

# 環境の動的変化に応じて協調形態を柔軟に変化させる マルチエージェントプランニングの検討

布施 太章<sup>1,a)</sup> 諏訪 博彦<sup>1</sup> 栗原 聡<sup>1,b)</sup>

概要：近年、一般家庭やオフィス等の日常生活環境に対するアンビエントシステムの構築に関する研究が注目されている。一般的に日常生活拠点では複数人が生活しており、その各個人の行動を円滑にサポートするインタラクションを自律的に実行することがアンビエントシステムの目的である。そのためには、生活拠点に設置された有限のインタラクティブデバイスを適切に操作できる能力が要求される。我々は、このアンビエントシステムを、各人ごとにインタラクティブデバイス制御のためのプランニングを行うエージェントが、お互いに協調競合することでシステム全体を制御する「マルチエージェントプランニング系」に基づく構築を目指している。本論では、ここでのマルチエージェントプランニングにおける中心的課題である、エージェント自体の能力や負荷、そしてプラン実行における複数エージェントによる共同作業など、状況に応じて協調プランニング形態を動的な変化できるメカニズムについて検討する。

## 1. はじめに

一般的に日常生活拠点では複数人が生活しており、その各個人の行動を円滑にサポートするインタラクションを自律的に実行することがアンビエントシステムの目的である。そのためには、生活拠点に設置された有限のインタラクティブデバイスを適切に操作できる能力が要求される。我々は、このアンビエントシステムを制御する方法として、各人ごとにインタラクティブデバイス制御のためのプランニングを行うエージェントがお互いに協調競合することが研究されている。

しかし、そのような自律的な行動を行うデバイスが複数存在する場合、それぞれ目的のための行動を行った結果、デバイス同士が競合を起こしてしまい、それぞれの行動を阻害してしまう可能性がある。仮にデバイスがユーザ補助を目的とした行動を行うと計画していた時、デバイス制御の競合によって補助が正しく実行できない場合、環境内のユーザに対して有効な補助ができなかったり、最悪の場合事故が発生してしまうことも考えられる。

このような事態を回避するために、デバイスの目的を安全に実行するためのマルチエージェントプランニング技術が必要となる。人が活動するような環境は動的環境であるから、プランニング技術には適応性の高い、時間制約下で

の協調プランニングについて考えなければならない。そして、万が一にも、プランが実行できないことにより、有効な補助ができず事故が発生するような事態は避けなければならない。

つまり、インタラクションデバイスのプランニング技術には計画されたプランが環境変化によって実行不能にならないようにするための修正能力と時間制約下でプランニングする即応性が求められる。

この2つの機能を実現するために本研究では、大域的視野でトップダウン的に協調動作を行う「中央制御型」と局所的視野を持つ個々のエージェントによるボトムアップ型の協調動作による「直接協調型」と「間接協調型」という3つの協調形態を効果的に連携させるマルチエージェントプランニング法の構築を目指す。

## 2. MASにおける協調メカニズム

MAS(Multi Agent System)における協調メカニズムは、大域的視野でトップダウン的に協調動作を行う「中央制御型」、局所的視野を持つ個々のエージェントによるボトムアップ型の協調動作による「直接協調型」と「間接協調型」の3種類に大別できる。それぞれの協調形態について以下の節で簡単に解説する。また、それぞれの特徴を図1に簡潔にまとめる。

### 2.1 中央制御型

既存のトップダウン的なプランニングには、環境情報を

<sup>1</sup> 電気通信大学  
The University of Electro-Communications  
a) fuse@ni.is.uec.ac.jp  
b) kuri@ni.is.uec.ac.jp

すべて把握した上で、目的を達成させるために全体のプランニングを行う中央制御型のプランニングがある。このタイプでは、矛盾がなく合理的なプランを生成するために、各エージェントが生成したプランを一箇所に集約して協調を行う方法が提案されている [1][2][3][4][5][6]。

Georgeff ら [4] や Elkawagy ら [5] は、次のように個々のエージェントが独立に生成したプランの実行において発生する競合を回避する方法を提案している。まず STRIPS 形式により、各エージェントが独立にそれぞれの目標についてプランニングを完了する。そして生成された各エージェントのプランは、中央集権的なスケジューラに渡され、そこで個々のプランを解析することにより競合解消が行われる。この競合解消では、各エージェントのプラン間において2つの行為が並列実行可能か、いずれかが先行すれば実行可能かなどを逐一調べ、プラン全体が安全に実行されるように調整を行う。環境情報を踏まえた上で目的を達成するためのプランニングを行うことから作成されるプランの精度は高くなる。しかし、全てのプランニングを集中的に行うことから計算的な負荷が大きくなり、プランニング時間がかかってしまう。時間制約がある中で、プランの精度を生かしていくことが重要である。

Wang ら [6] は、上記のような集中管理の方法のデメリットである計算量の多さをシンプルなルールベースにすることでアルゴリズムの完全性を維持しながら、速さも実現しようとした。しかし、シンプルなルールで完全性を保つために無駄な動きが非常に多いアルゴリズムであり、また静的な環境を対象としており、動的な環境には向かない方法であった。

## 2.2 直接協調型

既存のボトムアップ的なプランニングには、各エージェントが得られる局所的な情報から独立してプランニングを行い、相互に情報を交換するなどして直接的な方法を用いて協調行動を行う直接協調型のプランニングがある。分散したエージェントがそれぞれにプランニングを行うため、各エージェントにかかる負荷は少なくて済む。そのため、計算負荷の低減をすることが可能である。その一方で、各エージェント同士の相互の通信の情報を集中的に集めてプランニングを行う中央制御型に比べると、少ない局所的な情報でプランニングを実行しなければならないことからプランニングの精度は劣ってしまう。

マルチエージェントプランニング研究における従来研究においては、直接協調型に関する提案が主であった [7]。直接協調型の研究では、各エージェントが生成した環境へのプランを実行に移すまえに、全部もしくは一部の他のエージェントにこれから自分が実行しようとするプランに関連したメッセージをやり取りする。このメッセージ交換は、競合がなくなるまで続けられ、その後プランの実行を行う。

## 2.3 間接協調型

既存のボトムアップ的なプランニングには、各エージェントが得られる局所的な情報から独立してプランニングを行い、共有メモリを用いるなどして間接的な方法を用いて協調行動を行う間接協調型のプランニングがある。直接協調型と同様に、分散したエージェントがそれぞれにプランニングを行うため、各エージェントにかかる負荷は少なくて済む。そのため、計算負荷の低減をすることが可能である。また、間接的な方法で協調行動を行うため、直接協調型で指摘される通信コストの増加も回避できる。一方で、情報を集中的に集めてプランニングを行う中央制御型や情報を交換して集めてプランニングを行う直接協調型に比べると、更に少ない局所的な情報でプランニングを実行しなければならないことからプランニングの精度は劣ってしまう。

間接協調型の研究には、共有メモリを用いることでお互いのエージェントのプランニングと協調、プラン実行を独立して行うことを可能にし、プランニングの即応性を高めつつ、エージェント同士の協調を保持することを可能にした、次のような方法が提案されている。本田ら [8] は、エージェント同士の協調のために共有メモリ用いた手法を提案しており、直接メッセージを送るような方法よりもエージェント同士の独立性を高めることができ、協調にかかる時間が短縮されプランニング時間を短くすることが可能になった。

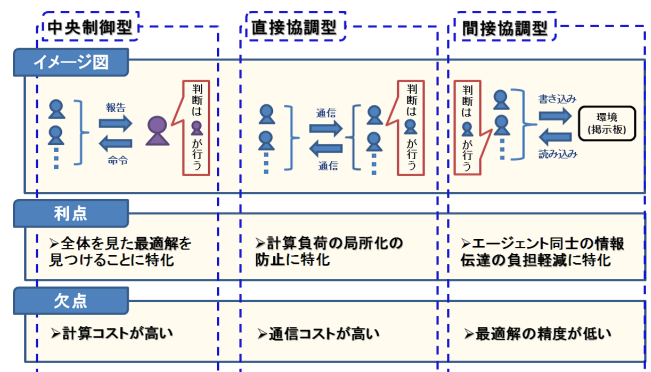


図 1 MAS における協調メカニズムの特徴

## 3. これまでの研究の流れ

### 3.1 中央制御型と間接協調型の混合型

中央制御型と間接協調型の特徴は図 1 に示したとおりである。中央制御型ではプランニングにかかる情報量と計算量の多さを中央に集中させてしまうため、プランニングにかかる時間が長くなってしまうことが短所である。また、間接協調型では局所的な情報によってプランニングを行うため、プランの精度が低いことが短所である。しかし、中央制御型では豊富な情報から作られる精度の高いプラン、

間接協調型では素早いプランニングという長所を持っている。

これまで我々は、中瀬ら [9] にあるように、この2つの長所と短所はそれぞれを補う形であることに注目し、プランニング可能な時間が十分な場合には中央制御型でプランニングを行い、中央制御型のプランニングが間に合わない状況には、間接協調型に切り替える方法を提案している。プランニング自体は中央制御型と間接協調型を並行に実行させた。基本的には未来の競合を無ないように計画されている中央制御型のプランが優先されるが、急なトラブルが発生し、とっさの処理が必要な時に中央制御型のプランニングでは間に合わない状況が発生する。そのような場合には、間接協調型によるプランニングを採用することでプランの失敗を回避を試みる。これにより、中央制御を行う部分と分散制御を行う部分がそれぞれプランニングを行うことでお互いのトレードオフの関係であったプランニング精度とプランニング時間を両立させることが可能である。また、プランニングが独立して行われるため、不測の事故などで中央制御行っている部分が機能不全に陥った場合でも分散制御部分がそれぞれに処理を行い、プランを実行することができる。逆に分散制御を行う部分が機能不全になっても中央制御の部分で処理を行うことが可能になる。プランニング対象環境内のトラブルだけでなく、システム自体のトラブル時においても安全性を高めることが可能である。

#### 4. 協調方式の改良

##### 4.1 MAS における 2 つの協調メカニズムの共存

これまでの我々の方法は中瀬ら [9] にあるように、中央制御型と間接協調型にのみ焦点を当てて協調メカニズムの混合型を提案しており、主にその混合型のスイッチングに特化した手法であった (図 2)。つまり、中央制御型での計算と間接協調型での計算を並列で行い、時々刻々の環境の変化に合わせて、どちらかの計算結果を用いるかを決定している。これは一方で、同じ時刻の同じ空間には、中央制御型と間接協調型のどちらかの計算結果しか採用しないことを示唆している。

しかし今後、アンビエントシステムがより多くの場所で構築された場合、それぞれのアンビエントシステムをさらに俯瞰して考えることも必要となってくるのが考えられる。そこで本研究では、空間をより広く考えた場合、同じ時刻の同じ空間においても、中央制御型の計算結果を採用した意思決定と間接協調型の計算結果を採用した意思決定が共存するといったモデルと検討している (図 3)。この際に、中央制御型のスケジューラは複数存在しており、計算コストが集中してキャパオーバーしてしまったスケジューラが生じると、そのスケジューラが制御していたエリアに関して、間接協調型への移行が考えられる。

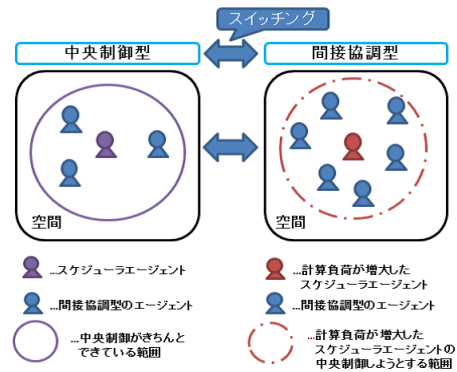


図 2 中央制御型と間接協調型のスイッチングモデル

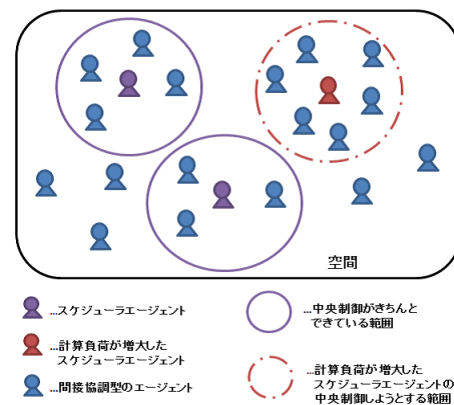


図 3 中央制御型と間接協調型の共存モデル

##### 4.2 直接協調型の追加

また、このように意思決定が共存するモデルの場合、エージェント数が2つか3つのように非常に少ないが、中央制御型として機能するスケジューラの能力を誰も持っていないときには、間接協調型よりも直接協調型を用いたほうが合理的な場合も考えられる。つまり、直接協調型も含めた、3つの協調形態が同じ時刻の同じ空間に共存することは十分に考えられる。したがって本研究では、中央制御型と直接協調型、間接協調型の3つの協調形態が共存するといったモデルも検討する (図 4)。

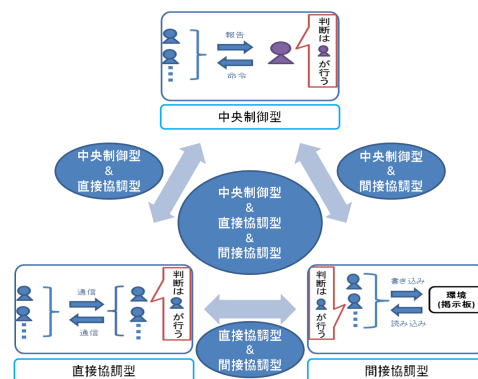


図 4 MAS における協調メカニズムの共存

## 5. 評価用シミュレーション環境の構築

### 5.1 エージェントの定義

実際のアンビエント環境を想定した際に、各エージェントはそれぞれ異なる能力を持っている。例えば、間接協調をするために読み込める環境の範囲である視野が異なっていたり、計算処理能力が異なっていたり、目的によって全く異なる作業を行うため、それぞれが見ることに特化したり、運ぶことに特化したり、と一口に能力といっても様々であることが想定される。

### 5.2 評価用シミュレーション環境

各エージェントはそれぞれの達成したい目的があった場合、その目的に対してプランニングを行う。作成したプランにおいて他のエージェントとの競合が発生した場合、その時刻におけるエージェント自身がどの協調形態に属しているのかによって、トップダウン的な判断をするのかボトムアップ的な判断をするのか変化する。しかし選択肢としては、優先度が低いほうのエージェントが、相手のエージェントが競合しているプランを実行して競合が解消されるまで待機するプランを追加したり、競合を避けた他のプランに置き換えることが挙げられる。そこで本研究では、このように各エージェントのプラン同士の競合を、マンハッタン距離を利用した空間をプランのタスクと見立てたシミュレーション環境を検討する(図5)。エージェントは目的までのプランを代替プランも含めて生成する。その際に代替プランの個数やプランを細分化した際のタスクの個数に応じて図5のように配置される。他のエージェントも同様にプランニングをすると、目的やプランによっては、複数のエージェントが同じ時刻において同じタスクをこなさなければならないことも生じる。このタスクのリソースがエージェント数以下の場合、競合が生じてしまうのである。本研究では、図5のシミュレーション環境において、3つの協調メカニズムのアルゴリズムを実装・評価することを検討している。

## 6. おわりに

本研究では、実世界でのデバイス運用のような環境が動的に変化する状況下においてマルチエージェントの協調形態を利用したプランニングの検討を行った。実環境では環境の変化に対応するプラン修正能力と実際にプランが行われている中でプラン競合を解消させる即応性を求められる。更に協調形態が複数共存させるモデルを考えた場合、直接協調型がプラン修正能力と即応性に長けた状況も生じると考えられる。

そこで本研究では、これまでの中瀬[9]らのスイッチングモデルから共存モデルへの拡張及び、直接協調型の導入も含めた、中央制御型と直接協調型、間接協調型の3つの

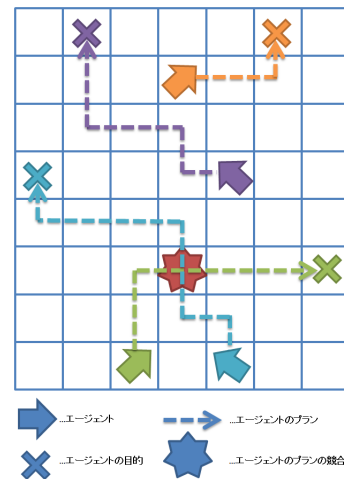


図5 シミュレーション環境

協調形態が共存するといったモデルを検討した。今後の課題としては、各協調形態のプランニング方式を組み合わせた場合での実験や協調行動を必要とするようなシミュレーションでの性能評価などを行いたいと考えている。

### 参考文献

- [1] J. Cox and E. Durfee, "Discovering and exploiting synergy between hierarchical planning agents", In Proceedings of the Second International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, pp.281-288, 2003.
- [2] Jeffrey S. Cox and Edmund H. Durfee, "An efficient algorithm for multiagent plan coordination", Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS-06), pp.828-835, 2006.
- [3] E. Ephrati and J.S. Rosenschein, "Divide and conquer in multi-agent planning", In Proceedings of the twelfth National Conference on Artificial Intelligence, pp.375-380, 1994.
- [4] M. P. Georgeff, "Communication and interaction in multi-agent planning", the Third National Conference on Artificial Intelligence, pp.125-129, 1983.
- [5] Mohamed Elhawary and Susanne Biundo, "Hybrid Multi-agent Planning", Multiagent System Technologies 9th German Conference, MATES 2011, Berlin, Germany, October 6-7, 2011. Proceedings, pp.16-28, 2011.
- [6] Ko-Hsin Cindy Wang and Adi Botea, "MAPP: a Scalable Multi-Agent Path Planning Algorithm with Tractability and Completeness Guarantees", Journal of Artificial Intelligence Research 42, pp.55-90, 2011.
- [7] Jeffrey S. Cox and Edmund H. Durfee, "An efficient algorithm for multiagent plan coordination", Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS-05), pp.828-835, 2005.
- [8] 本田誠一, 森山甲一, 沼尾正行, 栗原聡, "多ゴールが非同期に発生する環境下における実時間リアクティブプランニング法の研究", 人工知能学会全国大会(第22回), 2008.
- [9] 中瀬絢哉, 沼尾正行, 栗原聡, マルチエージェントプランニングにおける協調形態の動的変更メカニズムの提案, (WSSIT-13)(2013).