

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：50104

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500196

研究課題名(和文) マルチエージェント環境下での群知能を用いた行動獲得における汎化能力に関する研究

研究課題名(英文) A Study for Generalization Capability for Acquiring Actions of Agents using Swarm Intelligence in Multiagent System

研究代表者

笹岡 久行 (SASAOKA, Hisayuki)

旭川工業高等専門学校・電気情報工学科・准教授

研究者番号：30333272

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：群知能の1つであるアントコロニー最適化法(Ant Colony Optimization: ACO) は、実際の蟻の採餌行動にヒントを得た最適化手法である。蟻はフェロモンと呼ばれる化学物質を用いたコミュニケーションを行うことで効率的に経路を発見している。

ACOではフェロモンの散布と蒸発を繰り返すことにより、その濃度によりエージェントの行動決定する。しかし、このACOではフェロモン濃度に基づき確率的に最適解を求めるため、解への収束速度の向上と解の候補の多様性の維持という問題が残されている。そこで、本取組では、この問題の解決を目指し、ACOを用いた協調行動獲得手法の提案を行った。

研究成果の概要(英文)：We have known the effectiveness for an algorithm of Ant Colony Optimization (ACO) and it has applied some applications. Real ants have communicated each other with pheromone materials and they search the shortest path from their colony to the place of foods. Researchers have reported the effectiveness of the algorithm for their applications. However there are some problems to resolve using this algorithm. One of them is a tradeoff problem between a convergence performance and a diversity of candidate for the optimized solution.

Then we have proposed an acquiring method for agents to do co-operation between agents using swarm intelligence. Moreover we have done some evaluation experiments in RoboCup Rescue Simulation System. From the results, we have confirmed the effectiveness of our proposed method.

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：知能情報処理 群知能 アントコロニー最適化手法 マルチエージェントシステム 機械学習 RoboCup

科学研究費助成事業 研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

ロボット及びロボット技術への社会的需要は大きく増しつつある。例えば、安定した労働力確保や安全・安心な社会の実現を目的とし、産業用ロボットの活用は日本に限らず全世界中で散見される。そして、今後、頑健性のあるロボット制御技術の高度化が求められ、知能ロボット制御に関する研究・開発は喫緊の課題となっている。

このような社会的要請から、ロボットを自律的に行動するエージェントと見なし、機械学習を用いた行動獲得手法に関する研究は数多く行われている。これは、エージェントの動作環境では規則の例外となる事象が多いこと等の事由により、予め全ての行動規則を生成し、組込むことが非常に困難なためである。

そこで、機械学習手法を適用し、エージェントの行動規則を獲得することを目指す。その中で、本研究ではメタヒューリスティクスの一つである群知能を利用する。群知能とは、一般に単純な機能しか有しないエージェントの個体群から構成され、各個体はローカル間および環境と対話する。個々のエージェントがどう行動すべきかを命じている集中的な制御構造は通常存在しないが、そのようなエージェント間の局所相互作用はしばしば集合全体として効率的な行動を選択している。これらは、従来の機械学習手法のみでは解決が困難とされてきた問題に対して、その有効性が報告されている。

そして、群知能の一つ手法である **Ant Colony Optimization(ACO)** をマルチエージェント環境下でのエージェントの行動選択処理に適用し、その有効性を確認する。この ACO とは、蟻の採餌行為に対するアナロジーにより提案され、実際の蟻たちがフェロモンと呼ばれる化学物質を媒介としたコミュニケーションを行っていることにヒントを得たアルゴリズムである。

2. 研究の目的

本研究では、マルチエージェント環境下で、機械学習の一手法である群知能を用いたエージェント環境下での協調行動獲得及び試行錯誤により獲得されたものを汎化する手法を確立を目指した。

3. 研究の方法

(1) RoboCup プロジェクトについて

RoboCup プロジェクトは、その中心を担う **RoboCup サッカー** がその始まりであり、「西暦 2050 年までにサッカーの世界チャンピオンチームに勝てる、自律型ロボットのチームを作る」という目標に向かい人工知能分野やロボット工学分野等の研究者が参加しているランドマーク・プロジェクトのことである。

この RoboCup プロジェクトにおける一つの分野として **RoboCup レスキューシミュレーションリーグ** が提案され、マルチエージェント分野の研究の観点から実世界に存在する問題を多く備えた良いテストベッドとなっている。

(2) RoboCup レスキューシミュレーションシステムについて

RoboCup レスキューシミュレーションシステムでは、仮想都市において発生する地震や火災、それに伴う建物の倒壊や道路閉鎖等の大規模災害に関する地理情報とそこで被災している一般市民の情報等をシミュレーションのサーバプログラム群が管理する。一方、その仮想都市における消火活動、道路啓開活動や人命救助活動等を行うエージェントプログラムはそれぞれ自律的に動作する。そして、ビューアプログラムを用いてそれらの状況を視覚化し、ユーザへ提示する。

図 1 にシステムの実行画面を示す。このような動作する各エージェントプログラムは、ビューアプログラムの中では丸印によって表示される。赤色の丸印が消火活動を行うエージェント、青色の丸印が道路啓開活動を行うエージェント、白色の丸印が人命救助活動を行うエージェント、そして、緑色の丸印が市民エージェントを表している。

さらに、火災に対する建物への消火活動の成果や市民に対する救助活動の成果はスコア化され、それによりエージェントを評価する。スコアは下式(1)により計算される。このスコアでは燃焼せずに残った建造物の割合や救助あるいは生存した市民エージェントの人数が集計され、多くの建造物が残った場合や多くの生存者がいる場合はより高いスコアとして反映される。つまり、災害による減災活動を効率的に実施した場合に高いスコアが算出される。

$$\text{score} = a \text{ number of surviving civilian agent} \\ \times \sqrt{\text{rate of building damage}} \dots(1)$$

火災や建造物の倒壊等により被災した市民が存在する。救急活動を行うエージェントはそのような市民を避難所へ移送することにより救助される救助活動を行うことが可能である。これにより、より多くの人命救助を行う。式(1)では燃焼せずに残った建造物の割合や救助あるいは生存した市民エージェントの人数が集計され、多くの建造物が残った場合や多くの生存者がいる場合はより高いスコアとして反映される。つまり、災害による減災活動を効率的に実施した場合に高いスコアが算出される。

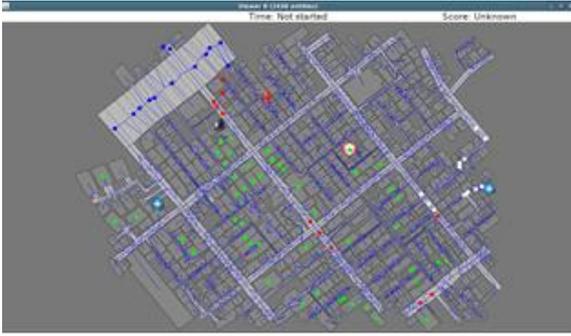


図 1：シミュレーション実行画面
(研究業績・雑誌論文[1]より引用)

(3) エージェントの抱える困難さ

RoboCup レスキューシミュレーションシステムでは、より現実の災害状況を再現するため、各エージェントに、仮想都市の map 上の全ての情報を予め与えられてはいない。各エージェントプログラムは自律的に動作し、そのままでは各々が入手した情報しか知りえないのである。また、上述したような火災や道路封鎖等の災害状況も時々刻々と変化するが、そのままではその変化した情報は各々が取得した情報分しか反映できない。このような制約があるため、各エージェント間で通信を行い、情報共有を行わない限り、各エージェントは効率良く行動することは困難である。

このために、本研究ではエージェントに対して動的に変化する環境に頑健に適用することが可能である ACO を用いる。今回は、エージェントの中で、まず消火活動を行うエージェントに提案手法を適用する。消火活動を行うエージェントでは持ち運ぶことが可能な水量には上限がある。さらに、その水を使い果たした際、給水可能な場所は決められている。しかし、その給水場所を予めエージェントは知らされていない。このため、給水場所への最短経路を探索することは消火活動を効率的に行うことになる。

(4) フェロモン濃度への対応が異なるエージェントが混在する ACO について

ACO では実際の蟻がフェロモンを媒介としたコミュニケーションを行っていることにヒントを得て、フェロモンの散布と蒸発を繰り返すことにより、その濃度によりエージェントの行動決定する。つまり、それ以前に獲得されたフェロモン分布に従い、確率的に最適解を求る。しかし、このように確率的に最適解を求めるといふその性質から解への収束速度と解の候補となるものの多様性の維持は解決すべき問題として検討が継続されている。

一方、生物学的な研究成果から 1 つの蟻の集団には、そのフェロモン分布に忠実に従って行動する謂わゆる「勤勉な蟻」とフェロモ

ン分布にはあまり忠実ではない謂わゆる「怠け者の蟻」が一定割合で含まれていることが報告されている。多様な蟻はそれぞれに役割を担い、それらが混在していることで巣の運営が効率的になされていることが明らかになっている。

生物学の分野におけるこれらの研究成果にヒントを得て、本研究では ACO アルゴリズムにおいてフェロモンに対して異なる対応をとるエージェントを用意し、それらのエージェントを混在させる最適化手法を提案し、その有効性について考察した。蟻はフェロモンと呼ばれる化学物質を用いたコミュニケーションを行うことで効率的に経路を発見している。さらに、実際の蟻の巣には勤勉に働く蟻と勤勉に働いてはいない蟻が一定の割合で混在しており、それらが混在することにより巣を効率的に運営されているということを生物学の研究者は報告している。また、これらの蟻の違いが蟻の持つフェロモン感度の差にあることも研究者らは報告している。そこで、我々はフェロモンへの対応が異なるエージェントが混在する ACO による最適化手法を提案した。

4. 研究成果

(1) 単一種類のエージェントを用いた評価実験

① 実験方法

提案手法の有効性を確認するために表 1 に示す消火活動を行うエージェントを準備した。表 1 に示す「散布されたフェロモン濃度に全く従わずにランダムに行動するエージェント」(Agent A)と「散布されたフェロモン濃度に勤勉に従うエージェント」(Agent C)と「その両者の中間のエージェント」(Agent B)を作成した。

そして、RoboCup プロジェクトにおいて公開されている競技用マップ“Kobe map”(初期スコア 121.0, 消火活動を行うエージェント 11 体)を用いてシミュレーションを実行した。

② 実験結果

本実験の実験結果を表 2 に示す。この結果から、提案手法の有効性を確認した。

表 1 実験に用いた消火用エージェント

Agent A	ランダムに行動するエージェント
Agent B	提案手法(研究業績・雑誌論文[3])を組み込んだエージェント
Agent C	経路選択に関する処理は Agent B と同様に処理するが、フェロモンの散布は各時点の最適経路にしか行わないエージェント

表 2 単一種類のエージェントを用いた
評価実験の結果

Sets of simulation	Team A	Team B	Team C
1st	18.172	17.351	20.326
2nd	16.795	17.509	19.320
3rd	13.521	17.743	18.591
4th	16.521	18.126	21.968
5th	17.950	20.508	18.372
Averages	16.592	18.247	19.715

(2) フェロモンへの対応が異なるエージェントを混在させたチームを用いた
評価実験

①実験方法

次にフェロモンに対して異なる対応を取るエージェントを混在させることの有効性を確認するため、表 1 のエージェントを用い、表 3 に示す通りに構成比率を変えた 7 種類のチームを用意した。また、消火活動を行うエージェントの構成比率以外、他の役割を担うエージェントおよび実験条件、シミュレーション環境は全て予備実験と同一にした。

②実験結果

表 4 に本実験結果を示す。いずれのチームも単一種類のエージェントから構成されるチームよりも優れたスコアであったことを確認し、提案手法の有効性を確認した。特に、Team H のスコアは平均スコアが唯一 21 点を上回る結果となった。

表 3 異なるエージェントを混在させた評価
実験用の各チーム

Team D	Agent A を約 34%, Agent B を約 33%, Agent C を約 33%とした割合から構成される消防隊を有する。
Team E	Agent A を約 50%, Agent B を約 25%, Agent C を約 25%とした割合から構成される消防隊を有する。
Team F	Agent A を約 25%, Agent B を約 50%, Agent C を約 25%とした割合から構成される消防隊を有する。
Team G	Agent A を約 25%, Agent B を約 25%, Agent C を約 50%とした割合から構成される消防隊を有する。
Team H	Agent A と Agent B を約 40%, Agent C を約 20%とした割合から構成される消防隊を有する。
Team I	Agent B と Agent C を約 40%, Agent A を約 20%とした割合から構成される消防隊を有する。
Team J	Agent A と Agent C を約 40%, Agent B を約 20%とした割合から構成される消防隊を有する。

表 4 異なるエージェントを混在させた評価
実験の各チームのスコア

Sets of simulation	Team D	Team E	Team F	Team G
1st	21.163	20.190	17.967	21.163
2nd	17.845	19.787	21.036	17.845
3rd	19.760	18.853	21.612	19.760
4th	19.610	18.634	19.024	19.610
5th	18.663	17.827	18.818	18.663
Averages	19.408	19.058	19.691	19.408

Sets of simulation	Team H	Team I	Team J
1st	21.161	20.833	16.418
2nd	22.308	19.505	16.429
3rd	20.850	18.743	16.419
4th	22.391	18.126	16.869
5th	22.936	20.508	21.128
Averages	21.929	18.247	17.453

(3) 考察

①異種エージェント間の協調行動

本実験における map には給水ができる場所の周辺に大きな道路閉塞があった。そのため、提案手法を組み込んだエージェント同士が協調行動を行なっても、動を行なっても、道路を通行することが不可能であった。これは、シミュレーションビューアのスクリーンキャプチャ画像のように俯瞰的に観察すると、各エージェントがより円滑に活動するためには、このような道路閉塞を最初に修繕し、エージェントの渋滞を解消する必要があると考えることは可能である。

RoboCup レスキューエージェントシステムには今回提案手法を適用した消防活動を行うエージェントの他に 2 種類(救急エージェントや道路啓開エージェント)のエージェントが動作している。本研究では、異なる種類の役割を担うエージェント間でのフェロモンコミュニケーションは適用してはいない。しかし、今後は、異なる役割を担うエージェント間での通信が必要であると考察される。

②フェロモン分布の統計的な検証

本報告書において述べた実験結果あるいは研究成果(学術論文[1]~[3])において示したように RoboCup レスキューシミュレーションシステムにおいて算出されたスコアにおいてエージェントの行動の有効性は確認した。

しかし、エージェントが散布したフェロモンについて、より大規模なデータを集積し、そこからフェロモン分布に関する詳細な分析を行うには至っていない。今後、その検討を進めることにより効率的な最適化手法に関する検討を行う必要がある。

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 6 件)

[1] 笹岡久行: RoboCup Rescue Simulation System 環境下での異なるフェロモンコミュニケーション処理を行うエージェントが混在する Ant Colony Optimization の有効性, 日本知能情報フuzzy学会論文誌「知能と情報」, 査読有, vol.26, No.3, (印刷中),(2014).

[2]Hisayuki Sasaoka: Introduction for Hetero Snsitivity of Pheromone with Ant Colony Optimization, Proc. of International Conference on Agents and Artificial Intelligence 2014, 査読有, pp. 305 - 310 ,(2014).

[3] Hisayuki Sasaoka: Evaluation for Acquiring Method for Agents' Actions using Pheromone Communication in Multi-Agent System, J. of Machine Learning and Computing, IACSIT Press, vol.3, No.1, pp.103-106,(2013).

他 3 編

[学会発表] (計 21 件)

[1]笹岡久行: マルチエージェントシステム環境下における群知能を用いた協調行動獲得手法の評価, 第 76 回情報処理学会全国大会,2014年3月10日~13日,東京電機大学(東京).

[2]Hisayuki Sasaoka: Effectiveness of Agents' Communication using Pheromone in RoboCup Rescue Simulation System, RoboCup 2013, ポスター発表, 2013年6月24日~7月1日,アイントホーフェン (オランダ).

[3]笹岡久行: メタヒューリスティックスを用いた減災のためのエージェント間の協調行動決定手法に関する研究とそれらを用いた教育活動, ロボカップ JapanOpen 2013 特別企画『ロボカップと震災』, ポスター発表, 2013年5月4日~6日, 玉川大学(東京).

他 18 編

[その他]

ホームページ等

該当ありません.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笹岡 久行 (SASAOKA, Hisayuki)

旭川工業高等専門学校・電気情報工学科・
准教授

研究者番号 : 30333272

(2) 研究分担者

該当ありません.

(3) 連携研究者

該当ありません.