

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 22 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760286

研究課題名(和文)高性能可変デジタルフィルタを用いた高品質・高信頼な狭帯域信号処理の実現理論

研究課題名(英文) Theory on Realization of High-Quality and High-Reliability Narrowband Signal Processing Using High-Performance Variable Digital Filters

研究代表者

越田 俊介 (Koshita, Shunsuke)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：70431533

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、先行研究の成果である任意の可変デジタルフィルタの適応制御による狭帯域信号処理手法をさらに発展させた。まず、本手法が高品質・高信頼な信号処理手法となることを理論的に証明した。次に、本手法を実装する場合における有限語長問題によって生ずる特性劣化を最小限に抑える方法を確立した。そして、本手法をさまざまな実用的なアプリケーションへ実装し、その性能を評価することによって、本手法の有効性を理論的な観点だけでなく実用的な観点からも実証した。

研究成果の概要(英文)：This research project has further extended the result of our previous work: a narrowband signal processing method based on adaptive control of arbitrary variable digital filters. First, it has been theoretically proved that this method is of high quality and high reliability. Next, a unified framework has been established to minimize the degradation caused by the finite wordlength problem in implementation of this method. Furthermore, this method has been implemented on many practical applications of narrowband signal processing. Through performance evaluations of such applications, the utility of this method has been shown from the viewpoints of practical applications as well as mathematical theory.

研究分野：工学

キーワード：電気電子工学 通信・ネットワーク工学 信号処理 適応信号処理 可変デジタルフィルタ 狭帯域信号 情報通信工学 制御工学

1. 研究開始当初の背景

さまざまな信号処理アプリケーションにおいて、広帯域信号に混在した周波数未知の狭帯域信号を検出し、それを強調または除去する技術(本研究課題では、この技術を狭帯域信号処理とよぶ)は、非常に重要な役割を果たしている。狭帯域信号処理の実現手法は数多く知られているが、その中で本研究代表者は、独自に確立した「任意の可変デジタルフィルタの適応制御」を用いた手法によって、従来よりも飛躍的に高い信号品質(すなわち従来よりも高いS/N比)を実験的に達成している。しかしこの成果はあくまで実験的に達成されたにとどまっており、高いS/N比が常に得られるかどうかは理論的に証明されているわけではない。また、この手法が信頼できるものであるかどうか(すなわち、この手法が必ず狭帯域信号を検出できるかどうか)についても理論的に明らかにされていない。

2. 研究の目的

上述の背景を受け、本研究課題では、まず本手法の高品質性と高信頼性を理論的に証明することを目的とする。さらに本研究課題では、本手法を理論的な面だけでなく実装や応用の分野へも発展させることを目的として、まず、回路の低消費電力化や通信の高速化など実用的な問題にも有効に対応するための実装論を、本手法に対して与える。次に、この実装論を用いて本手法を専用プロセッサ上で実現し、通信・音響・音声処理などの実用的な信号処理アプリケーションを構築して、本手法の性能を評価する。

3. 研究の方法

本研究課題では、まず、本手法の高品質性と高信頼性を理論的に証明する。次に、本手法の低消費電力化・高速化に向けた実装のための方法論を確立する。そして、本手法を実用的な信号処理アプリケーションへ実装する。具体的な研究内容は以下の通りである。

- (1) 本手法の高品質性の証明
本課題では、本手法によって得られる信号のS/N比が、従来手法によるS/N比よりも必ず高くなることを理論的に証明する。
- (2) 本手法の高信頼性の証明
本課題では、狭帯域信号の検出問題に対して、本手法が必ず最適解を得ることを証明する。この証明によって、本手法が必ず狭帯域信号を検出できることが保証され、ゆえに本手法の高信頼性が示される。
- (3) 本手法の低消費電力化・高速化のための実装論の確立
本課題では、本手法を低消費電力回路や高速データ通信など実用的な環境へ拡張するための実装論を確立する。具体的には、これらの実用的な環境において必

須とされる「数値データのビット削減」を本手法へ採り入れ、これによって生ずる性能劣化を最小限に抑える最適な狭帯域信号処理の実装論を与える。

- (4) 専用プロセッサによる種々の信号処理アプリケーションへの実装
本課題では、上述の課題によって得た実装論を用いて、種々の信号処理アプリケーション(音声真言のハウリング除去など)の狭帯域信号処理システムを専用の信号処理プロセッサ上に実装し、その性能を評価する。

上述の研究における計算機シミュレーションと性能評価を円滑に遂行するために、信号処理・回路解析に特化したソフトウェアを利用する。

4. 研究成果

本研究課題の成果は以下の通りである。

- (1) 高品質性の証明に関する成果
狭帯域信号処理の品質としてシステムの出力信号のS/N比に着目し、本手法によって得られるS/N比が従来手法(適応ノッチフィルタ)によって得られるS/N比よりも必ず大きくなることを理論的に証明することに成功した。
- (2) 高信頼性の証明に関する成果
狭帯域信号検出のための適応アルゴリズムが、本手法では必ず最適解に収束することを理論的に証明することに成功した。
- (3) 低消費電力化・高速化のための実装論の確立に関する成果
本手法にて用いる可変デジタルフィルタの構造に着目し、低消費電力化・高速化のために必須とされるビット削減によって生ずる性能劣化を最小とする構造を可変デジタルフィルタへ適用することを可能とし、その上で、性能劣化を最小としたままフィルタ特性を適応制御できる実装論の確立に成功した。
- (4) 信号処理アプリケーションへの実装に関する成果
実用的な信号処理アプリケーションの一つである音声のハウリング除去システムを本手法に基づいて実装し、その性能を、実際のアプリケーションの観点から評価した。その結果、本手法を用いることによって従来法よりも高いS/N比が出力において得られ、音声信号の品質が向上されていることを定量的および主観的に実証した。

以上に述べた成果により、本手法である「任意の可変デジタルフィルタの適応制御」による狭帯域信号処理手法のさらなる発展をもたらすことに成功した。この成果によって、狭帯域信号処理に対して適用可能な可変デジタルフィルタの自由度が飛躍的に上がり、かつその高品質性と高信頼性が理論

と実験の両方の面で実証されたため、本研究は、信号処理の分野において大きなブレークスルーを与えるとともに、電気・通信・情報工学など工学に関するさまざまな分野の発展にも大きく貢献することが期待される。

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 7 件)

Shinichiro Nakamura, Shunsuke Koshita, Yuki Kumamoto, Masahide Abe and Masayuki Kawamata, "A New Adaptive Notch Filtering Algorithm Based on Normalized Lattice Structure with Improved Mean Update Term," IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 査読有, vol. E98-A, no. 7, July 2015. (印刷中)

Shunsuke Koshita, Masahide Abe, Masayuki Kawamata, Takaaki Ohnari, Tomoyuki Kawasaki and Shogo Miura, "A Description of Band-Pass FIR Filters With Cancellation of DC and Harmonic Components," Proceedings of IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, 査読有, pp. 394-398, September 2014.
<http://dx.doi.org/10.1109/ICNIDC.2014.7000332>

Shunsuke Koshita, Keita Miyoshi, Masahide Abe and Masayuki Kawamata, "High-Performance Variable Band-Pass/Band-Stop State-Space Digital Filters Using Gramian-Preserving Frequency Transformation," Digital Signal Processing, 査読有, vol. 27, pp. 175-184, April 2014.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.dsp.2014.01.003>

Shunsuke Koshita, Masahide Abe and Masayuki Kawamata, "A Simple Ladder Realization of Maximally Flat Allpass Fractional Delay Filters," IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 査読有, vol. 61, no. 3, pp. 203-207, March 2014.
<http://dx.doi.org/10.1109/TCSII.2013.2296131>

Shunsuke Koshita, Yuki Kumamoto, Masahide Abe and Masayuki Kawamata, "Adaptive IIR

Band-Pass/Band-Stop Filtering Using High-Order Transfer Function and Frequency Transformation," Interdisciplinary Information Sciences, 査読有, vol. 19, no. 2, pp. 163-172, November 2013.
<http://dx.doi.org/10.4036/iis.2013.163>

Shunsuke Koshita, Masahide Abe and Masayuki Kawamata, "On L2-Sensitivity of State-Space Digital Filters Under Gramian-Preserving Frequency Transformation," Proceedings of Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference, 査読有, pp. 1-5, October 2013.
<http://dx.doi.org/10.1109/APSIPA.2013.6694188>

Shinichiro Nakamura, Shunsuke Koshita, Masahide Abe and Masayuki Kawamata, "A New Lattice-Based Adaptive Notch Filtering Algorithm With Improved Mean Update Term," Proceedings of Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference, 査読有, pp. 1-4, October 2013.
<http://dx.doi.org/10.1109/APSIPA.2013.6694169>

[学会発表](計 9 件)

越田俊介, 中村紳一郎, 阿部正英, 川又政征, "アフィン結合ラティスアルゴリズムに基づく適応ノッチフィルタの収束特性について," 第57回自動制御連合講演会 2014年11月10日, ホテル天坊, 群馬

越田俊介, 阿部正英, 川又政征, "級数近似に基づく状態空間形の変域通過デジタルフィルタ," 2014年電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, 2014年9月25日, 徳島大学, 徳島

越田俊介, 阿部正英, 川又政征, 大成高頭, 川崎智之, 三浦祥吾, "線形予測に基づく正弦波強調におけるWienerフィルタの振幅特性について," 第28回信号処理シンポジウム 2013年11月22日, 海峡メッセ下関, 山口

中村紳一郎, 越田俊介, 阿部正英, 川又政征, "複素正弦波信号の周波数推定のためのフーリエ級数に基づく適応アルゴリズム," 第28回信号処理シンポジウム 2013年11月22日, 海峡メッセ下関, 山口

東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号： 70431533

越田俊介, 阿部正英, 川又政征, 大成高
顕, 川崎智之, 三浦祥吾, "高調波雑音
除去のための帯域通過 FIR フィルタの記
述," 2013 年電子情報通信学会基礎・
境界ソサイエティ大会, 2013 年 9 月 19
日, 福岡工業大学, 福岡

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし

Shinichiro Nakamura, Shunsuke
Koshita, Masahide Abe and Masayuki
Kawamata, "Fourier Series Based
Adaptive Frequency Estimation
Algorithm for Complex Sinusoidal
Signals," 2013 年電子情報通信学会基
礎・境界ソサイエティ大会, 2013 年 9 月
19 日, 福岡工業大学, 福岡

布村紳一郎, 阿部正英, 越田俊介, 川又
政征, 大成高顕, 川崎智之, 三浦祥吾, "
保護リレー入力回路で生じる雑音の低減
のための FIR 形適応フィルタの構成
法," 平成 25 年電気学会全国大会, 2013
年 3 月 21 日, 名古屋大学, 愛知

坂本英史, 越田俊介, 阿部正英, 川又政
征, "振幅特性を考慮した高次の可変帯
域阻止フィルタに基づく狭帯域雑音除去
システム," 情報処理学会第 75 回全国
大会, 2013 年 3 月 7 日, 東北大学, 宮城

布村紳一郎, 阿部正英, 越田俊介, 川又
政征, 川崎智之, 三浦祥吾, "高調波と
白色雑音の除去を目的とした適応フィル
タの構成法の検討とその評価," 平成
24 年度電気関係学会東北支部連合大会,
2012 年 8 月 30 日, 秋田県立大学, 秋田

〔図書〕(計 2 件)

Shunsuke Koshita, Masahide Abe and
Masayuki Kawamata, "Digital Filters
and Signal Processing, Chapter 5:
Frequency Transformation for Linear
State-Space Systems and Its
Application to High-Performance
Analog/Digital Filters," Intech, pp.
109-138, 2013.

越田俊介, 川又政征, "電子情報通信学会
知識ベース 1 群 信号・システム 9 編 デ
ジタル信号処理 1 章 デジタル信号
処理の基礎理論," 電子情報通信学会,
pp. 1-10, 2012.

6. 研究組織

(1)研究代表者

越田 俊介 (KOSHITA, SHUNSUKE)