características do som são variadas substancialmente. Espectros dinâmicos e variáveis podem ser facilmente obtidos. Em síntese aditiva, variações similares requerem uma quantidade de dados muito maior.

SOFTWARE MUSICAL

Como escolher um software musical diante da imensa quantidade e variedade disponível? A resposta está diretamente relacionada com o tipo de trabalho que se deseja desenvolver dentro do domínio musical.

É desejável que, antes de decidir os recursos a utilizar, se conheça as características e possibilidades que os produtos oferecem. Para tanto, apresentamos a seguir descrições desses programas musicais classificados de acordo com suas funcionalidades.

Software para acompanhamento

Características

É o tipo de software que produz um auto-acompanhamento e ritmos em tempo-real, semelhante aos teclados de acompanhamento automático, quando são executadas notas em um instrumento MIDI.

Possibilidades

Permitem ao músico realizar composições, arranjos e auto-acompanhamento. Podemos incluir nessa categoria os programas *arranjadores*, onde além de arranjos é possível criar uma composição completa com certa rapidez e eficiência. Para isso, devemos fornecer informações básicas da música (andamento, harmonia, número de compassos, instrumentos para cada parte do arranjo, etc.) deixando que o programa se encarregue do restante, gerando e executando a música via MIDI. Os programas de acompanhamento agem de forma semelhante aos teclados de acompanhamento automático. Produzem auto-acompanhamento e ritmos em tempo-real, a partir das notas executadas em um instrumento MIDI.

Software para edição de partituras

Características

Serve para editar e imprimir partituras, permitindo a inserção de notas tanto usando o mouse como diretamente de uma execução em instrumento MIDI. A gravação e execução em tempo real da música por meio de instrumento MIDI são também características interessantes. Além disso, permite ainda importar arquivos padrão do formato MIDI gerado por outros programas. Geralmente possuem bastante flexibilidade permitindo escolher tipos de pautas (normal, tablatura, ritmo), símbolos musicais, múltiplas vozes por pauta, etc., além de oferecer recursos para edição da letra da música. Há também facilidades para se acessar e extrair partes da partitura, e a impressão, em geral, pode ser dimensionada e configurada pelo usuário.

Possibilidades

Auxilia na realização de composições e pré-produção. Alguns possuem recursos de OCR (Optical Character Recognition), ou seja, pode-se digitalizar (ou “escanear”) partituras em papel. O programa, então, reconhece os símbolos e os transfere, editáveis, para a partitura digital. Com isso pode-se recuperar ou reescrever partituras em papel e inclusive convertê-las para o formato MIDI.

Software para gravação de áudio

Características

Permite gravar múltiplas e simultâneas trilhas de áudio digitalizado. Estes programas facilitam bastante as atividades de composição já que permitem procedimentos como o *overdub*, isto é, a gravação de um instrumento como base em uma trilha (canal) e em seguida os demais em outras trilhas, ouvindo o instrumento base (já gravado). Com os dados sonoros na memória do computador temos inúmeras possibilidades de manipular o som digitalmente para obter resultados desejados, como o processamento (edição) de algumas características do som, equalização, afinação, compressão de tempo, etc.

É desejável que o computador tenha bom desempenho (velocidade da CPU e grande quantidade de memória RAM e espaço em disco rígido) para que mais trilhas possam ser gravadas e executadas simultaneamente.

Possibilidades

Próprios para a gravação multicanal (“multitrack”) de instrumentos, produção e edição de áudio, produção musical, acústica e engenharia de áudio.

Software para seqüenciamento musical

Características

É o mais usado para música. Permite gravação, execução e edição de músicas no formato MIDI. A música instrumental é gravada via MIDI, usando um teclado ou outro tipo de instrumento controlador MIDI, e armazenada pelo software, podendo, então, ser editada. Como não são sons que estão armazenados, e sim as informações de execução das notas, é possível escolher diferentes instrumentos para tocar a mesma música.

A música criada no seqüenciador pode ser exportada para outros programas MIDI (por exemplo o editor de partituras) usando o formato padrão Standard MIDI File. Também é possível importar músicas de outro software para editá-las.

Podemos, em alguns desses programas, gravar trilhas de áudio digital junto com a música MIDI e, assim, operar como o gravador de áudio. Dessa forma, eles integram as duas tarefas (seqüenciamento MIDI e gravação de áudio) e tornam a operação mais fácil para o usuário.

Possibilidades

São programas próprios para produção de música, composição musical e pré-produção.

Software para síntese sonora

Características

Esses programas geram sons (timbres) a partir de amostras sonoras armazenadas ou por algum processo de síntese digital. Alguns programas sintetizadores podem tocar os sons em tempo-real, a partir de comandos de notas MIDI executados por um seqüenciador ou por uma pessoa tocando um instrumento MIDI. Atualmente, os ambientes para síntese (sintetizadores virtuais) caracterizam-se pela facilidade de uso da sua interface gráfica, onde os controles dos parâmetros de síntese são exibidos como botões e *sliders*, facilitando a interação e simulando o funcionamento dos sintetizadores reais.

Dentro dessa categoria existem os *editores de timbres*. Através da interface MIDI que conecta o computador ao teclado sintetizador, o usuário pode carregar os dados da memória deste para a memória do computador, editá-los, armazená-los, realizar cópias de segurança e enviá-los de volta para a memória do instrumento.

Possibilidades

Possibilitam a criação e alteração de sons, o armazenamento de bibliotecas de timbres, a pesquisa de timbres e novas sonoridades.

A Tabela 4 exemplifica alguns produtos existentes no mercado separados por categoria. No Anexo 1 são fornecidos os endereços eletrônicos dos programas listados na tabela.

Tabela 4: Características dos softwares musicais e alguns exemplos.

	Recursos desejáveis para utilização do software	Requisitos mínimos para uso	Exemplos de softwares
Acompanhamento	Biblioteca de estilos, controle do arranjo, editor de estilos, gravação da melodia, harmonização da melodia, controles de expressividade, impressão da partitura, edição e impressão da letra da música, configuração de sintetizador e suporte a MIDI file	Interface MIDI, Teclado ou controlador MIDI e Impressora	Arranger's tool, Band-in-a-box, CAMPS, Jammin'keys, Visual Arranger, WinChime
Edição de partitura	Tipos de claves, Múltiplas vozes, Letra da música e cifra, Ferramentas de edição, Editor de símbolos, gravação/execução via MDI, Quantização, seleção de bancos, Listas de instrumentos, Múltiplas portas MIDI, Suporte a arquivos Standard MIDI Files	Interface MIDI, Instrumento controlador MIDI e Impressora	Sibelius, Encore, Finale
Gravação de áudio	Múltiplas entradas e saídas de áudio suporte a vários arquivos de áudio, gravação multipista, Controle de volume e pan, Ferramentas de edição, Processamento de sinal, Sincronização externa, Recursos de backup, instrumentos virtuais	Placa de áudio, Espaço em disco, Equipamentos para gravação e audição, Velocidade de processamento e Dispositivo de backup	Pro Tools, Sonar, Logic Audio Platinum, SAW Studio, SoundForge
Instrução	Diversidade de exercícios de teoria e percepção, Tabela de resultados, Suporte a MIDI	Interface MIDI Instrumento MIDI Microfone Placa de áudio	Multimedia Elements of Music, Musique, Keyboard Intervals, Auralia, Ear Training, Listen, Keyboard Skills, Music Lessons
Seqüenciamento	Configuração do modo de gravação MIDI Gravação em loop, overdub, punch-in-out, Ferramentas de edição, Quantização Suporte a seleção de bancos de som, Listas de instrumentos, Múltiplas portas MIDI, Edição gráfica, Mixer Visualização da pauta, Sincronismo externo, Suporte a SysEx, Trilhas de áudio, Instrumentos virtuais	Interface MIDI, controlador MIDI, Dispositivo SMTPE, Placa de áudio, Espaço e velocidade no disco rígido, Equipamentos de áudio, Computador rápido, Vídeo com resposta rápida	Cakewalk, Cubase, Logic Audio, Vision
Síntese	Polifonia, Multitimbralidade Compatibilidade com General MIDI Possibilidade de Expansão Operação com seqüenciador	Placa de áudio, Velocidade de processamento, Espaço em disco, Interface MIDI ou seqüenciador MIDI	VAZ, Virtual SoundCanvas, Reaktor, Csound, Max/MSP e Plug-ins

LINGUAGENS, FERRAMENTAS E AMBIENTES DE PROGRAMAÇÃO PARA COMPUTAÇÃO MUSICAL

Esta seção tem por objetivo realizar uma revisão sobre os principais ambientes de programação e linguagens para o domínio da computação musical. Devido à grande quantidade existente procurou-se salientar os ambientes/linguagens com características tais como interface visual, possibilidade de interação na Web e uso do protocolo MIDI, resumidas na Tabela 5 ao final desta seção. Além das que estão aqui detalhadas, encorajamos o leitor a pesquisar algumas linguagens clássicas da CM:

- Csound (BOULANGER, 2004; MIT PRESS, 2004b)
- pcmusic (MOORE, 1995)
- Max/MSP (IRCAM, 2004b)
- Nyquist (DANNENBERG, 2004)
- Som-A (ARCELA, 1994)

MusicXML

(RECORDARE, 2004b)

É um formato de troca musical para programas musicais. O objetivo é criar um tradutor universal para a notação musical ocidental. A informação musical é projetada para ser usada por programas de notação, seqüenciadores e outros programas de

performance, programas de educação musical e banco de dados musicais.

Antes do MusicXML o único formato de troca musical comumente suportado foi o MIDI, que é uma boa solução de formato para aplicações de performance como seqüenciadores, porém não o é para outras aplicações como notação musical. MIDI não “sabe” a diferença entre Fá sustenido e Sol bemol, por exemplo, além de não representar ligaduras, compassos e outros aspectos da notação.

O uso do XML nos livra da preocupação sobre a sintaxe básica da linguagem, mantendo a preocupação apenas com a semântica - “o que representar”, em vez de “como representar”. Similarmente, não há necessidade para escrever um “parser” para ler a linguagem, pois esses já existem.

O DTD de MusicXML está disponível sobre licença (“royalty-free”) da Recordare (RECORDARE, 2004a). Essa licença é modelada com base no W3C (W3C, 2004), ou seja, seguindo os seus termos não é necessário pagar para usar MusicXML nos produtos.

Algumas companhias e desenvolvedores de software que estão usando MusicXML em seus produtos: Finale 2003 para Windows, SharpEye Music Reader, Dolet para Finale, Dolet para Sibelius, Igor Engraver, MusicEase, Virtual Composer, BarFly, MuseBook,

TaBazar, KGitarr, abc2xml/xml2abc, pae2xml (Plaine and Easie), xml2ly (Lilypond), Project XEMO, Middle C.

JMSL

(BURK & DIDKOVSKY, 2001)

Java Music Specification Language (JMSL) ou Linguagem de Especificação Musical Java é uma ferramenta de desenvolvimento baseada em Java para experimentos em composição algorítmica, performances ao vivo e projeto de instrumentos inteligentes. JMSL é a evolução de HMSL (linguagem de especificação musical hierárquica), baseada em FORTH.

JMSL inclui suporte a orientação a objetos, API para rede, gráficos, etc. e a propriedade de rodar em múltiplas plataformas via navegadores da Internet (“Web browsers”). É uma extensão de Java com classes para organização hierárquica de objetos composicionais, geradores de seqüência, função de distribuição e outras ferramentas relacionadas à música.

Algumas potencialidades:

- É nativa em Java, diferente de outros sistemas fechados com linguagens proprietárias JMSL permite ao programador o acesso a vastos recursos disponíveis para desenvolvedores Java, incluindo conectividade aos bancos de dados Java, ferramentas de rede, pacotes gráficos de 2D e 3D, API servlet, entre outros.

- Abstração de dispositivos. Suporta JavaMIDI, JSyn, MidiShare, JavaSound em um nível que oculta essas implementações.

- Inclui JScore: um editor de notação musical comum extensível algoritmicamente com um plugin de transformação algorítmica (API).

- Pode ser baixada livremente na Web e o compositor pode criar aplicações “stand-alone” ou organizá-las em “applets” na Web.

SMDL

(COVERPAGES, 1995)

A Linguagem de Descrição Musical Padrão (Standard Music Description Language - SDML), define uma linguagem para representação da informação musical, tanto isolada quanto conjunta com textos gráficos ou outras informações necessárias para publicação ou outros propósitos. Informação de tempo de seqüência multimídia também é suportada.

SDML é uma aplicação HyTime conforme o padrão internacional ISO/IEC 10744 Hypermedia e linguagem estruturada baseada em tempo, e uma aplicação SGML conforme o padrão internacional ISO 8879 Standard Generalized Mark-up Language. É uma linguagem de marcação baseada em texto similar ao HTML e permite que um documento seja escrito com uma hierarquia de elementos lógicos.

Um exemplo de código contendo uma nota e uma pausa:

```
<ces id=ces4>
<pitched
exspec=exlist1><nompitch><gampitch><pitchnm>c</pitched>
<rest exspec=exlist1></rest>
</ces>
```

4ML

(COVERPAGES, 2001)

4ML é uma linguagem de marcação para música e letra escrita em XML. A idéia é fornecer uma forma independente de plataforma, flexível e simples de se escrever música e letra podendo ser usada por músicos e programadores.

Uma música no formato 4ML pode ser interpretada de várias formas dependendo da aplicação. Algumas delas:

- Uma música que precisa ser escrita uma pauta musical padrão.

- Letras para música com acompanhamento simplificado de acordes para guitarra pode ser um tipo de saída.

- Música pode ser tocada no alto-falante.

- Produzir um arquivo MIDI.

- Escrever uma música com tablatura para guitarra.

- Mostrar letras na tela com um estilo de ponto de acompanhamento do tipo Karaokê.

Os autores de 4ML vislumbram uma grande comunidade de compositores de letras e músicas que pode trabalhar juntos em projetos musicais independente de local, de acordo com as características Web das linguagens de marcação. Uma vez produzida, a música pode ser distribuída usando-se a linguagem 4ML e pode também ser convertida em vários formatos apenas pressionando-se um botão.

4ML permite a especificação de diretivas do tipo andamento e expressividade, por exemplo, sendo que para o seu uso basta ter o conhecimento do uso de HTML. Ouvir e imprimir músicas é tão simples quanto o uso do browser, enquanto a criação do código é feita automaticamente por editor 4ML.

Exemplo de uma maneira de executar um Ré (D) na segunda oitava:

```
<NOTE pitch="D:2" />
```

Também pode ser escrito na forma reduzida, digitando-se fora dos sinais de maior/menor o seguinte:

```
.D:2
```

Ambas as sintaxes funcionam e podem ser usadas alternadamente dentro de um elemento, embora o recomendado seja o formato resumido (o segundo) para escrever o 4ML e então usar um conversor para tornar para o modo de comandos o documento inteiro.

OpenMusic

(IRCAM, 2004c)

É um ambiente de programação visual para criação de aplicações para composição musical auxiliada por computador para a plataforma Macintosh, desenvolvido no IRCAM (IRCAM, 2004d) por Gerard Assayag e Carlos Agon.

A principal característica é a fácil programação de módulos visuais com funções específicas que necessitam apenas ser conectados entre si, usando-se o mouse, para criar programas chamados patch para geração ou transformação musical. Usa editor musical para notação musical comum e polifonias complexas e trabalha com os formatos Wave e MIDI.

Open Music é essencialmente uma interface visual para a linguagem Lisp, que traz uma variedade de sub-rotinas embutidas e estruturas abstratas representadas por ícones. Os compositores constroem programas em OpenMusic arrastando os ícones dentro do ambiente (chamado patch Window) e ligam os seus respectivos inlets e outlets (entradas e saídas) por meio de “fios”. O fundamento da programação nessa linguagem é a construção de blocos chamados de módulos que vão desde operadores lógico-matemáticos até geradores musicais e editores gráficos. Por trás desta interface, os pilares que suportam essa abordagem de programação visual é o paradigma favorecido por MCLs e CLOS (Common Lisp Object System), conhecido na programação orientada a objetos.

A configuração mínima para executar OpenMusic é um Power Macintosh, OS 8+, 64 MB de memória RAM livres, 120 MB de disco rígido. Trabalha com os formatos de arquivos AIFF, MIDI, SDIF, Csound. Compatível também com MidiShare e OMS.

JavaSound

(SUN MICROSYSTEMS, 2004)

É uma API do Java que especifica mecanismos para capturar, processar e reproduzir dados de áudio e MIDI promovendo flexibilidade e extensibilidade. É um mecanismo de 64 canais para renderização de áudio e controlador MIDI de síntese que oferece confiança e alta qualidade sonora em todas as plataformas Java 2. Também suporta um conjunto de bancos sonoros General MIDI de alta qualidade.

Segundo os seus fabricantes os maiores benefícios são a consistência, a confiabilidade e a alta qualidade de áudio em todas as plataformas baseadas em Java. Os desenvolvedores têm a certeza de que seu áudio será reproduzido com fidelidade nessas plataformas, necessitando apenas um conversor para áudio digital simples (DAC).

Java Sound faz pequeno uso da CPU para processar arquivos de som, por exemplo, um MIDI de 24 vozes usará apenas 20% da CPU de um sistema com Pentium 90 MHz. Os formatos de áudio suportados são AIFF, AU e WAV. Também suporta o padrão MIDI SMF tipo 0 (Standard MIDI File), SMF tipo 1 e RMF.

Como pode ser usado via applets Java Sound se torna uma boa opção em termos de portabilidade rodando em navegadores ("browsers") da Internet.

jMAX

(IRCAM, 2004a)

É um ambiente para programação visual altamente modular para performances multi-modo e música em tempo-real desenvolvido pelo IRCAM. Proporciona também conexão para sistemas de performance, processamento de vídeo e sistemas de áudio 3D avançados. A separação do mecanismo de tempo-real escrito em C da interface em Java, garante a portabilidade em várias plataformas.

Algumas das principais características:

- jMax é projetado para compositores desenvolver tipos de transformação sonora para performances ao vivo. Vários tipos de tecnologias ("score-following", por exemplo) tornam possível a

coordenação de processamento sonoro ao vivo enquanto é executado.

- Pode ser usado para projetar e controlar qualquer tipo de processador de áudio em tempo-real. Um estúdio de gravação pode usar jMax para seqüenciamento, síntese sonora e espacialização.

- Sistemas de computação gráfica podem ser sincronizados com jMax para gerenciar síntese sonora em tempo-real. Dispositivos de entrada de todos os tipos e controladores gestuais podem também ser usados para mapear interatividades adicionais ao jMax.

- É uma ferramenta ideal para a criação rápida de protótipos de aplicações de processamento de áudio em tempo real. Com o kit do desenvolvedor é possível escrever módulos na linguagem C para o Kernel ou criar aplicações em Java nas quais também pode se comunicar com o kernel.

- Um programa em jMax é um patch, uma coleção gráfica de módulos interconectados. Usando-se apenas o mouse o usuário pode criar programas ao conectar módulos padrão do kernel ou outros encontrados nas bibliotecas suplementadas por jMax

Outras características:

- Síntese aditiva.
- Síntese formante (fof/Chant synthesis, patented PAF synthesis).
- Síntese granular e wavetable.
- Síntese granular alinhada ao tom.
- Transformações de Fourier (Phase Vocoder, cross-synthesis, filtering).

- Efeitos clássicos (chorus, harmonizer, time stretching, etc.).

- Áudio 3D.

- Análise em tempo real (pitch, amplitude, partial, formant detection).

- Seqüenciamento e controle de dispositivo externo (MIDI e portas seriais).

As plataformas suportadas pelo IRCAM são Mac OS X and FireWire based audio solutions, Linux and ALSA audio and MIDI drivers e SGI and ADAT multichannel audio.

Tabela 5: Síntese das linguagens, ferramentas e ambientes de programação para computação musical.

	Interface com o usuário	Plataforma	Formato	Forma de programação
Music XML	Texto	Web	MIDI	Tags do tipo HTML
JMSL	Gráfico/texto	Que possua JVM ou Web (applet)	MIDI	Script/applet
SMDL	Texto	Web	MIDI	Tags do tipo HTML
4ML	Texto	Web	MIDI	Tags do tipo HTML
OpenMusic	Gráfico (ambiente visual próprio)	Macintosh	Áudio/MIDI	Conexão visual de objetos sonoros
JavaSound	Gráfico/texto	Web	Áudio/MIDI	Script/applet
jMax	Gráfico (ambiente visual próprio)	Macintosh/Linux	Áudio/MIDI	Conexão visual de objetos sonoros

TENDÊNCIAS

Esta seção se destina a fornecer resumidamente uma visão panorâmica dos tópicos de pesquisa mais recentes dentro da computação musical. Entretanto é possível um aprofundamento nesses temas seguindo as referências citadas ao longo dos textos das subseções. São abordados os temas de Inteligência Artificial e Música, Música Evolutiva, Autômatos Celulares e Interfaces Gestuais para Controle Musical. Grande parte destes temas estão baseados na pesquisas do Prof. Eduardo Miranda (MIRANDA, 2004), colaborador do Grupo de Computação Musical da UFRGS.

Inteligência Artificial e Música

A Inteligência Artificial tem desempenhado um importante papel na história da computação musical, praticamente desde o seu surgimento nos anos 50. Basicamente são 3 os tipos de sistemas musicais computacionais baseados em IA: sistemas compositionais, sistemas de improviso e sistemas para performance musical, embora os dois primeiros tenham sido mais enfocados pelas pesquisas recentes. A idéia básica aplicada aos sistemas de performance musical é tentar capturar o "toque" ou "feeling" do músico, ou seja, o conhecimento aplicado por meio de regras

quando uma partitura é tocada. O conhecimento da performance não diz respeito somente a características técnicas mas também aos aspectos afetivos implícitos na música, o que é adquirido pelo homem através de um longo processo de observação e imitação. Mais detalhes podem ser vistos em (COPE, 2004) e (MIRANDA, 2000).

Música evolutiva

Computação evolutiva é uma ferramenta poderosa para estudar as origens e evolução da música. Música, neste caso, é estudada como um sistema dinâmico complexo e adaptativo e sua origem e evolução são estudadas no contexto das convenções culturais que podem emergir de aspectos psicológicos, sociológicos e ecológicos. Alguns experimentos realizados incluem sociedades de agentes computacionais onde compositores são “machos” e as “fêmeas” são os críticos. Outros experimentos envolvem comunidades de agentes autônomos dotados de um sintetizador vocal, ouvido e memória.

Autômatos celulares

Consiste em um grupo de células que evoluem no tempo seguindo uma regra pré-definida. A cada segmento de tempo, todas as células trocam seus estados dependendo das condições das células vizinhas. Começando com um estado aleatório, o autômato celular rapidamente decide a formação de padrões de oscilação eventuais e orgânicos. Quando isto é traduzido para o som, uma complexa evolução de formas de onda é gerada com uma rica textura. O software Chaosynth (HARMONY CENTRAL, 1999) é um sintetizador que usa autômato celular e síntese granular para criar novos tipos de sons para músicos eletrônicos.

Interfaces de controle gestual de música

Esta área envolve além dos conceitos de computação musical também os de interação humano-computador e está focada nos diferentes tipos de sensores e seus usos expressivos em dispositivos para controlar instrumentos eletrônicos. Tópicos mais específicos podem abranger, por exemplo, conceitos de instrumentos musicais virtuais, técnicas de captura gestual, estratégias de mapeamento gestual, respostas sensitivas, etc. Outras tendências sobre controle gestual de música podem ser encontrados em (WANDERLEY & BATTIER, 2000).

Pesquisas do Grupo de Computação Musical da UFRGS

Nesta seção apresentamos algumas das pesquisas que estão sendo desenvolvidas no Brasil, especificamente no Grupo de Computação Musical da UFRGS, que resultaram em Tese de Doutorado e Dissertações de Mestrado, assim identificados no texto. Um resumo de cada trabalho é apresentado para que o leitor tenha idéia dos temas abordados. Outras informações poderão ser encontradas no site do CME – Centro de Música Eletrônica da UFRGS, acessível em <http://www.musicaeletronica.ufrgs.br> ou diretamente com os autores.

Polvo Violonista

Autor: Leandro L. Costalonga (Dissertação de Mestrado)

“Polvo Violonista” é um sistema capaz simular performances rítmicas no violão imitando, principalmente, a interação entre as mãos do violonista, computacionalmente representadas por agentes.

O sincronismo entre os agentes, somado ao conhecimento e restrições intrínsecas de cada um, leva o sistema (comunidade

multiagente) a tomar as decisões que permitem a geração do som. De maneira simplificada, pode-se afirmar que a mão esquerda do violonista é responsável pela montagem e execução dos acordes, ao passo que a mão direita determina e trata de aspectos e efeitos rítmicos.

Através desta visão computacional agentificada, pode-se extrapolar algumas características humanas do violonista e, por exemplo, imaginá-lo com mais de uma direita ou executando técnicas rítmicas impossíveis (ou muito difíceis) aos humanos.

Este trabalho tem como foco o ritmo em uma notação popular para músicos (ou aprendizes) sem uma formação acadêmica. A popularização do conhecimento musical está embasada em pesquisas que demonstram a falta de conhecimento acadêmico de música entre pessoas que tocam algum instrumento (amadores). O objetivo é conseguir representar computacionalmente padrões rítmicos para violão e trabalhá-los de forma a obter novas sonoridades.

Os usos da Inteligência Artificial através de redes neurais vêm contribuir no reconhecimento automático de padrões rítmicos, proposição de novos arranjos ou simplesmente uma nova digitação baseando-se no padrão rítmico; Enfim, não faltam possibilidades para integração da Música com a Computação, em especial com a Inteligência Artificial.

CODES

Autor: Evandro Manara Miletto (Dissertação de Mestrado)

CODES (Cooperative Sound Design) é um ambiente para prototipação musical cooperativa na Web destinado a usuários de computador entusiastas de música (ou até mesmo músicos) que desejam prototipar e compartilhar suas idéias musicais, interagindo entre si e com o ambiente. Embora seja um trabalho multidisciplinar, o foco desta pesquisa será principalmente nos aspectos tecnológicos de computação musical e interação humano-computador (IHC).

CODES associa conceitos de IHC, Computer Music e CSCW para permitir que pessoas possam experimentar a sensação de criar e desenvolver suas habilidades artísticas e culturais através da música.

Acreditamos que é possível fomentar cada vez mais o interesse pela música usando formas alternativas para experimentação sonora e fomentando a interação entre os interessados. Mesmo apresentando algumas restrições relativas ao tráfego de informações a tecnologia da Internet faz com que o computador se direcione definitivamente como uma ferramenta para realizações musicais. Exemplos das suas possibilidades é a chamada ciberarte, onde uma das características mais constantes é a participação do público como uma espécie de co-produção da obra pela intervenção direta dos seus participantes.

O sistema fornece possibilidades para os usuários criarem exemplos de música (protótipos) de que podem ser testados, modificados e escutados constantemente, tanto pelo seu criador inicial quanto pelos seus “parceiros” irão cooperar para o refinamento deste protótipo musical.

Uma Abordagem Multiagente para Sistemas Musicais Interativos

Autor: Rodolfo D. Wulfhorst (Dissertação de Mestrado)

O presente trabalho propõe um modelo de um sistema multiagente para o domínio musical. Acredita-se que muitos problemas da computação musical podem ser abordados através de sistemas multiagentes musicais. A proposta é baseada em uma comunidade de agentes que interagem através de eventos musicais (MIDI) simulando o comportamento de um grupo musical. É a

presentado um sistema inteligente de acompanhamento rítmico como estudo de caso. Neste sistema, os agentes sintéticos e o humano ouvem um ao outro tendo capacidade de tocar seus instrumentos de forma sincronizada.

Conceitos e Tecnologias para Educação Musical Baseada na Web

Autor: Luciano Vargas Flores (Dissertação de Mestrado)

Este trabalho pretende fundamentar e investigar possibilidades em educação através da Web. Para tanto, investiga como desenvolver adequadamente sistemas educativos musicais aproveitando a principal vantagem que a Web oferece: facilitar a disponibilização e o acesso ao conteúdo educativo.

A Internet continua impondo sérias limitações ao emprego de multimídia e ainda mais quando os seus dados representam informações sonoras e musicais. Devido a isso, os poucos estudos existentes optam ou por uma simplificação exagerada do sistema ou por soluções proprietárias muito complicadas que podem reduzir a facilidade de acesso do público-alvo. Assim, esta pesquisa procura encontrar um meio-termo: uma solução de compromisso entre a funcionalidade que se espera de tais sistemas, a sua operacionalidade e a simplicidade que a Internet ainda impõe.

Para atingir esse objetivo, o trabalho se concentra em promover a interatividade entre o aluno e um ambiente de aprendizado deistribuído para o domínio musical, buscando fundamentar essa interatividade a partir de:

a) conceitos pertinentes a uma interação de boa qualidade para propósitos de ensino/aprendizagem e

b) adoção de tecnologias da Web para música que permitam a implementação adequada desses conceitos.

Trata-se, portanto, de uma pesquisa interdisciplinar envolvendo principalmente estudos das áreas de IHC, Educação Musical e Multimídia.

Um protótipo para investigar uma solução deste problema é apresentado, o INTERVALOS, que é um sistema educativo-musical na Web. Este protótipo visa auxiliar o ensino aprendizagem da teoria de intervalos, arpejos e escalas musicais e pode ser integrado a um ambiente mais completo de educação musical na Web, incluindo as demais tecnologias da Internet necessárias para implementar ensino a distância de música nesse meio.

MEPSOM

Autor: Eloi F. Fritsch (Tese de Doutorado)

O MEPSOM – Método de Ensino de Programação Sônica para Músicos, consiste em um sistema de computação que disponibiliza um conjunto de atividades para programação de software musical composto de exemplos e exercícios. O método foi idealizado para ser uma ferramenta de auxílio ao professor em cursos de computação musical, disponibilizando recursos didáticos para o ensino de programação nas áreas de composição e educação musical.

Este método foi implementado sob a forma de programas de computador e utilizado em cursos de computação musical na UFRGS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCELA, A. **A Linguagem SOM-A para Síntese Aditiva**. In: Simpósio Brasileiro de Computação e Música, 1., 1994, Caxambu - MG. Anais... Belo Horizonte: Escola de Música / UFMG, 1994.

BOULANGER, R. **cSounds.com - Almost Everything Csound**. Disponível em <http://www.csounds.com>. Acessado em abril de 2004.

BURK, P.; DIDKOVSKY, N. **JMSL Home**. 2001. Disponível em <http://www.algomusic.com/jmsl>. Acessado em abril de 2004.

CHOWNING, J. M. **The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation**. Journal of the Audio Engineering Society 21(7):526-534. [S.l.: s.n.], 1973. (Reprinted in Computer Music Journal 1[2]:46-54, 1977).

COPE, D. **Experiments in Musical Intelligence**. Disponível em <http://arts.ucsc.edu/faculty/cope/experiments.htm>. Acessado em abril de 2004.

COVERPAGES. **SGML: SMDL Overview**. 1995. Disponível em <http://xml.coverpages.org/smdlover.html>. Acessado em abril de 2004.

COVERPAGES. **Music and Lyrics Markup Language (4ML)**. 2001. Disponível em <http://xml.coverpages.org/ni2001-03-03-b.html>. Acessado em abril de 2004.

DANNENBERG, R. B. **Nyquist Info**. Disponível em <http://www.cs.cmu.edu/~music/nyquist>. Acessado em abril de 2004.

DE POLI, G. **A Tutorial on Digital Sound Synthesis Techniques**. In: ROADS, C. (Ed.). The Music Machine. [S.l.: s.n.], 1989. p.429-447.

HARMONY CENTRAL. **Nyr Sound Releases Chaosynth for Windows**. 1999. Disponível em <http://news.harmony-central.com/Newp/1999/Chaosynth.html>. Acessado em abril de 2004.

INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC ASSOCIATION. Disponível em <http://www.computermusic.org>. Acessado em abril de 2004[a].

INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC ASSOCIATION. **ICMC**. Disponível em <http://www.icmc2004.org> e http://www.computermusic.org/icmc/icmc_main_frameset.html. Acessado em abril de 2004[b].

IRCAM. **jMax - Real Time Music and Multimedia Interaction**. Disponível em <http://www.ircam.fr/produits/logiciels/jmax-e.html>. Acessado em abril de 2004[a].

IRCAM. **MAX - Real Time DSP & MIDI Programming Environment**. Disponível em <http://www.ircam.fr/produits/logiciels/max-e.html>. Acessado em abril de 2004[b].

IRCAM. **OpenMusic - Computer Aided Composition**. Disponível em <http://www.ircam.fr/produits/logiciels/openmusic-e.html>. Acessado em abril de 2004[c].

IRCAM. **Serveur WWW de l'Ircam**. Disponível em <http://www.ircam.fr>. Acessado em abril de 2004[d].

KON, F. **Brazilian Symposium on Computer Music Archive**. Disponível em <http://gsd.ime.usp.br/sbcm>. Acessado em abril de 2004.

- McQUEER, R. **The USENET MIDI Primer**. 1989. Disponível em <http://mitpress2.mit.edu/e-journals/Computer-Music-Journal/links/midi/index.html>. Acessado em abril de 2004.
- MIDI MANUFACTURERS ASSOCIATION. Disponível em <http://www.midi.org>. Acessado em abril de 2004.
- MIRANDA, E. R. (Ed.). **Readings in Music and Artificial Intelligence**. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 2000.
- MIRANDA, E. R. **Neuromusic**. Disponível em <http://neuromusic.soc.plymouth.ac.uk>. Acessado em abril de 2004.
- MIT PRESS. **Leonardo Music Journal**. Dec. 2003. Disponível em <http://mitpress2.mit.edu/e-journals/Leonardo/Imj>. Acessado em abril de 2004.
- MIT PRESS. **Computer Music Journal**. Disponível em <http://mitpress2.mit.edu/e-journals/Computer-Music-Journal> e <http://mitpress.mit.edu/cmj>. Acessado em abril de 2004[a].
- MIT PRESS. **The Csound FrontPage @ MIT Press**. Disponível em <http://mitpress.mit.edu/e-books/csound/frontpage.html>. Acessado em abril de 2004[b].
- MOORE, F. R. **pcmusic Information**. 1995. Disponível em <http://www.crca.ucsd.edu/cmucic/cmucicpc.html>. Acessado em abril de 2004.
- PALOMBINI, C. **The Brazilian Group for Computer Music Research: A Proto-History**. *Leonardo Music Journal*, [S.l.], v.10, p.13-20, 2000.
- RECORDARE. Disponível em <http://www.recordare.com>. Acessado em abril de 2004[a].
- RECORDARE. **MusicXML Definition**. Disponível em <http://www.recordare.com/xml.html>. Acessado em abril de 2004[b].
- RISSET, J.-C. **An Introductory Catalog of Computer Synthesized Sounds**. Murray Hill, New Jersey: Bell Laboratories, 1969.
- ROADS, C. **Automated Granular Synthesis of Sounds**. *Computer Music Journal* 2(2):61-62. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1978.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. **Portal de Informações da SBC: Comissão Especial de Computação Musical**. Disponível em <http://www.sbc.org.br/index.php?subject=46>. Acessado em abril de 2004[a].
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. **SBC2003 - SBCM**. Disponível em <http://www.nics.unicamp.br/nucom/portugues>. Acessado em abril de 2004[b].
- SUN MICROSYSTEMS. **Java Sound API**. Disponível em <http://java.sun.com/products/java-media/sound>. Acessado em abril de 2004.
- W3C. **World Wide Web Consortium**. Disponível em <http://www.w3.org>. Acessado em abril de 2004.
- WANDERLEY, M.; BATTIER, M. **Trends in Gestural Control of Music**. [S.l.]: Ircam - Centre Pompidou, 2000.
- XENAKIS, I. **Formalized Music**. Bloomington, Indiana: Indiana University Press, 1971.

ANEXO 1

Tabela 6: Plataformas e endereços na Internet dos softwares exemplos.

SOFTWARES PARA ACOMPANHAMENTO		
Nome	Plataforma	Endereço na Internet
Arranger's tool	Windows	http://www.catovah.com/at.htm
Band-in-a-box	Windows, Mac, Atari	http://www.pgmusic.com/
CAMPS	Windows	http://www.campspro.com/win4/
Jammin'keys	Windows	http://www.voyetra.com/site/products/dl_products/serieshome.asp
Visual Arranger	Windows, Mac	http://www.yamaha.co.uk/xg/html/products/p_visual.htm
Winchime	Windows	http://www.sagebrush.com/winchime.htm
SOFTWARES PARA EDIÇÃO DE PARTITURA		
Sibelius	Windows, Mac	http://www.sibelius.com/
Encore	Windows, Mac	http://www.gvox.com/
Finale	Windows, Mac	http://www.codamusic.com/coda/
SOFTWARES PARA GRAVAÇÃO DE ÁUDIO		
Pro Tools	Windows, Mac	http://www.protools.com/
Sonar	Windows	http://www.cakewalk.com/Products/Recording.asp
Logic Áudio	Windows, Mac	http://www.emagic.de/english/products/logic/las.html
Saw Studio	Windows	http://www.sawstudio.com/
Sound Forge	Windows	http://www.sonicfoundry.com/
SOFTWARES PARA INSTRUÇÃO MUSICAL		
Pro Tools	Windows, Mac	http://www.protools.com/
Samplitude	Windows	http://europe.magix.com/index.php?452
Elements of Music	Windows, Mac	http://www.ecsmedia.com/indivprods/museum.shtml
Musique	Windows, Mac	http://www.ecsmedia.com/indivprods/musmusique.shtml
Keyboard Intervals	Windows, Mac	http://www.ecsmedia.com/indivprods/muskeyintrvl.shtml
SOFTWARES PARA SEQUENCIAMENTO		
Cubase	Windows, Mac	http://www.steinberg.net/
CakeWalk	Windows	http://www.cakewalk.com/
Logic Áudio	Windows, Mac	http://www.emagic.de/english/products/logic/las.html
Vision	Mac	http://www.opcode.com/products/visiondsp/
SOFTWARES PARA SÍNTESE SONORA		
Vaz	Windows	http://www.software-technology.com/
Max/MSP	Mac	http://www.cycling74.com/products/maxmsp.html
Csound	Windows, Mac, Linux	http://www.csounds.com/

* Em se tratando de endereços na Internet, alguns poderão eventualmente estar indisponíveis.