

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18760264
 研究課題名（和文） 過標本化フィルタバンクに関する設計理論の構築と信号推定問題への応用
 研究課題名（英文） Development of the design theory of oversampled filter banks and the applications to signal estimation problems
 研究代表者 田中 聡久 (Tanaka Toshihisa)
 東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・准教授
 研究者番号：70360584

研究成果の概要：

本研究では、過標本化フィルタバンクの設計問題に対する理論的な検討を加え、さらに信号処理における応用問題について検討を行った。研究の結果、特定の条件下において、任意の帯域通過特性をもつ過標本化フィルタバンクを、代数演算のみで設計できることが可能となった。さらに、音声信号処理における音高変換やピッチ変換、さらにブラインド信号分離における permutation 問題に過標本化フィルタバンクが有効であることがわかった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,400,000	0	1,400,000
2007年度	1,100,000	0	1,100,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	300,000	3,800,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，通信・ネットワーク工学

キーワード：信号処理，マルチレート信号処理

1. 研究開始当初の背景

フィルタバンク(Filter bank, FB) は信号処理、画像処理、及び通信の分野で広く用いられている技術である[1, 2]。Tanaka は、フィルタのタップ数が間引き係数の2倍である冗長FBに関して、任意の分析FBが与えられたとき、完全再構成条件を満たす合成FBの一般解を閉じた形で導いている[1]。

FBとは、次のような構造を持っている。

まず、入力信号 $x[n]$ は、複数のフィルタ $H(z)$ によって帯域分割、つまりことなる周波数成分に分解される。この帯域分割信号は、 M サンプル毎に間引きされる。この信号は扱いやすい形になっており、ここで信号の圧縮や処理が行われる。処理を受けた信号は、 M サンプル毎に0が内挿され、複数のフィルタ $G(z)$ を通過した後に、それらはすべて足しあわされて、再構成信号 $x^h[n]$ を得る。

文献[1]では、次の2つの問題が未解決であった。まず、任意の合成FBを与えたときに、文責FBをどのように求めるか不明であった。第2に、文献[1]における設計法は、複素数係数を許容してしまうため、設計の条件によってはフィルタ係数が複素数になる。

さらに、過標本化フィルタバンクの基礎研究は数多くされているものの、その応用範囲がきわめて限られていることであった。理論を応用につなげるための研究が不足していたのである。

[1] T. Tanaka, *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 54, no. 8, pp. 3011-3022, Aug. 2006.

2. 研究の目的

そこで、本研究では、次の課題を解決することを目的とした。

(1) まず、過標本化フィルタバンク設計の理論的な問題である。まず1つは、任意の合成FBを与えたとき、完全再構成条件を満たす分析FBが存在するための、この合成FBが満たすべき必要十分条件を明らかにすること、また、合成FBがこの条件を満たすときの分析FBの一般解を求めることである。2つ目には、冗長FBには設計の自由度があることを利用して、帯域通過特性を持つ最適な分析FBを、係数が実数であるという拘束条件の下で求めることである。

(2) つぎに応用問題として、過標本化フィルタバンクの応用としては、音響信号の音高変換についての検討をする。この処理は、楽器の練習効率の向上や楽曲編集に役立つ。

(3) 最後に、過標本化フィルタバンクによって、ブラインド信号分離問題(BSS)における分離結果の劣化を回避することができることを示す。BSSは、複数波源の信号が混ざり合って観測された場合、それを混合過程の知識なしに分離する技術のことである。ただし、分離した信号の順序が、原信号の順序と一致しているとは限らず、permutation問題と呼ばれる。音声信号の分離では、混合過程が伝達関数行列で表されるため、周波数によって混合過程が異なる。したがって、各狭帯域の信号にBSSを行うと、狭帯域ごとに推定信号の出現順序が異なってしまい、これが分離推定信号の劣化の大きな要因となっている。この問題に対して、過標本化フィルタバンクを用いた

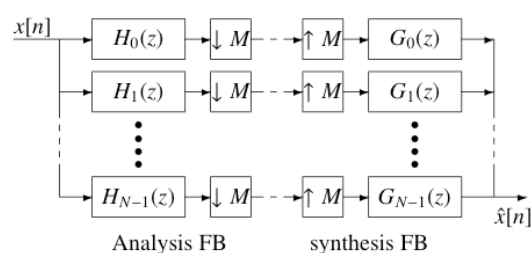
解決のアプローチを示す。

シミュレーション実験により、従来手法と比較して分離性能が向上することを示した。

最後に、データ駆動型と言われているフィルタバンクである、経験的モード分解(EMD)を画像処理に適用する方法を示した。具体的には、EMDを効率的に用いることで、画像に内在する照明の効果を除去することができることを示した。

3. 研究の方法

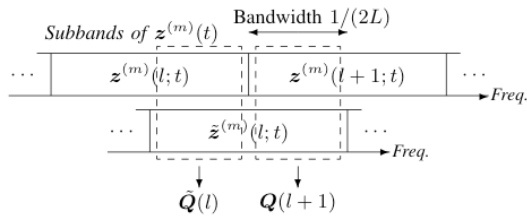
(1) ここで扱うのは下の図に示すようなフィルタバンクである。



1つ目の問題に対しては、文献[1]で得られた知見を用いることで、これを解決した。つまり、完全再構成条件を多元連立一次方程式に変換することで、解を求めた。2つ目の問題に対しては、帯域通過特性を評価するコスト関数を設定し、拘束条件の下でこれを最適化した。最適解は閉じた形で求めることができる。この最適解を用いて、帯域通過FBを設計するための交互繰り返し法を提案した。

(2) 過標本化フィルタバンクを、phase vocoderに適用することで、効果的に音響信号の音高を変換する。Phase vocoderとは、信号を様々な周波数と位相を持つ正弦波の和として表し、単純正弦波の周波数を変換することで音響信号の音高を変換するものである。音声信号を対象とした場合、音高情報であるピッチ(基本周波数)を信号から抽出し、それをを用いて波形を伸縮させることで音高変換を行うことができる。しかし、ピッチに基づいた手法を音響信号の再生速度変換にそのまま適用した場合、音高や音質が変わってしまう。そこで本研究では、音階に対応した完全再構成フィルタバンクを用いて、音響信号を狭帯域に分割して再生速度変換する方法を適用した。

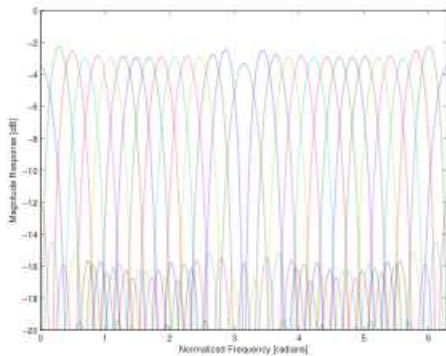
(3) Permutation の問題に対しては、2種類のフィルタバンクを用いて解決する。



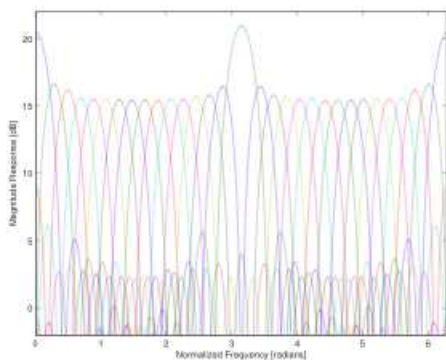
1つ目のフィルタバンクにおける各帯域の帯域幅を W としたとき、 $W/2$ だけシフトしたものを2つ目のフィルタバンクとする。すると、上の図に示すように、 $z(l)$ と $z(l+1)$ という2種類の狭帯域信号が得られる。 l は帯域のインデックスである。それぞれの狭帯域で信号分離を行い、それが正しく行われたのであれば、図中の点線で囲んだ帯域に関しては、 $z(l)$ も $z(l+1)$ も同じ分離結果となるはずである。このことを利用することで、permutation問題を解決できるのである。

4. 研究成果

(1) 任意の合成フィルタバンクを与えた場

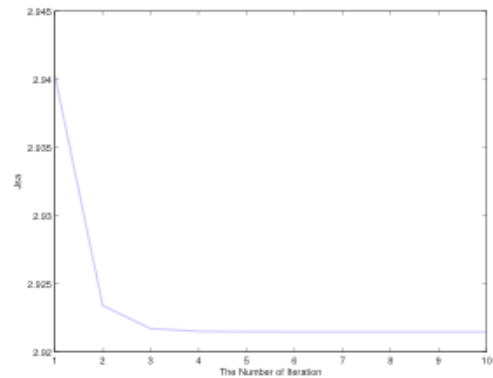


(a) The analysis filters.

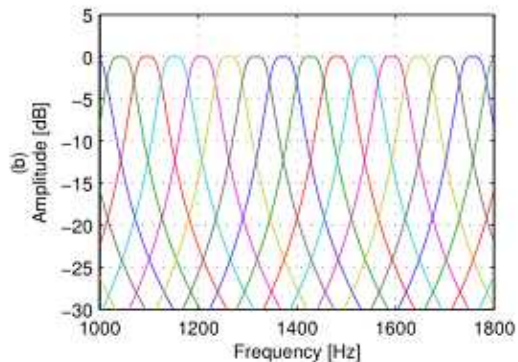
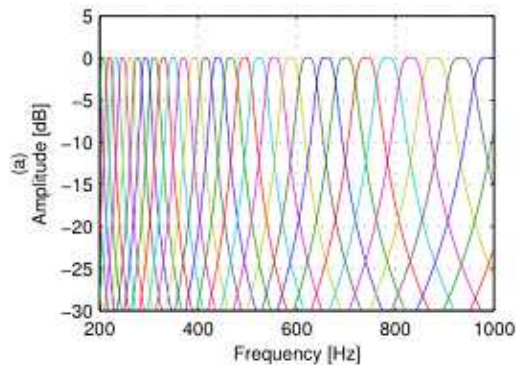


(b) The synthesis filters.

合、それに対応する完全再構成フィルタバンクを構成する方法を、理論的に示した。さらに、分析フィルタバンクと合成フィルタバンクを交互に最適化する方法を示し、それらを計算機実験によりシミュレーションし、有効性を確認した。上の図に、フィルタの設計結果を示す。図からもわかるとおり、設計したフィルタは、優れた帯域通過特性を有している。またつぎに、交互最適化における評価関数の収束の様子を示す。評価関数の値は急激に落ち込み、少ない回数で収束が得られることがわかる。



(2) 楽曲信号の音高にあわせたフィルタバンクを設計することにより、phase vocoderにおける変換処理を効率的に行うことができることを示し、計算機実験で有効であることを示した。以下に示す図は、設計したフィルタバ



ソクの周波数特性である。上の図は、音階に対応させて設計したもの。下の図は、一様に分割したものである。

(3) ブラインド分離問題に関しては、実際の音声信号を用いて、混合音声を模擬した場合のシミュレーション実験を行った。以下に実験結果を示す。提案手法が他の方法より高いSNR値を示し、分離性能が優れていることが理解できる。

Algorithm	Number of subbands L	SNR [dB]
Proposed ($\theta = 5.5$)	512	12.1
FBFB/IFSEC	64	9.7
FBFB/IFC	512	10.3
FBFB/MPDF	64	10.6
DFT/IFSEC	128	10.2
DFT/IFC	1024	10.2
DFT/MPDF	256	11.2

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3件)

T. Murakami, T. Tanaka, and Y. Ishida, Time-domain blind signal separation of convolutive mixtures via multidimensional independent component analysis, *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E92-A, pp. 733-744, 2009, 査読有り

O. A. Omer and T. Tanaka, Demosaicking based on optimization and projection in different frequency bands, *EURASIP J. Image and Video Processing*, vol. 2008, Article ID 364142, 14 pages, 2008, 査読有り

S. Komeiji and T. Tanaka, A direct design of oversampled perfect reconstruction bandpass FIR filterbanks with real coefficients, *Proc. NCSP 2007*, pp. 611-614, 2007, 査読有り

[学会発表](計3件)

大矢孟, 田中聡久, 2次元経験的モード分解を用いた照明効果の除去, 電子情報通信学会信号処理研究会, 2009年1月, 熊本大

学(熊本県)

村上隆啓, 越川尚樹, 大矢孟, 田中聡久, 石田義久, Subband decomposition based on a musical scale for a phase vocoder, 第23回信号処理シンポジウム, 2008年11月, 金沢(石川県)

越川尚樹, 村上隆啓, 田中聡久, 線形予測による楽曲の音程変換のための適応的次數推定, 第22回信号処理シンポジウム, 2007年11月, 東北大学(宮城県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中聡久 (Tanaka Toshihisa)
東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・准教授
研究者番号: 70360584

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし