

くし形フィルタによる混合音和音からの  
演奏楽器の推定

5 C - 4

三輪 多恵子<sup>†</sup>, 田所 嘉昭<sup>†</sup>, 斎藤 努<sup>††</sup>

豊橋技術科学大学電子・情報工学専攻<sup>†</sup>, 豊田工業高等専門学校電気工学科<sup>††</sup>

1. まえがき

近年の自動採譜の研究は、異種複数楽器により演奏された混合音和音に対するピッチ推定、及び各楽器音の分離同定を目的とした研究へ、その対象が拡張される傾向にある [1, 2]。しかし、各楽器音は固有の倍音構造を持ち、各成分が複雑に重畳するため、混合音和音の採譜には複雑な計算等が必要とされる。筆者らは、自動採譜の一手法として、簡単な減算処理で実現でき、上述の倍音成分の影響を回避可能なくし形フィルタを用いたピッチ検出法 [3]、及び単一楽器音の波形に注目した楽器推定法 [4] を提案した。本稿では、くし形フィルタを用いて混合音和音を単音に分離し、分離波形のスペクトル（倍音構造）に注目して楽器推定を行なう手法を提案する。

2. ピッチ推定

採譜対象音域をオクターブ3から5の36音とし、音名CからBに対応したくし形フィルタ  $H_{8,p}(z_p) = 1 - z_p^{-8}$  を図1のように縦続接続することで、入力音検出システムを構成する。 $H_{r,p}(z_p)$  は図2に示す周波数特性を持ち、サンプリング周波数  $f_{s,p}$  に対応した周波数成分を除去する性質がある。従って、図1のシステムにおいて、各段の零出力を検出することで入力音の判別が可能である。なお、12音に対応させるために各  $f_{s,p}$  を変化させる必要があるが、本手法ではオーバーサンプリングを行なうことで、異なる  $H_{8,p}(z_p)$  の縦続接続を可能にしている。また、各オクターブのピッチ周波数  $f_{i,p}$  (オクターブ  $i$ ,  $p$  音) と  $H_{8,p}(z_p)$  の次数には、図2に示す関係があるため、 $H_{8,p}(z_p)$  の次数を順次変化させ、非零出力を検出することによりオクターブ検出が可能である。上述の方式で得られた入力音及びオクターブ情報から、入力ピッチの検出が可能である (図3)。

3. 混合音和音の分離と演奏楽器推定

前述のピッチ検出方式により混合音和音の全てのピッチを判別した後、和音を分離することで各単一楽器音成分を抽出する。さらに、DFTを用いて抽出された楽器音の周波数を解析し、得られた倍音構造から演奏楽器の推定を行なう。

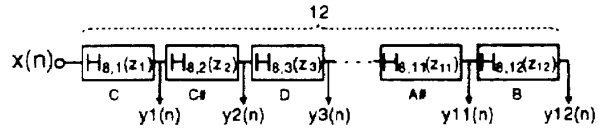


図1 入力音検出システム

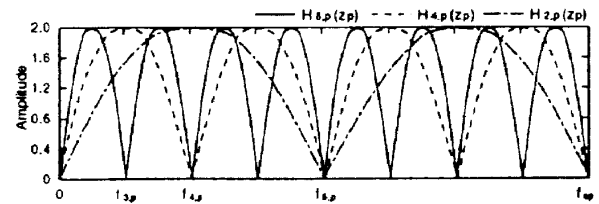


図2 くし形フィルタの周波数特性

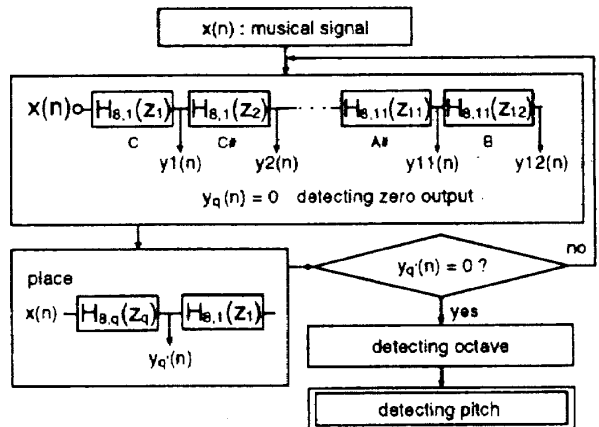


図3 ピッチ検出アルゴリズム

図4に示すように、入力された混合音和音に含まれる各音に注目し、それ以外の音に対応した  $H_{8,p}(z_p)$  で不必要な周波数成分を除去することで、各単一楽器音成分が分離、抽出される。次に、演奏楽器の推定を行なうために、抽出音の倍音構造を解析する。抽出音に含まれる全ての周波数成分は、ピッチ周波数  $f_{i,p}$  の整数倍に限定されるため、比較的少ないサンプル点数  $N_p = f_s$  (oversampling frequency) /  $f_{i,p}$  の DFT により周波数解析が可能である。但し、縦続接続した各  $H_{8,p}(z_p)$  の振幅利得の影響から、抽出音に含まれる各周波数成分の振幅値に変化が生じる (図5)。そこで、DFT で得られた結果を各周波数成分に生じる  $\text{Gain} = \prod |H_{8,i}(e^{-j\theta_i})|$  で除算することで、元の入力楽器音のスペクトルを求める。最後に、演奏楽器の推定を行なう。本方式では、基本周波数成分の振幅が1.0となるようにスペクトルを正規化する。そして、予め作成したテンプレート（各楽器の単音のスペクトル）と

The Musical Instrument Estimation from Mixed Tones using Comb Filters

Taeko Miwa<sup>†</sup>, Yoshiaki Tadokoro<sup>†</sup>, Tsutomu Saito<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Department of Information and Computer Sciences, Toyohashi University of Technology, 1-1 Hibarigaoka, Tempaku-cho, Toyohashi, 441-8580, Japan

<sup>††</sup> Electrical Engineering, Toyota National College of Technology, 2-1, Eisei-cho, Toyota, 471-8525, Japan

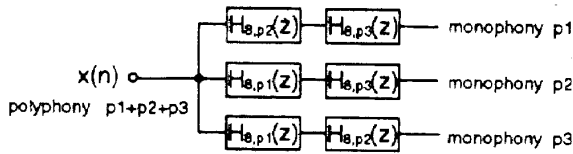


図4 和音分離システム (p1, p2, p3 和音の例)

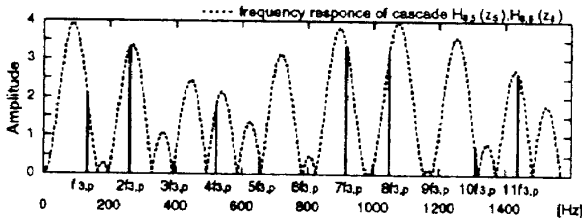


図5 和音 C,E,G から C を抽出する際の振幅利得

抽出音のスペクトルの差分を計算し、最も値の小さい(倍音構造が類似した)楽器を選択することで演奏楽器が推定される。

#### 4. シミュレーション結果

MIDI音源(KORG:05R/W)のpiano C4, clarinet E4, alto sax A4による混合音和音に対して、計算機シミュレーションにより入力音の検出を行なった結果を図6に示す。なお、図中には、必要な $H_{s,p}(z_p)$ の縦続接続も示した。楽器音に含まれる非調和周波数成分や振動成分の影響により、若干の誤差成分を含むものの、前段の出力と比較して入力音の検出結果に充分な減衰が得られることが確認された。次に、図4のシステムにより混合音和音を各単音に分離し、そのスペクトルに対してGainによる補正を行なった結果を図7(a)に、比較のために、各楽器音の単音のスペクトルを同図(b)に併せて示す。なお、図7では、楽器音の倍音構造の特徴を比較するために、各波形を短時間フーリエ変換して得られた各スペクトルの振幅の時間変化も示した。この結果から、実際の楽器音と比較して、抽出音には高次の倍音や波形の立上り直後に雑音成分が存在するが、各楽器の特徴の判別が可能であることが確認された。最後に、抽出音のスペクトルと各テンプレートで差分値を計算し、演奏楽器推定を行なった結果を表1に示す。各抽出音とも、対応した楽器のテンプレートとの差分値(表中に太字で記入)が最も小さくなっており、演奏楽器の判別が可能であることが確認された。なお、楽器音の倍音構造は音域で変化するため、本手法では、採譜対象の36音に対して各楽器7~9個程度のテンプレートを用意した。

#### 5. まとめ

本稿では、各ピッチに対応したくし形フィルタを縦続接続し、各段の零出力を検出することによるピッチ検出方式を提案した。次に、くし形フィルタを利用した混合音和音の分離手法、及び分離波形のスペクトル(倍音構造)から演奏楽器を推定する手法を提案した。

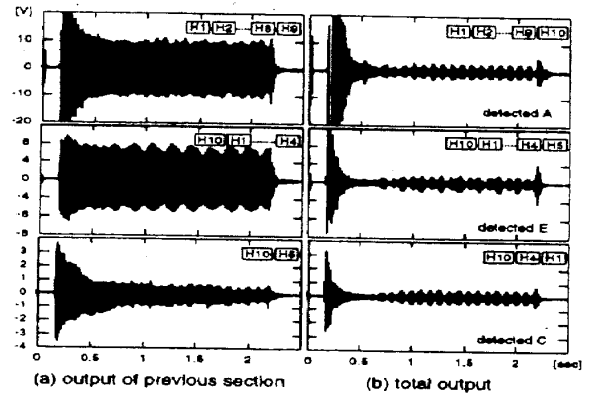


図6 入力音の検出結果

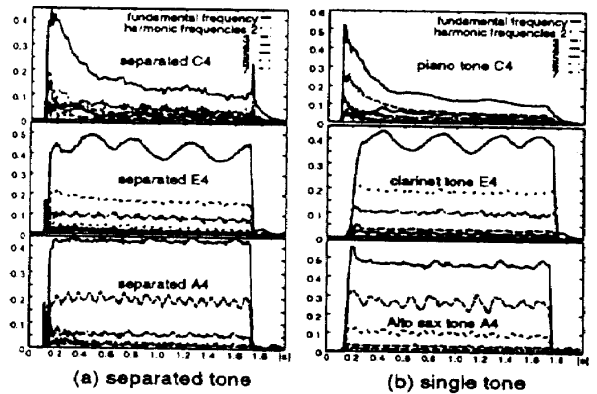


図7 和音分離結果

表1 差分値を用いた楽器判別結果

抽出音	piano	clarinet	alto sax
C4	<b>0.0098</b>	0.0204	0.0182
E4	0.0264	<b>0.0105</b>	0.0196
A4	0.0163	0.0198	<b>0.0072</b>

さらに、MIDI音源の楽器音を用いた計算機シミュレーションを行ない、混合音和音に対する本方式の有用性を確認した。今後は、より多くの楽器音に対して同様の実験を行ない、本方式の性能を明らかにしたい。

#### 参考文献

- [1] 柏野, 木下, 中臺, 田中, “音楽情景分析の処理モデルOPTIMAにおける和音の認識,” 信学論(D-II), Vol. J79-D-II, No. 11, pp. 1762-1770, (1996)
- [2] 小野, 斎藤, 小沢, “自動採譜のためのGAを用いた混合音推定,” 計測自動制御学会論文集, Vol. 33, No. 5, pp. 417-423, (1997)
- [3] 三輪, 田所, 斎藤, “零出力に注目したくし形フィルタによる音階検出,” 電学論, Vol. 118-C, No. 1, pp. 57-64, (1998)
- [4] 三輪, 田所, 斎藤, “くし形フィルタを利用した採譜のための異楽器音中のピッチ推定,” 信学論(掲載予定)