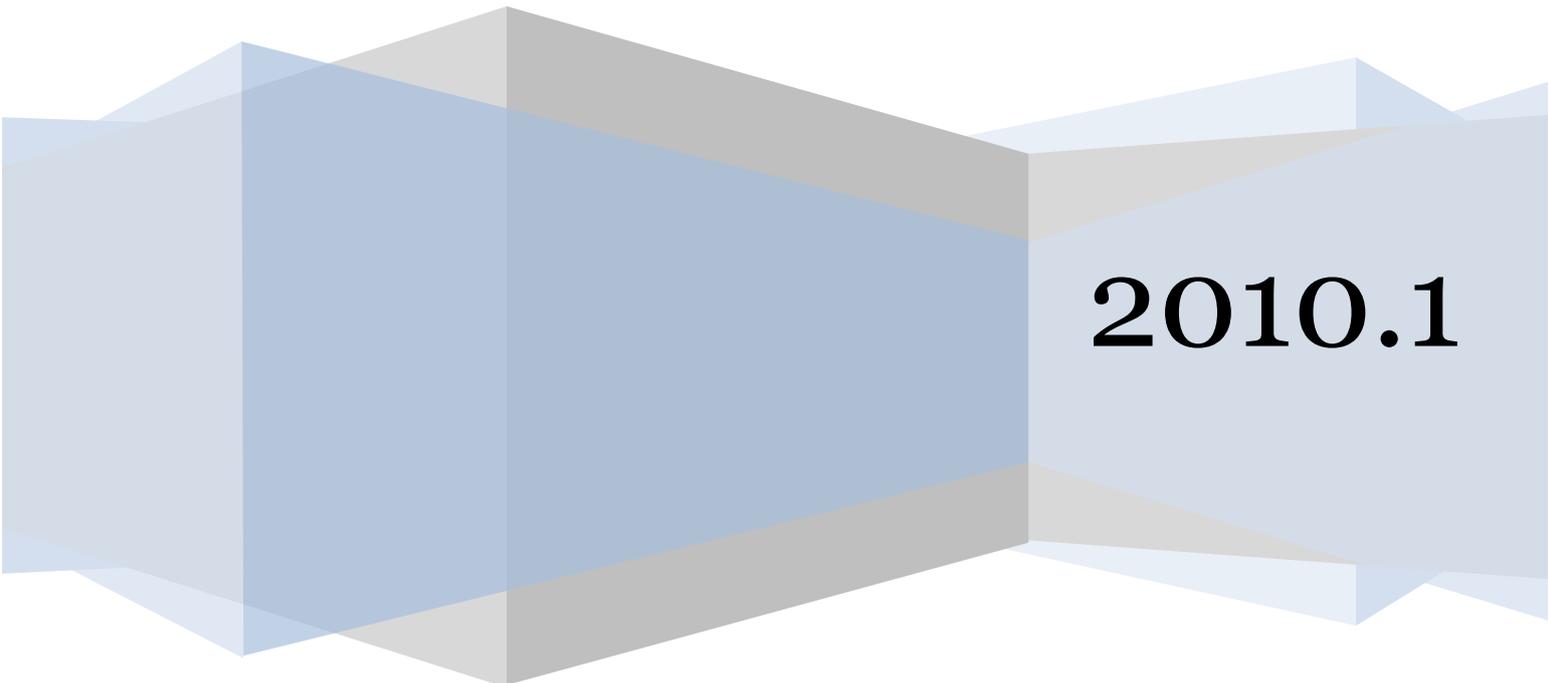


**Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática**

Estudo de geração de música baseada em gestos do usuário

Computação Musical

**Aluno: Filipe Calegario
Orientador: Geber Ramalho**



2010.1

Sumário

Introdução	5
Motivação	5
Problema.....	6
Abordagem	6
Partes do documento.....	7
Capítulo 1: Objetivo.....	8
Capítulo 2: Background e Trabalhos Relacionados	9
O que é música agradável?	9
Composição Algorítmica	9
Recombinação de Padrões e Sequência	10
Autômatos Celulares.....	10
Cadeias de Markov.....	11
Regras e Restrições.....	12
Gramáticas	12
Música Interativa	13
Trabalhos Relacionados	14
Musikalisches Würfelspiel – Jogo de Dados de Mozart	14
Illiac Suite	14
Experiments in Music Intelligence.....	15
Continuator.....	16
Wolfram Tones	16
band-in-a-box	17
SaxEx.....	18
Director Musices.....	19
Theremin.....	20
Hyperinstruments	20
Radio Baton	21
Very Nervous System.....	21
Variations V	22
SICIB.....	23
BigEye	24
GMS	24
Wii Music	25
Guitar Hero e Rock Band	26
One Man Band	27
Capítulo 3: Conceito do Projeto.....	28

Requisitos do sistema.....	28
Gerar um resultado musical agradável	28
Voltado para leigos em música.....	28
Fazer o usuário se sentir parte da composição musical.....	28
Fazer o usuário se sentir interferindo e controlando a música	29
Interação natural, simples e intuitiva	30
Controles e Movimentos	30
Movimento dos braços	30
Movimento do punho	31
Movimento no joystick	32
Controle para o fluxo da música.....	32
Controle para notas individuais	32
Controles Diversos.....	32
Funcionamento	32
Capítulo 4: Implementação	33
Esquema do Projeto	33
Módulos	33
Entradas e Módulo de Controle	33
Módulo de Mapeamento.....	34
Módulo de Execução.....	34
Módulo de Análise	34
Módulo de Geração.....	34
Módulo de Síntese e Saída.....	35
Capítulo 5: Avaliação	36
Metodologia.....	36
Variáveis	36
Cenários	36
Protocolo de experimento	37
Avaliação Formativa.....	37
Questionários e Entrevistas	37
Questionário	37
Tópicos abordados na entrevista.....	38
Capítulo 6: Resultados	39
Aleatoriedade.....	39
Liberdade e controle.....	39
Excesso de informação	39
Intervalo de Mapeamento	40
Reatividade.....	40
Analogia com instrumentos reais	40
Sincronia.....	40

Movimentos simples, não tão intuitivos	41
Feedback visual	41
Objetivo, Desafio e Envolvimento.....	41
Conclusão	42
Trabalhos Futuros	42
Referências.....	43

Introdução

Motivação

O ato de tocar e criar uma música é uma atividade intrinsecamente motivadora. A sensação de participar da execução de uma música e de estar influenciando o seu resultado gera o que os estudiosos da área chamam de estado de fluxo. Como podemos ver em (Dillon, 2003), o impacto do fluxo musical tanto em crianças quanto em adultos é objeto de vários estudos.

Na tentativa de compartilhar esta sensação e alcançar pessoas com menos técnica e experiência em música, a composição musical automática há muito tempo chama atenção dos músicos e cientistas.

Mozart já anunciava, no século XVIII, o seu Jogo de Dados Musical. Nas instruções da partitura que servia de base para o jogo, podemos ver claramente a intenção do artista em fazer com que leigos em música tivessem a sensação de compor uma peça musical:

“To compose without the least knowledge of Music so much German Walzer or Schleifer as one pleases, by throwing a certain number with two dice” (Mozart, 1793).

Já no século XIX, nos EUA, algumas soluções comerciais como o *Kaleidacousticon* apareceram. Trava-se de um baralho de cartas musicais e um conjunto de instruções indicando como compor mais de 214 milhões de valsas com a combinação das seqüências melódicas presentes nas cartas (Roads, 1996).

Na Figura abaixo, podemos ver um anúncio do *GENIAC Electric Brain* anunciado numa revista popular de 1958 (Roads, 1996).

New! A MACHINE THAT COMPOSES MUSIC

Actual tune composed on GENIAC

**COMPUTES, "REASONS"
PLAYS GAMES**

**GENIAC
ELECTRIC BRAIN**

BUILD IT YOURSELF in a few hours!

Yes, you build any one of 33 exciting electric brain machines in just a few hours by following the clear-cut, step-by-step directions given in a thrilling booklet! No soldering required... no wiring beyond your skill! GENIAC is a genuine brain machine—not a toy. The only logic machine kit that not only aids, substitutes, etc., but overcomes the basic laws of cybernetics, Boolean algebra, symbolic logic, automation, etc. So simple to construct that even a twelve-year-old can make a machine that will fascinate people with advanced scientific training! With the special circuitry of GENIAC, the Electric Brain Construction kit, you can compose tunes automatically. These new circuits were never available before!

OVER 400 COMPONENTS AND PARTS. Circuits operate on one flashlight battery, and the use of ingeniously designed parts makes building circuits one of the most fascinating things you've ever done! You set up problems in a variety of fields—and get your answers quicker than you can set them up! Play games with the machine—win, lose—or, etc.—and pit your brain against its logic! Solves puzzles in a few seconds that would take you hours without the aid of the machine. You actually see how computing and problem-solving is analyzed with algebraic solutions transferred directly into circuit diagrams.

YOUR COST FOR GENIAC KIT: only \$19.95 postpaid. The 1958 Model GENIAC KIT contains: (1) a complete 100-page text, "Brains and Machines" —a basic introduction to computers. (2) Ten theory and circuits with specific instructions for building circuits. (3) Wiring Diagram Manual. A special booklet with full scale diagrams that you can tear out and place on your work bench for easy assembly. (4) Beginner's Manual. Starting from scratch, the manual adds extra experiments, thoroughly tested using GENIAC components to teach the basic symbols of electric circuits. (5) Over 400 components and parts. So—mail the coupon for your GENIAC today! Your money back if not delighted!

Some Firms and Institutions that have ordered GENIAC:

Alfa-Chimera	Walter V. Clark	General Insurance	Los Angeles
Bromington-Band	Associates	Co. of America	Public Schools
International	Bernard College	Lafayette Radio	Kansas State
Business	Washington	River Aircraft Co.	University
Machines	Westinghouse	Albert Einstein	Duke University
Wholesale Mfg. Co.	Electric	Medical College	Grant School
Manual Missionary	Phillips	Naval Research	Bell Telephone
College	Laboratories	Laboratories	Laboratories

K1—Only

\$19.95

(Add \$1.00 W. of Mts. \$2.00 Outside U. S.)

Além da sensação de fluxo por si só, quando amadores e estudantes tem a possibilidade de estar mais perto da composição musical, mesmo que indiretamente através de um método automático, eles desenvolvem um grande estímulo para o estudo de Música (Dillon, 2003) (Winkler, 1998).

Do ponto de vista comercial, os jogos de música muito se aproveitam desta sensação de fluxo para motivar os jogadores e os envolver ainda mais com o jogo (Miller, 2009). O sucesso de exemplos clássicos como *Guitar Hero* e *Rock Band* pode ser explicado por estes games darem aos jogadores a sensação estar tocando sem precisar saber tocar e estar influenciando a execução de uma música interessante mesmo sem ter técnica e experiência musical para isto (levando-se em consideração que a técnica usada para jogar é diferente do conceito de técnica musical) (Winkler, 1998).

As novas formas de interagir com o computador estão abrindo um grande leque de oportunidades para uma interação mais natural, quebrando o paradigma que existe há mais de 40 anos, tanto em termos de hardware (o uso mouse e o teclado), quanto em termos de conceitos como copiar e colar, salvar, janelas etc. Estamos entrando na era do design de interação. Mesmo o paradigma atual continuando a existir, o crescente poder de processamento e o surgimento de novos sensores e dispositivos de entrada, o suplementarão de forma a usarmos o corpo humano de forma ampla. Sem dúvida estamos entrando na era de interatividade por gestos e movimentos (Saffer, 2008).

O uso de novas técnicas interativas convidam os participantes ao processo de criação musical permitindo de forma natural que não-músicos tenham o sentimento de estarem ativamente participando da improvisação da música (Winkler, 1998).

Problema

Composição musical pode ser entendida como um problema de se trabalhar com idéias musicais. A memória auditiva, que é diretamente ligada a experiência de audições no decorrer da vida, é parte fundamental na formação dessas idéias. Portanto, o nível de qualidade de uma composição está diretamente ligado a experiência musical do compositor (Lima, 1998)(Smoliar 1991).

Improvisar, que é um ato puramente interativo, é uma atividade ao mesmo tempo fascinante e frustrante. Fascinante pela já explicada anteriormente sensação de fazer parte da execução da música e frustrante pois requer muita técnica e experiência para se ter um bom resultado (Pachet, 2003). A boa junção entre o pensamento musical e a coordenação motora é muito importante para se ter um bom resultado em uma improvisação, habilidade que se adquire com anos de experiência. E mesmo experiente o músico, além da sua técnica, está limitado pela morfologia do seu instrumento (Pachet, 2003).

Dessas reflexões surgem as seguintes perguntas:

- Como fazer com que usuários com pouca ou nenhuma experiência se sintam parte de uma composição e execução de uma música?
- Como fazer com que o resultado seja musicalmente agradável e faça sentido mesmo que o usuário não tenha conhecimento musical?
- Como dar a sensação de estar no controle da música a partir de gestos ou movimentos simples e intuitivos?
- Como fazer um leigo ou iniciante em música se sentir improvisando?

Abordagem

A idéia deste projeto é estudar conceitos e trabalhos relacionados com composição algorítmica e música interativa com o intuito de criar um protótipo funcional que permita que usuários leigos ou iniciantes em música tenham a sensação de estarem improvisando uma melodia consistente e interessante a partir dos seus movimentos.

Partes do documento

No Capítulo 1 serão apresentados os objetivos deste trabalho.

No Capítulo 2 será apresentado o conceito de música agradável, além de descrever algumas técnicas de composição algorítmica e música interativa. Também nesse capítulo serão descritos alguns projetos relacionados ao tema deste trabalho.

No Capítulo 3 será apresentado o conceito do projeto, levantando seus requisitos para cumprir os objetivos apresentados no Capítulo 1.

No Capítulo 4 será dada uma descrição da implementação do sistema desenvolvido, explicando como funcionam os seus módulos.

No Capítulo 5 serão descritas as técnicas utilizadas na experimentação do protótipo funcional e o roteiro seguido nos testes.

No Capítulo 6 serão apresentados os resultados dos experimentos e discutidos alguns pontos para o melhoramento do protótipo.

Capítulo 1: Objetivo

O objetivo deste projeto é, a partir da análise das referências bibliográficas e dos projetos relacionados, construir um protótipo funcional de um sistema musical interativo que permita que usuários leigos ou iniciantes em música realizem improvisações de linhas melódicas consistentes e interessantes a partir de gestos e movimentos simples, intuitivos e naturais, se sentindo parte da execução musical e interferindo no resultado escutado.

Capítulo 2: Background e Trabalhos Relacionados

O que é música agradável?

Já que um dos objetivos do projeto é gerar música consistente, agradável e interessante, faz-se necessária a apresentação de alguns debates de como pode-se classificar uma música desta maneira.

“Podemos definir uma música como agradável quando um observador ouve uma parte da música e tem uma chance não aleatória de adivinhar a sua continuação” (Lima, 1998).

Da citação de (Lima, 1998) acima, pode-se ter a idéia que a música agradável é aquela na qual o ouvinte consegue prever os próximos passos a partir dos anteriores. Esta primeira idéia isoladamente pode dar a entender que as músicas agradáveis não tem elemento de surpresa sendo previsíveis. Esta é uma interpretação superficial da afirmação de (Lima, 1998).

A partir de (Narmour, 1990) e (Roads, 1996), a definição torna-se mais completa: quando se escuta uma música, ao mesmo tempo que está experimentando a mudança de estado do aparelho auditivo devido aos sons captados, o ouvinte está constantemente construindo expectativas sobre as próximas partes da música. Quando essas expectativas são alcançadas o ouvinte se sente satisfeito, no caso contrário, se sente surpreso ou até mesmo desapontado.

Um resultado interessante do estudo em Psicologia Cognitiva de (Narmour, 1990) é a criação de sua teoria melódica, onde são apresentados alguns padrões de expectativa de linhas melódicas extraídos de anos de pesquisa com diversos usuários.

Para tornar a música mais interessante, (Lopez de Mantaras & Arcos, 2002) afirma que a música não pode ser tão repetitiva, ou seja, ter sempre alterações na dinâmica, na altura e no ritmo, pois ele afirma que o cérebro humano é interessado em mudanças e quando estas são poucas, o cérebro depois de reconhecer a repetição deixar de classificar a experiência como surpreendente para taxá-la como monótona.

Composição Algorítmica

Podemos definir composição algorítmica como sendo a aplicação de um algoritmo bem definido no processo de composição musical com o intuito de automatizar o processo de criação (Jacob, 1996).

Há uma discussão sobre de quem seria a autoria da música no caso de uma composição algorítmica: do usuário que está utilizando o sistema ou do especialista que definiu os passos do algoritmo.

A opinião de (Jacob, 1996) é em clara quando a esta discussão: mesmo que usuário utilize o sistema de composição de música algorítmica e se sinta compondo uma música, esta música não pode ser considerada de sua autoria, mas sim do responsável

pela implementação do algoritmo, que de uma forma ou de outra escolheu os passos que poderiam ou não ser dados pelo conjunto de instruções.

Sobre o objetivo da composição algorítmica, (Jacob, 1996) explica que a criatividade pode aparecer de duas formas: genialidade e trabalho árduo e o principal objetivo da composição algorítmica é “reproduzir a metodologia criativa do compositor quando o compositor está no modo de trabalho árduo”. Ou seja, a composição algorítmica pode ser usada como uma ferramenta de auxílio ao processo criativo de um compositor.

No caso deste projeto, a composição algorítmica será usada como base para a criação de músicas de forma automática sendo suas variáveis modificadas pelo movimento do usuário.

Podemos citar alguns métodos utilizados para composição algorítmica: Modelos Matemáticos, Sistemas Baseados em Conhecimento, Gramáticas, Métodos Evolucionários, Sistemas baseados em Aprendizado, Sistemas Distribuídos e Sistemas Híbridos, para maiores informações: (Gonçalves, Lopes, & Paiva, 2009)

Abaixo serão descritas algumas técnicas de composição algorítmica de relevância para o objetivo deste trabalho.

Recombinação de Padrões e Seqüência

“Recombinancy can be defined simply as a method for producing new music by recombining extant music into new logical successions”. (Cope, 2000)

Para (McCormack, 1996) a repetição de padrões é um fenômeno que pode ser observado em todas as formas de música. Em algumas composições, padrões e seqüência são modificadas discretamente em cada repetição, todas permeando um mesmo tema central.

A técnica de recombinação se baseia no ato de produzir novos conteúdos musicais baseados na combinação de padrões e seqüências já existentes.

“O ato de recombinação de blocos de material musical tem provado ter potenciais bons resultados” (Cope, 2001). Isto acontece, pois o conhecimento musical está embutido nos fragmentos (Dahia, Santana, Ernesto, Sandroni, Ramalho, & Cabral, 2004) e o software se valendo de regras para a combinação se torna um embaralhador inteligente visando sempre melhor resultado musical.

Um ponto fraco desta técnica é que todas as possíveis seqüências unitárias precisam estar já criadas e definidas no ato de execução do programa. Isso torna o programa muito dependente do especialista que precisa criar todo o conteúdo musical a priori (Papadopoulos & Wiggins, 1999).

Autômatos Celulares

Uma boa solução para a técnica anterior é gerar automaticamente as seqüências e como podemos ver, (Burraston & Edmonds, 2000) confirma que padrões e seqüência são a base para o desenvolvimento criativo e para suprir a necessidade de criação de uma certa quantidade de seqüências automaticamente o uso de autômatos celulares é uma boa opção generativa. “Autômatos celulares são capazes de gerar uma grande variedade de comportamentos emergentes e representam uma ótima ferramenta generativa para o artista”.

Ou seja, para uma etapa do processo de geração musical visando o maior número de combinações para uma pós-seleção, o uso de autômatos celulares é recomendado. Mas vale ressaltar que apenas a etapa generativa não garante resultados com qualidade musical.

Como (Brown, 2005) relata na sua experiência de usar autômatos celulares no projeto *Appearances*, “os padrões de altura e ritmo que resultaram de mapeamentos simples de autômatos celulares se mostraram muito desiguais”.

Cadeias de Markov

O uso de cadeias de Markov foi uma das primeiras abordagens usadas em composição algorítmica com auxílio de computadores e logo se tornou uma das mais populares (Roads, 1996).

Esta estratégia se baseia num sistema de probabilidade onde os eventos futuros são dependentes do estado de um ou mais eventos que ocorreram num passado imediato.

As probabilidades da ocorrência do evento podem ser encontradas na matriz de transição de estado, que é preenchida após a análise (no contexto de aplicações musicais) de uma determinada música.

O processo se dá como no seguinte exemplo: uma música é processada lendo-se cada nota e calculando qual a probabilidade desta nota ser tocada, dada que uma ou mais notas foram tocadas anteriormente. Esta “uma ou mais notas” irão depender da escolha da janela de análise. Se uma nota depende apenas de uma nota anterior, chama-se um cadeia de Markov de primeira ordem. Se uma nota depende de duas anteriores, chama-se cadeia de Markov de segunda ordem. E assim por diante. Quando maior a janela escolhida para a análise da música, mais a música gerada será parecida em estilo com o a música base.

Segundo (Papadopoulos & Wiggins, 1999), o motivo do uso extensivo de modelos matemáticos, como cadeias de Markov, em composição algorítmica é devido a sua simplicidade, “fazendo-os bons candidatos a aplicações de tempo real”. Porém, (Papadopoulos & Wiggins, 1999) argumenta que uma das suas principais desvantagens é que se precisa de uma música base para ser analisada e a tabela de probabilidades preenchida.

Outra grande vantagem em gerar músicas usando cadeias de Markov é que esta técnica produz novos conteúdos musicais baseadas no estilo da música analisada (Pachet, 2003).

Uma das desvantagens do uso de cadeias de Markov para gerar música é que a técnica não possui informações a longo prazo, elas são restritas a janela de análise (Pachet, 2003). Porém, esta desvantagem se torna irrelevante para casos onde a cadeia de Markov é usada em abordagens interativas, já que a necessidade de instantaneidade e reatividade da interatividade remete apenas a resoluções de curto prazo.

		Destination states				
		G	A	C	D	E
Source states	G	.5	0	.5	0	0
	A	0	.25	.25	.25	.25
	C	.25	.25	.25	.25	0
	D	.5	0	.5	0	0
	E	.33	0	0	.33	.33

Regras e Restrições

O uso de regras e restrições na composição algorítmica é uma técnica usada para diminuir o universo de possibilidades de escolha de certas variáveis para que a música fique melódica, harmônica e ritmicamente consistente. Um exemplo básico é restringir as notas tocadas apenas a uma escala ou limitar as suas durações a células rítmicas pré-definidas (Pachet & Roy, 2001).

Dado que quando se modela o estilo de composição de uma música, as regras podem se tornar muito complexas e abstratas (Anders, 2003), o uso desta técnica é simplificado cobrindo apenas regras de teoria musical e não de estilo.

“Quando uma tonalidade é definida como a tonalidade principal de uma peça musical, as notas da escala correspondente são consideradas mais importantes do que as notas fora da escala. Algumas notas são consideradas proibidas por serem dissonantes e não agradáveis aos ouvidos” (Pachet & Roy, 2001).

Gramáticas

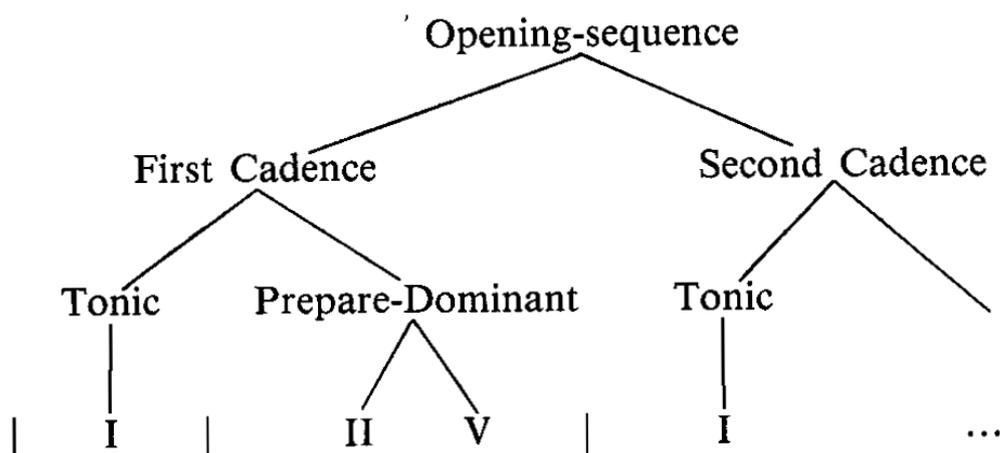
“A idéia que exista uma gramática de música é provavelmente tão antiga quanto a própria idéia de gramática” (Steedman, 1996).

Pode-se dividir a aplicação de gramáticas no contexto musical em duas categorias: síntese de estruturas sintáticas e análise de estruturas sintáticas. No contexto de composição, a categoria de síntese é definitivamente a mais usada (Roads, 1996).

Para a composição através de gramática, o compositor define um conjunto de regras que representam as estruturas hierárquicas de alto-nível na sua composição, por

exemplo: parte 1, seção A, movimento B, frase C. Nesta etapa, o compositor não está definindo a composição de uma música específica e sim uma classe de composições. Essas regras são passadas para o computador como entrada. O programa então expande as regras gerando a música.

Segundo (McCormack, 1996), o uso de gramáticas de Chomsky, regulares, sensíveis ao contexto e livres de contexto pode ser uma boa alternativa para geração de música.



Música Interativa

“Interatividade vem do sentimento de participação, onde um conjunto de possíveis ações é conhecido ou intuído, e os resultados tem efeitos óbvios e significantes, porém com o mistério suficiente para causar [surpresa], curiosidade e exploração” (Winkler, 1998).

Neste trabalho, será usada a definição de música interativa construída a partir de (Winkler, 1998) e (Winkler, 1995):

Música interativa é uma composição musical ou uma improvisação onde software interpreta uma performance ao vivo com o intuito de influenciar a música gerada ou modificada pelos computadores.

A partir de (Winkler, 1998) podemos definir alguns componentes de um sistema interativo musical:

1. Entrada humana, instrumentos: as atividades humanas são convertidas para o computador.
2. Análise da performance: os dados vindos do humano são analisados pelo computador.
3. Interpretação: o computador interpreta os dados da análise e gera dados que irão influenciar a composição
4. Composição pelo computador: a partir dos dados da interpretação a composição é gerada.
5. Saída, síntese de som: a composição é executada e o som é gerado.

Trabalhos Relacionados

Musikalisches Würfelspiel – Jogo de Dados de Mozart

O jogo de dados de Mozart pode ser considerado como o mais famoso exemplo histórico de composição algorítmica (Roads, 1996) (Mozart, 1793).

Para começar a jogar, o participante tem acesso a um par de dados, uma tabela onde as linhas são os valores que podem ser acessados de 2 a 12, ou seja, com a soma dos dados e as colunas são as partes da composição, A, B, C, D, E etc. Além disso existe uma partitura com compassos numerados. O jogador lança os dados e procura o valor correspondente a soma das faces na tabela. Este valor corresponde a um compasso na partitura. Para a primeira parte, parte A, o jogador já tem o compasso a ser tocado. Ele repete o procedimento para todas as partes e ao final tem a música composta indiretamente por ele através do lançamento dos dados.

Trata-se então um método de composição por recombinação de seqüências. Mozart organizou o jogo de um jeito que a estrutura da música obtida gera sempre resultado musical agradável. Este é um ponto importante: ao mesmo tempo que ele deu ao participante a sensação de estar compondo sua própria música, ele garantiu que o resultado das recombinações fosse de tal forma que o espaço ficasse restrito a suas regras de composição. É a sensação de compor usando as ferramentas da genialidade de Mozart.

Illiac Suite

Um dos trabalhos pioneiros em computação musical, mais especificamente, em computação algorítmica, foi o *Illiac Suite* (nome inspirado no computador testado na universidade, o *Illiac*) desenvolvido por Lejaren Hiller e Leonard Isaacson na Universidade de Illinois em 1958 (Lopez de Mantaras & Arcos, 2002).

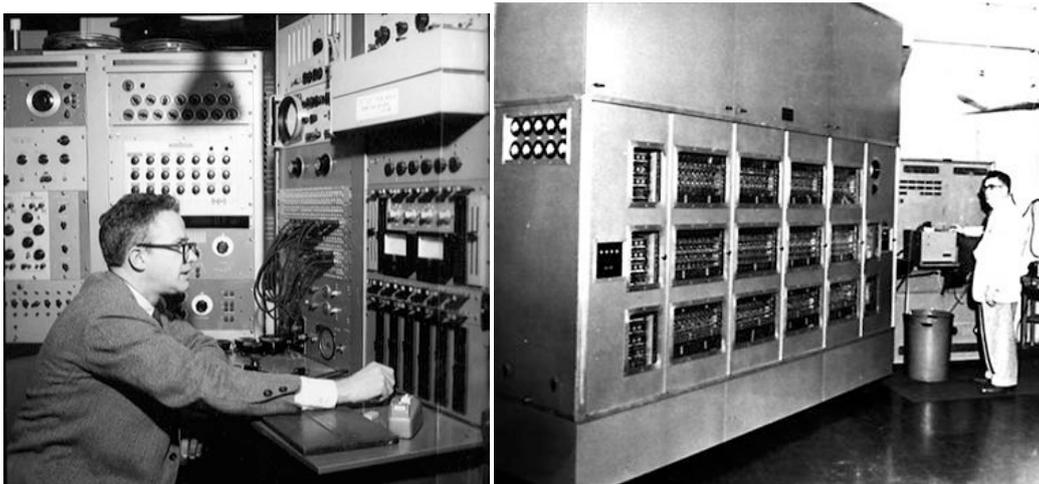
Pelas palavras do próprio Hiller, podemos ver de onde veio sua inspiração:

“Eu observei que se nós podíamos programar um computador para simular uma ‘caminhada’ através de um espaço ordinário, nós poderíamos também simular uma ‘caminhada’ através de um espaço que representasse elementos como altura [de uma nota], durações rítmicas, e escolhas de timbre ...” (Electronic Music Foundation, 2000).

O programa utilizou cadeias de Markov para definir as probabilidades de cada nota ser tocada e com um gerador pseudo-aleatório escolhia, respeitando essas probabilidades, quais notas deveriam fazer parte da composição. Depois de produzida, a melodia era avaliada seguindo algumas heurísticas baseadas em regras clássicas de harmonia e contraponto (Lopez de Mantaras & Arcos, 2002).

Depois deste primeiro uso de cadeias de Markov para composição feita por computador, vários outros trabalhos começaram a usar a técnica, porém com pouca qualidade do que diz respeito a melodia (Lopez de Mantaras & Arcos, 2002).

Uma das principais críticas ao trabalho de Hiller e Isaacson é a falta de expressividade na performance da peça musical. Porém, os cientistas deram numa entrevista (Schwanauer & Levitt, 1993) uma resposta muito bem adequada: “naquela época, problemas simples precisavam ser resolvidos primeiro”.



Experiments in Music Intelligence

Um dos projetos pioneiros no uso de técnicas de Inteligência Artificial em Computação Musical foi o *Experiments in Music Intelligence* (EMI) desenvolvido por David Cope. O principal objetivo de Cope neste trabalho é de emular o estilo de um compositor para melhor entender sua forma de compor. Segundo o cientista e compositor, sua primeira motivação foi um tanto egoísta, pois ele desenvolveu o projeto para sair de um bloqueio criativo em uma de suas composições (Lopez de Mantaras & Arcos, 2002).

“Minha idéia foi que qualquer trabalho de música contem um conjunto de instruções para criar diferentes porém altamente relacionadas replicações de si mesma. Estas instruções, interpretadas de maneira correta, podem levar a descobertas interessantes sobre a estrutura musical assim como, espero, criar novas instâncias estilisticamente confiáveis da música” (Cope, 2000).

O EMI trabalha procurando por padrões recorrentes em diversas obras de um mesmo artista. Esses padrões são chamados por Cope de assinaturas. Após a extração de assinaturas e de uma análise estatística em busca de padrões e seqüências recorrentes, o programa gera uma música que se assemelha bastante ao estilo do compositor originalmente usado como base (Lopez de Mantaras & Arcos, 2002).

Abaixo, a explicação do sistema pelas próprias palavras de David Cope:

“Basicamente, Experiments in Musical Intelligence trabalha usando três princípios básicos: (1) desconstrução (analisa e separa em partes), (2) assinaturas (retém as semelhanças que configuram o estilo), (3) compatibilidade (recombinação – recombina gerando novos trabalhos)” (Cope, 2000).

A proposta de Cope aparece completa e cheia de significados, além de resultados musicais estilisticamente interessantes, porém falta ao sistema a impessoalidade, já que o resultado está sempre ligado ao autor analisado (Lima, 1998).

Continuator

O *Continuator* tem a proposta de juntar duas classes de sistemas musicais: os sistemas interativos e os sistemas de imitação. A principal idéia do projeto é fazer com que músicas sejam geradas interativamente “estilisticamente consistentes, automaticamente aprendidas [pelo computador] através de um material [musical fornecido] (Pachet, 2003)”. Para alcançar o seu propósito, o sistema se utiliza de cadeias de Markov não apenas para a análise da altura das notas mas também para o ritmo, batimento, harmonia e deslocamento na execução das notas.

Pode-se dividir a interação do músico com o *Continuator* em duas formas (Pachet & Addressi, 2004): (1) continuação, que pode ser entendido como o modelo pergunta e resposta, onde o músico toca uma seqüência e assim que o sistema considera que houve uma pausa, ele responde com outra seqüência que se baseia no estilo do músico. (2) colaboração, onde o músico e o *Continuator* tocam juntos consistentemente, tanto do ponto de vista harmônico quanto do ponto de vista estilístico.

Pachet, em (Pachet, 2004), resumidamente define o *Continuator* como um “um instrumento musical que combina técnicas de sistemas interativos e sistemas de aprendizagem automática [sendo] uma realização da profecia de Kurzweil, que diz que: “Músicos humanos vão rotineiramente improvisar com músicos cibernéticos”.

Para este projeto, o interesse maior é em relação ao modo de colaboração, pois existe muitos pontos em comum entre seus objetivos e os objetivos deste trabalho.

Wolfram Tones

WolframTones é um experimento onde as descobertas de Stephen Wolfram, particularmente seu trabalho envolvendo autômatos celulares, são aplicadas no campo de criação musical (Wolfram, 2006).

Como podemos ver na Figura X abaixo, um tronco de um autômato celular é usado para controlar a variação melódica no controle de diversos instrumentos. Cada célula do autômato ativa ou desativa a execução de uma nota da escala que foi pré-definida pelo usuário. Além disso, o usuário pode escolher qual o estilo que mais o agrada para servir de acompanhamento à melodia gerada.

Além de ter uma interface bastante organizada, o sistema gera músicas com bom resultado musical, porém não dá o feedback para o usuário de como exatamente a música foi gerada a partir do autômato celular e nem deixa claro qual parte da música foi resultado da escolha do usuário.

Generate a composition

toggle display

piano | 31.726733061.1076517



▶ play | ■ stop

✉ email | 📄 download | 📁 save

create new composition:
every click gives a unique new composition; go on clicking to find your favorites

classical	dance	hip hop	jazz	world
piano	rock/pop	r&b	blues	experimental
guitar	country	ambient	latin	signalling

random style

show variations ▶

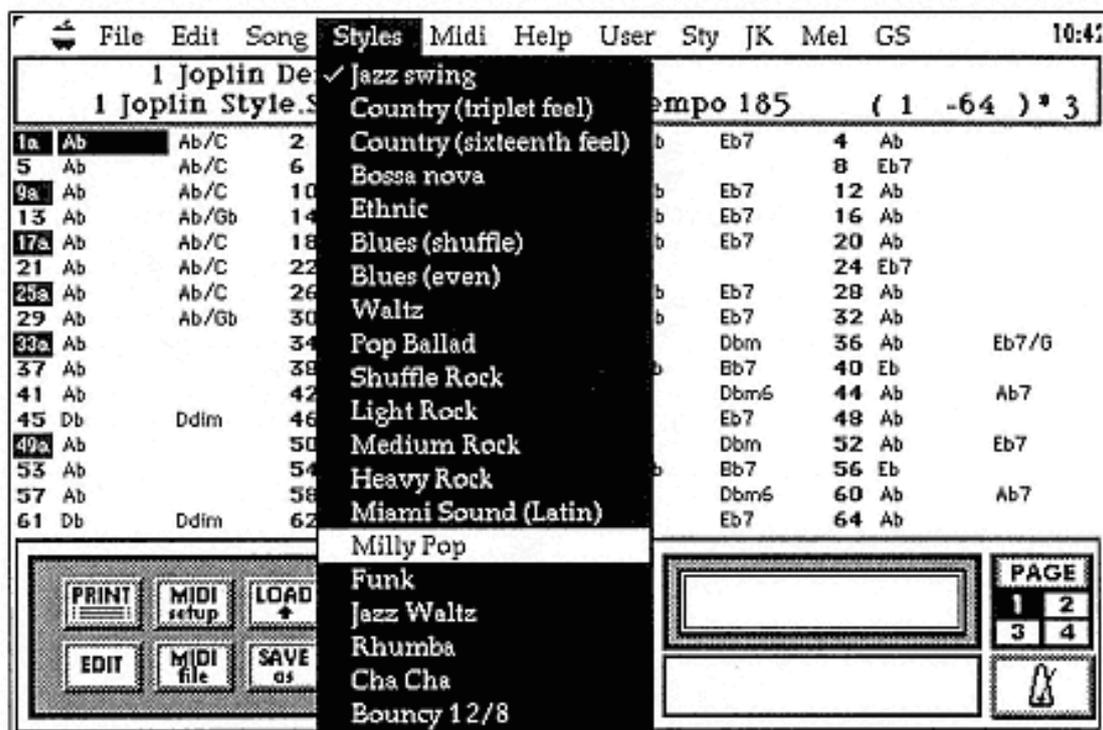
composition controls:

GENERATOR	INSTRUMENTATION	PITCH MAPPING	TIME CONTROLS
-----------	-----------------	---------------	---------------

band-in-a-box

O *band-in-a-box* é um exemplo de software musical voltado para a criação automática de acompanhamento e solos para uma grande variedade de instrumentos e estilos. Fica a cargo do usuário a escolha dos instrumentos e estilos para a geração da música. Se utiliza da técnica de recombinação de fragmentos musicais para a composição e algumas regras que definem a escolha do fragmento a ser utilizado baseando-se nas variáveis de ambiente também definidas pelo usuário (Dahia, Santana, Ernesto, Sandroni, Ramalho, & Cabral, 2004).

Segundo (Dahia, Santana, Ernesto, Sandroni, Ramalho, & Cabral, 2004), o resultado musical do *band-in-a-box* é bastante satisfatório, pois como foi discutido anteriormente, o conhecimento musical está embutido nos fragmentos. Porém, nesta mesma característica reside a principal desvantagem do sistema: ele está limitado ao conjunto de fragmentos que irão sempre depender do conhecimento de um especialista.

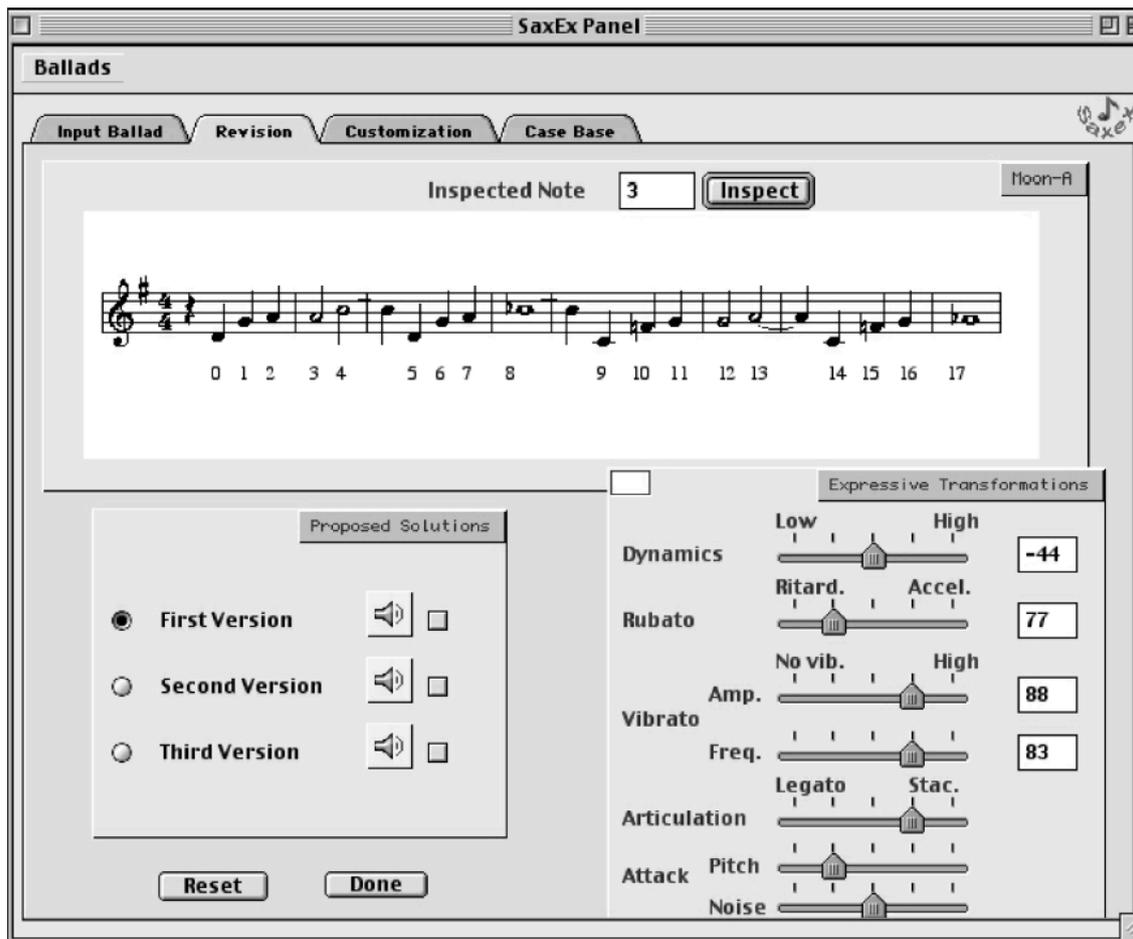


SaxEx

O principal objetivo do *SaxEx* é adicionar expressividade a performance da execução de uma partitura usando um computador. O sistema infere um conjunto de transformações a serem aplicadas em cada nota de uma entrada monofônica não-expressiva resultando numa performance expressiva dessa música (Lopez de Mantaras & Arcos, 2002).

Para obter as informações necessárias para a aplicação dessas transformações, o *SaxEx* se baseia no conhecimento implícito de exemplos extraídos da gravação de instrumentistas executando certas músicas. Segundo (Lopez de Mantaras & Arcos, 2002), o *SaxEx* não tenta portanto transformar a performance humana em conhecimento explícito, ou seja, formular regras, mas sim manter o conhecimento implícito resultando na performance expressiva da música.

Este sistema foca apenas na performance musical, não tendo por objetivo a criação ou composição da música. O usuário tem acesso a vários controles performáticos como dinâmica, vibrato, rubato, articulação etc, porém não é um sistema interativo em tempo real.



Director Musices

O *Director Musices* se assemelha bastante ao propósito do *SaxEx*, ou seja, é um programa para o processamento de partituras e a transformação em performance musical, porém em vez de conhecimento implícito, ele se utiliza de conhecimento explícito representado pelas regras do modelo KTH de performance musical.

O modelo KTH (Widmer & Goebel, 2004), desenvolvido no Instituto Real de Tecnologia em Estocolmo em mais de 20 anos de pesquisa, baseia-se na chamada abordagem da análise pela síntese que envolve músicos profissionais diretamente no processo de avaliação de regras de performance. Músicos e pesquisadores estão sempre num constante feedback tentando encontrar os melhores parâmetros e formulações para cada regra. Através da aplicação das regras do modelo KTH, variáveis musicais como tom, duração, volume e certos aspectos de modelo de performance como fraseado, articulação, entonação são modificados (Bresin, Friberg, & Sundberg, 2002).

O funcionamento baseia-se no carregamento do arquivo MIDI contendo a partitura, a apresentação para o usuário das variáveis relacionadas a performance e após as modificações realizadas nas variáveis, o programa executa a música aplicando as diretivas de performance (Bresin, Friberg, & Sundberg, 2002).

Tanto o *Director Musices* quanto o *SaxEx* se restringem à performance musical das partituras utilizando o computador. Nenhum dos dois programas é interativo em tempo-real.

Theremin

Depois que Lee De Forest inventou o oscilador em 1915, revolucionando a indústria do rádio, o inventor russo Leon Theremin, utilizou essa tecnologia em 1919 para desenvolver o primeiro instrumento musical eletrônico completamente funcional (Glinsky, 1992).

A ausência da necessidade do toque deu um ar místico ao instrumento (Winkler, 1995), que era controlado pela proximidade das mãos a duas antenas. Com a mão direita o usuário controlava a altura da nota, mais próximo, mais agudo o som, mais distante, mais grave. A mão esquerda controlava o volume do som também a partir da sua proximidade em relação a antena.

Depois de viajar por toda Europa e os Estados Unidos em diversas apresentações inclusive com orquestras, o Theremin ficou bastante conhecido por todo o mundo e virou o símbolo da música eletrônica influenciando várias idéias nas décadas seguintes.



Hyperinstruments

O projeto Hyperinstruments do MIT Media Lab fundado por Tod Machover em 1986 teve como objetivo inicial projetar instrumentos musicais tecnologicamente expandidos para aumentar o poder, controle e expressividade de músicos virtuosos.

Porém, com o passar do tempo, o foco do projeto se expandiu para crianças e não-músicos numa tentativa de trazer estes leigos para a execução musical. Vários subprojetos se baseiam no mapeamento de gestos e até de palavras para influenciar um ambiente interativo em tempo real (Pachet & Adressi, 2004) (Paradiso 1999).



Atualmente, as pesquisas do grupo de Hyperinstruments estão tentando avançar nas duas direções: (1) projetando sistemas de alto-nível para os profissionais de música e (2) construindo sistemas para o público em geral, como: sistema entretenimento interativo, jogos musicais, sistemas de aprendizagem de música etc.

Comparando hiperinstrumentos e o Continuator, na maioria dos casos, os hiperinstrumentos estão mais interessados no controle e na expressividade, enquanto o Continuator está interessado na geração de música inteligente (Pachet & Addessi, 2004).

Radio Baton

O Radio Baton, ou em português: batuta a rádio, é um projeto de Max Mathews, que é considerado por muitos o pai da Computação Musical. O projeto consiste em uma superfície horizontal e duas batutas que quando movidas sobre a superfície dispara contínuas mensagens MIDI representando as suas posições no espaço tridimensional. Essas mensagens podem ser associadas a diferentes parâmetros de um sintetizador ou um processador de áudio. Outra funcionalidade do software é interpretar os movimentos das batutas no que diz respeito a variação de tempo e dinâmica de uma partitura e assim influenciar a performance da execução desta partitura. (Mathews, 2005)

Funciona mais como um instrumento, pois não aplica nenhuma técnica de composição musical. Sendo assim, pode ser considerado apenas um controlador MIDI baseado no mapeamento do espaço tridimensional.



Very Nervous System

Citação do site oficial do *Very Nervous System*:

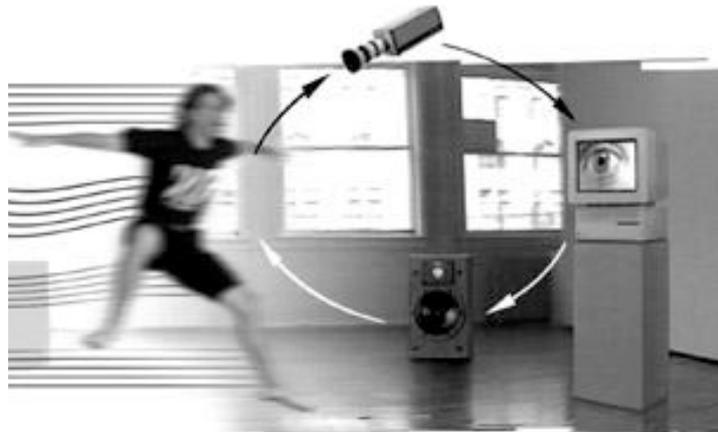
“Very Nervous System is [an] interactive sound installations which [...] could be described as a sort of instrument that you play with your body [where] the music is composed and guided by the movements. In these systems, I use video cameras, image processors, computers, synthesizers and a sound [...]. I am interested in creating a complex and resonant relationship between the interactor and the system.” (Rokeby, 1989).



O VNS, detecta qualquer movimento dentro de uma área definida de performance e, pela análise cada frame do vídeo, os pixels são comparados com os pixels do frame imediatamente anterior para determinar que parte da imagem está se movendo. A partir da quantidade de movimento e da posição em relação ao vídeo, diferentes sons previamente mapeados são tocados. A análise da imagem é focada no movimento em vez de focar, por exemplo, na cor ou na forma (Morales-Manzanares, Morales, Dannenberg, & Berger, 2001).

Em (Morales-Manzanares, Morales, Dannenberg, & Berger, 2001), o VNS recebe a seguinte crítica: sistemas baseados em câmera são muito bons em detectar mudanças globais do participante, mas são pobres em detectar informações mais detalhadas.

O VNS tem um grande potencial reativo, disparando ações imediatas em resposta ao movimento do participante que se sente realmente interferindo no sistema. Mas não é o objetivo do sistema gerar músicas baseadas em técnicas de composição algorítmica.



Variations V



Variations V é um trabalho desenvolvido por John Cage em 1965 a pedido da companhia de dança Merce Cunningham. A idéia do sistema é fazer com que a presença de um dançarino em determinada área do palco dispare sons. Duas implementações do sistema foram feitas: uma utilizando luz, quando um feixe de luz era bloqueado pelo dançarino o som era tocado e a outra utilizando uma série de antenas que captavam a proximidade dos artistas. (Smith, 2008)

“Este trabalho revolucionário desafiou noções da relação tradicional entre o coreógrafo e o compositor – uma relação caracterizada pelo compromisso de um dos artistas em se encaixar com o trabalho do outro. [...] Este trabalho transferiu o controle de ambos compositores e coreógrafos para o dançarino” (Morales-Manzanares, Morales, Dannenberg, & Berger, 2001).

SICIB

Sistema Interactivo de Composición e Improvisación para Bailarines é um sistema “capaz de gerar música em tempo real baseada no movimento do corpo” (Camurri, 1999) (Morales-Manzanares 2001). Ele se baseia em um conjunto de transmissores e receptores chamada de *Flock of Birds* desenvolvida pela *Ascension Technology Corporation*. Os transmissores são colocados no artista e vários receptores ficam espalhados no ambiente onde está sendo desenvolvida a performance. Há então o mapeamento dos movimentos nos eixos X, Y e Z. O sistema é capaz de reconhecer: “(1) curvatura e a torção dos movimentos, (2) a posição dos dançarinos no palco, (3) a velocidade de deslocamento e aceleração e (4) mudanças bruscas”. Essas informações são transmitidas para o computador onde são processadas e influenciam variáveis musicais como o volume, a altura das notas, o tipo de instrumento, o tempo da música, etc. Através de regras de composição baseadas em gramáticas a música então é composta.

A principal implicação deste trabalho é o paradoxo entre o dançarino estar dançando a música que ele mesmo está gerando (Morales-Manzanares, Morales, Dannenberg, & Berger, 2001).

Podemos considerar que o *Variations V* foi uma grande inspiração para o SICIB. Porém o SICIB implementou o módulo de geração de música utilizando conceitos de gramáticas aplicadas a composição algorítmica. Com isso, o resultado musical se diferencia do *Variations V*, que apenas disparava sons e influenciava variáveis como volume e altura, sem uma construção composicional.

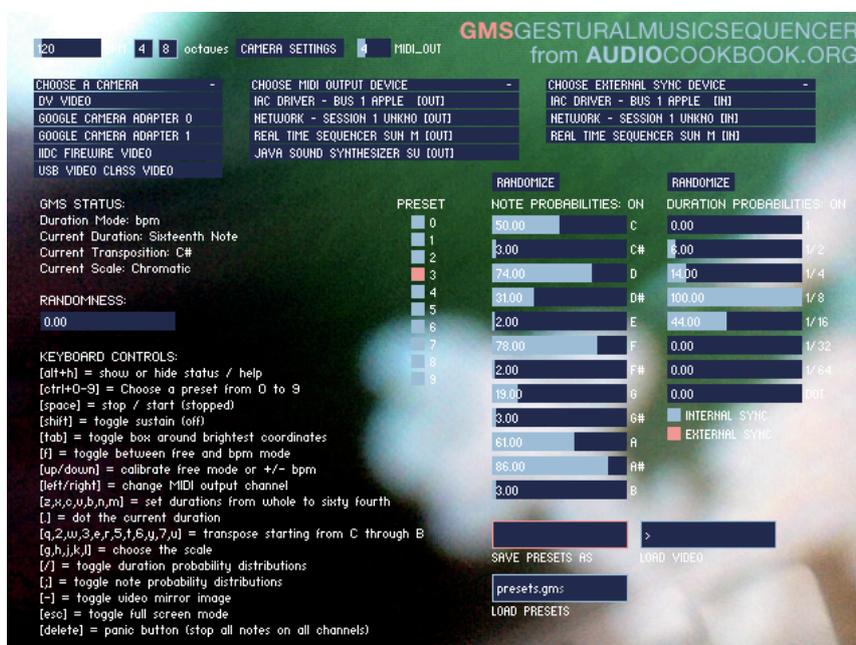
BigEye

O *BigEye* é um programa desenvolvido pelo *Studio for Electro-Instrumental Music* (STEIM) em Amsterdam com o intuito de mapear a posição objetos utilizando câmeras e disparar eventos MIDI.

O usuário tem a liberdade de escolher o aspecto do objeto a ser mapeado: cor, brilho, forma, tamanho e o evento MIDI associado: altura da nota, volume, etc. Ele também define, o que (STEIM, 2000) chama de “zona quente” da área de captura: uma sub-área que quando intersectada pela posição do objeto mapeado, dispara um evento MIDI específico escolhido pelo usuário.

O *BigEye* pode ser definido como apenas um facilitador do mapeamento entre o movimento e o evento MIDI. Sua interface é bastante simples e com resultados interativos bastante interessantes, porém não engloba técnicas de composição musical. Resumindo, funciona apenas como uma ferramenta que converte movimento em eventos MIDI.

GMS



GMS (*Gestural Music Sequencer*) é um seqüenciador baseado em gestos do usuário desenvolvido por John Keston. Seu dispositivo de entrada é a imagem de uma webcam que é processada para extrair o pixel com maior brilho. A posição X e Y deste pixel é mapeada em notas MIDI. O eixo X é usado para controlar o tom da nota e o eixo Y determina o volume da nota a ser tocada. A medida que o usuário se movimenta na

frente da webcam, notas são executadas respeitando uma escala musical pré-determinada. (Keston, 2008)

Através da interface gráfica, o usuário pode controlar diversas variáveis musicais como escolher a escala a ser tocada, definir a porcentagem de uso de cada nota na execução, a duração das notas e o batimento por minuto da música.

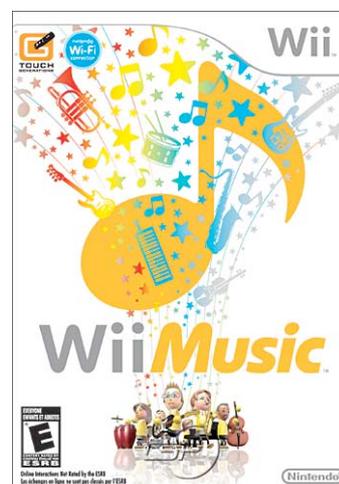
Por se basear em processamento de imagem, o software funciona melhor em ambientes escuros, normalmente, usando uma lanterna para direcionar em um ponto controlável a maior quantidade de luz e assim o maior ponto luminoso que serve de controle.

Apesar de ter boa reatividade, possui poucos controles durante a performance, ou seja, apenas o X e Y podem ser utilizados durante a execução da música. Mesmo já utilizando algumas técnicas de composição algorítmica como o uso de modelos matemáticos baseados em probabilidades e distribuições estatísticas, o resultado musical não é tão bom.

Wii Music

Wii Music é um jogo desenvolvido para o *Nintendo Wii* onde o jogador usa tanto movimentos quanto botões através do *Wii Remote* e do *Nunchuk* (os controles do console) para controlar um instrumento. Mais de sessenta instrumentos estão disponíveis nos modos *single* e *multiplayer*: violino, bateria, clarinete, harmônica, piano, guitarra, trompete, harpa, maracás, cítara, marimbas etc (Nintendo, 2008).

Diferentemente de outros jogos musicais, no *Wii Music* o jogador não tem de apertar um botão específico em momentos determinados, e sim apenas mover os controles imitando os movimentos de quem toca um instrumento musical.



Existem várias formas de jogar: (1) improvisando sem acompanhamento, ou seja, apenas tocando o instrumento; (2) improvisando com acompanhamento pré-setado, onde o jogador escolhe uma música e o *Wii Music* escolhe os instrumentos da banda que o irá acompanhar; (3) improvisando com acompanhamento customizado, onde o jogador escolhe os instrumentos que irão fazer parte da sua banda e (4) simulando um maestro, onde o jogador influencia o tempo da música pelo movimento do controle.

Apesar de ser um jogo envolvente, o *Wii Music* não tem alternativas para a criação de linhas melódicas. A lista de música é predeterminada e a atuação do jogador é relacionada a influência na duração e no volume das notas tocadas. Dessa forma, os usuários não tem a sensação de criar completamente uma música (Bott, Crowley, & LaViola Jr, 2009). Mesmo assim, podemos dizer que o usuário tem a sensação de controlar alguns aspectos importantes da música e se sentir parte dela.



Guitar Hero e Rock Band

Guitar Hero e *Rock Band* são jogos musicais que tem como principal objetivo a sincronia entre o controle do jogador e a música que está sendo tocada. O jogador precisa apertar botões na hora certa, no ritmo da música para alcançar os objetivos do jogo. Se o jogador perde uma nota, esta nota não é tocada ou é tocada uma nota dissonante (Miller, 2009).

O jogador claramente não está tocando um instrumento, mas ele sente que a performance da música responde aos seus atos (Miller, 2009). Além disso, a lista de músicas disponíveis são músicas populares e conhecidas dos jogadores, isso faz com que este se sinta no contexto e muito mais imerso na execução da música (Miller, 2009).

Como é bem ressaltado por (Bott, Crowley, & LaViola Jr, 2009), esses jogos pretendem dar ao jogador a sensação de estar tocando um instrumento, porém a criação musical é inexistente, pois o jogador fica restrito a música tocada, sendo sua participação apenas no que diz respeito a disparar ou não uma determinada seqüência. O jogador não controla nenhuma variável musical, como altura, duração, dinâmica, na execução. Além disso, a expressão musical individual é praticamente nula.

Porém, como constatado por (Miller, 2009), muitos jogadores enfatizam que as suas experiências musicais com o *Guitar Hero* e *Rock Band* foram tão reais quanto se tivessem tocando um instrumento musical. Alguns até dizem que o processo de aprendizagem de um instrumento real se assemelha muito ao processo de aprender a jogar *Guitar Hero* e *Rock Band*. Os criados desses jogos apostam que o sucesso se deve ao fato deles trazerem para o jogador a sensação de tocar uma música, mesmo sendo um não-músico.



“The realness is constituted in two ways: first, through players’ sincere respect for the aesthetic quality, technical difficulty, and affective power of the original recordings coming out of the speakers; second, through the games’ capacity to inspire the feeling of making music” (Miller, 2009).



One Man Band



(Bott, Crowley, & LaViola Jr, 2009) desenvolveu um protótipo de vídeo game que usa uma interface 3D com reconhecimento de gestos para simular diferentes instrumentos como: violino, guitarra, baixo, bateria, trombone e *Theremin*. O projeto se utiliza do controle do *Nintendo Wii* como dispositivo de entrada e através do processamento dos valores de seus acelerômetros sons e notas musicais são geradas.

Pelo análise do artigo (Bott, Crowley, & LaViola Jr, 2009), os pesquisadores não se preocuparam em criar estruturas musicais baseando-se em técnicas de composição algorítmica. Trata-se de uma nova interface voltada para a performance musical utilizando um controle de *Nintendo Wii*. Com isso, a responsabilidade de criação de uma música agradável recai única e exclusivamente na técnica e experiência do jogador.

Capítulo 3: Conceito do Projeto

Requisitos do sistema

A partir do objetivo apresentado no Capítulo 1, uma lista de requisitos foi levantada e será descrita a seguir.

Gerar um resultado musical agradável

O resultado musical do programa deverá ser consistente, agradável e interessante. Baseando-se no que foi levantado no Capítulo 2, a música para ser agradável tem de suprir as expectativas que são criadas psicologicamente pelo ouvinte. Uma das primeiras idéias para a concepção do protótipo então é de evitar modelos de geração baseados completamente na aleatoriedade.

Mesmo sabendo que o simples ato de respeitar as regras harmônicas não garante um resultado musical interessante (Pachet & Roy, 2001), entende-se que este é o primeiro passo para o caminho de uma música consistente e agradável.

Como foi visto no Capítulo 2, para um resultado interessante, a quantidade de mudanças na música deve ser notada, evitando a repetição exacerbada que faz com que a experiência se torne monótona para o usuário. Do ponto de vista de concepção, serão usados então modelos de interação que prezem pela interferência da expressividade da música fazendo com que o usuário tenha influência em variáveis como o volume das notas e o andamento da música.

Voltado para leigos em música

O público-alvo do protótipo aqui desenvolvido será composto por leigos ou iniciantes em música. Dada esta premissa, deve-se considerar que o conhecimento teórico musical do usuário é restrito com pouca ou nenhuma técnica em tocar instrumentos assim como pouca ou nenhuma experiência musical.

Para tanto, será usado no projeto um conjunto de regras que restringem as opções de escolhas de notas, durações e outras variáveis musicais, levando ao resultado consistente com a estrutura musical gerada.

Além disso, alguns modelos de composição algorítmica serão, como cadeias de Markov, no intuito de gerar músicas sem que o usuário precise saber exatamente como estão sendo geradas, levando a um resultado parecido estilisticamente com a música fornecida e conseqüentemente, trazendo a qualidade musical desta música analisada.

Fazer o usuário se sentir parte da composição musical

Para fazer o usuário se sentir parte da música, seguindo o proposto por (Dillon, 2003), um contexto musical precisa ser dado e este contexto precisa ser conhecido pelo usuário.

Com o propósito de dar ao usuário o contexto necessário para a imersão na música, a opção de fornecer a música para ser analisada é um ponto muito importante. Visto que depois da análise, a música gerada se assemelha bastante em termos de estilo da música fornecida, o usuário irá identificar e se identificar com a música gerada.

Além disso, um contexto rítmico e harmônico é dado ao usuário com a inserção percussão e execução dos acordes automaticamente reconhecidos baseado na música fornecida.

Fazer o usuário se sentir interferindo e controlando a música

A idéia não é apenas mapear movimentos ou gestos em som. Como podemos justificar com (Winkler, 1995), os sistemas interativos de música vão além da relação um-para-um entre evento mapeado e som tocado, eles ampliam o universo expressivo do usuário incluindo o controle de processos de composição e da estrutura da música.

Para dar controle, podemos fazer com que o usuário controle duas atividades sugeridas por (Johnson-Laird, 1991): (1) a geração de um padrão rítmico para a frase e (2) a geração da seqüência de tons para as notas da frase.

Em (Baker, 1983), são enumeradas três abordagens para a improvisação de linhas melódicas dada uma harmonia: (1) a primeira trata-se de uma abordagem escalar, onde o acorde ou a seqüência de acordes é reduzido a uma escala e o músico trabalha naquele campo escalar; (2) com a segunda abordagem, o músico foca apenas nas notas do acorde, articulando-as em arpejos ou em combinações variadas; (3) na terceira abordagem o músico executa padrões pré-determinados.

Levando-se em consideração os pontos discutidos, três modos de escolha de altura de notas foram escolhidos: mapeamento do movimento em escala cromática, em escala pré-definida ou a construção de seqüências baseadas em uma música fornecida pelo usuário, sendo esta última alternativa o ponto forte em gerar músicas agradáveis. Na última abordagem, a música fornecida será analisada e com o uso de cadeias de Markov a música gerada será baseada na música fornecida.

Para a escolha da duração das notas, três abordagens foram usadas: mapeamento do movimento em milissegundos, em durações pré-definidas como: colcheia, semínima etc. e em células rítmicas pré-definidas.

Em (Winkler, 1997) podemos extrair, a partir do exemplo citado usando o *Very Nervous System*, duas formas de controle da música: (1) usar o movimento para diretamente produzir um som, ou (2) usar o movimento para começar, parar ou influenciar o fluxo musical.

Vendo que o primeiro ponto já foi coberto com as decisões tomadas anteriormente, viu-se necessário colocar uma forma do usuário controlar o fluxo musical, ou seja, parando ou executando as notas com a sua vontade. Para isto, foi mapeada a ação de um botão que ativa e desativa a execução das notas, e outros botões de ativam e desativam a percussão e os acordes.

(Dillon, 2003) relata que a resposta imediata do sistema ao gesto de entrada aumenta bastante o significado que a música tem para o usuário que está interagindo com o sistema, em outras palavras, com a resposta em tempo-real existe uma maior atração natural e envolvimento com a música por parte do usuário.

Assim, para criar a sensação de interferência ou influência, o sistema precisa dar ao usuário respostas em tempo real para suas ações de entrada. Para isso, uma decisão de projeto precisa ser tomada: a execução será feita nota a nota, como apresentada na citação abaixo:

“O aspecto mais importante de uma arquitetura em tempo real é que a geração das seqüência musicais é realizada passo a passo, de uma maneira que as informações externas possam ser usadas para influenciar a geração” (Pachet, 2003).

Mas não adianta apenas ter uma resposta rápida, ela precisa ser consistente com a entrada que foi dada pelo usuário.

“A resposta do computador deve ser crível no sentido de parecer apropriada para a ação tomada” (Winkler, 1995).

Para isso foram selecionados alguns movimentos que serão descritos na próxima seção deste capítulo

Interação natural, simples e intuitiva

“[Porque pressionar um botão] pode não ser suficiente para capturar o mais profundo conteúdo expressivo” (Camurri, 1999).

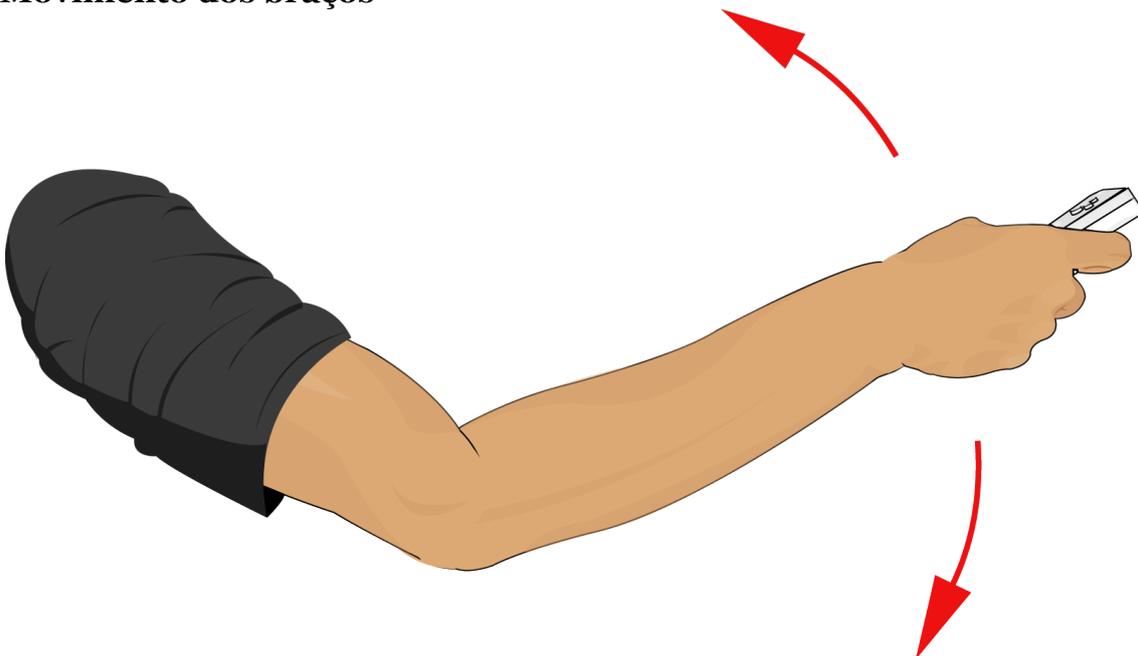
Para dar um maior poder a captação dos movimentos e gestos do usuário, a arquitetura do sistema foi desenvolvida para permitir o uso de diversas formas de dispositivos de entrada.

Devido ao andamento do projeto, foi escolhido como base para protótipo funcional aqui desenvolvido o uso do controle do *Nintendo Wii (WiiMote)*, que já tem um histórico de boa captação de movimentos simples e de forma intuitiva.

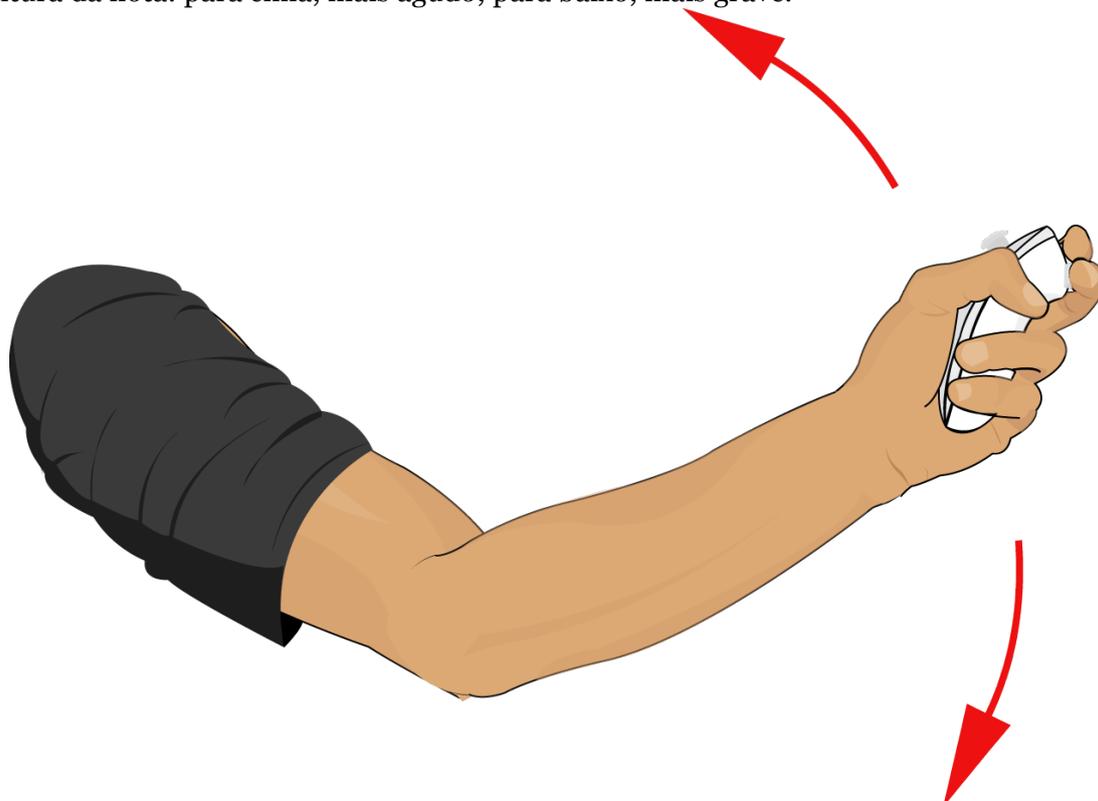
Controles e Movimentos

Nesta seção serão apresentados os controles e movimentos utilizados no desenvolvimento do protótipo.

Movimento dos braços

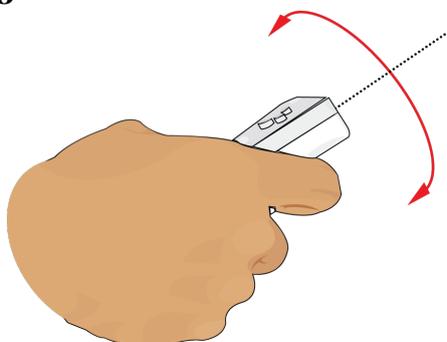


Usando o WiiMote para controlar, nos casos aplicáveis, o mapeamento para escolha da altura da nota: para cima, mais agudo; para baixo, mais grave.



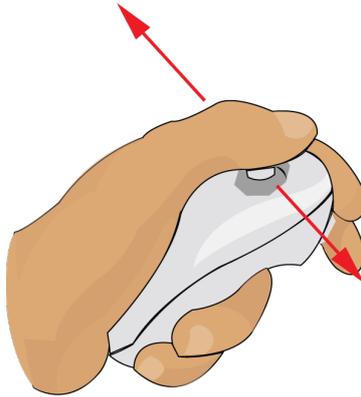
Usando o Nunchuk para controlar, nos casos aplicáveis, o mapeamento para escolha da duração da nota: para cima, durações mais curtas; para baixo, durações mais longas.

Movimento do punho



Controlando o volume da nota: rotação no sentido horário, mais alta; rotação no sentido anti-horário, mais baixa.

Movimento no joystick



Controlando o andamento da música: direita mais rápido, esquerda mais devagar.

Controle para o fluxo da música

Apertando o botão B.

Controle para notas individuais

Apertando o botão A.

Controles Diversos

Arpejos e seqüências cromáticas

Botões direcionais do WiiMote

Ativação de Acordes

Apertando o Botão Z.

Ativação de Percussão

Apertando o Botão C.

Aumento do Andamento da Música

Apertando os botões + e – do controle.

Funcionamento

O usuário escolhe os modos de escolha de duração e altura das notas e executa o sistema. Caso o usuário tenha escolhido pelo modo baseado em uma música pré-existente, ele deverá fornecer o arquivo MIDI que representa a música e escolher a voz presente no arquivo.

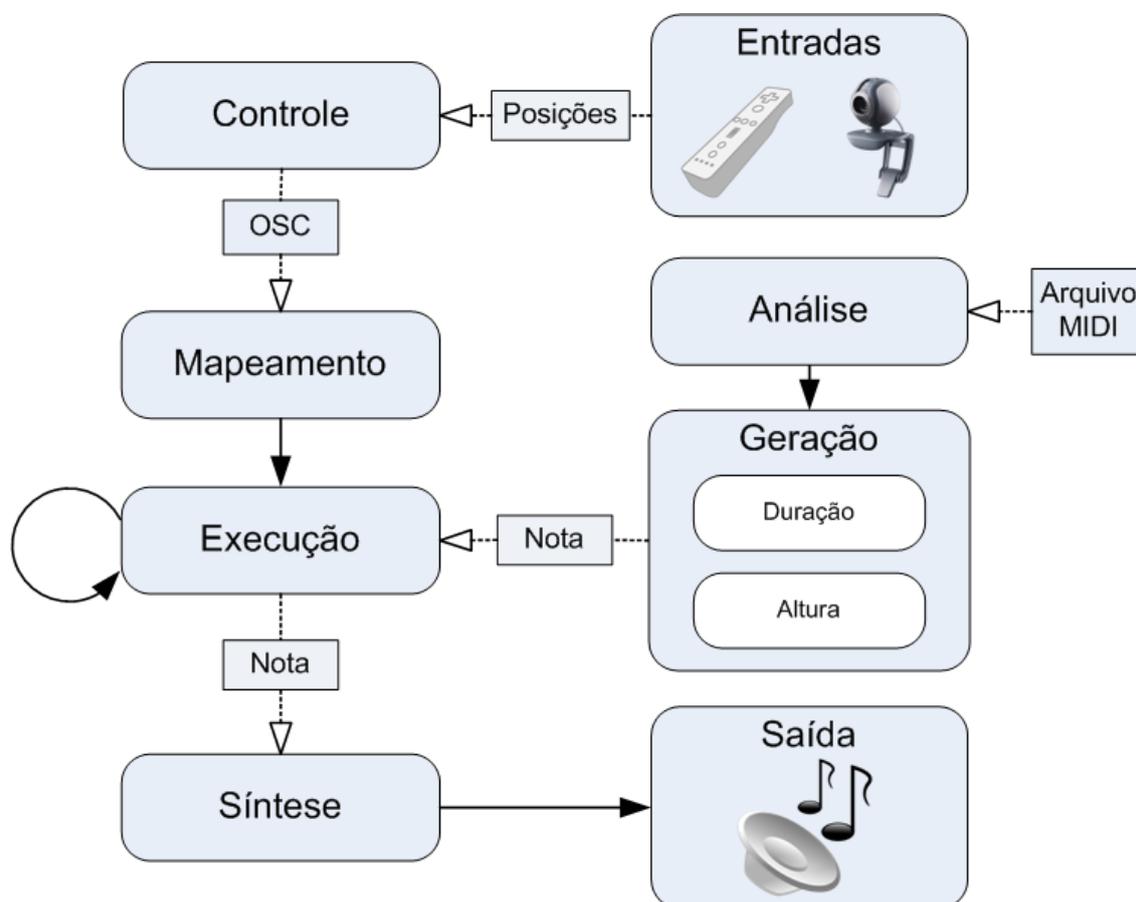
Capítulo 4: Implementação

O sistema desenvolvido utiliza a biblioteca *Java Sound* para lidar com mensagens e eventos MIDI e o *Java Sound Synthesizer* para sintetizar os eventos MIDI em sons.

Para o desenvolvimento do protótipo foi escolhida a interface de interação do controle do Nintendo Wii com os movimentos descritos anteriormente no Capítulo 3.

Para maiores informações: <http://code.google.com/p/rescalax/>

Esquema do Projeto



Módulos

Pode-se dividir o sistema proposto em seis módulos: controle, mapeamento, análise, geração, execução e síntese. Abaixo seguem as descrições de cada um.

Entradas e Módulo de Controle

O módulo de controle é responsável por captar os movimentos do usuário bem como as ações de alguns botões de controle e enviar mensagens OSC contendo a descrição do evento e um valor associado.

Este módulo pode estar associado a diferentes tipos de entrada, como: tracking da imagem da webcam por brilho, cor ou forma; controle do *Nintendo Wii*; controladores MIDI; controladores baseados em *Arduino* etc.

Em poucas palavras, trata-se de um módulo versátil que tem como principal função traduzir os eventos captados por diferentes sensores usados pelo usuário em mensagens OSC.

Para o protótipo funcional, o *WiiMote* está enviando dados através de uma conexão Bluetooth para o módulo de controle desenvolvido usando Processing, a biblioteca WRT4J e BlueCove. Este módulo processa informações como a posição X, Y do controle e a ação dos botões e envia mensagens OSC para o módulo de mapeamento.

É preciso ressaltar que o uso do *WiiMote* é específico para o estudo de caso do protótipo funcional desenvolvido neste Trabalho de Graduação. Como pode ser vista, a arquitetura do sistema permite o uso de diferentes tipos de sensores, como por exemplo, o processamento da imagem de uma webcam usando a biblioteca *openCV* para o mapeamento X e Y de alguma variável gráfica selecionada da tela.

Módulo de Mapeamento

O módulo de mapeamento recebe uma mensagem OSC e a associa a um evento do programa. Estes eventos estão relacionados tanto às propriedades da execução, como controlar o fluxo das notas, quanto as propriedades da própria nota, como volume, duração, altura etc.

Módulo de Execução

O módulo de execução é onde está localizado o loop principal do programa e é responsável por dar início a todas as threads. Para a versão atual, além da thread associada ao módulo de controle, existem três threads: uma responsável pela melodia, que o usuário tem o maior número de eventos relacionados a sua modificação, uma controlando o acompanhamento rítmico e a uma controlando o acompanhamento dos acordes, para ambas o usuário apenas controla a ativação e a desativação.

Módulo de Análise

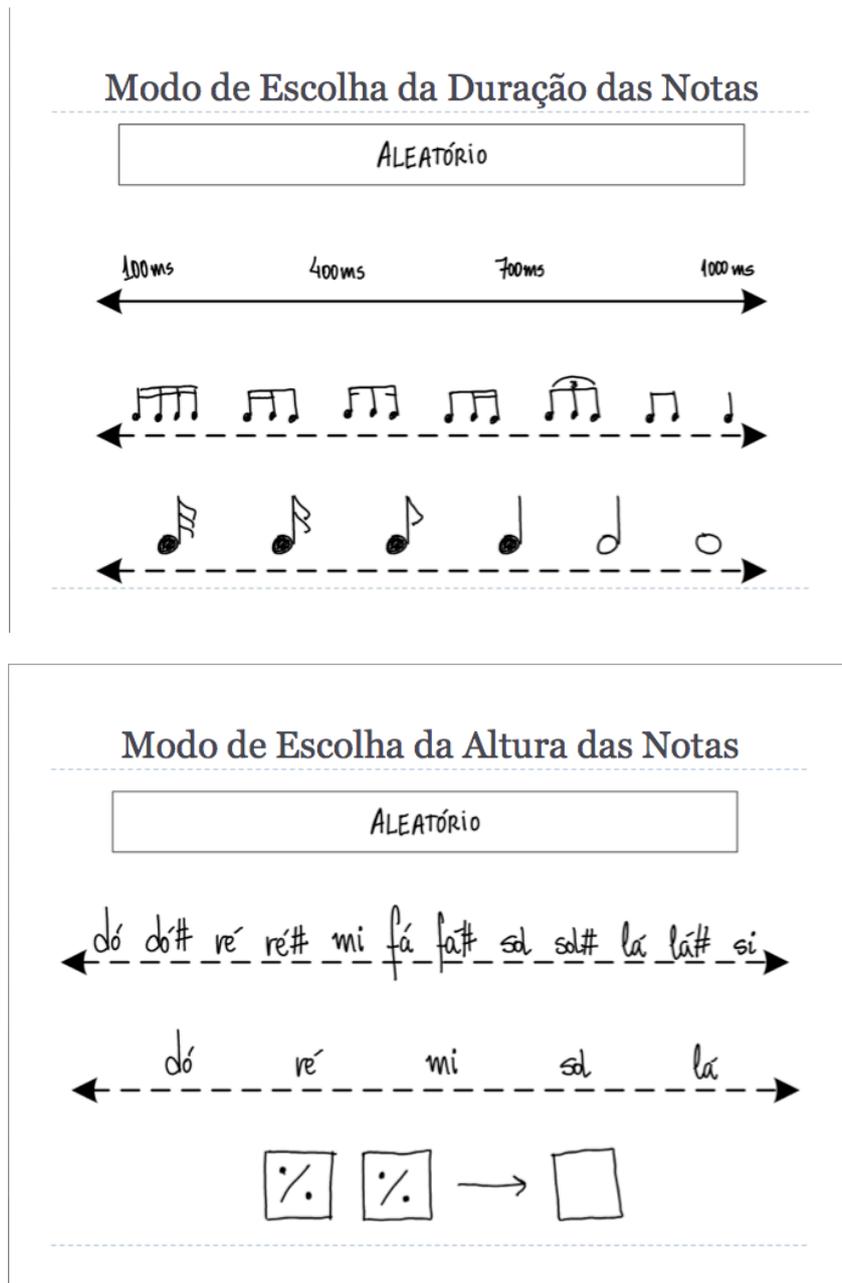
O módulo de análise é responsável por processar uma voz específica de um arquivo MIDI fornecido pelo usuário e, a partir de uma análise estatística, preencher uma cadeia de Markov de segunda ordem. Esta cadeia de Markov será usada pelo módulo de geração como uma ferramenta para um dos métodos de criação de melodia.

Módulo de Geração

O módulo de geração é o módulo relacionado com a geração melódica da música sendo executada. O módulo é dividido em duas partes: uma responsável pela escolha da duração da nota e a outra responsável pela escolha da altura da nota. Para cada uma dessas partes existem modos de geração descritos abaixo:

- Modos de escolha da duração: (1) aleatório, onde a partir de um gerador pseudo-aleatório, as durações são escolhidas; (2) milissegundos, onde o movimento é mapeado em uma certa escala de milissegundos; (3) figuras, onde o movimento é mapeado na duração de uma figura musical específica, por exemplo, mínima, semínima, colcheia; (4) células rítmicas, que são agrupamentos de figuras com uma certa estrutura e onde o movimento do usuário é mapeada para escolha de células mais rápidas e células mais lentas.

- Modos de escolha da altura: (1) aleatório, também usando um gerador pseudo-aleatório a altura da nota é escolhida dentro do universo de representação MIDI, ou seja, tonal cromático; (2) cromático, onde o movimento é mapeado para as notas representadas no MIDI fazendo apenas uma restrição para não alcançar notas nem muito graves, nem muito agudas, que são difíceis de ouvir e incomodam respectivamente; (3) escalar, onde o movimento é mapeado para notas dentro de uma escala pré-definida, por exemplo, Dó maior, Ré menor etc. (4) baseado em uma música fornecida, este modo se utiliza da cadeia de Markov populada pelo módulo de análise e gera uma seqüência utilizando as probabilidades da tabela de transição de estado, assim a música gerada é parecida em estilo com a música fornecida.



Módulo de Síntese e Saída

Este módulo é responsável por receber as notas e sintetizar o som usando o *Java Synthesizer*. Como saída do programa, temos o som da música gerada.

Capítulo 4: Avaliação

Metodologia

Com o intuito avaliar as funcionalidades do sistema, foi desenvolvida uma metodologia de experimentação a ser realizada com um grupo de usuários. Para execução dos testes foram usadas as seguintes técnicas:

- Observação do uso do sistema: a interação do usuário com o sistema é documentada por vídeo e alguns pontos são destacados nas anotações do observador.
- Cenários de teste: cada cenário representado a combinação de variáveis do sistema.
- Questionário com questões objetivas: com o objetivo de fazer uma análise quantitativa das funcionalidades do sistema.
- Entrevista semi-estruturada: focando na análise qualitativa e impressões subjetivas do usuário sobre o sistema.

Variáveis

- Modo de escolha da duração das notas = {aleatório, mapeada em milissegundos, mapeada em figuras, mapeada em células rítmicas}
- Modo de escolha da altura das notas = {aleatório, mapeamento em frequência, mapeamento em escala musical, obtida da análise de uma música escolhida}
- Controles = {Habilitado apenas movimento do braço para cima e para baixo, todos os controles habilitados}

Cenários

Para a realização dos experimentos, as variáveis do sistema foram agrupadas em cenários de teste descritos na tabela abaixo:

Cenário	Controles	Escolha da Altura da Nota	Escolha da Duração da Nota
Cenário 1	Apenas cima e baixo	Aleatória	Aleatória
Cenário 2	Apenas cima e baixo	Mapeamento em escala cromática	Mapeamento em Milissegundos
Cenário 3	Apenas cima e baixo	Mapeamento na Escala	Mapeamento em Figuras
Cenário 4	Apenas cima e baixo	Baseada em Música Escolhida	Mapeamento em Células Rítmicas
Cenário 5	Todos habilitados	Opção do usuário	Opção do Usuário

Para os Cenário 1, 2, 3 e 4 o usuário ficará limitado ao movimento do braço direito para cima e para baixo, ao movimento do braço esquerdo para cima e para baixo e a ação do botão B no *WiiMote*.

O primeiro cenário pode ser considerado como grupo de controle para os movimentos já que todas as escolhas são aleatórias, os movimentos não tem nenhum mapeamento.

O único controle que o usuário tem da música é de ativar ou não a liberação das notas apertando o botão B.

No Cenário 5, o usuário escolhe qual dos cenários anteriores ele mais gostou e assim pode testar os demais controles apresentados pelo sistema.

Protocolo de experimento

O roteiro do experimento pode ser visto a seguir:

1. O esquema de testes é apresentado ao usuário, explicando as etapas e ressaltando seu papel na experimentação.
2. O controle do *Nintendo Wii* é entregue ao usuário.
3. Ações relativas a um cenário de teste:
 - a. Os gestos habilitados para a interação com o sistema são apresentados, porém não é explicado em que esses gestos interferem nas variáveis do sistema.
 - b. São iniciadas as anotações do observador.
 - c. O usuário tem cerca de 2 minutos para testar o cenário.
 - d. Assim que termina, o observador realiza uma pequena rodada de questões (entrevista semi-estruturada) que se relacionam com o cenário testado.
4. O ponto 5 é repetido para os 5 cenários de teste.
5. Finalmente, o usuário responde um questionário com perguntas objetivas relativas a impressões gerais do sistema.

Avaliação Formativa

Questionários e Entrevistas

Abaixo são apresentados as perguntas do questionário utilizado na avaliação dos cenários e o roteiro da entrevista com questões gerais sobre o sistema.

Questionário

Escolha a opção que mais se aproxima a sua sensação durante a execução da música?

- Me senti como um espectador
- Me senti como um maestro
- Me senti tocando um instrumento
- Me senti como um compositor
- Nenhuma das opções

Numa escala de 0 a 5, o quanto você se sentiu controlando a execução da música?

0 1 2 3 4 5
Nenhum controle Total controle

Numa escala de 0 a 5, o quanto os seus movimentos influenciaram a composição da música? *

0 1 2 3 4 5
Nenhuma influência Total influência

Como você classificaria os itens abaixo: *

	Nada	Pouco	Médio	Muito
Agradável				
Interessante				
Previsível				
Aleatória				
Sem graça				

Algum comentário?

Tópicos abordados na entrevista

- Como você avalia seus conhecimentos musicais?
- Você toca algum instrumento musical?
- Numa escala de 0 a 10, como você classificaria a importância da música na sua vida? *
- Avalie a importância dos seguintes controles:
 - Controlar o volume de cada nota
 - Controlar a duração de cada nota
 - Controlar a altura (mais aguda ou mais grave) de cada nota
 - Controlar o andamento (mais rápido ou mais devagar) da música
 - Melodias geradas nos botões direcionais
- O que você achou do ritmo/percussão das músicas tocadas?
- O que você achou dos acordes das músicas tocadas?
- O que você achou dos gestos escolhidos para controlar o sistema?
- O que você achou da reação do sistema aos seus gestos?
- Quais dificuldades você enfrentou no uso do programa?
- O que você modificaria no programa apresentado?

Capítulo 6: Resultados

A avaliação foi realizada com um grupo de 6 usuários, onde 4 se classificam como leigos em música e 2 como tendo uma base musical formal. Abaixo serão discutidos pontos levantados pelos usuários durante as entrevistas e alguns pontos advindos da análise dos questionários.

Aleatoriedade

O Cenário 1, devido a sua natureza 100% aleatória, gerou confusão entre os usuários pois a aleatoriedade causou a sensação de controle erradamente. Quando eles escutavam uma seqüência e modificavam a posição da mão e outra seqüência era tocada, eles tinham a falsa impressão de estar interferindo no resultado. Isso fez com que boa parte dos resultados fossem altos em relação a influência e controle.

Liberdade e controle

O únicos cenários escolhidos para a última avaliação foram os Cenários 2 e 3. Esta reação pode ser justificada com a seguinte frase de um dos participantes do experimento:

“Nos Cenários 2 e 3 tentei improvisar mais, pois me senti com mais controle e com mais liberdade de experimentar o espaço de notas. Nos outros cenários fiquei preso ao que o computador estava fazendo para mim”.

A maioria dos usuários não acharam interessantes nem agradáveis o Cenário 1 e o Cenário 4, quanto ao Cenário 2 e 3 a maioria do resultado ficou entre Médio e Muito. Este resultado pode ser justificado com o mesmo motivo apresentado anteriormente, como o usuário tinha mais liberdade de sentir que o seu movimento interferia diretamente na modificação da melodia tanto da altura quanto da duração, eles se sentiram mais atraídos por esta opção.

Excesso de informação

A quantidade de controles foi um fator que atrapalhou alguns usuários no Cenário 5. Por mais que o modo de escolha de duração e de altura das notas foi resultado de sua opção, alguns usuários se sentiram perdidos com a quantidade de coisas acontecendo ao mesmo tempo. Podemos ver isso na seguinte frase:

“No quinto cenário, como tinham muitos controles e muitas coisas acontecendo ao mesmo tempo, eu me senti perdida sem saber em que deveria prestar atenção”.

Intervalo de Mapeamento

Alguns usuários reclamaram que as algumas notas do Cenário 2 não eram tocadas e eles ficaram com a sensação de estar algo errado com o sistema. Isso se deu devido ao intervalo usado para o mapeamento compreendendo notas muito graves da escala cromática. Como as caixas de som usadas no experimento não tinham bons subwoofers, o som ficou comprometido. Para tanto, o sistema pode ou usar melhores caixas de som ou diminuir o intervalo de mapeamento.

Reatividade

A mesma sensação de erro apareceu com o modo de escolha baseado em células rítmicas. As células classificadas como lentas e mapeadas com o movimento do usuário, por levarem muito tempo para terminar sua execução, os usuários não tiveram uma boa sensação de reatividade. Para resolver este problema, pode-se diminuir o conjunto de células para células curtas e assim melhorar diretamente a reatividade do sistema.

Todos os usuários entrevistados classificaram como sem importância o controle do andamento da música.

O Cenário 4, que gera a melodia a partir de uma música escolhida pelo usuário, não foi tão bem avaliado na rodada de experimentos. A falta de controle da melodia deixou os usuários pouca liberdade para improvisar. Mesmo tendo a possibilidade de interferir na duração da nota, os usuários se sentiram sem liberdade no Cenário 5.

Analogia com instrumentos reais

Especificamente um usuário fez movimentos no *WiiMote* similares aos movimentos de um baterista com as baquetas e não conseguiu interagir com o sistema da forma esperada. Este fato é de suma importância para a seguinte conclusão: a analogia dos movimentos com o controle precisa ser mais clara e perto dos movimentos feitos com instrumentos musicais reais, pois a sensação de tocar um instrumento está diretamente ligada a essa analogia (o que nos remete aos jogos descritos anteriormente: *Wii Music*, *Guitar Hero* e *Rock Band*).

Sincronia

“Tinha hora que o ritmo e os acordes não entravam em sincronia com a música”.

A partir desta afirmação ficou clara a necessidade de melhorar o mecanismo de sincronia entre o que o usuário está tocando e o que o acompanhamento automático está executando. Na versão testada, não existem restrições em termos de tempo, apenas em termos melódicos. Este é um ponto que precisa ser trabalhado para não deixar o usuário com a sensação de disritmia e portanto se sentir fora do contexto da execução da música.

Movimentos simples, não tão intuitivos

Alguns usuários sentiram os movimentos simples, porém não intuitivos sugerindo, por exemplo, que o volume da nota tem muito mais a ver com a altura da mão do que com a rotação do punho. O sistema é versátil para este tipo de modificação, então o que se precisa fazer é uma maior quantidade de testes com o usuário para entender quais movimentos se encaixam com o controle de quais variáveis musicais.

Feedback visual

Outro ponto bastante comentado nas entrevistas foi o feedback visual. Muitos afirmaram que ficou um tanto difícil de entender o que os movimentos estavam mapeando e se realmente estavam mapeando ou se tratava de um erro do software. Como estamos lidando com usuários leigos ou iniciantes em música, este feedback é bastante importante para dar segurança aos seus atos.

Objetivo, Desafio e Envolvimento

Os usuários ficaram em média 2 minutos em cada cenário e na entrevista afirmaram que o sistema é interessante de início, mas depois de pouco tempo torna-se sem graça. Para resolver este problema, alguns usuários sugeriram que o sistema fosse transformado em um jogo musical, pois o jogo tem um objetivo e um desafio para ser alcançado deixando assim o usuário mais envolvido com o programa.

Conclusão

“Ultimately, the computer is just a tool with which we extend our minds. The music our algorithms compose are just as much ours as the music created by the greatest of our personal human inspirations” (Cope, 1996).

Apesar da maioria dos objetivos deste projeto se basearem em questões subjetivas, como transmitir uma sensação para o usuário, os resultados obtidos foram de certa forma expressivos no que diz respeito a alguns aspectos de interatividade.

Questões como a presença de desafios e o envolvimento do usuário, confirmam o que foi apresentado no capítulo de referências bibliográficas na seção que descreve os jogos musicais de sucesso como *Guitar Hero* e *Rock Band*.

Apesar da geração automática de melodia baseada numa música escolhida pelo usuário ter todo o embasamento teórico para ser um sucesso no que diz respeito a sensação de se sentir parte da música, durante a avaliação foi um dos cenários menos cotados, justamente por tirar a liberdade do usuário de explorar o universo de possibilidades melódicas.

Este trabalho construiu, baseado nas referências, um protótipo funcional cuja a avaliação pode ser considerada como uma boa contribuição para a construção de novos sistemas interativos de composição musical.

O levantamento bibliográfico e as referências podem ser utilizadas como base para exploração da área de composição algorítmica, performance musical por computadores, música interativa e jogos musicais.

Conclui-se com este trabalho que para a tarefa de construir um sistema interativo musical é preciso uma série de levantamentos teóricos (que são muitos, dada que a área de pesquisa é vasta e antiga) e uma grande quantidade de testes com o usuário para deixar claro qual a melhor forma de interação.

Trabalhos Futuros

Muito pode ser melhorado no projeto como se pode ver no capítulo de resultados, abaixo são levantados alguns desses melhoramentos:

- Construir uma interface gráfica para dar feedback visual das ações do usuário
- Realizar testes para concluir quais os melhores mapeamentos para os movimentos do usuário
- Escolher movimentos que de alguma forma sejam análogos aos instrumentos reais
- Construir um conjunto de objetivos e desafios para envolver mais os usuários no sistema
- Testar outras técnicas de composição algorítmica
- Preencher cadeias de Markov em tempo de execução para gerar melodias baseadas no estilo do que foi tocado pelo usuário
- Utilizar outros controles além do WiiMote, como webcams, controladores MIDI

Referências

- Anders, T. (2003). *Composing Music by Composing Rules: Computer Aided Composition employing Constraint Logic Programming*. Queens University Belfast, Sonic Arts Research Centre, Northern Ireland.
- Baker, D. (1983). *Jazz improvisation: A comprehensive method for all musicians*. Van Nuys, CA: Alfred Publishing Company.
- Bott, J. N., Crowley, J. G., & LaViola Jr, J. J. (2009). Exploring 3D Gestural Interfaces for Music Creation in Video Games. *ICFDG*. Orlando.
- Bresin, R., Friberg, A., & Sundberg, J. (2002). Director musices: The KTH performance rules system. *Proceedings of SIGMUS*, 46. Kyoto.
- Brown, A. R. (2005). Generative Music in Live Performance. *Australasian Computer Music Conference* (pp. 23-26). Brisbane: ACMA.
- Burraston, D., & Edmonds, E. (2000). *Cellular Automata in Generative Electronic Music and Sonic Art: Historical and Technical Review*.
- Camurri, A. (1999). Music Content Processing and Multimedia: Case Studies and Emerging Applications of Intelligent Interactive Systems. *Journal of New Music Research*, 28 (4), 351-363.
- Cope, D. (1996). *Experiments in Musical Intelligence*. Madison, Wisconsin, USA: A-R Editions.
- Cope, D. (2000). *Experiments in Musical Intelligence*. Fonte: <http://artsites.ucsc.edu/faculty/cope/experiments.htm>
- Cope, D. (2001). *Virtual Music: Computer Synthesis of Musical Style*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Dahia, M., Santana, H., Ernesto, T., Sandroni, C., Ramalho, G., & Cabral, G. (2004). Using patterns to generate rhythmic accompaniment for guitar. *Proceedings of Sound and Music Computing*, (pp. 111-115).
- Dillon, S. C. (2003). jam2jam: Meaningful music making with computers. *AARME Conference Proceedings*. Brisbane: AARME.
- Electronic Music Foundation. (2000). *Illiic Suite*. Acesso em June de 2010, disponível em <http://emfinstitute.emf.org/exhibits/illiicsuite.html>
- Glinsky, A. V. (1992). *The Theremin in the Emergence of Electronic Music*. Ph.D. Thesis, New York University.
- Gonçalves, A., Lopes, E., & Paiva, A. (2009). The music of paintings: a rhythmic perspective. *12th Generative Art Conference*. GA2009.
- Jacob, B. (1996). Algorithmic composition as a model of creativity. *Organised Sound*, 1, pp. 157-165.

- Johnson-Laird, P. (1991). Jazz improvisation: a theory at the computational level. In: P. Howell, R. West, & I. Cross, *Representing Musical Structure* (pp. 291-325). London: Academic Press.
- Keston, J. (2008). *Audio cookbook: recipes for sound design*. Acesso em June de 2010, disponível em <http://audiocookbook.org/gms/>
- Lima, L. V. (1998). *Um Sistema de Composição Musical Dirigido por Estilo*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Lopez de Mantaras, R., & Arcos, J. (2002). AI and music, from composition to expressive performance. *AI magazine* , 23 (3), pp. 43-57.
- Machover, T. (2000). *Opera of the Future*. Acesso em June de 2010, disponível em <http://opera.media.mit.edu/index.html>
- Mathews, M. (2005). *Radio Baton*. Acesso em June de 2010, disponível em <http://www.csounds.com/mathews/>
- McCormack, J. (1996). Grammar-Based Music Composition. In: S. e. al, *Complex Systems 96: from local interactions to global phenomena* (pp. 321-336). IOS Press.
- Miller, K. (2009). Schizophonic Performance: Guitar Hero, Rock Band, and Virtual Virtuosity. *Journal of the Society for American Music* , 3 (4), 395-429.
- Mirand, E. R. (2007). Brain-computer music interface for composition and performance. *Internacional Journal of Disability and Human Development* , 5 (2), 119-125.
- Morales-Manzanares, R., Morales, E. F., Dannenberg, R., & Berger, J. (2001). SICIB: An interactive music composition system using body movements. *Computer Music Journal* , 25 (2), 25-36.
- Mozart, W. A. (1793). Musikalisches Würfelspiel. *Compose with two dice*. Bonn, Germany.
- Narmour, E. (1990). *The Analysis and Cognition of Basic Musical Structures: The Implication-Realization Model*. Chicago.
- Nintendo. (2008). *Wii Music*. Acesso em June de 2010, disponível em <http://www.wiimusic.com>
- Pachet, F. (janeiro/fevereiro de 2004). Beyond the Cybernetic Jam Fantasy: The Continuator. *Emerging Technologies* .
- Pachet, F. (2003). The Continuator: Musical interaction with style. *Proceedings of the ICMC Conference*, (pp. 211-218).
- Pachet, F., & Addessi, A. (2004). When children reflect on their playing style: The Continuator. *ACM Computers in Entertainment* .
- Pachet, F., & Roy, P. (2001). Musical harmonization with constraints: A survey. *Constraints Journal* , 6 (1), 7-19.

- Papadopoulos, G., & Wiggins, G. (1999). AI Methods for Algorithmic Composition: A Survey, a Critical View and Future Prospects. *roceedings of the AISB'99 Symposium on Musical Creativity* (pp. 110-117). Brighton: SSAISB.
- Paradiso, J. (1999). The brain opera technology: New instruments and gestural sensors for musical interaction and performance. *Journal of New Music Research* , 28 (2), 130-149.
- Roads, C. (1996). *The Computer Music Tutorial*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rokeby, D. (1989). *Very Nervous System*. Acesso em June de 2010, disponível em <http://homepage.mac.com/davidrokeby/vns.html>
- Saffer, D. (2008). *Designing Gestural Interfaces: Touchscreens and Interactive Devices*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.
- Schwanauer, S. M., & Levitt, D. A. (1993). *Machine Models of Music*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Smith, D. (2008). *Variations V*. Acesso em June de 2010, disponível em http://arttorrents.blogspot.com/2008_07_01_archive.html
- Smoliar, S. (julho de 1991). Algorithms for musical composition: a question of granularity. *Computer* , pp. 54-56.
- Steedman, M. (1996). The Blues and the Abstract Truth: Music and Mental Models. In: A. Garnham, & J. Oakhill, *Mental Models in Cognitive Science*. Erlbaum, NJ.
- STEIM. (2000). *Big Eye*. Acesso em Junho de 2010, disponível em <http://www.steim.org/steim/bigeye.html>
- Widmer, G., & Goebel, W. (2004). Computational models of expressive music performance: The state of the art. *Journal of New Music Research* , 33, 203-216.
- Winkler, T. (1998). *Composing Interactive Music*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Winkler, T. (1997). Creating Interactive Dance with the Very Nervous System. *Proceedings of the Symposium on Arts and Technology*. Connecticut: Connecticut College.
- Winkler, T. (1995). Making Motion Musical: Gesture Mapping Strategies for Interactive Computer Music. *Proceedings for the 1995 International Computer Music Conference*. San Francisco: Computer Music Association.
- Wolfram, S. (2006). *Wolfram Tones*. Acesso em Junho de 2010, disponível em <http://tones.wolfram.com/about/>