

クロマ情報とコード進行データベースを用いたコード名推定システムの構築

此木 康至*, 江村 伯夫**, 三浦 雅展**

*龍谷大学大学院 理工学研究科, **龍谷大学 理工学部

エレキギターを用いたコード演奏に対してリアルタイムにコード名を推定するシステムについて述べられている。著者らは先行研究として、MIDI 信号を対象としたコード名推定システムについて検討しており、そこでは入力されたクロマ情報と過去に演奏されたコード進行を考慮することでコード名推定が行なわれた。そこで本研究では先行研究におけるシステムを拡張し、エレキギターから得られる音響信号への対応が目標とされている。ここでは入力される音響信号は PCP (Pitch Class Profiles) へと変換され、各クロマのパワー比から演奏されたクロマ群が求められ、そのクロマ群に対するコード名が推定される。

Chord estimation system using chromatic profiles and chord progression database

Yasushi KONOKI*, Norio EMURA**, and Masanobu MIURA**

*Graduate School of Science and Technology, Ryukoku University

**Faculty of Science and Technology, Ryukoku University

This paper describes a system that estimates a chord label in real-time for sounds played with several electric guitars. Authors had constructed a chord estimation system for MIDI signals in previous studied. They tried to estimate chord labels considering the combination of pitch classes and validity of performed chord progression. Here, authors aim at extending their previous system to be able to use in more practical situations, by dealing with acoustic signals instead of MIDI signals. Performed pitch classes are estimated by converting input sounds into the PCP(Pitch Class Profiles) and selecting strong pitch classes depending on intensity relations in these vectors. Finally, a chord label for performance is estimated for obtained pitch classes.

1. はじめに

調性音楽は、旋律とそれに対する和声によって形成されていると考えられ、従って、和声を構成する和音（コード）は調性音楽の楽曲構造において重要な要素の一つである。このことから、楽曲データや音楽演奏から計算機によってコード名を推定することを目的とした研究が盛んに行なわれている^{[1]~[4]}。

近年、これらの研究の多くにおいて、音響信号を対象にコード名推定が行なわれており、そこではコードを構成する音高（コードピッチ）の推定が第一の問題となる。この問題に対しては、PCP (Pitch Class Profiles)^[5]やクロマベクトル^[6]などの手法によって解決が試みられており、推定されたクロマ群に準じてコード名が得られると期待されている。この部分において多くの研究では、コード名はクロマの組み合わせに対して一意に定まるという仮定が置かれている。コードはクロマの組み合わせとして定義され

ているが、クロマの組み合わせから適切なコード名を決定することは、以下の理由のため困難である。実演奏や作曲において「コード構成音の省略」や「転回形」、「テンションヴォイスिंग」といったコードノートの配置に関する演奏技法がしばしば用いられる。これらの技法が用いられた場合、そのコードノートの配置において、減少、変化、もしくは増加してしまうため定義とは一致なくなる。そのため、これらのようなコード構成音の変化を考慮したコード名の決定は、たとえコード名の定義におけるクロマの組み合わせを知っていたとしても困難なのである。その他の困難性として「異名同音コード」が挙げられる。この問題に対して吉岡ら^[1]やHartら^[7]は、楽曲の調を求めることで解決を試みている。

我々はこれまでにMIDI信号を対象とし、上記の問題について「コード名探索木」や「コード進行データベース」を構築し用いることで解決を試みてきた

[8]. そこで本研究では、先行研究でのシステムを拡張し、音響信号にも対応可能なコード名推定システムの開発を目的としている。なお、ここで対象とされるコードタイプは以下の 16 種とした (maj, min, aug, dim, sus4, 7, min7, maj7, minmaj7, aug7, min7^(b9), 7sus4, dim7, maj6, min6, add9)。

2. コード名推定における問題

楽曲データや実演奏に対するコード名推定では、「コード構成音の省略」、「転回形」、「テンションヴォイスイング」及び「異名同音コード」などのヴォイスイングやコードの性質が弊害となる。それらの例を図 1 に示す。テンションヴォイスイングについては一部でその解決策などが検討されているものの^[9]、それらを決定論的に解くことは難しい問題であると述べられている。そこで本研究では、構成音の省略、転回形及び異名同音コードについてのみ解決を試みることにした。

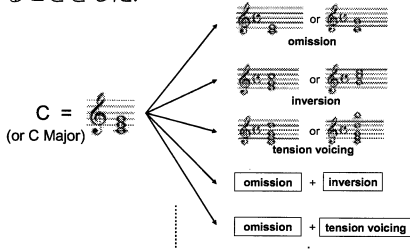


図1 コード名推定における問題

3. 提案するコード名推定アルゴリズム

3.1 提案するコード名推定アルゴリズムの概要

本研究では、図 2 に示す処理の流れによってコード名推定を行なっている。まず、エレキギターから出力される音響信号に対し音響解析を行なうことによって PCP (平均律における 12 個の各クロマのパワーを表したものを) を抽出する。得られた PCP のパワー比から、実際に演奏されたクロマ群を求める (以下、「演奏音」と表記する)。そして「コード名探索木」を用いることによって、それらのクロマ群を用いて演奏された可能性のあるコード名を全て列挙する。また、過去の演奏に対して推定されたコード名の時系列をコード進行として保存しておき、

「コード進行データベース」内に格納されているコード進行パターンと照合することによって、その時点において演奏された可能性の高いコード名を全て列挙する。そして、コード名探索木の結果とコード進行データベースの結果の論理積を算出することで最終的な推定結果を得る。

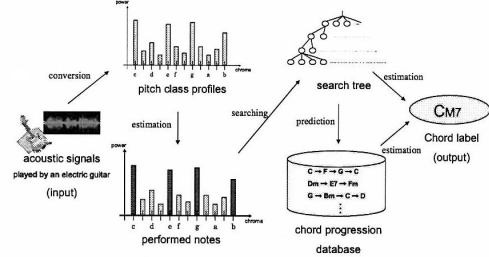


図2 提案するコード名推定アルゴリズム

3.2 PCP への変換

PCP は音響信号において異なるオクターヴにおける同じクロマのパワーの総和を表現したものである。従って、まず音響信号に対して高速フーリエ変換を行ない、各周波数領域におけるパワーをそれぞれ求める。ここでは音響信号をサンプリング周波数 22kHz、量子化ビット数 16bit で A/D 変換を行ない、窓幅 8192 点のハミング窓を用いた FFT を行なっている。また、考慮する音域は約 82~5000Hz (E2~D#8) で各クロマに対して 6 オクターヴ分とした。従って、クロマ c の第 o オクターヴのパワーを $P_{c,o}$ とすると PCP v_c は以下のように求められる。

$$c = \{E, F, F\#, G, G\#, A, A\#, B, C, C\#, D, D\#\}$$

$$E(E2 \sim E7) \leq c \leq B(B2 \sim B7)$$

$$v_c = \sum_{o=2}^7 P_{c,o} \quad (1)$$

$$C(C3 \sim C8) \leq c \leq D\#(D\#3 \sim D\#8)$$

$$v_c = \sum_{o=3}^8 P_{c,o} \quad (2)$$

また、各オクターヴにおけるクロマのパワー推定において、音高に対する周波数のズレを考慮するため図 3 に示す楕円フィルタを用いる。この楕円フィルタは正規分布に従ったもので、各クロマの各オクターヴにおける周波数 f を平均値とした場合、標準偏差 σ は $\frac{1}{24}f$ ($\frac{1}{12}$ オクターヴ) と設定している。

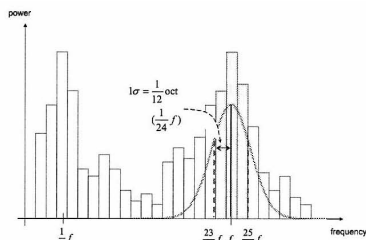


図3 単一の櫛形フィルタの形状

3.3 演奏音の推定

PCPに対する演奏音の検出は以下のように行なわれる。まず、指定時間長におけるPCPの各クロマに対するパワーの平均が計算され、大きいものから順に4つのクロマが選択される。それらのクロマにおいて、最も大きいパワーが予め設定されている閾値を超える場合は、何らかのコード演奏が行なわれたと見なされ、そのクロマは演奏音の1つとして決定される。残りの3つのクロマは、最も大きいパワーを持つクロマに対してある一定値以上（ここでは65%以上）のパワーを持つ場合のみ演奏音であると見なされる。よって演奏音の数は最大4つとなる。

3.4 コード名探索木の構築

得られた演奏音に対して推定候補となるコード名の列挙は、図4に示すコード名探索木を用いて行なう。この木構造は演奏音において重複を除くクロマの組み合わせを全通り表したものである。最大4音までの組み合わせを考慮しているため探索木 of 全ノード数は、 $11880 ({}_{12}P_4)$ ノードとなる。また、各ノードはそれ以前の親ノードの表すクロマを含むクロマ群を表している。各ノードには推定候補となるコード名群があらかじめ登録されている。ここで登録されているコード名群は、当該ノードが表すクロマ群を構成音として必ず含むコードであり、図4における「c-e-g」ノードには、コードの構成音に「c, e, g」を含む全てのコード名「C, C7, CM7, C6, Cadd9, Am7」が登録される。従って、コード演奏における演奏音と一致するノードのコード名群が、演奏に対する推定候補となる。

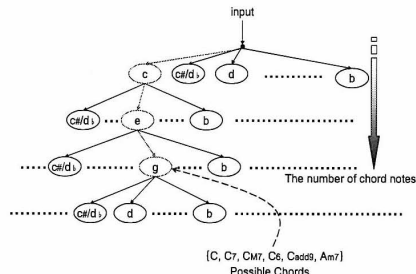


図4 コード名探索木の概観

3.5 コード進行データベースの構築

上記のコード名探索木を用いたコード名推定ではクロマ上でのコード構成音のみを推定要素としているため、同一の構成音を持つコード名が複数存在する場合は一意に決定することが不可能である（例：Dm7とF6）。

この問題に対して本手法では、コード名探索木を用いた絞り込みの結果、推定候補が複数存在する場合は、過去に演奏されたコード進行を考慮し、そのコード進行において次に演奏される可能性の高いコード名を予測することによってさらに推定候補を絞り込む。このコード名の予測では、約2000種のコード進行パターンによって構成されるコード進行データベースを用いる。各コード進行パターンは2～8つのコード名の遷移を表し、これらのパターンは全て経験的な知見から得られたものである^[10]。コード演奏の推定結果に対してこのコード進行データベースを参照し、過去に演奏したコード進行と一致するコード進行パターンからその時点における予測コードを得る。その例を図5に示す。

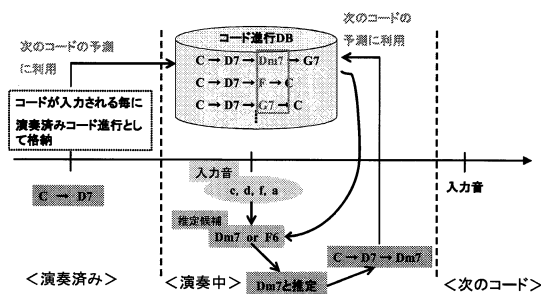


図5 コード進行データベースを用いたコード名予測

4. 提案システムの概要

本研究で構築したコード名推定システムの概観を図6に示す。同図は「C→Dm7」と順にコード演奏が行なわれた場合の動作例である。以下にシステムの詳細を記す。

- ①: PCPの平均値の計算において設定される時間の経過を示すプログレスバー。
- ②: PCPのパワー(上段)と、それらのパワー比から選択された演奏音(下段)。
- ③: 演奏音に対する推定候補コード名群(コード名探索木)。
- ④: 上段のボックスは過去の演奏に対して推定されたコード進行。中段のボックスは上段のコード進行と一致するコード進行パターン(コード進行データベース)。下段のボックスは中段のパターンから得られる次に演奏されやすいコード名群。
- ⑤: 最終的な推定結果(③④下段ボックスによって得られるコード名)

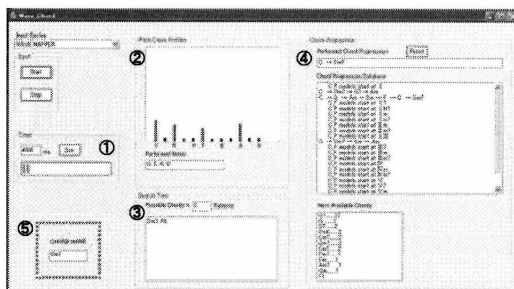


図6 構築したコード名推定システムの動作例

5. 提案システムに対する評価実験

5.1 実験概要

本システムのコード名推定精度を確認するため、3種のエレキギター(Ibanez RG1520GK, Fender Standard Stratocaster Roland Ready, Godin Freeway SA)を用いた楽曲演奏による評価実験を行なった。ここでは1)演奏音の認識率と2)演奏音に対するコード名の認識率を3和音、4和音についてそれぞれ求めた。本実験では、ギター経験5年のアマチュア中級者1名に、本研究で推定対象としているコード群から構成される一般的な日本の歌謡曲10曲における

最初から20個目までのコード進行を演奏するよう指示した。また、演奏方法に関して以下のi~iiiの指示を行なった。

- i. 各コードに対して1度ずつコードストロークを行なう
- ii. 各コードの押弦位置は演奏者が決定する
- iii. 演奏誤りが無いよう演奏を行なう

5.2 実験結果

1) 演奏音の認識率

図7に3種のギターにおける3和音と4和音に対する演奏音の認識率を示す。各ロッド上のティックはギターの違いによるばらつきを表す。3和音の平均認識率は約80.8%, 4和音については約96.7%であった。認識誤りの例として3和音では、4つのクロマが演奏音として認識されることが主であった。また、4和音ではコード構成音における3つのクロマのみが認識される場合や、認識された4つのクロマの内1つがコード構成音とは異なるクロマである場合が主であった。

これらの認識誤りに対して以下の原因が考えられる。各音高にはそのクロマとは異なるクロマとして示される倍音成分が含まれている(例:C3の第3倍音はG4)。この事実によって、上記のような認識誤りが生じていると考えられる。従ってこの処理では、コード構成音における上記のような各クロマの倍音成分に対する処理が重要となる。

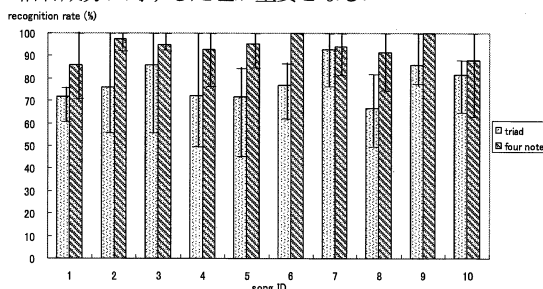


図7. 楽曲演奏に対する演奏音認識率

(2) 演奏音に対するコード名の認識率

図8に上記の演奏音の認識結果に対するコード名推定の正解率を示す。3和音の平均正解率は約80.8%(演奏音の認識誤りを考慮しない場合, 100%), 4

和音では約 66.3% (70.6%) という結果であった。3 和音については、演奏音が正しく認識されれば、そのコード名は一意に決定するため、1) の 3 和音に対する演奏音認識の結果と同じである。4 和音については、演奏音の認識誤りを考慮しない場合においても、その推定精度は低い。この結果に対する主な原因として、「m7 (マイナー7th)」のコードタイプに対する認識率が著しく低いことが挙げられる。これは転回形の考慮によって多重解釈が生じてしまうためである。具体的には、任意のクロマをルート音とする m7 コードに対するコード構成音は、音高情報を考慮しない場合そのルート音に対して短3度上のクロマをルート音とする「6th(メジャー6th)」と同一のものとなる。しかし、これは m7 コードの第一転回形としてみなすことも可能である。多くの先行研究ではこの多重解釈による認識率の低下を避けるため、多くの楽曲において頻繁に用いられる m7 のみを推定対象としたものが多い。参考として、m7 のみを推定対象とした場合における本システムのコード名認識率 (4 和音のみ) を図 9 に示す。図 9 における 4 和音に対する平均認識率は 95.3% であり、図 8 の結果と比較することで、転回形を考慮したコード名推定の困難性が伺える。

まとめると、コード進行データベース内に上記の多重解釈を解決するためのコード進行パターンが十分に格納されていなかったことが認識率の低下させる原因となってしまった。この問題に対して、コード進行データベース内の進行パターンの拡充によって認識率の向上が期待できる。また、m7 コードはコード進行において「II-V 進行」を形成する重要なコードタイプである。従って、演奏されたコード進行における各コード名から調判定を行ない、そのコード進行内での各コードの機能を考慮することもある有効であると考えられる。

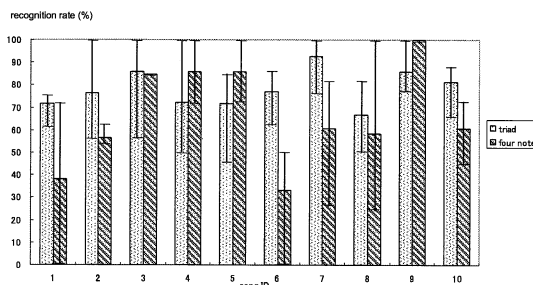


図 8. 楽曲演奏に対するコード名推定率

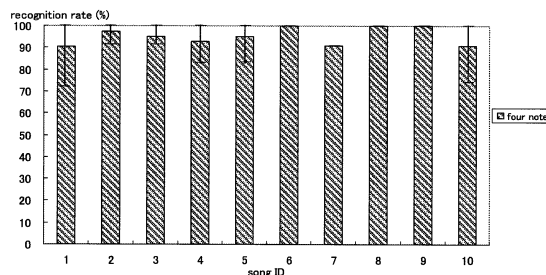


図 9. 楽曲演奏に対するコード名推定率
(転回形を考慮しない場合)

6. 実験結果に対する考察

本研究でのコード名認識率と他の 2 つの関連研究におけるコード名認識率との比較を行なう。入力信号や評価データが異なるため、単純な比較は困難であるが、コード名推定の過去の研究との比較という観点から、本研究でのコード名推定精度について考察するとともに本研究の位置づけも行なう。

手法 1^[3]ではコード音のみで構成された楽曲 (音響信号) に対してコード名推定が行なわれ、コード進行をHMMによってモデル化し、推定精度の向上が図られている。また、推定対象とされるコードタイプはmaj, min, dimの3種であった。この条件下での認識率は約 93.5%の精度であった。手法 1 では 3 和音のみが対象とされており、図 8 の 3 和音の結果 (80.8%) と比較すると、手法 1 の認識精度は高いといえる。本手法による認識率が低い原因として具体的には、本研究で対象とする 3 和音のコードタイプが多いことが挙げられる (maj, min, aug, dim, sus4)。また、入力信号の違いも原因として考えられる。手法 1 はMIDI信号を音響信号化したものであるのに対し、本研究ではエレキギターから出力される

音響信号であるためノイズが含まれやすく、コード名推定が困難となる。

手法 2^[2]では実楽曲の音響波形に対して、HMMとEMアルゴリズムを用いてコード名推定が行なわれている。対象とされるコードタイプはmaj, min, aug, dim, maj7, min7 の 7 種であった (4 和音における転回形の考慮はされていない)。この条件下では約 75% の推定精度であった。この結果と本研究での結果 (図 8 における 3 和音と図 9 の 4 和音の認識率の平均 ; 88.1%) を比較すると、本研究での結果は比較的の高い精度が得られていると考えられる。この認識率の差における最も大きな原因として、対象とする音響信号の違いが挙げられる。具体的には、手法 2 では複数の楽器音が含まれる音響信号を対象としているため、音響信号からコードに対する音高の抽出が困難となってしまう。また、コード名推定に加えて各コードの区分推定も同時に行なわれており、それも認識率の低下の原因であると考えられる。コードの区分推定に関しては本研究における課題であり、今後取り組む予定である。

これらは使用されるコードタイプや演奏技法が限定された条件下での結果であり、実演奏や実楽曲を対象としたコード名推定は困難であると考えられる。従って本研究では今後の課題として、転回形の考慮を含む実演奏や実楽曲を想定した、より柔軟なコード名推定手法の確立を目標とする。

7. まとめと今後の課題

本研究では、エレキギターを用いたコード演奏に対してリアルタイムにコード名推定を行なうシステムを開発し、その動作に対する評価実験を行なった。今後の課題として、まず演奏音推定率の精度の向上が挙げられる。これについては、PCP の時間軸に対する減衰パターンを考慮することで解決を試みる予定である。また、コード名推定精度の向上については、コード進行パターンの拡充や調判定による演奏された各コードの機能の考慮によって解決を試みる予定である。

謝辞 本研究を進める上で貴重なご意見をいただいた本学理工学部杉田繁治教授に感謝します。本研究の一部は龍谷大学HRCプロジェクトの援助を受けた。

参考文献

- [1] T. Yoshioka, T. Kitahara, K. Komatani, T. Ogata and H. G. Okuno, "Automatic chord transcription with concurrent recognition of chord symbols and boundaries", Proceedings of the 5th International Conference on Music Information Retrieval, Spain, pp.100-105 (2004).
- [2] A. Sheh and D. P. W. Ellis, "Chord Segmentation and Recognition using EM-Trained Hidden Markov Models", Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval, Baltimore, Maryland, USA (2003).
- [3] K. Lee and M. Slaney, "Automatic Chord Recognition from Audio Using an HMM with Supervised", Proceedings of International Conference in Music Information Retrieval, Victoria, Canada (2006).
- [4] G. Cabral, F. Pachet and J. P. Briot, "Automatic X ttraditional descriptor extraction: the case of chord recognition", Proceedings of the 6th International Conference on Music Information Retrieval, London, U.K. (2005).
- [5] T. Fujishima, "Realtime chord recognition of musical sound: A system using Common Lisp Music," Proceedings of the International Computer Music Conference, Beijing: International Computer Music Association (1999).
- [6] M. Goto, "SmartMusicKIOSK: Music-playback interface based on chorus-section detection method," The Journal of the Acoustical Society of America, Vol.115, No.5, Pt.2, p.2494 (2004)
- [7] C. Harte, M. Sandler, S. Abdallah and E. Gómez, "Symbolic representation of musical chords: a proposed syntax for text annotations", Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval, London, U.K. (2005).
- [8] Y. Konoki, et al "Estimating a chord name for a set of notes played with a MIDI-guitar", Proc. of 19th International Conference on Acoustics, Spain, MUS-07-015, p. 218, (2007)
- [9] N. Emura, M. Miura, M. Yanagida, "A modular system yielding jazz-style arrangement for a given melody and sequence of chord names", The Journal of the Acoustical Society of America, Vol.120, No.5, Pt.2, p.3005 (2006)
- [10] 成瀬正樹, コード進行スタイル・ブック, Rittor Music, 2006