

平成 21 年 6 月 3 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18500107

研究課題名（和文）内省能力をもつエージェントによる実時間協調の研究

研究課題名（英文）Real-time Cooperation by Agents with Reflection Capability

研究代表者

竹内 郁雄（TAKEUCHI IKUO）
 東京大学・情報理工学系研究科・教授
 研究者番号 90293109

研究成果の概要：本研究は、実時間協調を行なうマルチエージェントの各々のエージェントを、内省を担当するミニエージェントを含むミニチュアマルチエージェントシステムとして実現することによって個々のエージェントの能力を上げ、かつマルチエージェントプログラミングをモジュール性の高いものにするを旨とした。得られた主な成果は (1) エージェント内にさらに自己監視エージェントを含ませ、本来のエージェントの行動履歴等から不適切と判断される行動を発見した場合に割り込みをかける仕組みを実装し、効果を確認した。(2) 1個のエージェントのみならず、エージェントの対の相互監視による対内省について検討し、さらに複数のエージェントの相互監視による群内省の一般的な仕組みを設計・実装した。これを用いてまったく別の開発者が作成したエージェントの間に協調行動を取らせることに成功した。これは同じ問題に対して作られたエージェントが、最低限のプロトコルによって協調することが可能になることを示した。(3) マルチエージェントの協調を実現するためのプログラミング言語Yaccalを設計し、典型的な問題において、非常にコンパクトにエージェント協調を記述できることを確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	660,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：人工知能，エージェント，実時間協調，内省，マルチエージェント言語，相互監視，RoboCup シミュレーション，RoboCupRescue

1. 研究開始当初の背景

不完全にしか情報を共有し得ない多数の自律的なエージェントが、動的に変化する環境のもとで、実時間で協調的に振る舞って所

定の目的を達成することは、十分に高い知能をもった人間ですら困難なことである。特に、動的に変化する環境がそのような協調行動を積極的に妨げるような場合、その困難さは著しく増す。

我々はこの問題に対処すべく、平成 12 年度～14 年度の「動的環境下における実時間自律分散協調システムの研究」(基盤研究(C)(2), 課題番号 12680371, 総額 220 万円)において、本格的に RoboCup の研究を立ち上げた。その後、平成 15 年度～17 年度の「認知科学的手法による実時間自律分散協調システムの研究」((基盤研究(C)(2), 課題番号 15500085, 総額 360 万円)において、人間の認知に近い手法によるエージェント開発の研究を行なった。

2. 研究の目的

本研究は、実時間協調を行なうマルチエージェントの各々のエージェントを、内省を担当するミニエージェントを含むミニチュアマルチエージェントシステムとして実現することによって個々のエージェントの能力を上げ、かつマルチエージェントプログラミングをモジュール性の高いものを目指す。

さらに、エージェントの実時間協調における群内省のような仕組みを明らかにしたい。

3. 研究の方法

本課題では、従来と異なり、RoboCup 競技会の成績向上を第一目的とせず、認知科学的手法、内省、さらには上でも言及したエージェントのための戦略記述言語の基礎的研究に主眼をおいて研究を進めた。最近の競技会における順位競争は非常に激しく、学術的な研究の範囲外でのテクニック開発競争になっている感があるからである。

とはいえ、競技会には可能な限り参加し、研究の state-of-the-art を確認するように勤めた。それは、研究成果の区切りをつけるためにも有用だからである。

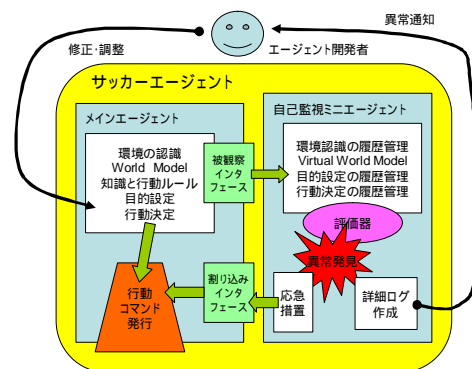
また、本来の研究目標には入らないが、そのための周辺的なソフトウェアの整備も行なった。例えば、研究開始当時から始まった RoboCup サッカー 3 次元シミュレーションリーグへの対応等である。これはライブラリを整備しなければ、その先一步も進めなかったからである。特に 3 次元シミュレーションのためのビジュアルデバッグは、これまでの 2 次元ビジュアルデバッグの実績を元にいち早く開発し、ネットで一般公開を行なった。

4. 研究成果

時系列順に 4 つに分けて記述する。

(1) これまでに予備的な検討と試験実装を進めてきた「自己監視エージェント」の本格実装を進めた。自己監視エージェントは、エー

ジェントの不適切な行動を発見すると、応急措置をメインエージェント(従来のエージェントプログラム)に割り込み指示すると同時に、それらに関するログ等をエージェント開発者に通知する。この方法は一般的な学習を用いるより実践向けかつ実時間的であり、エージェント開発者による可制御性が高い。この方法を「セミフレクション」と呼ぶ。セミフレクションは、プログラム自体の書き換えなどは行わず、表層的な動作の変更に押さえる。同時に検出した異常を開発者に通知し、プログラムの変更、改善を開発者に促す。この機構により、RCSS のような動的に状況が変化する環境で動作するエージェントの頑健な動作を実現すると共に、エラー処理を自己監視エージェントに集中させることでソースコードの見通しを良くすることができる。



自己監視エージェントは、メインエージェントが持っている環境の知識、すなわちワールドモデル (RoboCup サッカーでは、ボールの位置や速度、選手の位置、速度、能力、スタミナなどの情報、得点や残り時間など試合の全般的な状況)、発行した行動コマンドとそれを発行するに至った主な経緯の履歴を収集し、それらをもとに知識、行動、目的の評価を行なう。

準備段階の試験実装ではメインエージェントと自己監視エージェントの独立性が低く、今後の研究展開のための汎用性に欠けていたため、これを RoboCup サッカー以外の一般的な内省エージェントにも使えるように徹底的なリファクタリングを行ない、汎用性の高いライブラリとして構築しなおした。特に RoboCup では毎年ルールやパラメータが変更されることから、それらに対応するためのクラスを独立させて、プログラムの高い保守性と拡張性を実現した。

これらの開発に時間がかかったため、RoboCup サッカー固有の戦術チューニングは追求できなかったが、RoboCup サッカー 3D (三次元版シミュレーション) のエー

ントに対して、このライブラリを使った簡単な動作検証を行なった。実装が簡単すぎたため、大きな効果は得られなかったが、少なくとも 3D チームの開発におけるデバッグに対しては、手間の削減に大いに役立った。

このほかにも、3D シミュレーションのためのビジュアルデバッガ (SoccerScope3D) を開発し、ネット上で公開した。

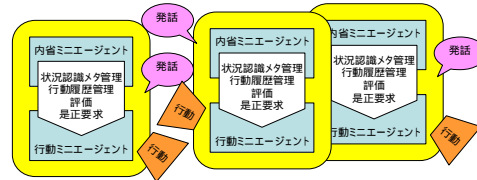
(2) 内省能力の実験を容易にするための、RoboCup サッカーエージェントプログラムのリファクタリングをプログラミング言語を変更して再度実施したが、プログラムが大規模なため、戦術を取り込む段階の前までの実装に終わった。RoboCup サッカーは毎年ルールが更新されるため、それらに簡単に対処できるようリファクタリングは困難である。この理由により、内省能力については、リファクタリング以前のプログラムをベースに研究を進めた。

また、個々のエージェントの内省能力を強化するのではなく、エージェントの対における群内省の基礎検討を開始した。エージェントの集団におけるいわば群内省は本研究課題の最終目標であるが、そこに至るステップとして、2 個のエージェントの位置関係の調整、パス交換などの連携プレイに関する内省能力 (対の内省と呼ぶ) をいかにして実現するかを検討した。単一エージェントの場合と異なり、対の内省のためには、行動評価に関するエージェント間のコミュニケーションが新たに必要となる。しかし、成功・失敗の評価はエージェントごとに判断基準が異なり得る。さらに、対となるエージェントは試合の状況に応じて変化する。このように対の内省は新たに解決しなければならない難しい課題を提起した。プログラムを作成する前に、時間をかけて、対の内省の構造の解析を進めた。

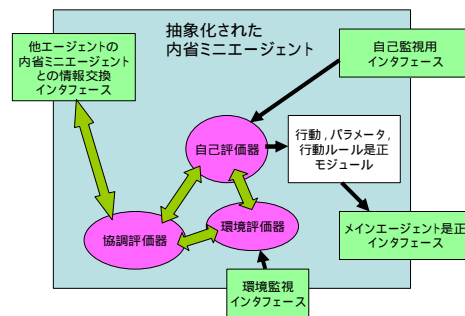
RoboCup サッカーのほか、RoboCup レスキューエージェントの内省能力の向上についての研究を開始した。RoboCup レスキューエージェントは時間解像度が RoboCup サッカーに比べて低いため、分析的な内省に十分な計算リソースを割くことが可能である。反面、プログラムは複雑になる。そこでエージェント協調および自己評価を十分に記述できる人工言語、すなわちマルチエージェントシステム記述言語の研究を進め、言語仕様の大枠を定めた。

(3) 対の内省のみならず、群内省を実装する仕組みについてさらに考察し、そのアーキテクチャを設計した。一般的に群内省は複数エージェントの相互観察から生まれるものである。そのため、これまで考えてきたものより一般的な枠組として、エージェント同士が

まったく異なるプログラムで書かれていても、相互監視とそれに基づく相互アドバイスができるような汎用ライブラリを開発した。すなわち、異種チームのエージェントが混合した場合でも、群内省ができる仕組みを考えたわけである。この枠組を用いれば、当然同種エージェントの群内省も容易に実現できる。



このような汎用ライブラリの作成が可能となるためには、異種エージェント同士であっても、ある程度の共通内部構造をもっていることが必要であるが、RoboCup サッカーにおいては、センサー情報を入力してワールドモデルをつくる部分と、思考した結果、プロトコルで定められているコマンドを発行するエフェクタの部分は、どのエージェントもほぼ共通である。ライブラリはこの共通部分に簡単なフックを入れるだけで各エージェントに接続できる。ただし、ワールドモデル内部の構造はそれぞれのエージェントにより異なるので、群内省に必要なレベルの情報を共通化するためのワールドモデル・アダプタを開発する必要があった。汎用ライブラリにどのような戦略的群内省の機能をもたせるかも、モジュール構造とし、開発者が自由に戦略の補強をできるようにした。

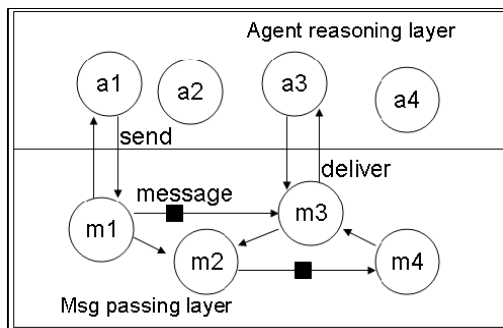


この結果、異種エージェント混合チームにおいて、もとのエージェントのプログラムにほとんど手を入れずに、ある程度の協調行動を生むことに成功し、チームの実力を(統計的に有意に)強化できた。すなわち、このアーキテクチャが群内省の実現法として優れていることがわかった。

その一方、汎用ライブラリでの処理に要する時間が実時間制約にとって逆にマイナスになることも見られたが、これは実装技術の

向上によって容易に解決するものと考えられる。

(4) マルチエージェントシステム記述言語については従来数多くの研究があるが、エージェントの自律性と、エージェント間の協調の両方を効率よく記述できるものにはまだ研究の余地が残っている。本課題では、そのためのステップとして、自律エージェントの「集団操作」をエージェントプログラムレベルで書ける新しい言語 Yaccai を開発した。下の図のように、Yaccai はエージェント同士のコミュニケーションを集団操作プリミティブの下に隠蔽し、従来のものに比べて簡潔にエージェント間協調を記述できるようにした。従来の言語に比べると、簡単なベンチマーク問題で、約半分の行数でマルチエージェントシステムが書けることを実証した。



RoboCupRescue のような複雑な問題で試す前に、分散協調ゴミ回収問題を取り上げ、簡単なエージェントプログラムを書くだけで、ゴミ回収の効率が 10~20 パーセント上がることを定量的に評価した。RoboCup サッカーのような実時間の問題への適用は今後の課題である。

なお、このほかにもエージェント関係の研究を並行して行なった。これらの成果は分散性約充足問題と分散性約最適化問題のマルチエージェントによる解法に関する成果として発表した。本科学研究補助金によって直接サポートしたものではないが、上記のマルチエージェントの研究と研究室内で有機的な討論の結果生まれたものであり、かつこれらの成果が本研究の遂行に寄与したことは確かである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

(上記のとおり理由により、以下の論文を個々に掲載した。)

飯塚泰樹, 竹内郁雄: 分散制約最適化問題のための高速近似解法の提案と評価, ソフトウェア科学会 (採録) (2009). [査読有]

飯塚泰樹, 鈴木浩之, 竹内郁雄: 分散制約充足問題のための Multi-agent Tabu Search 手法の効果, 信学論(D), Vol. J90-D, No.9, pp. 2302-2313 (2007). [査読有]

〔学会発表〕(計 7 件)

Nguyen Tuan Duc, Ikuo Takeuchi. Abstraction of agent cooperation in agent oriented programming language. 11th Pacific Rim International Conference on Multiagents (PRIMA 2008), Dec. 15-16, 2008. (short paper), ベトナム・ハノイ.

Nguyen Tuan Duc, Ikuo Takeuchi. Collective operations as building blocks for agent cooperation. International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce (IAWTIC08), Dec. 10-12, 2008, オーストラリア・ウィーン..

グエン・トアン・ドック, 竹内郁雄: エージェント指向プログラミングにおける集団操作の応用 (Application of collective operations in agent oriented programming language). 合同エージェントワークショップ & シンポジウム 2008 (JAWS-2008), Oct. 31, 2008, 大津.

飯塚泰樹, 竹内郁雄: 分散制約充足最適化問題のためのメッセージ多重化近似解法, Proceedings of Joint Agent Workshop and Symposium (JAWS 2008), Oct. 29, 2008, 大津.

Nguyen Tuan Duc, Ikuo Takeuchi. 「Yaccai: A multiagent system development framework」. IPSJ/SIGSE ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2008 (SES2008), Sep. 1-3, 2008. (ポスター発表), 東京.

Nguyen Tuan Duc, Hiroki Asakawa, Ikuo Takeuchi: RoboCupRescue 2008 -Rescue Simulation Team Description <YowAI (Japan)>, in RoboCup 2008, July 14-20, 2008, 中国・北京.

飯塚泰樹, 竹内郁雄: 分散制約充足最適化問題のための高速近似解法の提案, Proceedings of Joint Agent Workshop and Symposium (JAWS 2007), Oct. 31, 2007, 沖

縄．

〔その他〕

これまでの慣行に従い，本研究の成果について 140 ページ程度の研究成果報告書を 2009 年 3 月に作成した．請求があれば，お渡しすることができる．

6．研究組織

(1)研究代表者

竹内 郁雄 (TAKEUCHI IKUO)
東京大学・情報理工学系研究科・教授
研究者番号：90293109

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし