ICOT Technical Memorandum: TM-0307

TM-0307

最小変化－フレーム問題へのアプローチ

佐藤　健，横田治夫，北上　始
（富士通）

July, 1987

ICOT

Mita Kokusai Bldg. 21F
4-28 Mita 1-Chome
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03) 456-3191～5
Telex ICOT J32964

Institute for New Generation Computer Technology

最小変化—フレーム問題への1アプローチ

1-16

Minimal Change — An approach to the Frame Problem

佐藤　健　　横田　治夫　　北上　始
Ken SATOH　Haruo YOKOTA　Hajime KITAKAMI
富士通株式会社
Fujitsu Ltd.

It has recently been revealed that the current Non-monotonic reasoning systems can not treat common sense reasoning of state changes properly. It is because that undesired results are sometimes included in generated extensions. We propose "Minimal Change" to express reasoning of state changes. We formalize that people tend to think that a state will turn into a consistent and minimally different state after a given event. In this paper, we describe the defect of the current Non-monotonic reasoning systems and the fomalism of the "Minimal Change" as an approach to the Frame Problem.

1. はじめに

フレーム問題〔McCarthy69〕の解決の候補として見られていた非単調推論（〔McDermott80〕，〔Reiter80〕，〔McCarthy80〕）では，うまく状態変化の推論ができないことが最近明らかになった〔Hanks86〕。本論文では，現在の非単調推論の枠組みではフレーム問題に対する答えとしては不十分であることを述べ，我々のフレーム問題へのアプローチとして最小変化の定式化を述べる。

2. 非単調推論によるフレーム問題へのアプローチ

フレーム問題とは，「変わらないものを記述しないで状態変化をどう推論するか」という問題であるが，この問題へのアプローチとして，有力であると考えられていた非単調推論ではうまく状態変化の推論ができないことが最近明らかになった。

なぜなら，これらの推論のメカニズムでは，不完全な情報から得る結論が種々でてきてしまって，希望する結論もでてくるが，それ以外のものも結論されてしまうからである。

これをもう少しくわしくReiterのDefault Logic〔Reiter80〕で考えてみる。

ここでは，状態変化の表現として，McCarthyのSituation Calculusを使用する。Situation Calculusでは状態Sで事実Fが真であることをhold(F,S)で表し，操作Eによって状態Sが別な状態へ移ると考え，その新しい状態をresult(E,S)で表す。

Hanksの論文にある問題を少し変えて，以下のような問題とする。

定数は小文字で始まるとし，変数は大文字で始まるものとする。

hold(alive,s0).　　(1)

意味・・・状態s0でalive（生きている）

hold(loaded,result(load,S)).　　(2)

意味・・・loadによって移った状態で，loaded（銃に弾が込められた）が成り立つ。

hold(loaded,S)→

　　　→hold(alive,result(shoot,S)).　　(3)

意味・・・loadedが成り立つ状態から，shootという操作によって移った状態においてaliveが成り立たない。

hold(loaded, S)→

　　hold(dead, result(shoot, S)).　　(4)

意味・・・loadedが成り立つ状態から，shoot という操作によって移った状態においてdead（死ぬ）が成り立つ。

Default Logic ではDefault Ruleとして以下があるとして推論が行われる。

$$\frac{hold(F, S) ; M(hold(F, result(E, S)))}{hold(F, result(E, S))} \quad (5)$$

意味・・・ある状態で成り立っているものは，次の状態でも成り立っていると仮定しても矛盾しないならば，次の状態でも成り立っていると考えてよい。

このときに，

s1＝result(load, s0)

s2＝result(wait, s1)

　＝result(wait, result(load, s0))

s3＝result(shoot, s2)

　＝result(shoot, result(wait, result(load, s0)))

の各状態でどのようなものが導かれるかを調べてみる。

　ReiterのDefault Logic による推論では，以下のような複数の拡張が生じる。

拡張1の一部

s0		alive	←(s0 でalive が導かれること			
s1	①	alive		loaded		を表す)
s2	②	alive	③	loaded		
s3	④	¬alive	⑥	loaded	⑤	dead

拡張2の一部

s0		alive		
s1	①	alive		loaded
s2	②	alive	④	¬loaded
s3	③	alive		

　上図内の番号はReiterのDefault Ruleによって作られる拡張の順序を示す。

　拡張1では，s0においてalive であり，s1においてalive としても矛盾しないので，s1にalive が加わる（①）。次に，s1でalive でありs2でalive としても矛盾しないのでs2にalive が加わる（②）。次に，s1でloadedであり，s2でloadedとしても矛盾しないのでs2にloadedが加わる（③）。次に，s2でのloadedと式(3)の論理的帰結によりs3に¬alive が加わり（④），式(4)の論理的帰結によりs3にdeadが加わり（⑤），s2でloadedであり，s3でloadedであっても矛盾しないので，s3にloadedが加わる（⑥）。この拡張はまさに人間が普通考える推論と同じであるから，うまく状態変化の推論ができたように見える。しかし，Default Logic の枠組みでは，別な拡張（拡張2）も存在するのである。

　この拡張2がどうして作られるかを調べてみる。①，②の拡張は拡張1のやり方と同じであるが，③の拡張では，s2のloadedに着目するかわりに，s2のalive に着目する。s2においてalive であり，s3でalive としても矛盾しないので，s3にalive が加わる。すると拡張④においては，s3でのalive と式(4)の対偶の論理的帰結によりs2で¬loadedが加わることになるのである。

　これら二つの拡張の間には何の優先順位もないので，自動的に拡張1を選ぶことはできない。したがってフレーム問題の解としては不十分なのである。

3．最小変化の定式化について

　我々は，フレーム問題へのアプローチとして，「人間が状態変化を推論するときは，変化前の状態を基準にして，一番変化の少ない矛盾しない状態へ移ったものと推論する」と考えて，最小変化という定式化を提案する。

　その準備として集合間の変化分の大小の定義をする。

<u>Def1</u>　（集合の変化分の大小）

　「集合Aから集合Bへの変化分の方が集合Cへの変化分より小さい」とは，

　$A \cap C \subseteq B \subseteq A \cup C$のことである。

　この定義は，状態を集合として表すことができれば，状態の変化の大小を定義しているとみることができる。

Ｄｅｆ２（解釈）

解釈とは，各原子論理式への真偽値の割り当てのことである。

Ｄｅｆ３（論理式のモデル）

論理式の集合Γのモデルとは，Γの全ての論理式を真とする解釈のことである。

Ｄｅｆ４（解釈における真の集合）

解釈をＩとするとき，Ｉによって真と割り当てられた原始論理式の集合をTrue(I)とする。

Ｄｅｆ５（状態における真の事実の集合）

解釈をＩとするとき True(I) のうち，各状態ごとに真である事実の集合をTrue(I,S)とする。

すなわち，

True(I,S) ≡ {F | hold(F,S) ∈True(I) }

Ｄｅｆ６（状態の直前，直後の状態）

状態Ｓが状態Ｓ’の直後にある（または状態Ｓ’が状態Ｓの直前にある）とは，以下のような関係を満たすことである。

ＳがＳ’から操作Ｅによって移った状態であること。

すなわち S = result(E,S')

Ｄｅｆ７（状態の前後関係）

(1)状態Ｓが状態Ｓ’の後にある（または，状態Ｓ’が状態Ｓの前にある）とは，以下のような関係を満たすことである。

ＳがＳ’の直後にあるか，

あるＳ”が存在してＳがＳ”の直後にあり，Ｓ”がＳ’の後にある。

(2)状態Ｓが状態Ｓ’の以降にある（または状態Ｓ’が状態Ｓの以前にある）とは，

ＳがＳ’と一致するか，ＳがＳ’の後にあることである。

次にモデルの変化の大きさをさきほど定義した集合の変化分の大小で定義する。

Ｄｅｆ８（モデルの変化の大小）

モデルＭ１がＭ２より変化が小さい（Ｍ１≦Ｍ２と表す）とは，

以下の条件を満たす状態Ｓが存在することである。

(1) 状態Ｓの以前にあるすべての状態Ｓ’では，成り立つ事実は一致している。

すなわち，True(M1,S') ≡True(M2,S')

(2) 状態Ｓからある操作Ｅによって移った状態で以下が成り立つ。

True(M1,S)(=True(M2,S)) から True(M1,result(E,S)) への変化分の方が，True(M2,result(E,S))への変化分より小さい。

モデルの変化の大小を比較するときには，初期状態s0を決めて，それ以降の状態について，考えることにする。

Ｄｅｆ９（最小変化のモデル）

モデルＭが最小変化のモデルであるとは，すべてのモデルＭ’にたいして

Ｍ’≦Ｍならば，Ｍ≡Ｍ’となるときのことである

一般には最小変化のモデルは複数存在するので，モデルに関係しないで真であるもの偽であるものを以下のように定義する。

Ｄｅｆ１０ 論理式の集合Γのすべての最小変化のモデルにおいて，真となる論理式を「最小変化において真」と呼び，偽となる論理式を「最小変化において偽」と呼ぶ。

上の最小変化において真となるものや偽となるものが状態変化において人間が常識的に推論するものであると考えられる。

4．例題

例として前出の問題について，最小変化のモデルを求める。

s0では，alive は真でなければならないが，loaded,dead は真でも偽でもモデルとなりうる。

仮に，loadedとdeadに真を割り当てたとする。すると，s1では，alive,loaded,dead とも真と割り当てられたモデルＭが最小変化のモデルとなる。なぜなら，たとえば，s1でloaded,dead に真，alive に偽を割り当ててもモデルは存在するが，そのモデルＭ’は最小変化のモデルにならない。

なぜなら，

True(M',s0) ∩ True(M's1)

= {loaded,dead }

⊂ True(M, s1)

= {alive, loaded, dead }

= True(M', s0) ∪ True(M' s1)

となり，Ｄｅｆ８より，Ｍ≦Ｍ' でかつＭとＭ'は異なるのでＭ' は最小変化のモデルではない。この議論を押し進めると，最小変化のモデルの一つは以下のようになる。

最小変化のモデル１

s0	alive	loaded	dead
s1	alive	loaded	dead
s2	alive	loaded	dead
s3	¬alive	loaded	dead

上で，¬のついていないものは，真の値が割り当てられていることを示し，¬のついているものは，偽の値が割り当てられていることを示す。

Hanks の問題におけるその他の最小変化のモデルをすべて挙げると以下のようになる。

モデル２

s0	alive	¬loaded	dead
s1	alive	loaded	dead
s2	alive	loaded	dead
s3	¬alive	loaded	dead

モデル３

s0	alive	loaded	¬dead
s1	alive	loaded	¬dead
s2	alive	loaded	¬dead
s3	¬alive	loaded	dead

モデル４

s0	alive	¬loaded	¬dead
s1	alive	loaded	¬dead
s2	alive	loaded	¬dead
s3	¬alive	loaded	dead

これらのモデルから最小変化において真である事実や偽である事実は以下のようになりこれはまさに我々の意図したものである。

s0	alive		
s1	alive	loaded	
s2	alive	loaded	
s3	¬alive	loaded	dead

５．考察

Hanks は〔Hanks86 〕において，状態変化の推論をうまく行うためには，非単調推論の拡張の方向を時間の進む方向と一致させればよいことを指摘している。

我々の最小変化の定式化においても，変化前の状態を基準にして変化後の状態の変化の大小を比較しており，時間の進む方向を意識している。

このように，状態変化の常識推論と時間の方向には重要な関係があると考えられるので，今後この関係について検討していきたい。

６．おわりに

状態間で変化するものが記述されていた時に，人間が普通推論するような結果を得るメカニズムとして，最小変化の定式化を提案した。最小変化とは，「状態が変化するときには変化前の状態を基準にして，一番変化の少ない矛盾しない状態へ移るものとする」ということを表現する定式化である。

本研究は第５世代コンピュータプロジェクトの一環としてＩＣＯＴの委託で行ったものである。

最後に，有益な助言を頂いたＩＣＯＴのＫＢＭグループならびに関係者各位に感謝する。

参考文献

〔Hanks86 〕Hanks, S., McDermott, D., "Default Reasoning, Nonmonotonic Logics, and the Frame Problem", Proc. of AAAI-86, (1986)

〔McDermott80 〕McDermott, D. V., Doyle, J., " Non-monotonic Logic Ｉ", Artificial Intelligence, Vol. 13, (1980)

〔McCarthy69〕McCarthy, J., Hayes, P.J., "Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence", Machine Intelligence 4, (1969)

〔McCarthy80〕McCarthy, J., "Circumscription— a Form of Non-monotonic Reasoning", Artificial Intelligence, Vol. 13, (1980)

〔Reiter80〕Reiter, R., "A Logic for Default Reasoning", Artificial Intelligence, Vol. 13, (1980)