

音形のエントロピーに基づく合奏曲のピアノへの自動編曲

李 由[†] 保利 武志[†] Christoph M. Wilk[†] 嵯峨山 茂樹[†][†] 明治大学 大学院先端数理科学研究科

1 はじめに

オーケストラ曲などの合奏曲をソロピアノ用に編曲するには、複雑な作業が必要である。藤田らの研究 [1] をはじめ、合奏曲から単一の楽器へ自動編曲するための研究はこれまでにも行われてきたが、これらは主として音楽理論に基づいたルールベースを用いるアプローチをとっているため、音楽特徴量の選択やルールの設定に手作業が必要とされてきた。

本研究では、数理的な手法によるアプローチの一つとして、情報理論的考察に基づいた自動編曲を検討する。

2 情報理論に基づく音楽編曲の定式化

2.1 ピアノリダクション問題

合奏曲からピアノへの編曲では、原則として新たな音符の付加はない [2]。そのため、本研究では、ピアノ編曲作業を、音符の削除とオクターブ移動のみで行うピアノリダクション問題として扱い、原曲の情報をできるだけ多く残し、かつ演奏可能なピアノ譜を出力する情報伝送路である、と捉え、情報理論の応用を試みた。

仮に、合奏譜の各パートがフレーズ分割されているとすると、情報豊富なフレーズは一定のパートに固定されるとは限らないので、すべてのパートのすべてのフレーズから取捨選択して組み合わせ、ピアノ譜を構成しなければならない。我々は、ピアノリダクションはこのような問題と捉えた。

2.2 音形のエントロピーの計算方法

2.2.1 音高エントロピー

フレーズ分割されている場合、各フレーズが担う情報の多さを計量したい。そのために、フレーズを構成する N 個の音符の音高を、背後に隠れたある情報源からのランダムなサンプリング結果であるとみなそう。音高の情報源の確率変数 $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ の確率分布を $P(X)$ とすると、その情報源の各音高の確率 $P(x_i)$ は一般に未知であるので、これをフレーズ内で観測した音高 i の回数 n_i の比 $\frac{n_i}{N}$ によって推定できるものと

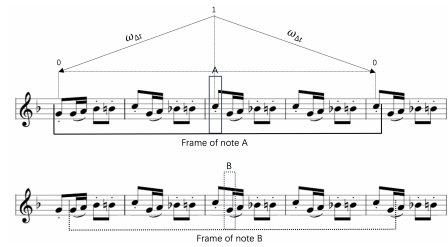


図 1: スライディングフレーム分析の計算例

すると、エントロピー（平均情報量）[3] は：

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (1)$$

により定義できる。

メロディ個所には伴奏より多くの非和声音が含まれる傾向があるが、このことはエントロピーに反映できる。

2.2.2 リズムエントロピー

音高と同様、リズムもフレーズに含まれる情報量を評価する要素の一つである。ここでは、IOI（inter-onset interval）のエントロピーによって、リズムエントロピーを定義する。可能な IOI の値を 16 分音符まで量子化し、音高エントロピーと同じ計算方法を用いることで、リズムの情報量が計算できる。

上述の 2 種類のエントロピーの総和により、フレーズに含まれる音形の情報量とする。以上のような音形のエントロピーが大きいフレーズを上位から選択して、ピアノ演奏可能な範囲で構成することでピアノ編曲でき、それは、人間が原曲を聴く際に「目立つ」部分はピアノ編曲結果にも残したいとする編曲法を意味すると考えられる。

2.3 スライディングフレーム分析

以上はフレーズ分割が可能な場合の考察であるが、一般に、音符列から音楽フレーズ単位を自動抽出するのは容易ではない。そこで、本研究ではフレーズに直接分割せず、原楽譜中の各音符について、各音符をフレームの中心とし、中心からの距離によって各音符の重み付けした出現回数に基づきフレームのエントロピーを算出し、エントロピーのパート間大小比較で重要度の順序を求めた。

例えば、図 1 中の音符 A の局所のエントロピーは次のように計算される：

“An Entropy Principle of Musical Scores Applied to Automatic Piano Reduction of Ensemble Scores”

by You Li[†], Takeshi Hori[†], Christoph M. Wilk[†] and Shigeki Sagayama[†],

[†]Graduate School of Advanced Mathematical Sciences, Meiji University, 164-0001, Tokyo, Japan.

{cs172018, hori, wilk, sagayama}@meiji.ac.jp

- 音符 A の前後 2 小節の範囲にフレームを掛ける。
- 中心から 16 分音符を単位で各音符の時間距離の絶対値 Δt を計算する。
- 各音符の重み $\omega_{\Delta t}$ は次のように与える：

$$\omega_{\Delta t} = 1 - \Delta t \times \frac{2}{\text{FrameLength} - 1} \quad (2)$$

- 得られた重み $\omega_{\Delta t}$ を用い、着目している音符 i の重み付き出現回数 $\hat{n}_i$ とその確率 $P(\hat{x}_i) = \frac{\hat{n}_i}{\sum_{j \in \mathcal{J}} \hat{n}_j}$ を計算する (ただし、 $\mathcal{J}$ はフレーム内に存在する音符集合)。

このプロセスを、局所のエントロピーを得るためにオーケストラ曲内のすべての音符について繰り返す。例えば、次の音符 (音符 B) のフレームは図 1 に示す通りである。

3 自動編曲の手順

3.1 「目立つ」部分の抽出

エントロピーを計算する時に、計算の便宜上、オクターブ情報を無視し、ピッチクラスを考慮した。また、和音の場合は最高音のみを扱った。

パートの重要度を同時刻で比較した場合、エントロピーが等しい時に、他の要素を追加し、原曲の目立つ部分を補助的に判断する。一つ目は最も高い音高を含むパートは一般に目立つため重要である。また、より多くの音符から構成される和音を持つパートの方がより多くの情報を持つと考えられる。

3.2 伴奏と和音部分の抽出

伴奏や和音は音楽において重要なので、編曲後も保持されるべきである。頻繁に現れる音や長い時間鳴る音が伴奏や和音になる可能性が高いことに着目すると、フレーム内で重み付き音価総和が大きいピッチクラスであるほど、伴奏や和音の構成要素でありうる。ここでは計算の便宜上、上位 3 つまでの音価総和をもつピッチクラスに属する音符がピアノ曲として保持されるべきである。ただし、保持される音符が伴奏や和音として機能するように、各時刻において目立つと判定された音符の音高より低くなるような音高をもつ音符が選択される。

3.3 ピアノ演奏可能に調整

ピアノで演奏可能とするため、選択された音符を以下の条件を満たすように調整する：

- 音高の範囲は C2 から B6 までで、必要に応じてオクターブを移動する。
- 片手で演奏される最高音と最低音の音程はオクターブ以内。
- 片手で同時に演奏できる音符は最大 4 つまで。

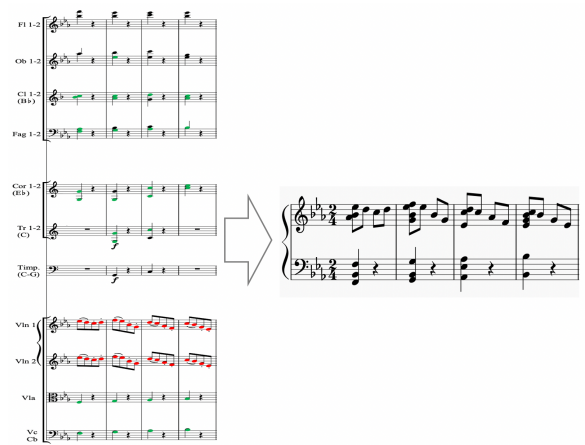


図 2: オーケストラ曲の抜粋と生成されたピアノ譜例

4 実験結果と考察

実験にはベートーヴェンの交響曲第 1, 5, 6 番の各々第 1 楽章を使用した。第 5 番の第 1 楽章の小節 97~100 と生成したピアノ譜を図 2 に示す。赤い音符は原曲の目立つ部分と判断されたもの、緑の音符は伴奏と和音部分のものである。また、どちらの色の音符も演奏可能な範囲で選択されている。

実験結果では、目立つ部分と和音情報を保持できていることが分かる。ただし、音符のエントロピーは各開始時間において計算されるため、重要度の低い音符もいくつか抽出されていた。また、まだ音符間の動きを考慮していないため、短時間に離れた鍵盤を押下しなければならないような演奏の難しいパターンが生じた。

5 おわりに

本稿では、合奏曲のピアノ編曲の問題を情報理論的に考察し、エントロピーに音づいて自動化する方法を検討した。実験の結果では、原曲で目立つ部分を抽出できる一方で、余計な音符も選択されることがあった。今後はピアノとして適切な和音構成や、演奏モデルに基づく演奏しやすい編曲などの研究を進めたい。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 17H00749 の助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] 藤田顕次 *et al.*, “習熟度を考慮した複数楽譜からのピアノ譜生成手法の提案,” 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS), vol. 2008, no. 89 (2008-MUS-077), pp. 47–52, 2008.
- [2] 中村栄太 *et al.*, “ピアノの両手運指モデルによる合奏曲のピアノ用自動編曲手法,” 研究報告音楽情報科学 (MUS), vol. 2013, no. 14, pp. 1–13, 2013.
- [3] C. E. Shannon, “A mathematical theory of communication,” *Bell system technical journal*, vol. 27, no. 3, pp. 379–423, 1948.