

## 知識コンバージョンと完全・不完全知識の洗練化の統合について

7M-5

桂田 浩一

大原 剛三

馬場口 登

北橋 忠宏

大阪大学 産業科学研究所

## 1 はじめに

現実世界に関する知識の大部分を占める、常に成り立つとは限らない不完全知識の獲得方法の一つとして、筆者らは知識を質的に変化させる知識コンバージョン (Knowledge Conversion, 以後 KC と略記する) の検討を進めてきた [1]。本稿では KC を用いて常に成り立つ完全知識と不完全知識の洗練化 [2] を実現することにより、KC と洗練化を統合する。知識の洗練化 [3] とは推論効率向上のための知識の再構成をいい、提案手法では、不完全知識の書換えによって不整合事例に関するルールを削減し、推論効率の向上を実現する。

## 2 ADAG 表現

本稿では、完全知識、不完全知識および事実を完全ルール、不完全ルールおよびインスタンスとして表す。完全ルールのうち、結論部が矛盾を表す記号  $\perp$  であるものを制約と呼び、条件部が成り立つ場合に矛盾することを表す。ルールは図 1 のような属性付き有向アサイクリックグラフ (Attributes Added Directed Acyclic Graph, 以後 ADAG と略記する) [1] で表される。図中の番号は、各ルールの ID 番号を表す。

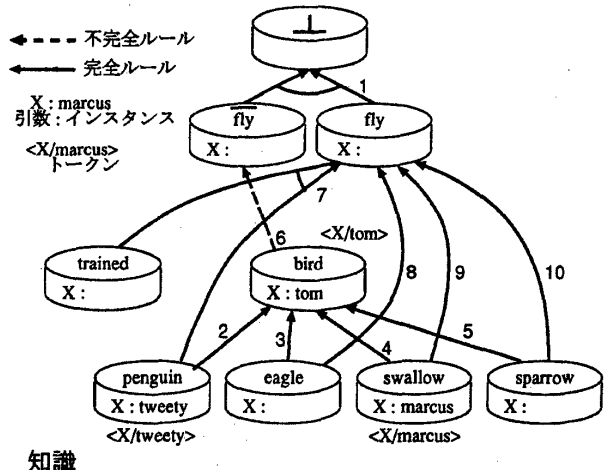
ADAG での推論は、図 1 における  $\langle X/\text{marcus} \rangle$  のような変数/定数の組からなるトークンの伝播によって行う。トークンはまずインスタンスのあるノードに対して与えられ、次の伝播規則に従いグラフ中を伝播する。

完全ルール: 「条件部の同一変数に同一定数のトークンがあればそのトークンを結論部に伝播する。」

不完全ルール: 「条件部の同一変数に同一定数のトークンがあり、結論部に伝播しても無矛盾ならば、そのトークンを結論部に伝播する。」

ここで、不完全ルールの結論部に伝播すると矛盾するために、伝播できないようなトークンにより表されるインスタンス、及び、そのようなインスタンスを表すノードを不整合事例と呼ぶ。

Integration of Knowledge Conversion and Refinement of Complete/Incomplete Knowledge,  
Kouichi KATSURADA, Kouzou OHARA,  
Noboru BABAGUCHI, Tadahiro KITAHASHI,  
I.S.I.R., Osaka University



知識

1. 「飛ぶと飛ばないは同時に成り立たない」
2. 「ペンギンは鳥である」
3. 「鷹は鳥である」
4. 「燕は鳥である」
5. 「雀は鳥である」
6. 「鳥は通常飛ばない」
7. 「訓練されたペンギンは飛ぶ」
8. 「鷹は飛ぶ」
9. 「燕は飛ぶ」
10. 「雀は飛ぶ」

## 事実

「tweety はペンギンである」「marcus は燕である」  
「tom は鳥である」

図 1: ADAG 表現

## 3 KC と洗練化の統合

不完全ルールの不整合事例の増加に伴い、不整合事例に関するルールが増加した場合、この不完全ルールの結論部を、不整合事例が整合事例となるように別の結論部に書換えることによって、不整合事例に関するルールを削除することができる。この結果、推論におけるトークン伝播の総数が減少し、推論効率が向上する。

このような洗練化を実現するためには、複数のルールを一つの不完全ルールに統合する KC と、1つの不完全ルールを複数のルールで表す KC が必要である。本章では、洗練化の条件及びこれらの KC について検討する。

## 3.1 洗練化の条件

前述の伝播規則の定義より、不完全ルールを用いた推論では矛盾検査が必要となるので、完全ルールを用いた推論に比べて効率が悪い。従って、推論効率を検討する場合には、そのようなルールによる効率の違いを考慮しなければならない。そこで本手法では効率の違いを表すパラメータとして、重み  $W_C$ ,  $W_I$  をそれぞれ完全ルール、不完全ルールに対して設定する。ただし、重みは正の実数で、 $W_C < W_I$  とする。従って、本手法の適用前

後では、グラフ中のルールの子ノードの重みの総和が減少していなければならない、これを洗練化規範とする。

### 3.2 不整合事例に関するルールの統合

ここでは、複数のルールを一つの不完全ルールに統合する KC について説明する。不完全ルールは矛盾を契機とした KC によって完全ルールから変換される [1] ことから、不完全ルールの結論部は必ず制約の条件部となる。以下では、ある不完全ルール  $I$  の結論部が、制約  $\perp \leftarrow C_1, \dots, C_m$  の条件部のノード  $C_i$  であるとする。

不完全ルール  $I$  の条件部の子ノードの集合  $N$  のノードのうち、図 1 の eagle, swallow, sparrow のように、すべての  $C_j (j \neq i)$  ヘトークンが伝播可能であるノード  $n_m$  は、前述の定義から  $I$  の不整合事例であるといえる。このような  $n_m$  が存在するとき、図 1 のルール 8, 9, 10 のように、各  $n_m$  が条件部であり、ある  $C_k (k \neq i)$  が結論部であるようなルールの集合を  $R$  とおく。このとき、 $I$  の条件部が条件部であり、 $C_k$  が結論部である不完全ルール  $I'$  を追加すれば、 $I'$  を介して  $n_m$  中のトークンを  $C_k$  に伝播できるので、 $R$  中のルールは推論結果を変化させることなく削除できる。

### 3.3 不完全ルールの削除と事実の保持

ここでは、一つの不完全ルールを複数のルールで表す KC を説明する。前節の操作において  $I'$  を追加したことに伴い、 $I$  を削除しなければならない。この追加・削除によって、 $I$  を用いることで得られていた推論結果が得られなくなるが、不完全ルールの結論は一般に仮説と捉えることができることから、このような推論結果の変化は合理的であるといえる。しかしながら、 $I$  の結論の中には、 $I$  が不完全ルールに変換される前に演繹的に結論されていた確かな事実があり、これが結論されなくなることは避けなければならない。

本手法では、このような確かな事実に関する情報を保持するために、完全ルール  $r$  を不完全ルールに変換する際に既に存在する  $r$  の条件部のインスタンス、及び、条件部の子ノードを、 $r$  を用いた推論の際の確かな事実として作業記憶 (Working Memory, 以後 WM と略記する) に記述する。WM は次のようなレコードから構成される。

[ルール ID, [(ノード), ...], [インスタンス, ...]]

図 1 におけるノード penguin, インスタンス tom がルール 6 が不完全ルールに変換される前から存在した場合、WM は次のレコードを持つ。

[6, [(penguin)], [tom]]

本手法では不完全ルール  $I$  を削除する際に、 $I$  のレコード中のノードを条件部、 $I$  の結論部を結論部とする

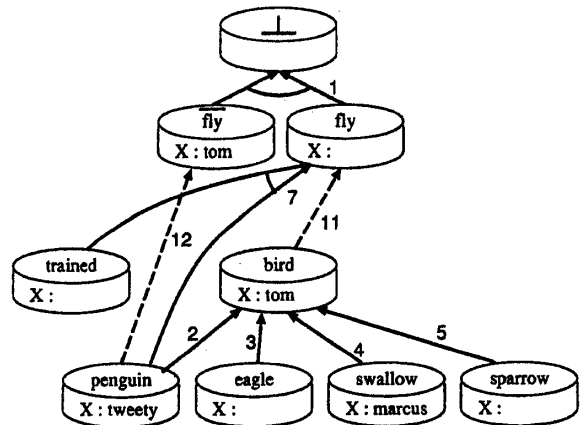


図 2: 洗練化後の知識ベース

図 2 におけるルール 12 のようなルールを追加し、tom のような  $I$  のレコード中のインスタンスを  $I$  の結論部に追加する。以上の操作の終了後に、その時点の知識の構成に従って WM を更新する。

## 4 洗練化の実行例

以上の洗練化を図 1 に適用した場合、洗練化規範より、 $3 \times W_C > W_I$  であれば図 2 のような知識の再構成が実行される。この例ではルール 8, 9, 10 がルール 11 に書換えられ、ルール 6 の削除に伴ってルール 12 が追加され、fly にインスタンス tom が追加される。この操作の終了後、WM は次のように書換えられる。

[11, [(eagle), (swallow), (sparrow)], []]  
[12, [], [tweety]]

## 5 まとめ

本稿では、知識コンバージョンを用いて不完全ルールを書換え、不整合事例に関するルールを削減する洗練化の手法を提案した。不整合事例とはその数が少数であるときには、不完全ルールに対する例外と見做すことができる。すなわち、提案手法は動的に変化する環境に応じて、例外と例外でないものの認識を逆転させるよう知識を変換する知識コンバージョンと捉えることができる。今後の課題としては、重みの具体的な設定などがあげられる。尚、本研究の一部は文部省科学研究費の補助による。

## 参考文献

- [1] 馬場口, 大原, 桂田, 北橋: 矛盾を契機とする知識の質的転化, 1995 年度人工知能学会全国大会論文集, pp.53-56(1995).
- [2] 桂田, 大原, 馬場口, 北橋: ルール数の変化を考慮した完全・不完全知識の洗練化, 1996 年度人工知能学会全国大会論文集, pp.309-312(1996).
- [3] A. Ginsberg, S. Weiss, and P. Politakis: SEEK2: A Generalized Approach to Automatic Knowledge Base Refinement, Proc. IJCAI85, pp.367-374(1985).