

アクティブ・ノイズ・キャンセリング

第7回 収束速度と安定性の両立を目指した「Momentum LMSアルゴリズム」 川村 新



表1 今回扱う適応アルゴリズム「MLMS アルゴリズム」と他との比較

適応アルゴリズム	LMS (前々回)	LLMS (前回)	MLMS (今回)	NLMSタイプ	ブロックNLMSタイプ
演算量	◎	○	△	△	△
ステップ・サイズ設定の容易さ	×	×	△	○	◎
フィルタ係数の過剰増幅防止	×	○	△	○	○
収束速度と安定性の両立	×	×	○	○ (M-NLMS)	◎ (B-M-NLMS)
外れ値に対する耐性	×	×	×	○	◎

◎とても良い, ○良い, △普通, ×あまり良くない

アクティブ・ノイズ・キャンセリング(ANC)技術は消したい音の振動と逆の振動を持つ音(これを逆位相音と呼ぶ)をぶつければ、空気の振動を止めて音を消すことができるというものです。本連載では、連載第5回(2023年12月号)から、表1に示したさまざまな適応アルゴリズム(後述)を使って消音実験を行っています。

● 消音実験のポイント…適応フィルタと適応アルゴリズム

ANCではマイクロホンで観測される音を常に監視し、音量が最も小さくなるように逆位相音の振幅と位相を自動調整します。この自動調整に適応フィルタを使います。適応フィルタとは、出力を目的とする状態(今回は音量が最小)に近づくように、フィルタ係数(フィルタの乗算器の値)を更新していく信号処理機構です。ここで適応的にフィルタ係数を更新する方法、手順を適応アルゴリズムと言います。適応アルゴリズムにはさまざまな種類があり、それぞれ特徴があります(表1)。

● 今回の実験テーマ…収束速度と安定性を両立させる「Momentum LMSアルゴリズム」

ANCでは消音にかかる時間や最終的に落ち着く音の大きさは、原則として適応アルゴリズムに依存しています。前回(第6回, 2024年1月号)は、必要な周波数以外の振幅特性を0にできる、Leaky LMSアルゴリズムを用いて実験を行いました。

今回は慣性の法則を取り入れたMomentum LMSアルゴリズム(表1のMLMS)を実装してANCを実行してみます。MLMSアルゴリズムは、慣性の法則を生かし、通常はトレードオフとなる収束速度と安定性の両立を目指したアルゴリズムです。Momentum LMSアルゴリズムを使った場合を、LMSアルゴリズムやLLMSアルゴリズムを使用した場合と比較して、その特徴を解説します。

● 実験方法

前回同様、図1のように、ノイズ源スピーカと、ノイズ源の逆位相音を出力する消音スピーカを用意します。この2つのスピーカからの音を誤差マイクで観測して音が小さくなっているか確かめます。前回と異なる点は、適応アルゴリズムをMomentum LMSアルゴリズムに変えたことです。

実験原理

● 適応フィルタの仕組み(復習)

適応フィルタの出力 $y(t)$ は、時刻 t を整数とし、参照マイクの信号を $x(t)$ として次式で表されます。

$$y(t) = \sum_{i=0}^{M-1} h_i(t) x(t-i)$$

$h_i(t)$ が i 番目のフィルタ係数を表し、 M はフィルタ係数の数です。出力信号 $y(t)$ は、入力信号の現在と過去の値 $x(t)$, $x(t-1)$, ..., $x(t-M+1)$ の線形結合(重みを付けて加算したもの)です。我々が制御で