

知識獲得支援システムEPSILON/One(2)

— 専門家モデルの推論エンジンとPSI 上でのインプリメント —

大崎 宏
橋 和弘、滝 寛和

(財) 日本情報処理開発協会
(財) 新世代コンピュータ技術開発機構

1 はじめに

知識獲得の最終フェーズは、獲得した知識ベースの評価である。知識ベースの評価には、静的評価（リファイン）〔橋88〕と動的評価がある。動的評価において、構築された知識ベースの評価は推論機構で推論中に行われる。これは、知識ベースが使用される環境（入力データや推論機構など）に適合しているかを調べるものである。この評価では、推論動作の各時点で、その処理内容と処理結果を十分に調べられる機能が必要である。

また、専門家が知識ベースを評価し易くするために推論機構は、知識獲得時の知識レベル（知識表現）で推論することが望ましい。EPSILON/One の知識は、専門家モデル〔橋87〕で獲得されている為、専門家モデル用推論エンジンの開発が必要となっている。

専門家モデルは、プロダクション・ルールの分析から作られたオペレーションで表現されるが、その表現はプロダクション・ルールよりも特殊化されている。その特殊化された部分を生かす推論機構が必要である。プロダクション・ルールの推論機構は、認知-実行サイクルでルールを処理する単純な推論制御であった。しかし、専門家モデルの推論機構の実現の為には、オペレーションに関する種々の情報を利用した推論制御、オペレーションのオブジェクト化などを容易に実現する言語、実行指示や内容表示を豊かにするインタフェース環境が必要となった。そこで、我々は、知識情報処理専用ワークステーションPSI上の言語ESP（Prologをベースにしたオブジェクト指向型言語）とESPにより記述されたPSIのオペレーティング・システムであるSIMPOSにより専門家モデル推論機構を実現した。

2 概要

2.1 専門家モデル専用推論エンジンの必要性

専門家モデルの推論において、専門家モデルをプロダクション・ルールに変換して、既存のエキスパート・システムの推論エンジンで行うことを考えると、推論結果に修正が生じた場合には、専門家はルール・レベルで修正を行わなければならない。つまり、どのオペレーション（あるいは要素）のどこをどう修正するかがわかりづらい。それは、専門家が対象となる問題を専門家モデル・レベルで認識しているためである。そこで専門家モデル・レベルでの評価、推論を行う専用の推論エンジンが必要となった。

2.2 専門家モデルと推論制御

専門家はある作業を行う上で、種々の状況に応じた柔軟な推論や、推論が失敗した場合の処理を行っている。その

ような専門家の問題解決法の一つとして、処理対象要素の動的な変化、推論失敗時の後戻りが考えられる。そこで、専門家モデル・レベルでの推論機構の実現は、その推論が専門家の推論メカニズムを適切に実現すること、推論エンジンの推論制御が専門家に理解しやすいことが望まれる。

専門家モデルはブリ・ポスト法によって専門家が普段行っている作業手続きを獲得したものであり、専門家モデルの推論構造は単純化診断タスクモデルである。単純化診断

タスクモデルとは図1に示すように処理対象に対して、専門作業に対応した操作（オペレーション）を行うためのモデルである。そのモデル（オペレーション）構造の構成要素は処理対象（ソース要素グループ）、処理内容（エバリュエータ）と処理結果（デスティネーション要素グループ）である。専門家モデルはこのような構造を持ったオペレーションによって構成されており、オペレーション間はブリ・ポスト関係で、エバリュエータと要素グループは入出力関係で結ばれている。

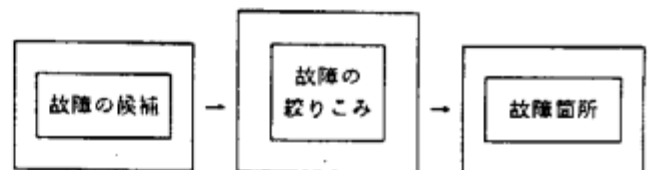


図1 単純化診断タスクモデル

専門家作業には、独立した小さな作業とその作業の処理に関する優先順位と各作業が利用するデータなどが含まれている。専門家の作業イメージを図2に示す。

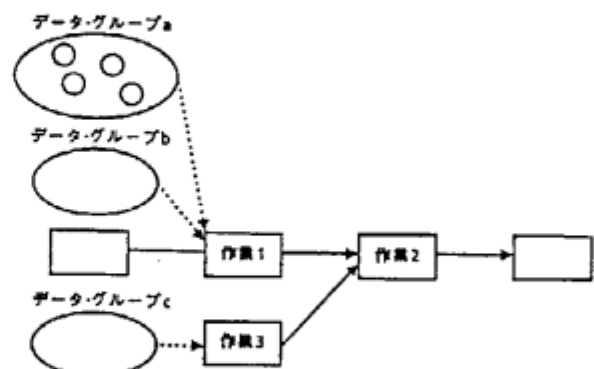


図2 専門家作業のイメージ

専門家モデルでは、図2のこれらの情報の内、作業の優先順位に関する情報がオペレーション間のプリ・ポスト関係として表現され、各作業の利用するデータ情報が、オペレーションの参照する入力要素グループとして表現される。この2つのメタ知識は、推論制御として利用すべきものである。つまり、プリ・ポスト情報により、次に実行すべきオペレーションを選択できる。また、入力要素グループ情報により、評価対象データの制限が可能になり効率的な推論が行えるわけである。そこで、推論の失敗した場合に対する推論を行うためにはオペレーション間の実行の制御にバックトラックを導入し、またプリ・ポスト関係と入力関係にAND・ORを導入する。これにより専門家が実際に行っている処理方法とは異なる可能性はあるが、等価な結果を得る推論が期待できる。これらの検討結果をもとに、推論エンジンの特長を決定した。以下にそれらを示す。

(1) ワーキング・メモリの分割による高速推論

入力要素グループはプロダクション・ルールのワーキング・メモリに相当し、その情報をオペレーションがもつことにより、処理対象要素の特定化が行われ推論の高速化が可能となる。

(2) 専門家モデル、プリ・ポスト情報をいかした推論制御

プリ・ポスト情報に基づくオペレーションの手続き的実行。及び、入力要素グループ情報に基づくオペレーションの動的実行がある。

(3) ESPの特徴をいかした推論制御、システム構成

ESPの特徴であるバックトラックによる推論制御。及び、オブジェクト指向により、システム構成の変更、拡張が容易である。

(4) PSI, SIMPOSの機能を活用した快適なユーザ・インタフェース

マルチ・ウィンドウ、メニュー等の機能を利用することにより、快適なユーザ・インタフェースを実現している。

2.3 EPSILON/One 上での位置づけ

EPSILON/One のシステム構成を図3に示す。

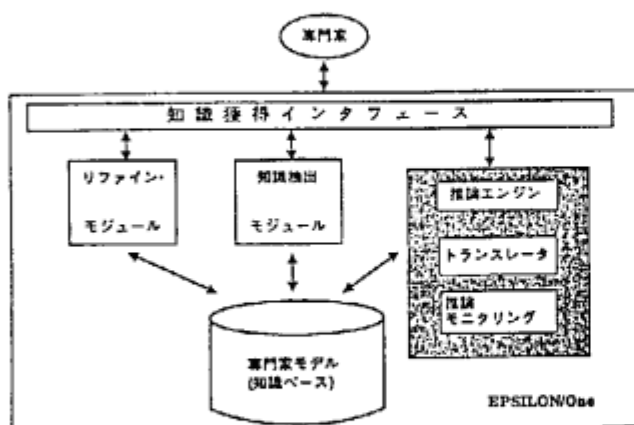


図3 EPSILON/One システム構成

知識獲得インタフェース

専門家から要求を受けつけ、各要求に応じたプログラムを起動し、知識獲得に必要なメッセージの入出力を行う。

知識抽出モジュール

専門家との対話により、対象となる問題の専門家モデルをプリ・ポスト法をもちいて抽出する。

リファイン・モジュール

抽出した専門家モデルの不備の解消を行い、知識を洗練する。

推論エンジン

抽出した専門家モデルのESPへの変換。及び、評価、推論を行う。

3 推論制御

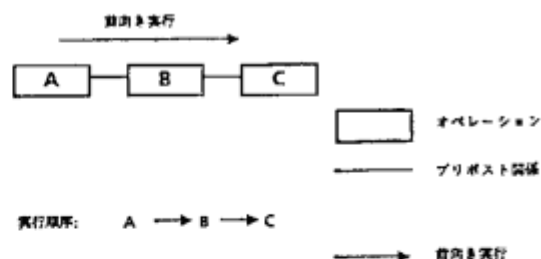
専門家モデルには、知識情報処理を制御するために、種々のメタ知識を含んでいる。つまり、オペレーション間の実行順位に関するプリ・ポスト情報やオペレーションが必要とする要素に関する情報（入力要素グループ）がメタ知識として表現されている。このメタ知識を利用した制御規則をここで述べる。

3.1 推論制御規則

オペレーションの推論順序を決定するものは、入力要素グループ情報とプリ・ポスト情報がある。これらの情報をいかに有効に使い、かつ各種問題解決に適用していくかが重要である。オペレーションの実行順序規則を以下に示す。

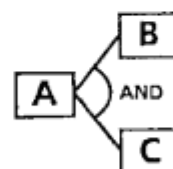
(1) 前向き実行は、プリ・ポスト関係に従う。

例) Aのポスト・オペレーションは B、
Bのポスト・オペレーションは C である。

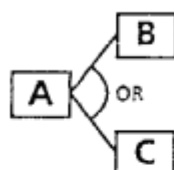


(2) プリ・ポスト関係のAND・OR情報は、ポスト関係のOR情報のみを使用する。オペレーション間のプリ・ポスト関係のAND・OR情報は、次のものがある。

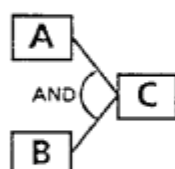
a) Aを実行後、B、C両方を実行する



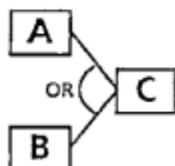
b) Aを実行後、B、Cどちらか一方を実行する



c) Cを実行するまえに、A、B両方を実行する

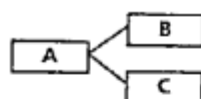


d) Cを実行するまえに、A、Bどちらか一方を実行する



このうち現在、b)のみ実現している。これは、専門家モデル抽出時、プリ・ポスト関係のAND・OR情報を抽出していないことによるものである。(この情報を抽出する有効な方法については、検討中である)

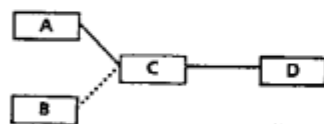
例) Aのポスト・オペレーションは B、C である。



実行順序: A → B(失敗) → (A) → C

(3) あるオペレーションが、未実行のオペレーションの出力要素グループを入力要素グループとしている場合、未実行オペレーションを実行してから自オペレーションを実行する。

例) Aのポスト・オペレーションは C、
Cのポスト・オペレーションは D、
Cの入力要素グループは B である。

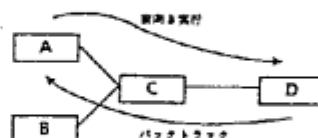


実行順序: A → (C) → B → C → D

(Cの入力要素グループとしては、Bの出力要素グループを利用する)

(4) バックトラックは、前向きに実行したオペレーションに対して働く。この場合のバックトラックとは、現在実行中のオペレーションに選択枝(未実行の入力要素グループやポスト・オペレーション)がなくなると、これまで実行してきたオペレーションの選択枝まで後戻りすることである。

例) Aのポスト・オペレーションは C、
Bのポスト・オペレーションは C、
Cのポスト・オペレーションは D である。



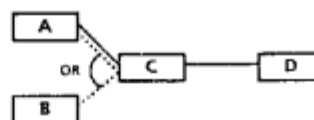
実行順序: A → C → D(失敗) → C(失敗) → A
→ バックトラック

(この場合Bは実行されない)

(5) 入力要素グループ情報とプリ・ポスト関係情報の参照・実行の優先順位は、入力要素グループ情報の方が高い。つまり、入力要素グループに選択枝がなくなると、別のオペレーションを起動する。

例)

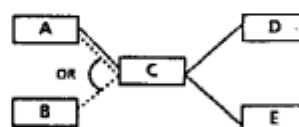
a) Aのポスト・オペレーションは C、
Cのポスト・オペレーションは D、
Cの入力要素グループは A または B である。



実行順序: A → C → D(失敗) → (C)
→ B → C → D

(Aにバックトラックするよりも、Cの入力要素グループをもつBを優先する)

b) Aのポスト・オペレーションは C、
Cのポスト・オペレーションは D かつ E、
Cの入力要素グループは A または B である。

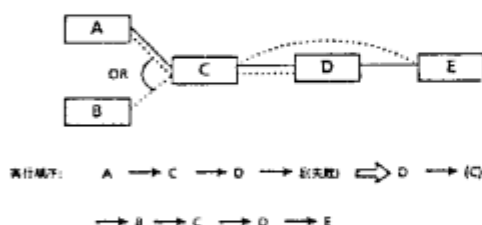


実行順序: A → C → D(失敗) → (C) → B → C
→ D(失敗) → (C) → E →

(入力要素グループにはAの出力要素グループを利用する)

ただし、例外として、出力要素グループの二重アクセスの場合は、動きが異なる。

- c) Aのポスト・オペレーションは C、
Cのポスト・オペレーションは D、
Dのポスト・オペレーションは E、
Cの入力要素グループは A または B、
Dの入力要素グループは C、
Eの入力要素グループは C である。



- (EはCの出力要素グループに対するアクセス権をもたない、このアクセス権はDがもつ)

4 PSI 上での実現方法

4.1 専門家モデルのオブジェクト構成 (ESP表現)

専門家モデルはESP に変換されるため、推論エンジンの各モジュールは、オブジェクト指向のクラスまたはオブジェクトで構成されている。専門家モデルのオブジェクト構成を図4に示す。

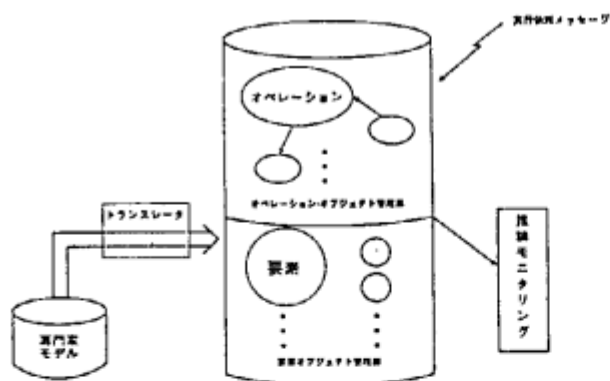


図4 専門家モデルのオブジェクト構成

トランスレータ

専門家モデルをESP 型式のオブジェクト構造に変換する。

オペレーション・オブジェクト

専門家モデルのオペレーションに対応。各オペレーションは、現在の状態、入出力要素グループ、評価式、及び次に実行するオペレーションの情報を持つ。

要素オブジェクト

専門家モデルの要素に対応。各要素は、属性名とその値をもつ。

オペレーション管理部

オペレーション名をキーにオペレーション・オブジェクトを保持する。

要素管理部

要素名をキーに要素オブジェクトを保持する。

4.2 オペレーション内の処理

オペレーションに実行依頼メッセージがくると、基本的に次の手順でオペレーションは実行される。

- (1) 未実行の入力要素グループを取りだす。
- (2) 入力要素グループ中のすべての要素に対して評価式を実行する。
- (3) 評価式の実行が成功した要素は、出力要素グループへ登録する。
- (4) ポスト・オペレーションに対して実行依頼メッセージをおくる。

5 ユーザ・インタフェース

専門家が、容易に専門家モデルの評価、推論を行えるように様々なユーザ・インタフェースを用意している。

- (1) マルチ・ウィンドウをもちいた各種情報表示機能
専門家モデルの評価、実行中、任意の時点で専門家に分かりやすい形で各種情報を表示しなければならない。そこで、各種メニュー項目を選択することにより、ウィンドウ上に各種情報を表示することができる。なお、表示内容としては、次のものを用意している。

- a) プリ・ポスト情報tree表示
- b) 入力要素グループ情報tree表示
- c) オペレーション情報 (評価式、タイプなど) 表示
- d) 要素情報 (属性名、属性値) 表示

なお、EPSILON/One 上で専門家モデルの評価、推論中の画面を図5に示す。

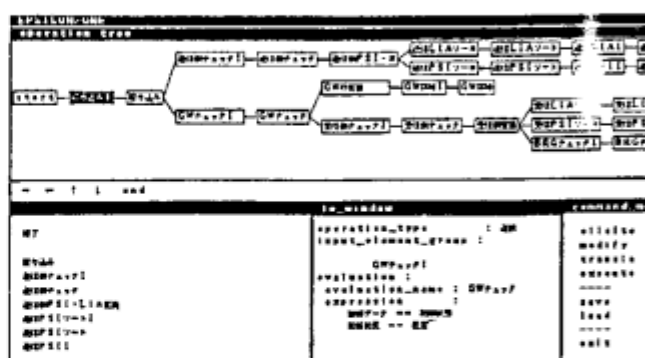


図5 推論エンジン動作画面

(2) トレース機能

オペレーション毎または要素毎に推論を中断・再開できる。また、ある特定のオペレーションまで推論を中断せずに行うSPY ポイントの設定機能もある。

(3) 推論過程の説明

この説明機能は、推論の妥当性を示す上で重要であり、推論開始から現在にいたるまでの履歴を表示する。

(4) 別解の探索

各種問題解決において解が一意に定まらない場合がある。そこで、このような時に後戻り（バックトラック）して別の解を検索することができる。

6 おわりに

専門家モデルの推論エンジンの特長、推論制御、実現方法、ユーザ・インタフェース等について述べた。現在システムは、開発段階であり、より快適なユーザ・インタフェース、より多く専門家モデルの評価、推論を通して本推論方法の改良を目指している。今後の課題として次のものを予定している。

(1) 専門家モデルの条件要素の知識獲得。及び、推論機構の強化

条件要素を用いることにより、オペレーションで利用する条件を動的に変更することができる。

(2) プリ・ポスト関係のAND、OR情報の知識獲得。及び、推論機構の強化

プリ・ポスト関係のAND・OR情報を抽出することにより、より専門家に近い推論を実現する。

(3) オペレーション実行時の並列処理

推論機構に並列処理を導入することにより、より速い評価、推論を実現する。並列処理の対象となるものに、次のものがある。これらの並列処理は、GHC 言語[上田 88]による実現を考えている。

- a) プリ・ポスト関係のAND・OR情報を持つオペレーションの並列処理
- b) オペレーション内並列処理
- c) 入出力要素グループ情報のAND・OR並列処理

[参考文献]

- [Davis 79] Davis, Randall. :Interactive Transfer of Expertise: Acquisition of New Inference Rules, Artificial Intelligence 12(1979).
- [Eshelman 87] Eshelman, Larry. :MOLE:A Knowledge Acquisition Tool That Buries Certainty Factors, Proceedings of the 2ND KNOWLEDGE ACQUISITION FOR KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS WORKSHOP, 6-9, 1987.
- [Hays-Roth 83] Hays-Roth, F., Waterman, D. A., Lenat, D. B.: Building Expert Systems, Addison-Wesley Publishing comp., 1983
- [Kahn 85] Kahn, G., S. Nowlan, and J. McDermott.: Strategies for knowledge acquisition., IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 7(5), 1985.
- [川口 87]川口, 他:インタビューシステムのためのシェリスの開発, 人工知能学会第一回全国大会論文集, 1987.
- [松本 87]松本, 太田:エキスパートシステム構築方法論—ES/SDM—の開発, 人工知能学会第一回全国大会論文集

, 1987.

- [Motta 88]Motta, E., Pitman, K.M., West, M.: Support for knowledge acquisition in the Knowledge Engineer's Assistant (KEATS), Expert Systems, Vol.5, NO.1, February 1988.
- [Quinlan 86] Quinlan, J.R.: Induction of decision trees, Machine learning 1.1.
- [Politakis 84] Politakis, P. and Weiss, S.M.: Using Empirical Analysis to Refine Expert System Knowledge Bases, Artificial intelligence 22(1984).
- [鈴木 86] 鈴木: OPS5文法入門, Computer Today, サイエンス社, 1986/5 No.13.
- [滝 87] 滝, 椿, 岩下「知識獲得支援システム (EPSILON) における専門家モデル」情報処理学会, 知識工学と人工知能研究会報告 52-4, 1987年5月
- [椿 88] 椿, 滝, 大崎: 知識獲得支援システム EPSILON/One(1) -異なる知識表現を用いたリファイン-, 第8回「知識工学シンポジウム」資料, 計測自動制御学会, 1988.
- [森堂 88] 森堂, 松本: エキスパートシステム構築アドバイザー / SAKAS, 人工知能学会第二回全国大会論文集, 1988.
- [上田 88] 上田: GHCプログラミングの基本, The Logic Programming Conference '88 チュートリアル資料, ICOT, 1988.