

Método de Monte Carlo para Composição Musical Algorítmica para Jogos

Fernando Augusto Paz, Benjamin Grando Moreira

Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – Universidade do Vale do Itajaí
(UNIVALI) - 88.302-202 – Itajaí – SC – Brazil

{fernandopaz, Benjamin}@univali.br

***Abstract.** Advances in computing have contributed to the development of techniques to simulate and reproduce processes of musical composition. Therefore, this paper present the use of the Monte Carlo method, combined with musical theory, to perform the musical composition. This work show two algorithms with issues constantly used in games.*

***Resumo.** Avanços na área de computação contribuíram para o desenvolvimento de técnicas capazes de simular e reproduzir determinados processos de composição musical. Portanto, o sistema a ser apresentado consiste na utilização do método de Monte Carlo, associado a teoria musical, para realizar a composição musical. Foram desenvolvidos dois algoritmos com temas constantemente utilizados em jogos.*

1. Introdução

Música, assim como os demais segmentos da arte, é um assunto extremamente complexo, possivelmente devido a sua natureza subjetiva, ou pela infinidade de combinações que já foram e ainda podem ser exploradas. É incrível como uma atividade estudada e praticada há séculos continua passando por transformações e ainda possui potencial para inovações (SPENCE, 1979).

Unir computação com composição musical é um conceito antigo, porém ainda em fase inicial de desenvolvimento. Desde a introdução dos computadores existe o desejo de explorar a capacidade humana de criar esse tipo de arte, seja devido à demanda da área de entretenimento ou pela curiosidade de aprender mais sobre o processo de composição. Sistemas como o proposto pelo inventor Raymond Kurzweil na década de 60 já eram capazes de analisar uma lista de músicas simples, encontrarem padrões e gerarem trechos parecidos (KURZWEIL, 2002).

Segundo Delgado, Fajardo e Molina-Solana (2008), a capacidade de desenvolver uma ideia musical de forma automática pode ser muito bem aproveitada nos mercados de entretenimento e música ambiente, os potenciais consumidores desse tipo de serviço. Como exemplo, pode-se citar um jogo eletrônico que, para oferecer mais dinamismo e interatividade ao jogador, altera o rumo da trilha sonora de acordo com a situação de seu personagem.

Sendo assim, esse trabalho apresenta o uso do Método de Monte Carlo, associado a teoria musical, para composição musical de dois tipos de música comumente utilizadas em jogos. Esse algoritmo faz uso da ferramenta proposta por Paz (2010), que é um framework de composição musical algorítmica que recebe os algoritmos e gera uma saída em formato MIDI. Esse artigo tem por objetivo especificar

o funcionamento/implementação desses algoritmos.

2. Fundamentação teórica

A Fundamentação Teórica deste projeto contempla o contexto que está diretamente relacionado com a área de composição algorítmica.

Inicia-se com o esclarecimento dos conceitos de teoria musical, indispensáveis para criar a estrutura de uma composição tradicional. Nesta seção, são abordados os principais fatores que contribuem para a criação de uma música coerente e adequada para as diferentes situações que um jogo eletrônico pode proporcionar.

Considerações referentes ao método de Monte Carlo são apresentadas na seção seguinte. As técnicas aqui presentes são contextualizadas com o algoritmo de composição musical abordado no trabalho.

2.1. Elementos Básicos da Música

De acordo com Bona (2009), a música é composta por três elementos essenciais:

- Melodia: combinação dos sons sucessivos. É a concepção horizontal da música. Como exemplo, pode-se citar um solo de flauta;
- Harmonia: combinação dos sons simultâneos. É a concepção vertical da música. Como exemplo, pode-se citar um acorde de violão; e
- Ritmo: combinação de diferentes durações de tempo. Como exemplo, pode-se citar instrumentos de percussão em uma música, fornecendo o ritmo à mesma.

A junção de um ou mais desses elementos permite formar o fundamento para os estilos musicais existentes. A maneira como são utilizados depende, sobretudo, de questões culturais, mas na maioria dos casos também exige noções de teoria musical, mesmo que de forma intuitiva.

Este projeto se propõe a unir e organizar esses elementos para formar uma música tradicional que contenha a frase principal formada pela melodia e ritmo, a base que irá combinar com a melodia (harmonia) e pulsações de tempo, implícitas ou explícitas, que identificarão a velocidade ou andamento da música formado pelo ritmo.

Além desses 3 elementos essenciais também é importante conhecer as propriedades que um som possui. Segundo Sadie e Latham (1994), o som apresenta as seguintes propriedades:

- Altura: Referente à altura, os sons podem ser classificados como graves (baixa frequência) ou agudos (alta frequência). Essa propriedade é medida em Hz (Hertz) e permite identificar as notas musicais e as melodias;
- Intensidade: Indica se o som é forte ou fraco. Depende da amplitude da onda sonora. Essa propriedade é medida em dB (decibéis). Popularmente chamada de "volume" do som;
- Duração: Representa o tempo que o som dura. Essa propriedade é medida em unidades de tempo relativas e permite identificar o ritmo; e
- Timbre: Essa propriedade permite ao ser humano distinguir uma fonte sonora da outra. É representada por uma onda complexa. Através do timbre, é

possível identificar se o instrumento que se está tocando é um piano ou uma guitarra, por exemplo.

A nível computacional, essas são as propriedades que o sistema é capaz de compreender. O computador não interpreta um som como “nota Do”, mas sim como “frequência de 261,63 hertz”. Isso significa que os sons da música são naturalmente convertidos para propriedades sonoras brutas pelo computador.

2.2. Notas Musicais e Tonalidade

O sistema musical ocidental contempla 12 notas musicais, que podem ser representadas por sílabas ou por letras do alfabeto latino.

De acordo com Sadie e Latham (1994), a concepção de tonalidade consiste no intervalo entre duas notas musicais. Semitom é o menor intervalo entre dois sons que o ouvido humano ocidental está acostumado a perceber e classificar (por exemplo, o intervalo entre C e C#); Tom é o intervalo entre dois sons formado por dois semitons (por exemplo, entre C e D).

A nomenclatura das notas musicais encapsula as frequências, facilitando o músico e também o programador no momento de executar instruções. Não é necessário solicitar a execução de uma nota a 440Hz; as bibliotecas de programação musical já disponibilizam as frequências em forma de nome de notas.

2.3. Escalas Musicais e Intervalos

Escala musical é uma série de notas selecionadas dentre as doze notas musicais (MusicalScales.com, 2009). Sua aplicação ajuda a dar determinadas características à música.

Cada nota da escala está atribuída a um grau equivalente à sua posição. Sendo assim, a primeira nota é chamada de 1º grau ou tônica, a segunda nota é o 2º grau, e assim respectivamente. As notas também podem ser identificadas pela sua posição, como terça e quinta, referentes ao 3º e 5º graus, respectivamente.

A escala musical está diretamente relacionada com o intervalo entre as notas, pois é isso que diferencia uma escala de outra. Chama-se de intervalo a distância entre duas notas musicais (SADIE; LATHAM, 1994). Obtendo como exemplo um piano tradicional, o intervalo seria a relação da quantidade de teclas (brancas e pretas) que existem entre duas notas.

2.4. Acordes e Campo Harmônico

Segundo Virginia Tech Multimedia Music Dictionary (1997), acordes são três ou mais notas musicais tocadas simultaneamente, formando uma harmonia. Pode-se obter um acorde a partir de qualquer combinação. Os acordes mais comuns são formados por tríades (três sons) e tétrades (quatro sons).

Os algoritmos padrão que acompanham o sistema proposto neste projeto utilizam acordes na criação da harmonia e acompanhamentos das frases musicais, o que é comum de se encontrar em músicas ocidentais tradicionais. A definição da melodia também é afetada no sistema, pois as notas que formam o acorde terão maior probabilidade de serem inseridas na frase musical.

Campo harmônico trata dos acordes disponíveis para a harmonia de uma escala (DENYER, 1982). Uma explicação mais generalizada seria apresentar o campo harmônico como um conjunto de acordes que mais harmoniza com uma determinada escala. Esse é um fato que auxilia na composição, pois define o alcance de acordes que terão a maior probabilidade de serem mais adequados ao propósito o qual são destinados. Portanto, torna-se um fator que pode ser calculado através das tríades que formam o campo harmônico.

2.5. Compasso

Compasso é um conceito aplicado à música que a divide em partes, organizando seu tempo, pulsação e ritmo (BONA, 2009). Os compassos mais utilizados são: o quaternário, formado por 4 pulsações de tempo, amplamente encontrado em diversos estilos musicais; o ternário, composto por 3 pulsações de tempo, caracterizando estilos como a valsa; e o binário, que é composto por 2 pulsações de tempo.

Cada compasso contém um conjunto de notas e figuras musicais que forma a melodia e a harmonia. Nos algoritmos padrão do projeto desenvolvido, a divisão temporal geralmente se dá por compassos ternários ou quaternários, influenciando diretamente no ritmo.

2.6. Duração das notas

A duração de uma nota define por quanto tempo a mesma será mantida (SADIE; LATHAM, 1994). No sistema musical, há uma convenção de unidades de tempo que representam os valores de cada nota. Não é atribuído nenhum valor absoluto à duração pois a unidade de tempo varia de acordo com uma definição prévia, ou seja, deve-se determinar quanto tempo (em unidade absoluta, como “2 segundos”) uma semibreve dura. A partir de então, todas as outras durações serão relativas entre si.

A duração permite que diferentes quantidades de notas se encaixem no mesmo compasso. Por exemplo, tanto um conjunto com 2 mínimas quanto um conjunto com 1 mínima e 2 semínimas cabem no compasso quaternário tradicional, garantindo a variedade de frases musicais no decorrer da música.

2.7. Método de Monte Carlo

O método de Monte Carlo é um modelo de simulação que permite selecionar valores a partir de variáveis aleatórias (PRADO, 2010). Esse tipo de simulação, apontada por Mello (2001) como uma maneira de representar o comportamento do sistema real, geralmente é aplicada quando os problemas são muito complexos para tratamento analítico ou quando sua análise é considerada impraticável.

A simulação de Monte Carlo trabalha com uma “faixa de valores possíveis, mas não se sabe o valor específico para um dado momento ou evento.” (PRADO, 2010). Aplica-se então o conceito de números aleatórios para que se possa selecionar as variáveis de interesse entre essa faixa. No caso da computação, somente é possível obter simulação de números aleatórios, sendo estes chamados de pseudo-aleatórios.

Através do método, é possível distribuir pesos a cada valor da faixa de variáveis, e logo em seguida selecionar as que apresentam maior peso. Dessa forma, as variáveis de maior peso consequentemente são as mais prováveis de serem selecionadas. Essa técnica foi aplicada aos algoritmos padrões de composição para definir as notas com

maior probabilidade de serem inseridas em um determinado trecho, e assim manter a coerência da composição com a teoria musical. A simulação de Monte Carlo será contextualizada com os algoritmos de composições na seção do projeto, que será vista adiante.

3. Projeto

Cada algoritmo deve possuir uma estratégia de composição que preenche uma seção com trilhas, compassos e segmentos. Os algoritmos que serão descritos nesse trabalho possuem métodos bastante similares, diferenciando-se apenas em alguns parâmetros importantes, como seleção da harmonia e dos instrumentos. Foi optado por desenvolver estratégias de composição cujos resultados fossem músicas características de jogos eletrônicos:

- Forest (floresta): destinado à criação de temas de floresta, ambiente bastante presente em jogos eletrônicos, como RPG e aventura. Este pacote de algoritmos é composto por três estratégias: (1) compõe trechos de introdução; (2) criação de versos; e (3) estratégia que cria um trecho de transição entre seções; e
- Village (vila): destinado à criação de temas de vila, outro cenário comum em jogos eletrônicos. Este pacote de algoritmos é composto por três estratégias, iguais da estratégia anterior.

Primeiramente cria-se o ritmo, que será mantido durante toda a seção. Por padrão, esses algoritmos formam uma combinação aleatória de batidas que se encaixam em um compasso quaternário. Após serem definidas as durações de tempo do ritmo, elas são armazenadas em uma variável que servirá como parâmetro para ser utilizada por outros elementos, como acompanhamentos desses algoritmos variam entre um conjunto limitado de sequências para garantir suas características mais marcantes. No caso do pacote Forest, predomina-se o uso de harmonias de II, V e VI graus, comum de se encontrar nos temas de floresta. O pacote Village tende a selecionar harmonias de I, IV e V graus, pelos mesmos motivos.

Os algoritmos possuem instrumentos atribuídos a cada trilha de acompanhamento, sendo a harpa, o conjunto de cordas e o contrabaixo os instrumentos mais comuns de serem utilizados.

Uma vez criado as trilhas de acompanhamento, inicia-se o processo de escolha das notas destinadas à melodia principal. A seleção da nota a ser executada é realizada em duas partes: a escolha da duração de tempo e da frequência.

Primeiramente, define-se a duração pela qual a nota será mantida, que é influenciada pelo tempo fornecido por parâmetro. Para cada nota que será adicionada, calculam-se alguns fatores para a escolha de sua duração, dentre os quais estão a sua posição relativa no compasso e na seção. Essas definições são para fins puramente empíricos, ou seja, a escolha da duração da nota não segue regras absolutas, mas sim sugestões estipuladas pelo autor do algoritmo.

Com relação ao método de Monte Carlo, o processo consiste em selecionar as notas que irão integrar os segmentos de cada compasso, tanto na questão de duração quanto na de frequência.

Sendo assim, nos algoritmos desenvolvidos, os segmentos são definidos

utilizando o método de Monte Carlo. O primeiro segmento de cada elemento será gerado de forma aleatória, porém os segmentos seguintes serão baseados em valores probabilísticos. No caso da melodia, cada nota da escala terá um peso atribuído. O peso da nota é proporcional à probabilidade da mesma ser escolhida para compor o próximo segmento. O peso baseia-se em fundamentos da teoria musical, elevando-se caso a nota componha a tríade ou esteja geograficamente próxima da nota anterior, por exemplo. A partir de então, o método de Monte Carlo, por meio de geração de número aleatório, selecionará a próxima nota a integrar o segmento seguinte. Esse processo pode se repetir com a harmonia e o ritmo.

A composição das frequências da linha melódica é o último procedimento a ser executado, pois depende dos acompanhamentos definidos *a priori*, pois cada compasso da seção está submetido a um grau da escala. As notas serão definidas de acordo com o grau de cada compasso. Por exemplo, se o compasso estiver no grau II, as notas a serem escolhidas devem ser as que compõem ao segundo modo gregoriano da escala (dórico). Sendo assim, as composições desses algoritmos são consideradas altamente modais, pois são baseadas em padrões de escala estabelecidos pelos modos (SADIE; LATHAM, 1994).

O processo inicia com a definição do alcance das notas musicais que podem ser selecionadas. Apenas as frequências que compõem a escala atual estarão disponíveis para integrarem os segmentos. Além disso, o alcance inicialmente estipulado é reduzido para uma faixa pequena que abrange uma distância entre uma oitava abaixo até uma oitava acima da última nota executada. Dessa forma, impede-se que sejam selecionadas frequências muito distantes umas das outras.

Em seguida, é atribuído um peso para cada frequência que compõe a faixa. Esse peso, que inicialmente possui valor 1, é acrescentado de acordo com determinados fatores. Entre eles estão a posição da nota na escala, a posição da nota na tríade atual e a distância da nota em relação à nota anterior. Caso os fatores coincidam com a frequência da nota, esta tem seu peso incrementado. Após este processo, a soma de todos os pesos é armazenada em uma variável que servirá como o alcance da aleatoriedade, ou seja, será gerado um número aleatório entre zero e o total da soma dos pesos. Esse tipo de método garante que a nota que obtiver o maior peso será a mais provável de ser selecionada.

Por fim, o método de composição da melodia calculará a chance de aplicar um ornamento na nota ou até mesmo se ela for uma pausa. A decisão será definida de acordo com as chances de pausa e de ornamento, definidas por parâmetro. Dessa forma, o segmento criado é inserido no compasso, e o sistema dá continuidade ao processo de composição melódica.

Ao concluir a geração dos elementos musicais, o algoritmo de composição terá armazenado uma seção preenchida por trilhas com compassos e segmentos para que possa ser exportada no formato MIDI.

4. Avaliação e resultados

Para avaliação das músicas geradas, foi desenvolvida uma demonstração onde as músicas foram aplicadas. A demonstração consiste em um pequeno jogo eletrônico no qual o jogador se locomove por dois ambientes: uma vila e uma floresta. Em um primeiro momento, são executadas músicas criadas por compositores reais, uma para

cada ambiente em específico. As músicas foram retiradas do software RPG Maker XP, e possuem estruturas semelhantes às geradas pelos algoritmos compositores. Em um segundo momento, o jogador percorre os mesmos ambientes, porém as músicas executadas são as composições geradas pelos algoritmos propostos.

Após concluir as jogadas, o avaliador (que fez a avaliação isoladamente dos demais) devia atribuir uma nota entre zero e dez para cada uma das músicas tocadas. A partir das notas fornecidas, realizou-se um levantamento para avaliar a qualidade das composições em geral, demonstrado na Figura 1. A avaliação contou com a participação de 9 músicos e 2 leigos - os músicos voluntários que avaliaram o sistema foram membros do Fórum Cifra Club (www.cifraclub.com.br/forum), site eletrônico destinado ao segmento da música.

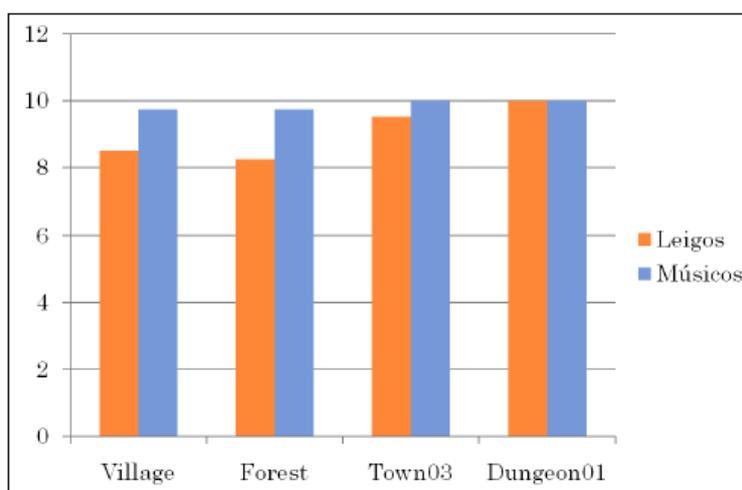


Figura 1. Resultado da avaliação com o público

Através do gráfico, percebe-se que a média das notas atribuídas supera a faixa dos 8 pontos. Os voluntários leigos foram mais exigentes, atribuindo geralmente notas menores. Os músicos, por sua vez, apresentaram reações positivas em toda a trilha sonora. Já era esperado o fato de atribuir notas maiores para as músicas criadas por compositores reais, porém a diferença em relação às músicas automatizadas é bem pequena.

Os autores reconhecem que o número de pessoas que avaliaram a aplicação é pequeno para ter uma avaliação conclusiva e uma avaliação com maior número de participantes precisa ser feita, mas já possibilitou verificar que os algoritmos geram um resultado coerente com o necessário para uma música.

5. Conclusões

A concretização deste projeto pôde esclarecer os elementos necessários para a composição de uma música, incluindo recomendações teóricas para facilitar a criação sem perder a coerência. Uma vez entendido os principais conceitos de teoria, foi possível imaginar a estrutura básica de uma música e como padrões matemáticos podem auxiliar em sua composição, fazendo com que este conceito possa ser transportado para o meio computacional.

O método de Monte Carlo mostrou-se uma alternativa plausível para o processo de definição dos elementos musicais a serem manipulados no algoritmo padrão de

composição. Com a ajuda da teoria musical, o método poderá manter um equilíbrio entre esforço computacional e resultados satisfatórios na geração de frases musicais aleatórias.

Referências

- Bona, P. (2009) “Método de divisão musical”, Grafipress, São Paulo, 80p.
- Delgado, M., Fajardo, W. e Molina-solana, M. (2008) “Inmamusys: Intelligent multiagent music system”, In: Expert Systems with Applications, v. 36, p. 4574-4580.
- Denyer, R. (1982) “Toque: curso completo de violão e guitarra”, Rio Gráfica, Rio de Janeiro, 327p.
- Kurzweil, R. (2002) “Kurzweil inducted into National Inventors Hall of Fame”, <http://www.kurzweilai.net/meme/frame.html?main=/articles/art0467.html>, janeiro.
- Mello, B. A. (2001) “Modelagem e simulação de sistemas”, In: Graduação (Bacharelado em Ciência da Computação) URI – Unidade Regional Integrada, Rio Grande do Sul.
- MusicalScales.com (2009) “Musical scales”, <http://www.musicalscales.com>, dezembro.
- Paz, F. A. (2010) “Biblioteca de composição musical algorítmica”, Trabalho de conclusão de curso da Universidade do Vale do Itajaí, Santa Catarina.
- Prado, H. (2010) “Simulação Monte Carlo”, <http://qualidadeonline.wordpress.com/2010/05/24/simulacao-monte-carlo/>, dezembro.
- Sadie S. e Latham, A. (1994) “Dicionário Grove de música”, Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 1048 p.
- Spence, K. (1981) “O livro da música”, Zahar, Rio de Janeiro, 143p.
- Virginia Tech Department of Music Dictionary (2010) “Virginia Tech Department of Music”, <http://www.music.vt.edu/musicdictionary/>, dezembro.