5P−6

アクションセマンティックス: アクションを表現する論理プログラムの意味論

林　久志　　大須賀　昭彦
株式会社東芝　研究開発センター

1　はじめに

アクションの推論を行う知的移動エージェントのプログラミング言語にProlog等の論理型言語がよく用いられる。推論方法は、Prologと同様、節のボディのリテラルを左から右に順に展開することが多い。本稿は、このようにアクションの推論ルールを表現するProlog的論理プログラムの意味論（アクションセマンティックス）を提案する。

2　アクション表現フレームワーク

アクション表現フレームワークにより、アクションを表現をする論理プログラムを作成する。

定義 1 Aをアトムの集合とする。PをヘッドがAに属さない節（ホーン節）の集合とする。このとき、$\langle A, P\rangle$を**アクション表現フレームワーク**という。ここで、Aの要素のアトムを**アクション**という。また、Pを**プログラム**という。

3　プログラムの解釈

上で定義したアクション表現フレームワークは、以下のように解釈する。

定義 2 アクション表現フレームワーク$\langle A, P\rangle$に対し$Axiom(A, P)$を以下の様な公理の集合とする：

- Aに属する各アクションXについて、論理式：$hold(X, [X])$が成り立つ。
- Pに属する各節：H :- B_1, ..., B_n. に対し、以下の論理式が成り立つとする：

$$hold(H, ActionList) \leftarrow hold(B_1, [X_{1,1}, ..., X_{1,m_1}]) \wedge ... \wedge hold(B_n, [X_{n,1}, ..., X_{n,m_n}])$$

ここで$m_1, ..., m_n$とnは、0以上の整数である。$X_{1,1}$, ..., X_{1,m_1}, ..., $X_{n,1}$, ..., X_{n,m_n}は、Aに属する任意のアクションである。*ActionList*は、$[X_{1,1}, ..., X_{1,m_1}, ..., X_{n,1}, ..., X_{n,m_n}]$である。

4　証明手続き

このセクションでは、節のボディのリテラルを左から右へ展開するアブダクション[1]の意味を、上で定義した公理で説明する。

定義 3 Aをアトムの集合とする。Pをホーン節の集合とする。$L_1, ..., L_m$を任意の0個以上のアトムとする。$X_1, ..., X_n$をAに属する任意の0個以上のアトムとする。このとき、$([L_1, ..., L_m], [X_1, ..., X_n])$を、アクション表現フレームワーク$\langle A, P\rangle$における**ゴール**という。

直感的には、上のゴールは、アクションをX_1からX_nまで順に実行した後、L_1からL_mを順に満たしていくことが目標であることを表す。上のゴールを使った導出（アブダクション）を下に定義する。

定義 4 アクション表現フレームワーク$\langle A, P\rangle$における**導出**とは、2つ以上の$\langle A, P\rangle$におけるゴールの並び：$G_1, ..., G_n$である。ただし、G_{i-1}を$([L_1, L_2..., L_s], [X_1, ..., X_t])$とすると、各$G_i (2 \leq i \leq n)$は$G_{i-1}$から次の2つの**導出ルール**の1つを使って導き出される：

導出ルール 1: $L_1 \in A$の場合、G_iは以下のゴール:

$$([L_2, ..., L_s], [X_1, ..., X_t, L_1])$$

導出ルール 2: $L_1 \notin A$の場合、G_iは以下のゴール:

$$([B_1, ..., B_k, L_2, ..., L_s], [X_1, ..., X_t])$$

ただし、節：L_1 :- B_1, ..., B_k. がPに存在するとする。

The Action Semantics:
A Semantics for Action Description Logic Programs
Hisashi Hayashi　Akihiko Ohsuga
Research and Development Center, Toshiba

上の導出の意味は、以下の定理により確認出来る。

定理 1 アクション表現フレームワーク $\langle A, P\rangle$ における導出：$([L],[]),...,([],[X_1,...,X_m])$ に対して、以下が成り立つ：

$$Axiom(A,P) \models^1 \quad hold(L,[X_1,...,X_m]).$$

上の定理で、$[X_1,...,X_m]$ は、L を満たすためのプランとみなすことが出来る。プランを作ってからアクションを実行するエージェントは、**熟考型エージェント**といわれる。Prolog 的論理型言語を使った熟考型移動エージェントとして、Plangent[2] を挙げる。

一方、全てのプランを完成させる前に、アクションの実行を開始することも出来る。特に、導出ルール 1 を適用するときに、選択されたアクション L_1 を直ちに実行すれば、上の導出は Prolog と同じ動きをする。Prolog を用いる移動エージェントの例として、MagLog [3] と Milog [4] を挙げる。

5 例

以下の例では、指定されたコンピュータを順に訪れる移動エージェントの例を示す。$goAround([pc1,pc2])$ は、移動エージェントが $pc1$ を訪れてから $pc2$ を訪れることを意味する。つまり、移動エージェントは、アクション $go(pc1)$ を実行してからアクション $go(pc2)$ を実行する。

例 1 A を $go(X)$ のグラウンドインスタンスの集合とする。P を以下の節のグラウンドインスタンスの集合とする。

```
goAround([]).
goAround([H|T]):-go(H),goAround(T).
```

アクション表現フレームワーク $\langle A, P\rangle$ における導出：

$([goAround([pc1,pc2])],[]),$
$([go(pc1),goAround([pc2])],[]),$
$([goAround([pc2])],[go(pc1)]),$
$([go(pc2),goAround([])],[go(pc1)]),$
$([goAround([])],[go(pc1),go(pc2)]),$
$([],[go(pc1),go(pc2)])$

が存在するので、

$$Axiom(A,P) \models hold(goAround([pc1,pc2]),[go(pc1),go(pc2)])$$

が成立する。

[1] 古典論理を用いる。

6 従来の意味論との比較

例 1 において、移動エージェントは、導出によって得られたプラン $[go(pc1),go(pc2)]$ を実行するとき、$go(pc1)$ の後に $go(pc2)$ を実行する。このことは、意味論にも反映されている。

$$Axiom(A,P) \models hold(goAround([pc1,pc2]),[go(pc1),go(pc2)])$$

は、$goAround([pc1,pc2])$ を満たすには、$go(pc1)$ の後に $go(pc2)$ を実行すればよいことを意味しているが、$go(pc2)$ の後に $go(pc1)$ を実行することは意味していない。

通常、節 `a:-b,c.` は、論理式 $a \leftarrow b \wedge c$ に解釈されるが、この意味論では、(a を満たすために、) 移動エージェントが b を満たした後に c を満たすという順番が無視されている。つまり、c を先に満たしてから b を満たしても良いこととなってしまう。本稿で提案したアクションセマンティックスは、この意味論の限界を見事に克服している。

7 おわりに

本稿は知的移動エージェントがアクションの推論を行うために使用する Prolog 的論理プログラムの意味論（アクションセマンティックス）を提案した。

参考文献

[1] A. C. Kakas, R. A. Kowalski, and F. Toni, "The role of abduction in logic programming," *Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming*, vol. 5, 1997.

[2] A. Ohsuga, Y. Nagai, Y. Irie, M. Hattori, and S. Honiden, "PLANGENT: An Approach to Making Mobile Agents Intelligent," *IEEE Internet Computing*, vol. 1, No. 4, pp 50-57, 1997.

[3] 川村　尚生, 半場　寛之, 金田　悠紀夫. "適応型モバイルエージェントシステム MagLog," ソフトウェアエージェントとその応用特集ワークショップ *(SAA2000)* 講演論文集, pp 117-124, 2000.

[4] N. Fukuta, T. Ito, and T. Shintani, "MiLog: A Mobile Agent Framework for Implementing Intelligent Information Agents with Logic Programming," *Proceedings of the First Pacific Rim International Workshop on Intelligent Information Agents (PRIIA'2000)*, pp.113-123, 2000.