

エージェント指向言語 Flage(3) — カテゴリ論に基づく意味論*

3B-3

田原康之[†] 桑野文洋[‡] 大須賀昭彦[†] 本位田真一[†]

新ソフトウェア構造化モデル研究本部

情報処理振興事業協会 (IPA)

1 はじめに

本研究においては、柔らかなソフトウェアを記述するための仕様記述言語 Flage を提案している。本稿では、Flage の形式的な意味論について論じる。

Flage は、次のような特徴を持つ。

1. マルチエージェント計算に基づく仕様記述言語である。
2. エージェントは、環境の変化に柔軟に対処しながら計算を行う。そのために、メタレベル階層を持つことにより、エージェントの挙動の制御を柔軟に記述することを可能にしている。また複数のエージェントからなる場の概念及びブロードキャストの機能を備えることにより、エージェント間の協調的動作が可能である。

そこで本研究においては、以下のように Flage の意味論を展開している。

1. 上記 1 により、マルチエージェント計算のカテゴリ論的モデルを構築することにした。即ち、システムの状態を対象とし、状態遷移を射とするカテゴリにより意味を与えた。
2. 上記 2 の特徴を表現するためのモデルとして、Flage 構造を提案した。

第 2 章では、Flage 構造について詳述する。第 3 章では、Flage の記述から Flage 構造への翻訳を与えることにより、Flage の意味論を考察する。第 4 章では、従来の研究との比較を行う。最後に第 5 章では、まとめと今後の課題について述べる。

2 Flage 構造

本章では、Flage において扱われるようなメタレベルアーキテクチャの意味論を展開するためのカテゴリ論的枠組である Flage 構造について論ずる。

Flage 構造においては、あるメタレベル階層におけるシステムの挙動の意味を、状態を対象とし、状態遷移を射とするカテゴリにより表現する。すると、各階層間の関係を表現する必要があるが、Flage 構造においてはこれを関手により実現する。その際、注意すべき点として、

- 1 段のみ異なる階層間の関係だけ考慮して、そのような関係を表現する関手さえ用意しておけば、それ以上離れた階層間の関係は、1 段毎の関手の合成により表現できる。
- 各階層を表現するカテゴリの射としては、あくまでその階層において許容される状態遷移に対応するもののみを考慮すべきである。したがって、ある階層のカテゴリの射が、それより下の階層には対応する射がない場合も考えられる。そのため、このような対応を表現する関手の定義域は、もとのカテゴリの部分カテゴリとする必要がある。但し、ここでは対象、即ち状態に対しては、下の階層にも必ず対応する状態が存在するものとするので、この部分カテゴリは全域的である(即ち対象は全て含む)とすべきである。
- 逆にある階層に属するものに対し、それより上の階層には必ず対応するものが存在すると考えられるので、このような関手は全域的かつ充満であるとすべきである。

以上の考察により、Flage 構造を次のように定義する。

定義 1 以下を満たすような組 $(\{C_i\}_{i=0,1,\dots}, \{F_j\}_{j=1,2,\dots})$ を Flage 構造という。

- C_i はカテゴリ。
- $F_j : C_j \rightarrow C_{j-1}$ は関手。但し、
 - C_j は C_j の全域的な部分カテゴリ。
 - F_j は全域的。即ち、対象に関しては全射。
 - F_j は充満。即ち、射に関しても全射。

3 Flage の意味論

本章では、Flage の記述に対し、その意味を表わす Flage 構造への翻訳を与える(図 1 参照)。

まずメタ i レベル ($i = 0, 1, \dots$) の階層に対し、カテゴリ C_i を次のように与える。

1. 対象としてのシステム状態記述の集合 S を、次のように帰納的に定義する。
 - エージェント記述の(仕様中の等式に関する)同値類は S に属する。
 - 任意のメッセージ項は S に属する。但し、メッセージ項とは、次のような形をした項。
 - (send-msg msg from to)
 - (reply term from to)

* Agent oriented language Flage(3) - Semantics Based on Category Theory: Yasuyuki Tahara, Fumihiko Kumeno, Akihiko Ohsuga, Shinichi Honiden

[†](株)東芝より出向

[‡](株)三菱総合研究所より出向

- $t, t' \in S$ ならば、 $tt' \in S$ 。但し、この操作は可換かつ結合的で、単位元 ϕ を持つものとする。

2. 射は、次のように定義される。

- $\forall s \in S, id_s \in C_i$
- 各原子的状態遷移に対応する射を含ませる。例えば、
 $(send\text{-}msg(m, t_1, \dots, t_n)ab)$
 $\{b | \dots \langle method \rangle \dots (m, x_1, \dots, x_n) : c \leq msg \dots\}$
 $\rightarrow \{b | \dots \langle method \rangle \dots (m, x_1, \dots, x_n) : c \leq msg \dots\}$
 $(send\text{-}msg\ msgbc)$
- 次に、[2] と同様の射の構成 (congruence, composition など) を、前述のシステム状態に対する結合操作に関して行う。但し、場へのメッセージ送信に対しては、congruence を制限する。
 例えば、エージェント a, b が場 f に入っていて、場 f にメッセージ m が送られてエージェントがそれぞれ a', b' に変化する場合、

$$(m \text{ to } f \text{ of } (a, b)) : m a b \rightarrow a' b'$$

という射はあるが、

$$(m \text{ to } f \text{ of } (a)) id_b : m a b \rightarrow a' b$$

という射の構成は禁じられる。

次に、各階層間の関係を表す関手 $F_j : C_j \rightarrow C_{j-1}$ を、次のように定義する。

- C_j は次のように定義する。
 - 対象は C_j と同じ。
 - 射は、 C_{j-1} の射に対応するものだけをとる。即ち、メタ $j-1$ レベルでのメソッド実行に対応する射、及びそれらから構成される射 (恒等射を含む) である。
- F_j は、 C_j の要素 (対象及び射) を、対応する C_j の要素に写すものとする。

定理 2 以上のように定義された $\{(C_i)_{i=0,1,\dots}\} \{F_j\}_{j=1,2,\dots}$ は Flage 構造となる。

4 従来の研究との比較

本章では、従来の研究との比較を行う。

まず [1, 2] においては、並行システムの記述言語である書換え論理のカテゴリ論的意味論を展開している。しかし、このような手法により Flage の意味論を展開するのは、次のような理由により困難である。

- 第 3 章で述べたように、場へのメッセージ送信の意味に対しては、例外的な扱いが必要である。
- 単独のカテゴリで意味を記述するため、(無限も含めた) 複数のメタレベル階層間の関係を記述できない。

一方本研究では、これらの問題点を次のように解決している。

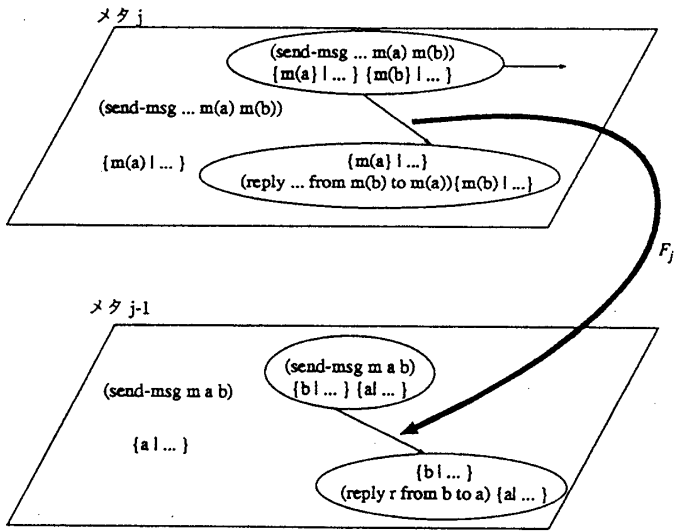


図 1: Flage の意味論

- 書換え論理に対するカテゴリ論的モデルよりも一般的なカテゴリを考えることにより、場へのメッセージ送信の意味も扱えるようにした。
- カテゴリと、関手で表現されたカテゴリ間の関係により、メタレベル階層間の関係を記述できるようにした。

5 おわりに

柔らかなソフトウェアを記述するための仕様記述言語 Flage の意味論について論じた。まず Flage 構造と呼ぶカテゴリ論的枠組を提案し、それに基づいて Flage の意味論を論じた。

今後の研究課題としては、次のようなものが挙げられる。

- 更に詳細な代数的構造まで考慮した意味論の構築。これは特に、エージェントの並行動作の正確な意味論を検討するために必要である。
- 意味論により正しさの保証された、検証系などのソフトウェア開発支援環境の実現。

謝辞 本研究は、産業科学技術研究開発制度「新ソフトウェア構造化モデルの研究開発」の一環として情報処理振興事業協会 (IPA) が新エネルギー・産業技術総合開発機構から委託をうけて実施したものである。

参考文献

[1] José Meseguer. A logical theory of concurrent objects. In *ECOOP/OOPSLA '90*, pp. 101-115, October 1990.

[2] José Meseguer. Conditional rewriting logic as a unified model of concurrency. Technical Report SRI-CSL-91-05, SRI International, 1991.