

エージェントの目標間の関係に着目した 分散協調問題解決の試み

平松健司 小野典彦 翁長健治
広島大学 工学部

複数のエージェントによる分散協調問題解決を目的として、種々の枠組みが提案されている。これらに共通する特徴は、各エージェントによる問題解決とそれらの間の協調を独立したプロセスとして扱っていることである。しかし、われわれが個人的な活動と協調的な活動を異なる枠組みの下で行なっているとは考えにくい。本研究では、エージェントの目標の関係に着目することによって、エージェントの個人的な活動ならびに協調的な活動を統一的に説明し得る分散協調問題解決の枠組みを提案するとともに、それをタクシー会社におけるタクシー群の協調制御に適用する。

A Framework for Decentralized Cooperative Problem Solving based on Goal Relationships

Takeshi HIRAMATSU, Norihiko ONO and Kenji ONAGA

Faculty of Engineering, Hiroshima University
Shitami, Saijo, Higashi-Hiroshima, 724, Japan

So far various frameworks for decentralized cooperative problem solving (DCPS) by multiple agents, such as blackboard models, contract net, have been proposed. The common feature of them is that cooperative activities by agents are independently formulated of personal activities by individual agents.

This paper discusses several drawbacks those frameworks inherently possess and presents a framework for DCPS based on relationships among agents' goals such as goal overlap, goal concord. Under this framework, individual agents can generate not only personal activities but also cooperative activities in a uniform manner. As an example, this framework is applied to a cooperative control of a hypothetical taxi network.

1. はじめに

われわれの周囲には単独で解決するよりは集団で解決した方がはるかに効果的に解決できる問題が数多く存在する。分散協調問題解決[6,10]とは、協調し合う知識システムの集団を採用することによって、単独の知識システムでは解決が困難な、あるいは事実上不可能な問題を効果的に解決することを目指した研究分野といえる。

分散協調問題解決にはつぎの2つの流れがある。

(1) 分散的あるいは並列的な問題解決：これは、問題を分散的あるいは並列的に解決可能な副問題の集まりに分解し、問題解決に要する計算の負荷を複数の知識システムに分散させることによって、単独の知識システムでは達成し得ないような信頼性および高速性をもった知識システムを構成することを目指した研究である。

(2) 分散的環境下での協調的な問題解決：これは、問題の性質上必然的に知識システムの集団により解決せざるをえないような問題、すなわち、複数の知識システムが地理的に分散されており、それらが協調し合わないかぎり、それら全体に課されている問題は解決し得ないという制約の下での問題解決を目指した研究である。

前者のような研究が要請されていることはいうまでもない。実際、従来の研究の多くは知識システムの高性能化を主たる目的として展開されている。しかし、これは知識システムというよりはむしろ分散処理や並列処理に関する研究と考えた方がよい。知識システムの研究という立場からは後者の下での問題解決の手法を確立していくべきであろう。

本研究はこのような考えから、特に分散環境下での分散協調問題解決のための枠組みを提案すると共に、それに基づいた問題解決を試みるものである。

2. 分散協調問題解決とは

分散協調問題解決とはいかなる型の問題解決なのかあらためて定義しておく。ここでは議論を分散環境下での問題解決にしぼるため、Smith[6]に従いつぎのように定義する。

分散協調問題解決とは分散され(decentralized)、疎に結合された(loosely coupled)エージェント(agent)の集団による協調的(cooperative)な問題解決である。ここで、エージェントとは何らかの知識表現に基づいて記述された知識システムであって、異なるプロセッサ上に実現されているものとする。これらが協調するのは、どのエージェントも全体の問題を解決するために必要な情報をもたないためである。これらが分散されているとは、これらの中に大域的な制御やデータが存在しないことをいう。これらが疎に結合されているとは、各エージェントが時間の大部分を通信よりも計算に費やすことをいう。

このような分散協調問題解決は随所で行なわれている。例として、タクシー会社の業務活動、すなわち、その本部とタクシーの集団とが通信を介して分散的かつ合目的に展開している業務活動[9]を考えてみよう。この活動は、この会社の本部およびタクシーの各々をエージェントとみな

すことによって、分散協調問題解決と考えることができる。

実際、これらのエージェントは地理的に分散されているばかりでなく、単独ではこの会社の業務活動全体を達成することはできない。本部にとって根本的に欠けている能力とは、いうまでもなく利用者をその目的地に向けて運搬し、報酬を得るという能力である。その他、特定のルートにおける事故、工事、渋滞などの有無、あちこちに設置されている乗車場における利用者の濃度など、大局的な情報を収集する能力にも欠けている。

一方、タクシーは、単独ではこの会社に依頼される業務活動の全体を達成することはできない。電話予約に対するサービスなどは特に難しい。それは本部と分散されたタクシーが協調することによって初めて達成し得る業務活動である。また、大局的な状況分析能力に欠けるため、配車の不足している乗車場や現在の目的地にいたる最適なルートなどを単独で知ることは難しい。

さて、上のような定義に加えて、エージェントは複数の目標をもっており、それらの達成を目指して活動するものと仮定する。すなわち、エージェントの活動とはその目標のいずれかを達成するための詳細なプランであるとする。特に、エージェントがそれ自身の目標を達成するための活動を個人的活動、他のエージェントの目標を達成しやすくするための活動を協調的活動、さらに他のエージェントの目標の達成を難しくするための活動を敵対的活動と呼ぶ。また、協調的および敵対的活動をあわせて社会的活動と呼ぶ。

さらに、エージェントの活動は、次のプランニングサイクルにより組み立てられるものとする(図1)。すなわち、まずエージェントはその内部および外部の状態の変化から目標を認識する。つぎに、エージェントは達成すべき目標(主目標)を認識するとともに、それを達成するためのプランを作成する。こうして作成されたプランを実行することにより、内部および外部の状態を更新する。

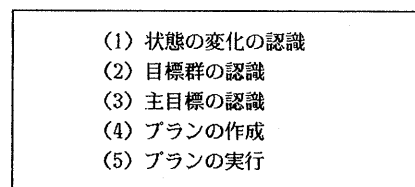


図1 エージェントのプランニングサイクル

3. 分散協調問題解決のための諸モデルとその問題点

分散協調問題解決を主たる目的として数多くの計算モデルが提案されている。しかし、これらは著者らが目指すような分散環境下での分散協調問題解決のための枠組みとはいえない。

黒板モデル[4] やオブジェクト指向並列計算モデル[7] は、分散環境の下での問題解決というよりはむしろ並列的

な問題解決を目指した枠組みと考えられる。

一方、契約ネット[6]のように地理的に分散されたエージェントの間の通信規約を規定した枠組みは、エージェントの間の協調的活動をモデル化するための界面を定めたものに過ぎないことから、つぎのような問題をもつ。

(1) 個人的活動と協調的活動を統一的に扱えない：これらの枠組みでは、エージェントの各々が、その個人的活動と協調的活動とを別々の枠組みの下で行なうことを意図している。しかし、個人的活動と協調的活動とを別の機構に基づいて展開するのは望ましくない。一般にはこれらの活動には重複が認められるのが普通であって、それらを別々に行なうのは冗長であるからである。例えば、本部より無線を介して業務を依頼されたタクシーがそれを請け負うという活動は、本部の目標を達成しやすくするための協調的活動なのであるが、実はタクシーがこれを依頼される以前からもっていた“利用者を獲得している”という目標を達成するための個人的活動でもあることに注意されたい。

(2) 協調的活動を行なうべき状況を認識し得ない：これらのモデルでは、各エージェントが、他と協調すべき状況をいかに表現し、いかに認識したらよいかは規定していない。すなわち、エージェントは、他のエージェントから陽に協調的活動を依頼されないかぎり、協調すべき状況を認識し得ない。

(3) 敵対的活動を扱えない：これらのモデルではエージェントの間の敵対的活動は扱えない。また、協調的活動の場合と同様、エージェントはそれが敵対的活動を行なうべき状況を認識し得ない。

(4) 通信システムの完全性を仮定している：これらのモデルではエージェントの間の通信が完全であることを仮定している。しかし、通信が途絶した場合でも、各エージェントが状況の変化を認識することができ、そのような変化に対して通信できない他のエージェントがいかに行動するかを予測できるならばエージェントは互いに合目的的に振舞うことができる。これにはエージェントが共通の行動原理にしたがって行動するか[1]、各エージェントが他のエージェントの行動原理を徹底的に獲得しておけばよい。

4. 分散協調問題解決のための新たなモデルを求めて

4.1 新たなモデルへの要求仕様

将来の分散協調問題解決システムは、第3節で列挙した諸問題を解決し得るモデルに基づいて構築すべきであろう。そのようなモデルとは、次の質問に対して明確な説明を与えるものでなくてはならない。

(Q-1) 社会的活動の必要性をいかに認識するか：すなわち、エージェントは個人的活動、協調的活動、敵対的活動の間の切り替えを行なうべき状況を何に基づいて表現し、それをいかにして認識すべきかという問題である。

(Q-2) 社会的活動をいかに計画するか：すなわち、社会的活動の必要性を認識したなら、その状況にふさわしい活動をどのようにして組み立てるべきかという問題である。

(Q-3) 個人的活動と社会的活動をいかに統括するか：すなわち、社会的活動のみならず個人的活動についても、その必要性を認識し、それを計画するための基礎となり得る概念とは何かという問題である。

(Q-4) 他のエージェントの活動をいかに推論するか：すなわち、通信システムが完全であろうとなかろうと、何に基づいて他のエージェントの活動を予測すべきかという問題である。

4.2 目標間の関係と分散協調問題解決

(Q-1)~(Q-4) に対する1つの接近法は、エージェントがもつ目標間の関係[8]、すなわち、つぎのような関係に着目することであろう。

(1) 目標の重複(goal overlap)：単独のエージェントがもつ目標間の関係であって、それらを別々に達成するよりは同時に達成する方が容易であることをいう。例えば、あるタクシーが特定の乗車場に向かう際に燃料が不足していることに気がつき、途中にあるガソリンスタンドに寄ったとしよう。これなどは乗車場に向かうという目標と、燃料を補給するという目標の間の重複を利用した例である。

(2) 目標の一致(goal concord)：異なるエージェントがもつ目標間の関係であって、これらはエージェントの各々が単独で達成するよりは互いに協調することによって同時に達成する方が容易であることをいう。一般に電話予約を受けたタクシー会社の本部と利用者を待ち続けているタクシーの各々は互いに一致した目標をもつことになる。

(3) 目標の衝突(goal conflict)：単独のエージェントがもつ目標間の関係であって、それらの一方を達成しようとすると、他方を達成することが難しくなることをいう。例えば、一日の業務の終盤にさしかかったタクシーは利用者を獲得するという目標と他のタクシーの業務を妨害しないという衝突し合う目標をもつことになる。

(4) 目標の競争(goal competition)：異なるエージェントがもつ目標の関係であって、エージェントの一方が目標を達成しようとすると、他方が目標を達成することが難しくなることをいう。例えば、同じ乗車場に向かっているタクシーの各々は互いに競争し合う目標をもつことになる。

これらの関係に着目するならば、(Q-1)~(Q-4) は次のように説明される。

(A-1) エージェントが社会的活動の必要性を認識するのは、それ自身の目標と他のエージェントの目標との間に一致あるいは競争を認識した場合である。すなわち、①相手との間で協調的活動を実行し合うことによって、重要かつ単独では達成が難しい目標を互いに達成し得ること、あるいは、②敵対的活動を実行しなければ、相手側の敵対的活動によって、重要な目標が干渉を受け得ることを認識した場合である。

(A-2) 他のエージェントとの間に目標間の一致あるいは競争を認識したエージェントは目標間の一致を生かすことを目標として、あるいはそれらの間の競争を解消すること

を目標として社会的活動を計画する。すなわち、①お互いの目標を同時に達成するのに必要な活動、②相手の敵対的活動を不可能とするに十分な活動を組み立てようとする。

(A-3) エージェントの個人的活動は、それ自身の目標の間の重複や衝突に着目することによって、その必要性が認識され、計画される[8]。すなわち、個人的活動も社会的活動と同様に、目標間の関係という枠組みの下で扱うことができる。

(A-4) 他のエージェントの活動は、相手が種々の状況の下で発生し得る目標についての知識および相手のプランニング知識を互いに共有しあうことによって推論される。すなわち、他のエージェントがある状況においてどのような目標を持ち、その目標に対してどのようなプランニングを行なうかを知っていれば、その知識によって他のエージェントの活動を予測することができる。

4.3 目標間の関係の認識

一般に、目標間の関係を認識することはきわめて難しい[3]。ここでは、目標ならびにそれを達成するためのプランの表現に基づいて、これを認識することを考える。

目標はつぎのスロットよりなるフレームとして表現する。

<目標名, 動作主, 状態, タイプ,
時間制約, 達成制約, 前提副目標,
重要度, 発生時刻, プラン集合>

動作主には、その目標をもつエージェントの名前を記述する。状態には目標となる状態を記述する。タイプには、その目標をもつ状態の型を記述する。これについては、後でもう少し詳しく説明する。時間制約には、その目標を達成すべき時間帯を記述する。達成制約には、その目標を必ず達成しなくてはならないかを記述する。前提副目標には、その目標の前提となる副目標群を記述する。ある目標が前提となる副目標群をもてば、その目標の発生と同時に前提となる副目標も発生させる。そして、その副目標群の全てが達成されるまでは元の目標の達成は試みられない。プラン集合には、その目標を達成するために用いることのできるプランが列挙される。

各々のプランは次のスロットよりなるフレームとして表現する。

<プラン名, 行為者, プランタイプ,
評価基準, 前提条件, 行動系列>

プラン名には、そのプランを行なうエージェントの名前を記述する。プランには、その実行に関して、他の目標がもつ行動と同時に実行できるかどうかの種別があり、それをプランタイプに記述する。ある目標はいくつかのプランをもち、その中から1つのプランを選択するときに評価基準を使用する。評価基準には、そのプランを実行するための絶対的な条件が記述される。前提条件には、プランを実行するための十分条件が記述され、プランが選ばれたときにその条件が満たされていないければ、その条件を副目標として

発生し、その目標が達成されるまではプランの詳細化は行なわれない。行動系列にはそのプランで行なう行動が列挙される。

さて、著者らは前節で、目標間の関係に着目することにより、新たなモデルへの要求仕様に対し、ある回答を与えることができることを述べた。しかし、これらの目標間の関係をいかにして認識するかという問題が依然として残る。著者らは、これらの関係をプラン中のいくつかの行動に着目することによって認識することを提案する。

例えば、あるエージェント(タクシーの運転手)が“利用者を獲得している”という目標と“手紙を出している”という目標を発生したとする。また、各々の目標はプランの1つとして次のような行動系列をもっていたとする。

目標: 利用者を獲得している
プラン: 乗車場へ行く
利用者を待つ

目標: 手紙を出している
プラン: 郵便局へ行く
手紙を係員にわたす

このようなとき著者らは、“行く”という行動が両方のプランに含まれていることに着目する。すなわち、もし乗車場へ行く途中に郵便局があれば、“現在位置から郵便局まで行き、手紙を係員にわたし、郵便局から乗車場まで行き、利用者を待つ”というプランを実行することにより、この2つの目標を別々に達成するよりは、同時に達成する方が効率的であることが分かる。このような関係を著者らは“目標の重複”と呼んでいる。ここで、“行く”という行動は実際には次のように表現する。

(Ptrans (Actor ?X)
(Objective ?X)
.....)

すなわち、“自分自身を物理的に移動(Ptrans[5])させる”というように表現できる。ある2つの目標のプランがこのような形式の行動を含み、その経路が重複していれば、2つの目標が重複しているといえる。現在著者らはこのような目標間の関係を認識するための行動パターンをリストアップしている。

さて、複数の目標間の関係に着目したプランニングは、次の手順で行なわれる。

- (1) 主目標の設定
- (2) プランニング戦略の設定
- (3) 詳細プランニング

すなわち、複数の目標の中から最も達成が望まれる目標を主目標として選択する。これは、いくつかのヒューリスティックな規則に従って行なう。次に、その主目標を中心として他の目標との関係を上述の方法で調べ、それをプランニング戦略中に記述する。そして、そのプランニング戦略に従い、詳細なプランニングを行なう。

5. 目標間の関係に基づく分散協調問題解決の試み

著者らは、目標間の関係に基づいて分散協調問題解決を行なうエージェントの枠組みを設計すると共にタクシー会社における特定のタクシーの活動をこの枠組みによりモデル化し、その活動のシミュレータおよび説明系を試作している。

このエージェントは図2に示す構成要素よりなる。

5.1 Situation Space

Situation Space (SS) はエージェントが置かれた世界およびその内部状態を表現するためのデータ構造である。状態にはそのエージェントの生理的な状態や、用件の有無など様々なタイプの状況を記述するため、いくつかのグループに分けて表現する。状態はおもに次のようなスロットをもつフレームとして表現する。

<状態名, 動作主体, レベル, 対象>

状態名には、状態を表すための名前を記述し、動作主体には誰の状態であるかを記述する。状態が生理的なもの場合は、レベルにその程度を 1 から 10 の数値を使って記入する。対象には、状態についてのより詳細な内容が記述される。

状態には、エージェントの生理的な状況や、個人的な用件の有無、社会的業務の時間帯など、エージェントがかかわっている世界および自分自身の内部状態などの幅広い知識が書き込まれる。

5.2 Planning Space

Planning Space (PS) は、エージェントの目標およびそのプランを階層的に展開し、記録するためのデータ構造である。PS には、後に述べるプランニング戦略や他のエージェントがもち得る目標なども記録する。目標は複数存在していても良く、それらの間の関係を見ながらメタプランニング（主目標の設定、およびプランニング戦略の設定）が行なわれる。また、プランニング戦略に従って作成される詳細なプランも記述する。

5.3 Goal Detector

Goal Detector (GD) は SS を常時監視しており、エージェントが達成すべき目標を認識すると、それを PS に記録する。GD は SS の変化に応じて発火するプロダクションルールの集合として実現する。

5.4 Goal Predictor

Goal Predictor (GP) は SS を常時監視しており、他のエージェントがどの目標を達

成するために、どのプランを実行しているかを予測し、それを PS に記録する。この予測を利用することにより、他のエージェントとの協調的な動作が可能となる。しかし、ある 1 つの状態から他のエージェントの目標を正確に認識することは極めて困難であり、これは談話理解システム[8]を作成するのとはほぼ同等の作業となる。しかし、明らかに他のエージェントの目標を認識できる場合もある。それは、他のエージェントから直接用件を頼まれたり、通信によって業務を依頼されたりした場合である。

著者らは、GP もまた GD と同様、SS の変化に応じて発火するプロダクションルールの集合として表現する。

5.5 Meta Plan Proposer

Meta Plan Proposer (MP) は PS 上に記録される目標間の関係に基づき、プランニング戦略を作成し、それを PS に記録する。このプランニング戦略には PP が詳細なプランを作成する際に使用する情報が記述される。プランニング戦略は以下のスロットをもつフレームとして表現する。

<主目標, プラン, 報酬, 制約>

また、報酬は、つぎのスロットをもつフレームとして表現する。

<目標, プラン, 評点>

主目標には焦点をあてた目標を記述する。プランにはその主目標を達成するためのプランを記述する。報酬は主目標と同時に達成が可能な他の目標とプランと、それを行なったときの評点が記述される。評点は 1 から 10 までの数値で表現する。制約には、上記の情報を使用して詳細なプランを作成するときの制約（関数）を記述する。

5.6 Plan Proposer

Plan Proposer (PP) は PS に記録されたメタプランにしたがい、詳細なプランを作成し、それを PS に記録する。この詳細化はメタプランに基づいて行なわれる。すなわち、

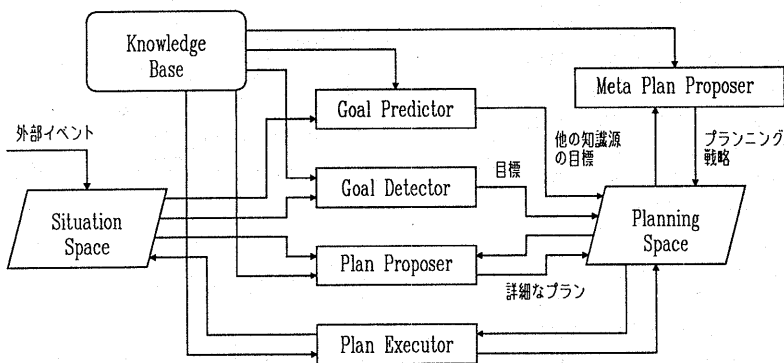


図2 エージェントの構成要素

メタプランに記述されたプランを、報酬の中のプランと同時に達成できるかどうかを制約の下で調べ、いくつかの詳細プランの候補を見つける。そして、それらの候補の中で報酬の最大のもを詳細プランとして採用する。

5.7 Plan Executor (PE)

PS に記録されたプランを実行する。すなわち、プランにしたがい、SS を更新する。この動作は、一見簡単に見えるが、実は非常に困難な問題を発生させる。例えば、プランの実行中に状態が変化し、プランの実行が不可能になってしまう場合が生じる。このようなとき、どこからプランの再構成を行なってよいか簡単にはわからない。すなわち、詳細プランニングをやり直せばよいのか、プランニング戦略も変更しなくてはならないのか、それとも最初からプランニングをやり直さなければいけないのかは簡単にはわからない。これは、どこまでバックトラックするのかという問題となる。

5.8 シミュレーション例

著者らは、ある特定のタクシーをエージェントとみなし、その活動を前記述べた枠組みの上でモデル化し、シミュレーションを試みている。シミュレーションを試みているのは、図3のような交通網が張りめぐらされた地域を拠点とするタクシーによる個人的および協調的な活動である。図3において、点線および(R1などの)名称の施された経路は路上からの乗車率が高い経路を示し、②、③などの数値は経路を通過するのに要する時間的なコストを示す(数値が施されていない経路は、デフォルトとして①を与える。これらは時間帯によって変化する。また、外部より動的に変更することもできる)。

このシミュレーションは、上記のようなエージェントの枠組みに基づいてモデル化された特定のタクシーの活動だけを対象としたものであって、通常、このタクシーは個人的

活動だけを行なおうとする。しかし、シミュレータとのインターフェースを通してこのタクシーの Situation Space を書き換え、それが本部や他のタクシーとの協調すべき状況を生成してやると、このタクシーはそれを認識し、その状況にふさわしい協調的活動を組み立てようとする。

このシミュレータに特徴的なことは、タクシーの個人的活動とはそれが単独で行なうタクシー業務だけではないということである。すなわち、このタクシーはきわめて個人的な目標も発生し、その達成を試みるようにモデル化されている。例えば、このタクシーは食事すべき時間になれば食事をとろうとするし、銀行や郵便局へ寄るといった要件があれば、それらが閉まる前にそれを済ませようとする。

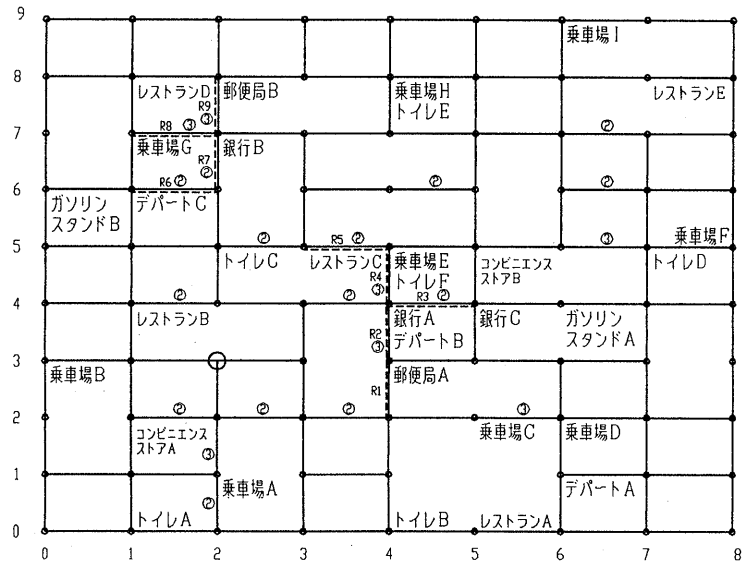


図3 タクシーの活動拠点

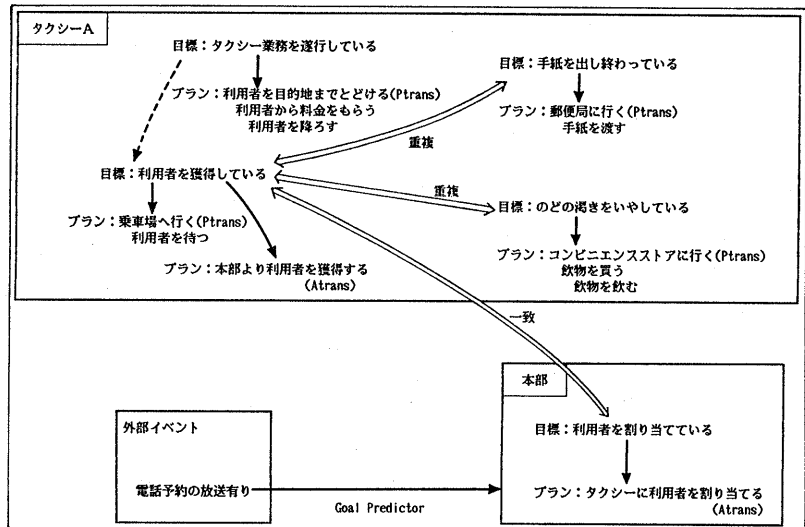


図4 タクシーによるプランニング過程

このタクシーによるプランニング過程を例証するために、図3における格子点(2,3)にて利用者を降ろしたばかりのタクシーの活動をトレースしてみる(図4)。

まず、このタクシーのCDは新たに“G1:タクシー業務を遂行している”という目標を発生し、それをPSに記録する。このとき、この目標は前提条件の付随した目標であり、前提となる副目標“G4:利用者を獲得している”を同時に発生し、PSに記録する。そして、G4が達成されるまではG1の達成は試みられない。さて、このタクシーは“G2:手紙を出し終わっている”および“G3:喉の渇きを癒している”という2つの個人的な目標を既に発生し、PSに記録されていたとする。

このようにPSが更新されることにより、MPが呼び出される。MPは複数の目標があることを認識して次のようなステップでプランニングを進める。

- (a) 目標の1つを主目標(例えば、G4)として選択する。
- (b) 主目標と一致または重複する可能性のある目標郡を探索し、メタプランとして示す。

主目標の選択はいくつかのヒューリスティックな規則により行なわれる。主目標が選択されれば、次に、主目標と他の目標との関係を調べる。これは、前に述べたように、プラン中のある特定の行動パターンに着目することにより行なわれる。この場合にはG2とG3との重複の可能性を認識し、プランニング戦略“可能ならば、主目標G4と同時にG2とG3を達成せよ”をPSに記録した後、PPに制御を移す。G2やG3がG4と重複し得ることは、それらのプランが“空車状態で、タクシー自身を移動させる(Ptrans [5])”という行動を含むことに着目して認識される。G1のプランも“移動”を含むわけであるが、これは空車状態で“移動”ではないことに注意されたい。

PPはこのプランニング戦略に基づき、G4、G2、G3を同時に達成し得る詳細なプランの各々をシミュレーションを通して評価し、その中から報酬のいちばん多いものを選択する。かくしてPPはつぎのような詳細プランをPSに記録し、PEに制御を移す。

(2,3)→(4,3)→R2→(4,4)→銀行A
→R4→(4,5)→乗車場E

さて、協調的活動の場合もこのような個人的活動と同様に計画される。例えば上記の状況のとき、さらに“利用者からの電話予約”を知らせる放送があったとしよう。この場合にはGPが、この放送は“契約[Smith et al. 81]により利用者を割り当てる”というプランの一部であって、さらにそれが本部の目標“G5:利用者をタクシーに割り当てている”を達成するためのプランであることを予測し、それをPSに記録する。

するとやはりMPが呼び出され、G4とG5との一致を認識してPSに“可能ならば、G4とG5を同時に達成せよ”という意味のプランニング戦略をPSに記録する。これは、“所有権を移動させる(Mtrans)”という行動を通して認識することができる。そして、それらを同時に達成し得るプ

ラン“契約により利用者を獲得する”を見だし、PSに記録する。

6. おわりに

本研究では、分散協調問題解決とは分散環境下で行なうことを義務づけられた問題解決であるとの考えから、従来の研究の問題点を述べるとともに、それらを克服するための接近法として、エージェントの各々がそれらの目標間の関係に着目して問題解決を行なうことを提案した。

今後の課題としては、1)他のエージェントの目標を予測するとともに目標間の関係を予測するための、より一般の方法を確立すること、2)より柔軟かつ強力なメタプランニング機構を導入すること、3)メタプランニングとプランニングを同一の機構に基づいて行なわせることなどが挙げられる。

【参考文献】

- [1] 石井威望, 廣瀬通考: 分散と協調, 計測と制御, 26-1, pp.2-10 (1987).
- [2] Hayes-Roth, B. et al.: A Blackboard Architecture for Control, Artificial Intelligence, Vol. 26, pp.251-321 (1985).
- [3] Mostow, J.: Toward Better Models of the Design Process, The AI Magazine, Vol.6, No.3, pp.44-57 (1985).
- [4] Nii, H. P.: Blackboard System, The AI Magazine, 7-2, pp.38-53 (1986).
- [5] Schank, R. G. and Abelson, R. P.: Scripts, Plans, Goals, and Understanding, Lawrence Erlbaum Associates (1977).
- [6] Smith, R. G. and Davis, R.: Frameworks for Cooperation in Distributed Problem Solving, IEEE Trans. on SMC, 11-1, pp.61-70 (1981).
- [7] Yonezawa, A. and Tokoro, M. (eds.): Object-Oriented Concurrent Programming, MIT Press (1986).
- [8] Wilensky, R.: Planning and Understanding, Addison-Wesley (1983).
- [9] 小野典彦, 翁長健治: 問題解決プロトコルに基づいた分散システムの協調制御: 広域タクシー網の運行事例, 計測自動学会 第26回大会 学術講演予稿集, pp.929-932 (1987).
- [10] 小野典彦, 平松健司, 翁長健治: 目標間の関係に基づいた分散協調問題解決, 日本ソフトウェア科学会 第4回大会論文集, pp.323-326 (1987).