

多エージェント系自己認識論理の視覚的環境  
 - 導出原理を用いた決定手続きの視覚化 -

2W-4  
 本田 和利 河口 信夫 外山 勝彦 稲垣 康善  
 名古屋大学大学院工学研究科

1 はじめに

高度な知識情報処理の実現のために、階層などの構造を持つ知識やメタ知識を表現し、常識を用いた推論が可能なる論理体系として、多エージェント系自己認識論理(MAEL)[2]が提案されている。MAELでは、論理式が定理かどうかを判定する決定手続きとして、タフロー法に基づく方法[3]と導出原理を用いた方法[4]が提案されている。決定手続きにおいて証明の構造や過程を理解することは、論理体系を解析する上で重要な役割を果たす。また、手続きの効率化は推論システム実現のための重要な課題である。この問題に対し、タフロー法については計算機による視覚化に基づく理解・解析支援環境が提案されている[5]。導出原理を用いた方法はタフロー法に比べ導出木の数が多いため、導出木間の関係が複雑になり直観的な理解が困難である。本稿では、導出原理を用いた決定手続きに対する視覚化の手法を提案し、その視覚的環境を実現する。本手法では、導出木を木構造として直接画面に描画し、画面上のノードを直接指示することにより推論を進めることができる。また、導出木集合間の依存関係を有向グラフを用いて表すことにより、推論過程の直観的な理解や様々な戦略の解析を容易に行うことができる。

2 準備

2.1 多エージェント系自己認識論理

MAELは、Mooreの自己認識論理[1]を複数の理想的に合理的なエージェントの間でメタ知識の相互通信がある場合に拡張した体系であり、従来の命題論理式に加え、様相演算子 $L_i$  ( $i = 1, \dots, n$ )を用いた論理式 $L_i p$ を扱う。この論理式は、エージェント $i$ が知識 $p$ を持っているというメタ知識を表す。そして、エージェント $i$ が知識 $p$ を持っているときに、すべてのエージェントは自己認識推論により知識 $L_i p$ を持つことができる。

2.2 導出原理を用いた決定手続き

MAELにおける導出原理では、次の2種類のリテラルを扱う。

1. 原子命題 $P$ に対して、 $P, \neg P$ を命題リテラルという。
2. 論理式 $p$ に対して、 $L_i p, \neg L_i p$ を様相リテラルという。リテラル $L_i$ の選言 $L_1 \vee \dots \vee L_n$ を節といい、特に $n = 0$ のとき空節という。さらに、節 $C_1, C_2$ から導出節 $C =$

$(C_1 - \{1\}) \cup (C_2 - \{1\})$ を導く操作を導出という。導出木 $DT(S, g)$ は、節 $g$ を根に持ち、各ノードが子としてそのノードと節集合 $S$ の要素との導出節を持つ木構造である。導出木はその中に空節が現れるときに閉じていない、そうでないときに閉じている、それ以上導出ができないときに完全であるという。 $g \in S$ とすると、 $DT(S, g)$ が閉じているときに節集合 $S$ は充足不能となる。導出木集合 $DT(S, p)$ は、論理式 $p$ を節集合に変換したときの各節を根とする導出木の集合である。導出木集合はその中に閉じている導出木があるときに閉じている、そうでないときに開いている、全ての導出木が完全であるときに完全であるという。 $p \in S$ の場合、 $DT(S, p)$ が閉じている時に $S$ は充足不能となる。

決定手続きの概略は次の通りである。前提 $A_i$ から論理式 $p$ が導かれることを示すために、 $DTS(A_i \cup \{\neg p\}, \neg p)$ を作り完全にする。この中に様相リテラル $L_j q, \neg L_j q$ が出現した場合、新たに $DTS(A_j \cup \{\neg q\}, \neg q)$ を作る。このとき、これを $DTS(A_i \cup \{\neg p\}, \neg p)$ は $DTS(A_j \cup \{\neg q\}, \neg q)$ に依存しているという。全ての導出木集合を完全にした後、各導出木集合に、それが開くと仮定したらOPENと、閉じると仮定したらCLOSEDと割り当てられる操作(ラベル付け)を行う。ラベル付けに応じて得られる節を用いて再び導出を進め、受理可能なラベル付けにおいて、最初の導出木集合が閉じれば $A_i \cup \{\neg p\}$ が充足不能、すなわち $A_i$ から $p$ が導かれることが示される。

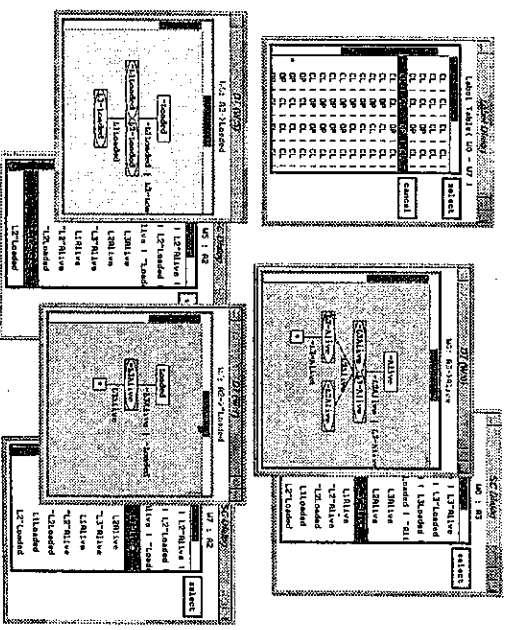


図1: 視覚的環境の実行画面

3 視覚化手法とその実現

本節では、導出木、および導出木集合間の依存関係に対する視覚化手法を提案する。この手法を用いて、実際に計算機上に視覚的環境を構築した。実現に用いる言語として、

Visual Environment for Multiagent Autoepistemic Logic — Visualization of Resolution-based Decision Procedure  
 Kazutoshi Honda, Nobuo Kawaguchi, Katsuhiko Toyama and Yasuyoshi Inagaki (Nagoya University)

関数型言語 Standard ML を並列化した Concurrent ML 及び eXene ライブラリを採用した。このシステムは、約 2500 行のプログラムで実現されている。例として、Yale 射撃問題 [6] に対する推論の実行画面を図 1 に示す。

### 3.1 導出木の視覚化

本手法では、導出木を各ノードに節の情報を持つ木構造で表し、直接画面に描画する(図 2)。ノードに現れるリテラルは、命題リテラルを長方形、様相リテラルを楕円で囲みリテラルの性質の違いを表す。また、導出可能なノードは色を変えて表現する。導出木の閉じている、開いている、完全であるといった状態は背景に変えることにより表し、現在の状態の把握を容易にしている。新たな導出木集合の作成に対しては、新しくウインドウを作成することで実現している。ラベル付けにおいては、現時点で可能な全てのラベル付けとその受理可能性を表示し、ユーザがラベル付けを選択できるようにしている(図 1 左上)。また、ラベル付けは必要に応じて変更することができる。

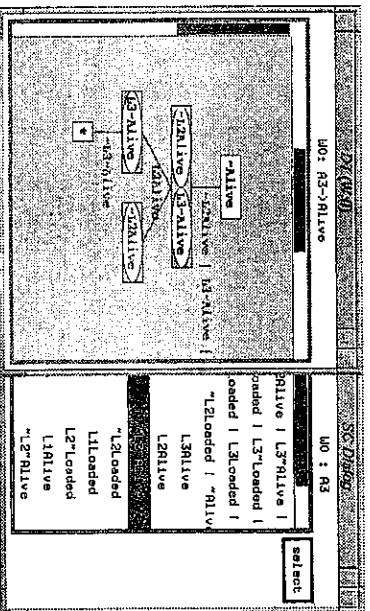


図 2: 導出木の視覚化

### 3.2 導出木集合間の関係の視覚化

各導出木は、出現する様相リテラルおよびラベル付けにより互いに密接に関連しているが、これまでではその関連についてほとんど注目されてこなかった。本稿では、導出木集合間に依存関係を定義し、これを視覚的に表現する手法を提案する。

本手法では、各導出木集合の依存関係を、導出木集合をノードとする有向グラフを用いて表す(図 3)。各ノードは現在出現している導出木集合に対応しており、ノード上には、その導出木集合が判定している論理式と割り当てられたラベルが表示され、ノードの色は、導出木集合が閉じているか開いているかによって変化する。また、各ノードはエージェントの階層毎に配置されるので、知識の階層構造の理解にも有効である。ノード間の矢印は導出木集合の依存関係を示しており、矢印の終点の導出木集合が開いているか開いているかによって、始点の導出木集合が開くか開かないか決まる。すなわち、始点の導出木集合は終点の導出木集合に依存する。

本手法により、展開戦略の違いによる導出木集合の出現状況や依存関係の違いが直観的に理解でき、戦略の効率の比較・解析や導出木の展開方針の決定の支援に有効である。

図 3 は、同じ問題に対して 2 種類の展開方法を用いた場合の依存関係を表している。左図の場合、右図の約半分の導出木集合が出現するだけで手続きが終了している。したがって、左図の展開戦略を採れば展開回数は約半分で済むことが分かる。

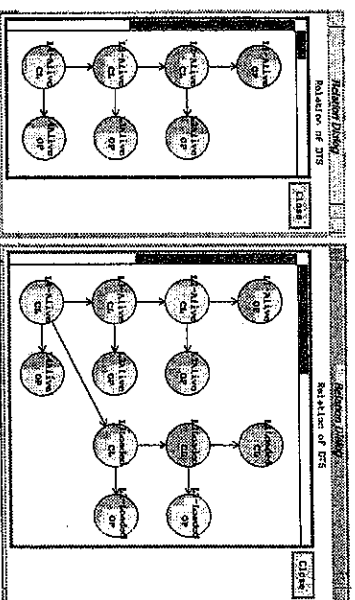


図 3: 依存関係の視覚化

## 4 まとめ

本稿では、導出木、および導出木集合間の依存関係についての視覚化手法を提案し、その手法を用いた視覚的環境を実現した。本環境では導出木の背景の色分けやユーザの指示による展開、複数ウインドウへの表示が実現されているため、推論過程の直観的な理解が可能になっている。特に、これまで注目されてこなかった導出木集合間の依存関係の視覚化により、各導出木集合の状態や戦略の違いによる展開効率の比較、知識構造や推論過程の解析が可能になった。

今後の課題としては、

- ・ 知識入力のための視覚的エディタの実現
  - ・ 実行時間のグラフ化、導出木集合の出現数のグラフ化などによる戦略解析支援
- などが挙げられる。また、本稿で提案した視覚化手法は、他の様相論理の決定手続きにも応用することも期待できる。

### 参考文献

- [1] Moore R. C.: *Semantical Considerations on Non-monotonic Logic*, *Artif. Intell.*, Vol.25, No.1, pp.75-94 (1985).
- [2] 外山勝彦, 稲垣康善: 自己認識論理のエージェントへの拡張とその階層的知識の表現への応用, *人工知能学会誌*, Vol.6, No.2, pp.208-216 (1991).
- [3] 外山勝彦, 稲垣康善: 2 エージェント系自己認識論理の決定手続き, *人工知能学会誌*, Vol.6, No.2, pp.218-227 (1991).
- [4] 本田和秀, 外山勝彦, 稲垣康善: 導出原理を用いた多エージェント系自己認識論理の決定手続き, *信学技報*, Vol.91, No.536, pp.69-78 (1992).
- [5] 河口信夫, 杉江智美, 外山勝彦, 稲垣康善: 多エージェント系自己認識論理の視覚的環境 — タクソノミーに基づく決定手続きの視覚化, *信学全大*, D-123 (1996).
- [6] 外山勝彦, 稲垣康善, 福村晃夫: 多エージェント系自己認識論理に基づく状態継続と因果関係の表現, *人工知能学会誌*, Vol.12, No.3, pp.118-126 (1997).