

第4章

情報圧縮の基礎

アナログ通信からデジタル通信へ移行した大きな原動力が圧縮の技術です。デジタル信号はアナログ信号に比べて、伝送の際に広い帯域を必要とすることはこれまで説明してきました。そのため、デジタル伝送の性能が良いといっても、アナログ伝送から簡単に乗り換えることはできませんでした。

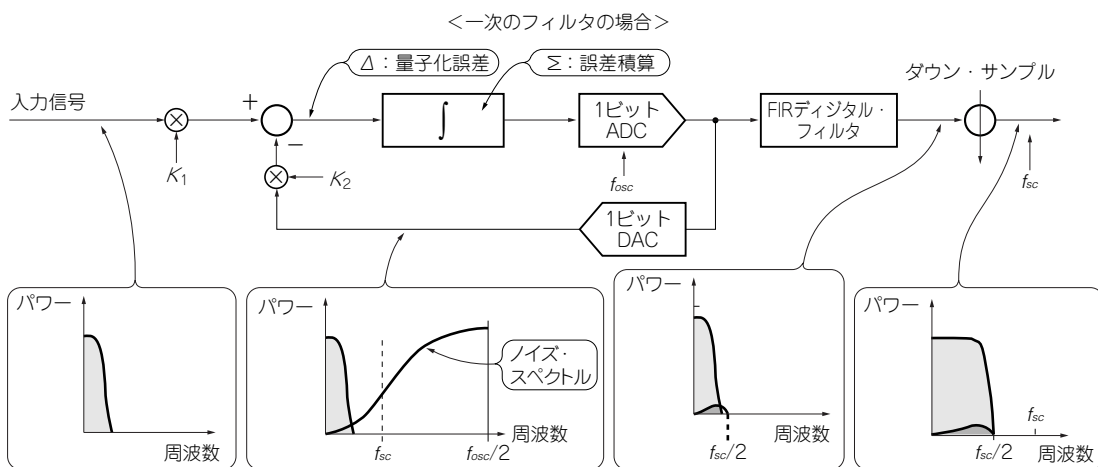
しかし、アナログではなかなか実現が難しい、元の情報の品位を落とさずに、高い情報圧縮を実現する方法が開発されました。たとえば静止画では、デジタル・カメラに搭載されているJPEGが有名です。画像の特徴を使い1/10以上に情報圧縮しても、画質的に遜色ないものが得られます。アナログではせいぜい輝度・色差変換で色差成分の帯域を狭めるくらいしか思い浮かびません。そのため、むしろデジタルのほうが狭帯域の回線で伝送できるようになっています。

4-1 ノイズ・シェイピング

4-1-1 $\Delta\Sigma$ 型A-D変換器

まずノイズ・シェイピングが使われている代表的な例題として、 $\Delta\Sigma$ 型A-D変換器を取り上げます。このA-D変換器($\Sigma\Delta$ 変換ともいう)は、**図4-1**のようにオーバーサンプリングで1ビットなどの低解像度でA-D変換し、その量子化誤差 Δ を積分器 Σ で蓄積し誤差拡散するものです。**図4-1**のノイズ・スペクトルからわかるように、積分器を含むノイズ・シェイパで1ビットA-D変換器が作り出すノイズ成分を信号とは無関係な高域に押し込むことが可能となります。その分、必要な信号帯域の S/N を劇的に改善します。

このようなノイズ・シェイピング・フィルタで拡散された高域の不要な誤差(ノイズ)は、その後のダウン・サンプリングのためのFIRデジタル・フィルタで取り除かれます。そうして最終的に必要なビット解像度のA-D変換出力を得るものです。とくに1ビットA-D/D-A変換を使った場合は、量子化直線誤差などを考えなくてもよいため、性能はほとんどデジタル・フィルタとノイズ・シェイピングにより決まり、高性能のA-D変換器が得られます。



そこで視覚的にわかるように、図1-18に $\Delta\Sigma$ 型A-D変換器に使う2次のフィルタをMATLABを使ってシミュレーションしてみました。とくに図のようなSimulinkを併用すれば、各要素のブロックを図面に並べて、線をつなげばシミュレーションできる対象となります。とても簡単にモデルを作ることが可能で、自分の考えた新しいアルゴリズムが実際に使えるかどうか、ハードを作る前に確認できます。実機を使った試行錯誤をかなり減らすことが可能です。図1-18の④は、出力のスペクトルを示していますが、低域のノイズがディップしているのがわかると思います。入力のきれいな正弦波が、最終的に高域にノイズ・シェイピングされています。

一般的に使われている $\Delta\Sigma$ 型A-D変換器の場合は、このような2次のフィルタでは性能が出ないので、5次とか6次といったもっと高次のものが使われます。ただし、高次になると安定性の問題が発生し、設計が難しくなってきます。

4-1-2 ワード長の丸め

たとえば、図4-2のように32ビット幅のデータを、その後の信号処理のために16ビットにするようなワード長変換を必要とする場合がよくあります(再量子化とも呼ばれる)。一番簡単なのは、図(a)のように下16ビットを単純に切り捨てることです。この場合、丸め誤差が発生して好ましくありません。そこで、図(b)のように四捨五入をすることが考えられます。切り捨てる一番上のビットに1が立っていれば、上に桁上げを発生させ16ビットに1を加える方法です。

しかし、切り捨てにしても、四捨五入にしても切り捨てる16ビットの情報を使いきっていません。切り捨てた部分そのまま量子化ノイズになります。このノイズは帯域全体に分布するランダム・ノイズです。そこで先ほどの $\Delta\Sigma$ 型A-D変換のように、ノイズ・シェイピングでノイズ成分を高域に拡散すると、低域の解像度が上がり、切り捨てる16ビットの情報をある程度生かすことができます。たとえば、映像でこの手法を使い誤差を拡散すると、人間の目の平均化効果で階調度が上がったよ

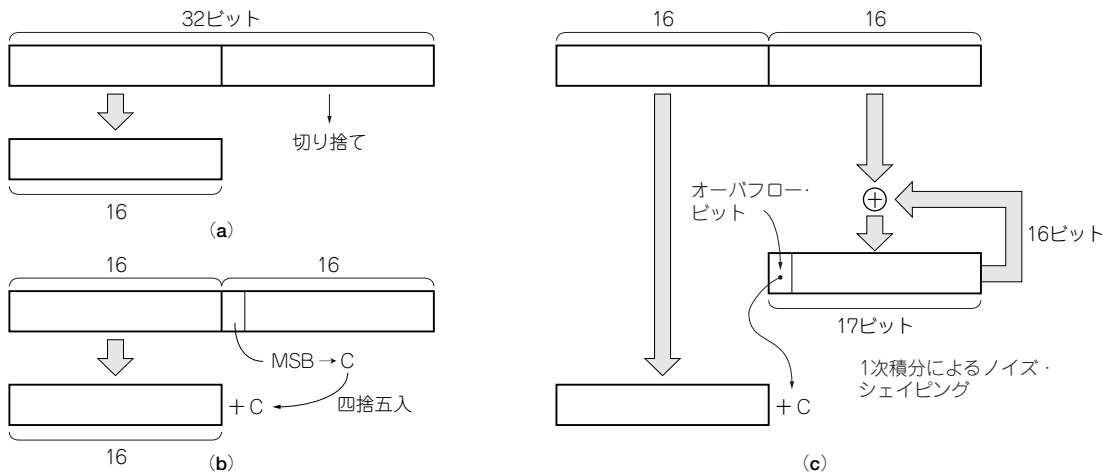


図4-2 ワード長のまるめ誤差

うに感じます。極端な場合の2値の映像でも、新聞の写真のように濃淡がある程度表現できます。

もっとも簡単な方法は、図(c)に示すように1次積分を使います。切り捨てる部分を捨てずにサンプルごとに積算し、そのレジスタにオーバーフローが起きたとき、桁上げとして上の桁に1を加えます。ハードウェアで構成しても簡単に実装できます。このノイズ・シェイピングを実装した場合、DC付近の解像度は32ビット・フルに取れます。DCのオフセットを取ったり低域の解像度を上げたい場合はかなり有効な方法です。

4-2 可変量子化と圧縮

情報圧縮としては、圧縮したものを再び伸張したときに完全に元に戻る可逆圧縮と、戻すことができない非可逆圧縮があります。たとえばLHA圧縮などのファイル・データを圧縮する場合は、元に戻したときに別の文字になった場合はまったく使いものになりません。可逆圧縮でなければなりません。一方、映像や音のように人間の感覚が対象の場合は、多少の情報の変化があっても人間が気が付かなければよいわけで、非可逆圧縮を使ってもまったく問題ありません。

非可逆情報圧縮の手段の一つとして使われるのが、不均一な量子化の手法です。図4-3のように信号をある特性ごとに分解し、それら各々に重み付けを行います。その重み付けに元づいて再量子化を行うものです。重要な情報により細かな量子化を行い、あまり重要でないものは荒い量子化を行います。これにより全体的に情報量を削減しても、感覚的にあまり目立たない情報圧縮が可能です。

その代表的な例として静止画の圧縮方法であるJPEGがあります。図4-4のようにJPEG圧縮では、全体を8×8の細かなブロックに分けます。このブロック単位に圧縮が行われます。そのブロックの特徴を抽出するために、図4-4のように2次元のDCT(離散コサイン変換)にかけます。この変換を行っても、ここまでは基本的に情報量は初めと同じです。ただし、DCTにより輝度とその位置情報