

第1章

DSPの世界とBlackfin



登場して四半世紀経つ間に、DSP(Digital Signal Processor)は当初の主要アプリケーションであった実時間音声処理の枠を越え、あらゆる場面で使われるようになりました。この章では現代のDSPがどのような場所で使われているかを紹介し、Blackfin プロセッサの概要とおおまかなアプリケーションを紹介します。

1-1 身近に使われるようになったDSP

あらゆるところで使われるプロセッサ

ひところからネット上のIT系ニュースなどで、ARM プロセッサが大きく取り上げられるようになりました。これはARMのマーケティングによる出版物などへの露出が引き金になって起きたブームですが、その根底にはARMの「世界でいちばん使われているRISCプロセッサ」という主張に対する驚きがあります。

電子技術の職についていない人にとって、コンピュータとはパソコン、あるいはMacintoshのことです。マイコンは早いうちから組み込み用として多くの製品に浸透していたのですが、それらが注目を浴びることはありませんでした。ところが、人々が知らない間に組み込みプロセッサが身のまわりの隅々までいきわたっており、その数たるやPCの比ではないことが、ARMが脚光を浴びることによりあらためて認識されたのでした。

いまや家の中を見回してみると、ルータやケーブル・モデム、ADSLモデムといったネットワーク機器、セットトップ・ボックス、DVD、テレビ、ステレオ、ラジオ、ゲームなどのメディア機器、携帯電話、PDA、デジタル・カメラ、デジタル・ビデオなどの携帯機器、冷蔵庫、エアコン、食器洗浄器、電子レンジなどの白物、そのほか扇風機、風呂、便器、インターホン、電話器、おもちゃと、それこそスイッチのついているあらゆる製品にマイコンが使用されています。

DSPはベースバンド処理，音声 CODEC，無線モデムなど専用機能を実現

それではDSPはどうでしょうか？ じつはDSPも，多くの分野で使用されています(図1-1)．上に挙げた例のなかでは，デジタル携帯電話のベースバンド処理にDSPが使われていることは有名です．このアプリケーションだけで年間数千万個のDSPが市場で利用されています．デジタル携帯電話のDSPはおもに音声の圧縮，伸張を行います．「音声コーデック」と呼ばれる機能です．携帯電話では変調の前にユーザの声を圧縮することで，伝送に必要なビットレートを減らします．初期のTDMA デジタル携帯電話は圧縮率を上げることで帯域幅を削減しましたが，次に現れたCDMA デジタル携帯電話では，可変ビットレート音声 CODEC と CDMA 方式の統計的な性質を併用することにより，TDMA 方式よりも高い回線収容率と品質を実現しました．

携帯電話では，基地局でもDSPを使用しています．この分野では音声コーデックのほかに無線モデムまでDSPで処理しようという動きがあります．

通信回線ではそのほかにネットワーク・サービス・プロバイダ用のRASモデムや，音声圧縮方式を変更するトランスコーデックなどにもDSPが用いられています．これらは，1枚のボードの上で何チャネルに対応できるかという単位面積あたりの性能が求められる分野です．このような分野では，実装密度を上げるために低発熱であることも求められるのはいうまでもありません．こういった低消費

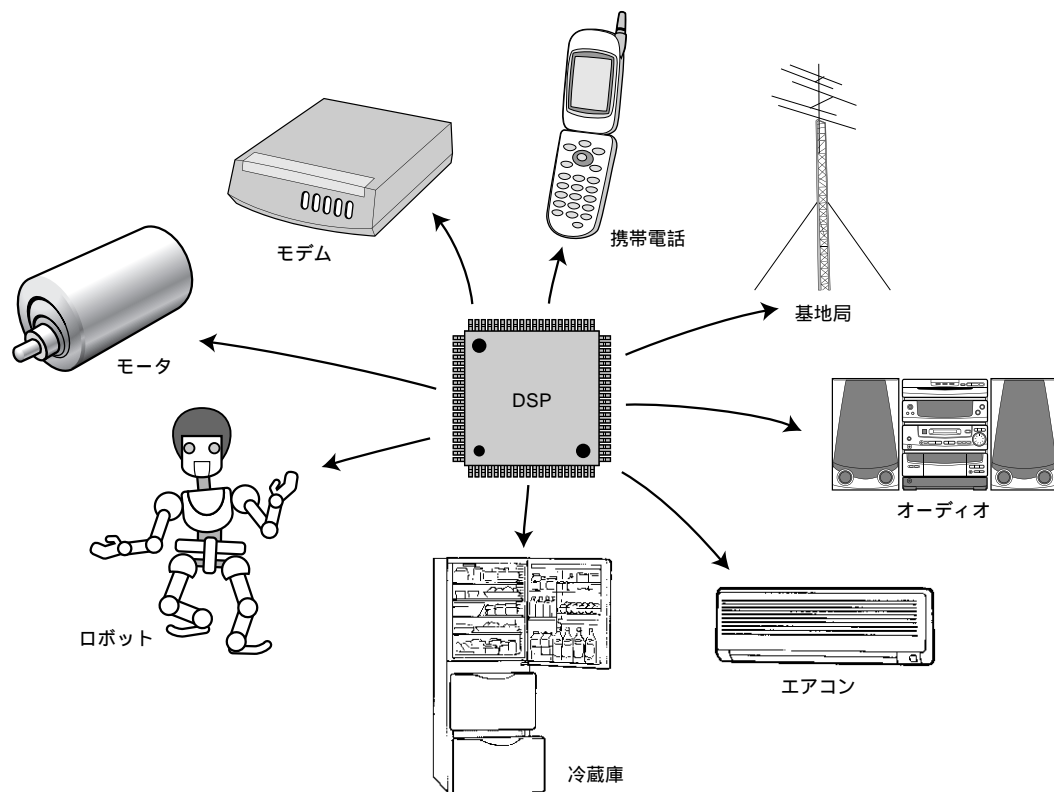


図1-1 広く使われているDSP

電力かつ高性能といった分野は、DSPが得意とするところです。

また、モータやサーボの制御にもDSPがよく使われます。高速の光磁気ドライブは1990年代初期にDSPが成功したアプリケーションの一つです。アナログ制御していたヘッドのサーボをデジタル制御に変えることで、単純な線形制御に基づく方式からより高速な非線形制御理論に基づく方式へと制御系を改良することができました。また、モータ制御に関しては、最近とくに低騒音運転や低消費電力運転を目的として冷蔵庫やエアコン、洗濯機などにDSPが導入されています。

最近ホットな分野としては、実時間の画像処理を挙げることができます。DSPの性能向上によって、実時間の動画圧縮や動画伸張といったビデオCODECをソフトウェアで実装できるようになりました。

高速信号処理に使用するデバイスの棲み分け ASIC, FPGA, DSP

高速の信号処理には、FPGAやCPLD、ASICを使うこともあります。速度だけを考えればそれらのデバイスを使えばよさそうです。しかし、そうならないのは、こういったデバイスとDSPの間にそれぞれ一長一短があるからです(図1-2)。

ASICは最先端のプロセスを提供してくれるファブのおかげできわめて高速な製品を開発することができます。また、VHDLのようなハードウェア記述言語が普及したおかげで開発効率がずいぶんよくなりました。しかし何といてもASICを信号処理に使う最大の利点は、アプリケーションにぴったりあった回路を最小のチップ・コストで実現できることでしょう。汎用DSPと異なり、必要な回路だけを実装したASICはうまく設計すると非常に小さな回路にすることができます。反面、ASICの開発コストは今でも決して安いとはいえず、とくにマスク・リリースにかかる費用は年々うなぎのぼりに上昇しています。また、大きな欠点として1回の修正にかかる時間が長いことが挙げられます。たとえばちょっとした改良を行った場合、それが製品に適用されるには設計時間を除いても工場の中で数週間かかってしまうのです。

FPGAとCPLDは、ASICの納期問題に対するうまい解決策です。この分野ではXilinxとAlteraという両雄が常に競い合ったことにより、性能と集積度が急速に伸びました。これによって価格も急激に低下しています。設計変更に関しては、ハードウェア記述言語からのコンパイルが終われば、すぐ

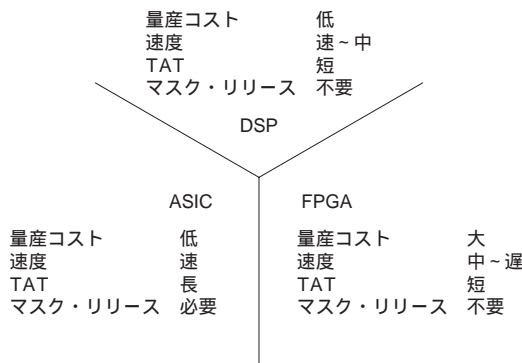


図1-2 信号処理にも適材適所 DSP, FPGA, ASIC

さま変更結果を確かめることができます。欠点は、価格です。集積度の高いFPGAは、目の玉が飛び出るような価格です。しかし、ローコストの製品について最近急激にコストが下がってきたので、信号処理の分野でもこれから大きく成長するかもしれません。速度に関しては、同じ設計ならばASICよりも劣ります。そのほか、乗算器のような規模の大きな回路を繰り返す使用と、よほど工夫しないかぎり回路規模がどんどん増大していくという欠点もあります。

汎用DSPの特徴は、ASICやFPGA、CPLDの欠点や利点の裏返しでもあります。たとえば、ハードウェア開発を行わなくてもよいので、FPGAやCPLD同様設計変更に対するターン・アラウンド・タイムは非常に優れています。反面、プログラムが直列動作を行うために、ASICやFPGAほど高速に実行することはできません。この欠点の裏返しとして、乗算器を多用しても回路規模が増えることはないという利点もあります。コストは量産時、開発時ともASICとFPGAの間くらいでしょうか。

このように、DSPは、ASICやFPGAと並ぶ有力な選択肢です。欧米やイスラエルなどでは、信号処理分野は非常に高収益の産業です。こういった国々にはDSPプログラミングを専門に行うベンチャーが数多く存在します。しかし残念ながら日本ではまだまだ、といったところです。

1-2 Blackfinアーキテクチャ

次章でBlackfinアーキテクチャに基づくADSP-BF533の詳細を説明します。その前に、Blackfinアーキテクチャの背景と概要について、ここで触れておきます。

Blackfinアーキテクチャの歴史は、1998年のAnalog DevicesとIntelの発表にさかのぼります。両社はこれまでの製品との互換性を廃し、新しい時代にふさわしい高性能DSPを共同で開発すると発表しました。このあとテキサス州オースティンに設立された設計センターで開発が進められ、2000年に最初のコアのテスト・チップが完成しています。テスト・チップはIDFなどでその性能が披露される一方で評価が進み、これをもとにした製品が2001年秋にAnalog Devicesから16ビットDSP、ADSP-21535として発表されました。発表されたアーキテクチャはDSPとして高性能だけでなく、高性能RISCプロセッサとしても使用できるものでした。

Intelはこの共同作業によるDSPアーキテクチャをMSA (Micro Signal Architecture)と呼んでいます。Analog Devicesは当初呼び方を決めていませんでしたが、後にBlackfinというブランドを発表し、これがコア・アーキテクチャの名称になりました。

新しいBlackfinプロセッサは低消費電力、ビデオ信号の入出力、ネットワークに対応

2003年春にはコアを改良した新しいBlackfinシリーズが発表されます。このシリーズのコアはADSP-21535のコアに小さな改良を施したコアを搭載しており、消費電力を下げるとともに性能を向上させました。新しいDSPのラインナップはADSP-BF531、BF532、BF533です。また、同時にADSP-21535もADSP-BF535に改称されました。

発表当初コア・クロック周波数600MHzだったADSP-BF533は2004年春に756MHzまで動作周波数が引き上げられました。これに伴って下位のBF531/2も、動作周波数が引き上げられています。なお、

表1-1 ADSP-BF531/2/3のおもな仕様

特 徴	最大クロック (MHz)	メモリ (Kバイト)	外部メモリ (バス)	パラレル・ペリ フェラル・イン ターフェース	UART , タイマ	シリアル・ ポート ,SPI	プログラマブ ル・フラグ	2線式インター フェース 互換性
ADSP- BF531	400	52	16ビット	あり	あり	あり	あり	なし
ADSP- BF532	400	84	16ビット	あり	あり	あり	あり	なし
ADSP- BF533	750	148	16ビット	あり	あり	あり	あり	なし

特 徴	ウォッチドッグ・ タイマ	RTC	コア電圧 (V)	コア電圧 レギュレーション	パッケージ・サイズ	無鉛パッケ ージ・オプション
ADSP- BF531	あり	あり	0.8 ~ 1.2	あり	160ボール・ミニBGA ,176ピンLQFP , 169ボール・スパースPBGA	あり
ADSP- BF532	あり	あり	0.8 ~ 1.2	あり	160ボール・ミニBGA ,176ピンLQFP , 169ボール・スパースPBGA	あり
ADSP- BF533	あり	あり	0.8 ~ 1.4	あり	160ボール・ミニBGA , 169ボール・スパースPBGA	あり

756MHzという一見半端な周波数は、ビデオ信号処理でよく使われる27MHzの整数倍であることから採用されています。商品としては語呂が悪いので普通は750MHzと呼ばれています。ADSP-BF531/2/3のおもな仕様を表1-1に示します。

さらに2005年になってEthernetのMACとCANを内蔵したADSP-BF537, BF536が発表されました。これらの製品はビデオ信号の入出力とネットワーク接続を一つのプロセッサで行うことをもくろんで開発されています。

また、デュアル・コアのADSP-BF561も、2004年春に発表されました。やはり最大動作周波数600MHzのこの製品は、二つのコアを同時に動かすことで1.2GMAC/秒の性能を發揮します。

Blackfinの今後のロードマップとしては、さらにバリエーションが増えることが公表されています。その中にはデュアル・コアの新製品やCAN, USBといった新しいペリフェラルをもつ製品も含まれており、今後が楽しみです。

Blackfin コアはビデオ信号処理をねらえる性能と、携帯用情報機器に使用できる低消費電力を両立することをねらったアーキテクチャになっています。この両方を満たすため、積極的な並列演算を取り入れて演算性能を向上させながらも、スーパースケラや並列度の高いVLIWのような消費電流が大きくなりがちな機構は避けています^{注1}。レジスタ・セットは32ビットのデータ・レジスタ8本と、アドレス・レジスタ8本が中核となっており、比較的「おとなしい」構成です。これらにあわせて、信号処理用のサーキュラ・アドレッシングに対応したインデックス・レジスタや、浅いネスト用のループ・レジスタが用意されています。動作モードはユーザ・モードとスーパバイザ・モードが用意され、必要に応じて資源の保護ができるようになっています。

注1：VLIWが必ず大消費電力かという点、そうでもない。Texas InstrumentsのC55xは低並列度VLIWプロセッサだが、Blackfin同様に低消費電力DSPという位置づけになっている。

比較的おとなしいプログラミング・モデルのプロセッサ・コアを使いながら、パイプラインはBF533で10段と、Analog DevicesのDSPにしては深めです。これは周波数を高めるための方策であり、0.13 μ mで750MHzを達成しているところを見ると、成功したといえるでしょう。

Blackfin プロセッサがめざすアプリケーション

高性能のBlackfin プロセッサですが、そのめざすものは何でしょうか。それは一言でいえば、マイクロプロセッサとDSPの融合です。たんにアーキテクチャを融合するだけでなく、双方の開発手法やアプリケーションを融合することで、信号処理にはリアルタイムOS (RTOS) やオブジェクト指向などの高生産性開発環境を、汎用アプリケーションにはビデオ入力などの高速信号へのインターフェースを提供します。

たとえば、家庭用のセキュリティ・カメラを考えてみましょう。留守中の家の中をカメラで監視して、外出先からも見る事ができるようなカメラです。すぐに思いつくのは、ビデオ信号を読み込ん

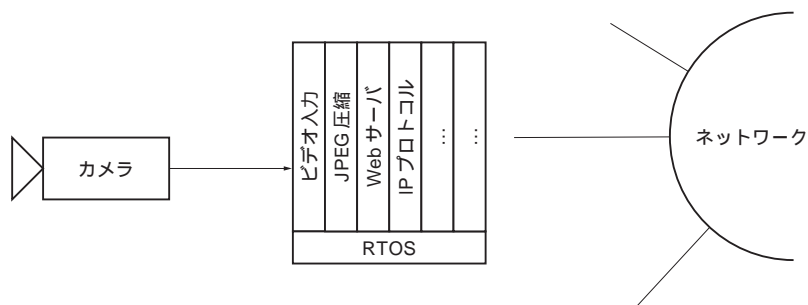


図1-3 アプリケーションの例：家庭用セキュリティ・カメラ

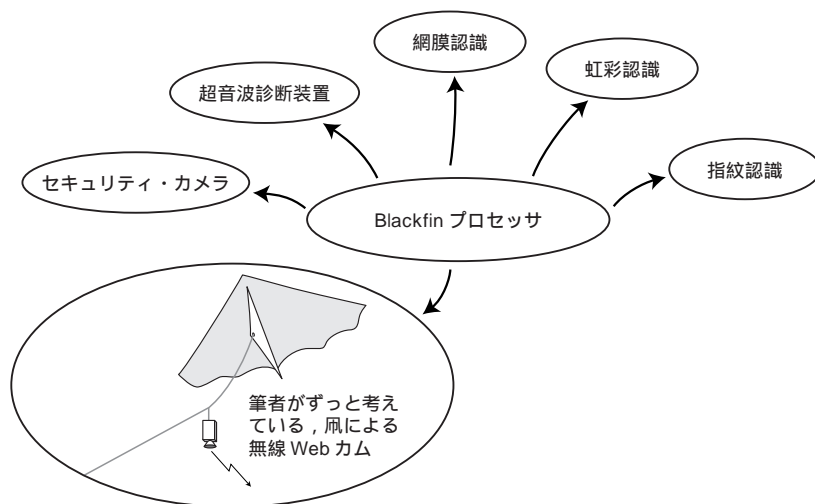


図1-4 Blackfin はセンサ位置での信号処理にも適している

でJPEG圧縮し、リクエストがあるたびに送信するWebサーバです。このような装置は携帯電話やキオスク端末、会社のPCなどから容易にアクセスできるため、いつも室内を見られるという安心感があります(図1-3)。

このセキュリティ・カメラを実装する場合、次のようなことを考えるでしょう。

ビデオ信号入力用にCPLDやFPGAは使いたくない。

既存のプロトコル・スタックやRTOSを使って開発の手間を省きたい。

普通に考えれば、ARMプロセッサなどを使って安く済ませたいところです。幸い、JPEG圧縮にはたいしたCPUパワーは必要ありません。

しかし、これに動画エンコード機能をつけたくなるかもしれません。携帯電話の中にも動画を受けられるものがありますし、ましてパソコンであれば簡単に動画を見られます。残念ながら低価格汎用マイコンでは、ここでギブアップです。専用の動画エンコーダでも利用すればいいかもしれませんが、回路設計はやりなおしです。さらに、二つ以上のエンコード方法に対応するなどという場合には、頭を抱えてしまいます。

Blackfinプロセッサは、こういった場合に力を発揮します。本書で取り上げるADSP-BF533は、外部にハードウェアを用意しなくても、ITU-R BT656出力のカメラであればPPI(パラレル・ペリフェラル・インターフェース)ポートを利用して直結できます。また、NTSC出力のカメラを接続する場合も、AD7183Aのようなビデオ・デコーダを使って取り込めます。ADSP-BF533は処理能力に十分な余力があるため、大画面でなければビデオ圧縮を行いながらプロトコル制御を行うことも可能です。また、ソフトウェア処理なので、新しい圧縮方式に対応するような場合でもプログラムを書き変えるだけで対応できます。

こういったDSPとマイクロプロセッサの組み合わせは、何もビデオ処理にかぎりません。オーディオ処理を行う場合もRTOSへの親和性の高いBlackfinは、信号処理をITRON4などのOSのタスクとして実行しながら、他方でUSBやEthernetのプロトコル・スタックを走らせることができます。タスク・スイッチ時間がきわめて短いため、高いレートのオーディオ信号に対しても余裕をもって対処できます。

同様に静止画の処理においても、汎用マイクロプロセッサより高速な能力を生かして複雑な処理を行わせることができます。たとえば流行のバイオ・メトリクス分野では、取り込んだ静止画から指紋や光彩、網膜のパターンを調べるような処理が行われます。こういった分野での応用がすでに始まっています。

また、AD9235のような高速A-Dコンバータと接続することにより、高速信号を取得してその場で処理するといったことも可能です。医療用のアプリケーションでは、がん検診や成人病検診用にポータブルな機器が求められています。そういった機器から入ってくる超音波信号をプローブの位置で処理するようなことも可能になるでしょう。

こういった処理は、DSPと汎用マイクロプロセッサを使って2チップで実現することもできますが、Blackfinプロセッサは二つのプロセッサの役割を1チップで実現します。「高速・大容量データをセンサ位置で処理して送出する」、そういうアプリケーションはBlackfinの得意な分野といえます(図1-4)。

1-3

Blackfin アーキテクチャと Blackfin プロセッサ

本書ではBlackfin アーキテクチャ，Blackfin プロセッサなどといった言葉を混せて使っています．
Blackfin アーキテクチャと呼ぶときには，実際の製品から離れたより抽象的なプログラミング・モデルを指します．

Blackfin プロセッサと呼ぶときには，Blackfin アーキテクチャに基づく実際の製品やファミリを総称します．

個別の製品を指し示すときには「ADSP-BF533」のように製品名を挙げます．