

第1章

これまでのデジタル信号処理と デジタル・シグナル・ プロセッサの成り立ち

第1章では、これまでのデジタル信号処理の流れと、デジタル・シグナル・プロセッサ(DSP)の成り立ちについて説明します。

1-1 デジタル信号処理とは？

光や温度、圧力、動作、音、映像など、自然界にある信号は、すべてアナログ信号です。もちろん、われわれが見て、聞いて、感じ取ることができるものも、アナログ信号です。しかし、「デジタル信号処理」では、もちろん、デジタルの信号を扱います。そのため、デジタルの信号処理を施すにはまずA-Dコンバータ(ADC)を使って、アナログ信号からデジタル信号に変換しなくてはなりません。そのデジタル信号を入力として、何らかを目的とした処理を施します。この処理の部分を広義のデジタル信号処理と言います。その処理が終わると、D-Aコンバータ(DAC)を使ってアナログ信号に戻します(図1-1)。

ここで重要な点は、その目的とする処理がリアルタイム性を求めるものであれば、デジタル信号処理でもリアルタイム性が必要なことです。A-Dコンバータはある一定期間ごとにデータを取り込み(サンプリングし)、またD-Aコンバータはある一定期間ごとにデータを出力することです。もし、データを取り込んだ後、一定期間内に処理が終わらない場合はデータを出力できずに途切れてしまいます。音の場合なら「ブチッ」とノイズが入ります。つまり、一定期間内に処理を終える必要があります。

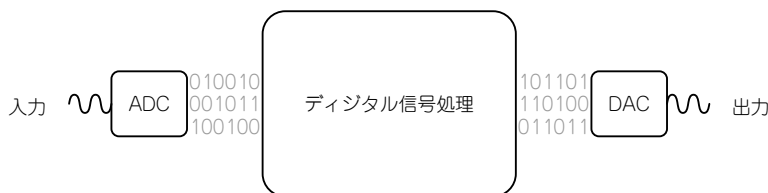


図1-1 デジタル信号処理にはA-Dコンバータ/D-Aコンバータが必要

信号処理には、それだけ高速な処理が求められているのです。

1-2 アナログ回路からデジタル信号処理へ

数十年前、「デジタル信号処理」という名前がまだ一般的でなかったころのことを考えてみましょう。入力信号から必要のない要素を取り除くフィルタリングや入力波形からの情報抽出、信号の内容や特徴の抽出、そのための信号振幅の修正など、これらはすべて抵抗やコンデンサなどを駆使したアナログ回路で実現されていました。しかし現在では、携帯電話をはじめとする最新電子機器の内部は、ほとんどデジタルで処理されています。あのAM/FMラジオですら、デジタル処理をする機種が数多く登場しています。では、なぜ、アナログ回路からデジタル信号処理へ移行してきたのでしょうか？

まず第一に、アナログ回路では、実装上における調整が必要という点があげられます(図1-2)。つまり、まったく同じ回路を作成したとしても、抵抗やコンデンサなどそれぞれのアナログ素子特性のばらつきが大きいので、実装した後の特性は同じになりません。同じにするためには調整が必要です。また、アナログ素子は温度変化や使用年数によっても素子特性が変化するため、環境変化や経年変化で音質などが劣化することもあります。

それに対し、デジタル処理の場合は、信号がたとえ劣化したとしてもデジタルの数値は変化しないため、前述したような実装上の調整や使用年数による経年変化はありません。

第二に、デジタル処理の場合、フィルタ特性などの仕様変更が簡単にできる点です。特性変更は、

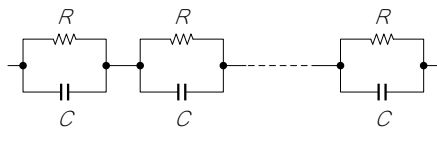


図1-2 アナログ回路でフィルタを実現

$$Y = \sum_{i=0}^{\text{count}-1} (\text{coeff}_i \times x_i) \\ = \text{coeff}[0] \times x[0] + \text{coeff}[1] \times x[1] + \dots$$

図1-3 デジタル信号処理アルゴリズムの基本式

Column ... 1-A DSPって何の略？

DSPという言葉には、世の中で二通りの使い方があります。

一つは「デジタル・シグナル・プロセッシング」、日本語でいう「デジタル信号処理」です。そして、もう一つは「デジタル・シグナル・プロセッサ」です。DSPという用語は、使う人の立場によってその意味が違います。

FPGAメーカーでは、前者のデジタル信号処理という意味で使っています。また、Texas Instruments社(以下、TI社)では、後者のデジタル・シグナル・プロセッサとして使っています。

本書では、後者のデジタル・シグナル・プロセッサという意味の言葉として使用します。

デジタル処理では係数を変更するだけですが、アナログ回路では、全体の回路をもう一度見直し、設計をやり直すことになります。またデジタル処理の場合、実行時に係数をリアルタイムに変更する適応フィルタを用いれば不必要な音(雑音)だけを消去することもできます。しかし、アナログ回路で適応フィルタの実現はできません。

第三に、技術が進歩しデジタル処理の能力が向上した点です。先ほども述べたように、デジタル信号処理では、必ずリアルタイム性を満足させなければなりません。言い換えると、高速なデジタル信号処理が必要です。LSIは技術の進歩により、年々高速なデジタル信号処理が行えるようになったのです。

そのほか、A-DおよびD-A変換が高速になり、その精度が上がった点もあげられます。

このように、さまざまな理由で、アナログ回路からデジタル回路に置き換わってきたのです。

1-3 積和演算を高速に実行するデジタル・シグナル・プロセッサ

アナログ・フィルタをデジタル回路で実現したときに使用される代表的なデジタル・フィルタとして、「FIRフィルタ」があります。このFIRフィルタは、アナログからデジタルに変換したデジタル入力信号を $x[i]$ 、その結果の出力信号を y としたとき、図1-3に示すような式で表せます。この場合、 $\text{coeff}[i]$ は係数です。

このFIRフィルタは、デジタル信号処理の基本のアルゴリズムの一つです。それぞれのデータと係数を乗算し、それをcount個足し込む、つまり、count回繰り返す積和演算処理となっています。ほかのデジタル信号処理の基本的なアルゴリズムで「積和演算」が数多く使用されています。「積和演算」を高速に動作させるためのハードウェア機能をもったプロセッサ、これが「デジタル・シグナル・プロセッサ(DSP)」なのです。

1-4 初期のデジタル・シグナル・プロセッサ(DSP)とは?

積和演算を高速に動作するために設計された初期のデジタル・シグナル・プロセッサは、極めて単純で、積和演算の式をそのままハードウェア化した構成となっています。

積和演算では、まず掛け算を行います。そこで、DSPは、1サイクルで動作する「乗算器」を搭載しています。この乗算器へ二つのデータを渡す必要があります。そのため、プログラム取り込み用の「プログラム・バス」とデータ取り込み用の「データ・バス」の二つのバスをもち、乗算器の片方はデータ・バスに接続されているメモリから、もう一つはプログラム・バスに接続されているメモリからデータを取り込む仕組みとしました。積和演算の実行時はプログラム・バスを使用しないような繰り返し命令を実行しているため、二つのデータをまったく同時に取り込み、乗算器に渡すことができません。今では、プログラム・バスと複数のデータ・バスを当たり前のように内蔵しています。しかし1980年代では、バスをたくさん引き回すと配線が難しくなるため、これが画期的な方法でした(「ハーバード・アーキテクチャ」と呼ぶ)。

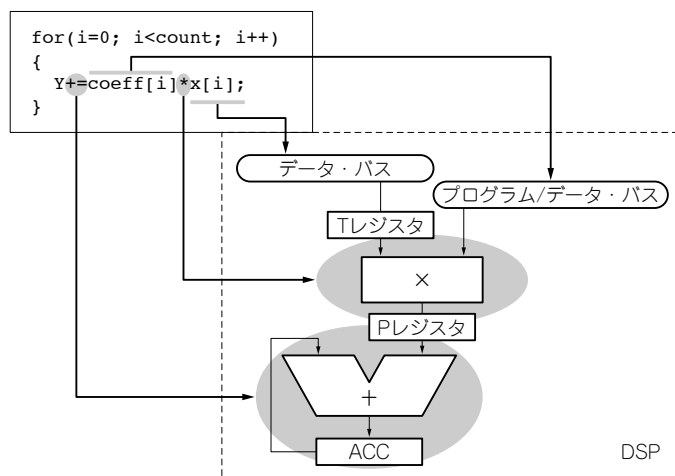


図1-4 初期のデジタル・シグナル・プロセッサ構成

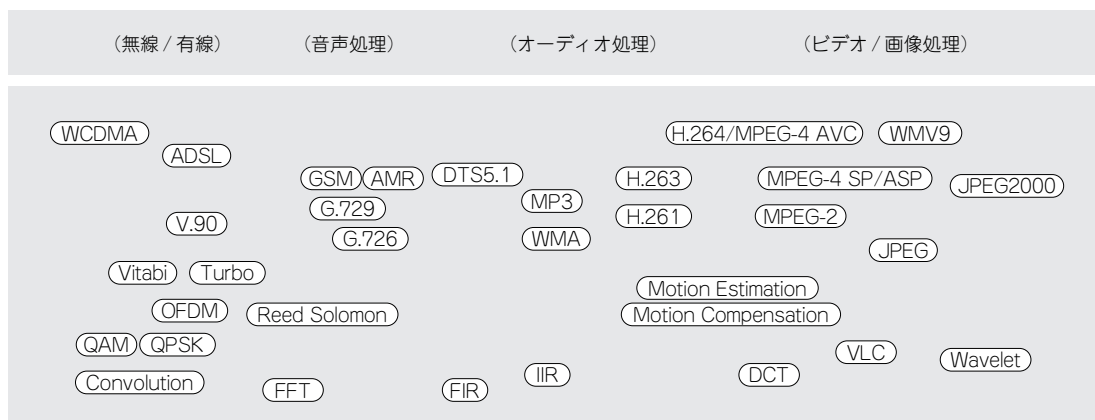


図1-5 デジタル信号処理の例

積和演算処理は、乗算器で掛け算を行った後、その結果を足し込みます。これを実現するため、「加算器」とその結果を蓄えるアキュムレータ (ACC) を用意し、乗算器の結果と ACC の二つを加算器の入力としました。このようにして実現されたプロセッサ、これが初期の DSP の構成です (図1-4)。

1-5 最近のデジタル信号処理は積和演算だけでない！

デジタル信号処理の中で昔からある代表的な処理として、FIR フィルタや IIR フィルタ、FFT (高速フーリエ変換) などがあります。しかし最近のデジタル処理は、図1-5に示すように多岐にわたっています。

これらのほとんどの処理は、単純な積和演算処理ではありません。乗算を含む算術演算やビット演

算なども多く含まれています。つまり、積和演算を高速に演算できるだけでは、現在の複雑なデジタル信号処理を高速に行うことができません。

本書で解説する TMS320C6000 DSP (以降, C6000 DSP) は、上記の処理に対応するため、積和演算はもちろんのこと、それ以外の算術演算なども高速に実行できるようになっています。つまり、C6000 DSP は、積和演算処理を含む演算を高速に実行できる RISC プロセッサのイメージに近いと思われるかもしれません。