

サウンドエフェクトの実験

ディレイとリバーブ

2009SE051 林俊樹

指導教員：小藤俊幸

1 はじめに

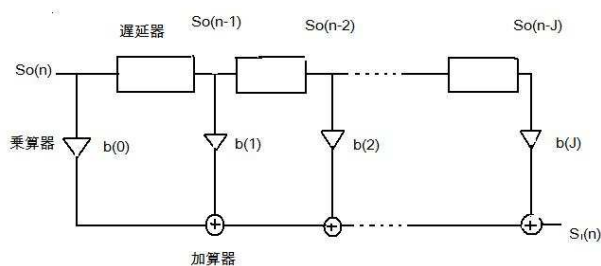
音は「大きさ」、「高さ」、「音色」の3つから成り立つ。自然界における音もこれに起因しておりオシロスコープにより曲線として図示することが可能である。この波形を数学的にとらえ数式を元に変化させることで元の音に様々な変化を与えることが出来る。今回はその中で「ディレイ」、「リバーブ」という2種類のサウンドエフェクトに注目し、どの様な変化をもたらすかを実験、検証していく。

2 ディレイ

ディレイとは現在の時刻の音データに過去の音データを同時に再生することでやまびこの様な残響効果を作り出すエフェクトである。現在の時刻の音データを $s_0(n)$ 、過去の音データを $s_0(n-1), s_0(n-2), s_0(n-3) \dots s_0(n-J)$ とするとこれらを同時に再生した音データ $s_1(n)$ は一般に次の数式として表す事が出来る。

$$s_1(n) = b(0)s_0(n) + b(1)s_0(n-1) + b(2)s_0(n-2) + \dots + b(J)s_0(n-J) \quad (1)$$

ここで、 $s_0(n)$ は、オリジナルの音源の n 番目のサンプルを、 $s_1(n)$ は、ディレイがかかった音声の n 番目のサンプルを意味する。式で示した様に元となるオリジナルの音源 $s_0(n)$ に時間を遅らせた過去の音データ $s_0(n-1), s_0(n-2), s_0(n-3) \dots s_0(n-J)$ を足している事が分かる。この時 $b(0), b(1), b(2) \dots b(J)$ を係数として掛け合わせることで元の音源に変化をつけて加えている。この係数 $b(n)$ は重みと呼ばれ、この値によって様々な音の変化をつけることが出来る重要な役割を持っている。さきほどの数式をブロック図で表すと以下の図の様になる



図：ディレイのブロック図

3 デジタルフィルタ

デジタルフィルタとはサウンドエフェクトにおける重要なファクターのひとつであり、「乗算器」、「加算器」、「遅延器」の三要素から構成されるものである。

遅延器とは、デジタル信号を1サンプルだけ蓄積することが出来るメモリのことである。音データをこの遅延器に入力すると、この遅延器の中に1時刻の間だけ蓄積された後、次の時刻に出力される。その為遅延器を数珠つなぎの様に連続して接続した場合遅延器から遅延器へとバケツリレーの様に音データを渡しながら過去の音データを一定時間だけ記憶できる。どのくらい記憶出来るかは遅延器の数によって決められ、例えば標本化周波数 44.1kHz の場合 1 秒間の音データを記憶するには 44100 の遅延器が必要となる。前述で説明したディレイにも既にこの遅延器は用いられている。オリジナルの音源 $s_0(n)$ から $s_0(n-1), s_0(n-2), s_0(n-3) \dots s_0(n-J)$ の値を算出するときにこの遅延器を通してている。

次に乗算器についての説明である。乗算器とは過去の音データ $s_0(n-1), s_0(n-2), s_0(n-3) \dots s_0(n-J)$ をどのように現在の音データにミックスするかを決める役割を持つもので、前述のディレイでの $b(n)$ に相当する。この値のとりかたによってどのような残響を与えるか大きく変化する。 $b(m)$ は一般的に次のように定義する。

$$b(m) = \begin{cases} 1 & (m = 0) \\ a^i & (m = id, 1 < i < repeat) \\ 0 & (otherwise) \end{cases}$$

ここで表記される a は減衰率を表しており、やまびこ繰り返しながら小さくなっていく度合を決めるものである。この値を1以上にとってしまうと上の数式の $b(n)$ が段々と大きくなる為残響の様な効果が表れない。その為基本的に a は1よりも小さい値をとる必要がある。次に d は遅延時間を表しておりやまびこでいう所の発声から帰ってくるまでの間隔を意味する。この d の値を大きくするとこの間隔も長くなる。repeat はやまびこになって繰り返される回数を意味する。

最後に加算器である。これは現在の音データ $s_0(n)$ に過去の音データ $s_0(n-1), s_0(n-2), s_0(n-3) \dots s_0(n-J)$ を加えて一つの音にまとめる役割をもつものである。ディレイも最後の過程としてこの加算器で、乗算器、遅延器を通ったあらゆる音データを結合している。

4 音の変化についての検証

これまでの説明してきたディレイはデジタル信号処理の中でもっとも基本的な処理である。

1 の式をシグマを用いてまとめると下記の式となる。

$$s_1(n) = \sum_{m=0}^J b(m)s_0(n-m) \quad (2)$$

この数式によって定義されるデジタルフィルタを「FIR (Finite Impulse Response) フィルタ」と呼ぶ。FIR フィル

タについての詳しい説明は6章で改めて行う。

この数式を元に実際にどの様な変化が生じるのか検証しようと思う。ここでは例として a を0.5, d を375 ms,repeatを2と設定した上で音の変化について検証する。元の音の後に余韻が残りやまびこの様になっていることが分かる。

5 インパルス応答

デジタルフィルタ処理を説明する上で重要な概念である「インパルス応答」について本章では触れたいと思う。

ピストルの様な一瞬だけ音を発する音データ $s_0(n)$ があるとすると、こうした音データは「インパルス」と呼ばれ以下の式の様に表示することが出来る。

$$s_0(n) = \begin{cases} 1 & (n = 0) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

これを入力信号として式(2)を計算すると出力信号は次のように $b(n)$ なる。

$$s_1(n) = b(n)$$

このように、インパルスを入力信号とした時、その出力信号として得られる出力信号を「インパルス応答」と呼ぶ。FIRフィルタのインパルス応答はFIRフィルタにおける乗算器の係数そのものになる。これはFIRフィルタの特徴のひとつでもある。

6 リバース

リバースも過去の音のデータを同時に再生する事で残響効果を作り出すサウンドエフェクトである。ただディレイに比べ複雑なインパルス反応を持つため算出方法も複雑なものとなる。ディレイが「やまびこ」の様な残響であるのに対しリバースはコンサートホール内で聴く様な音の効果である。壁で周囲を囲った部屋の中である音源から音を発するとする。部屋の中何処か一ヶ所に受音点を置くとする。この受音点にはどの様に音が入るだろう。まず音源から受音点に一直線に伝わった音が存在する、これを直接音と呼ぶ。次に壁などを経由し反射され受音点へと伝わった音、これを反射音と呼ぶ。特にこの反射音の中で到達時間の早いものを初期反射音、そうでないものを高次反射音と呼び、この二つをまとめて間接音と呼ばれる。直接音は何の障害もなく受音点へと到達するため音源での音がそのまま反映される。しかし一方で反射音は壁を経由することにより直接音に比べ受音点への到達時間はその分遅くなり、複数の壁を経由して届いた高次反射音ほど到着時間は遅くなる。それに伴って壁に当たる度一部のエネルギーは壁へと吸収される為必然的に音の大きさも小さくなっていく。この一連の音の反響を疑似的に表現したのがリバースである。

7 FIR フィルタ

5章でも少し説明したFIRフィルタについて説明する。FIRはデジタルフィルタの代表的な物のひとつであ

り以下の式で定義される。

$$y(n) = \sum_{m=0}^J b(m)x(n-m) \quad (3)$$

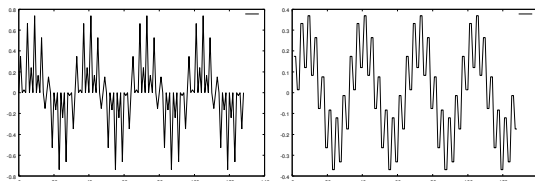
$x(n)$ は入力信号, $y(n)$ は出力信号, $b(m)$ は乗算器にセットされるフィルタ係数, J は遅延器の数を表している。

ディレイ、リバースともFIRフィルタによって本来の音に残響効果を付け加えている。ディレイは元の音源を減衰させ一定間隔遅らせた後加えるというものであった。リバースは「移動平均」と呼ばれる処理を行っている。具体的なリバースのFIRフィルタの例として、2個の乗算器、1個の加算器、1個の遅延器から構成されたシンプルなものを考える。定義された(3)の式に書き換えると以下の式になる。

$$y(n) = 0.5x(n) + 0.5x(n-1)$$

実際の音データに具体的なパラメータを入力しその違いについて検証する。実際の音データ(4)にそれぞれ A (0.25), f_s (8000Hz), f_0 (250Hz), h_8 (2000Hz), h_{15} (3750Hz) の値を代入する。

$$s(n) = A \sin(2\pi f_0 n / f_s) + A \sin(2\pi h_8 n / f_s) + A \sin(2\pi h_{15} n / f_s) \quad (4)$$



左が本来の音データ、右がFIRフィルタを通した後のグラフである。フィルタを通すことによって本来のとげとげしさが和らぎなだらかになったことが分かる。これは隣あった二つのサンプルの平均を時間を移動しながらとっていることに他ならない。これが「移動平均」である。また周波数の観点からみると、この作業になり高域の周波数がカットされ低域の周波数は損なわずに通過していることが分かる。このフィルタは「低域通過フィルタ (Low-Pass Filter)」と呼ばれリバースにはこれが利用されている。

8 まとめ

ディレイ、リバースを始め様々なサウンドエフェクトにおいても根本的な原理、考え方は同じであり構造自体は決して複雑ではない。しかしとる値ひとつで大きく変化するため、所望する音響を作るのは容易ではない。何度もトライ&エラーを繰り返しながら地道に調整、探求していくしかない。

参考文献

- [1] 青木直史 編：『C言語ではじめる音のプログラミング-サウンドエフェクトの信号処理』、オーム社出版、東京、2008。