

4M-7 FORTRANにおけるハード依存最適化

中平直司 渡辺潔
富士通 (株)

1) はじめに

ハードウェアの資源を有効に活用し性能向上を目指す最適化は、今日のRISCプロセッサの登場で、その重要度が高まっている。ハード依存の最適化の中でも特に、レジスタを有効利用する最適化は、性能向上にもたらす効果は大きい。また、性能の良いコンパイラを早期に、各種ターゲットに展開するためには、ハードに依存する情報と、依存しない情報を明確に分離し、リターゲットを容易にする構造が必要となる。本論文では、今回開発したFORTRANコンパイラのハード依存部の構成と、適用した種々の最適化機能について報告する。

2) ハード依存部の構成

図1にFORTRANコンパイラのハード依存部の構成を示す。ハード依存部では、コンパイラの上位フェーズが出力する言語・ターゲットに依存しない中間言語¹⁾に対して、レジスタ、メモリ等のハード依存情報を割当て、目的コードを生成する。ハード依存部は、(1)ハード依存変換フェーズ、(2)レジスタ割付けフェーズ、(3)コード生成フェーズから構成される。

中間テキスト

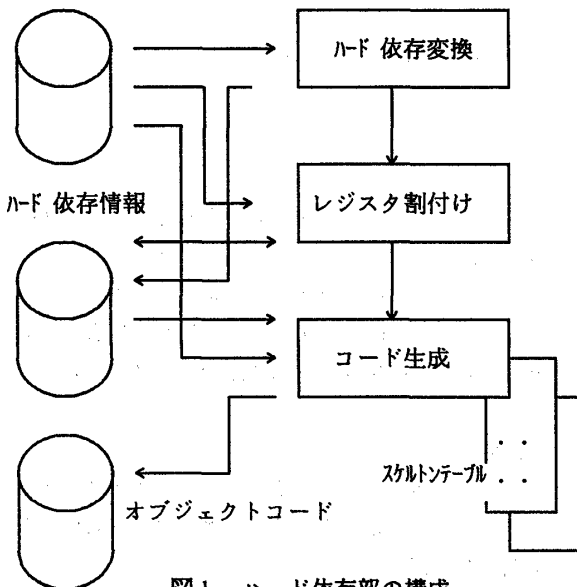


図1 ハード依存部の構成

3) ハード依存情報の局所化

ハード依存情報の吸収に際して、ハード依存情報を1つのコンパイラ内のフェーズに閉じ込める方式と、コンパイラ内の上位フェーズ(構文解析フェーズ、汎用最適化フェーズ)にも分散して持つ2通りの方式が考えられる。我々は、以下の2点のメリットを考慮し前者を採用した。

(1) 上位フェーズのリターゲット容易性

ハード依存部で、ハード依存情報を吸収することにより、構文解析、汎用最適化の各フェーズはターゲットに依存しない構成を採ることが可能となる。

(2) 最適命令の選択による最適化の促進

ハードに依存した高速命令の選択処理を行うことにより、各ターゲットに閉じた最適化を実施できる。

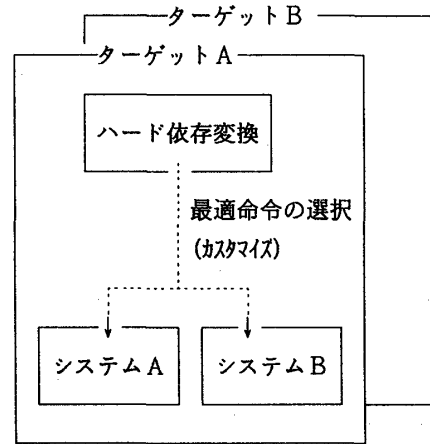


図2 ハード依存情報吸収のメリット

従って、構文解析、汎用最適化フェーズで排除したハード依存情報の設定を吸収するために、ハード依存変換フェーズを設け、各ターゲットの依存情報を吸収した。

4) ハード依存最適化

4-1) ハード依存変換フェーズでの最適化

ハード依存変換フェーズでは、実行性能の向上を目的とした中間テキストレベルの最適化を実施している。その最適化の大部分は、ハード依存変換フェーズがトリガーとなり、以後のフェーズと連携し、命令の最適化を図っている。以下に、ハード依存変換フェーズでの代表的な中間テキストレベルの最適化処理とインライン展開について説明する。

(1) 中間テキストの削除・置換

アドレッシングモードを意識した中間テキストの削除を

行う。レジスタ間演算をレジスタ・メモリ演算に置き換える等の、コード生成で展開される命令列を意識して、中間テキストの削除を行う。その他演算テキストを、ハード命令でより高速に実行できる命令に展開できる中間テキストに置換する。

(2) 組み込み関数のインライン展開

組み込み関数をインライン展開し、手続きのオーバーヘッドを取り除く最適化である。ここでは、該当する手続き呼び出しの中間テキストを、インライン展開を指示する中間テキストに置換する。

ハード依存変換の導入により、テキストレベルの最適化、インライン処理の選択、及び最適命令列の選択など、ハード特性に依存した最適化が可能になり、かつハード特性を利用した最適化が容易にカスタマイズ可能となった。

4-2) レジスタ割付けの最適化

レジスタ割付けフェーズは、ループ単位の広域レジスタ割付けを中心に、前後にローカル、スピルレジスタ割付けで構成されている。特にスピルレジスタ割付けでは、ハード依存、ローカル・広域レジスタ割付けの冗長性の補正、命令スケジューリングとの連携の3つの観点から、以下の機能を実現している。

- スピルレジスタ割付けの先行評価
- 分岐・合流点でのレジスタ伝播
- レジスタのサイクリック割付け

(1) スピルレジスタ割付けの先行評価

データに割り付けるレジスタが、最終的にどのデータに遷移するか的事前評価を行い、無駄なレジスタ間転送を極力出力しないようにレジスタを割り付ける機能である。ターゲットに依存するレジスタを割り付けなければならないケースを考慮して、レジスタを割り付ける。(図3)

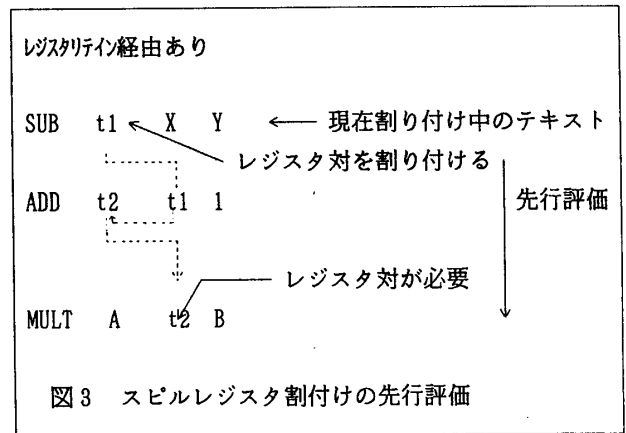
(2) 分岐・合流点でのレジスタ伝播

分岐を含むループ内の基本ブロック間に対しても、スピルレジスタを伝播させる機能である。更に、ループ内での基本ブロックの合流点に対しても、基本ブロック内のデータとレジスタの割り付け状態を考慮して、スピルレジスタの伝播を実現している。

(3) レジスタのサイクリック割付け

基本ブロック及び基本ブロック間で同一レジスタが連続して使用されている場合、スケジューリングによる命令列の移動が不可能となる。そのため、使用可能なレジスタを分散して使用し、命令スケジューリングにおける命令列の移動を促進する最適化がサイクリック割付けである。サイクリック割付けは、レジスタの依存関係の除去としての効果はあるが、命令スケジューリングと併用することにより、更に性能向上が図れる。

レジスタ割付けの機能強化を行ったことにより、より広い範囲でのレジスタの伝播、レジスタの依存関係の除去が可能となった。



5) 性能評価

FORTRAN 実プログラムにおいて、本稿で述べた、最適化を実施した場合と抑止した場合の性能差を以下に示す。

表の数値は、最適化しない場合の実行性能を1.0とした時の性能差である。(高い程、性能が良い)

	プログラム A 原子力	プログラム B 核融合	プログラム C 空気力学	プログラム D 分子動力学
最適化なし	1.00	1.00	1.00	1.00
最適化あり	1.01	1.02	1.09	1.08

同等から9%と、性能差にバラツキがあるが、平均4%程度の性能向上が得られている。

6) おわりに

本論文では、ハード依存部の構成とハード依存最適化について報告した。今回我々が開発したFORTRAN コンパイラのハード依存部は、今後の他言語コンパイラ開発の基盤となることから、命令スケジューリングの最適化機能などのチューニングを続け、更に性能向上を図っていく。

【参考文献】

- 1) 山良 他, 『マルチリンガル・マルチターゲットコンパイラの間言語に対する一考察』第40回情報処理学会全国大会 1990