

2C-8

EBLにおける操作性基準としての完全因果性

山田誠二 辻三郎
大阪大学・基礎工学部

1. はじめに

近年、「説明に基づく学習: EBL」の研究が盛んに行なわれている。本報告ではマクロオペレータの一般化を「説明に基づく一般化: EBG」の枠組みで行なう際、筆者の提案しているマクロオペレータ抽出のヒューリスティックである「完全因果性」[Yamada 88b,89]が、Kellerの定義から見た場合にEBLの「操作性基準」に相当することについて述べる。

2. 完全因果性による選択的マクロオペレータ学習

マクロオペレータは入力である複数の基本オペレータを一つのオペレータに合成したもので、問題解決を効率化できる。マクロオペレータ学習では、問題を解いた結果である解法例のサブシーケンスがマクロの候補となるが、一般にその候補は非常に多くあるため、それらをすべてマクロとして生成していたのでは爆発的増加を招き学習無しシステムよりも効率が低下してしまう[Minton 85]。そこでマクロを選択的に学習することが必要になる。筆者は有効なマクロだけを抽出するための「完全因果性」というヒューリスティックを提案し、その有効性を方程式解法とロボットの行動計画の分野で確認した[Yamada 88a,88b,89]。

解法例中のあるオペレータシーケンスの適用結果が他のオペレータの適用を保証しているとき、それらの

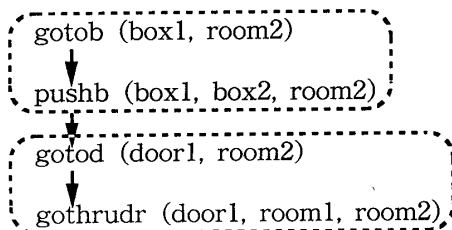


Fig.1 解法例

オペレータ間には「完全因果性」があるとし、マクロオペレータの候補になる。完全因果性の厳密な定義とマクロ抽出アルゴリズムは文献[Yamada 88b]を参照。

STRIPSを問題解決システムとして用いて、ロボットの行動計画に適用した例を示す。Fig.1のような解法例から完全因果性によって波線で囲まれたサブシーケンスだけが抽出される。Fig.2がFig.1で得られたサブオペレータシーケンスの一つを詳細に表わしたものである。Fig.2では黒丸が基本オペレータを表わし、その上右下に付いているノードがそれぞれ追加リスト、削除リスト、条件リストの要素を表わしている。以上のようにして得られたマクロオペレータの候補は、インスタンスであるのでこれをEBGにより一般化する。

3. EBGによるマクロオペレータの一般化

EBGによりオペレータシーケンスを一般化する。EBGはMitchellらによって、その統一的な枠組みが提案された[Mitchell 86]。EBGの入出力を以下に示す。

<入力> 1) 目標概念 2) 訓練例

3) 領域知識 4) 操作性基準

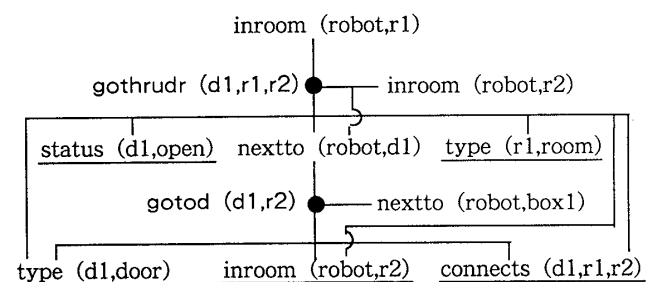


Fig.2 マクロオペレータの候補

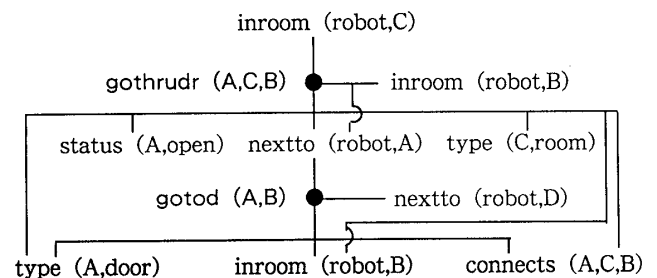


Fig.3 一般化された説明木

<出力>操作性基準を満たす言語による目標概念記述.

目標概念は訓練例の記述言語とは別の言語で記述されており、学習前ではある例が目標概念に含まれるか否かを判断することはできない。そこでEBGは訓練例がなぜ目標概念に含まれるかを領域知識を用いて証明することにより説明を行なう。この証明過程が「説明木」である。そして、この説明木を操作性基準を満たすノード（記述言語）まで一般化して行き、それらのノードの連言で目標概念記述を構成する。従来の操作性基準 [Keller 87a] は、「ある概念記述がそのインスタンスを効率的に認識するのに効率的に使用可能ならその記述は操作可能である」というものである。

Fig.2のオペレータシーケンスがEBGの説明木にあたり、MitchellらのEBGの枠組みで一般化できる。EBGにより一般化された結果がFig.3である。大文字は変数を表わす。このとき、EBGの4入力がそれぞれ何に対応するのかを考えていく。まず、目標概念はマクロオペレータの条件リストである。そして、訓練例はFig.2の枝である下線を引いたノードに対応し、この説明木を構成している基本オペレータが領域知識にあたる。あとは操作性基準であるが、マクロオペレータの条件リストは基本オペレータの条件リストの組み合わせで構成されるので、効率的に認識可能である。よって、従来の操作性基準の定義ではFig.1のどの問題状態も操作可能であり、どのサブシーケンスをマクロオペレータにしても構わないことになってしまう。これはどう考えればよいのだろうか。その答えは最近のKellerの操作可能性についての研究が与えてくれる。

4. Kellerの操作性基準の定義

Kellerは前述の従来の操作可能性を以下のようにより厳密に定義した [Keller 87a]。

[Kellerの操作可能性の定義]：概念記述が次の2つの条件を満たすとき、その記述は操作可能である。1) 使用可能性 (usability)：その概念記述がパフォーマンスシステムにとって使用できる。2) 有効性 (utility)：その概念記述によって、明記された目的についてそのシステムのパフォーマンスが改善される。

従来の定義は「パフォーマンスシステムにとって使用可能な概念記述は必ずパフォーマンスにとって有効な概念記述である」という暗黙の前提があるのに対し、

Kellerの定義は使用可能性と有効性を独立したものとしていることと、有効性を「目的」に依存するものとして捉えているところが決定的に異なる。このようなKellerの定義からみた場合、解法例から考えられるマクロのすべての候補は使用可能であるというだけで、その有効性は保証されていない。多くの使用可能なマクロの候補のうち実際にパフォーマンスを改善するもの、つまり有効なものだけが操作可能になるのである。KellerのMETA-LEX [Keller 87b] システムではこの有効性の検証を実際にベンチマークテストを解かせて行なっているがそれでは非常に効率が悪い。対照的に完全因果性は実際に問題解決することなしに有効なマクロを選択できるヒューリスティックであり、効率的な評価が可能な操作可能性の基準であるといえる。

5. まとめ

完全因果性によるマクロオペレータの選択的学習において、完全因果性が操作性基準に対応することをKellerの操作可能性の定義により考察した。

<参考文献>

- [Keller 87a] Keller, R. M. : Defining Operationality for Explanation - Based Learning, AAAI - 87, pp.482 - 487 (1987)
- [Keller 87b] Keller, R. M. : Concept Learning in Context, pp.91 - 102, International Workshop on Machine Learning (1987)
- [Minton 85] Minton, S. : Selectively Generalizing Plans for Problem - Solving, IJCAI - 85, pp.596 - 599 (1985)
- [Mitchell 86] Mitchell, T. M. et. al. : Explanation - Based Generalization : A Unifying View, pp. 47 - 80, Machine Learning, 1 - 1 (1986)
- [Yamada 88a] 山田, 辻, 安部 : 直接解決可能性に基づく一般化 : DSBG, 人工知能学会誌, Vol.3, No.6 (1988)
- [Yamada 88b] 山田, 辻 : 完全因果性によるマクロオペレータの選択的学習, 情報処理研究会, 88 - AI - 60 (1988)
- [Yamada 89] 山田, 辻 : 完全因果性によるマクロオペレータの選択的学習, 人工知能学会誌, Vol.4, No.3 (1989) [掲載予定]