

“Sandy Bridge” と Intel CPU の行方

山口 浩明, 今宮 久夫

Hiroaki YAMAGUCHI, Hisao IMAMIYA

1 はじめに

近年, CPU の性能はマルチコア化によって向上している。しかし, CPU コア自体の性能向上が停滞しているため, Intel CPU の性能は年平均 15 ~ 20 %アップにとどまっている。これは, 2002 年までの年平均 50 %アップに比べると鈍化している。そこで Intel は, 従来使用されていた x86 命令セットから新しい命令セットを開発することで, CPU コア自体の性能を向上し, 以前のような CPU の向上幅を図る試みが行われている。現在このような新命令セット「Intel AVX」を搭載した「Sandy Bridge」と呼ばれる CPU の開発が行われており, 2011 年に発売が予定されている。

本稿では, Intel CPU の今後の性能向上の方法と, 新命令セットを搭載した Sandy Bridge について述べる。

2 CPU 性能の経緯

2.1 これまでの CPU コアの性能向上

2002 年まで, CPU は平行処理を行わず, すべての命令を逐次実行していくシングルスレッドのスタイルであった。その際, ソフトウェアで, 新しい命令や新しいモードに対応しなくても, 整数演算性能が年平均 50 %ずつ向上してきた。しかし, 2002 年以降 CPU コアの性能は年平均 15 ~ 20 %アップにとどまっている。Fig.1 に CPU コア性能の経緯を示す。

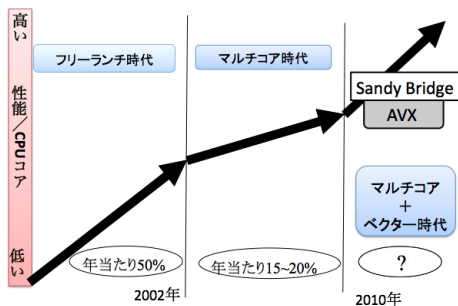


Fig.1 CPU コア性能の経緯 (参考文献¹⁾ より参照)

Fig.1 に示した鈍化の原因として, 命令レベルの並列性である ILP (Instruction-Level Parallelism) と消費電力が関係する。ILP を向上させようとすると電力消費が増えるが, 以前ほどの ILP の向上は得られないため, 消費電力の割にパフォーマンスが悪化する。しかし, 電力はすでに PC とサーバーに搭載できる限界に近いところまで上がってきている。そこで CPU メーカーは, CPU コアの性能の向上よりもマルチコア化で CPU の性能を高

めるマルチコア時代になった。

2.2 これからの CPU コアの性能向上

これから Intel が重点を置くのは, ILP が行き詰まった整数演算ではなく浮動小数点演算である。また演算のスタイルもスカラー (一度に 1 つのデータを扱う) 演算ではなく, ベクター (一度に複数のデータを扱う) 演算である。ベクター演算の性能を高める方法は, 1 命令で扱うデータの数を増やすことである。命令当たりのデータ数を増やすことで, 計算上のピーク性能は向上する。そのためには, 命令セットを拡張する必要がある。このような拡張を行っている命令セットで, 「Intel AVX (Intel Advanced Vector Extensions)」が挙げられる。この「Intel AVX」を搭載した CPU アーキテクチャに「Sandy Bridge」がある。

3 Sandy Bridge

3.1 Sandy Bridge の概要

Sandy Bridge とは, 2011 年前半発売予定の CPU アーキテクチャである。大きな特徴として, 新命令「Intel AVX」が実装されている。また, ターボモードによる従来の x86 命令よりもエネルギー効率の高いパフォーマンスを実現しており, プロセスルールは 32nm である。プロセスルールとは, 半導体部品の中の, 基本的な配線 (線幅) の太さを表すものであり, この値が小さいほど, 一定のサイズに多くの要素を詰め込むことができ, 性能を高めることができる。

Sandy Bridge 世代のデスクトップ CPU は, パフォーマンス PC 向けの「Sandy Bridge H2」とハイエンド PC 向けの「Sandy Bridge B2」がある。Sandy Bridge H2 は, CPU コア数 4 つに加え, GPU コアも内蔵しており, 3D グラフィックス等に効果を発揮する。Sandy Bridge B2 は, グラフィックス機能を省き, GPU コアのかわりに CPU コア数を増やし最大で 8 コアを実装することにより高いパフォーマンスが期待できる。

3.2 AVX のパフォーマンス

AVX は, 演算装置において 1 回の命令で複数データに対する処理を行う命令セットである。演算幅 (演算で 1 度に扱えるデータの幅) は従来の倍となる 256 ビットであり, レジスタは 128 ビット長から 256 ビット長に拡張されるため, 理論上 1 命令で扱えるデータの数と実行できる演算の数は x86 の 2 倍の 8 データを扱えるようになる。Fig.2 にベクタ命令の拡張を示す。

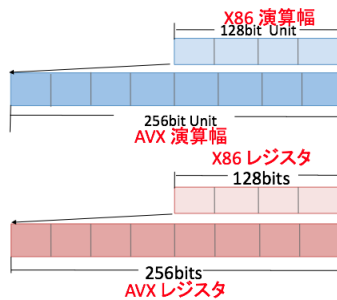


Fig.2 ベクタ命令の拡張(参考文献²)より参照

3.3 3・4 オペランド命令

従来の x86 命令セットのほとんどが2オペランド命令であったが、AVX では3もしくは4オペランド命令を導入している。オペランドとは演算が作用する対象のことを指す。A+B → C という演算を行う際の、オペランド命令によっての手順を Fig.3 に示す。

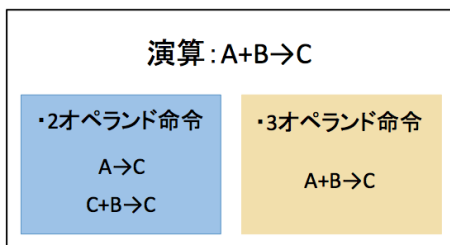


Fig.3 オペランド命令(出典: 自作)

Fig.3 で示した2オペランド命令では、オペランドが2つしか指定できないため、A → C、C+B → C という2命令が必要になる。対して、3オペランド命令では、オペランドが3つ指定できるため、A+B → C が1命令で実現でき、命令数を減らすことができる。

3.4 命令フォーマット

3.4.1 x86 の命令フォーマット

x86 の命令フォーマットは、新しい命令やレジスタを拡張する際、オペコード(プロセッサの命令をビット列に置き換えたもの)の前に1バイトの命令プリフィックス(拡張した命令やレジスタを指示するもの)を追加する形式である。この形式は幾らでも拡張が可能だが、命令長が長くなり可変長である。命令長が可変長だと命令デコーダ(解読器)が命令の長さを特定する作業が必要になり、解読が複雑になる。そのためデコーダは肥大化し消費電力量の増大を招くと共に、CPU の高速化にの妨げとなっている。

3.4.2 VEX フォーマット

AVX 命令セットでは、今まで拡張してきた命令を3バイト、もしくは最大でも4バイトの固定長にする VEX フォーマットを導入する。このフォーマットを Fig.4 に示す。

Fig.4 に示した通り、VEX フォーマットは VEX プリフィックスと1バイト、もしくは2バイトのペイロード

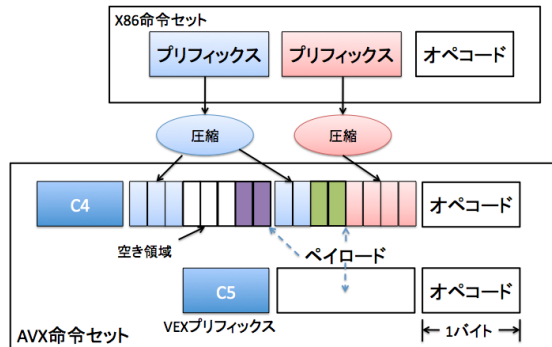


Fig.4 VEX フォーマット(参考文献³)より参照

によって構成されている。デコーダは最初に VEX プリフィックスを読むことで、命令長の長さを特定できる。VEX フォーマットの特徴は、x86 命令セットのプリフィックス群に含まれる情報を圧縮し、ペイロードの中に入れ込むことである。ほとんどのプリフィックスは1バイトのペイロードに取り込めるが、Sandy Bridge で拡張された新レジスタなどを使用する場合、2バイトのペイロードを使用する。また、2バイトのペイロードには将来の拡張のために3ビットの空き領域が残されている。3ビットあれば1000以上の新命令が拡張できるため、4バイトを超えることはない。これにより、可変長による解読の複雑化を解消する。

3.5 ターボモード

3.5.1 ターボモードとは

ターボモードとは、環境条件をうまく使うことで、TDP(Thermal Design Power: 熱設計消費電力)やCPUの冷却能力の範囲内でより高いパフォーマンスを引き出す機能である。Sandy Bridge では、電力制御を行う「PCU(Power Control Unit)」拡張され、さまざまなトリガーでターボモードへの遷移が行われるようになる。

3.5.2 アイドル状態の CPU コアを利用する方法

並列性の高いアプリケーションの場合は、全ての CPU コアを規定の周波数で動かすことでパフォーマンスを得る。しかし、スレッド並列性の低い場合は、アイドル状態になった不要な CPU コアはスリープさせ、その分の電力を TDP 内に収まる範囲でアクティブな CPU コアに振り当て、周波数をブーストさせる。このターボモードを Fig.5 に示す。

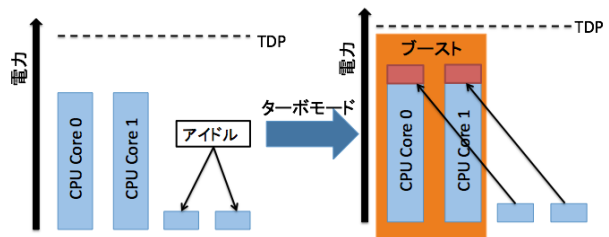


Fig.5 アイドル状態の利用(参考文献³)より参照

動的にある程度細かな粒度で制御することで、同じ TDP の枠内で、スレッド並列性の低いアプリの性能を飛

躍させる。この手法は CPU コア数が増加するほど有用である。

3.5.3 環境温度の変化を利用する方法

CPU のスペックでは、環境温度が 35 度で定義されている。しかし、実際のオフィスの温度はほとんどがそれより低く、そうした環境の条件を動的に利用する。この環境温度の変化を利用したターボモードを Fig.6 に示す。

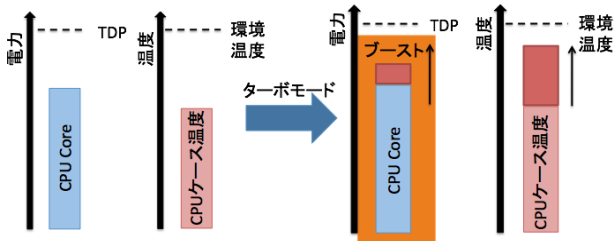


Fig.6 環境温度の変化 (参考文献³⁾より参照)

Fig.6 に示したプロセッサ周辺の温度が、環境温度に対して余裕を残している場合、ターボ状態に入り、環境温度の範囲内で性能を向上させることができる。プロセッサ周辺の温度はオフィス環境に依存するため、オフィス環境が変われば、ターボ状態が解除される。さらに前節で述べたアイドル状態を利用する方法との組み合わせにより 20 % といったパフォーマンスが得られることが期待される。

3.5.4 プラットフォーム温度の変化を利用する方法

プラットフォームがコールドな状態を利用する時は、ターボによって CPU の消費電力が上がり、プラットフォーム自体の温度が上昇すればターボを解除する。この手法でのターボモードを Fig.7 に示す。

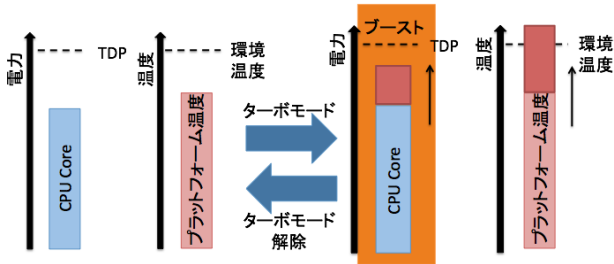


Fig.7 プラットフォーム温度を利用したターボモード (参考文献³⁾より参照)

一時的に TDP を超えてブーストする短いサイクルのターボモードである。例えば、1 分間といった短いサイクルでのターボが想定されている。周波数の向上の幅も約 30 % とより大きくなる。それまでクールだった分の温度差を使って短期間でターボするため、このターボモードが利用できるのは、システムの稼働率が低く、プラットフォームが冷えた状態から、高負荷のアプリケーションを立ち上げた状態などである。

4 今後の Intel CPU

Intel は「Intel AVX」の命令セット以降も、「Fused Multiply Add (融合積和算)」と呼ばれる 1 つの命令でかけ算と足し算を行う命令セットを発表予定であり、今後も新しい命令セットが実装される予定である。また、2012 年には、「Sandy Bridge」に改良を加えたマイクロアーキテクチャである「Ivy Bridge」が発売予定である。これは 22nm プロセスルールで、製造技術の刷新が行われるため、マイクロアーキテクチャの改良は小幅なものとなる見込みである。しかし、製造コスト等の問題によりプロセスルールは 18 ~ 22nm で限界を迎える見通しである。そのため、プロセスルール以外の CPU の性能向上の方法を見つけなければ、それ以降の向上率は、年平均 50 % を保つことは難しいと思われる。

5 まとめ

Intel が目指す今後の CPU コアの性能向上の方法は 2 つある。1 つは、マルチコア化である。もう 1 つはベクター型の浮動小数点演算の性能にフォーカスし、命令セットを拡張することによって CPU コア自体の性能を高める方法である。次世代マイクロアーキテクチャである「Sandy Bridge」には新命令セット「Intel AVX」が搭載されている。AVX の命令フォーマットやターボモードにより、CPU コアの性能向上の鈍化の原因となっていた「Power Wall」の問題を解消でき、以前のように年平均 50 % の性能向上が予想される。また、AVX 以降も「FMA」などの命令セットが実装される予定であり、命令セットの拡張が期待される。

参考文献

- 1) 後藤弘茂の Weekly 海外ニュース (x86 からの脱却を図る Intel の新ロードマップ)
<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2008/0407/kaigai434.htm>.
- 2) 後藤弘茂の Weekly 海外ニュース (intel の次期 CPU 「Sandy Bridge」のデュアル GPU コアの謎)
<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/column/kaigai/20100412.360173.html>.
- 3) 後藤弘茂の Weekly 海外ニュース (環境条件を利用して性能を引き上げるターボモードの秘密)
<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2007/1217/kaigai408.htm>.