

情報伝播モデルに基づく複雑ネットワーク可視化システム

山崎正晃*1 熊野雅仁*2 木村昌弘*2 斉藤和巳*3 元田浩*4

M.Yamazaki, M.Kumano, M.Kimura, K.Saito, H.Motoda

1. はじめに

複雑ネットワーク科学の分野においては、その機能的特徴を理解しやすくするような、ネットワークの可視化手法の開発が渴望されている。本研究では特に、情報伝搬という動的な観点でのネットワークの特徴を理解しやすくする、ネットワーク可視化システムの構築を目指し、情報伝搬モデルに基づく複雑ネットワーク可視化システムを試作した。本可視化システムでは、まず、情報伝搬モデルに基づいた Saito ら[1]のネットワーク可視化法により、ネットワークを 3 次元空間内に可視化する。さらに、可視化結果の詳細を直観的かつ体感的に理解させ、次段のマイニングを行うための可視化情報の操作を行うために、家庭用ゲーム周辺機器を利用し、ネットサーフィン機能、情報提示機能、エディット機能といったインタラクション機能を実現した。特に、3 次元空間内を移動し、詳細を検討する対象となる部分領域に近づき、ノードの内部情報を参照する操作やノード間の関係を見やすく整理する操作を可能とした。

2. ネットワーク可視化

Saito らの手法[1]を用いて、与えられた複雑ネットワークを情報伝搬過程に基づいて 3 次元空間内に可視化する。

2.1 情報伝播モデルと影響最大化問題

ネットワーク $G=(V, E)$ 上の情報伝播モデルとして、Independent Cascade (IC) モデルと Linear Threshold (LT) モデルを考える。まず、これらのモデルに対して、サイズ K の影響最大化問題の解 $U_K = \{u_k; 1 \leq k \leq K\}$ を、Kimura らの手法[2]を用いて求める。ノード u_k をターゲットノードと呼び、ノード $v_n \notin U_K$ を非ターゲットノードと呼ぶ。

2.2 ノード埋め込み

1 つのターゲットノード u_k のみが初期情報源であるとき、ノード v_n にその情報が伝搬する条件付き確率 $p_{k,n} = p(v_n | u_k)$ を考える。ネットワーク内のターゲットノ

ードと非ターゲットノードの全てのペアの条件付き確率の関係を保持するように、ネットワーク内のすべてのノードを 3 次元空間内に埋め込む。より正確には、 x_k と y_n をそれぞれ、ターゲットノード u_k と非ターゲットノード v_n の 3 次元空間内への埋め込み点とし、それらを次の目的関数の最小化問題として求める。

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K p_{k,n} d_{k,n} - \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K (1 - p_{k,n}) \ln(1 - \rho(d_{k,n}))$$

ここに、 $d_{k,n}$ は x_k と y_n の 3 次元ユークリッド距離であり、 $\rho(s)$ は $\rho(s) \in (0, 1]$ なる減少関数である。

2.3 ノードラベリング

次の 2 つのノードラベリング法を用いて外観を決めることにより、ネットワーク上での情報伝搬過程を表現する。1 つ目は、

$$l_1(v_n) = \arg \max_{1 \leq k \leq K} \{p_{k,n}\}$$

により、非ターゲットノードにターゲットノードのラベルを割り当てる。2 つ目は、 b を対数の底として、

$$l_2(v_n) = \left[-\log_b \max_{1 \leq k \leq K} \{p_{k,n}\} \right] + 1$$

により、非ターゲットノードにターゲットノードからの情報の到達度合いを反映したラベルを割り当てる。ただし、 $Z = \{v_n; \max_{1 \leq k \leq K} p_{k,n} = 0\}$ に属する各ノードのラベルには、 Z に属さないノードにより決定されたラベルの最大数を割り当てる。

3. インタラクション機能

情報伝搬モデルによる可視化により、大局的なノード間の関係が直感的に得られても、細部の込み入ったノード群の情報が分かりにくく、また、表示ノード自体の詳細な情報も表現しきれていない場合が多い。そこで、体感的および直感的に操作できるインタラクションを可能にするため、インタラクション機能を構築した。以下にそれぞれの機能を説明する。

3.1 ネットサーフィン機能

インターネットを通じて情報を次々に探索する行為は、ネットサーフィンと呼ばれる。本研究では、3 次元空間内をサーフィンの感覚で移動するという情報探索行為と移動行為を暗示させる直感的な移動インタフェースを構築した。この移動操作を可能にするため、安価で入手が容易なバランス Wii ボードを利用してシステムを構築した。ユーザがバランス Wii ボード上で体重をかける重心移動の動作で、前進、方向転換などが行える、インタラクションを作成した。また、足踏み

*1 龍谷大学 大学院理工学研究科 電子情報学専攻

*2 龍谷大学 理工学部 電子情報学科

*3 静岡県立大学 経営情報学部 経営情報学科

*4 大阪大学 産業科学研究所

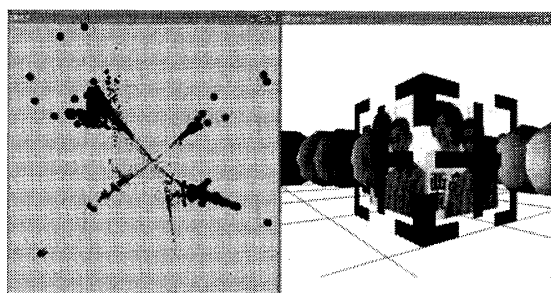


図1 ウィキペディアネットワークの可視化

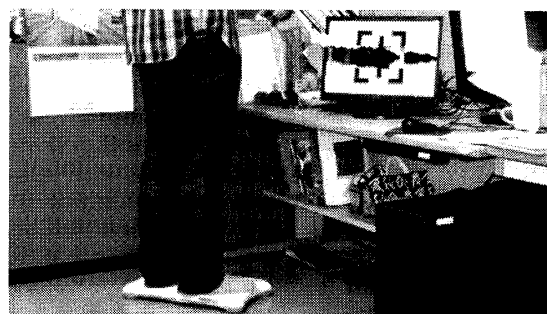


図2 可視化システムの操作風景

による歩行動作を検知するモードも構築したため、ウォークスルーの機能も備えている。

3.2 情報提示機能

球など幾何学的な形状のみで 3 次元空間内のノードを表現するだけでは、内容を直観的に理解できない。最初から情報が過剰すぎることも避けることが望ましいと思われ、必要最小限のノードの情報を提示する機能が望まれる。そこで、あるノードに接近することがそのノードの最小限の情報を提示する意図として捉えられる直感的意図と合致し易い提示機能を実装した。これにより、視覚情報だけでノードの最低限の情報を把握でき、より詳細に内部情報を参照するかを検討させる余地を与えることができる。また、ノードをクリックすれば対象ノードのホームページ内容を別の画面に提示する機能を実装した。これにより、情報の段階的詳細提示が可能となった。また、可視化におけるノード間リンクの表示は、見難くなる場合が多い。そこで、注目するノードのリンク情報を任意に表示できる機能を実装した。

3.3 エディット機能

情報伝搬モデルに基づくレイアウト法は、ノード間の重なりを配慮するが、ノードが込み入った領域は少なからず存在する。そのような箇所は見難く、関係が理解しにくい。そこで、込み入ったノード群の各ノードの位置を整理できるよう、選択した任意のノードを移動させるエディット機能を実装した。

4. 実験

4.1 実験データ

実験では、日本語ウィキペディアの「人物一覧」から構築したネットワークを使用した。本ネットワークをウィキペディアネットワークと呼ぶ。ノード総数は 9,481、有向リンク数は 245,044 であった。

4.2 実施例

本可視化システムをウィキペディアネットワークに適用した結果を図 1 に示す (図 1 左: ネットワークの可視化結果, 図 1 右: ネットサーフィン機能と情報提

示機能の適用結果)。

試作した可視化システムの評価を得るために、第 87 回龍谷祭において、一般来場者に実際に操作、体感してもらったデモンストレーションを行った。本可視化システムの操作風景を図 2 に示す。

4.3 考察

デモンストレーションにおいては、約 60 人以上のユーザが、本可視化システムを体験した。ごく簡単な説明によりユーザは本可視化システムを使いこなし、ネットワークの性質の理解も早かった。また、体験ユーザからは「操作も面白く、一目でネットワークが分かりやすい」、「ネットワークの世界が違って見えた」などの反応が得られた。これらのことから、複雑ネットワークの直観的な表現、インタラクションの直観的な操作感をユーザに与えるシステムを構築できたと考えている。

5. まとめ

複雑ネットワークを情報伝搬過程という観点から理解しやすくするような、ネットワーク可視化システムを試作した。情報伝搬モデルに基づいたネットワーク可視化を行い、可視化結果の詳細を直観的かつ体感的に理解できるインタラクション機能を実現した。

今後は、インタラクション機能のさらなる向上を図り、ネットワーク可視化結果における混在ノード群を容易に自由に整理できるような改良を行う予定である。

参考文献

- [1] K. Saito, M. Kimura and H. Motoda: Effective visualization of information diffusion process over complex networks, Proceedings of ECML PKDD 2008, LNAI 5212, pp. 326-341, 2008.
- [2] M. Kimura, K. Saito, R. Nakano and H. Motoda: Extracting influential nodes on a social network for information diffusion, Data Mining and Knowledge Discovery, Vol.20, No.1, pp. 70-97, 2010.