

不均一計算環境のための負荷分散法 / 多様化によるセキュリティ向上技術

市川 周一 (第7工学系, 情報環境コア)

1 はじめに

筆者の元々の専門分野は、並列計算機アーキテクチャやマイクロプロセッサ設計である。しかし本学に赴任後はテーマをやや応用側にシフトし、以下のようなテーマを扱ってきた。

- 並列処理応用の静的負荷分散
- 再構成可能論理による専用計算回路
- 専用回路技術の組込み・制御システムへの応用
- 電子透かし・情報隠蔽・セキュリティ

上のリストからはテーマ間の関係が判りにくいですが、簡単にいえば高速処理が大きな研究目標である。例えば、応用プログラムを高速化するために複数の計算機を使うことが有効であれば、ソフトウェアによる並列化技術で高性能化する。ハードウェア化によって大きな性能向上が見込めるならば、専用計算回路を設計して高速化を図る。応用例に組込み・制御システムを選んでるのは、多くの場合に高い並列性を内在しており高速化の効果が大きいからである¹。最後の項目“セキュリティ”だけは他のテーマと少々趣が異なるが、これは純粋に好奇心から研究を始めたものである。現在は、主として組込みシステムのセキュリティ技術について興味を持っている。

さて、メディア科学リサーチセンター・情報環境コアでは、情報ネットワークや情報システム環境の研究を行なっている。コアの研究キーワードに“分散並列計算”や“情報セキュリティ”が含まれていることから、筆者の専門分野と情報環境コアの関連については自明であろう。以下、本稿では、過去2年ほどの研究結果のなかから、情報環境コアの研究活動に関連するテーマを紹介する。

2 マルチプロセス法による不均一クラスタの最適構成予測 [1]

均一環境用に書かれた応用を不均一クラスタで実行すると、負荷不均衡により性能上の問題を生ずる。また、一部のPEには仕事を割り当てないほうが全体の実行時間が短縮できる場合がある。本研究では、高速な要素プロセッサ(PE)上で複数のプロセスを起動

¹もちろん、組込み分野では高速化に対する需要も大きい!

することにより、全体の実行時間を短縮する方法を検討した。本手法では、各PE上の実行時間を実測値からモデル化し、得られた予測モデルを用いて最適なPE構成およびマルチプロセス数を予測する。モデルの合成によりパラメータ抽出時間を削減する方法も検討した。並列応用の例としてHPLを使って評価したところ、本研究のモデルを使って、多くの場合に誤差20%以下の準最適構成を求めることができた。

3 不均一クラスタの最適構成予測モデルの各応用への適用と評価 [2]

伝統的並列応用は負荷をPEに均等に分散するため、不均一クラスタ上では負荷不均衡により性能が低下する。高速PE上に複数のプロセスを起動すれば、応用を書き換えることなく性能向上を図ることができるが、最適なプロセス数やクラスタ構成を求めることは難しい。岸本と市川 [1] は、HPLを例として実行時間予測モデルを構築し、不均一クラスタの(準)最適構成を予測できることを示した。本研究では、4つの典型的科学技術応用(CFD, FEM, FFT, HPL)に岸本の手法とその改良を適用し、(準)最適な構成を予測することができるか検証する。測定結果によれば、改良された岸本の手法(NP-Tモデル)により、4つの応用のいずれに対しても十分な精度で(準)最適構成を予測することができた。

4 実行時間予測モデルの構築法の改善 [3]

既存の並列応用の多くは均一並列環境を前提としているため、不均一クラスタ上で実行すると負荷不均衡により性能が低下する。高速PE上に複数のプロセス起動することで負荷の均衡化が望めるが、最適に負荷を分散することは難しい。高橋と市川 [2] は実行時間予測モデルを構築し、4つの科学技術応用(HPL, CFD, FEM, FFT)について(準)最適構成を予測できることを示した。しかしモデル構築のために均一なサブクラスタを必要とする上、大きく精度が低下する場合があった。本研究では、不均一クラスタ自体からモデルを構築する方法と、精度低下を防ぐモデル構築手法を検討する。評価の結果、従来と同等以上のモデルを構築し、より高い精度で(準)最適構成を予測することができた。

5 プログラムの命令列に含まれる自由度の評価と応用 [4]

ひとつのプログラムを命令列として実現する方法は、ひとつではなく多数存在する。これら機能等価な命令列の中からひとつを選択することにより、命令列をメディアとして情報を運ぶことができる。つまり命令列の自由度を、電子透かしや情報隠蔽に利用することができる。本研究では、変数の順序、基本ブロックの順序、基本ブロック内の命令の順序を入れ替えることにより得られる自由度を定量的に評価し、基本ブロックとブロック内命令の入替による情報埋め込み効率は0.3%、大域変数の順序変更による埋め込み効率は0.02%であることを示した。変数や命令の入替によるオーバーヘッドは、コードサイズで最大5.1%、実行性能で最大6.1%であった。

6 命令セットの冗長性とプロセッサの多様化 [5]

プロセッサアーキテクチャを多様化することにより、ソフトウェアの盗用や解析、実行制御の乗っ取りに対して一定の耐性を持たせることができる。本研究では、特にFPGAを用いた組込みシステムを前提として、プロセッサを多様化する手法について検討した。提案手法で、Barrantes, Kcらによる先行研究では実現されていなかった「真の意味の命令セットランダム化」が実現できる。4つの命令セット(MIPS, SH-3, 8080, JavaVM)で評価したところ、本手法で得られる自由度は先行研究より大きいことが明らかになった。さらにFPGA上で実際に設計・評価した結果、RAMを利用した実装では特殊化による論理規模の増加は3.5%、性能低下も11.6%に留まり、多様化に伴うオーバーヘッドは少ないことが示された。以上の検討結果より、本手法は組込みシステム向けのソフトウェア保護技術として有望であると思われる。

7 おわりに

不均一クラスタのための負荷分散法 [1] [2] [3] に関しては、今後、実用レベルに達するまで一層の改良を図ってゆく予定である。具体的には、予測精度の向上と、不均一ネットワークのモデル化、既存モデルとの融合などのテーマが考えられる。

組込みシステムのセキュリティに関しては、アーキテクチャ～設計～実装～評価にいたるまで広範囲に扱うことができるという利点を生かして、他の研究

者には実現できない切り口や方法で、研究に取り組んでゆきたい²。

発表論文

- [1] Y. Kishimoto, S. Ichikawa: "Optimizing the Configuration of a Heterogeneous Cluster with Multiprocessing and Execution-Time Estimation," *Parallel Computing*, Vol. 31, No. 7, pp. 691-710 (2005).
- [2] 高橋翔, 市川周一: "不均一クラスタの最適構成予測モデルの各応用への適用と評価," *情報処理学会研究報告 2006-HPC-105*, pp. 97-102 (2006).
- [3] 河合裕, 市川周一: "実行時間予測モデルの構築法の改善," *情報処理学会研究報告 2007-HPC-109*, pp. 79-84 (2007).
- [4] K. Hattanda, S. Ichikawa: "Redundancy in Instruction Sequences of Computer Programs," *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol. E89-A, No. 1, pp. 219-221 (2006).
- [5] 市川周一, 澤田豊志, 畑尚志: "命令セットの冗長性とプロセッサの多様化," *2007年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2007)*, 2E2-4 (2007). (CDROM)

²良いアイデアが浮かんでも、技術や経験がない限り、それを実現して実証することはできない。近年では狭く深い研究者(スペシャリスト)が主流だが、守備範囲の広い研究者(ゼネラリスト)にしかできないことも多いので、自分の特性を生かしてゆきたい。