

超並列のためのマルチアーキテクチャコンパイラはれだすの内部表現

3U-8

安江俊明 金子正教 萩原純一 田原歩 山名早人 村岡洋一

早稲田大学理工学部

1. はじめに

はれだすは超並列化マルチアーキテクチャコンパイラの開発を目的とした開発環境である。本稿では、はれだすの内部表現とその上での先行評価表現方法について述べる。超並列化のための1つのアプローチとして、先行評価により既存言語中に陰に含まれる並列性を抽出する方法がある。先行評価とはプログラム中の制御依存関係を変更することにより、データ依存関係以外の先行制約関係を排除する高速化手法である。しかし、従来の先行評価では、命令レベルスケジューリングにおける並列性不足の補助手段としてしか実現されていない。はれだすでは、内部表現レベルで汎用的に先行評価を扱うことができるため、先行評価により引き出し得る並列性を有効に利用することが可能となる。本稿では、この内部表現による先行評価の表現方法について述べる。まず第2節においてははれだすの構成を述べる。続く第3節で、内部表現の構成と特徴について説明したのち、第4節で先行評価の表現方法とその操作方法について詳説する。

2. はれだすの構成

はれだすでは、FORTRAN言語を入力として内部表現を構築(Parser)し、各種変換操作(Program Analyzer, Program Transformer)後に、各アーキテクチャごとにスケジューリング・コード生成(Scheduler)を行う

(図1)。はれだすを用いて生成されるコンパイラは、はれだすの内部表現に変換されたプログラムを操作することによって、目的とするアーキテクチャに最も良く適合するコードを生成する。そのため、はれだすは、新たなプログラム変換技術が開発された場合などに、その変換処理を実現する処理モジュールを後から容易に組み込むことが可能な設計になっている。また、この様な処理モジュールを実現するために必要となるプログラムの解析・変換・表示などの開発を容易にするため、モジュールの部分に相当するプリミティブな処理を行う関数群が用意されている。実際の解析・変換は、これらのプリミティブ関数群を利用して各種のループ変換など具体的なプログラム変換を直接行うTD (Transformation Driver)と、アーキテクチャとプログラムを考慮してTDでの変換を指揮するPD (Parallelizing Driver)により行われる。現在はれだす上でAP-1000用のPDを開発している。

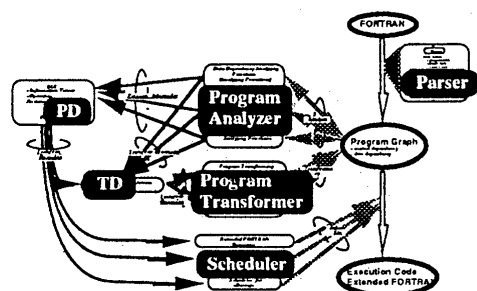


図1 はれだす構成図

The inner expression of HAREDA: The compiler development environment of multi-architecture compiler for massive parallel computing
Toshiaki YASUE, Masanori KANEKO, Junichi HAGIWARA, Ayumu TAHARA, Hayato YAMANA, and Yoichi MURAOKA
School of Science and Engineering, Waseda University

3. 内部表現の構造

本節では、はれだすの内部表現の構造について述べる。内部表現は、プログラムをノード(制御単位)とアーク(ノード間依存関係)により表した階層化グラフ構造で表される。階層構造は、プログラムの基本単位であるステートメントもしくは演算を根拠として、制御構造に基づいて形成する。ノードは下階層の集約情報を持ち、解析結果の情報を損なうことなく内部表現に蓄えることが可能となる。一方ノード間リンク構造は、データ依存関係アーク、制御依存関係アーク、制御フローアーク、先行制約アーク、の4種類のアークによるリンクがノード間に張られる。

3.1 データ依存リンク

データ依存リンクは、データを直接操作するノード間に張られる。さらに階層構造の上位ノードからデータ依存アークへのリンクも同時に形成しているため、親ノード間の高レベル依存関係も同時に扱うことが可能となっている。はれだすにおけるデータ依存リンクは、データ依存リンクに対して制御依存関係を付加した条件付データ依存リンクを用いている(図2)。これは通常データ依存リンクと異なり、定義ノードと参照ノードの実行開始条件が異なるようなデータ依存関係を表現するためである。この条件付データ依存リンクを用いることで、データ依存に対する制御依存関係を直ちに求めることができ、グラフ変換に伴って実行開始条件を求め直す必要がなくなる。

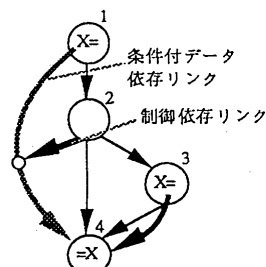


図2 条件付データ依存リンク

3.2 制御依存リンク

制御依存リンクは同じ階層内に属するノード間に存在する制御依存関係に従って形成する。

3.3 制御フローリンク

制御フローリンクは、入力されるプログラムの制御フローに従って形成する。各ノードでは、始点を表す疑似ノードを始端とし、終点を表す疑似ノードを終端とする制御フローグラフを構築する。親ノード間での制御フローグラフの接続は直接接続せず親ノード間でのリンクを経由して間接的に接続される。

3.4 先行制約リンク

先行制約リンクは、データフローと制御フローを統合し、先行評価状態のノードを考慮して形成する。先行評価状態のノードは、先行評価対象となる制御依存を実行開始条件から外したリンクを形成する。

4. 先行評価の表現方法

ある条件分岐ノードに対して、その制御に依存するノードを先行評価する場合、次の2点が明確になっている必要がある。1つは実行制御を決定する条件分岐である。もう1つは先行評価ノード

ドに付随するデータ依存関係である。実行制御を決定する条件分岐は先行評価を行う時点で一意に決定している。一方、先行評価ノードに付随するデータ依存関係は、先行評価中のノード間における通信を制御するために重要な要素である。先行評価を適用する場合、実行制御が決定するまで副作用が禁止されるため、グローバルなメモリによるデータ転送は行えない。つまり配列などにおいて明確な依存関係が特定できないようなデータ依存関係が存在した場合、その依存関係はさむノードを同じ条件で同時に先行評価することはできない。以上の点から、先行評価を行う単位として個々のノードをばらばらに先行評価できる方法を示す。この方法により、データ依存関係が不明で同時に先行評価できないようなノードを除外しながら先行評価を適用することができる。

4. 1 先行評価状態設定手順

ここでは、ある分岐に対して、その分岐に実行が依存するノードを先行評価状態に変換する手順を述べる。

(1) 条件分岐ノードの選択

先行評価を実施する条件分岐ノードを決定する。

(2) 先行評価ノードの選択

選択された条件分岐ノードに対して先行評価を適用するノードを決定する。

(3) 先行評価判定

選択されたノードが、先行評価可能かどうかを調べる。先行評価できないのは、既に先行評価されているノードからのデータ依存があり、その依存関係が静的に決定しない場合と、制御が合流するノードで直前の全てのノードが先行評価されておらず、かつ複製による先行評価を行わない場合である。

(3) 実行属性の変更

先行評価ノードの先行評価属性フラグを立てる。定義合流ノードで同じ条件の制御依存アークが来ない状態で先行評価する場合は、そのノードを複製してから先行評価属性に変更する。

(4) リンクの変更

先行評価属性に変更したノードへの制御依存リンクを除去し、代りにそのノードから出るリンクの先にあるノードに制御依存リンクを設定する。

4. 2 適用例

ここではLU分解のプログラムの一部に対して先行評価を適用した例を示す。図3(a)は元のFORTRANプログラムである。このプログラムに対する先行制約リンクが図3(b)ようになる。ただし図中特に重要でないデータ依存リンクは省略してある。これに対し、条件分岐ノード1によって先行評価を行った場合の先行制約リンクが図3(c)である。さらに条件分岐ノード3に対して先行評価を適用したものが図3(d)の先行制約リンクとなる。この場合、ノード5は制御の合流点であり、直前のノード(ENTRY, ノード4)の先行評価条件が異なるため、複製することで先行評価を行っている。

5. おわりに

本稿では、はれだすの内部表現について、条件付データ依存リンク構造、及び先行評価記述方法を述べた。条件付データ依存リンクは、データ依存アークに対する制御依存を明示的に表すことでデータ依存の成立条件を明確化し、ノードの実行開始条件の評価を簡単にするとともに先行評価記述を可能とする。一方、先行評価記述方法は、先行評価手法をプログラム変換時に他の変換手法と共に使用することを可能とし、プログラムに対する先行評価手法の適用を一般化することができる。現在、はれだす上では分散メモリ型並列計算機のためのコンパイラ開発を、AP-1000をターゲットマシンとして行っている。

6. 謝辞

本研究の遂行及びはれだす開発において、多くの御助言、ご支援を頂いている村岡研究室諸氏に感謝致します。なお、本研究は文部省科学研究補助金による研究成果の一部として行われています。

7. 参考文献

[1] 安江他, "超並列のためのマルチアーキテクチャコンパイラ開発環境-はれだす-", 並列処理シンポジウム JSPP'92, pp.139-146, Jun. 1992
 [2] 金子他, "はれだすにおけるループ間依存関係の記述方法とその適用例", 第45回情処全大, 3U-09, Oct. 1992

```

IF (ABS(DI(I)) .GE. ABS(BL(I))) THEN
  LEX(I) = 0
  IF (ABS(DI(I)) .LT. SMALL) DI(I) = SMALL
  CM(I+1) = BL(I) / DI(I)
  DI(I+1) = DI(I+1) - CM(I+1) * BU(I)
  BV(I) = 0.0
ELSE
  LEX(I) = 1
  CM(I+1) = DI(I) / BL(I)
  DI(I) = BL(I)
  S = BU(I)
  BU(I) = DI(I+1)
  BV(I) = BU(I+1)
  DI(I+1) = S - CM(I+1) * BU(I)
  BU(I+1) = - CM(I+1) * BV(I)
END IF
    
```

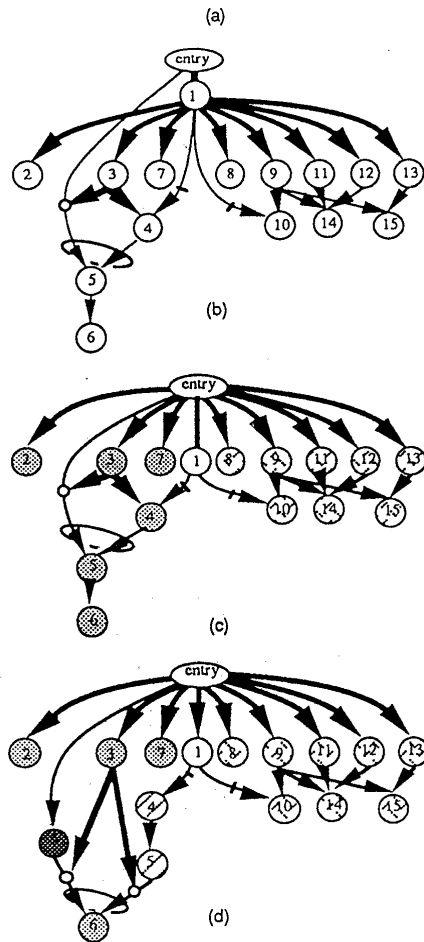


図3 先行評価の適用例