

信念に基づく非単調知識処理システム BMS

5C-4

森馬 純一 馬場口 登 手塚 慶一

大阪大学 工学部

1. まえがき

従来の知識処理システムの多くは、完全な知識のみを扱うことが可能であり、デフォルトや例外を含む知識のような不完全な知識を扱うことは困難であった。またそれと同時に単調な推論を行う能力しか持ち得なかった。しかし将来の知識処理システムとして、不完全な知識をも扱うことができ、非単調な推論能力を持つものが望まれている。

ここで提案するBMS (Belief Management System)は自己認識論理(autoepistemic logic)[1]の推論メカニズムを応用することによって非単調推論を実現するシステムである。BMSが持つ機能には、与えられた完全な知識・不完全な知識から無矛盾な推論結果を得る機能、新しい知識の追加に伴い知識ベースを更新する機能、与えられた質問に答える機能がある。本稿ではBMSの基本的構造と動作について述べる。

2. 自己認識論理式の簡略化

BMSは非単調論理の1つである自己認識論理の表現形式・意味論を利用している。自己認識論理は古典的論理の体系に様相記号Lを加え拡張することによって、非単調推論を定式化した論理である。「pならば普通qである」というデフォルト型の知識は、自己認識論理上では $L p \wedge M q \rightarrow q$ と書ける。しかし、このような式は様相記号を含んでいるため直感的な意味がつかみにくい。そこで、オペレータ \Rightarrow を定義し、上式を $p \Rightarrow q$ と表すことにする。これによってL・Mを表現上に出すことなく、簡便な表現でデフォルト型知識を記述できる。ここで、BMSで扱う式を、命題論理式および、 $p \Rightarrow q$ の形で書ける式だけに制限し、このような式をMAL式(modified autoepistemic logic formula)と呼ぶことにする。

[定義1] (MAL式)

- (1) 命題論理式はMAL式である。
- (2) p, qが命題論理式ならば $p \Rightarrow q$ はMAL式である。ここで、「普通qである」ことを表す式は、 $T \Rightarrow q$ (Tは恒真命題)と書けるが、これを略記して $\Rightarrow q$ と書くことにする。このように、MAL式は命題論理式および \Rightarrow を含む式の2種に大別できる。ここで前者を通常式、後者をデフォルト式と呼ぶことにする。またオペレータ \Rightarrow を自己認識含意(autoepistemic implication)と呼ぶことにする。

3. BMSの構成

BMSは、自己認識論理における理論が完全S5構造と呼ばれる可能世界集合で表すことができるという事実[1]に基づいて構成されている。そこで、その知識ベース

として論理式ベース、信念ベース、可能世界ベースの3領域を設けている。それはBMSが、与えられた式(論理式ベースに蓄えられる)から、自身の信念(信念ベースに持つ)をもとに無矛盾な推論結果を可能世界集合(可能世界ベースに構成する)として求めるという動作によって推論を実現できるからである。以下、それぞれについて簡単に述べる。

図1はBMSの状態の例である。これは「鳥のtweetyは普通飛ぶ」「ペンギンのtweetyは鳥である」「ペンギンのtweetyは飛ばない」「tweetyは鳥である」という4つの知識が与えられたときの状態を示している。

DFB	$bird(tweety) \Rightarrow fly(tweety)$	論理式 ベース	
OFB	$penguin(tweety) \rightarrow \neg fly(tweety)$		
	$penguin(tweety) \rightarrow bird(tweety)$ $bird(tweety)$		
B B	$bird(tweety) : valid$ $\neg fly(tweety) : not\ believed$	信念 ベース	
W B	$fly(tweety)$	0 1 0	可能世界 ベース
	$penguin(tweety)$	1 0 0	
	Label	out in out	
		w 1 w 2 w 3	

図1 BMSの状態の例

(1) 論理式ベース F B

現在までにシステムに与えられた式を保存する部分であり、式は、その種類に応じて通常式ベースOFBおよびデフォルト式ベースDFBに区別して格納される。なお、FB, OFB, DFBに記述される式集合を各々 Δ , ΔO , ΔD と表す。

(2) 信念ベース B B

デフォルト式 $p \Rightarrow q$ の解釈は、 $L p, L \neg q$ の真理値、すなわちシステムがpおよび $\neg q$ をそれぞれ信じているかどうかによって依存する。ここには全ての $p \Rightarrow q \in \Delta D$ について、pおよび $\neg q$ に関する信念(ラベルで与えられる)が記述される。信念を表すラベルは次の3つのいずれかである。

- ① valid ... pが恒真であることを示す。
 - ② believed ... pを信じていることを示す。
 - ③ not believed ... pを信じていないことを示す。
- ①は今後更新の際にもラベルが不変であり、②③は更新の際、他のラベルに変わる可能性がある。

(3) 可能世界ベース W B

推論結果を可能世界集合として保持する部分に相当す

る。WBのそれぞれの可能世界は各命題への真理値割当を表しており、それらは ΔO の全モデルである。但し、BBでvalidとラベル付けされている命題定数については記述しない。後で述べるように各世界にはinまたはoutのラベルが与えられている。

4. BMSの動作

BMSの動作は、筆者らが提案した自己認識論理における拡張世界構成手続き[2]を応用したものである。拡張世界(expansion)とは自己認識論理において、与えられた式集合から得られる無矛盾な推論結果を意味し、古典的論理の定理集合に相当する。以下では式集合 Δ の拡張世界を $EX[\Delta]$ と表記する。

(1)世界へのラベル付け

WBに含まれる各世界にはラベル付けが行われている。これらは知識ベース更新の際、必要に応じて変更されるが、ラベルは次に定義するBMS解釈を用いて与えることができる。

[定義2] (BMS解釈)

wをWBの1つの可能世界、p、qを通常式とするとき、以下の条件を満たす解釈をBMS解釈と呼ぶ。

- ① wでpが真であるとき、またそのときに限りpが真。
- ② 次のいずれかの条件を満たすとき、またそのときに限り $p \Rightarrow q$ が真。
 - ・ BBでpのラベルがvalidまたはbelieved、 $\neg q$ のラベルがnot believedであり、かつwでqが真
 - ・ BBでpのラベルがnot believedである
 - ・ BBでqのラベルがvalidまたはbelievedである
- ③ 次のいずれかの条件を満たすとき、またそのときに限り $\neg q$ が真。
 - ・ BBで $\neg q$ のラベルがnot believedであり、かつwでqが真
 - ・ BBでqのラベルがvalidまたはbelievedである

但し、BBでpがvalidとラベル付けされている場合には、任意のWBの世界でpは真であるとする。

[定義3] (世界へのラベル付け)

BMS解釈で ΔD の全ての式が真となると、wにラベル"in"を与える。そうでない場合、wにラベル"out"を与える。

(2)システムの無矛盾性

WBは Δ から得られる推論結果を表す部分であり、WBの各世界は ΔO の全モデルを表している。また、WBでinとラベル付けされている世界の集合をin世界集合と呼ぶことにすると、in世界集合は Δ の拡張世界の1つを表す世界集合であるようBBおよびWBのラベルが調整される。

[定義4] (知識ベースの無矛盾性)

Winをin世界集合とする。このとき、全ての $p \in BB$ について以下の条件を満たすとき知識ベースが無矛盾であるという。

- ① Winが空でない
- ② pにラベルvalidまたはbelievedが与えられているならばWinの全ての世界でpが真

- ③ pにラベルnot believedが与えられているならば、Winの少なくとも1つの世界でpが偽

知識ベースが無矛盾であるとき、in世界集合は前提 Δ の拡張世界を表す世界集合となり、システムは与えられた前提に対する無矛盾な信念集合を持っているといえる。図1の例では、この無矛盾性が保たれている。

なお、BMSは新しい知識が加えられたときにも知識ベースが無矛盾であるよう信念を更新するアルゴリズムを持つ[3]。

(3)質問と応答

知識ベースが無矛盾であるとき、BMSはある事柄を信じているかという質問(命題pで与えられる)に答えることができる。BMSはpに関する信念の状態に応じて次の5通りの答のいずれかを返す。但しWinをWBのin世界集合、WをWBの全世界の集合とする。

- ① Wの全ての世界でpが真ならばtrue。
- ② Wの全ての世界でpが偽ならばfalse。
- ③ ①の条件を満たさず、Winの全ての世界でpが真ならばperhaps true。
- ④ ②の条件を満たさず、Winの全ての世界でpが偽ならばperhaps false。
- ⑤ 以上のどれでもない場合、unknown。

なお上の各条件は、それぞれ論理的に以下のことを示す。

- ① $p \in \{\phi \mid \Delta O \vdash \phi\}$ 。
- ② $\neg p \in \{\phi \mid \Delta O \vdash \phi\}$ 。
- ③ $p \notin \{\phi \mid \Delta O \vdash \phi\}$ かつ、 $p \in EX[\Delta]$ 。
- ④ $\neg p \notin \{\phi \mid \Delta O \vdash \phi\}$ かつ、 $\neg p \in EX[\Delta]$ 。
- ⑤ 以上のいずれでもない。

すなわち、完全な知識からp、あるいは $\neg p$ が導かれる場合が①②に相当し、不完全な知識を用いて導かれる場合が③④に相当する。

例えば、図1の状態のとき、fly(tweety)という質問に対しては①②の条件を満たさず③を満たすため、perhaps trueという答を返す。このことから判るように、BMSは我々の直感に合った答を与えることができる。

5. まとめ

本稿では、完全な知識と不完全な知識をもとにして無矛盾な信念集合を構成するBMSを提案した。BMSはデフォルト型の知識も完全な知識と同等に扱うことを可能とし、質問に対する応答も従来のシステムよりも柔軟性の高いものとなっている。今後はシステムの各動作について詳細に検討していく予定である。

《参考文献》

- [1] R.C.Moore: Possible-World Semantics for Auto-epistemic Logic, AAAI Non-Monotonic Reasoning Workshop, pp. 344-354 (1984).
- [2] 森馬, 馬場口, 手塚: "自己認識論理における拡張世界の一構成法", 情処第37回全大7J-5, (1988)
- [3] 森馬, 馬場口, 手塚: "非単調知識ベースの更新と無矛盾性維持について", 信学春季全大D-210 (1989)