D210

ネットワーク構造と機能からのパターン形成

白山 晋[○] (東大・人工物), 内田 誠(東大院・環海)

Formation of Patterns from Network Structure and Function

Susumu SHIRAYAMA and Makoto UCHIDA

ABSTRACT

Geometric patterns appear in nature, and in the art of various cultures. It has been found that some kinds of patterns have a mathematical representation, and grow with a certain parameter like the golden ratio. The patterns have fascinated mathematicians and artists for centuries. Some may have considered the pattern as a form of knowledge. In network topologies, such patterns appear as well. The structure of pattern is deeply related to the flows in a wider meaning of 'flow'. For examples, people of flow, material flow and information flow that occur on a network. In this paper, many patterns are displayed by visualizing the characteristics of network structures and the flows on the network, using complex network models and some real-world networks. We show that these networks have some characteristic patterns, and these patterns can be varied by means of controlling some kinds of parameters for networks, or network models themselves.

Keywords: Formation of patterns, Network structure, Network visualization

1. 緒 論

ネットワークは位相構造として与えられることが多く、ノードの配置が決められた後に可視化される。可視化結果は、複雑な幾何模様となり、芸術的な観点から評価されることがある。本稿では、そのような幾何模様の背後にある数理構造を明らかにし、パターン形成の制御の可能性について言及する。

2. ネットワークの静的構造の可視化

2.1 ノードとエッジの配置

多くの場合、ネットワークはグラフとして扱われるために、ノードやエッジ（アーク）の位置が一意に決まることはない。このため、ネットワークを表示すること自体が容易ではない。また、対象の大規模性や構造の複雑性のため、少数のノード、エッジに対して効果的な手法がスケラブルに利用できるわけではない。例えば、これまでにネットワークの描画に多く用いられていた Pajek¹⁾や NetDraw²⁾などのソフトウェアは、ノード数が数百～千程度のネットワークを対象とするものであり、大規模なネットワークの構造や状態遷移を大域的に把握するという目的に適したものではない。

一方、局所的なノード・エッジの配置を簡素化した、大規模ネットワークの描画に特化したソフトウェアがある。本稿では、はじめに、そのようなソフトウェアで配置計算を行うことにした。用いたものは、LGL(Large Graph Layout)^{3,4)}と呼ばれるソフトウェアである。LGLでは、あるノードを出発点として、ネットワークの接続情報から最小全域木を決め、最小全域木にしたがってノードを配置し、ノードの座標値を出力している。

2.2 ハブ構造に着目した可視化

ノード数が数万以上の大規模なネットワークに対して、

大量のノードとエッジの1つ1つを直接描画した場合、煩雑なものになり、その結果から意味のある情報を抽出することは難しい。この場合は、いかにノードとエッジに意味のある彩色を施すかが可視化の鍵となる。提案手法では、ノードを描画せず、エッジの彩色のみによって、大規模なネットワークの構造や状態遷移の特徴を可視化する。

はじめに、ハブ構造を空間的に把握するために、次数の高いノードに着目する。ノードの次数の2乗に比例して、次数の低いノードに接続するエッジを青に近い色で、次数の高いノードに接続するエッジを赤に近い色で表現するという可視化を行う。Fig. 1 に、Barabasi-Albert (BA) モデル、Klemm-Eguiz (KE) モデル、及び Connecting Nearest Neighbor (CNN) モデルによるネットワーク⁵⁾の描画を示す。これらはいずれもスケールフリーの性質を持つネットワークモデルとして知られている。次数の高いノードが全体に散らばって存在している様子 (KE モデル) や、中央付近に密集している様子 (CNN モデル) など、特徴的な構造をパターンとして視覚的に捉えることができる。

Fig. 1 Edges colored by degree on scale-free networks

2.3 コミュニティ構造の可視化

ネットワーク構造の特徴の一つに、コミュニティ(クラス)構造がある。提案手法では、Newman の手法⁶⁾によって抽出したコミュニティ構造を、エッジの適切な色分けによって表現する。Fig. 2 は、Weblog の記事とトラ

ックバックによって構成されるネットワークに対して、コミュニティ構造を可視化したものである。局地的に密に集まったノードがコミュニティ構造としてパターン化して現れている。

Fig.2 Visualization of the Newman clusters on the Weblog network

3. ネットワークの成長過程の可視化

ネットワークモデルのいくつかのものは、ネットワークの成長過程をモデル化している。ネットワークの成長の様子を知ることは、モデルの特性を把握する上で重要であると同時に、成長するネットワークから、時間変化するパターンを抽出できる可能性がある。

はじめに、先述した方法によって、成長後のネットワークに対してノードとエッジの配置を決める。次に、エッジの"新しさ"を指標として彩色を施す。具体的には、エッジが生成された時刻ステップに応じて、古いものを赤に近い色で、新しいものを青に近い色で表現する。また、ネットワークの成長の様子を動画化する。

Fig.3 Visualization of growth of networks

Fig. 3 に、KE モデル、CNN モデル、および Weblog ネットワークの成長の様子を示す。CNN モデルでは、古いエッジと新しいエッジが互いに混ざり合って接続している様子が、KE モデルや Weblog ネットワークでは、エッジの生成時刻の近いもの同士が接続しているという特徴が示されている。

4. ネットワーク上の状態遷移

前節で述べた成長過程の可視化方法は、ネットワーク上のある状態の時間発展的变化の可視化にも利用できる。例として、量子スピンの相互作用によって、 ± 1 のノードの 2 状態が伝播する状態変化の様子を可視化する。相互作用モデルは、文献 7 で用いたものである。2 つの異なる初期条件に対するものを、Fig. 4 に示す。両端のノードがともに $+1$ の状態を持つエッジを赤、片端のノードのみが $+1$ のエッジをピンク、両端のノードとも -1 のエッジを白で表現している。初期条件によって異なる伝播の様子を視覚的に捉えることができる。同時に、パターンの中にパターンが形成されることがわかる。

Fig.4 Transition of state ± 1 on the Weblog network

5. 結語

複雑なネットワークであっても、背後に何かしらの数理構造があることが指摘されている。本稿では、その数理構造がパターンとして表出するものと仮定し、ネットワークの静的な構造、成長する過程、ネットワーク上のある量の単純なルールによる状態遷移を、可視化によって顕在化することを試みた。ネットワークモデルに依存する固有なパターンがあること、パラメータによるパターン制御の可能性を示した。

パターンは、ネットワークの静的、あるいは動的な性質を示すものであり、ネットワークの特徴量になっている。芸術的な観点からの視覚表現手法だけではなく、パターンをネットワーク上の情報や知識処理に結びつけることが今後の課題である。

参考文献

- 1) Pajek: <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>
- 2) NetDraw: <http://www.analytictech.com/netdraw.htm>
- 3) LGL: <http://apropos.icmb.utexas.edu/lgl/>
- 4) Adai, A.T et. al.: Creating a Map of Protein Function with an Algorithm for Visualizing Very Large Biological Networks, *Journal of Molecular Biology*, 340 (1), 2004, pp.179-190.
- 5) Newman M.E.J., Barabási A.-L., Watts, D.J.: *The Structure and Dynamics of Networks*, Princeton Studies in Complexity, 2006
- 6) Newman.M.E.J.: Finding and evaluating community structure in networks, *Physical Review E*, 69 (026113), 2004.
- 7) Uchida, M. and Shirayama, S.: A New Analysis Method for Complex Network Based on Dynamics of Spin Diffusion, *Proc. of ICCS 2006, PartIII, LNCS3993*, 2006, pp.1063-1066.