

# PC クラスターの終わりの始まり？ — エクサ時代のミッドレンジのあり方

牧野淳一郎

東京工業大学 地球生命研究所 教授/PI

理化学研究所 計算科学研究機構  
粒子シミュレータ研究チーム チームリーダー

PC クラスタシンポジウム 2013/12/12

# 話の構成

- HPC システムのアーキテクチャの変遷
- ベクタアーキテクチャの変化
- マイクロプロセッサのアーキテクチャの変遷
- 今後の方向
- まとめ

# HPC システムのアーキテクチャの変遷

大雑把にいて:

タイプ	年代	デバイス技術
スカラー	1950-60	ディスクリート
ベクタ	1970-80	小規模IC
スカラー超並列	1990-	CMOS VLSI

スカラーからベクタになった理由: スループット1の演算器が実装可能に+メモリバンド幅があまった(コアメモリから半導体メモリへの移行)

ベクタからスカラー超並列になった理由: スループット1の演算器が1チップ実装可能に。メモリバンド幅不足になった

# ベクタアーキテクチャの進化

- 初期: 単一プロセッサ、単一ないし複数SIMDパイプライン (Cray-1, Cyber 205, S-810, VP-200, SX-2)
- 中期: 共有メモリ複数プロセッサ (XMP-T90, SX-3, S-3800)
- 後期: 分散メモリ複数プロセッサ (NWT/VPP500, CM-5, SX-4)

初期から中期への移行: 複数演算器が集積可能になった

中期から後期への移行: 複数演算器の単一プロセッサが1ボード実装可能になった(まあ概ね)

# アーキテクチャ変化を促すもの

- ハードウェアの境界の内側にプロセッサがはいるところまで微細化が進むこと
  - システム全体 (スカラーからベクタ)
  - ボード (分散メモリベクタ)
  - チップ (スカラー超並列)
- メモリ技術の変化
  - 磁気コアから半導体メモリへ

# マイクロプロセッサの アーキテクチャの変遷

(浮動小数点演算器に関して)

タイプ	年代	代表例
スルーブット 1 以下	-1990	8087
1 以上	1990	80860
複数コア	2005	Athlon 64 X2

# HPCアーキテクチャと マイクロプロセッサアーキテクチャの対応

HPC	マイクロプロセッサ
スカラー	スループット1以下
ベクタ	スループット1以上単一コア
共有メモリベクタ	複数コア
分散メモリベクタ	?
分散メモリスカラー	?

# つまり

- マイクロプロセッサの現在までの進化は、ベクタプロセッサの進化を大体 25 年遅れで繰り返している
- 但し、共有メモリにとどまっている

なぜ共有メモリか？

- というより、1チップで分散メモリ、というのがどういうものかよくわからない。
- 結局のところ、オンチップのバンド幅のほうがまだオフチップよりは、、、

# 現在のマルチ/メニーコアチップ

- 「コア数」あまり増やしていない:コア間通信の複雑度はコア数に比例以上に増える
- コア内のSIMD幅増やしている:データパスの複雑度は幅に比例以上に増える
- メモリバンド幅: ものすごく頑張っ増やしてきた

とはいえ: ベクタプロセッサ中期の終わりに相当

# エクサスケールの方向

- チップ内アーキテクチャをベクタプロセッサ後期/分散メモリ並列機レベルに移行させる必要あり
- とはいえ、オフチップメモリは分散メモリにする意味がない
- しばらく、チップ内アーキテクチャの混乱期になる(1980年代、並列アーキテクチャが色々あった時代の繰り返し)

# 「しばらく」の後

- いつかはくること:オフチップメモリの終わり
  - DRAM の微細化はすでに限界。まだ 3x。1x はない?
  - SRAM はトランジスタが小さくなればどこまでも。
  - 31nm DRAM:  $0.0093\mu\text{m}^2$ 。
  - 10nm SRAM:  $0.021\mu\text{m}^2$ 。
- オンチップメモリだけなら分散メモリになる。そうするとキャッシュもなくなる。
- チップ間ネットワークは? DRAM なければ通信レイテンシは劇的に減る。

# オフチップメモリの終わりの意味すること

- 大規模マシンが小規模マシンより有利になる
  - － 小規模マシンではメモリ容量を稼ぐためには遅い外部メモリに依存
  - － 大規模マシンではオンチップだけで大容量メモリに
- 「計算センター」の時代になる？
- まあある意味「データセンタ」「クラウド」はすでにその方向？

# まとめ

- 計算機アーキテクチャの変化は、デバイス微細化(と微細化から脱落した技術からの移行)、その結果のプロセッサコアのボード、チップへの集積、によってドライブされてきた
- 次のデバイスレベルの変化は、DRAMの終わり(SRAMへの移行)であろう
- これは、(少なくともHPCにおける)大規模マシンへの回帰をもたらす
- 「PCクラスタ」はなくなるかも？

おまけ

# x86PCの終わり

国内PC出荷台数 (JEITA)

2007 9,301

2008 8,792

2009 9,518

2010 10,438

2011 11,277

2012 11,152

- 成長産業ではない
- ARM + Android でできないことは何？

# マイクロプロセッサはどこへ？

- デスクトップ、ノート、タブレット、スマートフォン
  - － 「端末」化？
  - － ARM で「十分」？
  - － そこそこのグラフィック性能？
- サーバー
  - － 計算能力が勝負
  - － 「ビッグデータ」:実はそんなに大きくない

# つまり

- 「PC」が「パーソナルコンピュータ」なら、「PCクラスター」はすでに終わっている
- サーバ用プロセッサは演算能力増強、そこそこのネットワークとメモリバンド幅に向かう
- HPC プロセッサはそれで十分か？ 違う道に向かうか？