

学位論文題名

Design Method of Pheromone Style Communication
for Coordinated Agents Systems(協調的エージェントシステムの為の
フェロモン型コミュニケーションの設計法)

学位論文内容の要旨

本学位論文では分散型問題解決システムとしてのマルチエージェントシステムに着目している。マルチエージェントシステムでは与えられたタスクを解決すべく、多数のエージェントと呼ばれる行動主体が自律的・適応的に行動(動作)を行う。各エージェントはボトムアップ的な設計によってデザインされ、単に個々の和ではなく創発された組織的振る舞いによって問題を解決することが期待される。そこでは各エージェントが相互に柔軟なコミュニケーションをとりながら自律的に判断し、行動を行うことが必然的に必要である。しかし一般にそのようなシステムを設計するのは困難である。

そこで本論文では、柔軟なコミュニケーションによる組織行動に基づくシステムの例として、生物のアリのコロニーに着目する。アリは社会性昆虫と呼ばれ、個々は単純な行動パターンに従うが、群になると驚くべき能力を持つことが知られている。そこでは、生きていくために必要な多数のタスクをこなすために適応的・自律的にアリの労働力が配分され、それぞれが役割分担しながら柔軟な組織をつくっている。従ってアリのコロニーは究極的にマルチエージェントシステムが目指すべきシステムの良い手本であり、そのアナロジーはマルチエージェントシステムデザインにとって有効である。

アリのコロニーでは高い組織力を示すために様々なコミュニケーションが行われているが、そのなかでも特に重要な鍵を握っているのが化学物質(フェロモン)によるコミュニケーション(フェロモンコミュニケーション)である。フェロモンコミュニケーションにおいては、フェロモンがある明確な意味を持つと同時に、群の集合行為によって環境中に生成されるフェロモン場が集合行為を反映し、各個が群全体の振る舞いを知覚することなく、群全体の振る舞いから影響を受けることが可能であるという特徴がある。これは従来のマルチエージェントシステムのコミュニケーション手法には見られない特徴であり、このアナロジーを用いてコミュニケーションを設計することは有効である。

そこで、環境中のフェロモンをベクトル場として捉え、フェロモン型コミュニケーションに基づくエージェントを入出力システムとして以下のように定義する。

$$A = \langle u, v, x, y, z, f, g, h \rangle$$

u : 環境入力, v : フェロモン入力ベクトル, x : 内部状態

y : 環境出力, z : フェロモン出力ベクトル

$$x(t+1) = f(x(t), u(t), v(t)), \quad y(t+1) = g(x(t), u(t), v(t)), \quad z(t+1) = h(x(t), u(t), v(t))$$

更に時刻 t における i 番目のエージェントのフェロモン入出力ベクトルを $v_i(t), z_i(t)$ とすると、フェロモン場は以下のように定義できる。

$$P = \langle v, X, z, F \rangle$$

X : フェロモン場の内部状態ベクトル

$$X(t+1) = F(X(t)) + \sum_i z_i(t), \quad v_i(t+1) = X(t)$$

ただし $|X| = |z_i| = |v_i|$ であるとする。本論文では一貫してこの定義に従ってフェロモン型コミュニケーションの設計を行っている。

従って、本論文はマルチエージェントシステムにおけるフェロモン型コミュニケーションの設計法に関するものである。特に提案した設計法に基づく実問題への適用例として、いくつかの組み合わせ最適化問題を解くマルチエージェントシステムを開発し、数値実験を通してその有効性を確認している。更に、フェロモン型コミュニケーションと遺伝的アルゴリズムを組み合わせたマルチエージェントシステムを提案している。そこでは設計者が詳細な設計を行わなくても、エージェント群が自律的に合目的なフェロモン型コミュニケーションを獲得することが可能であることが確認されている。これらの結果から本論文のフェロモン型コミュニケーションの設計法に基づくマルチエージェントシステムが有効であることが示されている。本論文の各章の内容は以下のように要約できる。

第 1 章は、本研究の研究背景として生物のアリのコロニーとマルチエージェントシステムについて対比を行いながら、フェロモン型コミュニケーションに基づくマルチエージェントシステムの設計法について述べている。また、これらのコンセプトに基づき従来の研究を概観している。

第 2 章では、本研究の出発点としてフェロモン型コミュニケーションを用いたマルチエージェントシステムの一つである Coloni 等による Ant Algorithm に着目している。Ant Algorithm は巡回セールスマン問題の近似的解法の一つとして提案されているが、その欠点としてアルゴリズムの性格上探索の多様性が低く、また探索が行われる探索空間に偏りがある傾向がある。そこでこの章ではこれらの欠点を克服するために、Ant Algorithm に複数のコロニーの概念を導入し、フェロモン型コミュニケーションに基づくコロニー間の相互作用を用いた Multiple Ant Colonies Algorithm を提案している。また、計算機実験によって本提案が Ant Algorithm より優れていることを示している。

第 3 章では、分散型問題解決の例として一般に巡回セールスマン問題よりも解くのが困難であるとされる配送経路問題を取り上げ、複数のエージェントによる分散型協調問題解決アルゴリズムを提案している。特に各エージェントが分散的に動作を行うため、どのように動作に整合性を持たせ、協調的に問題解決を行うかは非常に困難な問題である。そこで本章ではエージェント間のコミュニケーションとして、分散型協調問題解決のためのフェロモン型コミュニケーションの設計を行い、計算機実験によってその有効性を確認している。

第 4 章では、マルチエージェントシステムにおけるフェロモン型コミュニケーションの自律的な獲得に関する研究について述べている。ここでは適応的なエージェントの資源配分、動的環境に対する適応性、限られた環境情報からのプランニング等の困難な状況を含む問題として Ants War というエージェント群の間で行われる競争を提案している。この問題においてニューラルネットワークを用いてエージェントを設計し、更に遺伝的アルゴリズムを適用することによってコミュニケーションの進化的獲得が可能なモデルを提案している。また、計算機実験において本手法からコミュニケーションの自発的発現が可能であることを示している。

第 5 章では、本学位論文の結論について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 内 東
副 査 教 授 宮 本 衛 市
副 査 教 授 嘉 数 侑 昇
副 査 教 授 和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

Design Method of Pheromone Style Communication for Coordinated Agents Systems

(協調的エージェントシステムの為の
フェロモン型コミュニケーションの設計法)

本学位論文では分散型問題解決システムとしてのマルチエージェントシステムに着目している。マルチエージェントシステムでは与えられたタスクを解決すべく、多数のエージェントと呼ばれる行動主体が自律的・適応的に行動（動作）を行う。そこでは単に個々の和ではなく創発された組織的振る舞いによって問題を解決することが期待され、各エージェントが相互に柔軟なコミュニケーションをとりながら自律的に判断し、行動を行うことが必要である。

本論文では、柔軟なコミュニケーションによる協調行動に基づくシステムの例として、生物のアリのコロニーに着目している。アリは個々は単純な行動パターンに従うが、群になると驚くべき能力を持つことが知られている。そこでは、それぞれが役割分担しながら柔軟な組織をつくり、様々なタスクを行っている。従ってアリのアナロジーはマルチエージェントシステムデザインにとって有効である。

アリの協調行動で重要な鍵を握っているのが化学物質（フェロモン）によるコミュニケーションである。フェロモンコミュニケーションにおいては、フェロモンがある明確な意味を持つと同時に、群の集合行為によって環境中に生成されるフェロモン場が集合行為を反映し、各個が群全体の振る舞いを知覚することなく、群全体の振る舞いから影響を受けることが可能であるという特徴がある。これは従来のマルチエージェントシステムのコミュニケーション手法には見られない特徴であり、このアナロジーを用いてコミュニケーションを設計することは有効である。

本論文の各章の内容は以下のように要約できる。

第 1 章は、生物のアリのコロニーとマルチエージェントシステムについて対比を行いながら、エージェント環境中のフェロモンをベクトル場として定義し、フェロモン型コミュニケーションに基づくエージェントを入出力システムとして定義している。また、その定義に従ってフェロモン型コミュニケーションに基づくマルチエージェントシステムの設計法について述べている。更に、関連研究を概観している。

第 2 章ではフェロモン型コミュニケーションを用いたマルチエージェントシステムの一つである Coloni 等による Ant Algorithm に着目し、そのアルゴリズムの欠点を克服するために、複数のコロニーの概念を導入し、フェロモン型コミュニケーションに基づくコロニー間の相互作用を用いた Multiple Ant Colonies Algorithm を提案している。また、計算機実験によって本提案がより優れていることを示している。

第 3 章では、複数のエージェントによる分散型協調問題解決アルゴリズムを提案し、配送経路問題に適用している。特に各エージェントが分散的に動作を行うため、どのように協調的に問題解決を行うかは困難な問題である。そこで本章では分散型協調問題解決のためのフェロモン型コミュニケーションの設計を行い、計算機実験によってその有効性を確認している。

第 4 章では、マルチエージェントシステムにおけるフェロモン型コミュニケーションの自律的な獲得に関する研究について述べている。ここでは適応的なエージェントの資源配分、動的環境に対する適応性、限られた環境情報からのプランニング等の困難な状況を含む問題として Ants War というエージェント群の間で行われる競争を提案している。この問題においてニューラルネットワークを用いてエージェントを設計し、更に遺伝的アルゴリズムを適用することによってコミュニケーションの進化的獲得が可能なモデルを提案している。また、計算機実験において本手法からコミュニケーションの自発的発現が可能であることを示している。

第 5 章では、本学位論文の結論について述べている。

これを要するに、著者はフェロモン型コミュニケーションに基づくマルチエージェントシステムの設計法を提案し、その有効性を明らかにすることで、マルチエージェントシステムに関する研究において新知見を得たものであり、システム情報工学、及び複雑系工学の進歩に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。