



1 DSPの変遷から見る デジタル信号 処理技術の歴史

DSP (Digital Signal Processor) は、デジタル信号処理の演算を高速に行うことに特化した LSI である。この DSP の変遷には、その時代ごとのデジタル信号処理技術への要求や歴史が映し出されている。

そこで、本特集のスタートとなるこの第 1 章では、DSP を通じてデジタル信号処理の歴史の流れを振り返ることで、今、この分野に何が求められているのかを探っていく。

(編集部)

大久 信広

1 初めてのリアルタイム信号処理

筆者の手に「シグナルプロセッサとその応用—TMS320」という本がある。これは、1986 年にコロナ社より発行されたものである。この 1986 年当時、筆者は音声処理装置の開発に取り組んでおり、NEC 社の PC である PC-9801 と日々向かい合っていた。

努力の甲斐あって、アコースティック・ツール・キットという波形解析ソフトウェアが完成した。これをツールにしてリアルタイム音声認識や音声合成アプリケーションの開発という、当時としてはとてつもなく無謀な計画に取り組むこととなった。というのも、PC-9801 では性能に限界があったからである。

しばらくして、やはり PC-9801 の速度不足やメモリ不足という壁にぶつかり、本格的なリアルタイム音声アプリケーションの開発が絶望的になりつつあった。そしてその矢先に先の本で「DSP」なるものの詳細を知ることとなったのである。この DSP とは「Digital Signal Processor」の略で、まさにデジタル信号処理のためだけに特化したプロセッサなのだ。

PC-9801 ではなぜリアルタイム音声処理ができないのかというと、先ほども述べたとおり、すばり速度不足ということにつきる。当時、すでにデジタル信号処理の理論に限っていえば現在とほぼ同等のレベルに達していた^{注1}。それにもかかわらず、理論を実行するためのハードウェアについては現在と比べようもなく貧しい環境しか手に入らなかったのである。現在では、ポケット・マネー程度(?)で購入できる DSP が、なんとクロック周波数が 1GHz、演算処理速度については 8000MIPS という高い性能にすでに達している^{注1}。

さらに、それでも不足の場合は、大容量の FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いることで、個人でも専用の

ハードウェアを備えたプロセッサを作成することもできるようになった。それもただかここ 20 年の間の出来事である。

この第 1 章では、デジタル信号処理の歴史を理解するために、それぞれの時代に脚光を浴びた DSP を紹介し、その時代ごとのデジタル信号処理への要求の変遷を振り返ることとする。そして今、デジタル信号処理に何が求められているのかを明らかにしていこう。

2 最初の DSP —— 第 1 世代 DSP

Intel 社の 8080 と Motorola 社の MC6800 がしのぎを削っていたころから少し遅れ、DSP の開発がスタートし、1980 年には日電 (NEC) から世界最初の商用 DSP である μ PD7720 (写真 1) が登場した。また、それから 2 年後には米国 Texas Instruments 社 (以下 TI 社) の TMS320C10 (写真 2) が発表された。これはそれまでのアーキテクチャ (図 1) とは異なるハーバード・アーキテクチャ (図 2) と呼ばれる、データ・バスとプログラム・バスを分離した、当時としては画期的な DSP で、以後の DSP の開発に大きな影響を与えることとなった。このころの DSP を第 1 世代 DSP と呼ぶ (表 1)。第 1 世代 DSP は、音声圧縮処理やエコー・キャンセラ、モータ・コントローラといった汎用アプリケーションをターゲットにしたものだった。

これらの DSP が登場する以前は、たとえば FFT 演算処理が必要な場合、数十万円もする乗算器とランダム・ロジックを組み合わせて FFT 演算処理を行っていた。開発資金が潤沢な場合は、専用のチップを開発するというケースもあった。いずれにしても、デジタル信号処理の実現にはたいへんな開発コストと時間を必要とする時代が続いていたのだった。

しかし、DSP の出現により状況は劇的に変化した。安価な DSP でソフトウェアによるデジタル信号処理が実現可能となったため、開発エンジニアは煩雑なハードウェア設計から解放された。それから開発コストが引き下げられたため、多くの

注 1：米国 Texas Instruments 社の TMS320C6414T/15T/16T。

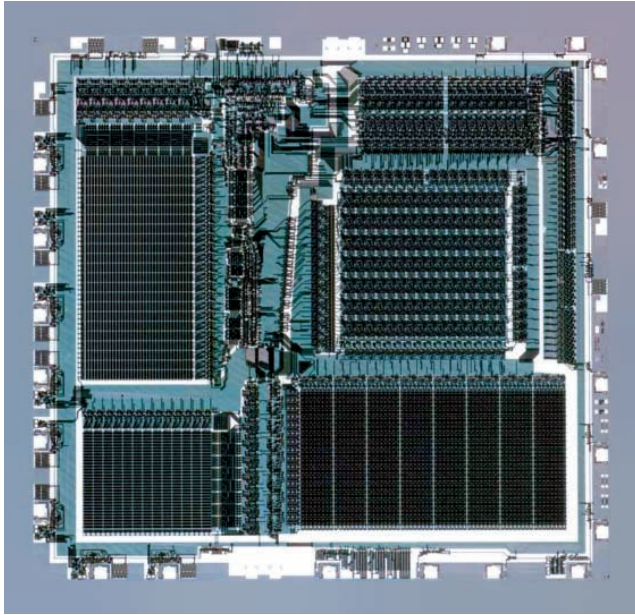


写真1 世界最初の商用DSPである「μPD7720」(NEC)の回路パターン

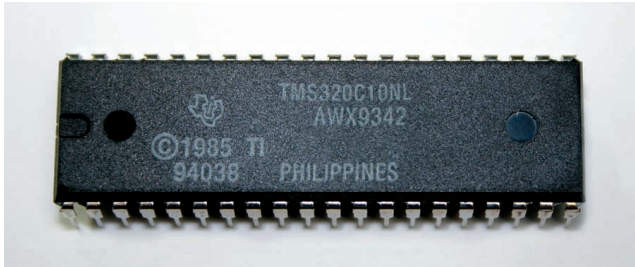


写真2 ハーバード・アーキテクチャを採用した「TMS320C10」(TI社)

分野でDSPが採用されることとなったのである。

命令サイクルが100ns程度と、現在とは比較にもならない第1世代DSPだったが、1990年初頭よりプロセスのPID制御、ハードディスクのヘッド・ポジショニング、ロボットのモーション・コントロール、ACインダクション・モータ・ドライバ、ACサーボ・ドライバ、ブラシレス・モータの適応制御、自動車タイヤのアクティブ・ノイズ低減など、堰を切ったようにデジタル信号処理にDSPを応用するという試みがスタートすることとなった。

表2に应用分野の一覧を示す。これを見ると、まさにあらゆる分野にわたってDSPの使用が一気に浸透していったことがわかる。

3 広がるDSPの応用 ——第2世代～第3世代DSP

第1世代DSPに引き続いて第2世代～第3世代のDSP開発および発表が1980年代の後半までに行われた(表3)。第2世

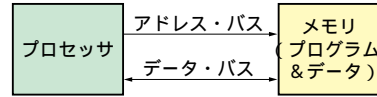


図1 それまで一般的だったアーキテクチャ

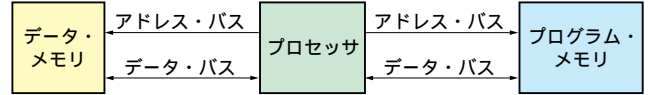


図2 ハーバード・アーキテクチャ

表1 代表的な第1世代DSP

年	開発元	型番	備考
1980	ベル研究所 (現在のAT&T)	DSP20	世界最初のDSP。実用に至らず
1980	NEC	μPD7720	日本で最初のDSP。 世界最初の商用DSP
1982	TI社	TMS32010	最初のハーバード・アーキテクチャ採用のDSP
1982	日立	HD61810	
1982	富士通	MB8764	当時、世界最速のDSPだった

表2 DSPの应用分野

应用分野	処理内容
汎用DSP	ディジタル・フィルタ, 相関, 波形発生
音声	音声認識, 音声合成, テキスト音声変換
画像	画像圧縮, パターン認識
制御	ディスク制御, サーボ制御, モータ制御
計測	スペクトル解析, パターン・マッチング, 地震波解析
軍事	レーダ信号処理, ソナー信号処理, ミサイル誘導
通信	エコー・キャンセル, 適応等価器, DTMF符号化, 復号化
自動車	エンジン制御, 振動解析, 適応サスペンション制御
家電	ディジタル・オーディオ, 合成音声応答装置, ゲーム
産業	ロボティクス, 数値制御
医療	補聴器, 超音波診断装置, MRイメージング

表3 代表的な第2世代～第3世代DSP

年	メーカー	型番	備考
1986	AT&T社	DSP32	32ビット浮動小数点
1986	NEC	μPD77230	32ビット浮動小数点
1988	TI社	TMS320C30	32ビット浮動小数点
1987	Motorola社	MC56000	24ビット固定小数点
1987	富士通	MB86232	32ビット浮動小数点

代～第3世代DSPはそれまでのDSPに対し、データ幅およびメモリ空間の拡張、アドレッシング機能の強化、DMA機能の標準装備といった、基本仕様を拡充させるための改良と浮動小数点演算機能の追加といったことが行われた。

一方、それとは別に第2世代～第3世代DSPとして、オーディオ信号処理や画像処理といった特定アプリケーションに特化したDSPも開発されるようになった。

たとえば画像信号処理として、図3に示すようなビデオ信号をデジタル信号処理で行う場合を取り上げると、8ビットで

14.31818MHz という非常に高い周波数でサンプリングが行われることとなる。また、1 画面を 512 × 512 画素、フレーム周波数を 30Hz とすると 7.864320M バイト/s という膨大なデータを処理する必要がある。

このように画像信号処理は、処理速度の厳しさや、扱うデータ量の多さが障害となって、これまでの汎用 DSP ではなかなか歯が立たなかった。

そこで登場した DSP が、特定アプリケーションに特化した ASSP (Application Specific Standard Product : アプリケーション指向汎用 LSI) と呼ばれるものである。1988 年に画像処理用 ASSP として、日立から DSP-IC (HD81831 : 図 4) が発表された。この DSP は画像処理を効率よく行うために、以下のような特徴を備えていた。

- サイクル・タイムが 50ns と速い
- マイクロプログラムとピコプログラムの 2 階層の命令で並列処理を行う
- 2 次元アドレス演算ユニットで、2 次元データの効率の良いアクセスが行える
- ビット演算ユニットで画素データを効率良く操作できる
- プログラム RAM のほかに、4 ページのデータ・メモリを実装し、画像データの効率の良いアクセスが行える

この DSP の出現によって、信号の圧縮やノイズ除去、エッジ抽出のような画像信号処理がソフトウェアで実現可能となり、本格的な ASSP 時代の幕開けとなった。

もう一つの ASSP の例として、FFT (Fast Fourier Transform) 演算を実行するための DSP を取り上げる。ZORAN 社の ZR34161 (図 5) という DSP は、VSP (Vector Signal Processor)

と呼ばれ、FFT 演算を効率よく実行するための専用ハードウェアとして機能する。この DSP の特徴として、実数部と虚数部およびサイン・テーブルを収めるための専用 RAM が用意されており、また FFT 演算では必ず行われるビット・リバーシングというデータの並べ替えも、アドレス・ジェネレータでサポートされていることが挙げられる。その結果、4096 点の FFT を 19.64ms という速さで実行することが可能となっている。これにより、FFT 演算を必要とするレーダやソナー、振動解析などの分野で大いに役立つこととなった。

当時、安価になった PC にこれらの DSP を拡張基板として装備すれば、実用的なリアルタイム画像処理システムやスペクトル・アナライザが驚くべき低価格で実現することが可能となった。このころから PC と各種機能の拡張基板を組み合わせ、さまざまなシステムを低価格で構築することが一般的になっていった。

4 最新の DSP の動向

ここからは、最新の DSP の動向を見ていくことにしよう。

● デジタル・オーディオ規格に対応 ——ポータブル・オーディオ用途

MP3 などのデジタル・オーディオ・ファイルによるインターネット上の音楽配布は、従来の CD ベースでの音楽配信形態に変化を与えた。2003 年に開始された米国 Apple Computer 社によるインターネットを通じたデジタル音楽配信は、1 曲あたり 99 セントで購入できる手軽さが受け、販売曲数は開始 1 週間で 100 万曲を突破した。その後、11 か月で販売楽曲数が

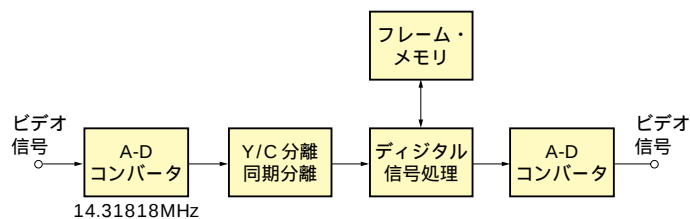


図3 一般的な画像信号処理のブロック図

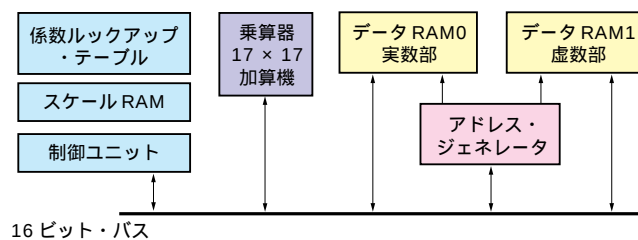


図5 ZR34161 (ZORAN) 内部ブロック概要

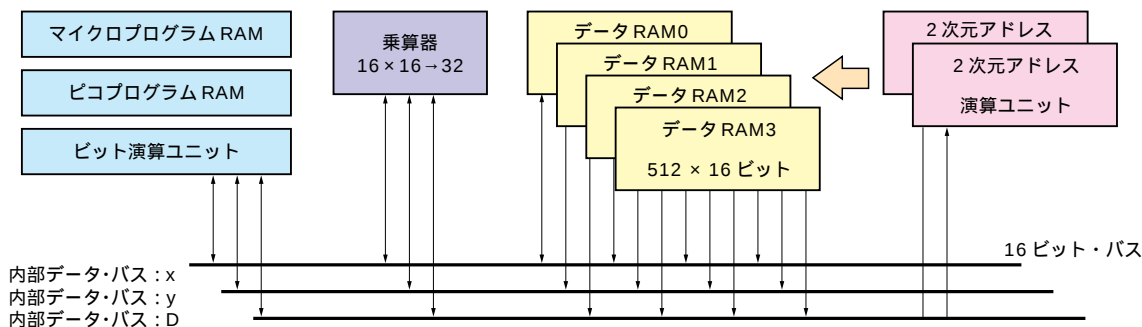


図4 DSP-IC (HD81831, 日立) 内部ブロックの概略

表4 代表的なMP3デコーダ/エンコーダLSIのメーカーと型番

メーカー	型番
MICRONAS 社	MAS3507D
	MAS3587F
VLSI 社	VS1001/VS1011/VS1002
ST-Microelectronics 社	STA013/STA014/STA015

5000万曲に達したといわれている。

MP3の権利関係や音楽著作権の問題など、解決されるべき問題は多くあるにせよ、もはやこの流れは後戻りすることはできないだろう。通常、MP3のエンコードおよびデコードはPCで実行するが、ポータブル・オーディオ用途のために非常にコンパクトな録音/再生装置が各社より販売されている。その中身はワンチップ化されたMP3デコーダ/エンコーダ用LSIと、ごくわずかな周辺回路で構成されている。代表的なデコーダのおもなメーカーおよび型番を表4に示す。MP3の原理および技術的な側面は本誌でも過去何度か取り上げているので、ここでは触れないでおく。

これらのLSIは、MP3デコード/エンコード・エンジンに特化したDSPコアとソフトウェア、およびインターフェースから構成されている。MICRONAS社とVLSI社のLSIは、外部よりプログラムをダウンロードすることもできる。これによりユーザのオリジナルのアルゴリズムで動作させたり、特殊効果を付加するということも可能である。図6にVLSI社のVS1001のブロック図を示しておく。

TI社では、MP3プレーヤとそのほかのポータブル・プレーヤをインターネット・オーディオ・プレーヤと呼び、TMS320C5000シリーズをターゲットにしてIPコアを提供している。このインターネット・オーディオIPを利用することで、よりフレキシブルなMP3プレーヤ・システムの開発時間の短縮が図れる。インターネット・オーディオIPで利用できるMP3を含むオーディオ規格および機能は、以下のように多くの中から選択できるようになっている。

- AC-3
- MPEG MP3
- MPEG AAC
- Sony ATRAC 1/2
- TwinVQ
- AC-3 5.1 ch Decoder Class-A
- Virtual Dolby Digital
- MPEG-1 Layer I Encoder/Decoder
- MPEG-1 Layer Encoder/Decoder
- AC-3 2 ch Encoder(DDCE) Class A

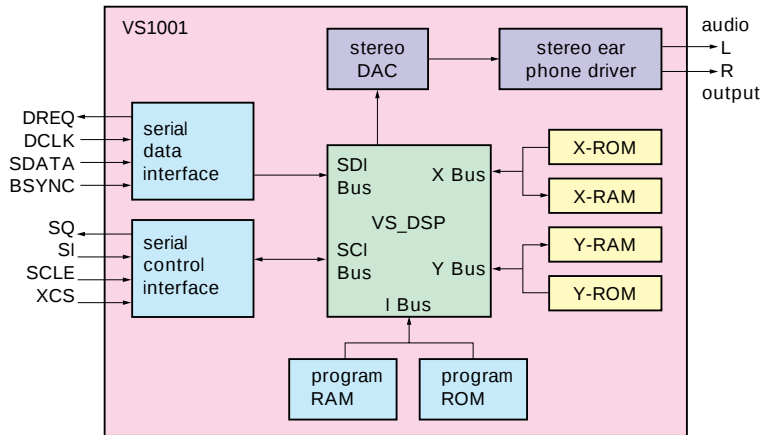


図6 VS1001(VLSI社)のブロック図

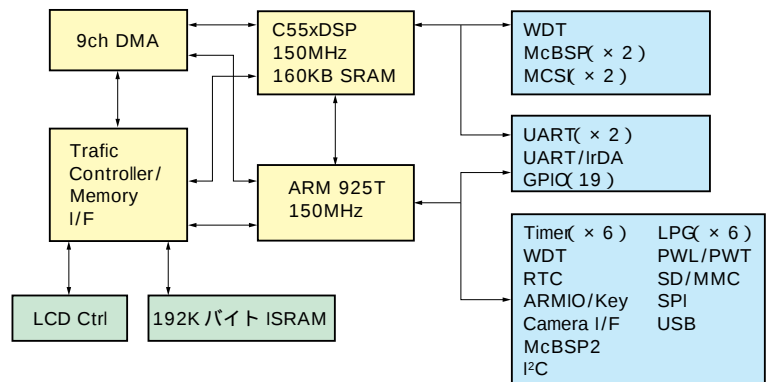


図7 OMAP5910(TI社)ブロック図

- Liquid Audio SP3
- Lucent ePAC
- Qdesign QDMC
- System(Play, Stop, FF, Rew, Repeat)
- EQ(5-band)/Volume Control (Stereo)
- Sample Rate Converter(Stereo)

● 携帯電話——DSPコア+RISCコア

MP3ポータブル・オーディオは、小型で高性能、そして低消費電力なDSPの開発が可能となったことにより、製品化された。この流れをさらに押し進めたものが、携帯電話やPDA、デジタル・カメラなどの携帯型のデジタル機器である。これらの機器にはオーディオのみならず、画像処理の機能も要求されるため、より高機能なDSPの開発が不可欠となった。この目的のためTI社が投入した製品が「OMAP」というアプリケーション・プロセッサとも呼ばれるDSPである(図7)。

OMAPは、TI社の「TMS320C55x」DSPコアに加えて、ARM社のRISCコアを備えた、デュアル・コアのDSPである。これにより、Windows CEのような汎用OSが受け持つ、

- USBクライアント/ホスト・コントロール
- MMC-SDサポート

表5 代表的な次世代 DSP

メーカー	シリーズ	型番
Analog Devices 社	Blackfin シリーズ	ADSP-BF533 ~ ADSP-BF533
Freescale Semiconductor 社	MSC711x シリーズ	MSC7110 ~ MSC7116
ルネサステクノロジ	SH-Mobile シリーズ	SH7290
TI 社	C55x シリーズ	TMS320VC5501 ~ TMS320VC5510

● Bluetooth インターフェース

以上のようなホスト CPU 機能と、通信、音声、画像処理といったリアルタイム処理機能を最適に振り分けることが可能となっている。OMAP は第2世代、第2.5世代、および第3世代の主要ワイヤレス通信プロトコルをサポートすることから、Nokia 社や Ericsson 社、ソニーなどの主要携帯電話メーカーが採用している。

● 次世代 DSP

——キー・テクノロジーはマルチメディア処理

デジタル・ビデオ・カメラや DVD レコーダ/プレーヤ、第3世代の携帯電話などのマルチメディア装置の普及で、これらの要求に応えられる DSP の開発が急がれるようになってきた。つまり、キー・テクノロジーは動画の圧縮/伸長技術にある。とくにトレンドは MPEG-4 の処理を高速に実行する DSP の開発に向かっている。

また、上記以外にも、大容量光ディスク、双方向通信デバイ

スなどに使用するための DSP 開発競争は日々激化している。表5に各社が次世代 DSP として発表したものを示しておく。

次世代のマルチメディアの中心的役割を担う動画圧縮/伸長技術にとってコア・テクノロジーとなる DSP は、これからますます発展の度合いが加速されることが予想され、目を離すことができなくなってきた。

参考文献

- (1) Bernard Gold and Charles M. Rader : *Digital Processing of Signals*, McGraw-Hill, Inc. 1969

おおひさ・のぶひろ ドリームコンピュータ(株)

TECH I Vol.2

好評発売中

デジタル信号処理と DSP

パソコンによるシミュレーションと DSP プログラミング

三上 直樹 著 B5 判 232 ページ CD-ROM 付き
定価 2,200 円(税込)
ISBN4-7898-3313-5

パソコンの性能向上により、従来は不可能に思えたことが実現できるようになりました。本書で紹介するデジタル信号処理のシミュレーションもその一つです。デジタル信号処理はその実践が数式で示されることが多く、直感的に理解しにくい分野です。そこで本書では、パソコン上でシミュレーションプログラムを作り、デジタル信号処理が目や耳で理解できることを目指しました。

また、テキサス・インスツルメンツ社が販売している DSP スタートキットを使い、実際の DSP(デジタルシグナルプロセッサ)を用いたプログラミングについても詳細に解説しました。したがって、本書により、デジタル信号処理の考え方とプログラミング方法が完璧にマスターできるようになります。



第1部 パソコンによるシミュレーション

- 第1章 信号処理シミュレーションの準備と標準化定理
- 第2章 デジタルフィルタの基礎——移動平均
- 第3章 積分回路とIIR フィルタ
- 第4章 デジタルフィルタの伝達関数とインパルス応答
- 第5章 適応フィルタと適応線スペクトル強調器
- 第6章 離散的フーリエ変換とFFT

第2部 DSP プログラミング

- 第7章 固定小数点 DSP TMS320C5x とスタートキットの概要
- 第8章 TMS320C5x プログラミングの基礎
- 第9章 DSP スタートキットによるデジタルフィルタの実現
- 第10章 DSK スタートキットによる信号発生とその応用
- 第11章 浮動小数点 DSP TMS320C3x とスタートキットの概要
- 第12章 DSK3x スタートキットによる信号発生とその応用
- 第13章 C 言語による DSK3x のためのデジタル信号処理プログラミング
- 第14章 PC と協調して動作するデジタル信号処理プログラム

CQ出版社

〒170-8461 東京都豊島区巣鴨 1-14-2

販売部 TEL.03-5395-2141

振替 00100-7-10665