

## Estratégias de controle digital para a composição automática de melodias com característica melódica subjetiva

### Digital control strategies for automatic composition of melodies with subjective melodic characteristic

#### RESUMO

Jordano Vinicius Lahm  
[lahmvini@hotmail.com](mailto:lahmvini@hotmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Andrés Eduardo Coca Salazar  
[andressalazar@utfpr.edu.br](mailto:andressalazar@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Um importante elemento em toda obra musical é a melodia, a qual contém características subjetivas intrínsecas que lhe permitem transmitir emotividade e sentimentos à peça. No entanto, compor uma melodia com um valor pré-estabelecido para alguma dessas características é um grande desafio composicional. Uma tentativa para abordar esse problema é o algoritmo de composição proposto por Coca et al. (2013), o qual compõe melodias com valores predefinidos na característica de meliosidade melódica através de um controlador proporcional, uma rede *Long-Short-Term Memory* (LSTM) e um sistema caótico. No presente artigo é proposto modificar esse algoritmo, mediante a introdução de diferentes controladores digitais, como: PI e PID, visando melhorar a resposta transitória da característica melódica controlada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Algoritmos de composição. Controladores. Redes neurais artificiais.

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



#### ABSTRACT

AN IMPORTANT ELEMENT IN EVERY MUSICAL WORK IS A MELODY, WHICH IS A FEATURE THAT CAN BE USED TO CONVEY THE EMOTIONS AND FEELINGS TO THE PIECE. HOWEVER, COMPOSITION IS A PRE-ESTABLISHED MEASURE OF VALUE FOR THE EXISTENCE OF A LARGE COMPOSITIONAL DEMONSTRATION. AN ATTEMPT TO ADDRESS THIS PROBLEM IS THE COMPOSITIONAL ALGORITHM PROPOSED BY COCA ET AL. (2013), WHICH COMPOSES MELODIES WITH MELODIOSITY THROUGH A PROPORTIONAL CONTROLLER, A LONG-SHORT-TERM MEMORY (LSTM) NETWORK AND A CHAOTIC SYSTEM. THE FIRST IS THE MOST CORRECT FOR THE ALGORITHM, USING A TRANSITION TO THE DIGITAL IDENTITY WITH: PI AND PID, DIRECT TO THE TRANSIENT OF FUNCTIONAL MELODIC CONTROLLED.

**KEYWORDS:** Composition algorithms. Controllers. Artificial neural networks.

## INTRODUÇÃO

Em toda composição musical, a melodia toma vital relevância em estruturar harmoniosamente sons musicais conforme um ritmo, desenhando, portanto, uma sequência linear de identidade própria. Apresentando esta, por sua vez, características independentes que servem de transmissores de sentimentos e emoções através da variação de parâmetros subjetivos intrínsecos. Pela sua grande relevância dentro da obra musical, algumas pesquisas relacionadas com a análise e composição de melodias podem ser encontradas, por exemplo, análise estatístico melódico [Coca et al., 2010], composição de melodias com redes neurais recorrentes [Chen et al., 2001], dentre outros.

A pesar da abundância de estudos e pesquisas sobre a composição automática de melodias, são poucos os trabalhos que abordam a composição de melodias com características subjetivas pré-definidas, pois tal problema instiga um enorme desafio de composição, que é dada como atividade não trivial, embora a sua solução é de grande utilidade e aplicabilidade tanto para a música quanto para a computação.

Uma das poucas pesquisas que tem abordado o problema de compor uma melodia com um valor predefinido em algumas das suas características subjetivas foi descrita por Coca et al. (2013), denotado daqui como Compositor de Melodias com Característica Subjetiva Pré-definida (CMCSP), no qual usa-se um sistema de controle composto por um controlador proporcional, um algoritmo de composição de melodias caóticas e uma rede *Long-Short-Term Memory* (LSTM), para compor melodias com um grau de melódiosidade pré-definido.

Neste artigo é proposto usar os controladores digitais proporcional-integral (PI) e proporcional-integral-derivativo (PID) no algoritmo do CMCSP, visando melhorar o desempenho da resposta da LSTM segundo as características da resposta transitória do grau de melódiosidade da nova melodia.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Em toda composição, a melodia aporta emoção e sentimentos à obra, através de características tanto objetivas quanto subjetivas. As características objetivas correspondem com as medidas que podem ser calculadas diretamente dos dados da melodia, isto é, alturas, intervalos e durações; por exemplo, histograma de alturas ou durações, medidas estatísticas, e descritores melódicos. Ao contrário das anteriores, as medidas subjetivas são calculadas segundo o desvio com relação um conceito de referência dado pela opinião ou gosto de ouvintes para um conjunto de músicas, como é o caso da originalidade melódica, ou segundo hipóteses com relação ao um conceito abstrato, como o caso do grau de melódiosidade (Coca et al., 2011).

Por serem medidas baseadas em dados concretos, é viável compor melodias com valor pré-definido em alguma medida objetiva, no entanto, no caso de medidas subjetivas o procedimento não é direto. Desta forma, nesta seção serão descritas as alterações propostas para melhorar o desempenho do algoritmo do CMCSP, bem como a contextualização de alguns tópicos relevantes para o seu entendimento.

### ALGORITMO DO CMCSF

Método computacional para compor uma melodia com um valor desejado na característica subjetiva de melodiosidade, o qual recorre a um sistema de controle cuja malha fechada é conformada por uma rede *Long-Short-Term Memory* (LSTM) (Russel, 2009), que, após ser treinada para aprender as características de uma melodia fixa e de uma melodia variável, gera uma nova melodia com características similares às duas melodias de entrada. A melodia variável corresponde com uma melodia gerada por um algoritmo de composição que mapeia as variáveis de saída de um sistema caótico tridimensional para cada uma das variáveis musicais básicas: alturas, durações e intensidade, criando assim uma melodia caótica. Como uma das principais características dos sistemas caóticos é a sensibilidade às condições iniciais e à variação de parâmetros, é possível obter infinitas melodias com pequenas mudanças em algum desses componentes. Além disso, foi demonstrado que para determinados sistemas caóticos existe uma relação relativamente proporcional entre a variação de alguns parâmetros e a complexidade da melodia de saída.

Seguidamente, para a nova melodia é calculado o grau de melodiosidade e depois comparado com o valor desejado, e a diferença entre eles é processada por um simples controlador proporcional, que produz um sinal de controle que modifica um parâmetro do sistema caótico escolhido. Desta forma, a complexidade de melodia caótica é diferente a cada iteração, fazendo com que a rede LSTM aprenda novas características musicais e altere as características de saída, objetivas e subjetivas. O ciclo é repetido até obter uma melodia com o grau de grau de melodiosidade desejado [Coca et al., 2013].

### ALGORITMO DO CMCSF COM CONTROLADORES DIGITAIS

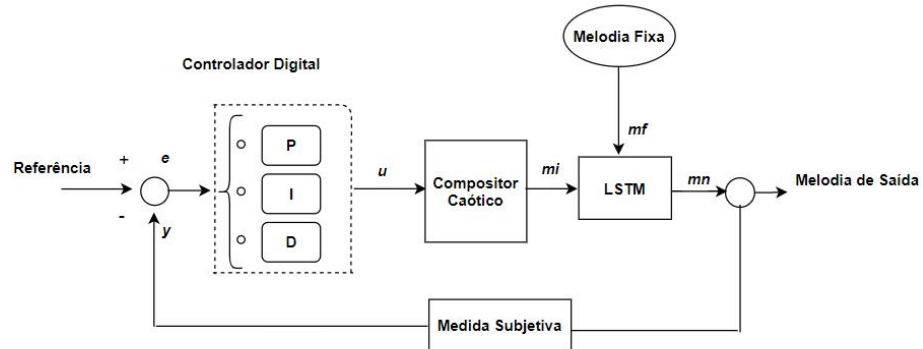
Conforme mencionado acima, neste artigo é proposto usar controladores digitais para modificar o grau de melodiosidade de maneira mais adequada na sua resposta transitória, pois no algoritmo CMCSF foi usado um simples controlador proporcional, que não permite uma resposta abrangente nas características de desempenho do transitório, bem como uma maior exploração do sistema composicional.

Desta forma, visando garantir melhor qualidade e tempo de resposta, foi estendido o sistema de controle mediante a implementação de diferentes tipos de controladores digitais como: proporcional-integral (PI), proporcional-derivativo (PD) e proporcional-integral-derivativo (PID). O algoritmo modificado proposto é mostrado na Fig. 1.

Em teoria de controle, um controlador modifica as características da saída de um processo sem afetar diretamente a sua estrutura. Para tal, o controlador opera sobre a diferença entre o valor desejado ( $r$ ) e o valor da saída atual ( $y$ ), chamada de erro, para calcular um sinal de controle ( $u$ ). Um dos controladores mais conhecidos é o controlador PID, na parte proporcional multiplica o erro por uma constante  $K_p$ , a parte derivativa deriva o erro e o multiplica por uma constante  $K_i = K_p/\tau_d$ , e a parte integral integra o erro e o multiplica por uma constante  $K_i = K_p/\tau_d$ . Ao zerar algumas dessas constantes é possível obter outros controladores como

o PD e PI.

Figura 1 – Diagrama de Bloco do algoritmo do CM CSP com controladores digitais



Fonte: Autoria própria (2019).

Para cada abordagem, existe uma aplicação para essas técnicas de controle, visto o objetivo, as especificações do projeto e o tipo de sinal. Para o caso de sinais discretos são usados controladores digitais, os quais são aproximações discretas das respectivas partes contínuas, e expressados em função da variável  $z$  após aplicar a transformada  $Z$ . A relação entre a saída  $U(z)$  e a entrada  $E(z)$ , isto é  $G_c(z) = U(z)/E(z)$ , é conhecida função de transferência (FT) e representa o comportamento interno do controlador.

Na Eq. (1) é mostrada a FT do controlador PI:

$$G_c(z) = \frac{q_0 z + q_1}{z - 1}, \quad (1)$$

onde,

$$q_0 = K_p \left[ 1 + \frac{T}{2\tau_i} \right] \quad q_1 = -K_p \left[ 1 - \frac{T}{2\tau_i} \right]. \quad (2)$$

sendo  $T$  o período de amostragem.

Na Eq. (2) é mostrada a FT do controlador PID:

$$G_c(z) = \frac{q_0 z^2 + q_1 z + q_2}{z(z - 1)}, \quad (3)$$

onde,

$$q_0 = K_p \left[ 1 + \frac{T}{2\tau_i} + \frac{\tau_d}{T} \right] \quad q_1 = -K_p \left[ 1 - \frac{T}{2\tau_i} + \frac{2\tau_d}{T} \right] \quad q_2 = K_p \left[ \frac{\tau_d}{T} \right] \quad (4)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme o projeto de controladores, objetiva-se determinar o tipo de controlador que obtenha menor tempo de resposta, adaptando as características de resposta transitória da variável subjetiva da melodia, neste caso o grau de meliosidade. Para tal, implementou-se o controlador PI e o controlador PID, conforma as Eqs. (5) e (6), respectivamente.

$$m(k) = q_0e(k) + q_1e(k-1) + m(k-1), \quad (5)$$

$$m(k) = q_0e(k) + q_1e(k-1) + q_2e(k-2) + m(k-1). \quad (6)$$

Segundo o modelo, utilizou-se da sintonia empírica a determinar os parâmetros dos controladores e conforme a estrutura discreta do sinal interpretado de entrada definimos os tipos de controladores. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Controladores digitais

Controlador	Percentual (%)
PI	0.5
PID	0.3

Fonte: Autoria própria (2019).

Nesse sentido, buscou-se sintetizar um sistema de controle que otimizasse o tempo de execução, a partir de diferentes topologias de controladores. Um sistema de controle digital, assim interpretado, descreve um método discreto de cálculo e aprimoramento da função de transferência. Esta por sua vez, traz consigo todas as características de operação da planta abordada, tal como estimativa do erro e controle de parâmetros intrínsecos. O modelo sugerido satisfaz dois tipos de controladores presentes na bibliografia, tal como o controlador proporcional integral (PI) e o proporcional integral derivativo em termos discretos.

## CONCLUSÃO

Nesse meandro, melhorou-se o método de composição musical, otimizando tempo de composição de melodias, proporcionando a músicos compositores melodias facilitadas, além de ideias e sementes musicais de cunho teórico fomentada pelo compositor artificial.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador pelos conhecimentos repassados e auxílios a dificuldades surgidas, e principalmente, a instituição por fornecer tamanha oportunidade.

## REFERÊNCIAS

Coca A., D.Corrêa and L. Zhao. **Computer-Aided Music Composition with LSTM Neural Network and Chaotic Inspiration**. *In: Proceedings of the 2013 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'13)*, p. 270-276.

Coca A., G. Olivar and L. Zhao. **Characterizing Chaotic Melodies in Automatic Music Composition**. *CHAOS - An Interdisciplinary Journal*, vol. 20, no. 3, p. 033125, 2010.

Russel S. and Norvig P., **Artificial intelligence**, Prentice Hall, 2009

CHEN C. AND R. MIIKKULAINEN. **Creating Melodies with Evolving Recurrent Neural Networks**. *Proceedings of the Internacional Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'01)*, pp.2241-2246, 2001.