

ARMアーキテクチャの昨日、今日、明日 ARMプロセッサ・シリーズと Cortex-M3の概要

五月女哲夫

ARMプロセッサは、高性能組み込みプロセッサとして年間30億個近く出荷されている。ARM7TDMIでアーキテクチャが確立されるまで、多くのうよ紆余曲折を経てきた。ARM7TDMIで確立されたアーキテクチャは、市場からの要求に応えながら性能を高め、機能を拡張してきた。現在、ARMプロセッサは多くの製品ファミリとアーキテクチャ・バージョンから構成されている。また、多くの機能や性能要求に応えながらソフトウェア互換性を維持し続けている。

この章では、前半で最新のCortexファミリが今までどのように拡張されてきたのかを説明し、後半ではアーキテクチャが大きく拡張されたCortex-Mシリーズについて、その特徴的な機能を説明する。 (筆者)

1. ARMプロセッサとCortexシリーズの位置づけ

● ARM7-ARM11ファミリの変遷

現在のARMプロセッサの事実上のスタート・ポイントはARM7TDMI^{注1}です。開発年度は1994年なので既に15年近くが経ちますが、いまだに新しいチップに採用され続けており、第一線のプロセッサです。

ARM7TDMIはARM7ファミリに属し、アーキテクチャ・バージョンはv4Tです(図1)。ARM7TDMIは初期の携帯電話に搭載されることで出荷数量を伸ばしてきました。マイコンに搭載されてコントローラとして使われる場合や、MMU(Memory Management Unit)を搭載してアプリケーション・プロセッサ^{注2}として使われる例も多くあ

ります。

ARM7ファミリの次はARM9ファミリです。ARM9ファミリでは、パイプラインの段数をARM7TDMIの3段から5段に増やし、動作周波数が向上しています。また、バスをユニファイド(統合)型からハーバード型に変更し、命令とデータのアクセスの衝突を避けています。

アーキテクチャのバージョンは、前期のARM920Tなどは引き続きv4Tでしたが、後期のARM9Eシリーズではv5TEになりました。アーキテクチャのバージョンアップに伴い、命令セットにもいくつかの命令が追加されました。大きな変更点は、信号処理用の命令群が追加されたことです(v5TEのEはEnhancedの略)。具体的には積和演算の強化や飽和演算^{注3}の追加などが行われています。これは信号処理の用途に使われることが多くなってきた時代背景を映しています。ARM926EJ-SのJはJazelleの略で、Javaバイト・コードを直接実行する機能を持ちます。

ARM9ファミリの次はARM10ファミリです。ARM10ファミリはもともと1990年代の末にハード・マクロとして実装されました。2000年代になってからソフト・マクロとしてARM10EシリーズのARM1026EJ-Sが開発されました。ARM10Eではパイプラインを6段にし、内部や外部のデータ・バスを64ビット化することで性能向上を実現して

注1: ARMプロセッサのうちのARM7ファミリに属するハード・マクロ型のプロセッサ。Sが付くとソフト・マクロ。

注2: プロセッサの分類で、主にアプリケーション処理に用いられる。代表例は携帯電話のアプリケーション・プロセッサ。高度なOSを必要とするのでMMUが必須となる。

注3: 整数の信号処理演算。演算結果が表現形式を超えた場合に値の意味が大きく変化しないように、表現可能な限界で演算値を“飽和”させる処理。

Keyword

ARM7TDMI, ARM9, ARM10, ARM11, 動的分岐予測器, アンアラインド・アクセス, TrustZone, AXI, Thumb-2 命令, SIMD 命令, Cortex-A, Cortex-R, Cortex-M, MPcore, AMP 構成

います。

ARM10 ファミリの次が、ARM11 ファミリです。ARM11 では性能の向上とともに機能を拡充するアーキテクチャの拡張を大範囲に行っています。アーキテクチャ・バージョンはv6 となりました。パイプラインは8 段以上になり動作周波数も上がっていますが、パイプラインのフラッシュ・ペナルティが深刻になるため動的分岐予測器^{注4}を搭載しています。バスも2 本以上搭載され、周辺アクセス用やDMA(Direct Memory Access)用のバスが用意されています。機能の追加や洗練された点も多くあり、いくつか例を挙げると、バスのアンアラインド・アクセス^{注5}の追加、ベクタ割り込みの対応、TrustZone^{注6}と呼ばれるセキュリティ対応機能、バスのAXI^{注7}への移行などがあります。

さらに SMP(Symmetric Multiprocessing)対応のマルチプロセッサ機能も追加されました。ARM1156T2-S には Thumb-2 命令セットが追加されました。追加された命令としては整数の SIMD 命令群^{注8}があります。

● Cortex ファミリの登場

ARM11 ファミリの次は ARM12 ではなく Cortex ファミリです。ファミリ名を番号ではなく固有名詞に変えるに至った背景には、ARM プロセッサに搭載される製品の多様化があります。

ARM プロセッサというと、携帯電話に搭載されるプロセッサという印象があります。間違いではありませんが、今では携帯電話以外の製品にも多く搭載されるようになっています。高性能なデジタル家電から産業機器まで幅広

い用途に使われるようになってきました。また、携帯電話ひとつとっても要求される処理性能は製品により数倍の開きがあります。このように性能と機能の両方向で非常に広い範囲をカバーすることが ARM プロセッサに求められるようになりました。このような状況においては、従来の“ファミリが一つ進むと性能と機能が漸次向上する”というロードマップでは、多様な市場要求に応えられなくなってきています。

そこで ARM は、性能や機能に関係なく ARM11 の次は Cortex というファミリで統一し、そのファミリの中に用途ごとにアーキテクチャの種類を定義しました。それが Cortex-A、Cortex-R、Cortex-M の三つです。図2 ではこの三つの種類の位置づけを3 本の矢印で表現しています。左の矢印が ARM7TDMI を起源として低電力小面積を特徴とするマイコンなどに使われてきた製品系列、真ん中の線が高性能な組み込み製品に使われてきた製品系列です。携帯電話のアプリケーション・プロセッサなどの分野では、近年その要求性能が指数関数的に上がっていることが、図を見ても分かります。一つのアーキテクチャでこれらのすべてをカバーするのは非常に困難な時代になってきました。

注4：分岐命令によるパイプラインのフラッシュ発生頻度を下げるために、分岐先を予測する回路。過去の分岐結果で予測を動的に変化させるので動的分岐予測と呼ばれる。
注5：データをアクセスする際に、データがそのデータのサイズ単位のアドレスごとに重ねられていないアクセス。例えばバイト・アドレス3番地からワード・データが重ねられていても1命令でアクセスできる。
注6：ARM プロセッサのセキュリティ機能拡張のひとつ。プロセッサの実行空間をセキュア空間と非セキュア空間に分割する。
注7：Advanced Extensible Interface。AMBA 3.0 で導入された高性能なバス・インターフェース・プロトコル。最近の高性能な ARM プロセッサで採用されている。
注8：Single Instruction Multiple Data。1命令で複数のデータを同時に処理する命令。

Cortex	v7-A	v7-R	v7-M
2005年			
ARM11	v6K	v6Z	v6T2
2002年			
ARM9E	v5TE/J		
2000年			
ARM9	v5T		
1998年			
ARM7	v4T		
1994年			

図1 アーキテクチャ・マップ

ARM プロセッサは1994年のv4Tに始まり、v7まで進化してきた。v7ではアーキテクチャ・プロファイルが導入され、Aプロファイル、Rプロファイル、Mプロファイルに分類される。

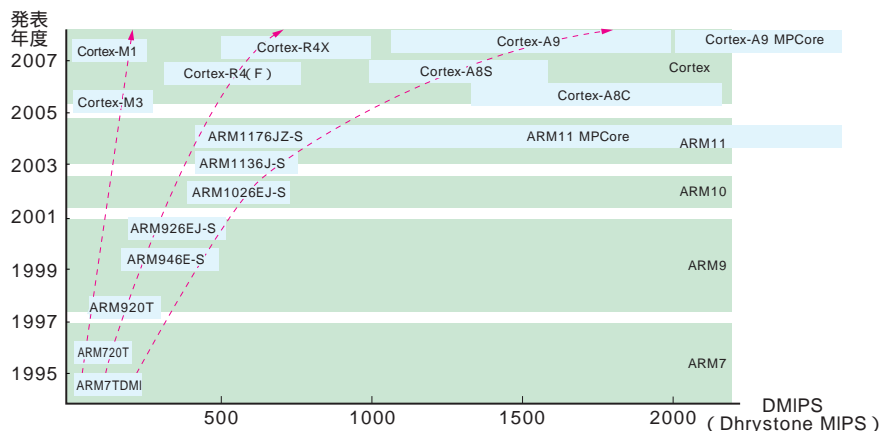


図2 ARM CPU 開発のロードマップ

各プロセッサの発表年度と性能カバー範囲。性能は実装に使うプロセスやテクニックで変動する。近年、アプリケーション・プロセッサに高い性能が求められていることが分かる。DMIPSは現時点のプロセス技術での値。動作周波数はプロセス技術、電装技術で変化する。