HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	情報伝播モデルによる情報伝播パターンの研究
Author(s)	千葉, 隆雄; 鈴木, 育男; 山本, 雅人; 古川, 正志
Citation	情報処理北海道シンポジウム2008講演論文集, B-02
Issue Date	2008-09-19
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/51357
Rights	ここに掲載した著作物の利用に関する注意 本著作物の著作権は情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。
Type	article
File Information	2008B02.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

情報処理北海道シンポジウム 2008

情報伝播モデルによる情報伝播パターンの研究

千葉隆雄* 鈴木育男 山本雅人 古川正志
(北海道大学大学院情報科学研究科)†

1 はじめに

従来の情報伝播の研究では，情報の伝播モデルとしてパーコレーション理論 [1] や伝染病の感染モデル [2] が利用されてきた．しかし，これらのモデルでは，ある情報がネットワーク構造によってどのように伝播するかを解析できる意味で有用なものであるが，人に対応するノードの条件が均一に定義されているため，情報の伝播に重要であると考えられるノードの属性 (興味) が考慮されていない点で不十分であるといえる．

そこで，本研究では，各人の興味に基づいて話題が伝播するネットワーク上の情報伝播モデルを提案する．さらに，モデルを用いて話題の伝播のシミュレート実験を行い，従来の伝播モデルとの伝播パターンの比較を行う．

2 提案手法

本研究では，ノードの属性の特性を考慮した情報伝播モデルを作成する．本モデルの特徴は，各ノードが自身の属性に基づき情報の伝播を一定期間行うことにある．

以上の点を踏まえて，本研究では各ノードの属性を表す属性ベクトルを提案し，属性ベクトル毎に異なる伝播力を持つネットワーク上での情報伝播モデルを作成した．

2.1 ネットワークの構成

ネットワーク上での伝播を考えるとき，従来ノードは一つの属性でモデル化されるが，ここでは，ノードに様々な属性を与え，この属性を通してノード間の情報伝播の特性を定義する．

提案モデルでは，人をノード，人間関係をリンクとした人間関係ネットワークを想定する．さらに，情報伝播の経路をリンクとした伝播経路ネットワークを作成する．

ネットワークは以下のように定義される

$$N = \langle V, E \rangle, V = \{v_i\}, E = \{(v_i, v_j) | v_i, v_j \in V\}$$

2.2 ノードの興味

話題はその内容によって一つ以上のカテゴリに属している．それに対して現実世界での人々は，様々なカテゴリに対して興味を持っており，どのカテゴリに興味を持っているかは人によって異なる．そこで，本研究では人を表すノード v_i が，どのカテゴリに興味を持っているかを，ノードの属性である興味ベクトル $\boldsymbol{a}^{(i)}$ で以下のように定義する．

$$\boldsymbol{a}^{(i)} = [a_{c_1}^{(i)} a_{c_2}^{(i)} \ldots a_{c_n}^{(i)}]$$
$$a_{c_k}^{(i)} = \begin{cases} 1 & \text{ノード } v_i \text{ がカテゴリ } c_k \text{ に興味がある} \\ 0 & \text{ノード } v_i \text{ がカテゴリ } c_k \text{ に興味がない} \end{cases} \tag{1}$$

2.3 カテゴリの伝播力

属性の伝播する話題がどのようなカテゴリに属しているかによって，話題の伝達に対するモチベーションに大きな違いがあると考えられる．そこで，本研究では情報の各カテゴリ c_k に話題の受信/発信に対する動機付けの高さを定式化する重みベクトル $\boldsymbol{W}$ を以下の様に定義する．

$$\boldsymbol{W} = [w_{c_1} w_{c_2} \ldots w_{c_n}] \quad (0 \leq w_{c_k} \leq 1) \tag{2}$$

2.4 発信期間

人は一つの話題に関して永久に情報を発信しているわけではなく，話題を受信してから時間が経過するほどその話題を他に発信する動機付けが弱くなっていくと考えられる．そのため，各ノードが情報を受信してからその話題を発信している期間は有限と仮定する．

そこで，ノード v_i が話題を発信する発信期間を OP_{v_i} とする．また，ノード v_i が話題を受信した時間を s_{v_i} とし，s_{v_i} から OP_{v_i} ステップ経過すると，ノード v_i は情報を発信しなくなり，以下で定義する伝播度 $p_{v_i v_j}$ は 0 となる．

2.5 ノード間の伝播度

各ノードは，ノード v_i，v_j 間に共通する興味がない場合には話題が伝播することはない．

これまで定式化してきた興味ベクトル $\boldsymbol{a}$，カテゴリの伝播重み $\boldsymbol{W}$，発信期間 OP を用いて，ノード v_i，v_j 間の話題の伝播度 $p_{v_i v_j}$ を以下に定義する．

$$p_{v_i v_j} = \begin{cases} p_{v_i v_j} = \sum_k a_{c_k}^{(i)} a_{c_k}^{(j)} w_{c_k} & s_{v_i} < s \leq s_{v_i} + OP_{v_i} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{3}$$

2.6 伝播アルゴリズム

各ノードには，すでに話題の伝わった「発信状態」とまだ話題の伝わっていない「未受信状態」，一度話題は伝わったが情報の発信は行っていない「非発信状態」の 3 つの状態があり，発信状態のノード v_i は，1 ステップごとにノード v_j に対して話題の伝播しやすさ $p_{v_i v_j}$ を基

*takao@complex.eng.hokudai.ac.jp
†札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究科

Fig. 1 人間関係ネットワーク

にした確率で話題の伝播を試み，その結果に基づいて情報伝播ネットワークを作成する．

実際の伝播は以下の手順に従って行われる

1. 最初に 1 つ以上のノードに話題を受信させ発信状態にする．
2. 発信状態のノード v_i は人間関係ネットワーク上で隣接関係にあるノード v_j に対して，話題の伝播度 $p_{v_i v_j}$ に応じた確率で情報を発信する．
3. 話題を受信したノードが伝播経路ネットワークに存在しなければ追加し，発信ノード v_i から受信ノード v_j へリンクを張ることで伝播経路ネットワークを作成する．
4. 終了条件を満たすまで，手順 2,3 を繰り返す．

以上が話題の伝播アルゴリズムである．ここでは話題の伝播をモデル化した．次章では，このモデルを用いて実験を行う．

3 シミュレーション実験と考察

本章では，作成したモデルを用いてシミュレーション実験を行い，興味ベクトルが情報伝播に与える影響や，伝播経路ネットワークのネットワーク特徴量を解析する．

3.1 実験条件

本実験では，人間関係ネットワークとして，SNS における友人関係ネットワークに比較的に近いモデルとして知られる CNN モデル [3] を採用する．ノード数 1000，リンクの顕在化確率 $u = 0.8$ として CNN モデルによるネットワーク (**図 1**) を生成する．なお，このネットワークのクラスタリング係数は 0.44，固有パス長は 7.44 である．

2 つのカテゴリに対して，各ノードの興味ベクトル $\boldsymbol{a}$ を [1,1]，[1,0]，[0,1] の 3 種類用意し，ノードを，持っている興味ベクトル毎に，それぞれ V_{red}，V_{green}，V_{blue} の 3 つのノード群に分類する．

V_{red} は，V_{green} と V_{blue} の間での情報伝播の仲介をする役割があり，少数であっても情報の伝播に大きな影響を与えることが分かっている [4]．そこで，各グループのノード数はそれぞれ，10，495，495 ノードずつとする．このとき，ノードへの興味ベクトルの割り当ては，ランダムな割り当てと，V_{red} の影響力を高めるために次数の高いノードから順に選択する次数優先割り当てとする．また，カテゴリの重みベクトルは，$\boldsymbol{W} = [0.05, 0.05]$ とする．

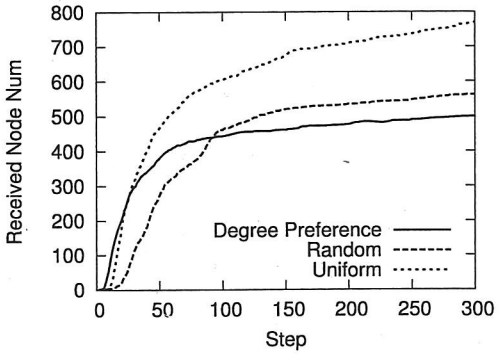

Fig. 2 受信状態ノード数の時間変化

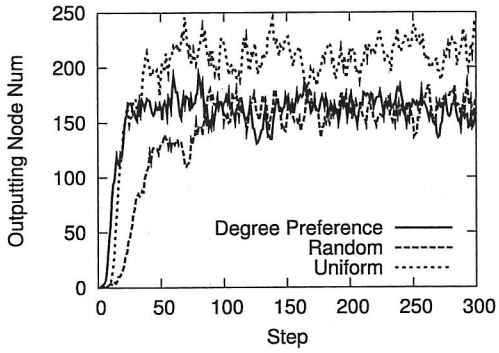

Fig. 3 発信状態ノード数の時間変化

比較対象として，全ノードに興味ベクトル $\boldsymbol{a} = [1, 1]$，カテゴリの重みベクトルを $\boldsymbol{W} = [0.015, 0.015]$ としたノード均一ネットワークに関する実験を行う．

伝播はランダムに選んだ 1 ノードに話題を受信させることで開始し，情報を受信した際の情報の発信期間は 5 ステップとする．受信ノード数の増加が安定する状態を得るために，300 ステップ実験を行う．

3.2 ノード数の変化

図 2 と **図 3** はそれぞれ，受信状態のノード数，発信状態のノード数の時間変化を示している．全ノードが均一の状態では情報の伝達相手に制限がない．従って，ノードが興味ベクトルを持っている状態と比べて，多くのノードへ伝播が起きている．次数優先で興味ベクトルを配置した伝播では，伝播の初期段階ではノード均一での伝播とほぼ同じ早さで伝播している．

これは，ノード群 V_{red} の次数が他のノード群に比べて高いため，V_{red} への伝播が起こりやすく，片方のノード群で起こっている情報の伝播が他方のノード群へと伝わりやすい．そのため，同時に発信状態となるノード数が多くなり，伝播の速度が早くなっていると考えられる．

Fig. 4 ノード均一による伝播ネットワーク

Fig. 5 ランダム配置による伝播ネットワーク

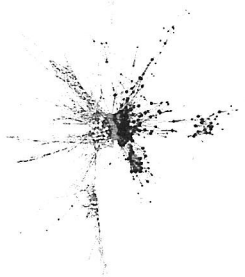

Fig. 6 次数優先配置による伝播ネットワーク

3.3 伝播経路ネットワーク

本実験では，ノードが情報を受信したときに伝播経路ネットワークに受信したノードを追加し，情報を発信したノードから受信したノードへリンクを生成する．生成方法からも分かるとおり，伝播経路ネットワークは人間関係ネットワークの部分グラフとなる．シミュレーション終了後の伝播経路ネットワークを**図 4** から**図 6** に示す．但し，ノードの位置は再配置し可視化している．次数優先配置とランダム配置の伝播ネットワークの図中のノードの大きさは次数に比例しており，色はそれぞれ，赤が V_{red}，緑が V_{green}，青が V_{blue} に属するノードを表している．

興味ベクトルが一様なノード均一の伝播経路ネットワークは，元となる人間関係ネットワークと類似した形状をした．これは，情報を伝える相手に制限がないため伝播経路ネットワークの生成が，すでに伝播経路ネットワークに存在するノードに人間関係ネットワーク上で隣接するリンク・ノードをランダムに追加する手順となっているためと考えられる．

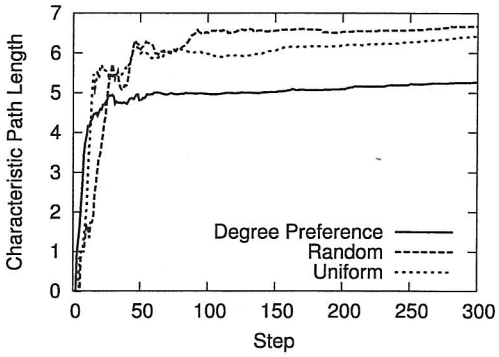

Fig. 7 固有パス長の時間変化

ランダム配置による伝播経路ネットワークは，細部に CNN モデル特有の三角形構造を有している．しかし，全体を見ると V_{green} と V_{blue} のノード群が明確に分離しており，少数の V_{red} が仲介者となって二つのノード群の間を接続する形状ととなっている．これは，同じカテゴリに対して興味を持つノード間でのみ伝播が起こる本モデルによる伝播の特性をよく表している．

次数優先配置でも，ランダム配置と同様に細部には C 三角形構造を有している．しかし，仲介者である V_{red} を人間関係ネットワークにおいて次数の高いノードとしたことで，仲介者の役割が非常に強くなる．従って，V_{red} から他のノード群に対して多くのリンクが存在している．このため，仲介者である V_{red} を中心に V_{green} と V_{blue} が個別に広がるような形状になっている．

3.4 伝播経路ネットワークの特徴量の変化

次に，生成された伝播経路ネットワークのネットワーク特徴量の時間変化について解析する．

3.4.1 固有パス長の時間変化

図 7 は伝播経路ネットワークの固有パス長の時間変化を表す．ランダム配置による伝播ネットワークは，伝播規模に差があるにも関わらず固有パス長がノード均一のものと近い値になっている．また，ランダム配置とノード均一における伝搬経路ネットワークの固有パス長が前述した人間関係ネットワークの固有パス長 7.44 に比較的近い値と言える．

それに対して，次数優先配置では他の二つの場合よりも固有パス長が低くなっている．これは，仲介者 V_{red} の次数が高くなり，ハブのような役割を果たしているためと考えられる．

3.4.2 クラスタリング係数の時間変化

図 8 はクラスタリング係数の時間変化を表す．ランダム配置による伝播の初期に，他の伝播経路ネットワーク

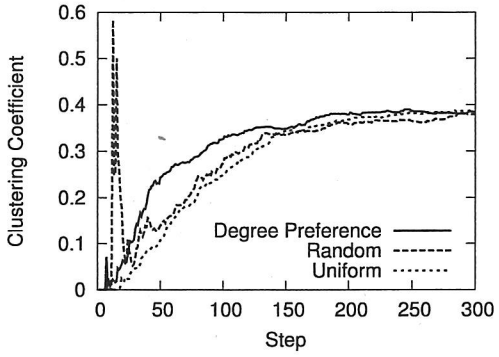

Fig. 8 クラスタリング係数の時間変化

にはほとんど現れないピークが存在している．

これは，V_{red} に属するノードの次数が比較的低くなるため，このノード群への伝播が起こりにくくなる．その結果，同じ興味ベクトルを持つ一方のグループのみで情報の伝播が起きており，それが原因でこの特徴的なピークが発生していると考えられる．

4 おわりに

本実験では，ノードの興味を考慮した情報伝播モデルを提案した．また，作成したモデルを用いてシミュレーション実験を行い，興味ベクトルを持つノードの配置が話題の伝播パターンに大きな影響を与えていることが明かになった．

今後，このモデルのより詳細な解析を行う．また，ブログやソーシャルネットワーキングサービスの実データとの比較なども行いたい．

参考文献

[1] S.R.Broadbent, J.M.Hammersley, *Percolation process*, Proc.Cambridge Philos.Soc., Vol.53, (1957), pp.629–641.

[2] Herbert W.Hethcote, *Qualitative analyses of communicable disease models*, Mathematical Biosciences, Vol.28, (1976), pp.335–356.

[3] Alexei Vázquez, *Growing network with local rules: Preferential attachment, clustering hierarchy,and degree correlations*, Physical Review E, Vol.67, (2003), pp.056104.

[4] 千葉隆雄, 鈴木育男, 山本雅人, 古川正志, 話題の特性を考慮した情報伝播ダイナミクスの解析, 複雑系マイクロシンポジウム, (2008), pp.37–41.