パソコン用 CPU における数値演算の進歩

PC microprocessors ' Achievement of Floating Point Peformance

松原　敦，日経 BP 社日経バイト編集，東京都千代田区平河町 2-1-1, E-mail: matsu@nikkeibp.co.jp
Atsushi Matsubara, Nikkei Byte, Nikkei Business Publications, Inc., 2-1-1 Hirakawacho, Chiyodaku, Tokyo

Performance of floating point instructions on PC microprocessors was almost ignored for a long time. The situation has changed since the emergence of 3D processing and audio/visual encode/decoding for mainstream use. In 1998, AMD began supporting 3DNow! instructions, and in 1999 Intel began supporting SSE. Both new instructions speed up vector processing. New and upcoming 64bit processors continue this trend. Speeding up CPU clock is another method for high speed processing. Because of aggressive battle between Intel and AMD, x86's clock is finally leading other processors.

１．遅れてやってきた浮動小数点演算

パソコン用のプロセサとして代表的な x86 系プロセサは，浮動小数点演算の性能に関しては常に RISC（Reduced Instruction Set Computer）の後塵を拝してきた。

x86 で浮動小数点演算が重視されなかった理由の一つは，その一般向けの用途があまりなかったためであるが，事態は変わってきた。3D グラフィックス機能が台頭したことがその第一の原因であり，Intel，AMD（Advanced Micro Devices）が相次いで，浮動小数点の積和演算をまとめて行う SSE（Streaming SIMD Extension）や 3DNow！をサポートするようになった。MP3 を代表とする，音楽圧縮・伸張においても浮動小数点の積和演算は必要であり，再びその価値が認識されるようになった。

1990 年代初期は，RISC と x86 との性能差の拡大から Microsoft が Windows NT で MIPS，PowerPC，Alpha といった RISC プロセサをサポートするようになった。しかし，x86 の絶え間ないスピード競争から次第に RISC との差は縮まり，Microsoft も現在の Windows 2000 では，再び x86 プロセサだけをサポートするようになった。x86 は，これまで最速だった Alpha と比べても，動作周波数で見ればすでに，追いつき，追い越すところまで来ている。

2001 年には新たに 64 ビットのプロセサが出荷を始める。Intel の Itanium（アーキテクチャは IA-64）は，まったくこれまでと違うアーキテクチャであり，その性能を引き出すには，優れたコンパイラが必要になる。AMD の x86-64 は新味は少ないが，これまでの延長でプログラミングできる。

２．動作周波数の向上とハードウェア・アーキテクチャ

数値演算性能の向上には大きく分けて二つの要素がある。動作周波数の向上と，アーキテクチャの刷新である。

この中でプロセサの内部動作周波数の向上は，①他のハードウェアやソフトウェアの変更を伴わずにできる，②特定の処理だけでなく，全体の処理性能を向上できる，という点で優れている。そのため，現在高速化の大部分は動作周波数によって実現されている。

x86 プロセサの命令体系は不定長の CISC（Complex Instruction Set Computer）である。そのため，動作周波数の向上が難しかったが，95 年の Pentium Pro で内部的に RISC 風命令に変換するようになり，それは 97 年の Pentium Ⅱ，99 年の Pentium Ⅲでも変わっていない。2000 年の Pentium 4 では同様の考え方ながら，パイプラインを深くして動作周波数を上げやすくした。NetBurst アーキテクチャという。当初から 2GHz を達成する。

AMD は K5，K6，Athlon と RISC 風命令への変換アーキテクチャを 3 代持っている。最新の Athlon では，非常に洗練された形となり，PentiumⅡ/Ⅲでは 2 クロックかかる乗算命令を 1 クロックで実行し，スーパスケーラも働く。動作周波数の向上以上に浮動小数点演算を高速化する。

x86 プロセサを搭載したパソコンでは，ユーザが独自に動作周波数を上げて実行する「オーバクロッキング」も盛んに行われている。マザーボード上の水晶発振子を交換したり，プロセサを冷却することによって実現する。これらの改造の中でも最高速のレベルのものは常用というより，一時的なベンチマーク用であるが，米 KryoTech 社は，CPU を-40℃まで冷却することによって，最高レベルの性能を常用できるようにする。

３．ソフトウェア・アーキテクチャ

プロセサの命令セット・アーキテクチャを代えることでの高速化は，プログラムの書き直しや開発ツールの手助けが必要な点で，開発者に負荷がかかるが，特定の用途に合わせて高速化できるため，システムのボトルネックを解消できるという利点がある。

AMD が 3DNow！のサポートを始めたのが 98 年。一方，Intel は 99 年に SSE のサポートを始めた。どちらも，ベクトル演算を並行して行うことによって数値演算を高速化する。一般には SIMD(Single Instruction Multiple Data)演算という。主に 3D グラフィックスの高速化を狙ったものだが，それ以外に使うこともちろんできる。SSE ではメモリ・ストリーミングというメモリからの読み込みを高速化する機能もある。これらの命令は明示的に呼び出さないといけないので開発ツールの手助けがひつようになる。その面では SSE が進んでいる。これらはどちらも単精度の演算しかサポートしていないが，Pentium 4 の SSE2 では倍精度の演算もサポートした。

Intel の 64 ビット・アーキテクチャ IA-64 は VLIW（Very Long Instruction Word）という考え方を取り入れている。複数命令をパックした命令を実行単位にすることで，並列実行の効率を高める。浮動小数点に関しては 82 ビットのレジスタを 128 個と大きく増やし，うち 96 個をループを効率的に実行する「ローテーション」に使えるようにした。最初の実装である Itanium では二つの乗加算器がそれぞれ 1 クロックに最高 2 命令（計 1 クロック当たり 4 命令）実行する。単精度の SIMD 演算ではさらに倍になり 1 クロック当たり 8 命令実行できる。

AMD の 64 ビット・アーキテクチャ，x86-64 は IA-32 を素直に 64 ビットに拡張したものと考えられる。SIMD 用のレジスタは SSE の倍の 16 本になり，倍精度の演算もできるようになる。

Copyright © 2000 by JSCFD