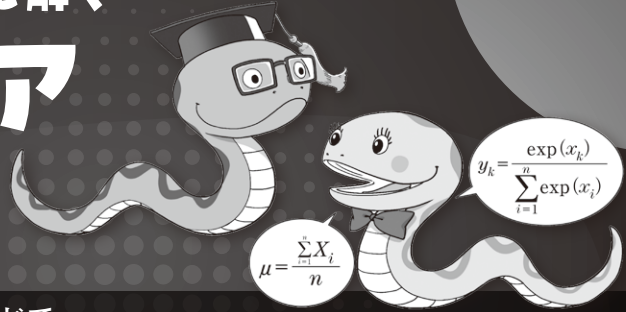


数式とコードと図でひも解く エンジニア 数学



第5回 音の信号処理(5) …状況に応じて自動的にノイズを除去してくれる「適応ノイズ・キャンセリング」

川村 新

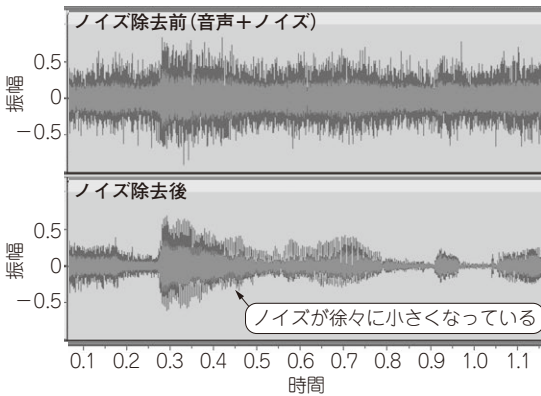


図1 実行結果の波形
上段：ノイズ除去前の信号(マイク2の観測信号)，下段：ノイズ・キャンセリングされた信号(ノイズ除去信号)

本連載では、よく使用される技術や、専門外だとあまりふれない技術の数学を、対応するプログラムとともに解説していきます。

● 適応ノイズ・キャンセリングとは

2つのマイクロホンを用いて、適応的に(状況に応じて自動的に)ノイズを除去する方法です。いずれか一方のマイクロホンにはノイズだけが入力されるように工夫して設置します。そしてもう一方のマイクロホンに入力された音声とノイズの混合信号からノイズだけを除去します(図1)。この方法を適応ノイズ・キャンセリングと呼びます。

● 原理の数式

図2のように、ノイズ源となる信号 $x(n)$ をマイク1から取得します。一方、マイク2では観測ノイズ $d(n)$ と音声 $s(n)$ を取得します。ここで、観測ノイズ $d(n)$ は、 $x(n)$ にマイク1からマイク2までの伝搬特性(反射や減衰)が加えられた信号です。

図2において、ノイズの伝搬特性はもちろん未知です。しかし、伝搬特性をうまくモデル化すれば、 $x(n)$ から観測ノイズ $d(n)$ を適応フィルタにより推定でき

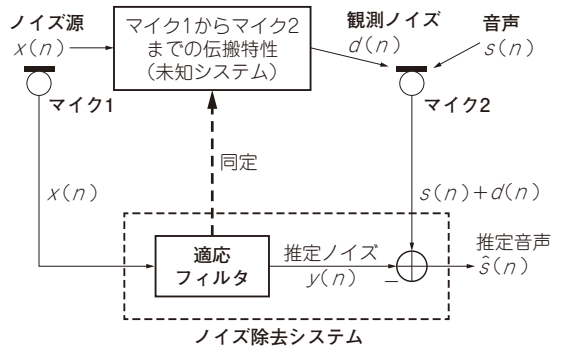


図2 適応ノイズ・キャンセリングの概要

ます。観測ノイズ $d(n)$ が得られれば、マイク2の信号から引き去り、音声だけを取得できます。反射と減衰を考慮し、 $d(n)$ が次式で与えられると仮定します。

$$d(n) = \sum_{m=0}^{M-1} g_m x(n-m) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 g_m は、時刻 m だけ遅延してマイク2に到来したノイズの減衰率を表します。これを未知システムのフィルタ係数と考えます。そして、適応フィルタ出力 $y(n)$ を次式で定義します。

$$y(n) = \sum_{m=0}^{M-1} h_m x(n-m) \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 h_m は適応フィルタのフィルタ係数を表します。式(1)と式(2)から、 $h_m = g_m$ であれば、 $y(n) = d(n)$ となるので、次式により音声を抽出できます。

$$\hat{s}(n) = s(n) + d(n) - y(n) \dots \dots \dots (3)$$

適応フィルタの推定誤差に対応する信号は、 $s(n)$ です。そこで、適応フィルタは、次の評価関数 $J(n)$ の最小化を目的として動作します。ここで、 $E[\cdot]$ は期待値と呼ばれる平均値です。

$$J(n) = E[\hat{s}^2(n)] = E[\{d(n) + s(n) - y(n)\}^2] \dots \dots \dots (4)$$

ノイズと音声とが互いに独立に生じると仮定すれば、 $E[d(n)s(n)] = E[y(n)s(n)] = 0$ なので、評価関数は次のようにも書けます。