

論文の内容の要旨

論文題目 Evolution of Coordination and Communication
 in Groups of Embodied Agents
 (身体化されたエージェントのグループにおける
 連携とコミュニケーションの進化)

氏 名 オラフ ヒヤーン ヴィトコフスキ

Abstract

From biological cells to bee swarms and bird flocks, nature shows countless examples of self-organized groups displaying a collective mind.

In such species, individuals interacting together end up producing an emergent behavior that increases their chances of survival and reproduction.

This thesis shows an exploration of the evolution of communication through coordinated behaviors in populations of embodied agents. The goal is to reach a better understanding of nature's conditions for the evolution and strategies for the maintenance of collective behaviors.

For that purpose, we present a framework making use of agent-based modeling to study the parallel evolution of coordination, cooperation and communication, for different types of interactions and levels of complexity. Through computer simulations, we test hypotheses on the conditions leading to synergistic behaviors and the evolution of honest communication.

We first show signal-based swarming, in a population where the information exchanged between agents via signaling is able to form temporary leader-follower relationships, allowing them to flock together. Next, the emergence of static clusters of agents is investigated in the case of a dynamic variant of the spatial prisoner's dilemma, in which multistable strategies exhibit formation and destruction of cooperative nuclei. After that, we study the adaptation of social

coordination in dynamic environments. By the use of agent-based models, we show the evolutionary stability of cooperation, expressed as behaviors ranging from migration to specific resource-saving strategies. Finally, we develop a model of genetic and cultural evolution, implementing the niche-construction of language, where the biological selection on the genes is repeatedly masked, then unmasked by cultural evolution. These results show how simple agents can reach higher-order computational capabilities through the evolution of collective behavior. By self-organizing in collaborative groups, individuals are able to overcome local errors and fluctuations in the environment, allowing them to exploit more efficiently the information present in the environment to reach higher performance and thus fitness.

This study is significant for both scientific and technological reasons. Indeed, on the one hand, it contributes to shed light on the evolution of coordination and communication. On the other hand, a better understanding of the fundamental principles of collective behavior may also lead to innovative methods in multi-agents systems, ubiquitous computing devices and swarm computation.

論文要旨

自然界における集団 — 例えば、細胞の集まり、ハチや鳥の群れなど — には、集合的な知性を示す例が数多く見られる。このような集団では、個体が相互作用することによって、生存・生殖の可能性を高めるような現象が創発している。本博士論文は、身体を持つエージェントの集団における、連携とコミュニケーションの進化について論じ、集団運動の進化と維持を可能にする基礎理論を明らかにするものである。この目的を達成するために我々が提示するのは、様々な相互作用の仕方・複雑性を持つエージェントを用いた枠組みである。この枠組において、局所的なコミュニケーションおよび協調行動と、大域的な連携行動が並列して進化する様子を調べる。具体的には、コンピュータ上でのシミュレーションを通して、効果的なコミュニケーションと連携行動を可能とする条件について論じる。

まず初めに我々は、個体同士が通信し合う群のモデルを提示する。このモデルでは、個体が情報を伝え合い、リーダーと追従者の関係を形成することで、一つの群が形成される。次に、安定した群が創発する現象について、囚人のジレンマゲームを空間的に拡張

したモデルを用いて調べた。この系は多重安定であり、群の形成・解体が繰り返し見られた。更に、社会的な連携行動が創発する条件について調べ、群全体の移動から、資源節約のための戦略まで、幅広い種類の連携行動が進化的に安定であることを示す。最後に、言語的ニッチが形成されるような、遺伝子と文化の共進化モデルを作成した。ここでは、遺伝子に対する自然淘汰が、文化進化によって抑制・促進される現象が繰り返し観察された。以上の実験結果から、集団運動の進化によって、単純な個体でさえも高次の計算能力を獲得しうる可以说える。自己組織的に群を形成することによって、個体は局所的なエラーやゆらぎを克服し、効率よく環境から情報を利用し、高い適応度を示すことが可能である。

本博士論文は、連携行動とコミュニケーションの進化を論じた点で科学的に意義深いものであり、一方、生物学的な基礎理論を理解することによって、マルチエージェントシステム、ユビキタスコンピューティング、スウォームコンピューテーションの諸分野に対し、技術的な面での応用も期待される。