

## 2進木マシンCoral68K上での ゴール書き換えによるPrologの並列処理

6Y-7

森 和夫 遠藤俊雄 高橋義造  
(徳島大学) (東芝) (徳島大学)

### 1. はじめに

Prologプログラムにおける様々な並列計算モデルが提案されその内のいくつかは実際に並列マシン上にインプリメントされているが、十分な並列処理の効果を得られるようなものが発見されるには到っていない。<sup>[1][2][3]</sup> そこで、今回ゴール書き換えOR並列という方法を用いてPrologプログラムを処理するシステムを2進木マシンCoral68K上に実現し、その並列処理の効果を実測したので報告する。

### 2. ゴール書き換えOR並列

Prologプログラムは節により構成されていることから、これらの節を使用するプロセッサ要素(PE)の数にグループ分けしそれぞれを各PEに分配する。ゴールは得られた時点で全てのPEに放送され、このゴールと各PEの節とでユニフィケーションを行う。このユニフィケーションにより得られる新しいゴールはそれぞれあらたなユニフィケーションのために再び全てのPEに放送される。この一連の処理は、処理されるゴールがなくなるまで繰り返されることになる。以上の並列処理の原理を、ゴール書き換えOR並列と呼ぶ。

一方、各PEでの処理はまずゴールを受け取り、それらと割り当てられた節とのユニフィケーションを行い新しいゴールを放送するというもので、ゴールが送られてきている間繰り返される。このゴール書き換えOR並列ではPE間の通信が頻繁に行われるため、処理効率を上げるためにはPE間の通信が高速であることが要求される。

### 3. 2進木マシンCoral68KでのPE間通信

Coral68Kはホストコンピュータと63台のPEから成り各PEは2進木状に結合されている。PE間通信はDMA転送方式により行われ、そのデータ転送速度は約2MB/secでありCoral68K全体としての性能は約40MIPSである。

一般に、深さDの2進木マシンにおいて同時にデータ転送可能な最大枝数は次のように表される。

$$B = 1 + 2^2 + 2^4 + \dots + 2^{D-1} = N/3 \quad (1)$$

ここでN(=  $2^{D+1} - 1$ )は全PE数である。あるPEからデータが放送される場合、N-1の枝を通る必要がある。従って、すべてのPEがデータを放送する場合、トータルで(N-1)・N回枝を通らなければならない。隣接するPE間でデータを転送するときの所要時間をTとすると、全PEが同時にデータを転送するのに要する時間は、

$$(N-1)NT/B = 3(N-1)T \quad (2)$$

と表せる。従ってPE1台当りの平均放送時間T<sub>0</sub>は

$$T_0 = 3(N-1)T/N \approx 3T \quad (3)$$

となる。これは意外に短いものであり、この結果はCoral68Kにおける測定により確かめられている。

### 4. ゴール書き換えによるPrologプログラムの処理

実際の処理においてゴールはゴールバケット(ゴール+マッチングされた変数のリスト)として各PE間で送受される。このバケットは各PEにおいてゴールプールと呼ばれるキューに分配される。ユニフィケーションが成功すると、生成されたゴールはバケットに含まれ他の全てのPE

に放送されると同時に自分のゴールプール内にも置かれる(Fig.1)。全てのPEのゴールプールが空になるまで処理は続けられる。

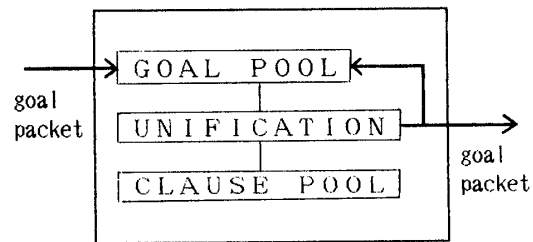


Fig. 1

### 5. 性能測定

例としてNクイーン問題を取り上げる。

Program1.

```
queen(N,Q):- generate(N,L),put(L,[],Q).      ->1
generate(0,[]).                               ->2
.....
```

```
sf([Q1R],Qi,Qd):- ne(Q,Qi),ne(Q,Qd),add(Qi,1,Qii),
                  sub(Qd,1,Qdd),sf(R,Qii,Qdd). ->10
```

上に示すように各節に付けられた番号にしたがってそれぞれのPEに分配される(10台のPEを使用)。ゴールとして"?- queen(7,Q)"を与えたとき131(秒)で解が得られた。一方、これを1台のPEのみを用いて処理した場合202(秒)かかった。従って速度向上率s及び利用率uは次のようになる。

$$s = 1.5 \text{ (倍)}, \quad u = 15 \text{ (\%)}$$

これは満足できる結果ではない。そこで、Program1の最後の節をより具体的に7つの節に分け、それぞれを別のPEに割り当ててみた(16台のPEを使用)。先の例と同じゴールを与えた場合に要した処理時間は78(秒)であった。また、1台のPEの場合には573(秒)かかった。速度向上率s及び利用率uは、

$$s = 7.4 \text{ (倍)}, \quad u = 46 \text{ (\%)}$$

となり、プログラムのアレンジにより並列処理効率は格段に改良されたといえる。これは各PEで生成されるゴール数がProgram1のそれに比べうまくバランスされているためであり、生成されたゴールの総数自体はProgram1に比べ逆に増えているのである。

### 6. おわりに

今回報告したゴール書き換えOR並列による方法では非常に多くの放送が要求されるために、転送速度性能の優れた2進木並列マシンにおいてこれを実現するのは有効であるといえる。特にプログラムのアレンジを行ったものは、生成されるゴールがうまくバランスされるため非常にうまく改良されたものとなった。各PEに対して、生成されるゴールがうまくバランスされるようにPrologプログラムを自動的にアレンジするようなプリプロセッサの開発が今後の課題であろう。

### 参考文献

- [1] 富田真治: 並列計算機構成論, 昭晃堂
- [2] 柴山 潔: 記号処理マシン, 情報処理 Vol.28 1987 No.1 pp.27-46
- [3] 井上勝博, 高橋義造: 2進木マシンCORALでのPrologの並列処理, 第31回情報処理全国大会, 7E-8