

	む	とう	けん	じ	
氏名（本籍）	武	藤	憲	司	（東京 都）
学位の種類	博	士	（情報科学）		
学位記番号	情博	第114号			
学位授与年月日	平成11年3月25日				
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当				
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科（博士課程）システム情報科学専攻				
学位論文題目	ファジィ制御を用いた適応アルゴリズムの高速化に関する研究				
論文審査委員	（主 査）				
	東北大学教授	曾根	敏夫	東北大学教授	牧野 正三
	東北大学教授	阿部	健一	東北大学助教授	鈴木 陽一
		（工学研究科）			

## 論 文 内 容 要 旨

### 第1章 序 論

遠隔会議システムを用いて会議を行う場合には、スピーカとマイクロホンを含む拡声通話系により通話が行われているため、音響エコーが生じ、通話品質が劣化するという問題が生じる。このような音響エコーを抑制し、通話品質の劣化を防ぐための装置として、音響エコーキャンセラがある。音響エコー経路のインパルス応答は、会議中の話者の交代によるマイクロホンの移動、ドアの開閉、人の出入などによって、しばしば変化する。音響エコーキャンセラが所期の特性を発揮するためには、音響エコーの特性が環境の影響を受けて大きく変化しても、それに追従して、音響エコー経路のインパルス応答を常に正確に推定する必要がある。音響エコーの変化に追従するためには、変化する前に求めたインパルス応答を、変化により生じた誤差が最小になるように、逐次修正するという適応アルゴリズムの考え方が通常用いられている。したがって、音響エコーのインパルス応答の特性の変化を検出し、すばやくインパルス応答を推定することは、通話品質を改善し、ハウリングを防止できるなどの大きな利点をもたらすため、それを実現する適応アルゴリズムの開発が強く望まれる。本研究は、高性能音響エコーキャンセラの構築に重要な適応アルゴリズムに関する基礎的な研究として、インパルス応答の特性が変化する場合においても高速に適応を行うことが可能なアルゴリズムの開発を目的として行った。

第1章では、より優れた推定性能を持つ適応アルゴリズムの必要性を述べ、過去の適応アルゴリズムの高速化に関する研究を概観した。また、ファジィ制御を導入することの有効性に触れ、過去のファジィ制御に関する研究を概観した。

### 第2章 適応アルゴリズムに関する従来の研究

従来の収束特性の優れた適応アルゴリズムは、LMS アルゴリズムおよび学習同定法のステップゲインを逐次修正するものであることから、第2章では、可変ステップゲインを有するさまざまなアルゴリズムを取り上げ、ステップゲインの修正方法を検討した。推定状況を検出するパラメータとして、従来は、次の4種類のいずれかが用いられていることが分かった。それらは、(1) フィルタ係数ベクトルが同符号である頻度、(2) 二乗誤差、(3) 入力信号と誤差信号の相関、(4) 二乗誤差変化量 である。しかし、フィルタ係数ベクトルの符号に着目する

方法は、適応フィルタのタップ数の増加により演算量が増加し、また、入力信号と誤差信号の相関には、音響エコー経路のインパルス応答のように、応答のピークが波形の初期に無いような特性では、インパルス応答特性の変化を検出できないという欠点がある。

以上の考察から、ステップゲイン修正量が可変であり、二乗誤差と二乗誤差変化量の2つのパラメータを用いてステップゲイン修正量を決定する手法の収束性能が優れていることが予想された。また、曖昧さを含んだままステップゲイン修正法を構築でき、さらに、システムが異なっても、ステップゲイン修正法はそのまま、ファジィ集合を変えることで対応できるという理由により、ファジィ制御を用いる方法が有効であると考えられることを示した。

### 第3章 ファジィ制御を用いた適応アルゴリズム

第3章では、第2章までの検討を基に、二乗誤差と二乗誤差変化量を、推定状況を判断するためのパラメータとし、ファジィ制御を用いてステップゲインの修正を行う適応アルゴリズムについて検討した。

予備的検討として、ある小会議室内で、スピーカやマイクロホンの位置、人の立つ位置、ドアやカーテンの開閉など、周囲の環境を変えてインパルス応答を測定し、インパルス応答の特性の変化を調べた。その結果、スピーカとマイクロホンの位置の変化によるインパルス応答の特性の変化が極めて大きく、また、スピーカやマイクロホンの周囲の環境の変化に対しては、スピーカやマイクロホンからの距離に応じてインパルス応答の特性が変化することが確認された。また、二乗誤差をファジィ学習同定法のステップゲインの修正に利用する具体的な方法について検討し、誤差信号を二乗した値を、ある長さの区間で加算平均して用いることを提案した。さらに、ステップゲインの修正頻度と、それによって生じる推定誤差の影響について検討した。その結果、ステップゲインの修正頻度は、逐次でなく、ある程度の間隔ごとの修正でも、推定誤差に大きな差がないことが分かった。

これらの検討を基に、二乗誤差と二乗誤差変化量からステップゲイン修正量をファジィ推論するファジィ学習同定法を提案した。計算機シミュレーションの結果、二乗誤差と二乗誤差変化量によってインパルス応答の特性の変化を検出することができ、インパルス応答の特性の変化後も、速い収束速度でインパルス応答を推定できることが確認された。また、従来のファジィ学習同定法に比べ、インパルス応答の特性が変化した場合に、提案法の方が、速い収束速度でインパルス応答を推定できることが確認された。更に、この手法は、従来の手法に比べ、ファジィ制御規則数が少なくすむという特長も有する。

次に、先に提案したファジィ学習同定法の考え方をLMSアルゴリズムに適用した、ファジィLMSアルゴリズムを提案した。計算機シミュレーションの結果、学習同定法と同程度の収束特性であることが確認された。さらに、提案したファジィ学習同定法のステップゲイン修正法を2次の射影法に適用した、ファジィ射影法を提案した。計算機シミュレーションの結果、入力信号が白色雑音の場合、ファジィ学習同定法と同じ程度の収束特性が得られた。更に、入力信号が有色雑音の場合には、ファジィ射影法は、ファジィ学習同定法に比べて、はるかに優れた特性を示すと共に、ステップゲインを固定値とする従来の射影法に比べても良い適応性能を示した。

学習同定法、LMSアルゴリズム、射影法とステップゲインの修正によるインパルス応答の推定の高速化について、計算機シミュレーションを通してその有効性を確認してきたが、これらの検討を通じて、ファジィ適応アルゴリズムでは、ファジィ集合の設定が重要であることが判明した。提案法では、ステップゲイン修正量をファジィ推論し、それをを用いてステップゲインを修正しているため、インパルス応答の特性に変化が生じた場合に、ステップゲインの増加にかかる時間が、ステップゲイン修正量のファジィ集合に依存してしまう問題点があることが明らかになった。更に、この手法のファジィ集合は、対象とするシステムごとに、構築者が試行錯誤で設定しなければならないという問題点があることが明らかになった。そのため、適切なファジィ集合を自動的に構築する手法の確立は、ファジィ適応アルゴリズムにとって重要な検討課題であり、次章で検討を行うこととした。

### 第4章 ファジィ学習同定法のファジィ集合の自動構築法

第4章では、第3章で明らかとなった問題点であるステップゲイン修正法について検討を行い、二乗誤差  $e(t)$  と二乗誤差変化量  $\Delta e(t)$  を用い、ステップゲイン修正量  $\Delta \alpha(t)$  のみならず、ステップゲイン  $\alpha(t+1)$  も直接ファジィ推論する手法を提案した。表1は、提案する手法で用いるファジィ制御規則を示すものである。表2は、表

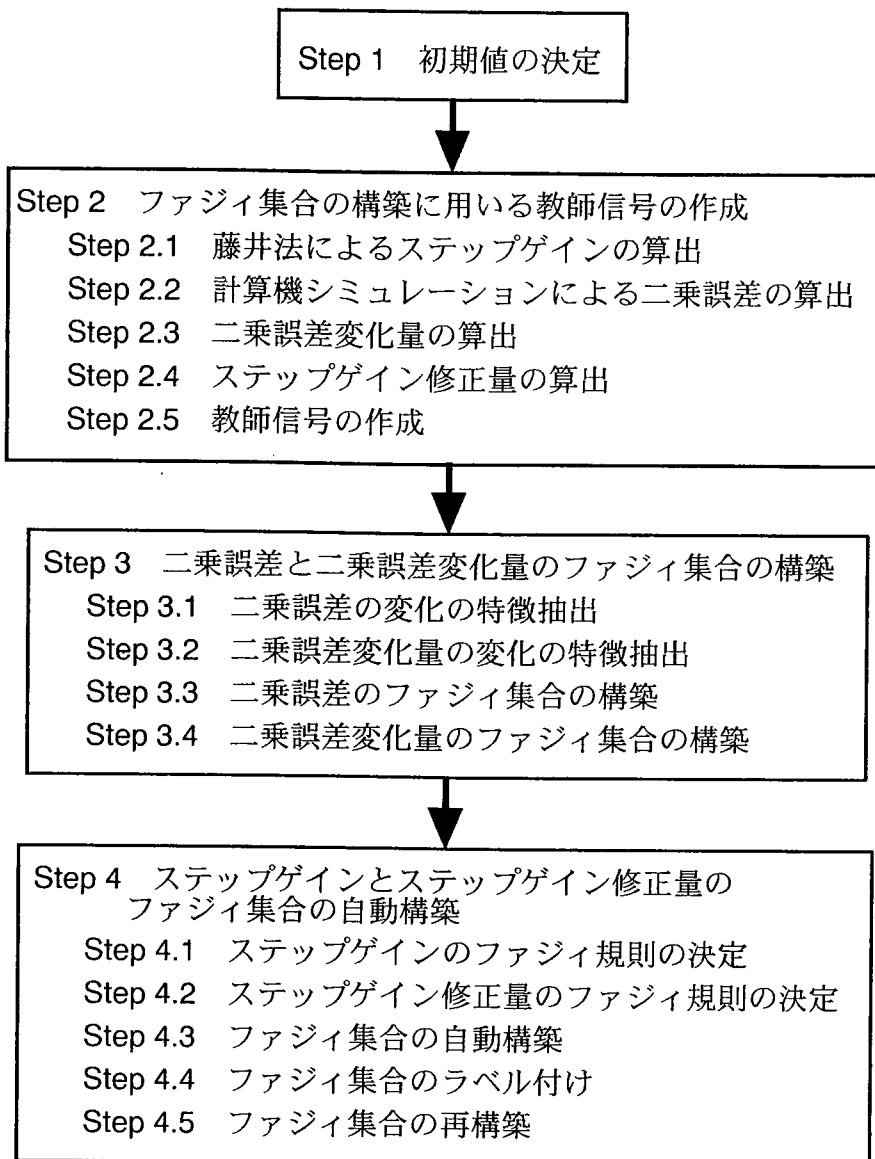


図 1 ファジィ学習同定法のファジィ集合の構築法

表 1  $e(t)$  と  $\Delta e(t)$  から  $\Delta\alpha(t)$  と  $\alpha(t+1)$  を推定する  
ファジィ制御規則

		$e(t)$			
		$S_1$	$M_1$	$L_1$	
$\Delta e(t)$	$PL_2$		$M_4$	$A1_4$	$\leftarrow \alpha(t+1)$
	$PS_2$	$VS_3$	$VS_3$	$A1_3$	$\leftarrow \Delta\alpha(t)$
	$AZ_2$	$VS_3$	$S_3$	$A1_3$	
	$NS_2$	$VS_3$	$A1_3$	$A1_3$	

表 2 ファジィ集合のラベルの説明

$L_i$	大きな値	$PL_i$	正で大きな値
$M_i$	中くらいの値	$NL_i$	負で大きな値
$S_i$	小さな値	$AZ_i$	およそ 0 の値
$VS_i$	とても小さな値	$A1_i$	およそ 1 の値

1 で用いたファジィ集合のラベルの説明である。さらに、もう一つの問題点であるファジィ学習同定法の構築の自動化を図るため、ファジィ学習同定法のファジィ集合を、自動的に構築する手法を提案した。この自動構築法は、藤井らによって提案された手法を用いてファジィ制御の入出力の関係データを作成し、これを教師信号として用いた逐次ファジィモデリングにより、ファジィ集合の構築の自動化を図るものである。図 1 は、提案するファジィ集合の構築法の手順を示す。

さらに、計算機シミュレーションによって、提案法と、藤井法を用いた場合の比較を行った。図 2 は、提案法と藤井法の推定誤差の変化を示すものである。これより、推定初期は収束速度が同じであり、どちらもすばやく推定誤差  $\delta(t)$  が小さくなっていることが分かる。しかし、インパルス応答の特性が変化した  $t=10000$  以降においては、提案法の収束速度の方がはるかに速いことが分かる。図 3 は、提案法と藤井法のステップゲインの変化を示すものである。これより、推定初期においては、どちらの手法もステップゲインが減少しているものの、インパルス応答の特性が変化した  $t=10000$  以降においては、提案法のステップゲインがすばやく増加し、その後、減少していることが分かる。これに対し、藤井法では、 $t=10000$  以降において、ステップゲインは増加せず、小さい値のまま減少し続けている結果になっている。さらに、提案法では、第 3 章で提案したファジィ学習同定法に比べても、一層の高速化が実現できることが示された。以上のことは、本章で提案した新しいファジィ規則と、ファジィ集合の自動構築法が有効であることを示すものである。

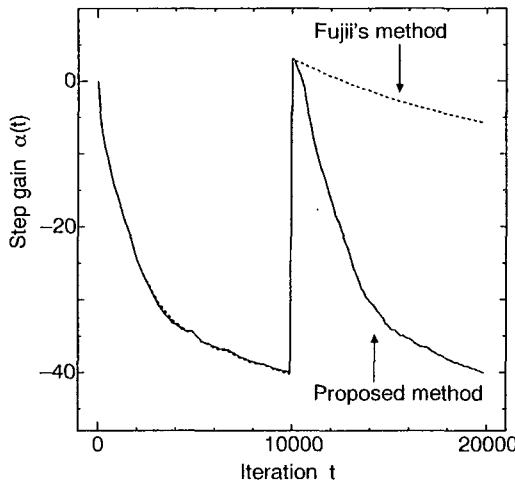


図 2 推定誤差  $\delta(t)$  の変化

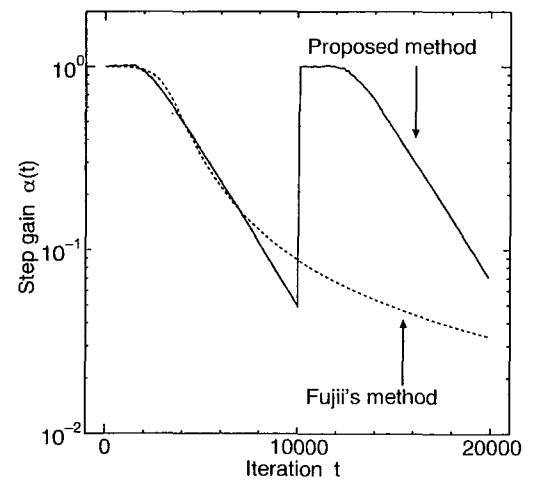


図 3 ステップゲイン  $\alpha(t)$  の変化

## 第 5 章 結論

本章は、本論文の内容を結論の形に要約したものである。

## 論文審査の結果の要旨

適応フィルタは、エコーキャンセラ、能動騒音制御など、様々な応用分野をもつ重要な信号処理技術である。ハンドフリー通話の需要が増大しつつある音響通信系においても、適応フィルタ技術に基づく音響エコーキャンセラは、高品位な通話実現のために必須なものとして、重要な役割を果たしている。特に、遠隔会議システムなどの応用においては、人の出入りや話者の移動、ドアやカーテンの開閉などによる音響伝達系の特性の変化に追従できる高速な適応アルゴリズムの開発が強く望まれている。著者は、このような問題に対し、ファジィ制御を導入することによって、適応アルゴリズムの高速化を図る立場から、研究を行ってきた。本論文は、その成果を取りまとめたもので、全編5章からなる。

第1章は序論であり、研究の背景を述べた後、本研究の目的達成のためには、学習同定法など、ステップゲインを用いる適応アルゴリズムに、ファジィ制御を導入することが有望であることを述べている。

第2章では、ステップゲインを用いる主要な適応アルゴリズムを検討し、高速化のためには、ステップゲインを逐次修正する方法が優れていること、更に、その修正量を決定するためには、二乗誤差とその変化量をファジィ推定の入力として用いることが効果的であると考えられることを述べている。

第3章では、ステップゲインを用いる適応アルゴリズムにファジィ制御を導入するための具体的検討を行い、二乗誤差と二乗誤差変化量からステップゲイン修正量をファジィ推論するファジィ学習同定法を提案している。更に、実際の室内のインパルス応答推定の計算機シミュレーションを行い、インパルス応答の変化に対し、従来の方法に比べて5倍以上の高速な適応が可能であることを示している。更に、この考えをLMS (least-mean-square) 法と射影法に適用したファジィLMS法とファジィ射影法を考案し、いずれも系の変化に対して優れた適応特性を有することを明らかにしている。これは、伝達系の変化に高速に適応可能な適応アルゴリズムの提案として、高く評価できる。

前章での提案手法では、ファジィ推論のためのファジィ集合を、試行錯誤によって決定していたが、第4章では、逐次型ファジィモデリングを行うことにより、ファジィ集合を自動的に構築するための手法を提案している。また、前章で提案した手法の更なる高速化についても検討している。その結果、逐次型ファジィモデリングに基づいて自動構築されたファジィ集合と、新たに最適化したファジィ推論規則を用いることにより、ファジィ学習同定法の適応速度を、更に50%以上向上し得ることを、計算機シミュレーションによって示している。これは、実用上、有用な提案として評価できる。

第5章は、結論である。

以上要するに、本論文は、音響伝達系のインパルス応答の変化に追従できる高速な適応フィルタ構築のため、ステップゲイン修正量をファジィ制御する新しい適応アルゴリズムを考案して、その有効性を示したもので、音響情報工学およびシステム情報科学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は、博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。