

## 審査の結果の要旨

氏名 中村 真理

本論文では、自律分散系における搬送の効率化を目指し、蟻コロニーを対象としたモデル化、個体状態の分化および集団の分業を効率的に行う設計手法が提案され、その有効性がシミュレーションによって検証されている。

従来、多様なタスクを状況に応じて柔軟に処理するために、多数の自律エージェントが協調して動作する自律分散系が開発されてきた。自律分散系においては競合・干渉・デッドロックの発生を回避する協調手法の開発が必要とされている。従来の協調手法には、1) 少数個体間で個体識別しながら柔軟にタスクを割り当て、効率的且つ精緻な連携作業を行なう方法、2) 多数の個体間で環境を介した間接通信を行ない、効率性を重視せずに協調作業を組織化する方法、の二通りがある。そこで本論文では、多数個体からなる自律分散系の効率的な協調手法の開発を目指した。その際に自律分散系の搬送問題が重要であると考え、その例題として蟻コロニーに見られる各種搬送タスクを取り上げた。更に本論文の目的を「生物の機能、特に蟻のフェロモン通信を参考にした自律分散系における効率の良いタスク割当手法の構築」とした。

本論文では従来の蟻コロニーモデルで扱えなかった「空間構造形成+作業分担調整+タスク割当」の三点を同時に取り扱うことにより、効率的な自律分散系をタスクに応じて柔軟に設計する方法を開発した。その概略は以下の通り。

- 個体がフェロモン通信しながら移動すると空間構造が生成される。個体は空間構造と内部情報に応じて状態分化するので、各状態の個体に搬送タスク遂行に必要な移動動作を割り当てて **if then rule** を設定した。
- 次に複数の **if then rule** を組み合わせて個体の行動則を構築し、決定的な有限オートマトンの状態遷移グラフとして行動則を書き表した。
- 適切なタスク割当の実現には、空間構造への動作割当だけでは不十分で、個体の空間分布を調整して系全体の作業分担を調整する必要がある。そこでこの系の数値実験結果を元に、「作業分担の調整」や「作業効率の向上」に必要なルールを追加して、構成論的に行動則を構築した。

以上の手順に従い「拡散信号源への接近」と「信号感受性の低減（信号不応期）」を行動則に組み込んで、作業効率の良いシステムを構築する方法を開発した。また、上記の方法を用いて具体的に蟻の各種搬送問題をモデル化し、効率の良いシステムを設計した。

第1章では本研究の背景や目的を述べている。

第2章ではモデル化の方法を具体的に述べている。

第3章では上記の方法を用いて蟻の採餌タスクをモデル化している。トレイル・誘引・不応期モデルを設計した。「拡散信号源への接近と信号不応期」を組み込んだ不応期モデルは作業分担を調整するため、広範な給餌条件で最も高い作業効率を示した。これより不応期モデルの有効性を示した。

第4章では進化計算を用いて採餌タスクモデルの自動設計を行なっている。上記の方法を進化計算へと拡張し、三章で設定したルール群を再利用してルール間の優先順位を最適にするよう自動設計した。進化計算の数値実験の結果、1) 得られた4種の採餌戦略のうち採餌効率の上位3つをとるモデルが三章のトレイル・誘引・不応期モデルと相同（同様の振舞を示し、よく似た作業分担を示す）となること、2) 準最適解は不応期モデルに相同となること、の二点を確認した。これにより三章で提案したルールの優先順位が妥当であると評価した。

第5章では、ターゲットが集中または分散した搬送の例として採餌とゴミ塚形成タスクを取り上げ、提案したモデルの評価を行っている。「拡散信号源への誘引動作+信号不応期」を組み込んで両タスクをモデル化し、更に上記の方法を用いてこれらのモデルを組み合わせることで両タスク間の分業をモデル化した。「蟻が両タスクの信号に反応する」単純分業モデルでは採餌タスクの影響でゴミ塚の分散が妨げられたが、「蟻が不応期を利用してタスクを切り替える」分業切替モデルでは両タスクの作業効率の向上を確認した。

第6章では「二種類のオブジェクト多数を種類毎に一つのクラスターに積み分ける」集荷タスクを取り上げ、提案した手法の有効性を検証している。集荷タスクで一般的なDeneubourgのAnt-like robotモデルに、上記の方法を用いて「拡散信号源への誘引動作+信号不応期」を組み込んで、新たに信号拡散モデルを構築した。これにより後者の優位性を実証して上記の方法の有効性を示した。

第7章は本論文の結論である。本論文では蟻のフェロモン通信を参考にして自律分散系で効率的にタスクを割り当てる手法を開発し、「拡散信号源への誘引動作+信号不応期の拡散動作」を蟻の各種搬送モデルに組み込んで作業効率の向上を確認した。

以上から、本論文では、自律分散系のモデル化および有効な設計手法が提案されており、自律分散系における搬送の効率化など、その内容の工学的寄与度は大きいものと判断する。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。