

動的なコミットメント戦略を考慮した BDI アーキテクチャ

高田 司郎[†] 新出 尚之^{††} 五十嵐 新女^{†,††} 間瀬 健二[†]

[†] ATR 知能映像通信研究所 ^{††} 奈良女子大学大学院人間文化研究科

概要

Bratman の意図の理論によれば、意図は合理的エージェントが自らの目標を達成するよう努力している間の行為の決定に重要な役割を担い、その行為の時点まで意図をどうにかして持続させようとする。このように意図を持続させる特性はコミットメントと呼ばれる。本稿では、Rao と Georgeff が BDI logic を用いて形式化した 3 種類のコミットメント戦略を動的に選択できるように拡張した BDI アーキテクチャを提案する。

BDI Architecture with Dynamic Commitment Strategies

SHIRO TAKATA,[†] NAOYUKI NIDE,^{††} YOSHIME IGARASHI^{†,††} and KENJI MASE[†]

[†] ATR Media Integration & Communications Research Laboratories

^{††} Graduate School of Human Culture, Nara Women's University

Abstract

According to Bratman's theory of intention, intentions play an important role in determining the action of rational agents as they seek to attain their goals, and manage to survive until the time of action. This characteristic of persistent intentions is called commitment. In this paper, we propose an extended BDI-architecture with dynamic choice of the three kinds of commitment strategies which Rao and Georgeff formalized using BDI logic.

1 はじめに

Bratman [1] の意図の理論によれば、意図は合理的行為者が自らの目標を達成するよう努力している間の行為の決定に重要な役割を担っている。そして、意図は、その特性として、時が来れば予め意図したプランを実行するよう動機づける意欲的なコミットメントと、再考慮に抵抗し、意図したプランの空所を一貫性を持って埋めたり修正したりする実践的推論への入力として中心的な要素となるコミットメントを持っている。

この意図の理論を合理的エージェントに適用すると、合理的エージェントは、まず、人間から権利委譲された仕事に対して与えられた目標を達成するため

に、熟考して選択したプランを意図として形成する。その後、どうにかして意図を持続しようとするコミットメントの支配の下に、そのプランを実施するための実践的な手段やサブプランを推論したり、その時が来ればそれらプランを意図的に実行する。

Rao と Georgeff [2] が形式化した *blind*, *single-mind*, *open-mind* などのコミットメント戦略は、「エージェントのタイプとしてエージェント単位に設定する」場合だけでなく、4 節で述べるように、各エージェントの心的状態や自らの置かれた状況に応じて動的に選択した方が良い場合が考えられる。

本稿では、各エージェントが、自らの置かれた状況や心的状態に応じて、コミットメント戦略を動的に選択できるように拡張した BDI アーキテクチャを

提案する。

2 BDI Logic

BDI logic は、エージェントの過去から未来に至る信念・願望・意図などの心的状態や行為などを自然に記述することができる時相論理体系の一つである。分岐時間命題時相論理の一つである CTL* [3] に、信念・目標(願望)・意図といった心的状態を表す様相オペレータ BEL, GOAL, INTEND を導入し、さらに、述語論理に拡張した体系である。時相オペレータとしては X (nexttime), F (sometime), U (until), E (ある未来で), A (あらゆる未来で) などを持つ。Rao と Georgeff は BDI logic を用いて、Bratman が分析した心的状態の整合性に関する公理やコミットメント戦略などを、以下のように表現している [2]。

2.1 公理

- (A1) $\text{GOAL}(\alpha) \supset \text{BEL}(\alpha)$
- (A2) $\text{INTEND}(\alpha) \supset \text{GOAL}(\alpha)$
- (A3) $\text{INTEND}(\text{does}(e)) \supset \text{does}(e)$
- (A4) $\text{INTEND}(\phi) \supset \text{BEL}(\text{INTEND}(\phi))$
- (A5) $\text{GOAL}(\phi) \supset \text{BEL}(\text{GOAL}(\phi))$
- (A6) $\text{INTEND}(\phi) \supset \text{GOAL}(\text{INTEND}(\phi))$
- (A7) $\text{done}(e) \supset \text{BEL}(\text{done}(e))$
- (A8) $\text{INTEND}(\phi) \supset \text{AF}(\neg \text{INTEND}(\phi))$

たとえば、(A1) は「エージェントが α を達成するという目標を持っているならば、そのエージェントは α を達成できると信じている」という目標-信念間の整合性を表現している公理である。

2.2 コミットメント戦略

- (A9A) $\text{INTEND}(\text{AF } \phi) \supset \text{A}(\text{INTEND}(\text{AF } \phi) \text{ U } \text{BEL}(\phi))$
 - (A9B) $\text{INTEND}(\text{AF } \phi) \supset \text{A}(\text{INTEND}(\text{AF } \phi) \text{ U } (\text{BEL}(\phi) \vee \neg \text{BEL}(\text{EF } \phi)))$
 - (A9C) $\text{INTEND}(\text{AF } \phi) \supset \text{A}(\text{INTEND}(\text{AF } \phi) \text{ U } (\text{BEL}(\phi) \vee \neg \text{GOAL}(\text{EF } \phi)))$
- が到着した時の処理), および複文を遡とする tree

(A9A), (A9B), (A9C) は、それぞれ *blind*, *single-mind*, *open-mind* と呼ばれるコミットメント戦略である。直感的な意味は、それぞれ「エージェントが ϕ をあらゆる未来でいつか達成するという意図を形成しているならば、あらゆる未来で、エージェントは ϕ を達成したと信じるまでその意図を持続する」, 「エージェントが ϕ をあらゆる未来でいつか達成するという意図を形成しているならば、あらゆる未来で、エージェントは ϕ を達成した、または、 ϕ は達成不可能だと信じるまでその意図を持続する」, 「エージェントが ϕ をあらゆる未来でいつか達成するという意図を形成しているならば、あらゆる未来で、エージェントは ϕ を達成したと信じるか、または、 ϕ を目標から撤回するまでその意図を持続する」である。

このように、BDI logic を用いれば、合理的エージェントの心的状態の整合性やコミットメント戦略などを自然に記述することができる。

3 BDI アーキテクチャ

BDI アーキテクチャ [4] は、限られた計算資源環境において、動的に変化する環境を知覚し、事前にプランを立てる熟考型エージェントの内部アーキテクチャとして合理的に問題解決を行うアーキテクチャである。エージェントの信念・目標・意図をそれぞれ陽に表現する動的なデータ構造 B, G, I やプランライブラリ, イベントキュー, およびそれらデータ構造を参照・更新するインタプリタから構成される。図 1 は、エージェントの相互作用を自然に記述することができるように我々が拡張した BDI アーキテクチャである。紙面の関係上、拡張箇所に関する説明は割愛する。

プランライブラリは、プランに関する複雑な信念の記述を B から分離したもので、名前、本体(実行方法の記述)、トリガーイベント、前提条件(プランが選ばれる条件)、add/delete list(プラン全体の実行成功時に B に加除される信念) からなる。また、プランの本体は基本行為(直接実行可能な、行為の最小単位)、サブゴール(他のプランによって実現方法が規定される部分目標)、if 文、待ち文(次に特定のイベント

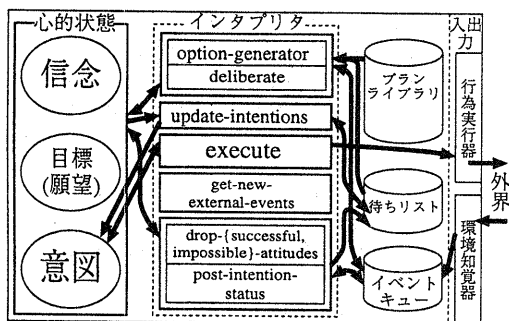


図 1: 拡張 BDI アーキテクチャ

である。

我々が拡張した BDI インタプリタは、下記のように、熟考による実行プランの選択、意図の更新、意図の実行、外部イベントの取得、心的状態の更新などを 1 サイクルとするループからなる。

```
initialize-state();
do
  options := option-generator(event-queue,
                              waiting-list, B, G, I);
  selected-options := deliberate(options,
                                B, G, I);
  update-intentions(selected-options,
                    B, G, I, waiting-list);
  execute(I);
  get-new-external-events();
  drop-successful-attitudes(B, G, I);
  drop-impossible-attitudes(B, G, I);
  post-intention-status(B, G, I,
                       event-queue, waiting-list);
until quit.
```

各機能は、2.1 節の公理を満足するように心的状態を更新する。ただし、信念管理については、TMS [5] または ATMS [6] を用いて行われるべきであるが今後の課題とする。

4 動的なコミットメント戦略

Rao と Georgeff [2] が形式化した *blind*, *single-mind*, *open-mind* などのコミットメント戦略は、「エージェントのタイプとしてエージェント単位に設定する」場合だけでなく、各エージェントの心的

状態や自らの置かれた状況に応じて動的に選択した方が良い場合が考えられる。たとえば、彼らの用いた「喉の乾きを潤したい」という目標を達成する事例 [4] において、(1) マラソンをした直後の状況では、“すぐに”「喉の乾きを潤したい」ので、サブゴールとして「ソーダ水を飲む」というプランを *open-mind* なコミットメント戦略で持続する意図として形成する。この意図を実施するための実践的なサブプランとして、「冷蔵庫からソーダを取り出す」または「ソーダ水をコンビニまで買いに行く」を推論し、はじめに、「冷蔵庫からソーダを取り出す」を選択して実行したが、冷蔵庫にはソーダ水がないのでこのサブゴールは失敗する。次に、「ソーダ水をコンビニまで買いに行く」というサブプランは、“すぐに”「喉の乾きを潤したい」を満足しないので実行に移さず却下し、当初の「ソーダ水を飲む」というサブゴールを捨てる。次のサブゴールとして「水を飲む」というサブプランを *open-mind* なコミットメント戦略で持続する意図として形成し、その意図を実行するのが合理的であろう。

一方、(2) 恋人が訪ねてきている状況では、冷蔵庫にソーダ水がなければ、「ソーダ水をコンビニまで買いに行く」というサブプランを実行して“必ず”「ソーダ水を飲む」という意図を持続させる *single-mind* なコミットメント戦略を選択するのが合理的であろう。

4.1 戦略の決定メカニズム

本稿では、エージェントの心的状態や自らが置かれた外部状況に応じて、形成する意図をどのコミットメント戦略で持続するのが合理的であるかという決定メカニズムについては今後の課題とする。たとえば、マラソンを終えた直後の状況では、“すぐに”「喉の乾きを潤したい」という目標の“すぐに”に注目して、この目標を達成するために形成する意図は *blind* で持続し、サブプラン (手段) は、“すぐに”実現できるサブゴールを選択すると解釈して、*open-mind* で持続するように決定するようなメカニズムが考えられる。

4.2 戦略決定の単位と設定方式

コミットメント戦略は、プランおよびサブプラン単位に形成される意図を単位に決定する。そこで、図2のように、プランおよびサブプランに対して形成される意図スタックの中に、コミットメント戦略の属性を追加して、戦略を設定する。図2は、恋人が訪ねてきている状況で、冷蔵庫にソーダ水がなく、「ソーダ水をコンビニまで買いに行く」というサブプランを実行しようとしている例である。「ソーダ水を飲む」のコミットメント戦略には single-mind が、「ソーダ水をコンビニまで買いに行く」のコミットメント戦略には open-mind が、それぞれ設定されている。

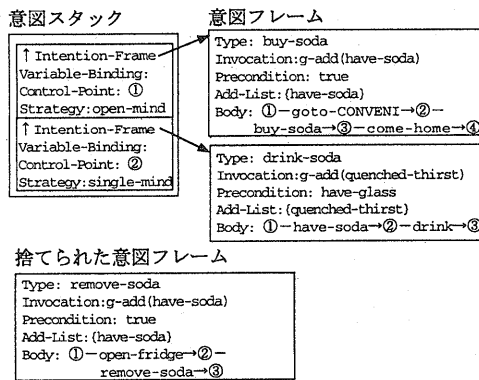


図2: 意図スタックと意図フレーム

4.3 動的選択の実現方式

2.2 節で定義されたコミットメント戦略の持続の処理は、post-intention-status にて行う。ただし、execute(I) にて実行後、目標が達成される、または、達成不可能になれば、それぞれ、drop-successful-attitudes, drop-impossible-attitudes において、2.1 節の公理を満足するよう心的状態は更新されているものとする。その前提の下で、post-intention-status は、下記のように、心的状態がそれぞれのコミットメント戦略の until 条件を満たしている間は意図を持続するように内部イベント g-add を発行する。この内部イベントは、option-generator, deliberation において、選択されれば、それぞれの意図は持続して実行される。

```
for intention-stack ∈ I do
  case top(intention-stack).Strategy of
    'blind': event-queue =: event-queue
              ∪ g-add(means(top(intention-stack)));
    'single-mind':
      if ¬ null(top(intention-stack).
        Intention-Frame↑.Add-List ∩ B)
      then event-queue =: event-queue
              ∪ g-add(means(top(intention-stack)));
    'open-mind':
      if ¬ null(top(intention-stack).
        Intention-Frame↑.Add-List ∩ G)
      then event-queue =: event-queue
              ∪ g-add(means(top(intention-stack)));
  end;
```

5 おわりに

本稿では Rao と Georgeff が BDI logic [2, 7] で形式化した3種類の意図の維持に関するコミットメント戦略を動的に選択する BDI アーキテクチャについて提案した。

参考文献

- [1] Michael E. Bratman. *Intention, Plans, and Practical Reason*. Harvard University Press, 1987.
- [2] Anand S. Rao and Michael P. Georgeff. Modeling Rational Agents within a BDI-Architecture. In *Proc. of International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, pp. 473-484, 1991.
- [3] E. Allen Emerson and J. Srinivasan. Branching Time Temporal Logic. In J.W. de Bakker, W.P. de Roever, and G. Rozenberg, editors, *Linear Time, Branching Time and Partial Order in Logics and Models for Concurrency*, pp. 123-172. Springer-Verlag, 1989.
- [4] Munindar P. Singh, Anand S. Rao, and Michael P. Georgeff. Formal Methods in DAI: Logic-Based Representation and Reasoning. In *Multiagent Systems*, pp. 331-376. The MIT Press, 1999.
- [5] Jon Doyle. A Truth Maintenance System. *Artificial Intelligence*, Vol. 12, pp. 231-272, 1979.
- [6] Johan de Kleer. An Assumption-based TMS. *Artificial Intelligence*, Vol. 28, pp. 127-162, 1986.
- [7] Anand S. Rao and Michael P. Georgeff. Decision Procedures for BDI Logics. *Journal of Logic and Computation*, Vol. 8, No. 3, pp. 292-343, 1998.