7D−2

Datarolマシンの資源管理方式に関する考察

星出 高秀† 薗田 浩二†† 日下部 茂† 谷口 倫一郎† 雨宮 真人†
九州大学総合理工学研究科†，現在：日立製作所††

1 はじめに

データ駆動型並列計算機Datarolマシンは，従来のデータ駆動型計算機の問題点を解決し，超多重処理環境を効率的に実現する[Amam]．Datarolプロセッサは，関数適用時に活性化するインスタンス毎に1枚のレジスタファイルを割り付け，同一インスタンス内のデータをレジスタファイルで共有することにより，関数型プログラムの高速実行を行なう．有限のレジスタファイルでプログラムの実行を行なうには，並列性を制御した上での効率の良いレジスタファイル管理が必要不可欠である．

本稿では，Datarolマシンのレジスタファイル管理方式[Hoshi]の効率化について検討し，ソフトウェアシミュレータでのシミュレーションによる評価を行なう．

2 レジスタファイル管理

プロセッサ内で並列実行可能なインスタンス数は高々パイプラインの段数程度である．そのため計算機ハードウェアの処理能力に応じた閾値(Nt)を設定し，実行時にアクティブ状態のインスタンス数(Na)を検出し以下のことを行なう[kusa]．Na≥Ntの場合は，Na<Ntとなるまで関数適用命令の実行を遅延する．そして，関数適用命令実行時に利用可能なレジスタファイルが枯渇すると，サスペンド状態(自インスタンス内に処理可能なトークンを持たない状態)のインスタンスのデータを外部メモリにスワップアウトすることにより，レジスタファイルの仮想記憶化を図る．

レジスタファイルと外部メモリ間のスワップ処理の管理は，通常の演算命令と並行して実行させることが可能である．そこで，レジスタファイルの管理を行なうICUをFU内部の演算ユニット(ALU)と並列に配置することで，レジスタファイル管理の一連の処理とプログラムの実行を並行して行ない、レジスタファイル管理のオーバヘッドを隠蔽する．図1にDatarolプロセッサの構成を示す．

3 レジスタファイル管理の効率化

2節で述べた方式により，レジスタファイルのスワップ管理によるオーバーヘッドの隠蔽を試みた．しかし，シミュレーションの結果ではオーバーヘッドは完全には隠されていない[Hoshi]ので，レジスタファイル管理の効率化について検討する．

レジスタファイル管理の効率化には以下の方法がある．

1. スワップ処理時間の短縮
   (a) 見かけ上のスワップ処理時間の短縮
   (b) 実際のスワップ処理時間の短縮

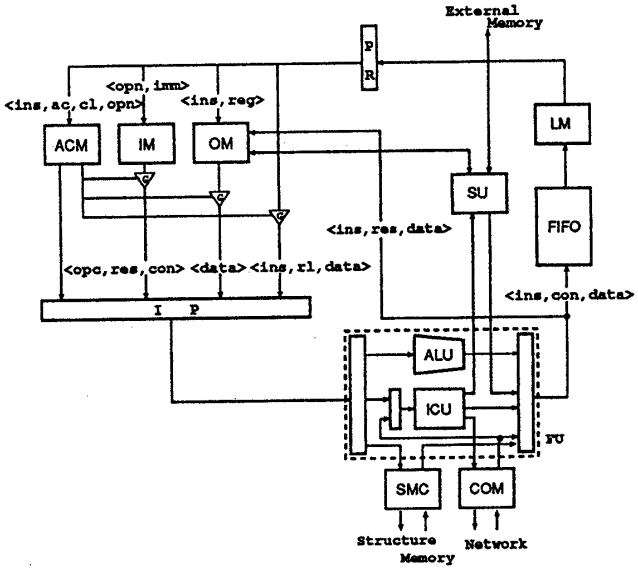

図1: Datarolプロセッサ

2. スワップ処理回数の削減
   (a) コンパイラによるスワップ処理回数の削減
   (b) ハードウェアによるスワップ処理回数の削減

本稿では，1.(a)の見かけ上のスワップ処理時間の短縮について検討する．他の効率化方式には，トレードオフとなる点が多く存在するので，本稿では触れない．これらは今後の課題である．

3.1 従来の方式とその問題点

従来のレジスタファイルのスワップ管理方法において，関数適用実行時に利用可能なレジスタファイルが枯渇している場合には，以下の手順でレジスタファイルを確保する．

1. スワップ処理要求を出し，Naをインクリメントする．
2. SUがビジーであるなら，Swapping_Queue(SQ)でSUが空くのを待つ．
3. SUでスワップ処理を行ない，レジスタファイルを獲得する．

したがって，関数適用命令が実行(Naがインクリメント)されてから，レジスタファイルを確保するまでのレイテンシのため，実際に実行可能なインスタンス数(Nra)とNaと

A Consideration on Resource Management of Datarol Machine

Takahide HOSHIDE†, Kouji SONODA††, Shigeru KUSAKABE†, Rin-ichiro TANIGUCHI†, Makoto AMAMIYA†
†*Department of Information Systems, Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University* ††*Hitachi, Ltd.*

の間に差が生じる．そのため，外見的にはNa≥Ntの状態でFUが稼働しているようでも，Nraが少数のためFU稼働率が下がり実行時間が増加する．また，スワップ処理回数が増加すると，SQでの待ち時間が長くなり，NraとNaとの差は非常に大きくなるため，FU稼働率がさらに下がる．オーバーヘッドを完全に隠蔽するためには，NraとNaとの差を縮小(スワップ処理時間を短縮)する必要がある．

3.2 解決策

上述の問題の解決策としてレジスタファイルの先行スワップアウト方式が考えられる．予めサスペンド状態のインスタンスのデータをスワップアウトしておくと，利用可能なレジスタファイルがない場合でも，インスタンス活性化の要求と同時にレジスタファイルが獲得できる．このようなスワップ管理方式を用いれば，スワップ処理時間がゼロであるかのようなレジスタファイル管理が行なえる．

先行スワップアウトは以下の順序で動作する．

1. ICUはSuspended-Instance-Queue(SIQ)からサスペンド状態のインスタンス名を取り出し，インスタンス名をSUに送る．
2. SUはそのインスタンスのデータのスワップアウトを行なう．
3. ICUはSUが先行スワップアウトしたインスタンス名をPreSwapout-Instance-Queue (PSIQ)に入れる．

先行スワップアウト方式下でのレジスタファイル管理では，関数適用命令実行時に利用可能なレジスタファイルが枯渇している場合，以下の手順でレジスタファイルを確保する．

(a) 先行スワップアウト済みのインスタンスが存在する場合
   i. PSIQから先行スワップアウト済みのインスタンス名を取り出す．
   ii. そのインスタンスに割り当てられているレジスタファイルを獲得する．

(b) 先行スワップアウト済みのインスタンスがない場合
   - 従来の管理方式でのレジスタファイル獲得と同様．

4 シミュレーション評価

ソフトウェアシミュレータによるシミュレーションにより以下の2つを検討する．

- 従来の管理方式との比較による先行スワップ方式の有効性の検討．
- レジスタファイルのスワップ管理を行なわない場合との比較による先行スワップアウトを行なうレジスタファイル管理方式の有効性の検討

シミュレーションには，不規則な関数呼び出し木を生成する8-queenの全解問題を解くプログラムを用いる．

表1に，先行スワップアウト方式が実行時間に与える影響を示す．上段は従来の管理方式の実行時間を1とした場合の実行時間比を示し，下段はレジスタファイルのスワップ管理を行なわない(レジスタファイルは必要なだけ用意する)ときの実行時間を1とした場合の実行時間比を示す．

表1: 先行スワップアウト方式が実行時間に与える影響

\ PE台数	1	2	4	8	16	32	64
32 RF	0.60	0.66	0.77	0.78	0.80	0.81	0.83
	2.23	2.16	2.55	2.52	2.44	2.29	2.10
64 RF	0.67	0.69	0.73	0.74	0.79	0.94	0.96
	1.13	1.28	1.34	1.35	1.31	1.34	1.25
128 RF	0.74	0.78	0.85	0.89	0.98	1.01	1.01
	1.01	1.02	1.03	1.02	1.04	1.02	1.03

RF：レジスタファイル数

上段：従来の管理方式の場合の実行時間を1とした場合の実行時間比
下段：スワップ処理を行なわない場合の実行時間を1とした場合の実行時間比

この表の上段より，レジスタファイル数が少ない時にはスワップ処理回数が多いため，先行スワップアウトの有効性が大きいことが示されている．これは先行スワップアウトを行なうことにより，見かけ上，物理的レジスタファイル数が増加したかのように実行が進むためである．また，下段よりレジスタファイル数が128のときにはオーバーヘッドがほぼ隠蔽されていることが分かる．これらの結果より，先行スワップアウトはオーバーヘッドの隠蔽に有効であると考えられる．

しかし，レジスタファイル数が少ない場合には，オーバーヘッドを完全に隠蔽できない．オーバーヘッドを削減し完全に隠蔽するためには，他の効率化方式で対処しなければならない．

5 まとめ

Datarolプロセッサにおけるレジスタファイルのスワップ管理方式の効率化について述べ，シミュレーションによる評価を行なった．シュレーションにより，レジスタファイルのスワップ管理に先行スワップアウト方式を用いることにより，オーバーヘッドを削減できることを示し，先行スワップアウト方式の有効性を確認した．

今後は，他の効率化方式について検討していく．

参考文献

[Amam] M.Amamiya and R.Taniguchi, "Datarol: A Massively Parallel Architecture for Functional Language", Proc. SPDP, 1990, p.p.726-735.

[Hoshi] 星出高秀，他 "並列計算機Datarolマシンにおける資源管理と負荷制御方式", 信学技法, CPSY91-7, p.p.25–p.p32

[kusa] 日下部茂，他 "Datarolマシンの資源管理方式", 情処研報, ARC91-5, p.p.37–p.p44