

# くし形フィルタの自己相関関数による音高推定困難和音の音高推定法

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

楽音信号から楽譜を作成する採譜において重要になるのが音高の推定であり, 多くの研究が行われている [1]-[4]. 我々は, 減算処理で実現できるくし形フィルタ ( $H(z) = 1 - z^{-N}$ ) を基本とした音高推定法を提案し, 本手法に基づく音高推定システムの構築に向けて研究を進めている. [1],[2]. 通常の音高推定法が基本周波数成分の抽出を基本としているのに対し, 本手法は, 楽音の全調波成分をくし形フィルタを用いて消去することで, 音高推定を実現する.

ある音の基本周波数成分が他の音の基本周波数, もしくはその倍音成分と重なっているような和音を対象としたとき, 従来の手法では音高の分離推定が困難であり, 未だ系統的な手法が確立していない. 本稿では, このような音高推定が困難な和音を対象とした手法として, くし形フィルタである音を消去し, 消去されなかった信号の周期を自己相関関数で求めることにより音高を推定する手法を紹介する. これは実楽器音では, 重なる成分にわずかな周波数差が存在することに着目した方法である.

## 2 くし形フィルタによる音高推定法の概要

Fig.1 に, 並列構成くし形フィルタによる音高推定システムを示す. まず, 対象音域の最低オクターブの 12 音それぞれを消去するくし形フィルタを並列接続し, 各フィルタに和音を入力したときの出力波形を得る (a). 次に, 各フィルタのうち最も小さい信号を出力するくし形フィルタを並列接続くし形フィルタの前に移動し, 直列に接続する (b). この処理を並列接続くし形フィルタの出力のうちの一つがほぼ零出力になるまで繰り返す. このとき直列接続されたくし形フィルタから和音の各音名が決定される. この音名のオクターブの決定は, 各くし形フィルタの次数を  $1/2$  (1 オクターブ上),  $1/4$  (2 オクターブ上) ... としていったとき, 零出力でなくなる直前の次数がその音名のオクターブになる.

## 3 音高推定困難和音の音高推定法

本稿では, 周波数成分が重なる 2 和音 (C4+G5: 3 倍音) を例に音高推定困難和音の音高推定法を紹介する. 仮定として 2 で紹介した音高推定システムで和音の最低音名 C4 は検出されているとする. なお, サンプリング周波数  $f_s = 44.1kHz$  である.

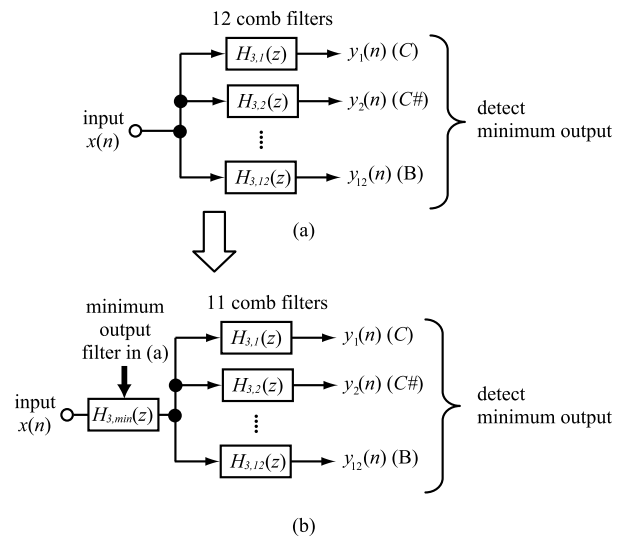


Fig. 1 並列構成くし形フィルタによる音高推定システム

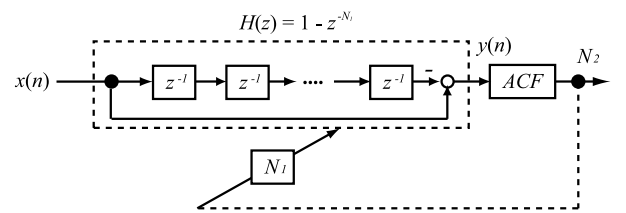


Fig. 2 音高推定困難和音の音高推定システム

提案する音高推定システムを Fig.2 に, そのアルゴリズムを以下に示す. C4 を消去するくし形フィルタに 2 和音  $x(n)$  を入力する. そのくし形フィルタの最初の遅延数  $N_{p1}$  は, C4 の基本周波数を  $f_{p1}$  (平均律音階に基づいた値) とすると次式で決定される.

$$N_{p1} = [f_s / f_{p1}] (\lceil \cdot \rceil : \text{四捨五入による整数化})$$

- くし形フィルタの出力の自己相関関数 (ACF) を計算し, その周期を求め.
- くし形フィルタの遅延数を  $N_{p1}$  から  $N_1$  に代えて, 同様に  $y(n)$  の周期  $N_2$  を求める.
- $N_2 \rightarrow N_1$  にして, 同様な処理を  $N_1, N_2$  が収束するまで繰り返す.

このようにして求められた  $N_1, N_2$  から 2 和音の音高が推定される. その具体例を Fig.3 に示す. clarinetC4+alt-saxG5 の入力を C4 を消去するくし

形フィルタに通した出力が (b), その自己相関関数が求めたのが (c) に示されており, (c) からこの和音には G5が含まれていることが推定できる.

#### 4 まとめ

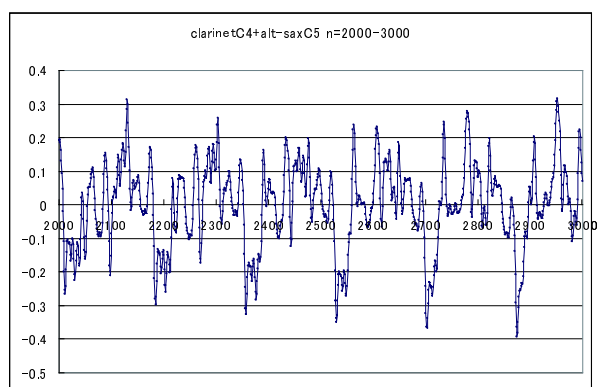
単独和音に対する音高推定困難和音の音高推定法は, これまで実現されていなかった. 本稿では, その一つの解決法を紹介した. これにより実用的な採譜システムの構築が実現できる.

#### 参考文献

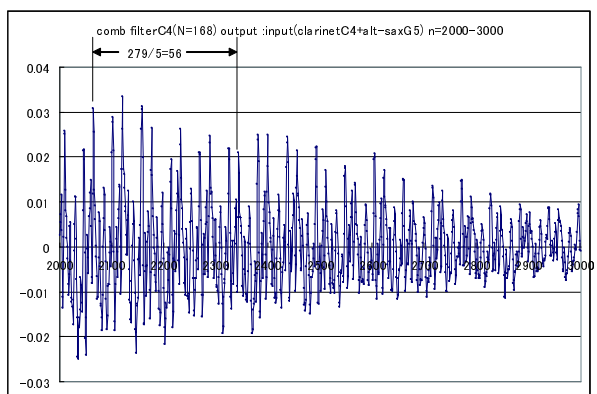
- [1] 三輪, 田所, 斎藤, ”くし形フィルタを利用した採譜のための異楽器音中のピッチ推定,” 信学論, Vol.J81-D-II, No.9, pp.1965-1974, 1998.
- [2] 森田, 山口, 田所, ”並列構成くし形フィルタの出力値に注目した採譜のための音高推定法,” 信学論, Vol.J87-D-II, No.12, pp.2271-2279, 2004.
- [3] A. P. Klapuri, ”Multiple fundamental frequency estimation based on harmonicity and spectral smoothness,” IEEE Trans. on Speech and Audio Processing, Vol.11, No.6, pp.804-816,2003.
- [4] M. Goto, ”A predominant-F0 estimation method for polyphonic musical audio signals,” Proc. of ICA2004, pp.II-1085-1088, 2004.

#### 発表論文

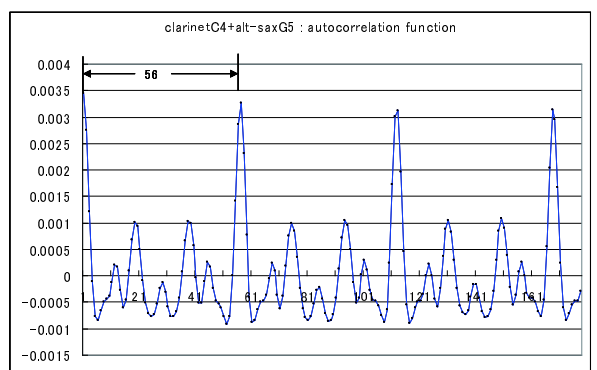
- [1] T.Saito and Y.Tadokoro, ”Pitch estimation for polyphony musical sounds with a percussion sound using resonator-type comb filters,” ISSPA'05 (8th international symposium on signal processing and its applications), pp.627-630, 2005.
- [2] Y.Tadokoro and K.Tanishita, ”Musical instrument estimation for polyphony using autocorrelation functions,” ICINCO'05 (2nd international conference on informatics in control, automation and robotics), Proc. of Signal Processing, Systems Modeling and Control, pp.143-148, 2005.
- [3] M.Natsui, S.Kubo and Y.Tadokoro, ”GA-based approach to pitch recognition of musical consonance,” ICINCO2006, Proc. of Signal Processing, Systems Modeling and Control, pp.47-52, 2006.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 clarinetC4+alt-saxG5 の音高推定例

- [4] Y.Tadokoro, M.Natsui and Y.Seto, ”Pitch estimation of difficult polyphony sounds overlapping some frequency components,” ICINCO2006, Proc. of Signal Processing, Systems Modeling and Control, pp.168-173, 2006.
- [5] Y.Tadokoro, T.Saito, Y. Suga and M.Natsui, ”Pitch estimation for musical sound including percussion sound using comb filters and autocorrelation function,” AMTA07, 2007.