

## 通信会議における遠方音声収録のための残響抑圧方式の研究

古家, 賢一

<https://doi.org/10.15017/459055>

---

出版情報 : Kyushu University, 2005, 博士 (芸術工学), 論文博士  
バージョン :  
権利関係 :

## 第7章

### 結論

本論文では、ハンズフリー拡声通話の利用形態の多様化に起因して生じた問題を解決するため、家庭でも安く簡単に現在の電話機に代わる端末をテレビなどの上に設置するだけで、マイクロホンから話者までの距離が離れている場合でも、部屋の残響を十分に抑圧して音声を收音し、快適なハンズフリー拡声通話を提供できる残響抑圧技術の実現を目的とした。さらに、家庭など世の中に広く普及させるためには安価なパソコンやDSPなどに残響抑圧の処理プログラムを載せる必要があるが、そのためにアルゴリズムの高速化と演算精度の検討をおこなった。まとめると、快適なハンズフリー拡声通話を提供できる残響抑圧技術の実現を目的として、その実現に必要な以下の検討を行い、本論文の成果とした。

- (i) 第3章、第4章において、残響特性の事前測定が不要な残響抑圧手法の確立
- (ii) 第5章において、一般的なパソコンでリアルタイム残響抑圧処理可能な高速化アルゴリズムの確立
- (iii) 第6章において、固定小数点DSPなど様々なハードウェアに搭載したときの演算誤差の推定手法の確立

第1章では、研究の背景、従来技術とその課題、本研究の考え方を述べた。

第2章では、残響抑圧に必要な基本的な知識および従来の残響抑圧技術としてMINT法、遅延和アレー法について概説した。

第3章では、伝達関数が非最小位相である場合においてもフィルタ次数を決定でき残響除去がおこなえる入力相関行列の最小固有値を用いた二入力残響抑圧法を提案し、低次の非最小位相伝達系の場合には波形回復できることを確かめた。二入力残響除去法において、部屋の伝達関数の大きい次数に対応した大規模行列の計算を避けるため、帯域分割処理を用いることを検討した。信号を帯域分割し、間引き処理をおこなうことにより、伝達関数の各帯域あたりの次数を減らし計算すべき行列のサイズを小さくした。部屋のインパルス応答を用いたシミュレーション実験により、伝達関数が数千次の場合においても本手法によって残響成分が抑えられる可能性を示した。

第4章では、第3章で提案した二入力残響抑圧法において、最小固有ベクトルを用いているので雑音や計算誤差に弱い問題点を避けるため、入力相関行列の最小固有ベクトルを用いてインパルス応答を推定し逆フィルタを計算するのではなく、直接、入力相関行列から方程式を立て、逆フィルタを計算するSemi-blind残響抑圧手法を提案した。また、提案手法により固有ベクトル計算が不要となり、二入力残響抑圧法で最小固有ベクトル計算のために帯域分割が必要であった問題点を避けることができた。さらに、音源が有色信号である音声のため性能が低下する点を、提案手法では收音された音に音声の平均スペクトルの逆特性を持つ白色化フィルタを用いることにより改善を図った。実験の結果、提案手法では7dBの残響抑圧効果があり、白色化フィルタが無い場合に比べ4dBの改

善が図れた。また、一般的な遅延和アレイ法による残響抑圧に比べても 4dB の改善効果があった。また、D 値による比較では、処理前残響音が 82%であったのに対し、残響抑圧処理を行うことにより 96%に向上し、音声聞き取りやすくなったと考えられる。

第5章では、Semi-blind 残響抑圧法において、逆フィルタ計算に必要であった数千～萬元の行列の連立方程式の計算を共役勾配法と FFT を組み合わせ、大幅な計算スピードの高速化を行った。例えば残響時間 0.55 に対する残響抑圧処理に必要なチャンネル数  $N = 4$ 、逆フィルタ長  $L = 2^{11} = 2048$ 、したがって、行列サイズ  $NL = 8192$  の場合、提案手法は、従来の共役勾配法に比較し 40 倍、ガウス消去法に比べ 133 倍の高速化が図れた。この逆フィルタ計算の高速化を組み込むことにより、パーソナルコンピュータ上でリアルタイム動作する残響抑圧処理システムを実現した。実際の室内インパルス応答を用いた実験を行い、提案の高速化手法は残響抑圧効果を劣化させることなく、大幅な高速化が可能であることを確認した。

第6章では、実数データに対する FHT (高速ハートレー変換) 及び  $N/2$  点 FFT を用いた  $N$  点 FFT の計算方法における演算レジスタ長と計算精度の関係を明かにするため、計算誤差の統計的扱いによる理論解析をおこない理論式を導き、それを実験により検証した。計算誤差の理論値と測定値は、固定小数点演算を用いた FHT の場合にはよく一致した。浮動小数点演算を用いた FHT の場合には、その定性的な傾向は一致した。また、FHT を用いて DFT を計算する方法と従来の  $N/2$  点 FFT を用いた方法との計算精度はほぼ同じであることがわかった。

例えば、5章で述べたパソコンによるリアルタイム残響抑圧システムは、仮数部 24bit 浮動小数点で実現されているが、これと同程度の計算精度を得るた

めには、FFT データ数  $N = 2^{16}$  のとき固定小数点演算に必要なレジスタ長は、式 (6.50) から計算すると、 $b \approx 28$  となる。したがって、固定小数点演算に必要なレジスタ長は  $b + 1 = 29\text{bit}$  となる。以上のように、残響抑圧処理に必要な固定小数点演算のレジスタ長を見積もることが可能となった。

今後、この技術をハンズフリー拡声システムに組み込んでいくためには、第1章で述べたハンズフリー拡声システムの課題である雑音抑圧技術、音響エコー抑圧技術との組み合わせが不可欠である。これには、雑音抑圧技術、音響エコー抑圧技術との組み合わせによる悪影響が無いかを検討することも重要である。また、家庭からオフィスまで様々な環境で使われるハンズフリー拡声システムにおいては、使用環境に対するロバスト性の検討も重要である。さらに、最終的に組み上げたハンズフリー拡声システムにおいて、雑音、音響エコー、残響を抑圧して、どの程度音声品質が向上し快適に通信できるようになったかを評価する主観評価実験も必要である。このように快適なハンズフリー拡声システムの実現には、まだ、数多くの音声・音響信号処理に関する課題が残されている。本研究において着目した入力相関行列の性質に基づくアプローチ、及び本研究の成果である残響抑圧技術のアイデアが、これらの課題解決の足掛かりとなれば幸いである。