

非線形振動子の引き込みによる旋律の創発的設計

東京大学工学系研究科精密機械工学専攻 ○相澤祐一, 産業総合技術研究所 竹中毅, 上田完次,
東京大学人工物工学研究センター 浅間一

Emergent design of melody through mutual entrainment between nonlinear oscillators
Department of Precision Engineering, School of Engineering, The University of Tokyo, Yuichi Aizawa
National Institute of Advanced Science and Technology (AIST), Takeshi Takenaka, Kanji Ueda
Research into Artifacts, Center for Engineering, Hajime Asama

Abstract: We present a new method of design of melody based on human cognitive characteristics. Specifically, we examine the mutual entrainment theory. We construct one NO oscillator which defines the timing of note onset and one CP oscillator which controls the timing of contour pivot. In our proposed model these oscillators interact with each other and melodies are generated. Participants evaluated generated melodies well organized and bright. Based on the result, we revise the way of pitch assignment based on agent approach. The agent acts considering generated accent patterns, consonance and proximity to adjacent notes. Results of melody generation experiment show particular pitches are selected.

1. はじめに

Simon は、「音楽は、人工物の最古のものの一つ」とし、「作曲を一つのデザイン問題とみるならば、・・・、他のデザイン問題において行っているのと同じ仕事、・・・、に直面するのである」と述べ、作曲家と工学者が同じ創造的な活動であるデザイン過程を共有していると主張している[1]。確かに、音楽は人間の感覚を通してのみ意味を持つ人工物であり、認知や感情といった人間的な価値と人工物の機能や構造との関係性を明らかにする上で、極めて有効なベンチマーク問題のひとつであると言えるだろう。

そもそも、音楽の設計目的は不明確であるが、設計された音楽を聴取した際に、人間は、良し悪しなどの判断ができる。これは人間が音楽に対して要求を持っていることを意味するが、どのような機能によって要求が満たされるかは明らかではないことを意味する。このような機能を定義する困難さは、人間の認知的な特性に基づいているからであると考えられる。そこで、本研究は、人間の認知的な特性に着目し、要求を満たす旋律の設計手法を構築することを目的とする。

2. 研究の方法

上記の目的のために、本研究を以下のような方法で行った。

- ・ 認知心理学における知見に基づく旋律生成のモデル化
- ・ 計算機による旋律生成実験
- ・ 聴取実験による提案手法の評価

5章では聴取実験の結果を踏まえたモデルの改良について、6章では今後の展望について述べる。

3. 旋律認知と引き込み

旋律は、音高と音長という2つの離散的な量を持つ音符から構成されており、同様のパターンが繰り返されるといった特徴が観察される。すなわち、このような特徴は、時間と音高が相互依存的に設計されることで実現されているといえる。

筆者らは、パターンを設計する手法として、人間のリズム生成のメカニズムとして着目されている引き込み(Entrainment)に着目した[2]。引き込みとは、互いに固有振動数が異なる非線形振動子が弱く結合している系において、相互作用の結果、振動子が同期する現象のことである[3]。このような系では、結合の強さや接続性によって、同位相、逆位相の引き込み、あるいは

は $m:n$ の振動数比に安定する整数比引き込みなど、様々なパターンが生成される。

近年、音楽心理学においても、人間が旋律を聴取する際に、時間と音高を統合的に認知している可能性が指摘されており、そのメカニズムを説明するモデルとして引き込みが着目されている。たとえば、Jones らは、時間的側面としてのリズムのアクセントと音高に関するアクセントが統合される(Joint Accent Structure)ことで、旋律の記憶や認知に影響を与えていると説明しており、時間と音高の処理を説明するモデルとして Pitch/Time Entrainment model を提案している[4]。アクセントとは、周囲よりも目立って知覚される特徴点と定義され、特に、発音(NO)や音高遷移方向の変化(CP)が代表的なアクセントである。

4. 引き込みによる創発的旋律生成モデル

提案モデルでは、発音のタイミングを決める1個のNO振動子と音高遷移方向の変化のタイミングを決める1個のCP振動子が、位相差によって相互作用をする。相互作用の結果、どのタイミングで発音すべきか、どのタイミングで音高遷移方向を変化させるべきか、といった時系列情報が生成され、隣接する音符の音高と近接する範囲内でランダムに音高が選ばれる。

NO 振動子

$$\ddot{x}_1 = -\omega_1^2 \dot{x}_1 - \varepsilon_1 (x_1^2 - 1) \dot{x}_1 + \alpha (x_2 - x_1) \quad (1)$$

CP 振動子

$$\ddot{x}_2 = -\omega_2^2 \dot{x}_2 - \varepsilon_2 (x_2^2 - 1) \dot{x}_2 + \alpha (x_1 - x_2) \quad (2)$$

ω_i : 各振動子の固有振動数 ε_i : 非平衡度パラメータ

x_i : 各振動子の位相 α : 振動子間の結合係数

5. 旋律生成実験

ここでNO振動子、CP振動子の導入・非導入、結合の有無によって表1のように条件を設定した。2つの振動子を導入し、かつ結合のあるCase Vが提案手法である。結果、例えば、図1のような楽曲が得られた。

表 1 生成条件

	NO 振動子	CP 振動子	結合
Case I	○	○	×
Case II	×	○	×
Case III	○	×	×
Case IV	×	×	×
Case V (提案手法)	○	○	○

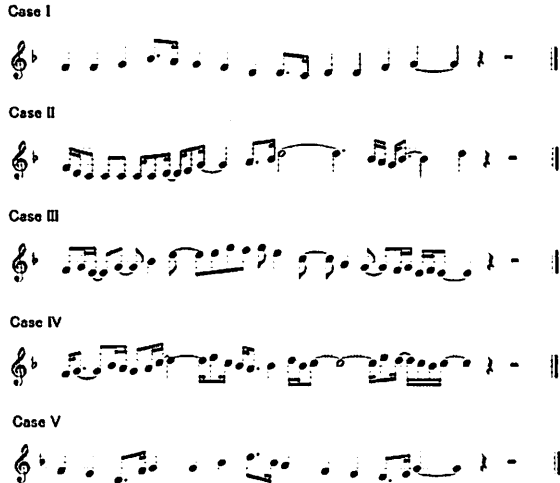


図 1 生成曲の譜面

設計手法の評価を行うために、得られた旋律と既存曲(Case VI)を刺激として、聴取実験を行った。聴取実験では、質問紙に5段階評定法に従って、最もあてはまると思われる尺度に○をつけさせた。各刺激の評点を全参加者間で形容詞ごとに平均したあと、同一条件の刺激間で平均化した平均得点を算出したところ、提案手法は、振動子の一方が存在しない条件に対して、まとまりや安定性について高い評価を得ていた。そこで、因子分析を行って主要な因子を抽出し、各刺激に対する印象をマップにした。因子分析の結果、「規則性のある・まとまりのある」といった規則性を表す因子と「速い・明るい」といった活動性を表す因子が抽出された。

図2に示すように、提案手法は、Case Iに対して、活動性に関する軸で高い評価を得た。また、音楽経験者に絞ると、ここに有意差が存在することも確認された。一方、生成曲に比べて既存曲は、両軸で高い評価を得ていることが分かる。用いた既存曲が調性音楽であることを踏まえると、実験参加者は協和感や音高の絶対値について注意をしている可能性が考えられる。

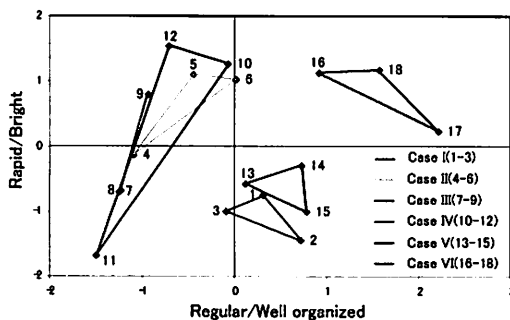


図 2 因子分析の結果

5. 強化学習による音高決定

聴取実験による評価を踏まえ、ランダムに音高選択するフェーズを除き、協和感と隣接音との近接性に基づく評価関数を構築し、これに従って音高決定を行う学習エージェントを導入した。エージェントは、生成された NO と CP の時系列に従い、NO=1 (発音する) の時に次の音高を決定する。旋律中で鳴り続けている仮想的な中心音(Tonal Center)との協和感(Spatial Consonance)、それまで選択した音高との協和感(Temporal Consonance)、隣接音との近接性に従って、エージェントの行動は関数によって評価される。旋律生成実験を行ったところ、へ調の音階に属する音高が多く選択される結果となった。

NO	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
CP	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0

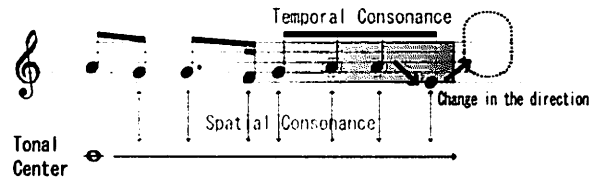


図 3 強化学習による旋律生成

6. まとめと展望

人間の認知的特性に基づいて、2つのアクセントの配置を統合的に決定するモデルを提案した。この手法によって、まとまりや明るさのある旋律が得られることが示唆された。また、音高配置を創発論的に設計するために、強化学習を用いた手法を提案し、特定の音高群が選択されることが分かった。今後は、図4に示すようなシステムを構築し、作曲支援ツールへの応用可能性を検証していきたい。

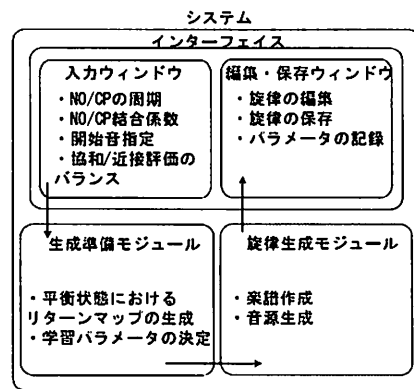


図 4 作曲支援ツールの概要

参考文献

[1] H. A. Simon, "The Sciences of the artificial", MIT Press, 1999. 稲葉元吉, 吉原英樹訳, 『システムの科学』, パーソナルメディア, 1999.

[2] 相澤祐一, 布袋田由理子, 竹中毅, 上田完次, 「相互引き込みモデルに着目した音楽の創発的設計」, 第9回計測自動制御学会 SI 部門講演会, 2008.

[3] 蔵本由紀, 「非線形・非平衡現象の数理 リズム現象の世界」, 東京大学出版会, 2005.

[4] M. R. Jones, H. M. Johnston, & J. Puente, "Effects of auditory pattern structure on anticipatory and reactive attending", Cognitive Psychology, Vol.53, No.1, pp.59-96, 2006.