

推論向き高並列計算機システムの

4N-6

ユニフィケーション機構

湯原 雅信 , 相田 仁 , 後藤 厚宏 , 田中 英彦 , 元岡 達

( 東京大学 工学部 )

1. はじめに

本稿では、高並列推論エンジンPIE [1]の要素プロセッサであるユニファイ・プロセッサ(UP)のユニフィケーション機構について述べる。

2. ユニファイ・プロセッサの位置付け

UPは、ゴールフレームをひとつ受け取り、その中のひとつのリテラルについて、対応するすべての定義節とのユニフィケーションを実行する。成功したユニフィケーション(複数)については、新たなゴールフレームを再構成し、結果として出力する。

(1) ゴールフレームと定義節の表現

ゴールフレームや定義節は、タグ付の固定長セル(36ビット程度)が連続した形でUPに渡される。図1に、その例を示す。

データ型はタグにより識別され、大別すると次の3種類になる。

① アトム

シンボル、整数値などのアトムは、セル1個で表わされる。シンボルは、シンボル番号で示され、シンボルの印字名は、System Managerが管理するが、実行時には通常アクセスされない。

② 構造体

ベクタ等の構造体は、構造部内へのポインタとして表わされる。

③ 変数

変数は、変数番号で区別する。後述する“縮退”により、すべての変数は、未定義であることが保証されるので、結合網上やMM(Memory Module)中でのゴールフレームには、変数の実体を収納する領域は存在しない。

(2) ゴールリテラルの選択

ゴールフレーム中に複数あるゴールリテラルのうち、どのリテラルについてユニファイするかは、あらかじめ判断されているとする。(たとえば、選択されたリテラルが先頭にある、など。)

(3) 定義節とDM(Definition Memory)

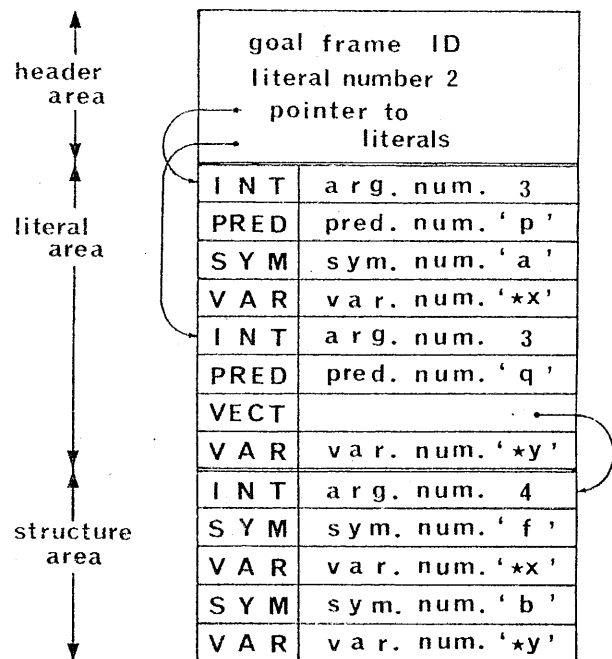
DMには、ジョブの前に定義節がロードされる。また、実行中DMの内容はとりあえず変化しないも

のとする。しかし、高階機能をサポートするためには、定義節の変更も考慮する必要がある。

選択されたゴールリテラルに対応する定義節は多数存在し得るが、失敗が明白なものを取り除いた後、UPへ取り込まれる。

(4) データベースとの関係

データベースの問合せに相当するゴールリテラルは、System Managerに送出される。System Managerは、データベース・マシンとインターフェイスをとり、問合せを行なう。



Pred : Predicate Symbol

← p(a,\*x), q(f(\*x,b,\*y),\*y).

図1. ゴールフレームの表現例

3. ユニファイ・プロセッサの機能

UPのハードウェア・イメージを図2に示す。

ゴールフレーム側のセルと、定義節側のセルと同時にアクセスできるように、UP内のローカルメモリは、2つに分れている。ユニフィケーションは、一般に1つのゴールリテラルと複数の定義節の頭部との間で順次行なわれる。そのつど、定義節がDMから定義節側ローカルメモリに取り込まれ、ゴール

フレームも入力バッファからゴール側のローカルメモリにコピーされる。

#### (1) ユニフィケーション

ユニフィケーションは、ハードウェア化された Unifier が実行する。

論理変数の束縛状況は、ローカルメモリ中の変数メモリに記録される。変数メモリ内セルのタグは、ユニフィケーション実行前に、未定義を示す“UNDEF”にされる。ユニフィケーションの進行に従い、変数の値が束縛されて行く。構造体をユニファイする場合には、スタックを用いて再帰的に処理する。

#### (2) 縮退

ユニフィケーションが成功した場合には、新たなゴールフレームを出力バッファに構成し直す。その際、Reducerが“縮退”と呼ばれる操作を行なう。

縮退の目的は、ゴールフレームの大きさを最小限にして、記憶コストや転送コストを押えることにある。その他、リテラル部のみでリテラル引数の第一レベルの状態が認識できたり、ユニフィケーションの速度が向上する利点もある。

縮退の操作では、参照されなくなったセルを除去し（従来のガーベジ・コレクションに相当）、束縛された変数を、変数を参照しているセルにその内容をコピーした後、取り除く。これにより、“変数のたぐり”もなくなる。同時に、変数番号の付け直しを行なう。

縮退のアルゴリズムは、圧縮型ガーベジ・コレクション方式を応用したものであり、ポインタをたどりながら、必要なセルのコピーを行なう。また、コピー元のセル（又は、別のメモリの同じアドレスのセル）に、コピーしたことを示すフラグと、コピー先のアドレスを残すことにより、ポインタ値の補正も行なう。

#### (3) リテラルの選択、及び、優先度スコアの計算

新ゴールフレームから、次回に処理すべきリテラルを選択する。さらに、ゴールフレーム間の優先度を定めるための優先度スコアをゴールフレームの状態から計算する。

#### (4) 新ゴールフレームの送出

新しく作成されたゴールフレームは、結合網を介してMMに分散して送られる。入力ゴールフレームが存在したMMに付随するAC (Activity Controller) には、新たに生成された子ゴールフレームの数が渡される。

上記の機能を実現する上で、次のようなメモリが

あると、処理を効率化できる。

#### ① クリア端子付メモリ

ローカルメモリの変数領域は、初期設定において、使用される変数の数だけのセルをUNDEFにしておかなければならない。これを高速に行なうのに、瞬時にクリア可能なメモリがあると便利である。

#### ② コピー端子付二重構造メモリ

メモリを同一のアドレスで二重に持つとし、モードで切り替える。コピー端子をアクティブにすると、すべてのメモリセルのコピーが短時間で行なわれる。このメモリは、ゴールフレームの再コピーを高速化することができる。

#### 4. おわりに

高並列推論エンジンPIEのユニファイ・プロセッサUPの機能・構成方法についての構想を紹介した。UPに関しては、リテラル内の引数間の並列性や、定義節が複数あることによる並列性の利用、データベース・マシンとの関連、定義節メモリDMでの定義節の絞り込み、高階述語の導入等を含めて、今後さらに詳細に検討を加えた上で、ハードウェア化する予定である。

#### <参考文献>

[1] 後藤 他：“推論向き高並列計算機システムのアーキテクチャ”，本予稿集 4N-4

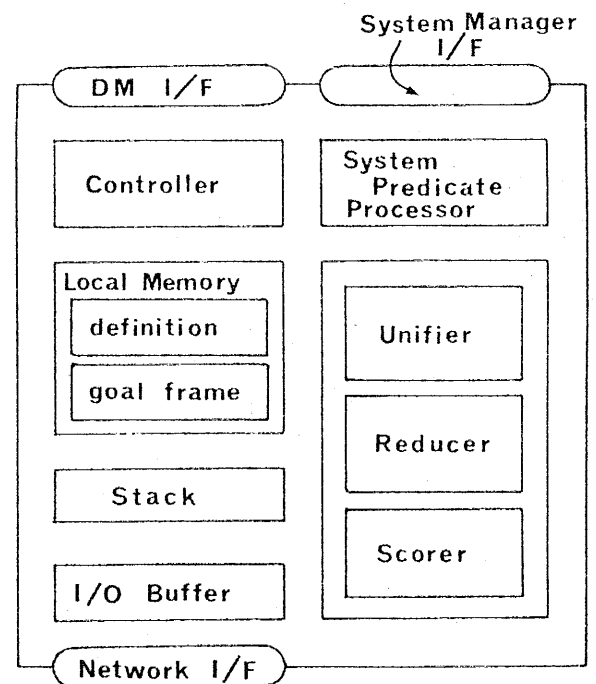


図2. UPのハードウェア・イメージ