

分散演繹データベースにおける問い合わせ処理方式

高杉 哲朗*, 羽生田 博美*, 宮崎 収兄*, 大場 雅博**, 伊藤 英則**

*: 沖電気工業(株)

**: (財) 新世代コンピュータ技術開発機構

1. はじめに

第五世代コンピュータ・プロジェクトでは、大容量知識ベースの管理技術、処理の高速化技術や分散化技術等の課題に対する研究の1つとして分散知識ベースをテーマとして取りあげ、その試作システムとして演繹データベース(演繹DB)に基づいた分散知識ベース・システムPHIの研究を行っている[羽生87]。

PHIは、ホーン節と関係代数が同じ論理基礎を持つことに着目し、ホーン節を関係代数に変換し、その関係代数を実行することにより演繹DBの処理の効率化を図る方式、コンパイル法[BANC86]を基礎としている[MIYA86]。

再帰を含まない問い合わせ処理の方式としては動的最適化を基本としたステージング方式を提案した[吉田86]。しかし、演繹DBにおいて特徴的な再帰的処理が複数のサイトにおいて処理される場合を想定すると、この方式により、そのまま再帰を含む問い合わせを処理すると、例えば、同一の関係を繰り返しの各ステップで複数回転送するといった冗長な処理を行うことがあり効率的ではないという問題点があった。

本稿では、ステージング方式を演繹問い合わせに拡張した、2段階ステージング方式を報告する。

2. PHIの概要

PHIにおける論理構成を図1に示す[羽生87]。各サイトは機能的に知識管理部、分散制御部及びDB管理層からなる。知識管理部はコンパイル法に基づく問い合わせの処理を行い、システム内の知識への問い合わせの管理、知識の一貫性を制御する。分散制御部は、ユーザに対してデータの透過性、各サイト間のデータベースの一貫性等の制御を提供する。DB管理層は各サイトに閉じた関係DBの管理を行う。問い合わせ処理は各サイトが自サイト内の知識ベースをもとに自律的にかつ、必要に応じて他のサイトと協調しながら行う。

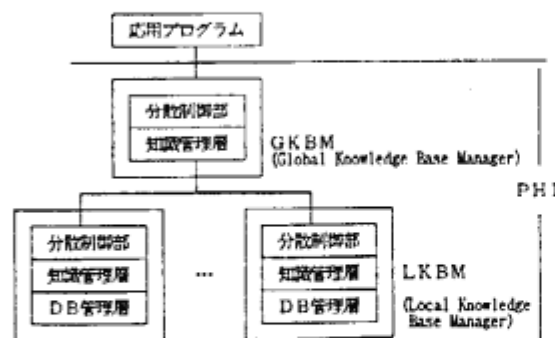


図1 PHIの論理構成

3. 問い合わせ処理概要

問い合わせに再帰を含まない分散DBの検討では、関係代数の

Query Processing in Distributed Deductive Databases.
Tetsuro TAKASUGI*, Hiroaki HANUDA*, Nobuyoshi Miyazaki*
Masahiro OHBA**, Hidenori ITOH**
*Okai Electric Industry Co. Ltd.
**Institute for New Generation Computer Technology

動的な最適化を行う、問い合わせの最適化処理を提案した[吉田86]。この方式は実行時に中間結果の関係のサイズを比較することにより、通信コストが最小となる演算の実行サイトを決定するものである。具体的には、問い合わせ中の2項演算を1つの実行の単位(ステージ)とし、ステージ毎に対象リレーションの大きさの比較によりどのサイトで2項演算を行うかを順次動的に決定する。このステージング方式は選択度のような管理情報を持たない点で、また同報型LANの特徴を生かした点において処理の効率化が期待できる。

分散演繹データベースに対する問い合わせ処理で問題となるのは、問い合わせに含まれる再帰をどう処理するかである。再帰を含まない問い合わせは通常の分散DBと同様に処理できる。問い合わせに再帰が含まれると、再帰の部分では関係代数の繰り返しとして実行されるため、問い合わせ処理コストは急増する。この再帰処理の効率化は演繹データベースにおいても重要な課題であるが、分散環境下では特に複数サイトにまたがる再帰をどう効率的に処理するかがサイト間の通信コストの点から重要となる。

このことから、再帰を含む処理に対して動的な最適化戦略を用いるとサイト間にまたがる繰り返し処理は繰り返しの各ステップで同一の関係を複数回転送することがあり、ステージング処理だけでは対応できない。

これ故、PHIでは再帰問い合わせに対しては、再帰である部分と再帰でない部分とに分けて個々に処理を行う方式を用いる。この方式は従来のステージングを関係代数のみから、ホーン節+関係代数に拡張したステージングであると考え、2段階ステージングと呼ぶ。

4. 2段階ステージング

2段階ステージングは1段階目のホーン節に対する再帰成分への分解と2段階目の関係代数に対する2項演算の分割とからなる。前者をマクロステージング、後者をミクロステージングと呼ぶ。

マクロステージングではまず、問い合わせの中の再帰成分を他の部分と分ける処理を行う。これにより以降の問い合わせ処理において再帰のある成分と再帰のない成分とを分けて処理することが可能となる。次に、特に再帰処理は、コストが大きいため、効率化の1つとして制約条件を伝播させ、成分間の処理順序を制約伝播に基づき処理コストを小さくするように決定する。

ミクロステージングでは、マクロステージ単位に生成した関係代数に対し、関係代数を2項演算単位(ステージ)に分ける。ここではホーン節レベルの再帰は繰り返しとなり、この繰り返し処理について、実行可能なサイトを決定する。

この後問い合わせに関係するサイト間でミクロステージ後の問い合わせをステージ単位で協調しながら実行する。繰り返し処理は1回目の処理において決定されたサイトにおいて以降の繰り返しを行う。

4.1 マクロステージング

マクロステージは問い合わせを強連結成分分解し、再帰を含まない述語集合を縮退させた後のノード(成分)である。但し、再帰成分はそれぞれ1つのノードと考える。マクロステージに

分解した後は、再帰問い合わせは相互に関連する再帰成分と、ゴールと、非再帰成分とに分れる。繰り返し処理の効率化のために制約条件の伝播をゴールより行い、処理コストが最小となる成分の実行順序を決める。問い合わせのマクロステージへの分割と、マクロステージ間の実行順序の決定をマクロステージングと呼ぶ。マクロステージの定義を以下に示す。

・マクロステージ

依存グラフを強連結成分分解したグラフに対し、ゴールまたは再帰述語を含む成分が依存している再帰述語を含まない部分グラフを1つのノードに縮退させたグラフをGrとする。Gr中の各ノードを1つのマクロステージとする。

依存グラフは内包D B内のルール集合について述語間の(ヘッドからボディ述語への)依存関係を表す有向グラフであり、強連結成分は相互に依存し合う述語からなる部分グラフである。

依存グラフをマクロステージングしたグラフ(Gr)は、ノードによっては複数のサイトに関連する述語を含む場合がある。この場合にはさらに成分内でのステージ分割(マイクロステージング)が必要となる。また、このとき問い合わせが再帰述語を含まなければ、マイクロステージングを適用するグラフGrはゴールノードと、このゴールノードから距離1の縮退ノードとからなり、これに対してマイクロステージングが行われる。この場合、生成した関係代数は繰り返しが存在しないため、問い合わせ処理は分散D Bで検討したステージング処理がそのまま適用可能である。

次に、マクロステージの順序の決定について、例を元に説明する(図2参照)。p1及びp2に対応する関係が外延D B中に存在すると仮定する。

?-q(A, taro).
q(X, Y) :- r(X, Y).
q(X, Y) :- r(X, Z), p1(Z, Y).
r(X, Y) :- p2(X, Y).
r(X, Y) :- p2(X, Z), r(Z, Y).

図2 問い合わせ例



図3 制約条件伝播例

ステージングの対象となるグラフは図3のようになり、q, r, p1, p2がそれぞれマクロステージとなっている。この時、マクロステージの実行順序としてp1 > p2を決定すると、制約条件(Y=taro)は最初p1へ、ついでp1(A, taro)となるAの集合としてrへ伝播し、処理の効率化が行える。q(taro, A)の様な問い合わせの場合は、rを経由しp2にまで制約(taro)が伝播する。後者が可能かどうかの判定方式は[阿比88]に示してある。

4.2 マイクロステージング

マイクロステージングでは、個々のマクロステージから生成した関係代数に対し、2項演算毎に実行の単位に分割を行う。この処理は従来のステージングと同様である。この後再帰つまり繰り返し処理については、繰り返しに含まれるステージに対して、その繰り返し処理を行うべきサイトを指定する。通常、マクロステージは他のマクロステージの実行結果を使用するため、処理すべきサイトは明確には断定できず、複数のサイトでの実行の可能性がある。どのサイトで繰り返しを実行するかは、繰り返しを最初に行う直前に決定する。以後その繰り返しは1回目の繰り返しで決定されたサイトで処理される。マイクロステージの中で同一の関係を共有する場合には、これらを複合ステージと呼ぶ1つのステージとして扱うことにより、LANの同報機能を用いた効率化を行うことが可能である。マイクロステ

ージと複合ステージの定義を以下に示す。

・マイクロステージ

与えられた関係代数に対し各演算を1つのノードとし、グラフを生成する。このグラフに対し葉ノードから2項演算毎に番号をつける。2個以上の経路がある場合にはその長いものをとる。この番号づけされたノードをマイクロステージと呼ぶ。

・複合ステージ

同一の番号を持つマイクロステージの中で、同一の子ノードを共有するノードがある場合、このノード集合を複合ステージと呼ぶ。

次に、マイクロステージングの処理方法を示す。各マクロステージにおいて、それらが再帰処理を含むか、含まないかにより以下の場合に分けて個別に処理する。

(a) 再帰処理を含む場合

マクロステージに対応する関係代数を生成し、マイクロステージ、複合ステージの定義に従ってステージ分割を行う。このとき同一サイトに閉じた処理は1つのノードに縮退させて考える。次に、繰り返し処理について、繰り返しを行う可能性のあるサイト情報を付加する。実行時にはこれらのサイトの候補の中から繰り返しを最初に行う直前に最適なサイトを決定する。

(b) 再帰処理を含まない場合

マクロステージに対応する関係代数を生成し、これに対してマイクロステージ、複合ステージの定義に従ってステージング処理を行う。このとき同一サイトに閉じた処理は1つのノードに縮退させて考える。実行時には、ステージ単位に関連するサイト間で使用する関係の大きさをもとに通信コストが最小となる演算の実行サイトを動的に決定し、この最適サイト上でステージ内の演算を実行する。

5. おわりに

分散知識ベースシステムPHIで実現予定の2段階ステージング方式による分散演算データベースにおける問い合わせ処理について述べた。2段階ステージング方式では、ホーン節問い合わせに対する再帰成分の分離、成分間の実行順序の決定、各マクロステージ内の関係代数に対するマイクロステージング、及び関係代数の動的実行により分散演算問い合わせを処理する。本方式を用いることにより、演算問い合わせの特徴の1つである再帰述語の処理を分散環境下で効率よく処理することが期待できる。

現在は繰り返しをサイト内に限定した場合について実現している。今後は本方式の全体を実現し、有効性、妥当性を検討する予定である。

《参考文献》

- [BANC86]: Bancilhon, F., Ramakrishnan, R.: An Amateur's Introduction to Recursive Query Processing Strategies. ACM SIGMOD, pp.16-52 (1986)
- [MIYA86]: Miyazaki, N., et. al.: Compiling Horn Clause Queries in Deductive Databases: A Horn Clause Transformation Approach. ICOT Technical Report TR-183 (1986)
- [阿比88]: 阿比留他: 演算データベースにおける制約伝播の実現方式. 情報処理学会第36回(昭和63年度前期)全国大会, 3F-3
- [羽生87]: 羽生田他: 分散知識ベース管理システムPHI, 情報処理学会 データベース・システム研究会 61-2 (1987)
- [吉田86]: 吉田他: KBMS PHI(3): 分散知識ベース制御方式. 情報処理学会第32回(昭和61年度前期)全国大会, 2M-7 (1986)