

平成 21 年 3 月 25 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500082
 研究課題名（和文）
 楽音の解析とその IT 社会への応用に関する研究
 研究課題名（英文）
 STUDY OF MUSICAL SIGNAL ANALYSIS AND ITS APPLICATIONS TO INFORMATION TECHNOLOGY
 研究代表者
 田所 嘉昭（TADOKORO, YOSHIAKI）
 豊橋技術科学大学・工学部・教授
 研究者番号：90005463

研究成果の概要：実用的な採譜システムの実現のため、従来音高推定が困難とされていた和音と打楽器音を含む楽音の音高推定を解決した。さらに、音長検出法を提案するとともに、和音数、音域を拡大したときの音高推定法を示し、その応用として楽音の視覚化、楽器演奏独習システムを提案した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：音高推定，多和音，広音域，打楽器音，連結処理，くし形フィルタ

1. 研究開始当初の背景

実用的な採譜システムが実現されていない理由は、楽音が非正常信号で、音高周波数間隔が不等間隔であるなどの特徴を持つ他に、各和音の成分が重なる音高推定困難和音や打楽器音が含まれる楽音の音高推定が、いまだ十分な精度が得られていないからである。これが解決されると、採譜ばかりでなく IT 社会への種々の応用も期待される。

2. 研究の目的

以下の項目に対する音高推定法を開発し、その結果を IT 社会へ応用する。

(1)音高推定困難和音，(2)多和音，(3)広音域

楽音，(4)打楽器音を含む楽音。

3. 研究の方法

(1)音高推定困難和音については、ノッチ型くし形フィルタと自己相関法を使用する方法と、楽音の位相情報を利用して行う。

(2)多和音の音高推定は、共振型くし形フィルタの並列接続により、ノッチ型くし形フィルタの縦続接続での低周波の振幅の増大の問題を解決する。なお、ノッチ型くし形フィルタの縦続接続についても振幅でなく周波数変化に注目する方法を検討。

(3)広音域楽音に対しては、音域を3分割し、低域はノッチ型くし形フィルタで、中域、高域

は共振型くし形フィルタを使用して音高を推定する。

(4)打楽器音を含む楽音については、3 オクターブ以上は共振型くし形フィルタの並列接続で音高を推定する。それ以下の音域では、入力音と打楽器音の相互相関関数を求めて打楽器を推定し、入力音から打楽器音を除去した後に、ノッチ型くし形フィルタで音高を推定する。

4. 研究成果

(1)音高推定困難和音の音高推定法

ノッチ型くし形フィルタと自己相関法

この方法は、演奏楽音の重なり合う2つの成分の周波数は、正確に一致することはまれであるということに着目した方法である。図1に示すように、重なり合う2和音の低音の音高は従来の方で推定可能である。そこでその音をノッチ型くし形フィルタで除去し、残りの小さな出力信号の周期を自己相関関数を用いて求め、その周期から他音の音高を推定する。この処理を適応的に行うことにより2和音の各音高を推定する。その結果、RWC 研究用音楽データベースの音源を用い、音域3-5オクターブの10楽器(ピアノ、バイオリン、ピオラ、トランペット、ホルン、アルトサクソ、テナーサクソ、オーボエ、クラリネット、フルート)の1,032の単音から、2和音の音高推定困難和音を作り(基本周波数比1:2i (i:整数)を28,814和音、1:3iを14,911和音)、それらを提案法で音高を推定した。その結果、単音(82.7%)、1:2i(80.7%)、1:3i(87.2%)の音高推定精度を得た。

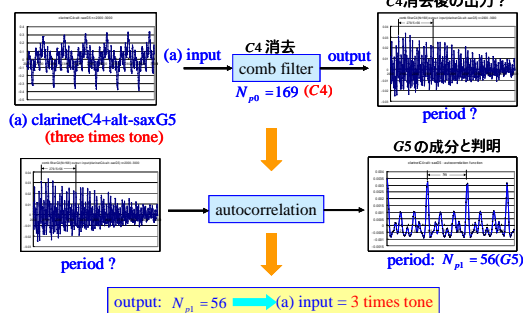
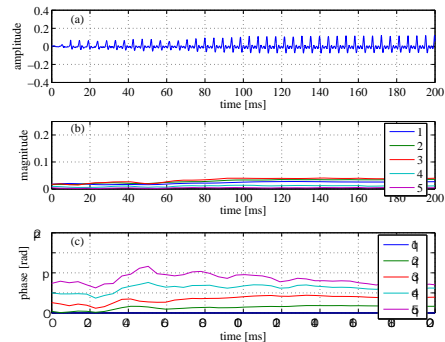


図1 ノッチ型くし形フィルタと自己相関関数による音高推定困難和音の音高推定法

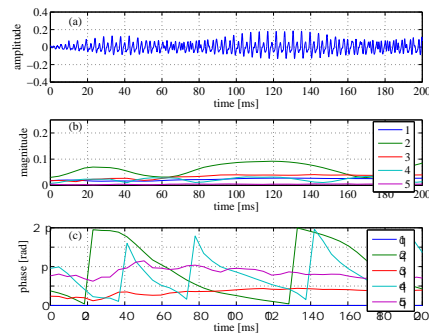
楽音の位相情報の利用

楽音の位相には、時間的にほぼ一定であるもの(ホルン等)と、一定の割合で変化するもの(ピアノ等)がある。和音になった場合、重なった2つの成分の周波数差により、一定位相のものが変化する。あるいは、変化する位相の場合も倍音間で規則的に変化していたものが不規則な変化になり、どの成分が重なり合っているかを知ることができる。図2

(a)は、ホルン A3 単音の特性を、(b)は、ホルンの A3 と A4 からなる音高推定困難和音の特性を示している。(a)の単音の場合の位相はほぼ一定であるが、(b)の和音の場合は、成分が重なっている偶数番の成分の位相が変化している。これより、A3とA4からなる和音であることが推定される。この方法は、特に単音とユニゾン(同じ音高の和音)の区別に有効と思われる。なお、この方法については、で記述したようなすべての組み合わせでの実験はまだしていない。



(a) ホルン A3 単音の特性



(b) ホルン A3 + ホルン A4 音高推定困難和音の特性

図2 楽音の位相情報を利用した音高推定困難和音の音高推定法

(2)多和音の音高推定法

縦続接続ノッチ型くし形フィルタの出力周波数変化に注目した方法

電子楽器音の場合は、縦続接続ノッチ型くし形フィルタの零出力に注目して多和音の各音高を推定できた。しかし、実楽器音においては、ノッチ型くし形フィルタで十分にある音を消去することができないため、縦続接続ノッチ型くし形フィルタの低周波成分を増大させる周波数特性のため、低周波成分が大きく増大するため、零出力が得られず零出力に注目した音高推定ができない。しかし、図3に示すように出力周波数変化に注目することで多和音の各成分が除かれたことを知れる。この原理を利用して12和音でも音高推定可能であることを示せた。図の例は、オ

クターブ4の5和音(D+F+G+A+B)を縦続接続ノッチ型くし形フィルタに入力した場合の各フィルタ出力を示している。B, A, G, F, Dと順番に各音が除かれ、Dの出力でD#の高い周波数から低い周波数に周波数が変化している。これより入力音にD音があることが推定される。次にDのフィルタを縦続接続の先頭に持って行って、同様な処理をすることにより、和音の各音を推定できる。

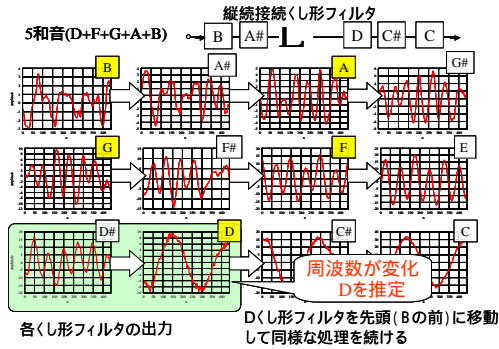
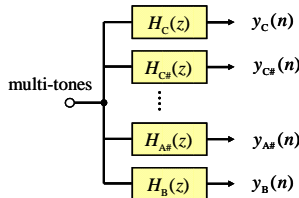


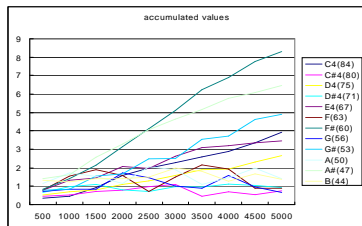
図3 縦続接続ノッチ型くし形フィルタの出力周波数変化に注目した多和音の音高推定法

並列接続共振型くし形フィルタによる方法

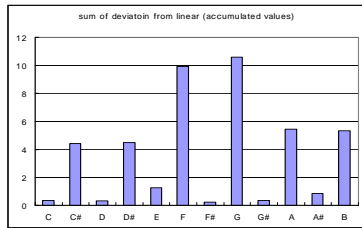
ノッチ型くし形フィルタの逆特性の共振型くし形フィルタにより楽音の各成分を抽



(a) 並列接続共振型くし形フィルタ



(b) 共振型くし形フィルタの出力



(c) フィルタ出力の線形性

図4 並列接続共振型くし形フィルタによ

る多和音の音高推定法

出すことにより、他音にあまり影響されずに音高を推定できる。この方法を図4に示す。大きな振幅を示すフィルタ出力から音高が推定できる。その判断が難しいときは、(c)に示すようにフィルタ出力の線形性に注目することで音高推定ができる。(c)の縦軸は線形からのズレの大きさを示しており、この図から線形性のよい6音を選択することで、多和音の音高推定ができています。この方法により、4オクターブのピアノ音の7和音のすべての組み合わせに対して、約70%の音高推定率を得た。

(3) 広音域楽音の音高推定法

ピアノの全音域(88音)の2和音に対して、広音域の問題点として、非調和成分や高音域での遅延数の減少によるフィルタ精度が低下する問題点を明らかにし、その対策として図5に示すように、音域を3分割し、低域にはノッチ型くし形フィルタ、中域、高域には共振型くし形フィルタを使用し、高域の処理には補間法により遅延数を増加させる方法によりフィルタ精度を改善し、全体で71%の音高推定率を実現した。

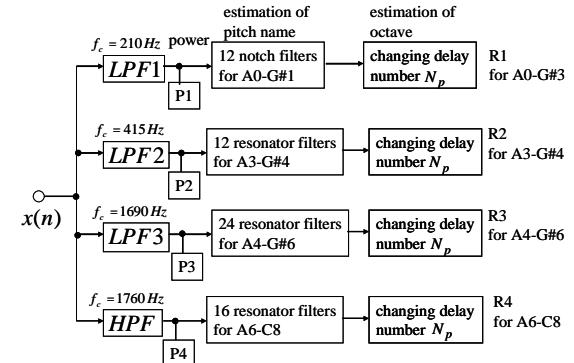


図5 広音域に対する音高推定システム

(4) 打楽器音を含む楽音の音高推定法

オクターブ3-5に対して、ピアノ音と7種類の打楽器(パストラム, クラッシュシンバル, フロアタム, ハイハット, ハイタム, ロータム, ネアドラム)のチューニングや叩く強さ等を変えた20音に対して、並列接続共振型くし形フィルタを使用して音高推定を行った。打楽器の主要成分が音高の周波数に近い場合が問題になったが、図6に示すように、音高の基本周波数の両側に周波数を少しずらした共振型くし形フィルタを用意することで、打楽器音と楽音を区別する方法を開発した。その結果、95%の音高推定率を得た。

また、オクターブ0-2に対しては、共振型くし形フィルタでは十分な出力を得られないため、入力音と打楽器音(テンプレートとして保存)との相互相関関数を求め、打楽

器音を推定し、入力音から打楽器音を消去した出力に対して、ノッチ型くし形フィルタで音高を推定する方法を検討し、92%の音高推定率を得た。

上記に挙げた項目の他に、実用的な採譜システム実現のため、音長推定のために和音の連結処理（ある音高が弾き直されたか否かの判別）、オンセット（音の鳴り始め時刻）の検出法を検討した。また、音源分離の方面から音高推定法の検討もなされた。さらに、これらの音高推定法の結果を利用して、音楽を視覚的に表現する方法や、楽器の独習を支援するシステムの検討も行った。

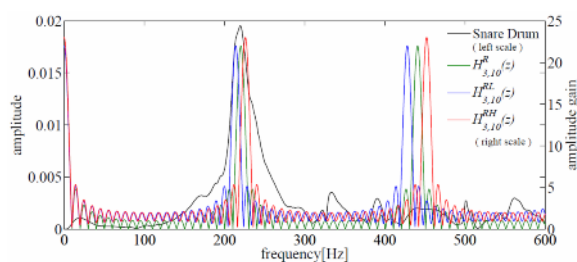


図6 複数の共振型くし形フィルタによる打楽器音と楽音の区別

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 1 件)

工藤憲昌, 釜谷博行, 田所嘉昭, “多楽器演奏音から単一音源の抽出,” 八戸工業高等専門学校紀要, 43, 2008, pp.43-45

〔学会発表〕(計 34 件)

野口健太郎, “腕の動作計測と音の解析による初期のバイオリン指導の検討,” 信学総合大会 D-15-40, 2009.3.18, 愛媛大学

寺井 優, “Resonator 型くし形フィルタによる楽音のオンセット検出と音高推定に関する検討,” 信学技報 EA2008-118, 2009.1.29, 同志社大学

山本雄士, “低音域を対象にした打楽器音を含む楽音の音高推定法の検討,” 信学技報 EA2008-117, 2009.1.19, 同志社大学

坂内秀幸, “音符の連結パターンを用いた振幅スペクトル比較による音符の連結処理の検討,” 信学技報 EA2008-116, 2009.1.19, 同志社大学

Yoshiaki Tadokoro “Signal identification for wide-range sound (piano) using notch and resonator-type comb filters,” ICSPCS2008, 2008.12.15, Gold Coast, Australia

Tsutomu Saito, “A study of music visualization system based on pitch detection,” SCIS & ISIS2008, 2008.9.19, Nagoya, Japan

Michiru Yamaguchi, “Pitch estimation for

mixed tones with overlapped harmonic components using comb filters and auto-correlation functions,” SCIS & ISIS2008, 2008.9.19, Nagoya, Japan

山口満, “くし形フィルタと自己相関関数に基づく調和成分が重複する混合音の音高推定,” 音情研 2007-MUS-72(10), 2007.10.12, ヤマハ(浜松)。

Yoshiaki Tadokoro, “Pitch estimation of polyphony having many musical tones using seven comb filters connected in cascade,” NSIP2007, 2007.9.11, Bucharest, Romania

Yoshiaki Tadokoro, “Pitch estimation for musical sound including percussion sound using comb filters and autocorrelation function,” AMTA2007(WSEAS), 2007.6.20, Vancouver, Canada

〔産業財産権〕

出願状況(計 2 件)

特許願, 田所嘉昭, 豊橋技科大, 特願 2008-217313, 平成 20.8.26, 国内外

特許願, 田所嘉昭, 豊橋技科大, 特願 2007-249880, 平成 19.9.16, 国内外

〔その他〕

<http://www.signal.ics.tut.ac.jp>

6. 研究組織

(1)研究代表者

田所 嘉昭 (TADOKORO YOSHIAKI)

豊橋技術科学大学・工学部・教授

研究者番号: 9 0 0 5 4 6 3

(2)研究分担者

齋藤 努 (SAITOU TUTOMU)

豊田工業高等専門学校・電気電子システム工学科・教授

研究者番号: 6 0 2 8 0 3 9 3

工藤 憲昌 (KUDOU NORIMASA)

八戸工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号: 4 0 2 7 0 1 9 4

野口健太郎 (NOGUCHI KENNTAROU)

沖縄工業高等専門学校・情報通信システム工学科・准教授

研究者番号: 0 0 3 3 5 1 0 0

山口 満 (YAMAGUCHI MICHIRU)

豊橋創造大学・情報ビジネス学部・講師

研究者番号: 6 0 4 1 3 7 6 2

*夏井 雅典 (NATSUI MASANORI)

豊橋技術科学大学・工学部・助教

研究者番号: 1 0 4 0 2 6 6 1

*平成 19 年度のみ