



Michael J. Flynn : Very High-Speed Computing Systems

Proc. IEEE, 54, pp.1901-1909 (Dec. 1966)

SIMD や MIMD といった、並列マシンの構成形態に関する有名な「Flynn の分類」を論じたこの論文を読んだのは、実は今回が初めてであった。もちろん分類自体はよく承知していたつもりであるが、私が小学 4 年生の時に出版された論文自体を読む機会はこれまでまったくなかった。

初めて読んでみて驚かされたのは、なかなか SIMD や MIMD が出てこないことである。冒頭付近で有名な 4 分類、すなわち instruction stream (I) と data stream (D) が単一 (S) か複数 (M) かによる SISD, SIMD, MISD, MIMD の簡単な定義を行った後、2/3 ほどの分量はひたすら SISD (つまり普通のプロセッサ) の高性能アーキテクチャを論じている。

不審を抱きつつ読み進めていくと、この高性能アーキテクチャ論にまた驚かされてしまう。メモリインタリーブ、命令パイプライン、命令バッファ、ロード/ストアキュー、複数演算ユニット、浮動小数点演算器のパイプライン化、out-of-order 実行、分岐予測 (ループカウンタ先見) などなど、現在の高速化技術はほとんどすべて「すでに存在する」技術として論じられている。これらすべてが 1966 年当時存在していたことは驚きであるが、現時点で現役の技術だけが取り上げられているのはさらに大きな驚きであり、著者の慧眼に感服するしかない。

ここでキャッシュが上記の技術リストにないのは不思議なぐらいであるが、当時 (コアメモリ全盛期) のメモリ技術が有意な容量を持つキャッシュを発想することを許さなかったと考えて先を急ぎ、もう 1 つの重要なリスト漏れに話を移す。それは命令レベル並列処理 (複数命令同時発行) であり、論文後半の 4 分類の議論の中でやや否定的に論じられている。論文では作業仮説として、1 サイクルに 1 命令しか処理できない命令デコーダが実行のボトルネックであるとしている。SISD の本質的な性能向上には複数命令の同時デコードが不可欠となるが、デコード幅 (発行幅) の大幅な拡大は論理の指数的複雑化を招くため困難であろうと (ほぼ正しく) 示唆している。

そこでようやく登場するのが SIMD, MISD, MIMD の並列トリオであり、命令デコードボトルネックを演算ス

ループットの大幅拡大でカバーするのが SIMD、命令ストリーム (命令メモリ) を複数にしてボトルネックを解消するのが MISD、そして両者を同時に行うのが MIMD というわけである。SIMD については ILLIAC IV が開発段階という時点での論文であるので、Connection Machine に代表される 1980 年代の隆盛やその後の没落を著者が知る由もないが、プログラミングおよびコンパイラ技術が重大な障害になると正しく予測している。MISD については、現在と同様に当時も提案自体が数少なかったようであるが、論文には命令メモリが固有でデータメモリが共有 (もちろんコヒーレントキャッシュはない) のマルチプロセッサと、1 次元アレイプロセッサのようなものを例として紹介している。

MIMD については問題点として、(1) 結合網 (当たり)、(2) 汎用プロセッサを使用することによる性能限界 (はずれ)、(3) 適用可能な問題の少なさ (はずれ、のはず) の 3 点を挙げている。また SIMD や MISD に対する優位性を直接は論じていないが、両者にマッチする問題領域の狭さを批判するパラグラフをわざわざ設けていることから、MIMD 有望説だったのではないかと想像される。

さて上記のように、並列マシンを含めて現在の高性能アーキテクチャが 1960 年代にほぼ論じ尽くされていたということ (キャッシュも 1968 年に商用化)、現在の我々はどうに考えればよいのだろうか。謙虚に言うのなら我々は先人たちの掌の上で踊っているに過ぎず、傲慢に言えば、当時も今も計算とデバイスの本質が同じである以上、単に先に生まれた彼らが幸せだったということになる。いや、そのどちらでもなく、我々は本質的な進化の途上にあるはずである。すでに我々は、個々の命令の高速実行技術から、予測や投機による命令列の高速実行に視野を拡大し、コンパイラ技術はプログラムに記述された解法の本質にまで踏み込みつつある。これをさらに押し進め、プログラムと入力、あるいは問題そのものに対してベストな計算を見出すシステムへと、先人の掌から高く飛翔しつづけることが、彼らの功績に応える唯一の道であろう。

(平成 16 年 11 月 4 日受付)

中島 浩 / 豊橋技術科学大学
nakasima@tutics.tut.ac.jp