

■7 群 (コンピュータソフトウェア) - 7 編 (分散協調とエージェント)

4 章 エージェント間通信

【本章の構成】

本章では以下について解説する.

- 4-1 エージェント通信言語
- 4-2 エージェント通信プロトコル
- 4-3 エージェント通信のためのメカニズム
- 4-4 エージェント通信の標準化
- 4-5 発話行為理論

■7群-7編-4章

4-1 エージェント通信言語

■7群-7編-4章

4-2 エージェント通信プロトコル

(執筆著者：横尾 真) [2010年9月 受領]

エージェント通信プロトコルとは、マルチエージェントシステムにおいて、エージェント同士が対話を行う際のインタラクションのルールを定めたものであり、インタラクションプロトコルとも呼ばれる。複数のエージェントが共通の目的を持ち、協調的に目的を達成しようとする場合、また、各エージェントは異なる目的を持ち、常に協調的に行動するとは限らない場合などがある。エージェントが協調的な場合の通信プロトコルは協調プロトコルとも呼ばれる。エージェント通信プロトコルを記述するための様々な言語が提案されている。例えば、拡張状態遷移機械に基づく AgentTalk⁶⁾ 及び COOL¹⁾、統一モデリング言語をベースにした AgentUML²⁾、イベント計算に基づく記述言語⁵⁾ などがある。以下、エージェント通信プロトコルの具体例を示す。

契約ネットプロトコル³⁾ は、タスクをエージェントに割り当てるためのプロトコルである。これは、人間社会における入札に基づく契約の仕組みを基にしたものであり、複雑なタスクを階層的に、独立した部分タスクに分割してエージェントに割り当てることを目的とする。契約ネットプロトコルでは、まず、タスクを持つエージェント（マネージャと呼ばれる）は、必要に応じてそのタスクを互いに独立な部分タスクに分割する。次に、マネージャは各部分タスクに関して、タスク告知メッセージをほかのエージェントに対して放送する。告知されたタスクを実行可能なエージェントは、そのタスクに対して入札メッセージをマネージャに対して送信する。マネージャは送信された入札メッセージを評価して、タスクの実行に最も適切と思われるエージェントを選択し、そのエージェントに落札メッセージを送信し、そのエージェントとの間にタスクの実行に関する契約を締結する。マネージャは、各部分タスクの実行結果（解）の統合を行い、元のタスクの解を得る。

非同期バックトラッキングアルゴリズム⁴⁾ は、協調的な複数のエージェントが、互いに制約を満足する行動の組合せを発見するための協調プロトコルである。各エージェントの行動は、エージェントの持つ変数の値を決定することとして定式化されており、エージェントの持つ変数間に制約が存在する。非同期バックトラッキングでは、エージェント間の優先順位が定義され、各エージェントは並行して自分の持つ変数の値を一時的に決定し、その値を近傍の、自分より優先順位の低いエージェントに送信する。優先順位の低いエージェントにおいて、優先順位の高いエージェントの変数の値と制約を満たす値が存在しない場合には、新しい制約条件（Nogood）を導出し、優先順位の高いエージェントに送信することにより、優先順位の高いプロセスが値の変更を行う。非同期バックトラッキングは完全性が証明されている。すなわち、各エージェントがこの協調プロトコルに従う限り、解が存在するならば必ず解を発見し、解が存在しない場合は、解が存在しないことを発見して有限時間で終了することが保証される。

■参考文献

- 1) M. Barbuceanu and M.S. Fox : “Cool: A language for describing coordination in multi agent systems,” in Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems (ICMAS-1995), pp.17-24, 1995.
- 2) J. Odell, H.V.D. Parunak, and B. Bauer : “Representing agent interaction protocols in uml,” in First International Workshop on Agent-Oriented Software Engineering (AOSE-2000), vol.1957 of Lecture Notes in Computer

- Science, pp.121-140. Springer, 2001.
- 3) R.G. Smith : “The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver,” IEEE Transactions on Computers, 29(12):1104-1113, 1980.
 - 4) M. Yokoo : “Distributed Constraint Satisfaction: Foundation of Cooperation in Multi-agent Systems,” Springer, 2001.
 - 5) P. Yolum and M.P. Singh : “Flexible protocol specification and execution: applying event calculus planning using commitments,” in Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems (AAMAS-2002), pp.527-534, 2002.
 - 6) 桑原和宏, 石田 亨, 大里延康 : “Agentalk: マルチエージェントシステムにおける協調プロトコル記述,” 電子情報通信学会論文誌 B-I, 79(5):346-354, 1996.

■7 群-7 編-4 章

4-3 エージェント通信のためのメカニズム

■7群-7編-4章

4-4 エージェント通信の標準化

(執筆者：桑原和宏) [2011年3月 受領]

エージェント通信の標準化の事例として Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) の仕様が挙げられる。FIPA は 1996 年に設立された非営利の団体で、2005 年には IEEE Computer Society の委員会となっている。FIPA が策定した仕様のうち代表的なものがエージェント通信言語 (Agent Communication Language) (FIPA-ACL) である。FIPA-ACL は、ほかのよく知られるエージェント通信言語 KQML (Knowledge Query and Manipulation Language) と同様に発話行為論 (Speech Act Theory) に基づいている。エージェントを、何らかの目標とそれを達成するための意図を持ち、それらに従い、メッセージをほかのエージェントに送るものと捉える。FIPA-ACL では、メッセージの構造、意味、表現形式、また、メッセージの一連のやり取りのプロトコルを規定している。

4-4-1 メッセージの構造

FIPA-ACL で規定されているメッセージのパラメータを表 4・1 に示す¹⁾。パラメータには、後述するメッセージの通信行為 (Communicative Act) を示す performative、送信者 (sender)、受信者 (receiver)、メッセージの内容 (content) などがある。メッセージの内容としては、命題かあるいは行為が記述されるが、その記述言語 (language) やオントロジー (ontology) などは通信行為と独立して指定される。FIPA では、メッセージ内容を記述する言語として FIPA-SL (Semantic Language) も規定しているが、必ずしもそれを使う必要はない。

表 4・1 FIPA-ACL におけるメッセージのパラメータ

パラメータ	カテゴリー
performative	通信行為のタイプ
sender, receiver, reply-to	通信の参加者
content	メッセージの内容
language, encoding, ontology	メッセージ内容の記述
protocol, conversation-id, reply-with, in-reply-to, reply-by	会話の制御

4-4-2 通信行為

FIPA-ACL では幾つかのメッセージの通信行為が規定されている²⁾。通信行為の意味は、メッセージが送られる前に満たすべき可能事前条件 (Feasibility Precondition) と、メッセージが送られた後に期待される合理的効果 (Rational Effect) により定式化される。通信行為の基本的なものとして、inform や request がある。

inform は、送信エージェントが受信エージェントに対して、メッセージの内容 (命題) が真であることを通知するものである。inform の可能事前条件として送信エージェントが次の条件を満たしていることが必要になる。1) ある命題が真であると信じている。2) 受信エージェントがその命題を真であると信じることを意図している。3) 受信エージェントがその命題の真偽

について知っているとは、送信エージェントは信じていない。最後の条件により、既に受信エージェントが命題の真偽について知っているとき送信エージェントが信じているときには、**inform** のメッセージは送られないことになる。メッセージが送られた結果として、受信エージェントが送られた命題が真であることを信じるのが期待されるが、保証されているわけではない。

また、**request** は、送信エージェントが受信エージェントに対して、何らかの行為を実行することを要求するものである。メッセージの内容は、受信エージェントが実行する行為になる。**request** のメッセージが送られるためには、送信エージェントは、行為の実行者が受信エージェントであり、かつ、受信エージェントがその行為を行う意図を持っていないことが条件になる。

4-4-2 インタラクションプロトコル

エージェント間で個々のメッセージが独立して送られることは稀で、一連のメッセージのやり取りが発生する場合が多い。FIPA では、どのような通信行為のメッセージがやり取りされるかをインタラクションプロトコル (**Interaction Protocol**) として規定している。

例えば、エージェントがほかのエージェントに何らかの行為を実行することを依頼する **request** インタラクションプロトコルがある³⁾。このインタラクションプロトコルでは、要求元のエージェントが、要求先のエージェントに対して **request** のメッセージを送る。受信エージェントは、要求を受け入れる場合、返事が必要であれば **agree** のメッセージを返す。更に、実行結果として、実行が失敗した際には **failure** のメッセージを返す。また、要求された行為の実行が成功した場合は、もともとの要求に応じて、**inform-done**、**inform-result** のメッセージを返す。また、受信エージェントが要求を断る場合は、**refuse** のメッセージが返すといった一連のやり取りが規定されている。

このほかに、ほかのエージェントに問合せを行う **query** インタラクションプロトコルや、契約ネットプロトコルを規定したものなどがある。

■参考文献

- 1) FIPA ACL Message Structure Specification (SC00061G) <http://www.fipa.org/specs/fipa00061>
- 2) FIPA Communicative Act Library Specification (SC00037J) <http://www.fipa.org/specs/fipa00037>
- 3) FIPA Request Interaction Protocol Specification (SC00026H) <http://www.fipa.org/specs/fipa00026>

■7 群-7 編-4 章

4-5 発話行為理論