

アルゴリズム推移ネットワーク – 人工化学と情報通信工学の融合による新しい計算モデル

Algorithmically Transitive Network: A New Computing Model That Combines Artificial Chemistry and Information-Communication Engineering

鈴木秀明*¹

Hideaki Suzuki

大崎博之*²

Hiroyuki Ohsaki

澤井秀文*¹

Hidefumi Sawai

*¹情報通信研究機構

National Institute of Information and Communications Technology

*²大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

A novel non-von Neumann computational model named “Algorithmically Transitive Network” (ATN) was devised by combining two research approaches. One is the ‘program-flow computing’ invented from the network artificial chemistry which models bio-chemical reactions with a mathematical graph, and the other is the ‘active network’ devised by computer network researchers in order to change the router’s function depending upon packets and their context. The main ideas and the common features of the two approaches are discussed.

1. プログラムフロー・コンピューティング

コンピュータ内部に化学反応のための人工環境を用意し、シミュレーションする人工化学の研究 [Dittrich et al. 2001, Suzuki et al. 2002, Suzuki et al. 2009] の中で、2004 年に鈴木によって提案され、研究が進められてきたネットワーク人工化学 [Suzuki 2004, Suzuki 2005, Suzuki 2006, Suzuki 2008] は特異な位置を占める。モデルは純粋に数学的な枠組みであるグラフ(ネットワーク)によって“空間”が表現され、分子はノード、もしくはノードからノードへとダイナミックに移動するエージェントとしてモデル化される。

当初鈴木は、ノードを分子に見立て、分子間の衝突に基づいたやり方によってネットワークのダイナミクス(繋ぎ変え)を制御しようとしていたが [Suzuki 2004, Suzuki 2005, Suzuki 2006]、2007 年に発表された、改良型ネットワーク人工化学 [Suzuki 2008] では、分子を、より可動性の高いエージェントで表現し、ノードはそれを入れる“器”としての役目を果たすようになった。この器は、分子数十個を包含する細胞内部の微小空間と考えてもいいし、あるいは細胞そのものと考えてもいい。このような譬えのもと、[Suzuki 2008] では可動性をもったエージェントの働きによりネットワークが繋ぎ変えられ、最初一つにまとまっていたクラスターが、細胞分裂のように 2 つのクラスターへと分かれていく様子が示された(図 1)。

「プログラムフロー・コンピューティング」とは、この改良型ネットワーク人工化学を呼ぶ別名として、鈴木によって提案された名前である [Suzuki 2008]。上述したように、改良型ネットワーク人工化学では、分子のエージェントがそれぞれ機能的なプログラムを持ってネットワーク中を移動し、それらプログラムが、エージェントの到着とともに各ノードで実行される(図 2)。ここでエージェントをプログラムそのもの、ノードを CPU (Central Processing Unit) と考えれば、これは、プログラムの‘流れ’(プログラムフロー)によって計算を進めていく、一種の並列計算のモデルと見ることができる。

通常、並列計算という場合、我々は、多数の並列に並んだ

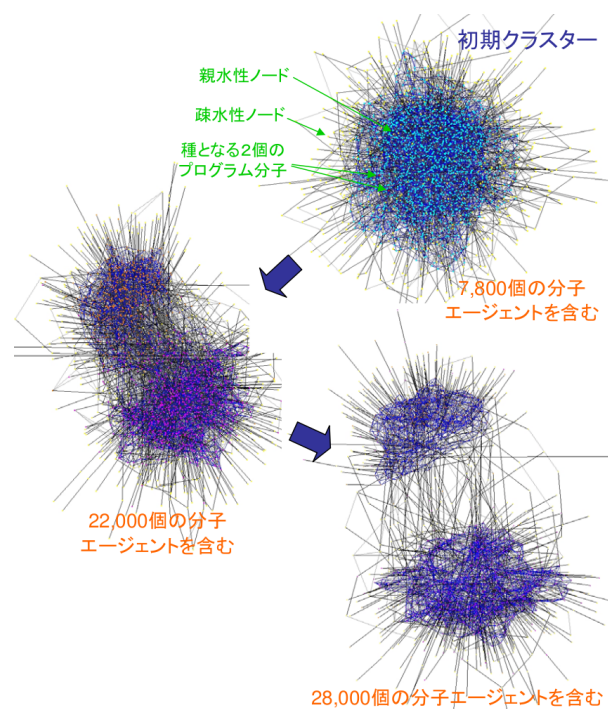


Figure 1: 改良型ネットワーク人工化学によるクラスター分裂の様子。

PU (Processing Unit) の中に人間がデザインしたプログラムが常駐し、それが通信路を介してデータをやりとりしながら処理を進める方式を思い描く。この時、実行中 PU 間を行き来するデータは、あくまでプログラムの実行によって生成される“データ”であり、それがプログラム本体であることはない。しかしながら、このプログラムフロー・コンピューティングのモデルでは、PU の機能を決定づけるプログラムが、エージェントに搭載されて PU から PU へと移動するため、ノードの持つ機能が、到着するエージェントの種類と数によって時々刻々変わっていく。このように、機能がダイナミックに変わっていく PU が多数協調しながら処理を進める計算のモデルでは、従来型の並列計算モデルを越えて、より複雑な機能のエミュレーションが可能となることが期待される。

連絡先: 鈴木秀明 独立行政法人 情報通信研究機構 神戸
研究所 未来 ICT 研究センター 〒 651-2492 神戸市
西区岩岡町岩岡 588-2 Tel: 078-969-2116 Fax: 078-
969-3928 E-mail: hsuzuki@nict.go.jp URL: http://www-
karc.nict.go.jp/BA/staff/hsuzuki/index_J.html

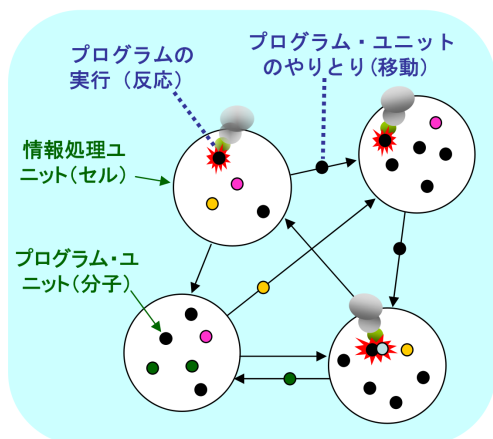


Figure 2: プログラムフロー・コンピューティングの概念図。

2. アクティブ・ネットワーク

コンピュータネットワークの研究分野では、上記のプログラムフロー・コンピューティングに良く似たモデルが、提案され研究されている。それが「アクティブ・ネットワーク」[Tennenhouse et al. 1996, Yamamoto 2001, Yamamoto 2003] と呼ばれる技術である。今日、メールや WWW を初めとする様々な通信サービスを我々に提供してくれるコンピュータネットワークは、その内部では、データを細切れにし（パケット化し）、宛先（IP アドレス）をふり、それらを中継機（ルータ）が個々に振り分けるといって、通信を実現している。この時通常、暗黙の前提として、ルータはパケットの中身にまでは立ち入らず、宛先ラベルに書かれた情報だけをもとに、振り分け処理を行なっているが、アクティブ・ネットワークではこの制限を取り外す。

アクティブ・ネットワークが実装されたネットワークでは、ルータは到着したパケットに対し、宛先ラベルのみならず、パケットの中身まで読み取り、それが指定するデータに応じて異なった振り分け制御をしたり、ラベルの貼り替えを行ったりする。このようなルータ機能のある種の「改変」は、ルータにプログラムをあらかじめロードすること（プログラマブル・スイッチ方式）によっても実現できるが、パケットにプログラムを埋め込み、それをルータが実行するという方法（カプセル方式）でも実現が可能である [Yamamoto 2003]。カプセル方式は、ルータの機能を時間的に変化させることができたり、ユーザごとに異なった制御を指定できるなどの点で、より柔軟性のあるネットワーク制御方式であると言える。コンピュータネットワークの分野では、これまで、このアクティブ・ネットワークを用いて、通信の QoS（Quality of Service）を制御したり、サーバの負荷を分散させる可能性についての研究がなされている。

3. アルゴリズム推移ネットワーク

プログラムフロー・コンピューティングとアクティブ・ネットワーク（特に、カプセル方式）に共通しているのは、プログラム自体を通信することにより、PU やルータといった処理機械の持つ機能をダイナミックに変えていくという考え方である。「アルゴリズム推移ネットワーク」“Algorithmically Transitive Network (ATN)” [Suzuki et al. 2010] は、この考えを発展させ、プログラムを実行中に書き換える可能性について議論した中から生まれた、新しいネットワーク型の計算モデルである。

以下、[Suzuki et al. 2010] で提案された基本コンセプトに基づき、ATN の特徴をまとめる：

- [計算] プログラム（即ち、アルゴリズム）がデータフロー・コンピュータの表現形式の一つである“データフロー・ネットワーク”によって表わされる。計算実行はノードの持つ算術論理処理と、エッジの持つ通信処理により局所並列的に進められる。
- [学習] 計算実行の後、教師データをもとに計算されたエネルギー誤差関数の微分係数を、ネットワーク内で逆伝搬することにより、ネットワーク内の様々な定数パラメータ（アルゴリズムに埋め込まれたパラメータ）が微調整される。
- [トポロジー変更] 用意された機能的なエージェントをネットワーク中で動かし、それらにノード・エッジの生成・消滅等を起こさせることにより、ネットワーク・アルゴリズムを変化 / 最適化させる。

講演では、モデルの概要と、ATN を関数同定問題に適用した実験結果についても述べる。

References

- [Dittrich et al. 2001] Dittrich, P., Ziegler, J., Banzhaf, W.: Artificial chemistries—a review. *Artificial Life* **7** (2001) 225-275
- [Suzuki et al. 2002] Suzuki, H., Ono, N., Yuta, K.: Several necessary conditions for the evolution of complex forms of life in an artificial environment. *Artificial Life* **9**(2) (2003) 537-558
- [Suzuki 2004] Suzuki, H.: Artificial chemistry on small-world networks. (スモールワールド・ネットワークに基づく人工化学システムの提案) In: Proceedings of the 18th Annual Conference of JSAI (2004) 2H4-03 2004 年度人工知能学会全国大会（第 18 回）論文集 2H4-03
- [Suzuki 2005] Suzuki, H.: Mathematical folding of node chains in a molecular network. *BioSystems* **87** (2007) 125-135
- [Suzuki 2006] Suzuki, H.: An approach toward emulating molecular interaction with a graph. *Australian Journal of Chemistry* **59** (2006) 869-873
- [Suzuki 2008] Suzuki, H.: A network cell with molecular agents that divides from centrosome signals. *BioSystems* **94** (2008) 118-125
- [Suzuki et al. 2009] Suzuki, H., Dittrich, P. (eds.): Special Issue on Artificial Chemistry. *Artificial Life* **15**(1) (2009)
- [Suzuki et al. 2010] Suzuki, H., Ohsaki, H., Sawai H.: A network-based computational model with learning. To be published in: Unconventional Computation, 9th International Conference Proceedings. (2010)
- [Tennenhouse et al. 1996] Tennenhouse, D.L., Wetherall, D.J.: Towards an active network architecture. *ACM Computer Communication Review* **26**(2) (1996) 5-18
- [Yamamoto 2001] 山本幹 . アクティブネットワークの技術動向 . 電子情報通信学会誌論文誌 B **J84-B**(8) (2001) 1401-1412
- [Yamamoto 2003] 山本幹 . アクティブネットワーク . 電子情報通信学会誌 **86**(7) (2003) 489-492