

## 隠れマルコフモデルを用いたコード進行のベースラインからの推定

1 L-03

志田 裕樹

乾 伸雄

小谷 善行

東京農工大学工学部

## 1. はじめに

本研究は音楽情報処理における自動編曲や楽曲分析に類する研究である。楽曲の演奏情報からコード進行を推定することを目的とする。過去にはメロディーに着目したルールベースに基づく手法が広く採用されてきたが、本研究ではよりコードと関連の深いベースラインに着目し、出力系列をコード進行、状態遷移系列をベースラインとする隠れマルコフモデルを用いた統計的手法を採用した。モデルの適用の際ベースラインは多くのバリエーションをもち、そのままの形では信頼性のある統計量を得ることができないため、複数のベースラインをクラスタ化し、その統計量で近似計算を行った。

## 2. 隠れマルコフモデルによるモデル化

求めるコード進行  $(c_1, c_2, \dots, c_n)$  は次の条件付き確率を最大にするものであるとする。

$$P(c_1, \dots, c_n | b_1, \dots, b_n) \quad \dots (1)$$

これはベイズの定理より

$$\frac{P(c_1, \dots, c_n) \times P(b_1, \dots, b_n | c_1, \dots, c_n)}{P(b_1, \dots, b_n)} \quad \dots (2)$$

となる。このとき分母はコードと無関係であるから求めるコード進行は式 2 の分子を最大にするものである。この分子の第一項はコードの  $n$  グラムをあらわしているが、この値を求めることは不可能であるため、まずトライグラムによる近似を試みる。その値も求めることができない場合バイグラムの値で近似する。

$$P(c_1, \dots, c_n) \equiv \prod_{i=1}^n P(c_i | c_{i-1}, c_{i-2}) \quad \text{または}$$

$$P(c_1, \dots, c_n) \equiv \prod_{i=1}^n P(c_i | c_{i-1}) \quad \dots (3)$$

この分子の第二項はコード進行で条件付けされたベースラインの出現確率である。これも各コードに

Reasoning chord progress from bass line using Hidden Markov Model  
Yuki Shida, Inui Nobuo, Kotani Yoshiyuki  
Computer, Information and Communication Science,  
Faculty of Engineering, Tokyo University of Agriculture  
and Technology

対して、あるベースラインが出力される確率は前後のベースラインと独立であると考え、ベース/コードの条件付き確率に近似する。

$$P(b_1, \dots, b_n | c_1, \dots, c_n) \equiv \prod_{i=1}^n P(b_i | c_i) \quad \dots (4)$$

ベースラインは音価、リズム、音高といったさまざまなパラメータをもっており、完全にマッチングがとれることはほとんどまれである。そこで、ベースラインをクラスタ分析し、ベースライン  $b_i$  の出現確率を、そのベースラインを要素にもつクラスタ  $l_i$  の出現確率で近似する。小さい順に  $t$  段目のしきい値を設け、それぞれのしきい値に対してクラスタ分析を行うことで、ベースラインの段階的な抽象化を行う。より小さい値のしきい値から近似を試み、もっとも信頼性のある抽象度  $s$  のクラスタの出現確率で近似する。

$$P(b_i | c_i) \equiv P(l_s | c_i) \times \frac{\text{num}(L_s)}{\text{num}(C)} \quad \dots (5)$$

ただし  $0 < s < t$ ,  $L_s$ : しきい値  $s$  のクラスタ集合,  $C$  コード集合  
式 3 を  $a_i$  を式 5 を  $b_i$  とおくと求める最終的な目的関数は

$$a_i \times b_i \quad \dots (6)$$

となり、この式の値の最適解をヴィテルビ・アルゴリズムによって求める。

## 3. ベースラインのクラスタ化

クラスタ分析を行うために、クラスタの要素であるベースラインの距離を定義する。基本方針は次のものである。

- 同一コード下のベースラインを比較対象とする
- 同じ長さのベースラインを比較対象とする
- 事例をもとに同一拍上で弾かれる音符を比較する
- 事例をもとに各拍に対して重み付けをする
- 事例をもとにコードの構成音毎の重要性を考慮する

以上をふまえ、ベースラインの距離の計算方法について次から説明する。

まず、構成音  $(c_1, c_2, \dots, c_x, \dots, c_n)$  からなるコード  $C$  のもとで演奏された、長さ  $n$  のふたつのベースライン  $a, b$  を  $a = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$  と  $b = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n)$  とし  $a, b$  の距離を  $D(a, b)$  とする。



図1 比較例

$$D(a,b) = \sum_{i=1}^n w_i \times d(a_i, b_i) \quad \dots (6)$$

$d(a_i, b_i)$ はベースラインの各音符の距離をあらわしており次のように定義される。

$$d(a_i, b_i) = \frac{\text{abs(そのコードに対して} a_i \text{が弾かれた頻度 - そのコードに対して} b_i \text{が弾かれた頻度)} / \text{そのコードに対して弾かれた全頻度}}$$

$w_i$ は1拍目の重みをあらわしており、第*i*拍の重み  $W$ は第*x*番目のコードの構成音に対して

$$\sum_x \text{第} x \text{音を引いた回数} \times \text{第} x \text{音の重要度}$$

ただし

$$\text{第} x \text{音の重要度} = \frac{\text{第} x \text{音の頻度}}{\text{コードの構成音の全頻度}}$$

上で定義されたベースラインの距離を用いて、クラスタ分析を行う。クラスタ間距離には最長距離法を用いる。

#### 4. 実験・考察

ジャズのスタンダードな楽曲クローズドデータ18曲、オープンデータ4曲の同一演奏者による演奏それぞれ2コーラス分を用意した。表1に各拍の重みを示す。

表1 各拍の重み

拍数 \ 長さ	1	2	3	4
2	73.7	26.3	-	-
4	53.7	9.6	17.7	19

拍数2拍と4拍のベースラインそれぞれに対する重みが選られた。コードの構成音の重要性は第一音、第五音、第三音、第七音の順であった。一拍目に第一音と第五音、4拍目に第五音が目立ったため、重みが高くなったことが分かる。

表2にクラスタ例を示した。しきい値50と200のコードIM7に対するクラスタ例を示した。しきい値50では1度、2度、3度5度が主だったが、200では他

に、7度、6度が加わったベースラインも含まれている。

表2 クラスタ化の例

1	3	5	8	1	3	6	9
1	3	5	3	1	6	2	9
1	3	5	1	1	3	5	3
1	3	5	6	1	12	10	1
				1	1	5	8
				1	3	5	1
				1	8	1	3
				1	1	8	8
				1	12	1	3
				1	12	10	8
				1	8	10	12
				1	12	10	11
				1	8	5	3

表3に各しきい値毎のオープンデータ4曲にたいする適合率を示す。

表3 しきい値別適合率

しきい値	0	50	200	400	1500	3000
適合率	1.2	21	55.7	65.8	91.3	97.8

しきい値0は全くクラスタ化がされない状態である。クラスタ間距離の最大値は10000である。適合率が低いクラスタはクラスタの出現確率が低く、また、適合率が高いクラスタはコードに対して1つのクラスタに近い状態となるため出現確率が極端にあがってしまう。このため、近似計算が可能な、適当なしきい値の選択が重要である。

また、クローズドデータに対して生成した結果、再現率92.3%、オープンデータ4曲に対して再現率42.0%を記録した。また、すべてのコードを3和音に抽象化した場合、クローズドデータで97.2%、オープンデータ49.1%を記録した。今後、事例の収集、ベースラインの音符比較手法の再検討が必要と考える。

#### 5. まとめ

隠れマルコフモデルを用いた統計的手法によりベースラインからコード進行の推定を行った。また、クラスタ分析を利用したベースラインの抽象化を実現した。

#### 参考文献

- [1]志田裕樹他：隠れマルコフモデルを用いたベースラインからの自動和声付け、日本ソフトウェア学会、第18回大会、2001
- [2]長嶋 洋一他：コンピュータと音楽の世界、bit別冊、共立出版株式会社、1998.
- [3]川上隆他：隠れマルコフモデルを用いた旋律への自動和声付け、音楽情報科学、vol34, no. 10, 1999