

氏名	阿部 武彦
生年月日	
本籍	静岡県
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	博甲第226号
学位授与の日付	平成9年9月30日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	演繹推論の高コストルール対処法及び仮説推論の高速矛盾処理に関する研究
論文審査委員	(主査) 木村 春彦 (副査) 中山 謙二, 橋本 秀雄, 船田 哲男, 武部 幹

学位論文要旨

Abstract This paper proposes match algorithms for dealing with expensive productions, which are rules requiring the extraordinary time and space to match in production systems. First, a new data structure of alpha-memory such that, as a rule is given, it can immediately point out working memory elements matching the condition elements of a rule, is presented. Using this new alpha-memory, we can improve the Direct match algorithm and the Rete match algorithm for dealing with expensive productions. Furthermore, a pre-check function is proposed. Since it can be used to examine whether each condition element of a rule matches working memory elements before matching is performed, we can avoid the matching that is predicted to fail and reduce the number of matching in the Direct match algorithm. Effects of these match algorithms are obtained experimentally.

KICK-SHOTGAN is well-known as a fast hypothetical reasoning system. This paper proposes two methods for improving the KICK-SHOTGAN's consistency check on the synthesis of some hypotheses using the inference-path network. In one method, the inference-path network is transformed into the one which has no need of consistency check. In the other method, the inference-path network node which is able to cause inconsistency among adopted hypotheses is defined. Consistency checks are only performed in this node and, moreover, only part of consistency checks are needed here.

1. 序論

本研究は、演繹推論および仮説推論の高速化を目指したものである。対象とする知識ベースシステムは以下に示すものである。

演繹推論・・・プロダクションシステム

仮説推論・・・推論パスネットワークによる仮説推論システム (KICK-SHOTGAN)

本論文は、プロダクションシステムにおける高コストルール対処法、および推論パスネットワークによる仮説推論システムの仮説合成フェーズで問題となる支持仮説集合の無矛盾性チェックの改善案を提案するものである。

2. 演繹推論の現状と課題

プロダクションシステムは、エキスパートシステム構築のためのソフトウェアツールとして最も有名であり広く用いられている。本論文では、データ駆動型のプロダクションシステムを高速化の対象としている。プロダクションシステムの条件照合には多大な時間がかかるため、これまで効率の良い条件照合アルゴリズムが追求されてきているが、その中で代表的なものが Rete アルゴリズムである。Rete アルゴリズムの特徴はルールの条件部を Rete ネットワークと呼ばれるデータフローグラフに変換し、照合の途中結果をすべてネットワークに保存することにより条件照合を効率良く行おうとするものである。しかし、Rete アルゴリズムを用いて条件照合をする際に、膨大な計算時間とメモリを必要とする高コストルールにどのように対処するかが重要な課題となっている。

3. 演繹推論の高コストルール対処法

高コストルール対処法の1つである直接条件照合アルゴリズムの2つの改善案と、Rete アルゴリズムを改善して、高コストルール対処法とする方法を提案する。具体的には、以下に示す3つの方法である。

- (1) 直接条件照合アルゴリズムの拡張による対処法
- (2) プレチェック条件照合による対処法

(3) Rete アルゴリズムの拡張による対処法

(1) は直接条件照合アルゴリズムの α メモリのデータ構造を工夫することによる改善案である。提案 α メモリのデータ構造は、条件要素の変数に対応する属性値ごとに WME の情報を管理するものであるが、これにより 2 変数以下の条件要素を満足させる WME を α メモリ内より直に引き出すことができる。実験により高コストルールが発火するまでの累積条件照合時間を、Rete アルゴリズムや従来の直接条件照合アルゴリズムと比較した結果、提案方式が最も効率良かった。これは α メモリのデータ構造を工夫することにより、2 変数以下の条件要素を満足させる WME を α メモリ内より直に引き出すことができた成果である (図 1)。

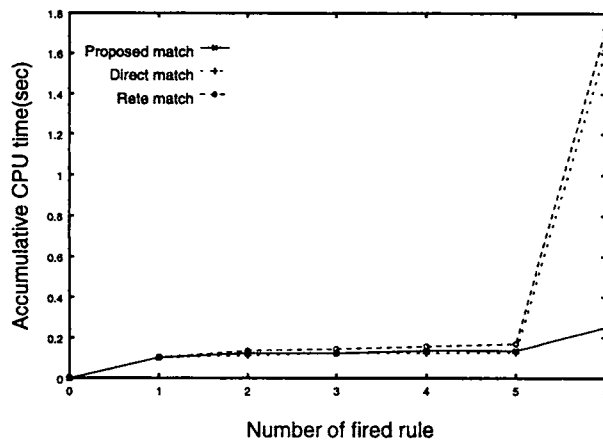


図 1: 条件照合の累積時間

(2) は、直接条件照合アルゴリズムにプレチェック機能を付加することにより、高コストルール対処法を強化する方法である。ここでいうプレチェック機能とは、条件照合に失敗するかどうかを実際の条件照合を行う前にいち早く識別できるチェック機能であり、直接条件照合アルゴリズムの無駄な照合を省くことができる。そのため WME の数が多く、直接条件照合アルゴリズムの無駄な照合回数が多い場合には、条件照合に失敗するケースを前もって知ることで省くことができる照合回数も多くなるために、本提案アルゴリズムの効率が良いことが実験により確認できた。

(3) は、Rete ネットワークにおける α メモリのデータ構造を工夫することにより、Rete アルゴリズムを高コストルール対処法とする方法である。ここで用いる α メモリのデータ構造は、(1) で用いたものと同じである。よって、2 変数以下の条件要素を満足させる WME を α メモリ内より直に引き出すことができる。

これら3つの提案方法は、いずれも高コストルール対処法であるが、その効果を発揮する領域は図2に示すように若干異なる。縦軸がその提案方法によって得られる効果の度合い、横軸が条件照合にともなう計算コストの度合いを示している。

(1)と(3)は共に α メモリのデータ構造を工夫し、条件要素の変数に対応する属性値ごとにWMEの情報を管理することにより、2変数以下の条件要素を満足させるWMEを α メモリ内より直に引き出すことができるものである。一般に高コストルールは条件要素の変数の数が少なく、また変数の取り得る値の数が少ない傾向があるため、このような α メモリのデータ構造は、高コストルールの対処に有効である。(1)は(3)に比べ、より計算コストの

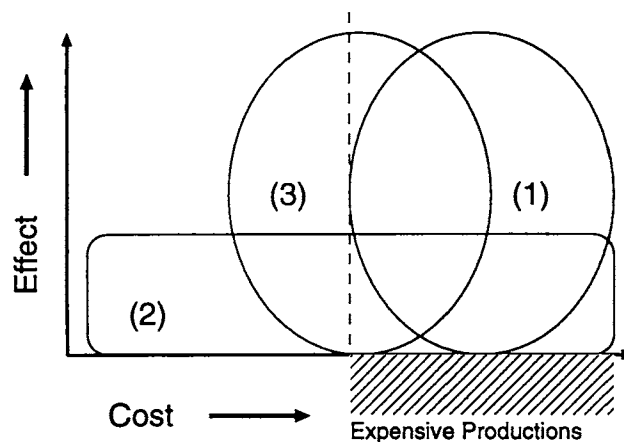


図 2: 3つの提案方法の対象領域

度合いが高いルールに対して効果を発揮するものである。なぜならば、(1)はもともと高コストルール対処法である直接条件照合アルゴリズムを改善したものであり、高コストルールのみを対象としたものである。それに対し、(3)は条件照合の計算コストが高くないルールを対象としたReteアルゴリズムに(1)と同様の新 α メモリのデータ構造を導入することにより、高コストルールにも対処できるようにしたものである。それゆえ、図2のように対象領域が分かれた。

(2)のプレチェック機能はもともと直接条件照合アルゴリズムを強化する目的のものであるため、(1)と組合せることにより、さらに効率を向上させることが可能である。また、高コストルールだけでなく、一般のルールに適用しても条件照合の計算コストを軽減させることができる。

4. 仮説推論の現状と課題

仮説推論とは一般的に、真か偽か不明な事柄をとりあえず真として(仮説を立てて)推論を進め、矛盾なくうまく問題が解決できれば(ゴールが達成できれば)仮説とした事柄を真と考える形式の推論である。仮説推論は従来からの完全な知識に加えて、不完全な知識を仮説として扱うことができ、また診断型問題や設計型問題などの実用的な問題にも適用できる有用な推論の枠組みである。しかし、非単調推論の一種である仮説推論の課題は低い推論速度であり、推論速度を向上させることが重要な問題になっている。実際、命題論理の仮説推論の計算でさえ、NP-完全であることが証明されている。

これまでに、推論速度の問題を克服しようとした研究がいくつか発表されているが、その中の1つに推論パスネットワークによる仮説推論システムがある。このシステムはパス生成フェーズと仮説合成フェーズからなり、パス生成フェーズは線形時間で解ける。仮説合成フェーズの問題点は、無矛盾性チェックと他の仮説の組合せに包摂される組合せを排除する最小性チェックの計算コストが高いことである。

5. 仮説推論の高速矛盾処理

推論パスネットワークによる仮説推論システムの改善を目指し、仮説合成フェーズにおける仮説合成時の無矛盾性チェックを高速化するアルゴリズムを提案する。具体的には、以下に示す2つの方法である。なお、ここではホーン節命題論理を知識表現とする仮説推論を対象とする。また、対象とする矛盾は2項関係の矛盾に限定する。

- (1) 仮説合成時に矛盾が起こる必要十分条件の知識を用いた無矛盾性チェックの効率化
- (2) 無矛盾性チェックが不要となる推論パスネットワークへの変換アルゴリズム

(1)の方法は、まず仮説合成時において矛盾が必ず発生するノードを交差点として登録する。従来の無矛盾性チェックは、各AND節点で全ての矛盾に対して無矛盾性チェックを行うものであったが、(1)の方法は事前に登録された交差点でのみ無矛盾性チェックを行うものである。しかも、該当する矛盾に対してだけチェックを行えばよい。実験結果から、成果が明らかになったが、次のような場合には悪化すると思われる。推論パスネットワーク内に入次数が2以上のノードが多数あり、ネットワークが複雑な場合。また、矛盾仮説のペアが極端に多い場合である。

(2)の方法は、仮説合成時に矛盾する仮説の組を生成しない推論パスネットワークへの変換アルゴリズムである。しかしながら、ネットワークが複雑になる場合がありトレードオフの問題が起こっている。本提案方法は、推論パスネットワークの上層部で入次数が2以上となるノードがないような場合、無矛盾性チェックの不要による計算コストの軽減が大きくなり、最も効率が良くなるものと思われる。なぜならば、推論パスネットワークの上層部は1ノード当りの支持仮説の組の数が多くなり、それだけ無矛盾性チェックのオーバーヘッドタイムも大きくなる。また、入次数が2以上となるノードがネットワークの上層部になれば、ネットワークのコピーによる大きなオーバーヘッドタイムもほとんど発生しないからである。

6. 結論

プロダクションシステムや仮説推論システムは、推論の枠組みとして非常に有用なものであるが、推論時間が遅くなると実用的でなくなる。プロダクションシステムにおいては高コストルールの対処が大きな問題であり、仮説推論システムの問題の中には包摂処理と無矛盾性チェックの問題がある。本研究では、プロダクションシステムの高コストルール対処法となるアルゴリズムを提案し、実験によりその有効性を示した。また、推論パスネットワークによる仮説推論システムの無矛盾性チェックの効率を改善するアルゴリズムを提案した。

学位論文審査結果の要旨

平成9年7月24日に開催された第1回学位論文審査委員会、及び平成9年8月6日に行われた口頭発表と第2回学位論文審査委員会で審査した結果、以下の通り判定した。

本論文は、演繹推論と仮説推論の高速化に関する問題を取り上げている。まず、演繹推論の高速化については、条件を満足するかどうかのチェックに膨大な時間とメモリを必要とする高コストルールの対処問題を扱い、次のような対象範囲の異なる3つの高コストルール対処法を提案した。

- (1) 高コストルールのみを対象とした、直接条件照合アルゴリズムの改善案。
- (2) 準高コストルールと高コストルールを対象とした、Reteアルゴリズムの改善案。
- (3) 全ルールを対象とした、プレチェック型直接条件照合アルゴリズム。

また、これらの内、(3)の対処法は(1)、(2)の対処法と組み合わせることにより計算コストを尚一層軽減させることができる。

次に、推論パスネットワークによる仮説推論システムの高速化問題を扱い、仮説合成時の無矛盾性チェックの高速化アルゴリズムを提案した。具体的には、仮説合成時に矛盾が起こる必要十分条件を求め、無矛盾性チェックが不要となる推論パスネットワークへの変換アルゴリズムを示した。

以上の研究成果は、推論の高速化に貢献するものであり、学術的にも実用的にも寄与するところ大であり、本論文は博士論文に値するものと判定する。