

平成21年6月16日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19700227
 研究課題名（和文） 進化的フェロモン・コミュニケーションの
 大規模実問題と群ロボットへの応用
 研究課題名（英文） Applying virtual pheromone communication to
 large-scale problems and swarm robotics
 研究代表者
 中道 義之 (NAKAMICHI YOSHIYUKI)
 阿南工業高等専門学校・制御情報工学科・助教
 研究者番号：40435467

研究成果の概要：近年、群知能の研究が盛んになってきており蟻のフェロモン・コミュニケーションに関しても、メカニズムの探求やその工学的応用が試みられている。本研究は、蟻のフェロモン・コミュニケーションのメカニズムを様々な実問題の解決に利用するための知見を得ることを目的としており、具体的な目的として、(1)二人零和有限確定完全情報ゲームへの応用と(2)群ロボットの行動制御への応用を目指している。研究の結果、(1)については勝敗をフェロモン情報として蓄積・利用することで、より強いゲームプレイヤーの獲得が可能でありうることを示唆され、(2)については群ロボット環境におけるフェロモン・コミュニケーションが有効に働きうる条件に関する知見を得た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	0	1,400,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	390,000	3,090,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：フェロモン・コミュニケーション、群知能、群ロボット

1. 研究開始当初の背景

(1) 蟻は、女王蟻や働き蟻がそれぞれの役割を分担し、局所的・分散的な情報に基づいて相互作用し、自分のなすべきことを自律的に決定しているのにもかかわらず、群全体としてはあたかも最適な行動がわかっているかのように振る舞う（群知能が実現されている）。蟻の群知能の創発現象において中心的な役割を果たしているのがフェロモン・コミュニケーションである。これはフェロモンと呼ばれる化学物質を分泌・知覚することによって行

われる間接的なコミュニケーションのことである。

(2) 近年、群知能の研究が盛んになってきており、フェロモン・コミュニケーションに関しても、メカニズムの探求やその工学的応用が試みられている。これらの研究はさらなる発展の余地がある。例えば、組み合わせ最適化問題の解法への応用である Ant Colony Optimization (ACO) に関しては、大規模な実問題や組み合わせ最適化問題以外への応用が

ある。他にも、フェロモン・コミュニケーションの進化シミュレーションについては、群ロボットなどの実システムへの応用である。

2. 研究の目的

本研究の目的はフェロモン・コミュニケーションのメカニズムに進化を導入し、「様々な実問題の解決に役立つための方法論」を確立することである。具体的な研究目標は以下の2つである。

目的(1) Ant Colony Optimization の二人零和有限確定完全情報ゲームへの応用：Ant Colony Optimization (ACO) は、蟻がフェロモンを使ってコミュニケーションすることによって巣と餌場の間を最短距離でつなぐという現象からヒントを得た探索アルゴリズムである。ACO は巡回セールスマン問題といった組み合わせ組み合わせ最適化問題を解くためのアルゴリズムと位置付けられる本研究では ACO を大規模な二人零和有限確定完全情報ゲームへ応用することを目的とする。具体的なゲームとしては将棋を対象とする。

目的(2) 群ロボットに自律的に協調動作を行わせるということは非常に難しい。このため、様々なアプローチが試みられてきた。近年、社会性昆虫が行う協調活動を応用するという事に注目が集まっているが、蟻のフェロモン・コミュニケーションの概念を実ロボットに適用した例はほとんど無い。これは、フェロモンの持つ特性（滞留性・拡散性）を実世界で扱うのが困難であるからと考えられる。本研究では電磁誘導方式液晶タブレットと小型ロボットを用いて、実世界でフェロモン・コミュニケーションを行うロボットの実現を目指す。

3. 研究の方法

(1) 目的(1)に関して、「勝敗に関するフェロモン・データベースと探索システム」を構築する。これは将棋の指し手と勝敗の関係を格納したデータベースである。既存の棋譜・定跡等の情報から指し手と勝敗の関係を抽出し、フェロモンの濃度として格納する。また、このフェロモン情報を利用するプレイヤーを作成する。このプレイヤーはフェロモン情報を読み取り、勝率が高い手を選択する。このプレイヤー同士の対戦結果をフェロモン・データベースに登録する。以上を繰り返すことにより、フェロモン・データベースの内容が充実し、より適切な指し手が得られると考えられる(図1)。また、フェロモン情報を蒸発・拡散の概念に対応するアルゴリズムで修正を加えることにより、適切な指し手の生成を行う。本システム構築後、蒸発と拡散に関する

アルゴリズムのバリエーションを実験によって評価し、二人零和有限確定完全情報ゲームにおけるフェロモン・コミュニケーションの構成方法に関して詳細に検討する。

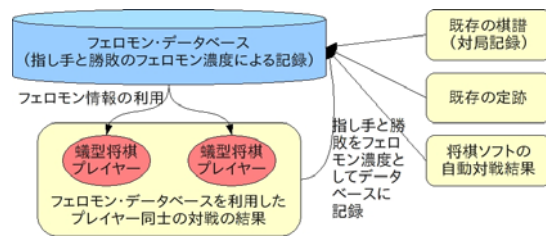


図 1：フェロモンデータベースを利用した将棋プレイヤーの強化の概念

(2) 目的(2)に関して、「フェロモン・コミュニケーションに基づいた群ロボットシステム」を構築する。本システムは小型移動ロボット一式、電磁誘導方式液晶タブレット、フェロモン表示制御用 PC から構成される。小型移動ロボットは液晶タブレットの上に配置される(図2)。

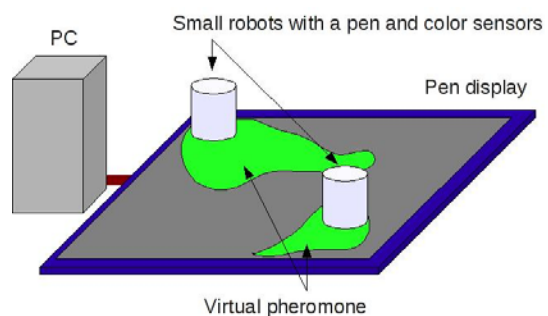


図 2：フェロモン・コミュニケーションに基づいた群ロボットシステムの概念

小型ロボットと液晶タブレットの間に、フェロモンの分泌・検知という相互作用を設定する。この実現のために、小型ロボットに液晶タブレットへの入力機構（液晶タブレット付属のペン）と液晶タブレットからの情報を受け取る光センサを装着する。フェロモン情報制御用 PC は、液晶タブレットへの入力を読み取りそれを蓄積し、フェロモンの情報として表示するプログラムを走らせる。本システムを用い、フェロモン群ロボットにおけるフェロモン・コミュニケーションの適応性に関する実験を行う。採餌行動タスクを対象として各種設定（フェロモンの蒸発率、拡散率、誘引 or 忌避、台数等）を変化させて実験を行い、結果を詳細に分析する。

4. 研究成果

(1) 目的(1)に関して「勝敗に関するフェロモン・データベースと探索システム」を構築し、それを利用した将棋ソフトを開発した。フェロモン・データベースの効果を調査するため、ベースとなるプレイヤーに対して、フェロモン・データベースを利用するプレイヤーと利用しないプレイヤーをそれぞれ対戦させる実験を行った。実験の結果、フェロモン・データベースを利用するプレイヤーの勝率が利用しない場合に比べて2%上昇し、ある一定の効果があることが確かめられた。しかしながら、探索に時間がかかるといった問題点も確認された。

(2) 目的(2)に関して、「フェロモン・コミュニケーションに基づいた群ロボットシステム」を構築した。具体的には、e-Puck ロボットにカラーセンサとタブレットペンを接続するための拡張ボードを作成し、そのドライバソフトを開発した(図2)。また、タブレット上でフェロモン・コミュニケーションが可能になる各種条件(フェロモン・巣・餌を表現する色、ロボットの移動速度、ロボットの移動アルゴリズム等)を調査した。

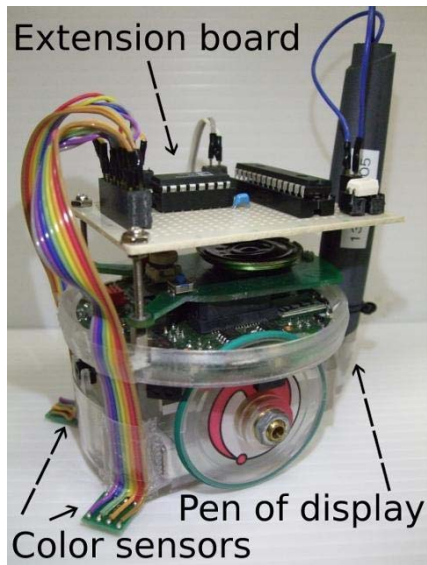
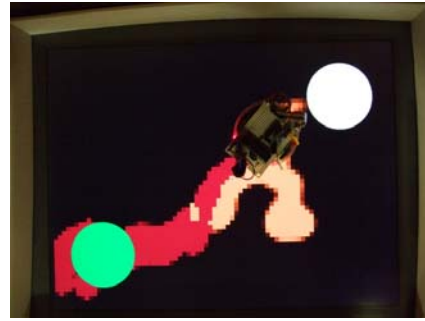
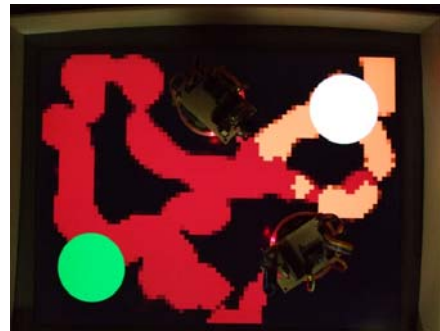


図2：開発したフェロモン・コミュニケーションが可能なロボット

(3) 目的(2)に関して、構築した群ロボットシステムを用いて蟻の採餌行動を模した実験を行い、フェロモン・コミュニケーションの効果について検討した。具体的には台数とフェロモン利用の有無について条件を変え、採餌の効率を調査した(図3)。



(a) 1台の場合



(b) 2台の場合

図3：採餌行動模倣実験の様子

この結果(表1)、フェロモンの蒸発率・拡散率が適切な場合には、台数にかかわらずフェロモンを使わない場合より、使う場合のほうが採餌行動を効率よく行えることがわかった(フェロモン・コミュニケーションの有効性が示された)。しかしながら、台数が多い場合には、ロボット同士の衝突が起きやすくなる等が原因で、フェロモン・コミュニケーションが必ずしも有効に働かないことがあることがわかった。

表1：15分・1台当たりの巣-餌間の往復数

台数	フェロモン有	フェロモン無
1	25.0	10.0
2	16.5	11.5

フェロモン・コミュニケーションの進化においては、フェロモンの蒸発率・拡散率を減少させるといった、一見、フェロモン・コミュニケーションの有効性を下げるような進化が適応的である可能性が示唆された。

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1件)

- ① Naoyuki Kitamura, Yoshiyuki Nakamichi, Koji Fukuda, Development of a Desktop Swarm Robot System based on Pheromone Communication, Artificial Life and Robotics, Vol. 14, 2009(掲載決定), 査読有

〔学会発表〕(計3件)

- ① 中道義之, 福田耕治, 福見淳二, 岩佐健司: フェロモン・コミュニケーションに基づいた小型ロボットの開発, 第51回システム制御情報学会研究発表講演会論文集(CD-ROM), 2007, 査読無
- ② Naoyuki Kitamura, Yoshiyuki Nakamichi, Koji Fukuda, Development of a Desktop Swarm Robot System based on Pheromone Communication, 14th International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2009, 査読無
- ③ 中道義之, フェロモン・コミュニケーションの理解と工学的応用, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム2009, 2009, 査読無(招待講演)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中道 義之 (NAKAMICHI YOSHIYUKI)

阿南工業高等専門学校・制御情報工学科・助教

研究者番号: 40435467