

心的状態に基づくエージェントコミュニケーションとその機構

加藤 貴司 唐橋 拓史 木下 哲男 白鳥 則郎

東北大学電気通信研究所 / 情報科学研究科

あらまし マルチエージェントシステムではエージェント同士のコミュニケーションがシステム全体の動作を決定する。このときエージェントは自分が置かれている状況に応じて異なる対応をすることが必要となる。しかし従来提案された枠組みでは、エージェントの外部(環境)の状態のみを判断基準とし、エージェント自身の観点から振舞いを決定することはできないため、システムの柔軟性を向上させることは困難であった。そこで、本稿では、エージェントに心的状態を持たせることを提案し、これを用いてエージェントが自分自身の価値基準で行動するための枠組みについて議論する。また、提案したエージェントを用いた実験により、エージェント間でのコミュニケーションがより柔軟なものになることを示す。

キーワード エージェントコミュニケーション, 心的状態, ネゴシエーション, マルチエージェントシステム

Agent Communication Based on Mental States and Its Mechanism

Takashi KATO, Takuji KARAHASHI, Tetsuo KINOSHITA and Norio SHIRATORI

Research Institute of Electrical Communication /
Graduate School of Information Sciences, Tohoku Univ.

Abstract In multiagent systems, the agents communicate with each other to satisfy an entire goal of the systems. To do so, an agent has to determine its behavior based on its situation in the operational environment. In the previous work, for instance, an agent which uses information of external environment has been proposed. However, it is required to utilize various information with respect to each agent to realize a flexible communication among various agents. In this paper, we propose a basic framework of the agent communication based on the internal information of agent, called mental states, and also demonstrate an experimental result of the behavior of agents with mental states.

keywords agent communication, mental state, negotiation, multiagent systems

1 はじめに

マルチエージェントシステムではエージェント同士のコミュニケーションがシステム全体の動作を決定する。このときエージェントは自分が置かれている状況に応じて異なる対応をすることが必要となる。しかし従来提案された枠組み [1] [2] では、エージェントの外部 (環境) の状態のみを判断基準とし、エージェント自身の観点から振舞いを決定することはできないため、システムの柔軟性を向上させることは困難であった。

そこで、本稿では、エージェントに心的状態を持たせることを提案し、これを用いてエージェントが自分自身の価値基準で行動するための枠組みについて議論する。

2 マルチエージェントシステム

2.1 マルチエージェントシステム

マルチエージェントシステムとは、複数のエージェントが互いにコミュニケーションを行なうことにより構成されるシステムである (図 1)。

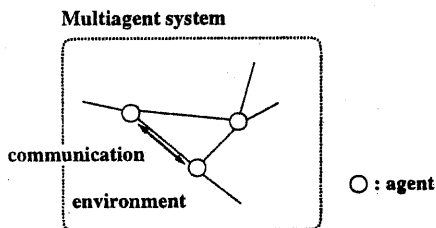


図 1: マルチエージェントシステム

エージェントとは他のエージェントとコミュニケーションを行ないながら、このコミュニケーションによって自分の目標を達成しようとする自律的な計算主体である。これは、主に計算機上の一つ (あるいは複数) のプロセスにより実現される。

このときエージェントは一般に、

- 行動部 (タスク等の遂行部)
- 他のエージェントとの通信部
- 知識

から構成される。

個々のエージェントはコンピューターネットワーク上に分散配置されている。各エージェントは全体として共通の目標を達成しようとして行動する。このとき、エージェントは、互いにコミュニケーションを行ない、このコミュニケーションによる結果、各エージェントの動作が決定し、システム全体の振舞いが決定する。すなわち、マルチエージェントシステムではエージェント同士のコミュニケーションがシステム全体の動作を決定する。

また、マルチエージェントシステムでは、あるエージェントのタスクを他のエージェントに依頼するなどの負荷

の分散が行なわれる。これにより負荷が一局に集中するのを防ぎ、システム全体としての効率や安定性が向上する。その際に適切な負荷分散を行わないと、かえって効率が落ちてしまう危険性がある。すなわち、負荷の分散は適切な方法を用いる必要がある。

2.2 ネゴシエーション

2.2.1 ネゴシエーション

マルチエージェントシステムとは処理を分散し、全体としての最大利益をめざすものである。

タスクを他のエージェントに依頼するプロトコルとして代表的なものに contract net protocol [3] などがある。このプロトコルでは、まずあるエージェントが持っているタスクを部分問題に分割し、それを全てのエージェントに提示する。他のエージェントは自分が処理可能な部分問題があれば、元のエージェントにその旨を伝え、そのエージェントに依頼することになった時点でその部分問題の解決を行なう。元のエージェントは、全ての部分問題の解を統合して全体の問題の解とする、というものである。しかし、この方法はブロードキャストによって情報の提示を行なっているために通信量が多く、また、(部分) 問題を、適切なエージェントに与える方法については議論されていない。

また、複数のエージェントが存在する環境においては、全体の目標が同じのものであっても、各々のエージェントの目標が相反するものとなり、その利害が他のエージェントと競合する可能性がある。そのために、個々のエージェント同士が互いに協調して動作を行なう必要がある。この協調のために行なわれるコミュニケーションを本研究ではネゴシエーションと呼ぶ。

2.2.2 ネゴシエーションのレベル

本研究では、ネゴシエーションのレベルを次のように分類して考える。

レベル 1: 単純な要求・返答

レベル 2: 外部状況に対する価値基準を持ち、この価値基準に従って動作決定

レベル 3: 他のエージェントへの要求発行の際に、自分の価値基準を相手に与え、自分にとって望ましい動作を期待 (説得)

レベル 4: 他のエージェントへの要求発行の際に、相手の価値基準に関する知識を持ち、相手が望むような形で要求を発行

ここでレベル 4 はレベル 3 を、レベル 3 はレベル 2 を、レベル 2 はレベル 1 をそれぞれ包含する。

レベル 1 のネゴシエーションでは定型的な処理が可能である。しかし、要求メッセージのみに基づいて行動を決定するために、要求の発行者によって動作を変えるなどといったことはできない。

レベル 2 のネゴシエーションでは、さらに要求の発行者が誰であるかによって動作を変えるなどといった、外部の状況判断基準とした行動が可能となる。外部状況には、相手が誰であるか、相手の立場(身分)、システムの状態などがある。

レベル 3 のネゴシエーションでは、自分の価値基準を相手に与えることにより、相手の動作が自分にとって望ましいものであることを期待したものである。例えば、発行した要求が拒否された場合に、自分の価値基準(例えば、依頼したタスクは自分にとって重要度の高いものである、など)を相手に与えることで受理してもらうようにはたらきかけるものなどである。

レベル 4 のネゴシエーションでは、相手の価値基準も自分の動作決定の際の判断基準として利用する。レベル 3 のネゴシエーションでは自分の情報を一方的に相手に与えるだけであるが、このレベルでは相手から情報を引き出し、それに基づいて自分の動作を決定する。

具体的な場合で考えてみると、スケジュール管理を行なうエージェントの場合、レベル 1 のネゴシエーションでは、他のエージェントからスケジュールの追加などの要求が送られてきたときに、すでに別なスケジュールが入っていれば、その要求を拒否することしかできない。また、要求を発行した側のエージェントも、一度拒否されたらその結果を受け入れるしかない。そのため非常に柔軟度の低いものとなっている。

レベル 2 のネゴシエーションまで行なうことのできる秘書エージェントの場合には、すでに別のスケジュールが入っている時間帯への、他のエージェントからのスケジュールの追加要求を受け取った場合でも、相手に対する価値観をもとに動作を決定することができる。例えば要求発行者が自分にとって重要度の高い人物(エージェント)であった場合には、もとのスケジュールをキャンセルし、その要求を受け入れるといったことが可能である。一方、要求発行者が自分にとって重要度の低い人物(エージェント)であった場合には、すでに入っているスケジュールを優先し、その要求を拒否する。しかし、レベル 2 のネゴシエーションも、要求発行者の立場では、一度要求が拒否されてしまえば、それを改善する方法はない。

レベル 3 のネゴシエーションでは、その点が克服される。すなわち、要求が拒否された場合でも、例えば「そのスケジュールは自分にとって重要な人からの依頼である」といった自分の価値基準を相手に伝えることによって、相手を説得することが可能である。

レベル 4 のネゴシエーションではさらに、相手から情報を引き出し、それに基づいて自分の動作を決定する。したがって、相手の嗜好などを先読みし、それに基づいて要求を発行するなどの、より高度なネゴシエーションが可能となる。

なお、本研究ではレベル 3 までのネゴシエーションを実現する枠組の提案を目標としている。

3 心的状態に基づいたエージェントの動作

本章ではエージェントの価値基準として、心的状態を導入し、この心的状態を用いたエージェントの動作について議論する。そのために、まず心的状態及びエージェントモデルの定義を行なう。次にネゴシエーションに必要なエージェント間メッセージについての分析を行ない、これらを用いたエージェントの動作について議論する。

3.1 心的状態

本研究では、エージェントが自分自身の価値判断によって自分の動作を決定するための機構として心的状態を導入する。

心的状態を用いたエージェントに関する既存の研究として AGENT-0 [4] がある。

しかし AGENT-0 における心的状態は、「責務 (obligation)」や「意図 (intention)」「能力 (capability)」といったものであり、エージェントの「行動」そのものを表現している。また表現上の問題も存在する。例えば AGENT-0 における心的状態は表 1 のようなものからなり、これらでは「事実」についても「信念 (belief)」として扱っている。そのために、例えば

「自分は〜というスケジュールを持っていると信じている」

といった直観に反する表現となり、したがってこのままでは直感的理解のさまたげにもなっている。

表 1: AGENT-0 での心的状態

心的状態	表記
Belief (信念)	(B <fact>)
Commitment (責務)	((CMT <agent>) <action>)

本研究では、より直感的に理解できるようにするために、また、エージェントの自分自身の価値基準を与えるという視点から、新たに“subject”という概念を導入し、改めて心的状態を定義する。

そのために、まず“subject”を導入する。

定義 1 (Subject) そのエージェントがメッセージのやりとりにおいて扱う事象(対象問題、関連するエージェント)を subject と呼ぶ

定義 2 (心的状態) そのエージェントが内部に持つ、subject を処理する際に使われる情報のことを心的状態と呼ぶ

このように“subject”と“心的状態”を明示的に分離し、定義することにより、エージェントが扱っている対象問題と、問題解決の判断基準を明確にすることができる。その結果、

「自分は〜というスケジュールを持っていると信じている」

といった直観に反する表現を避けることができる。

具体的には、スケジューリングを行なう秘書エージェントの場合、表 2 のように記述できる。

表 2: 秘書エージェントの場合の subject と心的状態の例

subject	イベント (会議など) メンバー (教授 A, 学生 B など)
心的状態	(各 subject に対して) 優先度

ただし、ここで注意すべきこととして、各エージェントがどのような心的状態を持つかはそのエージェントに依存し、上記のものうち持たないものもあれば、上記以外の心的状態を持つ場合もある。

また心的状態をどのように利用するかについてもエージェントによって異なる。例えば「優先度」と「信頼度」という 2 つの心的状態を持っているエージェントがいくつかあるとした場合、そのエージェントのうちで「優先度」を重視するものもあれば、「信頼度」を重視するエージェントもある。あるいは、両方を同等に扱うエージェントもありうる。

このようなエージェントの「性格付け」は 3.2 節で述べる行動知識によって行なわれる。

また、同じ心的状態を持っていた場合でもその値は各エージェントで異なる値を取り得る。

秘書エージェントを例にとると、優先度に対して

{“非常に低い”, “低い”, “普通”, “高い”, “非常に高い”}

という値を取るものとする。 “教授 A” というメンバーに対してその研究室の学生 A であれば “非常に高い” 値を取るであろうが、他の研究室の学生 B であれば “高い”、あるいはそれより低い値を取ると考えられる。

また心的状態の多くは、その値が変化するものである。例えば「信頼度」のように、あるエージェントが、他のエージェントとのコミュニケーションを行なった結果に基づいて変更することによって、それ以降どのように動作するのが望ましいかを示すものであったり、また、「貸し」のように、レベル 3 以降のネゴシエーションにおいて、ネゴシエーションの際の材料となるものなどがある。

このように各エージェントが、各々の価値基準を持つことによって、柔軟な動作が可能になる。

3.2 エージェントモデル

前項の心的状態の定義に基づいて、本研究におけるエージェントを次のように定義する。

定義 3 (Agent) 本研究における agent は

agent = (executor, behavior.knowledge, mental.state)

と定義する (図 2)。ここで executor は行動部、behavior.knowledge は行動知識、mental.state は 心的状態である。

executor (行動部) はエージェントの動作の中心部分であり、他のエージェントとの通信や受け取ったメッセージの解析、心的状態へのアクセスなどを行なう。また、スケジュール管理を行なうエージェントであれば、受け取ったメッセージに対して、自分の持っているスケジュールとのチェックなどを行う。

behavior.knowledge (行動知識) はエージェントが、メッセージや心的状態からどのように振舞うか、受け取ったメッセージに対して、心的状態を変更するのであればどの心的状態を、どのように変更するかなどを記述したものである。これは主にエージェント記述者によって与えられるものとする。

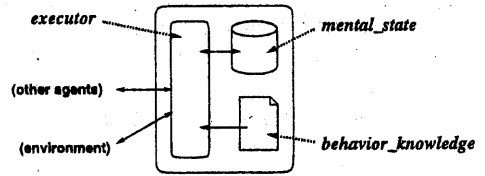


図 2: エージェントモデル

3.3 エージェントの動作

エージェントは一般に次のような手順で動作を決定し実行する。

- 他のエージェントからメッセージの受信
- 受けとったメッセージの解析
- 受けとったメッセージと自分が持っている心的状態をもとに動作決定
- 動作実行

ただしメッセージによってではなく、所定の時間がくるなどのその他の条件によって行動を開始する場合も考えられる。実際にどのような動作を行なうかは behavior.knowledge (行動知識) による。

ここでの動作とは主に次のようなものである：

1. 他のエージェントにメッセージを送信
2. 心的状態の変更
3. タスクの遂行

1. はメッセージを送ってきたエージェントに対して返事を送る場合や、例えばすでに入っているスケジュールの変更が必要な場合に、そのスケジュールに関係したエージェントに変更の要求を出す場合などが挙げられる。

2. は相手からのメッセージによってその相手に対する心的状態を変更する場合などがある。これによってエージェントは動的に自分の価値基準を変更することが可能となる。その結果、同じ相手から同じメッセージを受け取った場合でも異なった振舞いを行うことが可能となる。

3. は、スケジュール管理を行なうエージェントの場合であれば、受け取ったメッセージに対して自分の持って

いるスケジュールとのチェックなどを行うといった、具体的な処理である。

本研究ではコミュニケーションを考える際に重要となる 1. 及び 2. に重点を置いて議論する。

3.4 エージェント間メッセージ

エージェント同士がコミュニケーションを行なうためには、そのためのプロトコルが必要となる。しかし、そのプロトコルは個々の問題に応じて異なるため、一般的なものを与えることは困難である。そこで、本研究ではエージェント間コミュニケーションをメッセージ交換によって行なうものとし、そのメッセージタイプを分類する。その上で実際に適用する際に細分化するものとする。

ここではメッセージのタイプを以下のように分類する。まず要求に関するメッセージ、心的状態に関するメッセージ、その他のメッセージの 3 つのタイプに分類する。

要求に関するメッセージは要求の発行を行なうための REQUEST タイプと、発行された要求に対して返答を行なうための REPLY タイプに分類される。

心的状態に関するメッセージは心的状態に関する情報の問い合わせを行なうための ASK タイプと、心的状態に関する情報の伝達を行なうための TELL タイプに分類される。

MISC タイプは認証やコミュニケーションの終了を伝えるなどの、上記以外の目的に用いられるものである。

これをまとめたものを表 3 に示す。

実際の場面への適用の際にはこれらのメッセージはさらに細分化される。例えば REPLY は ACCEPT と REFUSE などとなる。また秘書エージェントの場合、REQUEST は ADD (スケジュールを加える)、CANCEL (スケジュールの取り消し) などである。

表 3: エージェント間メッセージの分類

	タイプ	内容
要求	REQUEST	要求
	REPLY	要求に対する返答
心的状態	ASK	心的状態の問い合わせ
	TELL	心的状態を伝える
その他	MISC	上記以外 (認証等)

また、すでに述べたネゴシエーションのレベルと必要なメッセージのタイプを対応させると、表 4 のようになる。表ではレベル 1 の場合とレベル 2 の場合で全く同じになっているが、これらは心的状態の有無が異なっている。レベル 2 では心的状態を用いるが、それを相手に伝える手段がない。

表 4: ネゴシエーションのレベルとエージェント間メッセージの対応

	ネゴシエーションのレベル			
	レベル 1	レベル 2	レベル 3	レベル 4
REQUEST	○	○	○	○
REPLY	○	○	○	○
ASK	×	×	×	○
TELL	×	×	○	○
MISC	△	△	△	△

3.5 心的状態を用いたネゴシエーション

心的状態を導入したエージェントによるネゴシエーションが可能となる。

レベル 1 では特に心的状態は必要としない。したがって 3.4 で述べたメッセージのうち、要求に関するメッセージ (REQUEST タイプ、REPLY タイプ) と、必要であれば MISC タイプのメッセージがあればよい。

相手に対する自分の価値観を心的状態によって表現することにより、レベル 2 のネゴシエーションが可能となる。この際、自分の心的状態を相手に伝える手段が存在しないために、必要になるメッセージのタイプは、レベル 1 と同じである。しかし、心的状態という自分の価値基準を用いることによって、相手に応じて動作を変えろといったネゴシエーションが可能になる。

また、自分の心的状態に関する情報を相手に送ることによってレベル 3 のネゴシエーションが可能となる。例えば秘書エージェントでは、レベル 2 のネゴシエーションしかできない場合、相手によって動作を変えろといったことは可能であるが、相手に自分の状態を伝えることができない。すなわち相手の心的状態を変更する手段が存在しないために REFUSE を受けとった場合はそれ以上どうすることもできない。

しかしレベル 3 のネゴシエーションでは、REFUSE を受けとった場合でも、自分の価値基準 (心的状態) を相手に伝えることによって、相手の返答を自分の都合の良い方に変更させる余地が残されており、相手の説得といったネゴシエーションが可能となる。

さらに相手の心的状態に関する情報を問い合わせることによって、レベル 4 のネゴシエーションが実現される。

4 評価実験

本研究で提案した心的状態を持つエージェントによるマルチエージェントシステムの有効性を示すために、評価実験を行なった。エージェントの記述には perl を用い、LAN に接続された UNIX ワークステーション上に実装した。エージェント間のコミュニケーションには socket 通信を使用している。

4.1 実験 1: 各レベルのネゴシエーションへの適用

レベル 1 からレベル 3 の各ネゴシエーションを、具体例を対象として記述し、エージェントの動作実験を行なう。具体的には、エージェント間コミュニケーションにおけるメッセージ、プロトコル、および subject、心的状態を定義し、エージェントを記述する。以下にレベル 3 の実験内容を示す。

実験内容 他のエージェントに対して、タスク依頼を行なうエージェントを記述し、実行する。タスクの依頼を受けたエージェントは、タスクの優先度、相手に対する貸し、現在のスケジュールに基づき受諾又は拒否を返す。

実験方法 心的状態として、タスクに対する優先度と、相手のエージェントに対する「貸し」を与える。「貸し」のとりうる値は整数値とする。各エージェントは要求を受けた際、「貸し」に対して -6 以下ならできる限り依頼を受諾し、6 以上の場合には、基本的には拒否を行なう。-5 から 5 であれば、タスクの優先度に応ずるものとし、次のように動作する。エージェントは、依頼に対して予定がなければ受諾を返し、タスクを実行する。すでにスケジュールが入っている場合は優先度に基づいてタスクの処理の順番を決定し、結果を通知する。拒否を返した場合、その後相手からの説得があれば、それをもとにタスク処理の順番を再決定し、結果を通知する。

実験結果 実験を行なった結果、エージェント間でメッセージ交換を行ない、各レベルのネゴシエーションが実現できることが確認された。

4.2 実験 2: 負荷分散

心的状態に基づく負荷分散を行なう。これは、複数の他のエージェントの中から、自分にとって最も適切と思われるエージェントを選択し、タスクの依頼を行なうものである。

実験内容 3つの秘書エージェント A、B、C がネットワーク上に存在し、あるエージェントが他のエージェントにタスク（書類作成等）の依頼を行う場面を想定する。

実験方法 各エージェントの行動知識は、(1) 信頼度の最も高いものにタスクを依頼し、(2) その結果、ACCEPT された場合には、そのエージェントに対する信頼度を上げ (+1)、REFUSE された場合には、そのエージェントに対する信頼度を下げる (-1)、ものとする。

この実験では心的状態が負荷分散に与える影響を分析するために、エージェントの稼動状態を確率で表現する。ここでは ACCEPT を返す確率を Agent A は $1/3$ 、Agent C は $2/3 \rightarrow 1/3$ とする。Agent C の ACCEPT を返す確率を途中で変化させる (図 3 矢印) ことによって、それによる Agent A, B の動作の変化をみる。

実験結果 ネゴシエーションを繰り返したときの、Agent B の信頼度の変化の様子を図 3 に示す。

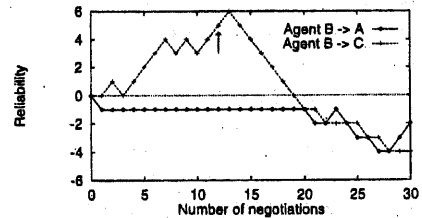


図 3: Agent B の Agent A, C に対する信頼度の変化

図 3 により、各エージェントは、ACCEPT を返す確率の高い方に依頼を行なうようになっていくことが分かる。また、Agent C の ACCEPT の確率の変化に応じて、Agent B の動作が変化している。

5 結論

エージェントに心的状態を導入することにより、自分自身の価値基準で動作を決定することができる。その結果、相手によって振舞いを変えると、柔軟な動作が可能となる。また、相手に心的状態を伝え、相手を説得するといった高度なネゴシエーションを実現することができる。これにより、エージェント間でのコミュニケーションをより柔軟に行なうことが可能となる。さらに、適切な相手への仕事の依頼など、効果的な負荷分散が可能になり、システム全体の効率の向上も可能となるだろう。すなわち、本研究で提案したエージェントモデルを用いることで、より柔軟で、効率の良いマルチエージェントシステムが構築可能と考えられる。

参考文献

- [1] 小山 和也, 布川 博士, 白鳥 則郎: “マルチフェースエージェントを用いたヒューマンコミュニケーションのためのツール,” 情報処理学会研究報告, Vol. 95, No. 20, 95-GW-10, pp. 37-42 (1995)
- [2] 小野 良司, 李 殷碩, 白鳥 則郎: “組織概念に基づくエージェント間コミュニケーションについて,” 情報処理学会研究報告, Vol. 95, No. 20, 95-GW-10, pp. 25-30 (1995)
- [3] Reid G. Smith: “The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver,” *IEEE Transactions on Computers*, Vol. C-29, No. 12, pp.1104-1113 (1980)
- [4] Yoav Shoham: “Agent-oriented programming,” *Artificial Intelligence* 60, pp. 51-92 (1993)