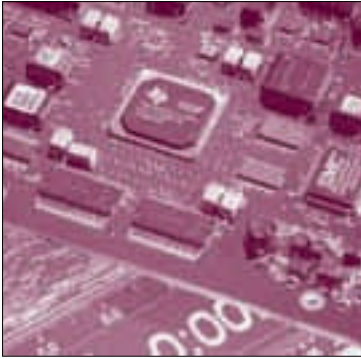


第5章



リング・バッファを活用した 音声信号処理のいろいろ

オーディオ・エフェクタの制作

山口 晶大
Akio Yamaguchi

本章ではDSKで動くアプリケーション例としてオーディオ・エフェクタを作ってみます。なかなか面白い効果が得られるのですが、プログラムの中身はこれまで説明してきたリング・バッファを応用した簡単なものです。同時にシグナル・フロー・グラフの見方も説明します。

制作するオーディオ・エフェクタは、**ディレイ**、**エコー**、**リバーブ**、**ピッチ・シフト**、**ビブラート**、**フランジャー**です。紹介しているサンプル・プログラムはすべて付録CD-ROMに収録しています。

ディレイ・ラインの制作

● シグナル・フロー

ディレイ（遅延）についてはいまさら説明の必要はないでしょう。一般の電子回路の回路図に相当するシグナル・フロー・グラフを使ってディレイを表現すると図1のようになります。**シグナル・フロー・グラフはデジタル信号処理の処理の流れを示すのによく使わ**

れるものです。

図1のシグナル・フロー・グラフの中央の z^{-N} という記号がついている枝は、 N サンプルの遅延、つまりディレイ・ラインを表しています。例えば100サンプル遅延のときには $N=100$ ですから z^{-100} と表記します。

● ディレイ入出力の関係を式で表す

式を使ってディレイの入出力の関係を表すと次のようになります。

$$y[n] = x[n - N]$$

ただし、 x ：入力信号、 y ：出力信号、 N ：ディレイの値

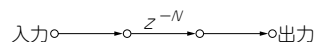
ディレイ・ラインのインパルス・レスポンス h 、つまり、インパルス（単発パルス）が入力されたときの出力は、図2のようになります。 **N サンプルだけ遅れてインパルスが出力されます。**

● サンプル・プログラムについて

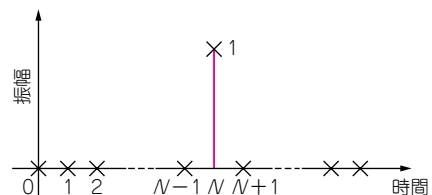
ディレイ・ラインは、ソフトウェアではリング・バッファを使って実現できます。DSKのディレイのサ



〈図1〉ディレイのシグナル・フロー・グラフ(z^{-N} ： N サンプル遅延)



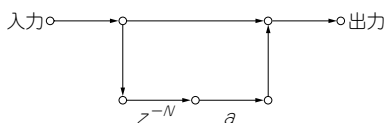
〈図2〉 N サンプル遅延のディレイ・ラインのインパルス・レスポンス



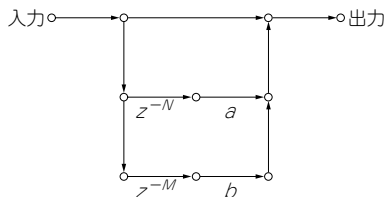
Keywords

オーディオ・エフェクタ、ディレイ、エコー、リバーブ、ピッチ・シフト、ビブラート、フランジャー、シグナル・フロー・グラフ、スルー・プログラム、リング・バッファ、スペクトログラム、声紋分析、声紋表示、インパルス・レスポンス、CoolEdit Pro、CoolEdit2000、Syntrillium社。

〈図3〉 エコーのシグナル・フロー・グラフ
(z^{-N} : N サンプル遅延, a : ゲイン)



〈図5〉 エコー成分が二つあるエコーのシグナル・フロー・グラフ



ンプル・プログラムはすでに第3章(p.160)で紹介した **through1a** になります。リング・バッファ長を変更すれば、メモリ (SDRAM) の容量の許す限り、長大な遅延を実現できます。

エコーの制作

● シグナル・フロー

ディレイのプログラムに少し手を加えるだけでエコーを実現できます。日本語に直せばエコーは「山彦」ですね。エコーをシグナル・フロー・グラフで表すと図3のようになります。この図には遅延を表す z^{-N} の枝後に、ゲインを表す定数 a のついた枝があります。具体的にゲインが0.7だった場合は、 a の代わりに値0.7を図中に記します。図3の処理は入力した信号に遅延を加えてゲインを調整したものと、元の信号を足し合わせているだけです。

● エコー・システムを数式で表現する

図3のエコー・システムの入出力の関係を式で表すと次のようになります。

$$y[n] = x[n] + ax[n - N]$$

ただし、 x : 入力信号, y : 出力信号, a : ゲイン, N : 遅延の値

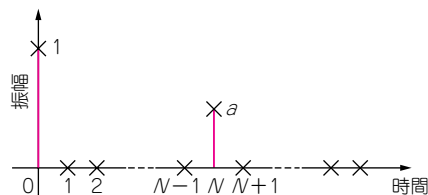
例えばサンプリング周波数8 kHzのときに、エコーの遅延を0.1 s(800サンプル分の遅延)、エコー成分の振幅を入力に対して0.7倍として、具体的にパラメータに値を入れると、入出力関係は次のようになります。

$$y[n] = x[n] + 0.7 \times x[n - 800]$$

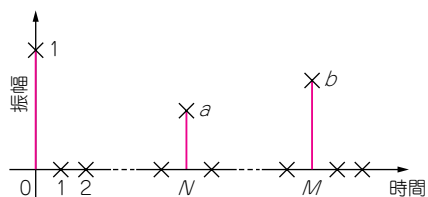
▶ エコー・システムの応答

一方、図3のエコー・システムのインパルス・レスポンスは図4のようになります。入力信号から遅れてエコー成分が出力されていることがよくわかると思い

〈図4〉 エコーにインパルス・レスポンス(単発パルスを入力したときの出力)



〈図6〉 図5のシステムのインパルス・レスポンス



ます。

● 複数のエコー成分でリアリティを出す

図3に示す処理で実際にエコーをかけた音を聞いてみると、いささか自然さが欠けた単調な音色に聞こえます。プログラムを改良してエコー成分を複数付け加えれば、よりリアリティのある音になります。具体的に、エコー成分を二つ加える場合の処理は図5のようになります。

▶ 二つのエコー成分のインパルス応答と数式

図5のシステムのインパルス・レスポンス(図6)を見ると、入力信号に対してエコー成分が二つ加わっていることがわかります。数式で入出力の関係を表すと次のようになります。

$$y[n] = x[n] + ax[n - N] + bx[n - M]$$

さらに図5を改良して、エコー成分を三つ以上に増やすこともできます。

● エコー・プログラム echo1 について

DSK用のエコー・プログラムは **echo1** になります。このプログラムは第3章で取り上げたスルー・プログラム(ADC入力をそのままDAC出力) **through1** を元に作ってあります。

echo1 のCソース・プログラム(**echo1.c**)中のエコー処理部分だけを抜き出したものをリスト1に示します。

このプログラムではリング・バッファを使ったディレイを使っています。

プログラムの中身は、ソースに記述されているコメントを見れば簡単に理解できると思います。定数 **BUF_LEN**, **ECHO_GAIN** を変更すれば、さまざまなエコーの効果を試してみることができます。