

松尾 豊 石塚 満

東京大学 工学部 電子情報工学科

1 はじめに

仮説推論は、与えられたゴールを説明するのに必要な無矛盾な仮説の集合を求める枠組みである。ゴールを証明する仮説の候補は普通複数あるが、コストに基づく仮説推論では、各要素仮説にコストを設定し、その重み和を最小とする仮説候補を合理的なものとして選択する³⁾。

しかし、実際に仮説推論を用いて設計・診断問題などを解く際には、仮説の重み和を最小化するという簡単な選好基準では不十分なことも多い。例えば、経路探索問題を仮説推論で表現する際には、時間と料金という2種類の量を用いる方が自然である。したがって、ユーザの目的に合わせた選好基準を用いることができれば便利であろう。

また、知識ベースは、ゴールと関連していると思われる知識をユーザが抜き出して記述するものであるから、そもそも関連した知識が記述されていない可能性もある。したがって、欠落知識を補間する方法¹⁾や新たな仮説を見つけ出す方法⁵⁾なども提案されている。ここでは、ユーザが新たな知識を簡単に書き加えられるように、現在の知識ベースから得られる推論結果を分かりやすく提示することが重要であると考え²⁾。

以下では、仮説推論システムをより柔軟で使いやすいものにするいくつかの試行について述べる。

2 柔軟な拡張とは

使いやすい仮説推論システムを構築するためには、(i) 知識、ゴールが表現しやすい、(ii) 結果が理解しやすい、ことが必要である。ここでは、(i) の例として複数のコストを用いて問題を柔軟に表現した例、(ii) の例として解以外の有用な情報を表示する例について述べる。

2.1 複数のコストを用いる例

筆者らは、以前、仮説推論の並行プロセスによる高速推論法を提案した⁴⁾。これは、1つの変数やホーン節をそれぞれ1つのプロセッサと考え、近傍の制約を

充足するようなインタラクションを行うことにより解を得るアルゴリズムである。一般的な最適化問題の解法である Augmented Lagrangean Method に基づいてアルゴリズムを構築しているため、目的関数を自由に設定することができる。例えば、

- 各仮説に複数のコストを設定する。複数のコストの関数を目的関数とし、これを最小とする仮説が最も好ましいと考える。
- 非線形な目的関数を用いる。また、離散的（組み合わせ的）な目的関数を用いる。

もちろん、これは仮説候補のうちどれを選ぶかという選好基準であって、仮説候補は背景知識とともにゴールを演繹的に導くことができなければならない。

図1は、東京大学から新宿へ行く経路の知識を表した知識ベースである。各経路には料金、かかる時間という2つのパラメータがあり、一般的なコストに基づく仮説推論では表現できない。ここでは、各仮説に料金、時間の2種類のコストを持たせ、さらに目的関数を、例えば、

$$\text{Min. } f = \sum_{h_i \in H} \text{time}_i h_i \times \sum_{h_i \in H} \text{price}_i h_i \quad (1)$$

ただし H は仮説集合、仮説 h_i が真のとき $h_i = 1$ 、偽のとき $h_i = 0$ 、仮説 h_i のコストを time_i および price_i とする。

とする。このような変更は、推論法として並行プロセスによる高速仮説推論法を用いると簡単であり、実際に、次のような解が得られた。

$\{\text{walk}(u\text{Tokyo}, \text{Hon3}), \text{marunouchi}(\text{Hon3}, \text{Shinjuku})\}$

コスト1 = 190(円), コスト2 = 35(分)

ここで用いた知識ベースは、東京大学から新宿へ行く場合だけに用いることができるが、例えば、区間ごとの乗車距離を仮説に付加し、乗車距離に応じて料金を計算するような関数を用いて目的関数を設定すれば、より簡潔に知識ベースを記述することができる。

2.2 解の表示

仮説推論システムにおいて、推論の結果を分かりやすく表示することも重要である。解以外の情報も同時に提示し、解が得られる過程を示すことで、推論結果を利用しやすく、また新たに知識を付け加えやすくなる。解が得られる過程を示すことで、推論結果を利用しやすく、また新たに知識を付け加えやすくなる。解が得られる過程を示すことで、推論結果を利用しやすく、また新たに知識を付け加えやすくなる。

Flexible extention of hypothetical reasoning
Yutaka Matsuo, Mitsuru Ishizuka
Dept. of Information and Communication Engineering,
Faculty of Engineering, The University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113, JAPAN

```

1 ← at(Shinjuku).
at(Hon3) ← at(uTokyo), walk(uTokyo,Hon3).
at(Wezu) ← at(uTokyo), walk(uTokyo,Wezu).
at(Todaimae) ← at(uTokyo), walk(uTokyo,Todaimae).
at(Shinjuku) ← at(Hon3), marunouchi(Hon3,Shinjuku).
at(Ikebukuro) ← at(Hon3), marunouchi(Hon3,Ikebukuro).
at(Shinjuku) ← at(Ikebukuro), JR(Ikebukuro,Shinjuku).
at(Ocha) ← at(Hon3), marunouchi(Hon3,Ocha).
at(Shinjuku) ← at(Ocha), JR(Ocha,Shinjuku).
at(ShinOcha) ← at(Wezu), chiyoda(Wezu,ShinOcha).
at(Ocha) ← at(ShinOcha), walk(Ocha,ShinOcha).
at(Yotsuya) ← at(Todaimae), nanboku(Todaimae,Yotsuya).
at(Shinjuku) ← at(Yotsuya), marunouchi(Yotsuya,Shinjuku).
at(uTokyo).
$walk(uTokyo,Hon3)/0/10, walk(uTokyo,Wezu)/0/5,
$walk(uTokyo,Todaimae)/0/4, walk(Ocha,ShinOcha)/0/4,
$marunouchi(Hon3,Shinjuku)/190/25,
$marunouchi(Hon3,Ikebukuro)/160/8,
$JR(Ikebukuro,Shinjuku)/150/8,
$marunouchi(Hon3,Ocha)/160/2,
$JR(Ocha,Shinjuku)/160/10,
$chiyoda(Wezu,ShinOcha)/160/4,
$nanboku(Todaimae,Yotsuya)/160/9,
$marunouchi(Yotsuya,Shinjuku)/160/7,
コストの定義は '$命題/コスト1/コスト2.'

```

図 1: コストが 2 種類定義される問題

図 2 は、7 人の学生を 4 つの研究室に割り当てる問題を仮説推論で表現したものである。満たすべき条件として、各研究室に 1 人以上 2 人以下の学生が配属されなければいけない。仮説 S_{iLj} は、学生 i が研究室 j に配属されることを示している。

これを推論システムを使って解くと、

$\{S_{1L3}, S_{2L1}, S_{3L2}, S_{4L4}, S_{5L1}, S_{6L4}, S_{7L3}\}$

コスト 20

という解が得られる。しかし、これだけでは、なぜこのような解が得られるのか分からない。

そこで、解だけでなく、並行プロセスによる仮説推論法において、最終的に Lagrange 乗数の高いルールを提示する。これは、解の導出の際に大きく考慮された（手を煩わせた）ルールである。

9.0: $inc \leftarrow S_{1L3}[T], S_{2L3}[F], S_{7L3}[T].$

8.0: $inc \leftarrow S_{2L4}[F], S_{4L4}[T], S_{6L4}[T].$

これらのルールを見ると、各研究室に 2 人までしか学生を配属できないために、学生 2 が研究室 3 にも 4 にもいけない、という状況が分かる。

また¹、

10.0: $stu1 \leftarrow G1, 2.1: stu5 \leftarrow G1$

10.1: $stu2 \leftarrow G1, 8.9: stu6 \leftarrow G1$

1.0: $stu3 \leftarrow G1, 9.9: stu7 \leftarrow G1$

8.9: $stu4 \leftarrow G1,$

¹これらは、" $G1 \leftarrow stu1, \dots, stu7.$ " に完備化を施した際のトップダウンのルールである。

```

1 ← G1, G2.
G1 ← lab1, lab2, lab3, lab4.
lab2 ← S1L1 ∨ S2L1 ∨ S3L1 ∨ S4L1 ∨ S5L1 ∨ S6L1.
lab3 ← S1L2 ∨ S2L2 ∨ S3L2 ∨ S4L2 ∨ S5L2 ∨ S6L2.
...
G2 ← stu1, stu2, stu3, stu4, stu5, stu6, stu7.
stu1 ← S1L1 ∨ S1L2 ∨ S1L3 ∨ S1L4.
stu1 ← S2L1 ∨ S2L2 ∨ S2L3 ∨ S2L4.
...
inc ← S1L1, S1L2.
inc ← S1L1, S1L3.
...
inc ← S1L1, S2L1, S3L1.
inc ← S1L1, S2L1, S4L1.
...
$$S1L1/10, S1L2/10, S1L3/ 1, S1L4/ 2,
$$S1L1/10, S1L2/10, S1L3/ 1, S1L4/ 2,
$$S1L1/10, S1L2/ 2, S1L3/10, S1L4/ 1,
$$S1L1/10, S1L2/10, S1L3/ 2, S1L4/ 1,
$$S1L1/ 2, S1L2/10, S1L3/ 1, S1L4/10,
$$S1L1/10, S1L2/10, S1L3/ 2, S1L4/ 1,
$$S1L1/10, S1L2/10, S1L3/ 1, S1L4/ 2,
labi = 研究室 i に学生が配属になることを表す命題
stuj = 学生 j がいずれかの研究室に配属になることを表す命題

```

図 2: 研究室の配属を決める問題

から、学生 3 と学生 5 に対しては配属を決めるのは簡単であるが、それ以外の学生については、配属を決めるのが難しいことが分かる。

この例では問題の規模が小さいため、ここで述べたことはほとんど自明であるが、より複雑な問題を解く際には、このような情報をうまく利用することで、なぜその解が出るのかを分かりやすく示すことができるのではないかと考えられる。

3 まとめと今後の課題

仮説の選好条件の拡張の例、および解以外の情報の提示の例を示した。より使いやすい仮説推論システムを構築するには、解くべき問題をより簡単に柔軟に表現できること、また、推論結果がユーザにとって分かりやすく有用であることが必要である。今後はこのような視点のもとに、仮説推論システムの拡張を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 阿部明典. 欠如節を生成する推論法. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-II, No. 6, pp. 1285-1292, 1998.
- 2) 堀浩一. 思考の可視化. 可視化情報学会誌, Vol. 19, No. 72, pp. 2-6, 1999.
- 3) 井上克巳. アブダクションの原理. 人工知能学会論文誌, Vol. 7, No. 1, pp. 48-59, 1992.
- 4) 松尾, 石塚. 並行プロセスによる高速仮説推論法. 第 120 回 知能と複雑系研究会, 情処研報, No. 55, pp. 1-8, 2000.
- 5) 砂山渡, 大澤幸生, 谷内田正彦. 事象ごとの生起確率から未知事象発見を支援する手法とそのアンケート調査への適用. 人工知能学会論文誌, Vol. 14, No. 2, pp. 349-358, 1999.