

共振器型くし形フィルタを用いた音源分離と演奏楽器推定

東海林智也¹

北見伸一郎²

室谷良平³

(2008年9月29日受理)

Separation of Polyphonic Musical Sound and Estimation of Musical Instruments
Using Resonator Comb Filters

TOKAIRIN Tomoya, KITAMI Shinichiro and MUROYA Ryohei

In this paper, we propose a system to separate polyphonic musical sound and to estimate musical instruments using parallel connected resonator comb filters. The system divides polyphonic musical sound into harmonic components using comb filters. Then, the system estimates musical instruments from the auto-correlation functions of the separated harmonic components. To verify the efficiency of the system, we have conducted computer simulations. Experimental results show that the proposed system is useful to estimate musical instruments.

Key words: Parallel connected comb filters, Auto-correlation, Template matching

1 はじめに

現在、デジタル音楽プレイヤーや音楽再生機能を持つ携帯電話等が普及してユビキタスな楽曲聴取環境が形成されつつある。それにつれて楽曲推薦技術、自動作曲技術、楽器ユーザーインターフェース等の音楽情報処理技術の必要性も高まってきている¹⁾²⁾。

ここで、楽曲推薦や自動作曲等で用いる知識データベースを作成するためには多数の楽譜情報が必要とされるが、無数の楽曲が存在する現在では手作業で楽譜情報を入力することは現実的ではない。そのため演奏音声から信号処理や統計処理等を用いて音高・音源数を推定し、自動的に楽譜を作成するニーズが生まれている。従来の音高・音源数推定手法としてハーモニッククラスタリングによる手法³⁾⁴⁾、調波・非調波統合モデルによる手法⁵⁾⁶⁾、Notch型くし形フィルタによる手法⁷⁾⁸⁾等があり、それぞれが目覚ましい成果を上げている。

一方、知識データベースの情報量を上げるためには音高・音源数推定だけでは不十分であり、使用されてい

る楽器の種類も推定する必要がある。従来の演奏楽器推定手法として、前述した調波・非調波統合モデルによって音源分離と楽器推定を同時におこなう手法⁵⁾⁶⁾、サポートベクタマシンによる手法⁹⁾、及びNotch型くし形フィルタを用いて演奏音声から音源を分離した後でテンプレートマッチングをおこなう手法¹⁰⁾¹¹⁾等がある。ただし、調波・非調波統合モデルによる手法には演奏音声と同じ譜面を用いて演奏されたテンプレート音声が必要であるという問題、サポートベクタマシンによる手法には音源分離を行わない限り複数音源に対応できないという問題、Notch型くし形フィルタによる手法にはフィルタの縦続接続数が増えると低域雑音が増幅されて音源分離能力が落ちるといった問題¹²⁾があるため、現状では複数楽器による和音音声に対して十分な楽器推定精度が得られているとは言えない。

そこで本研究では、Notch型くし形フィルタの代わりに共振器 (Resonator) 型くし形フィルタ¹³⁾¹⁴⁾を用いて演奏音声から音源を分離した後でテンプレートマッチングをおこなう手法を提案する。特定の調波成分を取り除く性質を持つNotch型くし形フィルタに対し、共振器型くし形フィルタは特定の調波成分を分離

¹函館工業高等専門学校 情報工学科

²弘前大学理工学部 電子情報工学科

³函館工業高等専門学校 情報工学科

して取り出す性質を持っている．従って，共振器型くし形フィルタを用いることでフィルタを多段縦続接続する必要がなくなるため低域雑音の増幅を抑えることが可能となる．また，他手法に比べて計算処理が単純であり，ハーモニッククラスタリングや調波・非調波統合モデル等で仮定されている制約条件も無いという利点もある．なお，従来のテンプレートマッチングでは高速フーリエ変換 (FFT) をテンプレートとして用いることが多いが，十分な周波数分解能を得るために自己相関関数よりも FFT の方が長時間の音声信号が必要であることから⁸⁾，本研究では自己相関関数をテンプレートとして用いることにした．

2 くし形フィルタを用いた音源分離

本研究で提案する演奏楽器推定手法では音源分離のために共振器型くし形フィルタを用いる．

整数 i をオクターブ番号，整数 p を音の番号 ($p = 1, 2, \dots, 12$, $p = 1$ が C 音， $p = 12$ が B 音に対応) とすると，任意の音は i と p の組 (i, p) で表される．また $f_{i,p}$ (Hz) を (i, p) 音の基本周波数とし， f_s (Hz) をサンプリング周波数とする．例えば $(4, 1)$ はオクターブ 4 の C 音， $(4, 10)$ はオクターブ 4 の A 音に対応し， $f_{4,10} = 440$ (Hz) となる．

このとき (i, p) 音に対応する正整数の定数として $N_{i,p} = \lceil f_s / f_{i,p} \rceil$ ($\lceil \cdot \rceil$: 整数への切り上げ処理) を定義すると， (i, p) 音に対応する共振器型くし形フィルタは次の伝達関数で表される¹³⁾¹⁴⁾

$$H_{i,p}(z) = \frac{1-a}{1-a \cdot z^{-N_{i,p}}} \quad (1)$$

このフィルタは時刻 n における出力音声 $y_{i,p}(n)$ を $N_{i,p}$ 時刻だけ遅延させて入力音声に加算する単純な無限インパルス応答 (IIR) 型フィルタであり，その利得特性 $|H_{i,p}(z)|$ は図 1 に示される．この図から，共振器型くし形フィルタは (i, p) 音に含まれる基本周波数とその倍音成分以外の周波数成分を減衰させる特性を持つことが分かる．言い換えれば，共振器型くし形フィルタ $H_{i,p}(z)$ に任意の演奏音声を通して得た出力音声 $y_{i,p}(n)$ には，ある楽器の (i, p) 音の成分のみが多く含まれている．なおフィルタ係数 a は $0 \leq a < 1$ の範囲で任意に与えられ， a が 0 に近づくほど利得は平坦になり，逆に 1 に近づくほど急になる性質を持つ．

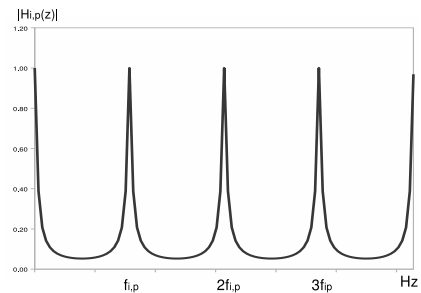


図 1: 共振器型くし形フィルタの利得特性 ($a = 0.9$)

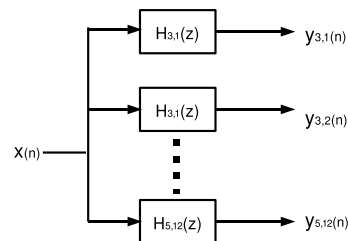


図 2: 共振器型くし形フィルタの並列接続 ($i = 3, 4, 5$)

従って，時刻 n における入力音声を $x(n)$ としたとき，全ての (i, p) 音に対応した共振器型くし形フィルタ $H_{i,p}(z)$ を図 2 の様に並列接続することで，各楽器の (i, p) 音が分離されて出てくる．

3 提案する演奏楽器推定手法

本研究で提案する演奏楽器推定手法のアルゴリズムは以下の通りである．

- (1) ある時間間隔ごとに，全ての出力音声 $y_{i,p}(n)$ に対して短時間での標準偏差 $s_{i,p}$ を求める．
- (2) $p = 1$ とする．
- (3) p 音に対し，全オクターブでの標準偏差の和 $S_p = \sum_i s_{i,p}$ ， $p = 1, 2, \dots, 12$ を求める． S_p が任意に定めたしきい値 TH_S よりも大きい場合は p 音が演奏されていると判断し (4) に進む．そうでなければ (5) に進む．
- (4) 各オクターブ別に $y_{i,p}(n)$ から自己相関関数 $r_{i,p}(k)$, $k = 1, 2, \dots, R_{max}$ を求めてテンプレートマッチングをおこなう．ここで R_{max} は自己相関関数長である．今回はテンプレートマッチングとして $r_{i,p}(k)$ とテンプレートとの相関を使用するため，楽器 l との間

の相関係数を $R_{i,p}(l)$ とおくと, $R_{i,p}(l)$ の最大値は 1 となる. $l' = \operatorname{argmax}_l R_{i,p}(l)$ とし, $R_{i,p}(l')$ が任意に定めたしきい値 TH_R より大きい場合は p 音が楽器 l' により演奏されていると判定して楽器番号 l' を記録する.

(5) p の値を 1 つ増やす. p が 12 を越えなければ (3) に戻る. 12 を越えたら (6) に進む.

(6) 短時間で楽器が頻繁に切り替わることはほとんど考えられないため, フレーズ単位で楽器推定をおこなう. フレーズ終了時に記録した楽器番号の頻度を計算し, 頻度が大きい順に楽器名を挙げる.

なお, 入力された演奏音声は共振器型くし形フィルタの利得の影響を受けるため, 通常の楽器演奏音声から自己相関関数を求めてテンプレートを作成して用いることは出来ない. その代わりに, 各楽器の (i, p) 音を共振器型くし形フィルタ $H_{i,p}(z)$ に通して出てきた出力音声から求めた自己相関関数をその楽器の (i, p) 音に対するテンプレートとして用いる.

4 実験

4.1 実験 1: 単音での楽器推定とフィルタ係数 a の関係

はじめに, フィルタ係数 a を 0.75, 0.80, 0.85, 0.90 と変化させた時の単音での楽器推定をおこなって a の違いによる推定精度の変化について調べた.

使用した楽器はアルトサクソ (AS), バス (CB), クラリネット (CL), フルート (FL), ホルン (HR), ピアノ (PF), トランペット (TR), チェロ (VC), ビオラ (VL), バイオリン (VN) の 10 種類である. 使用する音声は RWC 研究用音楽データベース¹⁵⁾ に含まれる実演奏楽器音声 (44.1Hz, 16bit, モノラル) とし, 各楽器音のオクターブ 4 の範囲にある音を切り出して, 計 120 (=12 音 \times 10 楽器) 個の wave ファイルを作成した. また, 各 wave ファイルの定常状態にある部分からテンプレートファイルを作成した. なお, テンプレートマッチングをおこなう時間間隔は 50 ミリ秒とし, しきい値は経験的に $\text{TH}_S = 1000$, $\text{TH}_R = 0.7$ と設定した.

a を変化させたときの楽器推定結果を表 1, 2, 3, 4 に示す. なお, 各表の行が推定対象の楽器, 列が推定

された楽器を示しており, 表中の数字は行に示された楽器が列に示された楽器として推定される頻度の全ての音に関する平均値である. また背景が灰色になっている項目は, 各行において最も頻度の高い項目であることを示している. したがって, チェロ (VC) を除くと全ての場合において正しく楽器推定がおこなわれていることが分かる. なお, チェロ (VC) がビオラ (VL) と誤推定された理由は, この 2 つの楽器の音が人間でもほとんど区別がつかないほど似ているためであると思われる. また, 各表の対角線にある項目の平均値を表 5 に示す. 表 5 より, a が大きくなるにつれて推定頻度の平均値が高くなる傾向にあることが分かった.

4.2 実験 2: 2 和音での楽器推定

次に 2 和音での推定実験を行なった. 使用した音声は実験 1 と同じであるが, 各楽器ごとに各音の wave ファイルをランダムに 20 個繋ぎ合わせてフレーズを作り, その後 2 つの楽器のフレーズを混合させて 2 和音の演奏音声を作成した. また, フィルタ係数は $a = 0.90$ とするが, その他の条件は実験 1 と同じとした.

この結果を表 6 に示す. 表の行が対象楽器の組み合わせ, 列が推定された楽器を示しており, 表中の数字は推定頻度を表している. 表の右端の列は判定状態を表しており, 2 つの対象楽器が推定頻度の高い楽器の順から 2 番目以内に含まれている場合は A, 3 番目以内に含まれている場合は B, 2 つの対象楽器のうちどちらか 1 つは 3 番目以内に含まれている場合は C, 両方とも推定に失敗した場合は D 判定とした. なお, 実験 1 で述べたようにチェロ (VC) とビオラ (VL) はほとんど区別が付かないため, この 2 つの楽器は同一のものとして扱うことにした. なお, 表内の背景が灰色の項目は, A 判定の行の場合は推定頻度が高い順から 2 番目までの項目, B, C, D 判定の場合は 3 番目までの項目であることを表している. また, 判定結果の割合を表 7 に示す. 表 7 によれば判定 B までの割合が 8 割を越えており, 本手法は 2 和音の場合でも高い精度で楽器推定をおこなえていることが分かった.

表 1: 単音における判定結果 ($\alpha = 0.75$)

	AS	CB	CL	FL	HR	PF	TR	VC	VL	VN
AS	31.0%	6.4%	15.2%	3.6%	0.0%	5.5%	14.8%	7.2%	10.6%	5.7%
CB	0.0%	51.4%	7.8%	0.3%	9.4%	7.6%	3.3%	2.3%	10.1%	7.8%
CL	10.5%	8.8%	38.8%	5.0%	0.0%	1.4%	11.1%	3.0%	20.4%	1.1%
FL	0.0%	3.5%	2.4%	60.8%	0.0%	6.9%	22.6%	0.0%	1.7%	2.1%
HR	2.2%	4.3%	23.6%	4.3%	42.7%	4.7%	8.2%	0.0%	8.4%	1.5%
PF	2.7%	15.2%	6.1%	5.7%	4.2%	37.1%	9.8%	0.0%	17.4%	1.9%
TR	4.2%	3.4%	16.7%	6.0%	3.2%	2.0%	52.5%	1.1%	4.5%	6.5%
VC	2.5%	8.5%	10.4%	6.4%	3.5%	14.8%	6.4%	16.0%	31.0%	0.6%
VL	2.4%	4.6%	9.7%	0.6%	14.9%	6.5%	3.9%	0.5%	54.8%	2.2%
VN	0.3%	9.2%	1.6%	4.3%	24.2%	12.8%	9.0%	1.4%	9.8%	27.4%

表 2: 単音における判定結果 ($\alpha = 0.80$)

	AS	CB	CL	FL	HR	PF	TR	VC	VL	VN
AS	29.7%	8.0%	14.0%	3.9%	0.0%	5.5%	15.0%	7.2%	11.7%	5.0%
CB	0.0%	57.7%	5.2%	0.0%	10.8%	8.3%	1.9%	0.0%	6.5%	9.6%
CL	10.9%	9.8%	37.0%	4.9%	0.0%	2.3%	9.6%	4.9%	20.6%	0.0%
FL	0.0%	3.4%	2.6%	61.5%	0.0%	4.5%	23.8%	0.0%	1.9%	2.3%
HR	1.8%	4.3%	23.0%	4.2%	44.0%	4.9%	7.2%	0.0%	8.8%	1.9%
PF	2.9%	17.3%	6.1%	6.1%	4.0%	34.3%	10.5%	0.0%	18.1%	0.7%
TR	4.5%	4.9%	15.1%	6.5%	2.5%	2.7%	54.8%	1.0%	5.1%	3.0%
VC	2.3%	7.8%	11.1%	6.5%	5.4%	19.7%	6.0%	12.7%	28.5%	0.0%
VL	2.3%	5.1%	10.0%	0.1%	15.7%	4.3%	1.9%	1.7%	57.1%	1.8%
VN	0.6%	10.2%	2.7%	4.2%	21.7%	12.3%	5.4%	2.7%	11.4%	28.6%

表 3: 単音における判定結果 ($\alpha = 0.85$)

	AS	CB	CL	FL	HR	PF	TR	VC	VL	VN
AS	30.2%	12.7%	11.3%	4.0%	0.2%	6.9%	14.4%	7.1%	11.1%	2.3%
CB	0.0%	64.7%	1.1%	0.0%	5.9%	8.2%	1.5%	0.0%	7.1%	11.5%
CL	11.2%	8.5%	35.8%	5.7%	0.0%	3.8%	8.0%	5.6%	21.4%	0.0%
FL	0.0%	3.9%	2.9%	59.4%	0.0%	1.4%	27.1%	0.0%	3.4%	1.9%
HR	0.5%	3.3%	22.6%	4.1%	48.7%	5.6%	5.6%	0.0%	7.3%	2.3%
PF	2.7%	13.9%	5.8%	6.6%	4.6%	37.1%	12.0%	0.0%	17.0%	0.4%
TR	4.1%	6.4%	6.0%	6.4%	3.4%	1.6%	64.2%	0.1%	7.1%	0.6%
VC	1.3%	6.8%	5.9%	6.8%	8.1%	25.7%	5.2%	8.5%	31.6%	0.0%
VL	2.3%	5.6%	10.1%	0.2%	13.4%	3.2%	2.1%	2.1%	58.2%	2.8%
VN	0.7%	8.4%	2.1%	3.9%	19.6%	16.1%	3.2%	4.2%	12.6%	29.1%

表 4: 単音における判定結果 ($\alpha = 0.90$)

	AS	CB	CL	FL	HR	PF	TR	VC	VL	VN
AS	32.5%	18.6%	9.2%	7.8%	0.2%	8.5%	13.7%	3.3%	5.2%	0.9%
CB	0.0%	64.6%	0.0%	0.0%	4.7%	8.0%	0.9%	0.0%	7.1%	14.6%
CL	10.4%	7.5%	37.5%	5.2%	0.0%	7.1%	7.8%	3.2%	21.4%	0.0%
FL	0.0%	1.5%	3.8%	75.9%	0.0%	0.0%	10.5%	0.0%	6.8%	1.5%
HR	0.0%	3.5%	21.6%	4.9%	54.0%	8.3%	0.1%	0.0%	5.3%	2.3%
PF	5.4%	12.2%	5.0%	7.2%	7.2%	40.3%	9.0%	0.0%	13.6%	0.0%
TR	2.9%	6.9%	0.2%	6.2%	4.7%	2.5%	66.3%	0.0%	10.3%	0.0%
VC	0.5%	6.9%	5.0%	5.0%	11.9%	32.6%	3.2%	3.7%	31.2%	0.0%
VL	2.8%	2.4%	13.1%	0.0%	9.9%	2.4%	2.4%	2.5%	60.5%	4.1%
VN	0.9%	6.4%	2.3%	2.7%	16.9%	22.4%	3.2%	4.1%	15.1%	26.0%

表 5: 単音における a の違いによる平均推定頻度の変化

a	平均正解率
0.75	0.41
0.80	0.42
0.85	0.44
0.90	0.46

表 6: 2 和音における判定結果

	AS	CB	CL	FL	HR	PF	TR	VC	VL	VN	判定
AS-CB	29.1%	37.8%	4.8%	5.6%	1.7%	3.2%	9.7%	0.2%	7.9%	0.0%	A
AS-CL	34.4%	9.3%	13.8%	3.7%	0.6%	8.6%	12.6%	0.3%	16.9%	0.0%	B
AS-FL	19.9%	10.5%	2.3%	32.9%	0.9%	5.6%	20.9%	0.2%	6.7%	0.0%	B
AS-HR	25.2%	6.5%	3.4%	5.5%	29.0%	9.0%	8.8%	0.5%	9.0%	3.2%	A
AS-PF	41.0%	8.9%	0.8%	8.2%	1.3%	13.7%	13.1%	0.0%	12.9%	0.0%	A
AS-TR	29.6%	4.9%	0.3%	5.9%	0.3%	7.3%	42.4%	0.0%	9.3%	0.0%	A
AS-VC	35.8%	9.3%	0.9%	7.5%	3.9%	12.7%	12.5%	0.0%	17.4%	0.0%	A
AS-VL	13.5%	9.2%	8.4%	3.0%	8.9%	3.9%	7.2%	0.0%	43.7%	2.2%	A
AS-VN	23.8%	8.1%	2.5%	7.1%	4.4%	7.8%	18.9%	3.0%	18.1%	6.4%	C
CB-CL	8.6%	29.4%	23.8%	3.2%	2.4%	6.0%	6.0%	0.8%	17.8%	2.0%	A
CB-FL	1.9%	27.3%	2.7%	36.9%	1.9%	6.6%	12.8%	0.3%	8.1%	1.6%	A
CB-HR	0.3%	35.4%	7.9%	2.4%	32.6%	7.0%	1.6%	1.2%	5.8%	5.8%	A
CB-PF	0.3%	52.1%	5.1%	2.5%	3.9%	19.7%	2.3%	0.0%	9.2%	4.8%	A
CB-TR	1.5%	34.4%	6.3%	2.7%	3.5%	3.9%	35.2%	0.0%	10.3%	2.1%	A
CB-VC	1.0%	41.1%	6.6%	1.9%	7.6%	13.3%	3.9%	0.2%	19.4%	5.0%	A
CB-VL	2.6%	21.6%	9.6%	0.2%	10.9%	4.0%	1.6%	0.0%	45.8%	3.9%	A
CB-VN	1.8%	27.9%	5.6%	3.9%	6.9%	7.0%	14.6%	5.4%	16.8%	10.1%	C
CL-FL	6.6%	10.3%	15.1%	33.3%	0.1%	7.1%	13.7%	0.9%	12.9%	0.0%	A
CL-HR	7.9%	6.6%	25.1%	3.8%	24.2%	7.8%	5.3%	1.1%	15.6%	2.6%	A
CL-PF	12.8%	5.9%	28.6%	3.6%	0.9%	18.5%	8.4%	1.0%	20.3%	0.0%	B
CL-TR	9.9%	6.7%	23.5%	2.9%	1.8%	5.5%	30.5%	1.2%	18.0%	0.0%	A
CL-VC	15.4%	5.8%	22.7%	0.8%	4.9%	18.7%	8.7%	0.2%	22.8%	0.0%	A
CL-VL	8.1%	6.2%	20.1%	1.5%	5.7%	4.7%	5.2%	0.7%	45.9%	1.8%	A
CL-VN	7.9%	7.8%	16.4%	3.8%	4.0%	9.2%	19.5%	4.0%	18.9%	8.6%	C
FL-HR	2.0%	9.5%	3.9%	38.6%	16.2%	7.9%	12.0%	1.5%	7.0%	1.5%	A
FL-PF	2.4%	13.3%	1.2%	48.4%	0.4%	13.3%	15.1%	0.3%	5.5%	0.0%	B
FL-TR	2.7%	8.5%	0.6%	41.1%	1.2%	6.5%	29.9%	0.9%	8.6%	0.0%	A
FL-VC	1.9%	8.5%	0.9%	46.5%	2.2%	14.6%	13.7%	0.1%	11.6%	0.0%	C
FL-VL	2.9%	9.3%	5.9%	23.4%	5.6%	4.9%	11.0%	0.5%	34.9%	1.6%	A
FL-VN	2.9%	9.4%	1.9%	34.3%	3.9%	9.5%	17.2%	3.0%	10.8%	7.1%	C
HR-PF	0.3%	3.9%	5.0%	3.1%	56.9%	21.1%	1.2%	0.0%	2.6%	5.8%	A
HR-TR	5.2%	5.2%	4.8%	6.6%	35.9%	9.8%	26.2%	0.0%	2.9%	3.4%	A
HR-VC	0.4%	4.5%	7.7%	5.3%	50.4%	17.1%	0.4%	0.0%	9.7%	4.5%	B
HR-VL	2.6%	4.6%	8.8%	0.5%	25.1%	4.2%	4.1%	0.0%	44.7%	5.4%	A
HR-VN	1.5%	7.8%	4.1%	4.5%	29.3%	8.8%	13.8%	4.7%	12.0%	13.4%	B
PF-TR	0.6%	0.8%	0.0%	3.1%	3.5%	22.1%	62.0%	0.0%	7.7%	0.0%	A
PF-VC	0.7%	2.7%	0.7%	5.1%	9.1%	53.2%	4.7%	0.0%	23.9%	0.0%	A
PF-VL	1.9%	3.1%	9.8%	1.2%	8.7%	10.3%	2.3%	0.0%	59.6%	3.3%	A
PF-VN	2.6%	5.8%	1.8%	6.3%	8.0%	19.4%	16.9%	6.4%	17.7%	14.9%	C
TR-VC	0.2%	1.8%	0.4%	1.8%	7.8%	14.5%	55.7%	0.7%	16.9%	0.2%	A
TR-VL	4.5%	4.4%	6.2%	1.5%	11.9%	4.4%	14.6%	0.4%	48.9%	3.2%	A
TR-VN	1.3%	4.7%	1.4%	4.9%	9.1%	7.6%	39.4%	5.4%	15.1%	11.2%	B
VC-VL	0.4%	5.1%	8.2%	0.4%	11.1%	8.5%	2.7%	0.1%	61.7%	1.9%	A
VC-VN	0.9%	4.5%	2.3%	3.7%	10.1%	16.9%	18.4%	6.0%	24.4%	12.8%	D
VL-VN	3.7%	4.4%	4.8%	4.1%	10.1%	6.2%	9.5%	3.3%	46.6%	7.4%	C

表 7: 2 和音における判定結果の割合

判定	割合
A	66.7%
B	15.6%
C	15.6%
D	2.2%

5 まとめ

本研究では、共振器型くし形フィルタを用いて演奏音声に含まれる音源を分離し、分離した音声ごとにテンプレートマッチングをおこなう演奏楽器推定手法を提案した。さらに実験を行なって 2 和音では高い精度で演奏楽器推定をおこなえることを示した。

今後は 3 和音以上で実験をおこない、さらに実際の楽曲に対して本手法を適用することを予定している。またパラメータ a , TH_S , TH_R の最適な選択手法について考慮する必要がある。

謝辞

本研究に関し、有益な議論をして頂いた田所嘉昭氏 (豊橋技術科学大学) に深く感謝する。また本研究の一部は、2007 年度豊橋技術科学大学高専教育連携プロジェクト「採譜システムにおける楽器推定法に関する研究」の援助によりおこなわれた。

参考文献

- 1) 平田圭二, 東条敏, 浜中雅俊, 平賀譲: 計算論的音楽理論について, 情報処理, Vol.49, No.7, 824-830 (2008).
- 2) 帆足啓一郎, 上月勝博, 菅谷史昭: 楽曲配信サービスを支える音楽情報検索技術, 電子情報通信学会誌, Vol.88, No.7, 529-534 (2005).
- 3) 亀岡弘和, 西本卓也, 嵯峨山茂樹: ハーモニッククラスタリングと情報量基準による音楽の音高/音源数の推定, 情報処理学会研究報告, MUS-62, 27-32 (2005).
- 4) 宮坂広純, 松島俊明, 小田弘良: 多重音の基本周波数評価尺度の最小値選択による実時間音高・音源数推定の試み, 第 7 回情報科学技術フォーラム講演論文集 (2), 241-243 (2008).

- 5) 糸山克寿, 後藤真考, 駒谷和範, 尾形哲也, 奥乃博: 複数楽器個体による事前分布を用いた調波・非調波統合モデルのパラメータ推定, 情報処理学会第 70 回全国大会講演論文集 (2), 435-436 (2008).
- 6) 糸山克寿, 後藤真考, 駒谷和範, 尾形哲也, 奥乃博: 音色特徴量分布の利用による調波・非調波統合モデルのパラメータ推定, 情報処理学会研究報告, MUS-71, 161-166 (2007).
- 7) 坂内秀幸, 夏井雅典, 田所嘉昭: くし形フィルタに基づく自動採譜システムの実現, 情報処理学会研究報告, 2007-MUS-71, 13-18 (2007).
- 8) 瀬戸康裕, 夏井雅典, 田所嘉昭: くし形フィルタと相関関数による音高推定困難和音の音高推定法, 情報処理学会研究報告, 2006-MUS-68, 1-6 (2006).
- 9) 北原聡志, 野元悠一, 甲藤二郎: Support Vector Machine を用いた多重音の音源同定手法の検討, 第 5 回情報科学技術フォーラム講演論文集 (2), 365-366 (2006).
- 10) 松尾剛, 山口満, 田所嘉昭: スペクトル構造に基づいた自動採譜のための演奏楽器推定法に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, CS2003-178, 1-6 (2004).
- 11) 三輪多恵子, 田所嘉昭, 斎藤努: くし形フィルタによる実楽器音を対象とした演奏楽器推定, 電子情報通信学会技術研究報告, SP98-138, 15-22 (1999).
- 12) 松山大仁郎, 夏井雅典, 田所嘉昭: 7 段縦続接続くし形フィルタによるピアノ和音の音高推定法の検討情報処理学会研究報告, MUS-71, 167-172 (2007).
- 13) 藤原道, 山口満, 斎藤努, 田所嘉昭: Resonator 型くし形フィルタによる打楽器音を含む楽器音の音高推定法の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, EA2003-80, 19-23 (2003).
- 14) 東海林 智也, 北見伸一郎: くし形フィルタと自己相関関数による演奏楽器推定, 情報処理学会第 70 回全国大会講演論文集 (2), 429-430 (2008).
- 15) 後藤真孝, 橋口博樹, 西村拓一, 岡隆一: RWC 研究用音楽データベース: 音楽ジャンルデータベースと楽器音データベース, 情報処理学会研究報告, MUS-45, 19-26 (2002).