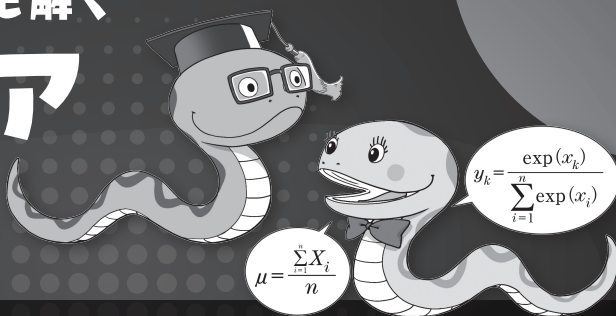


数式とコードと図でひも解く エンジニア 数学



新連載

第1回 音の信号処理(1) …リバーブ・エコー

川村 新

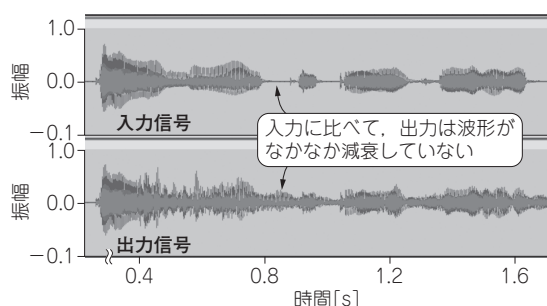


図1 実験結果…入力信号と出力信号(リバーブ・エコーをかけたもの)

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。

まず、今回から5回にわたって音の信号処理の数学を扱います(編集部)。

● リバーブとは? …お風呂場で声にエコーがかかるアレ

今回は、入力信号にエコーをかけるリバーブという処理(図1)とその原理の数式を紹介します。

リバーブのイメージを身近な例で説明します。お風呂やトンネルで発声すると、声が反射してエコーが聞こえることがあると思います。これは、直接耳に届く声と、壁に反射して戻ってきた声が重なって聞こえるためです。その重なって聞こえた音も、再び壁に反射して戻ってくるため、さらに重なり合って聞こえます。その聞こえた音も…という具合に、聞こえた音が減衰して消失するまで重なり合いが続きます。リバーブはこのような音の反射を模擬しています。発声する口がエコー・システムへの入力信号、音を聞く耳がエコー・システムからの出力信号に相当します(図2)。

● 原理の数式

時刻 n におけるエコー・システムへの入力信号を $x(n)$ 、出力信号を $y(n)$ とします。もちろん、 $x(n)$ 、

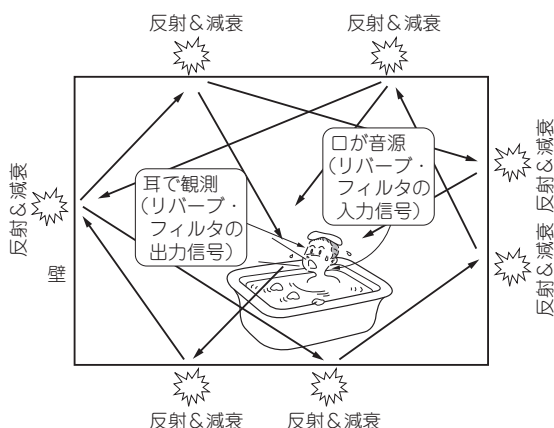


図2 リバーブのエコー・システム

口で発した音が壁で反射、減衰して耳に入る

$y(n)$ はデジタル信号であり、 n は整数です。サンプリング周波数を F_s [Hz] とすると、時刻 n は n/F_s [s] に対応しています。入力信号 $x(n)$ が発声、出力信号 $y(n)$ が聞こえた音に対応します。

音の反射を模擬するために、 $y(n)$ に遅延と減衰を与えて $x(n)$ に加算します。つまり次の式で表せます。

$$y(n) = [\text{今発声した音声 } x(n)] + [\text{遅延・減衰した } y(n)]$$

トンネルを考えると、声が壁に反射して戻ってくるまでの遅延時間、それに対応する音の減衰は多数考えられるので、エコー・システムの入出力関係を一般的に表現すると次のようになります。

$$y(n) = x(n) + \sum_{m=1}^{\infty} a_m y(n-m) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 a_m ($0 \leq a_m < 1$) は、遅延時間 m のときの減衰を表す定数です。なお遅延時間 m は m/F_s [s] に対応します。式(1)を実現するためには、定数 a_m を全て決定する必要があります。しかし、無数の定数 a_m を設定してエコー・システムを構築することは現実的ではありません。

そこで、減衰を表す定数を1つだけ、遅延時間も1つだけという最も簡単なモデルを考えます。このとき