

生物に着想を得た新世代ネットワーク制御

Bio-inspired Networking Technologies for New Generation Networks

若宮直紀

Naoki Wakamiya

大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

1 はじめに

大規模化、複雑化する情報ネットワークが重要な社会インフラとして今後も機能し続けるためには、従来よりも高い拡張性、適応性、頑健性を有するネットワーク技術が必要不可欠である。そのようなネットワーク技術を実現するための新しい設計原理として「自己組織化」が注目されており、生物学、物理学、社会科学などの学術分野における自己組織化現象に関する知見を活用した、学際的な研究が行われている。特に、群知能などの生物の自己組織的な振る舞いに着想を得た自己組織型ネットワーク制御について、様々な研究が活発に行われており [1, 2, 3]、その有効性が、数値解析、シミュレーションや実機実験によって検証されている。本チュートリアル講演では、それらの取り組みの一部を紹介するとともに、生物に着想を得た情報通信技術の今後の展望を述べる。

2 生物に着想を得たネットワーク制御

最大の性能を発揮できるように（階層化された）集中管理型アーキテクチャや、大域的あるいは広域な情報をノード間で共有する分散型最適化アルゴリズムを採用した従来型のネットワーク制御は、通信量や計算量などの管理オーバーヘッドの観点から、規模の拡大や動作環境の時間変動に対して脆弱であり、拡張性、適応性が十分ではない。また、自律分散型制御であっても、あらかじめ動作条件を規定し、その範囲で最適動作するように様々なルールを組み込むため、ネットワークシステムの複雑化にともなって状態爆発を起こすだけでなく、想定外の事象が発生すると極端な性能低下や動作停止が発生する。

一方、自己組織型の制御においては、局所的な情報を利用した単純なルールに基づいて動作する要素（ノードなど）が相互作用することによって、システム全体としてより高度で望ましい振る舞い（機能や制御）が創発される。そのため、情報管理のためのオーバーヘッドが小さく、また、複雑な動作ルールがなくとも状態変化の規模に応じた適応的な挙動が発現する。したがって、自己組織化原理にもとづいてネットワークを設計、制御することにより、より高い拡張性、適応性、頑健性を獲得できると考えられる。

生物の振る舞いに着想を得たネットワーク制御としては、古くはアリの採餌行動の仕組みを電話網の経路制御に応用した ABC などが知られており、近年では、蛍の発光同期の仕組みを応用したスケジューリング制御、体表の模様形成の仕組みを応用した無線ネットワーク通信制御、社会性昆虫の群れにおける役割分担の仕組みを応

用したコンテンツ配置やタスク割り当て、環境に適応的な代謝反応の仕組みを応用した経路制御やスケジューリングなどの制御技術が数多く提案されている。これらの研究においては、単に生物の振る舞いを模倣するのではなく、パルス結合振動子モデル、反応拡散モデル、アトラクタ選択モデルなどにより生物を非線形システムとしてモデル化し、数理モデルをネットワーク制御に応用するというアプローチがとられている。このことにより、自己組織化するためのパラメータ領域や、制御の適応性、収束性などを理論的に議論することができる。

生物の振る舞いに着想を得たネットワーク制御については、手法ごとに、従来の手法と比較して性能、拡張性、適応性などの観点で優れることが示されている。しかしながら、これらは個別の技術課題に対する取り組みに過ぎない。すなわち、新世代ネットワークにおける課題と生物モデルの有効な組合せや、また、複数の制御が組み合わせられた際の特性や適切な組み合わせ方についてはほとんど知見が得られていないのが現状である。したがって、生物に着想を得ることによって高い拡張性、適応性、頑健性を有する新世代ネットワークを実現するためには、生物モデルとネットワーク制御をその基本原理や特性によって対応づけるための分類学や、機能的階層および構造的階層を有する自己組織型ネットワークの設計論の確立が必要不可欠である。

3 おわりに

本講演では、従来よりも高い拡張性、適応性、頑健性を有する新世代ネットワークを実現するための、生物に着想を得た自己組織的なネットワーク制御について、個別の制御技術を紹介し、さらに、この分野を一つの学術領域として確立するための今後の課題について述べる。

参考文献

- [1] K.L. Mills, "A brief survey of self-organization in wireless sensor networks," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol.7, pp.823-834, May 2007.
- [2] F. Dressler and O.B. Akanb, "A survey on bio-inspired networking," *Computer Networks*, vol.54, no.6, pp.881-900, 2010.
- [3] M. Meisel, V. Pappasb, and L. Zhang, "A taxonomy of biologically inspired research in computer networking," *Computer Networks*, vol.54, no.6, pp.901-916, 2010.