

学 位 論 文 題 名

マルチレートフィルタの音響エコーキャンセラへの
応用に関する研究

学位論文内容の要旨

通信会議システムの高度化には、画像信号のみならず、音声信号の高品質化が不可欠である。マイク・スピーカを用いた音声通信会議およびテレビ会議等では、両者の音響結合により発生するエコーによる通話品質の劣化が問題となっており、適応フィルタを用いたエコーキャンセラによる高品質化の検討が進められている。

これまでに、通信システムの高度化のために、適応フィルタは次のような場合に用いられている。

- ①伝送路の歪を補償するための適応等化
- ②長距離電話回線におけるエコーの消去
- ③ビットレート削減のための適応予測符号化

適応フィルタを用いた音響エコーキャンセラによりエコーを消去する方式は、通話品質の向上に寄与することが期待されている。

一方、マルチレートフィルタは、複数のサンプリング周波数を用いてディジタルフィルタであり、通信システムにおいて次のような場合に用いられている。

- ①原サンプリング周波数が高く伝送等のために低い周波数に変換する場合。
- ②原サンプリング周波数より低い周波数において複雑な処理を行う場合。
- ③サンプリング周波数が異なるシステムを接続する場合。

本論文では、まず、従来、定量的に検討されていなかった、適応フィルタを用いた音響エコーキャンセラの所要タップ長設計法に関して、適応アルゴリズムによるエコー経路の推定誤差を解析することによる設計法を明らかにした。

次に、上記マルチレートフィルタの②の機能を実現する帯域分割フィルタと適応フィルタとを組み合わせた帯域分割形エコーキャンセラを音響エコーキャンセラとして提案し、その特性の解析、計算機シミュレーションを用いた解析の検証、試作ハードウェアを用いた実験による特性の

確認を行った。

本論文は10章より構成される。以下に各章毎の概要をまとめる。

第1章においては、本研究の概要、目的について述べた。

第2章においては、第3章以下で用いる適応フィルタおよびマルチレートフィルタの基礎理論および本論文で扱った応用を含む同フィルタの通信への応用例について述べた。

第3章においては、音響系の実測インパルス応答をもとに、適応アルゴリズムとして学習的固定法を用いた場合のエコー経路の推定誤差を理論的に解析し、その結果から所要エコー消去量が得られる音響エコーキャンセラのタップ長の設計法を明らかにした。また、通信用会議室の残響時間により、所要タップ長の設計が可能であること、および室内雑音により所要タップ長が増大することを明らかにした。

第4章においては、音響エコーキャンセラの各種構成法を比較し、帯域分割形音響エコーキャンセラが有望な方式であることを示した。

第5章においては、従来、全く理論的な解析が行われていなかった帯域分割形エコーキャンセラに関し、帯域分割数が任意で均等分割の場合に、時間領域において離散時間における補間定理を用いてタップ係数の収束値を解析した。帯域分割フィルタが理想フィルタのタップ係数を有限個で打ち切った場合において、擬似エコー作成用固定フィルタの所要タップ長が音響エコー経路および帯域分割フィルタの応答長をそれぞれ M , N , 帯域分割数を b として $((M-1)+(N-1))/b+1$ であること、エコー経路に直列に必要な遅延量が $(N-1)/2$ であることを明らかにし、音響エコー経路応答・帯域分割フィルタの応答が与えられた場合のタップ係数収束値を理論的に求めた。

第6章においては、帯域分割形エコーキャンセラに関し、帯域分割数が任意で均等分割の場合、周波数(z)領域においてタップ係数伝達関数を解析し、解が第5章の時間領域の解析より容易に得られることを明らかにした。また、得られた解が $(M-1)/b$ および $(N-1)/b$ が整数である場合、第5章において時間領域で求めた解に一致することを示し、周波数(z)領域の解が時間領域の解より一般的な解を与えていることを明らかにした。さらに、音響エコー経路のインパルス応答に対し、タップ係数伝達関数の数値例を示し、その特性の分析結果から、音響エコー経路のように応答長が非常に長い場合には、各帯域のエコーキャンセラの所要タップ長は、ほぼ M/b となることを明らかにし、全帯域形のエコーキャンセラに比べて所要演算量をほぼ $1/b$ に削減可能であることを示した。

第7章においては、帯域分割形エコーキャンセラに関し、帯域2分割の場合において、リサン

ブル領域での最小二乗解の表示式を求め、正規方程式を解くことにより得られた所要タップ長が5章および6章で得られたものと一致することを示した。また、その解析手法が帯域 b 分割の場合に容易に拡張可能であることを示した。さらに、リサンプルによる帯域分割フィルタのエリアジング雑音に起因するエコー消去量の劣化に関する理論式を求め、計算機シミュレーション結果と良く一致することを示した。それに加えて、第6章と同様に、タップ係数収束値の分析結果から、音響エコー経路のように応答長が非常に長い場合には、各帯域のエコーキャンセラの所要タップ長は、ほぼ M/b となることを明らかにした。また、この解析手法が任意の帯域分割フィルタに関して実行可能なことを示し、エコー消去量に着目した帯域分割形エコーキャンセラに関する設計法が確立されたことを明らかにした。

第8章においては、クロスタームを付加した帯域分割形エコーキャンセラに関し、ツリー状の帯域分割構造を新たに提案し、第6章の解析手法を周波数(z)領域においてクロスターム消去用適応フィルタの係数伝達関数行列を求めるために適用することにより、行列要素の対称性から適応動作を行わせるタップ数を直接分割形の帯域分割フィルタを用いる場合に比べて減少可能なことを明らかにした。

第9章においては、解析および計算機シミュレーション結果をもとに、国内網の最大往復伝搬遅延60ms、および残響時間400msの中程度の大きさを持った会議室を使用する場合における要求使用を満たす帯域分割形エコーキャンセラのハードウェア構成を明らかにし、試作装置により基本特性の確認を行った。その結果、白色雑音および疑似音声信号入力時のエコー消去量として34dB、音響エコー経路のエコー損失を併せて40dB以上の全エコー経路損失が得られ、実音声信号入力時にも音声信号レベルの大なる領域で同等のエコー消去量が得られることから、所望の特性が得られることを明らかにした。また、ハーモニックプロセッサと合わせたハウリング抑圧特性の実験から、ハウリングマージンの改善量42dBが得られ、スピーカの音量をかなり大きくしてもハウリングの発生を阻止できることから、快適な通話環境が提供可能であることを明らかにした。

第10章においては、本論文に述べた内容を総括し、本研究の成果を要約した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 永 井 信 夫

副 査 教 授 小 川 吉 彦

副 査 教 授 伊 藤 精 彦

副 査 教 授 栃 内 香 次

通信会議システムの高度化には、画像信号のみならず、音声信号の高品質化が不可欠である。マイク・スピーカを用いた音声通信会議およびテレビ会議等では、両者の音響結合により発生するエコーによる通信品質の劣化が問題となっており、近年、エコーキャンセラを用いた高品質化の検討が進められている。

本論文では、音響エコーキャンセラの設計に資することを目的として、(1)適応フィルタを用いた音響エコーキャンセラの所要タップ長設計法、(2)マルチレートフィルタと適応フィルタとを組み合わせた帯域分割形エコーキャンセラの新規提案、解析、計算機シミュレーション、および試作ハードウェアを用いた解析の検証を行ったものである。本論文は10章より構成されており、各章の概略は次の通りである。

第1章では、本研究の背景、目的、概要について述べている。

第2章では、適応フィルタおよびマルチレートフィルタの基礎理論および本論文で扱った応用を含む同フィルタの通信への応用例について述べている。

第3章では、音響系の実測インパルス応答をもとに、適応フィルタによるエコー経路の推定誤差を理論的に解析し、所要エコー消去量が得られる音響エコーキャンセラのタップ長の設計法を明かにしている。この設計法を通信用会議室の残響時間に適用可能なこと、および室内雑音により所要タップ長が増大することを明かにしている。

第4章では、音響エコーキャンセラの各種構成法を比較し、帯域分割形音響エコーキャンセラが有望な方式であることを示している。

第5章では、帯域分割数が任意で均等分割の帯域分割形エコーキャンセラに関し、時間領域の離散時間における補間定理を用いてタップ係数の収束値を解析しており、エコー経路、分割フィルタの応答長をそれぞれ M 、 N 、帯域分割数を b とした時、所要タップ長は $((M-1)+(N-1))/b+1$ 、エコー経路に直列に必要な遅延量は $(N-1)/2$ であることを明かにしている。

第6章では、帯域分割形エコーキャンセラの周波数領域におけるタップ係数伝達関数を解析し、

$(M-1)/b$ および $(N-1)/b$ が整数である場合、第5章の解に一致し、一般に解は第5章の解析より容易に得られることを示している。また、その結果を音響エコー消去の問題に適用し、各帯域の所要タップ長がほぼ M/b となること、演算量を全帯域形に比べてほぼ $1/b$ に削減可能であることを明かにしている。

第7章では、帯域2分割の帯域分割形エコーキャンセラに関し、リサンプル領域において正規方程式を解き、所要タップ長が5章および6章のものと一致することを明かにし、帯域 b 分割の場合にも容易に拡張可能なことを示している。また、リサンプルによる帯域分割フィルタのエリアジング雑音に起因するエコー消去量の劣化に関する理論式を求め、計算機シミュレーション結果と良く一致することを示してゐる。以上をまとめて、エコー消去量に着目した帯域分割形エコーキャンセラ設計法を確立している。

第8章では、クロスタームを付加した帯域分割形エコーキャンセラに関し、ツリー状の帯域分割構造を新たに提案し、適応動作を行わせるタップ数を、直接分割形の帯域分割フィルタを用いるのに比べて少なくすることが可能なことを明かにしている。

第9章では、国内網の最大往復伝搬遅延60ms、および残響時間400msである中規模会議室用の要求仕様を満たす帯域分割形エコーキャンセラのハードウェアの試作、実験により、エコー消去量として34dB、音響エコー経路の損失を合わせた全エコー経路損失として40dB以上を得ている。また、ハーモニックプロセッサと組合わせたハウリング抑圧特性の実験結果から、ハウリングマージンの改善量42dBが得られ、快適な通話環境を提供できることを明かにしている。

第10章では、本論文で述べた内容を総括し、本研究の成果を要約している。

以上を要するに、本論文は、音響エコーキャンセラの所要タップ長設計法およびマルチレートフィルタと適応フィルタとの複合系である帯域分割形エコーキャンセラの設計法を与えたものであり、音声・音響ディジタル信号処理および電子工学に寄与するところが大きい。

よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。