

# 採譜システムの実現における残された問題点の検討

田所 嘉昭, 夏井 雅典 (第4工学系, メディア信号処理コア)

## 1 はじめに

採譜システムの実現法として, 我々はこれまでの周波数領域での処理でなく, 時間領域の処理に基づく方式を提案した. これは減算処理で実現できるノッチ型くし形フィルタ ( $H(z)=1-z^{-N}$ ) を使用した音高推定法 (採譜では音高推定が重要) を基本にしたもので, 従来法に比較して処理の簡単化が実現できる特徴がある.

これまでのシステムは, 音域がオクターブ 3-5, 和音数 3, 打楽器音を含まない楽音を対象にしてきた. より実用的な採譜システムを実現するために, 本年度は, 主に次の三つの課題について検討をした. (1) 打楽器音を含む楽音の音高推定法, (2) 多和音 (3和音以上) の音高推定法, (3) 広音域 (オクターブ 0-8, ピアノ 88音に対応) の音高推定法. 本稿では, その概要を報告する.

## 2 打楽器音を含む楽音の音高推定法[1], [6]

この方法として, 二つの方法を検討した. 一つは 1 オクターブに相当する 12 個のノッチ型くし形フィルタを並列接続し, その各出力の自己相関関数 (ACF:  $R(k)_q, q=1, \dots, 12$ ) を計算する方法である[1]. この原理は,  $R(0)_q$  (各出力のパワー) の最小値 (くし形フィルタでピッチのある楽音が除かれた) からその音名 (C, C# 等) を検出する. これに相当する ACF ( $R(k)_q$ ) は, 打楽器の ACF になっている. その隣の音名の ACF ( $R(k)_{q+1}$ ) と  $R(k)_q$  の差を求めるとその値はピッチのある楽音の ACF の情報を持っている. よって, その ACF の周期を測定することにより, 音高を推定することができる. この方式を 4 楽器, 6 打楽器により実験をした. フルートでは, ほぼ 100% の推定精度が得られたが, トランペット, オルガンでは 63%, 50% という推定率であった.

他の方法は, ノッチ型くし形フィルタの逆特性の共振型くし形フィルタ ( $H(z)=1/(1-z^{-N})$ , または  $H(z)=1/(1+z^{-N/2})$ ) を利用する方法である[6]. この思想は, 雑音 (打楽器音) に含まれる信号成分 (楽器音) を同期加算して積算することにより抽出するといふものである. 前の方法と同様に 1 オクターブ 12 音に相当する共振型くし形フィルタを並列接続し, その累積出力の最大値, もしくはその出力変化の直線性に注目して音高を推定する方法である. オクターブ 4 の音域でピアノ音と 5 種類の打楽器による実験の結果, ほぼ 100% で音高が推定できた.

## 3 多和音に対する音高推定法[3], [5]

従来, 電子楽器音に対して, 対象音域の最低オクターブに相当する 12 個のノッチ型くし形フィルタを縦続接続し, その零出力を検出し, そのフィルタを先頭に移動させて, 同様な処理をすることにより何和音にも対応できる方法を提案していた. しかし, 実音に対してこのシステムは 3, 4 和音が限界であった. その理由は縦続接続されたフィルタの特性が低域の信号を 90 dB 以上も増大させるため, 実音に含まれる低域の雑音のため零出力が検出されないためである.

これに対しても二つの方法を検討した. 一つは, 楽音の倍音関係を利用して縦続接続数を 12 個から 7 個に減少した方式である[3]. これに低域の雑音成分を減少させるための高域フィルタの使用と推定を 2 度行うことを追加した. 推定を 2 度行うのは, 後段のフィルタに相当する音高が検出しづらいため, 一度推定した後に, そのフィルタの接続順序を逆転してもう一度行うことにより, 見逃していた音高を検出するためである. これにより 4 オクターブの音域に対して 4 和音で 77% の推定率を得た (以前の方式では, 60%).

他の方式は, 零出力に注目するのではなく,

信号の周波数変化に注目する方法である[5]. これは音高に相当する周波数成分がノッチ型くし形フィルタで除かれた後には, 低域の雑音成分だけとなるので, その周波数変化に注目することにより音高を推定する方法である. 7 個のノッチ型くし形フィルタの縦続接続により, 10 個の和音にも対応できることを確認した.

#### 4 広音域の楽音に対する音高推定法[4]

ピアノ音の音域である A0(オクターブ 0 の A 音) から C8(オクターブ 8 の C 音) の 88 音の 2 和音の楽音に対して, その音高推定法を検討した. 広音域を対象にすることで, 新たに次ぎのような問題が生じた. (1) 低域の音高の倍音成分が倍音関係からずれていく非調和成分の発生, (2) 低音では, その信号の利用できる周期が少ない. (3) 高域の音高ではフィルタの精度が劣化する ( $[f_s / f_p]$ : サンプル周波数  $f_s$  と音高の基本周波数  $f_p$  の比の整数化により, フィルタの次数が決定する.  $f_p$  が大きくなるとこの整数化の影響が大きくなる). (4) 他の音の倍音成分の影響が広い範囲にわたる.

これらの問題に対して, 提案法では, 先ず音域を低域フィルタ 3 個と高域フィルタ 1 個を使用して 4 つの領域 (R1 から R4) に分割し, 各領域に対して別個の処理を行った. すなわち, R1 (A0-G#3: 39 音) に対しては, A0 から G#1 の 12 個のノッチ型くし形フィルタの並列接続により音高を検出する. 他の領域 (R2: A4-G#5 (12 音), R3: A5-G#6 (24 音), R4: A6-C8 (16 音)) に対しては, 各領域の最低音からの 12 個の共振型くし形フィルタを並列接続して音高を推定する. ノッチ型くし形フィルタの出力は音高の 1 周期後から発生するため, 低域でその特徴を発揮できる. ただし, 非調和成分の影響を受けるため低域フィルタでその影響を除いた. 他の領域では, この非調和成分の影響はフィルタ処理では除けないため, 共振型くし形フィルタを利用した. 共振型くし形フィルタは信号成分を何回か加算するため, 他の成分と区別できる周期数を必要にする. これらの処理により, ピアノ音 88 音の 2 和音に対して, 約 70% の推定精度が得られた.

#### 5 まとめ

実用的な採譜システムを実現するために, 残された問題点に対する音高推定法を検討した. 現段階では, それぞれの問題に対して, 別個の方式を検討している. そのため, 今後はこれらの方式をまとめた方式を実現する必要がある.

#### 発表論文

- [1] Y. Tadokoro, T. Saito, Y. Suga and M. Natsui, "Pitch estimation for musical sound including percussion sound using comb filters and autocorrelation function," Proc. the 8-th WSEAS International Conference on Acoustics & Music: Theory & Applications, pp.13-17, June 2007.
- [2] 坂内, 夏井, 田所, "くし形フィルタに基づく自動採譜システムの実現," 音楽情報科学研究会, 2007-MUS-71(3), pp.13-18, 2007.
- [3] 松山, 夏井, 田所, "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実現," 音楽情報科学研究会, 2007-MUS-71(27), pp.167-172, 2007.
- [4] 松下, 夏井, 田所, "並列構成くし形フィルタによる広音域ピアノ楽音の音高推定法," 音楽情報科学研究会, 2007-MUS-71(28), pp.173-178, 2008.
- [5] Y. Tadokoro, D. Matsuyama and M. Natsui, "Pitch estimation of polyphony having many musical tones using seven comb filters connected in cascade," International Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, pp.139-143, September 2007.
- [6] 田所, 寺井, 夏井, 斉藤, "並列構成共振型くし形フィルタによる打楽器音を含む楽音の音高推定法," 平成 19 電気関係学会東海支部連大, O-184, 2007.
- [7] 田所, 松山, 夏井, "並列構成共振型くし形フィルタによる多和音の音高推定法," 平成 19 電気関係学会東海支部連大, O-185, 2007.
- [8] 山口, 田所, "くし形フィルタと自己相関関数に基づく調和成分が重畳する混合音の音高推定," 音楽情報科学研究会, 2007-MUS-72(10), pp.49-54, 2007.