

研究概要報告書

(1/4)

研究題目	音響エコーキャンセラにおける拡声通話系の非線形性の影響	報告書作成者	野村康雄
研究従事者	野村 康雄, 梶川 嘉延		
研究目的	<p>テレビ会議システムやハンズフリーフォンで利用される拡声通話系では音響エコーを抑圧するために音響エコーキャンセラが装備されているが、実システムに音響エコーキャンセラを適用した場合、そのエコー抑圧量が計算機シミュレーションにおけるエコー抑圧量よりも低下することが経験的に知られている。しかし、その要因に関しては現在不明な点が多く、解決されていない。そこで、我々はその原因として、拡声通話系の非線形性に着目した。実際のスピーカは非線形システムであるが、音響エコーキャンセラでは線形システムであると仮定して議論を行っている。そこで、スピーカの非線形性がどの程度エコー抑圧量に影響するかを検討し、その対策法を提案することが本研究の目的である。ここで、スピーカの非線形性がエコー抑圧量低下の原因であることが判明すれば、その対策も立てやすくなる。例えば、拡声通話系への入力(送話者音声)をスピーカの非線形性が顕著にならないように適応的に利得調整するのも一つの対策である。しかし、その場合、送話者音声の音量が増減し、明瞭度が低下する恐れがある。そこで、我々はスピーカによって発生する非線形歪みも抑圧する新たなエコーキャンセラシステムを提案する。これにより、拡声通話系への入力の振幅によらず、良好な音響エコーの抑圧が達成されるものと思われる。</p> <p>また、音響エコーキャンセラでは音響エコーを打ち消すために用いられる適応フィルタの適応アルゴリズムでは有色製信号にロバストなアフィン射影アルゴリズムが頻繁に用いられている。これは音響エコーキャンセラが主にテレビ会議システムやハンズフリーフォンに用いられるため、その扱う信号が主に音声であることに起因する。音声は低次のAR(自己回帰モデル)過程で近似できることが知られているため、AR過程の信号に対して特に優れた特性を発揮することができるアフィン射影アルゴリズムがその適応アルゴリズムとして有効であると考えられたためである。しかしながら、アフィン射影アルゴリズムは対象としているAR過程の次数が高くなればなるほど、アルゴリズム中のパラメータである射影次数を高く設定する必要がある。そして、高い射影次数は膨大な演算量を要求することになる。しかし、それほどの演算量を費やすことが音響エコーキャンセラに果たして必要であるか否かは、これまで詳細に検討してきた例はない。実際、実験的経験からも通常のNLMS(学習同定)法を用いた場合でもアフィン射影アルゴリズムと同等、時にはそれ以上のパフォーマンスを発揮することがままある。よって、コストパフォーマンスの観点からもアフィン射影アルゴリズムを音響エコーキャンセラに用いることの是非を徹底的に解明することは重要である。そこで、本研究では音響エコーキャンセラにおけるアフィン射影アルゴリズムの有効性をシミュレーション、実験、ならび理論的観点から検討を行う。</p>		

研究内容	<p>拡声通話系の非線形性がどの程度、音響エコーキャンセラの性能に影響を与えるかを検証するために、拡声通話系の非線形特性をVolterra級数によって同定を行う。その同定方法として、複合正弦波による方法を適用した。この方法により拡声通話系の非線形特性を表すVolterra核が同定する。続いて、このVolterra核を用いて計算機上で、この非線形による影響を検証する。具体的には図1と図2の二つの構成で音響エコーキャンセラを動作させ、そのときのエコー抑圧量を比較検討した。ここで、図1は拡声通話系が完全に線形である場合であり、この場合エコー抑圧量は外乱レベルまで達する。一方、図2は拡声通話系が非線形である場合であり、この際、非線形性の影響が存在すれば、エコー抑圧量は低下するはずである。この数値シミュレーションによって、拡声通話系の非線形性がエコー抑圧量低下の原因であると明らかになれば、その非線形性の影響を取り除くために適応Volterraフィルタにより非線形の音響エコーキャンセラを構成することを検討する。具体的な構成を図3に示す。従来の図2の構成と異なり適応フィルタが適応Volterraフィルタとなり、非線形システムに対応可能となっている。これも、計算機上のシミュレーションによってその効果を検討する。</p> <p>シミュレーションにより良好な結果が得られれば、続いてそのハードウェア実現のために必要となるフィルタ規模の縮小と高速適応アルゴリズムの導出に関する検討を実施する。適応Volterraフィルタは非線形システムに対応できる反面、フィルタ規模が膨大になることと従来の適応アルゴリズムでは収束速度が低下することが知られている。そこで、フィルタ規模の削減を実現するため周波数領域における適応Volterraフィルタを適用することを検討する。</p> <p>上記と平行して、音響エコーキャンセラにおけるアフィン射影アルゴリズムの有効性をシミュレーション、実験、ならび理論的観点から検討を行う。音響エコーキャンセラでは検討すべきパラメータが複数存在するので、アフィン射影アルゴリズム自体の影響を明確にするために順を追って検討する。まず、環境としてシングルトーク、環境変動なしの環境で検討を行う。その際、射影次数を1(学習同定法に等価)、2,4の3種類を用いて、それらの収束特性を推定精度とERLEで比較評価する。着目すべき点は収束の初期段階における推定精度とERLEとの関連である。白色雑音が入力信号の場合、推定精度とERLEは同様の特性を示すが、音声が入力の場合には異なる特性を示す可能性がある。次に、ダブルトーク、環境変動なしの環境で同様の検討を行う。その際も推定精度とERLEの関係性を主に検証する。続いて、ダブルトーク、環境変動ありの環境で同様の検討を行い、最後に実環境における比較検討を実施する。いずれの場合においても着目すべき点は収束の初期段階ならびに環境変動が生じた直後の収束特性である。もし、アフィン射影アルゴリズムが有効であれば、推定精度、ERLEの両面において高速な収束特性が実現されるはずである。しかし、それらが両立されていないならば、アフィン射影アルゴリズムを音響エコーキャンセラに適用することは演算量の観点からも好ましくなく、演算量の少ない学習同定法で十分であることが証明される。</p>
------	---

研究概要報告書

(3/4)

<p>研究のポイント</p>	<p>音響エコーキャンセラにおける非線形性の影響は特に近年爆発的に普及している携帯電話において重要となる。これは、最近の法改正により携帯電話の自動車運転中の利用が規制されたからである。即ち、運転中は携帯電話を手を持って通話することはできない。よって、携帯電話に付随している拡声機能を利用することになる。携帯電話における拡声機能はテレビ会議用のものと異なり、サイズが非常に小さいため非線形歪みが顕著に現れることになる。よって、音響エコーキャンセラにおいて非線形歪みも同時に消去するシステムの構築は非常に重要であることが分かる。</p> <p>また、現在、音響エコーキャンセラでよく用いられているアフィン射影アルゴリズムの有効性の是非を明らかにすることは、システム構築の際に無駄な投資を避ける上で非常に重要なことであるといえる。特に、企業ではこのような非常に意義がありながら地道な研究課題に取り組むことができないことから、われわれの研究は大いに企業の研究者に対しても有益な情報を与えるものになると考えられる。</p>
<p>研究結果</p>	<p>まず、非線形歪みの音響エコーキャンセラへの影響であるが、研究内容で示した手順に従って検討を行った結果、やはり音響系の非線形歪みは音響エコーキャンセラのパフォーマンスに大きく影響を及ぼすことが明らかになった。よって、音響エコーキャンセラは線形成分だけでなく、非線形成分も同時に扱うことができるハイブリッドシステムにする必要があることが明らかになった。試みとして適応 Volterra フィルタを用いて非線形音響エコーキャンセラを構成したところ、図 4 のような結果となり、非線形性を考慮することの有効性が示された。</p> <p>さらに、アフィン射影アルゴリズムにおける検討においては射影次数を上げればあげるほど推定精度の面では収束速度が向上することが分かったが、ERLE の面ではこの関係は成立せず、むしろ、射影次数が低い(学習同定法)の方が特に収束の初期段階や未知系の変動が発生した際に収束が早いことが実証された。そして、実環境における実験結果からは高次の射影次数は収束速度ならびに演算量の面からも何らメリットがないことが実証され、コストパフォーマンスの観点から環境変動の激しい環境で利用される音響エコーキャンセラには学習同定法が最も有効であることが示された。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>今回の研究により、音響エコーキャンセラにおける非線形性の影響はかなり大きなものであることがわかった。今回の実験ではハンズフリーフォンを利用しての実験であったが、研究のポイントでも述べたとおり、非線形性の影響は携帯電話において最も顕著に表れることは今回の研究からも明らかである。また、音響エコーキャンセラは音声のような有色信号を扱うことから有色信号にロバストなアフィン射影アルゴリズムがこれまで数多く利用されてきたが、今回の研究より環境変動の激しい環境(例えば、動きの激しいオフィスや自動車内での利用)では、むしろ学習同定法のほうが有利であることが実証された。</p> <p>以上のことから、今後はまず、携帯電話の拡声系における非線形性の影響を明らかにし、その非線形性をも考慮した非線形音響エコーキャンセラを構築することを試みる。また、音響エコーキャンセラでは学習同定法が有効であることが分かったので、このアルゴリズムの性質を変えることなく収束速度を向上できるアルゴリズムの開発に取り組みたい。</p>

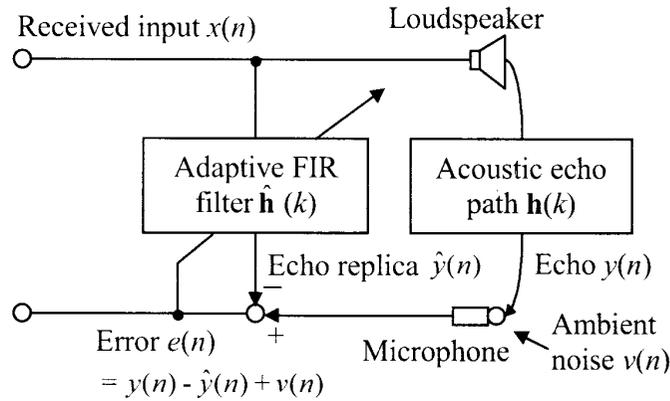


図1 拡声通話系が線形の場合の音響エコーキャンセラの構成図

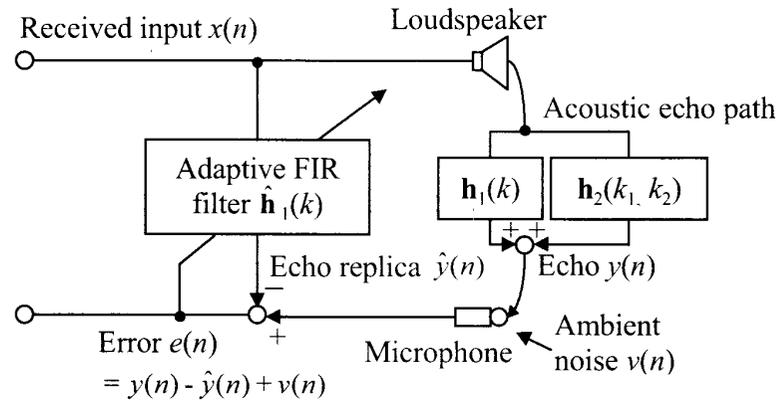


図2 拡声通話系が非線形性の場合の音響エコーキャンセラの構成図

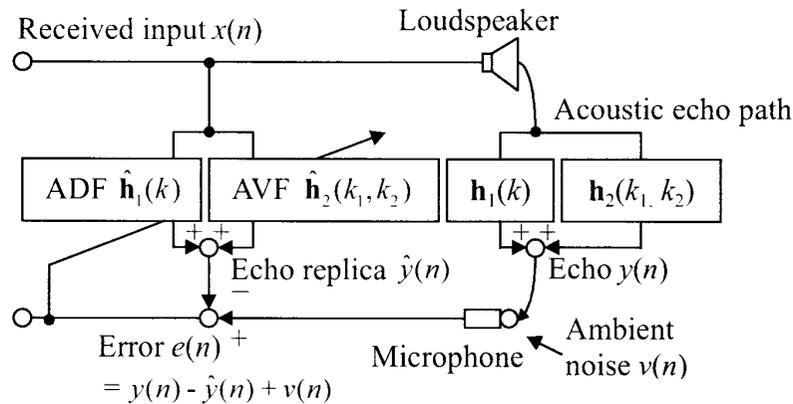


図3 適応 Volterra フィルタを適用した音響エコーキャンセラの構成図

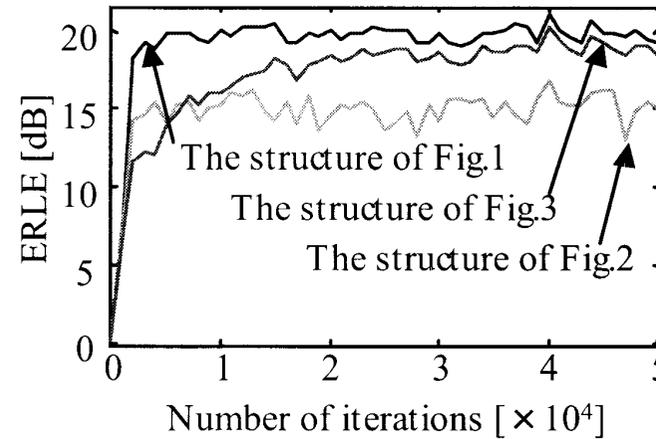


図4 収束特性の比較