

好奇心を持つエージェントによる 多様性のある情報伝搬シミュレーションモデルの提案

Proposal of diversity information propagation simulation model composed of multi agents with curiosity

北島瑛貴^{1*} 高玉圭樹¹ 村田 暁紀¹ 上野 史¹
Eiki Kitajima¹ Keiki Takadama¹ Akino Murata¹ Fumito Uwano¹

¹ 電気通信大学院

¹ Graduate School of Department of Informatics, The University of Electro-Communications

Abstract: インターネットのような巨大なネットワーク上の情報伝搬現象の性質の解析は複雑さにより困難であるため、パラメータ数を限定したシミュレーションモデルを用いた解析がされている。しかし、提案されたモデルは急激に拡散する情報伝搬現象のみに興味を置いており、より複雑な現象の解析に向かない。我々は、現実の情報伝搬の過程には、マスメディアや政府が発するような支配的な情報と支配的な情報に淘汰されずに存在し続ける情報があることに着目し、そのような多様性を持つ情報伝搬現象を実現するため、従来モデルを情報の多値化に関して拡張し、エージェントに好奇心の概念を導入してエージェントが好奇心に基づいて自身の信念の重みを調整させる仕組みを提案する。実験により、従来モデルの OSM と提案した拡張モデルの情報伝搬現象が同様な性質を持つことを検証し、さらに好奇心の概念を導入したエージェントを用いてパラメータを変えてシミュレーション結果を比較して、多様性を持つ情報伝搬現象を実現するパラメータの種類と値を特定した。

1 はじめに

現実社会で様々な情報伝搬が発生している。例えば、インターネット上で我々は好きな芸能人やある映画の評価などの情報を他人に発信するが、その他人がさらに別の誰かに発信し、またさらにその人が発信することを繰り返すことでネットワーク全体がその情報を共有するかもしれない。また、交通状況や畑のモニタリングを任務とするセンサーネットワーク上では、各個体が感知した情報をアドホックに別の個体と共有することで伝搬され、遠くの個体と情報を共有する。これらの情報共有はどの個体も中央機関からの指令を受けずに分散的に行われる。また、全ての個体が最初にその情報を発信する情報源とは限らず、一部の少数の個体が情報源となっている場合がある。その場合、情報源を中心に情報伝搬が開始され、別の情報源の情報伝搬の範囲と重なることで新たな情報伝搬が発生してネットワーク全体に情報が共有される。特に個体数が膨大な時、このような性質を持つ情報共有を Large Team Information Sharing(LTIS)[Ginton 09, Ginton 10, Ginton, Prymak 11] と呼び、近年研究されている。しかし、

現実の LTIS 上の情報伝搬現象の解析は一般的に困難である。なぜならば、解析の目的として、現実のネットワークに存在する膨大なパラメータから解析対象の情報伝搬現象に関係性のあるものを抽出することが挙げられるが、ネットワークの個体数に指数的に増加する通信路の数の組み合わせ爆発により、情報伝搬現象の性質は非常に複雑さを包含するため、少しパラメータの値が異なるだけで情報伝搬現象の性質も大きく変化するからである。そのため、LTIS は複雑系であり、LTIS 上の情報伝搬現象は創発現象の一つである。そこで、Ginton ら、Prymak らは解析の困難さを回避するため、パラメータを限定した LTIS の情報伝搬現象を表現するエージェントモデル (LTIS model) を構築することで解析を可能にした。さらに、Ginton らはそのエージェントモデル上で誤報の情報伝搬の発生に大きく影響を与えるパラメータを特定し、誤報を抑制する情報伝搬現象が存在することを示した。

だが、Ginton らや Prymak らが提案した従来の LTIS model では、設定が簡易的であり、表現可能な情報伝搬現象が非常に限定的である。最も大きな原因は情報の種類が 2 種類に限定されていることにある。そのため、あるタイミングで急激に情報がネットワーク全体に共有されるという LTIS の共通的な性質以外は表現することが難しい。現実社会の LTIS 上では、ネッ

*連絡先：電気通信大学 情報理工学系研究科 情報学専攻
〒135-0061 東京都江東区豊洲 1-3-2-1403
E-mail: k1830034@edu.cc.uec.ac.jp

ネットワークの各個体は必ずしも同じ情報を発信せずに競合する複数種類の情報を発信する可能性が高い。例えば、ある交通事故でひき逃げした車両の色についての目撃情報の LTIS を考える。車両の色が赤という目撃情報があれば、赤以外の青、黒、白という目撃情報も発生するかもしれない。このように現実では、競合する情報の種類は複数存在することが一般的である。

また、従来の LTIS model では、情報の多様性を維持した情報伝搬を表現することが出来ない。現実社会のネットワーク上の情報は平等ではない。例えば、強い発信力を持つマスメディアの情報は、その情報を受け取る個体がその他の情報に比べ多くなることから、我々の社会の情報共有について支配的である。しかし、このような支配的な情報が存在したとしても、我々は全員が一致してマスメディアの情報を共有せずに、その情報と競合する様々な情報を共有する人々の数は少なくなく、多様性を維持する。従来の LTIS model では、情報の種類が 2 値という設定に加え、支配的な情報はべき乗則に従って情報伝搬されることに起因する被支配的な情報の伝搬を許容しない性質を持つため、情報伝搬の多様性を表現することが出来ない。

本研究では、従来の LTIS model の一つである Opinion Sharing Model(OSM) を拡張し、エージェントが複数の情報を扱うことを可能にした Multi Opinion Sharing Model(MOSM) を提案する。さらにエージェントに情報量の大きさによって通信路の重みに変更を加える仕組みを導入し、重みに対するその仕組みの影響度を好奇心度とするパラメータを設定した。実験により、MOSM が従来の OSM と同様に LTIS の共通的な性質である急激な情報伝搬を実現することを検証した。また、好奇心度によって多様性のある情報伝搬が実現されることを Simpson の多様度指数 D を評価指標に用いて検証した。

2 Opinion Sharing Model (OSM)

Prymak が考案した OSM はネットワークを構成するマルチエージェントモデル [Russell 16] であり、各エージェントはネットワークのノードに位置しリンクを通信路としてリンク先のエージェントと情報を通信する。エージェント以外に環境が存在し、2 種類で表現された環境情報 $b \in B = \{ \text{white}, \text{black} \}$ を共有することをエージェントは目的とする。ネットワークのごく一部のエージェントは環境を観測する性質を持ち、そのようなエージェントをセンサーエージェントと呼ぶ。センサーエージェントは環境を観測して、情報源として環境情報 b をネットワークに発信する役割を持つ。

2.1 エージェントによるネットワーク

グラフ理論を用いて、下記のように OSM 上のエージェント A とリンク E を定義する。

$$A = \{i^1 \dots i^N\}, N = |A| \gg 100 \quad (1)$$

$$E = \{(i, j) : i, j \in A\} \quad (2)$$

i はエージェントの要素番号, (i, j) はエージェント i とエージェント j が接続されていることを表す。リンクは無向とするため, $(i, j) = (j, i)$ である。 A, E を用いて, OSM のネットワークを $G(A, E)$ と表す。各エージェント $i \in A$ は近隣エージェント $D_i = \{j : \exists (i, j) \in E\}$ を持つ。センサーエージェントの集合はエージェントの集合の小さな部分集合であり, $S \subset A, |S| \ll N$ と表す。

2.2 エージェント

エージェント i は意見 $o_i \in B$ と信念値 p_i ($0 < p_i < 1$) と共通重要度 cw_i ($0.5 \leq cw_i \leq 1$) という 3 つのパラメータを持つ。エージェント i はエージェント j から意見 o_j を受け取ると、信念値 p_i は式 (3) に従い、 p_i' に更新される。重要度 w はエージェントが受信意見を信用する度合いを表し、共通重要度は意見の送り主に関係なく、受信意見を信用する度合いを表す。式 (3) の式中で、共通重要度は、エージェント i が $o_i = \text{white}$ をであると信じる場合に o_j を受け取る条件付き確率を表し、 p_i は、 o_j を受け取る前の $o_i = \text{white}$ であると信じる事前確率を表し、 p_i' は意見 o_j を受け取った後に $o_i = \text{white}$ であると信じる事後確率を表す。すなわち、式 (3) はベイズの更新式であり、エージェントは意見を受け取るたびに共通重要度を尤度として、ベイズ的に信念値を更新する [Easley 10]。また、センサーエージェントが環境情報 b を観測する際にも、式 (3) 内で $o_j = b$ とすることで同様に信念値 p を更新する。

$$p_i' = \frac{wp_i}{(1-w)(1-p_i^{k-1}) + wp_i}$$

$$\text{where } \begin{cases} w = cw_i & \text{if } o_j = \text{white} \\ w = 1 - cw_i & \text{if } o_j = \text{black} \end{cases} \quad (3)$$

もし、信念値 p_i が複数回更新され、閾値 σ ($0 < \sigma < 1$) または $1 - \sigma$ に達した場合、式 (4) に従って意見 o_i を形成する。式 (4) はヒステリシスの性質を持ち、信念値 p が元の状態に戻ったとしても、意見の状態が完全に戻らない性質を表す。エージェントは意見の初期状態として意見を形成していない状態である *undeter.* を持つ。もし、信念値が閾値に達し意見を形成すれば、二度と

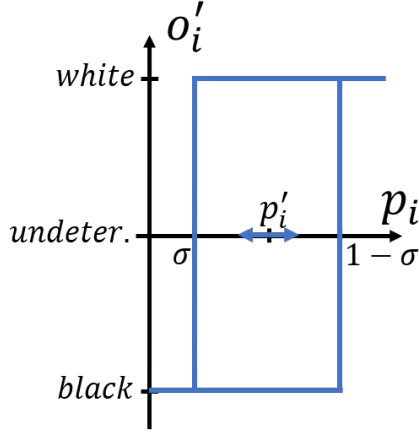


図 1: 意見の更新ルール

undeter. の状態に戻らないことを意味する。その様子を図 1 に示す。エージェントは意見を形成すると、その意見に確信を持ち、他のリンクが繋がっているエージェントに発信する。この行動によってネットワーク上に情報伝搬が発生する。

$$o'_i = \begin{cases} \text{undeter.}, & \text{initial} \\ \text{white} & \text{if } P_i \geq \sigma \\ \text{black} & \text{if } P_i \leq 1 - \sigma \\ o_i & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

2.3 情報伝搬シミュレーション

OSM 上の情報伝搬シミュレーションには、2つの時間に関する変数、ステップ k ($0 \leq k \leq K$) とラウンド m ($0 \leq m \leq M$) が存在する。シミュレーションが開始されると、ステップ k が 0 から 1 ずつカウントされ、ステップ k が更新されるごとにエージェントは信念値 p を更新、またはセンサーエージェントは環境の観測をする。 K はステップの最大更新回数を意味し、 $k = K$ となるとエージェントは動作を停止する。ラウンド m はシミュレーションの繰り返し回数を意味し、ラウンドごとにエージェントは意見 o 、信念値 p を初期値にリセットしてステップの更新を 0 から K までする。ラウンドが M に達した時にシミュレーションが終了する。

3 Multiple Opinion Sharing Model (MOSM)

Prymak の OSM では、形成された意見の状態は $o \in B = \{ \text{white}, \text{black} \}$ の 2 種類に限定されている。複数種類の情報を前提とした情報伝搬現象を表現するため、意見の状態を複数にする拡張をする。この拡張の

ため、複数値に対応させた意見 o と信念値 p のベクトル化と信念値 p の更新式 (3) の拡張をする。

3.1 意見ベクトル \vec{o} と信念ベクトル \vec{p}

従来は意見 o は white などの色で表現していた。しかし、情報の種類を自由に増やすには、色の表現では限界がある。そこで意見 o をベクトル表現することでその限界を取り外す。意見ベクトル \vec{o} の次元が情報の種類を表し、ある次元の要素が 1 であれば、その次元の情報を持つことを表す。従来の OSM 上で $o = \text{white}$ の意見が伝搬された場合の意見を 2 次元の意見ベクトルで表現すると式 (5) のようになる。

$$o = \text{white} = \vec{o} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$o = \text{black} = \vec{o} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

従来の OSM 上では信念値 p は 1 つしか存在しなかったが、これは black の信念値を $1 - p$ と表現することで代用していたにすぎない。情報が複数種類になれば、各情報ごとに信念値を設定する必要がある。これを統一的に表現するため、信念ベクトル \vec{p} と表現する。意見ベクトル \vec{o} と同様にベクトルの次元が情報の種類に対応し、各種の情報の信念値が各次元にある。 $|\vec{B}|$ は MOSM 上の情報の種類の数、または意見ベクトルや信念ベクトルの次元の大きさを表す。

3.2 信念ベクトル \vec{p} の更新式

意見ベクトル \vec{o} と信念ベクトル \vec{p} に対応するため、式 (3) の信念値の更新式を拡張する。下記にその計算式を示す。式 (6) の $\vec{p}[n]$ という表記は \vec{p} の n 次元目の要素の信念値を意味する。

$$\vec{p}'_i = \sum_{n=1}^{|\vec{B}|} \left(\frac{\vec{p}_i[n] w}{\sum_{l=1}^{|\vec{B}|} \vec{p}_i[l] w} \right) \quad (6)$$

$$\text{where } \begin{cases} w = cw_i & \text{if } \vec{o}_j[n] = 1 \\ w = \frac{1-cw_i}{|\vec{B}|-1} & \text{if } \vec{o}_j[n] = 0 \end{cases}$$

3.3 評価指標

過半数の確率で観測される環境情報と等しい意見を支配的意見 do と表す。逆に支配的意見以外の意見を被支配的意見 mo と表す。支配的意見 do がシミュレーション後にネットワーク全体に共有される割合をラウンドごとに集計して平均化したものを独占率 DR とし、式 (7) で表す。同様にして被支配的意見について非独占率を式 (8) と表す。

$$DR = \frac{1}{N|M|} \sum_{i \in A} |\{m \in M : o_i^m = do\}| \cdot 100\% \quad (7)$$

$$MR = \frac{1}{N|M|} \sum_{i \in A} |\{m \in M : o_i^m = mo\}| \cdot 100\% \quad (8)$$

独占率、非独占率と同様にして、エージェントがシミュレーション中に意見を形成することが出来なかった割合を非意見形成率 UR とし、式 (9) と表す。

$$UR = \frac{1}{N|M|} \sum_{i \in A} |\{m \in M : o_i^m = \text{undeter.}\}| \cdot 100\% \quad (9)$$

情報伝搬現象の情報の多様度を評価するために Simpson の多様度指数 D [Aminian 87] の概念を利用する。ある意見を形成するエージェント数の割合は、情報伝搬におけるその意見の相対的な優占度を表す。もし、情報伝搬の意見の多様性が高い場合、各意見の相対優占度は小さくなるため、ランダムにエージェントを 2 体選択してそれらのエージェントが同じ意見を形成している確率は非常に低くなる。全ての意見についてこの確率を求めたものを総計した値を 1 から引くことで、情報伝搬の多様度を評価することが出来る。しかし、これだけでは情報伝搬の力が弱く、意見形成しないエージェントの割合が高い場合も高い評価をするため、意見形成率 $1 - UR$ をかけることで割り引く必要がある。意見多様度 FD を式 (10) で表す。

$$FD = \frac{1}{|M|} \left(1 - \sum_{l=1}^{|B|} \left(\frac{\sum_{i \in A} (\sigma_i[l] = 1)}{N}\right)^2\right) \cdot (1 - UR) \quad (10)$$

4 好奇心に基づく信念の更新

従来の OSM 上で、エージェントは事前に設定された共通重要度 cw の大きさに基づいて信念値を更新するため、情報伝搬現象は cw に大きく影響を受ける。ここで、white を支配的意見 do とした設定で OSM 上の情報伝搬をシミュレーションすると、 cw が低い値の場合はエージェントは近隣の意見をほとんど信念値に反映

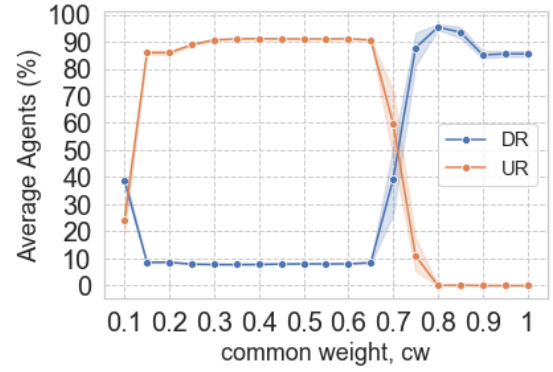


図 2: OSM 上の情報伝搬の特性

しないため、情報伝搬が発生せずに非意見形成率 UR が高い。しかし、 $cw = 0.7$ 付近を境目にして、white の意見が急激に情報伝搬されるようになり、 DR が最大値に近い値をとる。その様子を用いて図 2 で示す。前節で紹介した MOSM は情報の種類を拡張にしたに過ぎないため、これとほぼ似た性質の情報伝搬が発生する。つまり、意見の種類が複数あったとしても、被支配的意見 mo が生き残ることが出来ない。そこで、エージェントに好奇心の概念を導入し、未知の意見を重視して信念の更新させることで多様性を失わない情報伝搬現象を MOSM 上で表現する。

4.1 通信路ごとの意見情報量 iv と経路重要度 iw

エージェント i の信念ベクトル \vec{p}_i の要素は、その次元 l の情報をエージェント i が信じる確率 $p[l]$ である。そのため、新たに意見を受信した時、その意見の情報量は情報理論 [Claude E. Shannon 48] に基づいて、 $-\log_2 p[l]$ と求められることができ、確率 $p[l]$ が小さければ小さいほどその情報量は大きい。さらに情報量は加法性を持つため、通信路ごとに情報量を総計すると、どの通信路がより未知意見を通信するかどうかを情報量で評価することが可能となる。通信路ごとの情報量の総計を意見情報量 iv とし、式 (11) と表す。ただし、 $p_i[l] = 0$ の時は $-\log_2 p[l] = 0$ とする。ラウンドごとに iv を求め、次のラウンドに移行した時に iv は 0 に初期化される。

$$iv'_{ij} = \sum_{l=1}^{|B|} (-\log_2 \vec{p}_i[l] \cdot \vec{o}_j[l]) + iv_{ij} \quad (11)$$

意見情報量 iv を重要度 w に変換し、その重要度を好奇心重要度 ow とする。あるエージェントに接続する通信路

の中で最も大きい意見情報量 iv を基準にその他の経路の意見情報量を相対的に評価する。また、 $\frac{1}{|B|} \leq w \leq 1$ という制約を考慮した変換式 (12) を示す。

$$ow_{ij} = \frac{iv_{ij}}{\max(\{iv_{il} : l \in D_i\})} \left(1 - \frac{1}{|B|}\right) + \frac{1}{|B|} \quad (12)$$

4.2 好奇心率 or による重要度の重みづけ

エージェントは事前に設定された好奇心率 or に基づき、下記の式 (13) で共通重要度 cw と好奇心重要度 ow の重みづけをすることで、新たに通信路ごとに設置される経路重要度 iw を求める。 $or = 0$ の時、 $iw = cw$ となるため、元の MOSM と同様に信念を更新する。逆に $or = 1$ の時、 $iw = ow$ となるため、エージェントは好奇心重要度のみに基づき、信念を更新する。

$$iw_{ij} = cw_i \cdot (1 - or) + ow_{ij} \cdot or \quad (13)$$

エージェントは式 (14) に従って信念ベクトルの更新式 (6) に w を代入して、信念を更新する。

$$\text{where } \begin{cases} w = iw_{ij} & \text{if } \vec{o}_j[n] = 1 \\ w = \frac{1-iw_{ij}}{|B|-1} & \text{if } \vec{o}_j[n] = 0 \end{cases} \quad (14)$$

5 実験

5.1 実験内容

実験 1 は、情報の種類の複数化へ拡張された MOSM が、従来の OSM と同様に共通重要度 cw に依存して情報伝搬の広がり方の性質が大きく変化することを検証する。実験 2 は、好奇心が導入されたエージェントが MOSM 上で多様性のある情報伝搬現象を表現することを検証する。

5.1.1 MOSM のパラメータ設定

実験 1, 実験 2 はともに MOSM 上で共通のモデルパラメータを用いて情報伝搬シミュレーションをしている。モデルパラメータの詳細は表 1 に記載した。

シミュレーションで試行したネットワーク構造は、スモールワールド ($prewire = 0.1$)[Watts 98], スケールフリー ($nattach = 2$)[Albert 02], 六角格子 (次数 3), 正方格子 (次数 4) の計 4 種類である。エージェントの総数は 300 体, センサーエージェントの数は 30 体である。環境から支配的意見 do が観測される確率は 0.3 に設定されるが、情報の種類を $|B| = 10$ であるため、被支配的意見 mo の観測確率は 0.078 である。

表 1: 実験設定

Model parameter	Symbol	Value
<i>Variable</i>		
Network topology	–	small-world, scale-free, hexagonal, square
<i>Fixed</i>		
Size of opinion dim	–	10
Number of agents	N	300
Number of sensing agents	N_s	0.1N
Accuracy of sensor observation	r	0.3
Agent's initial belief	p_{init}	drawn from $N(\mu = 0.5, s = 0.1)$
Agent's confidence bounds	$(1 - \sigma, \sigma)$	(0.1, 0.9)
Rate of opinion introduction	λ	every 10 steps
Number of opinion sharing rounds	M	300
Number of steps of round	K	1500

5.1.2 実験 1:MOSM の情報伝搬現象の検証と結果

cw を $0.1 \leq cw \leq 1$ の範囲で変化させた場合の情報伝搬シミュレーションの結果を独占率 DR , 非独占率 MR , 非意見形成率 UR , 意見多様度 FD を用いて評価した。その結果を図 3 の $or = 0.0$ の列に示した。各図の横軸は共通重要度 cw であり、縦軸は DR, MR, UR, FD を表す。各 cw の時の 300 ラウンドの情報伝搬シミュレーションの結果について、指標ごとに 30 回の平均をプロットし線で結んで折れ線を描いた。線周りの色付きエリアはプロットの標準偏差の範囲を表す。また、凡例の WS はスモールワールド, Grid2D は正方格子, Hexagonal は六角格子, BA はスケールフリーのネットワークである。

スモールワールド, スケールフリーのネットワークについて、 $cw = [0.3, 0.6]$ の範囲で DR が急激に上昇し、最大値に達した。 DR に付随して MR が 0 近くまで減少しているため、支配的意見 do の情報伝搬が大多数を占めていることが分かる。また、この時の FD は 0 付近の最低値に近い値をとるため、この情報伝搬の多様性は非常に低い。

正方格子, 六角格子のネットワークはエージェントの次数が他のネットワークに比べて小さいため、 $cw \geq 0.95$ でようやく情報伝搬が開始された。

5.1.3 実験 2: エージェントの好奇心と情報伝搬現象の多様性の関係の検証と結果

sec:exp2 エージェントに好奇心の概念を導入し、好奇心率 or を $0.0 \leq or \leq 1$ の範囲で変化させた。また、実験 1 と同様、各 or で cw を実験 1 と同様に変化させた。その時の情報伝搬シミュレーションの結果を独占率 DR , 非独占率 MR , 非意見形成率 UR , 意見多様度 FD を用いて評価した。好奇心率 $or \in \{0.0, 0.8, 1.0\}$ の結果を図 3 に示した。

好奇心率 $or = 0.8$ の時, DR, MR, UR 共に $cw = 0.6$ 付近を境に状態を変化させた. 特に正方格子, 六角格子のネットワークはその変化が急激である. 逆にスモールワールド, スケールフリーは緩やかに変化した. FD も同様に $cw = 0.6$ 付近でほとんどのネットワークも最大値 0.5 付近に達するが, スケールフリーは他より小さい $cw = 0.35$ で最大値に達し, その最大値も 0.3 と小さい.

好奇心率 $or = 1.0$ の時, エージェントは cw を無視して, 好奇心重要度 ow のみを用いて, 信念の更新をするため, DR, MR, UR で cw の影響がほとんどなかった. さらにネットワークの種類による違いも見られない. しかし, FD については, cw の値が増加に伴い僅かに減少した. また, ネットワークによる違いもみられ, 特にスケールフリーで他のネットワークより小さい値になった.

6 考察

6.0.1 MOSM と共通重要度 cw との関連性

実験 1 の結果から, 共通重要度 $cw = [0.3, 0.6]$ の範囲で DR が 90% 近くまで増加し, 逆に MR がほぼ 0 から変わらないことから, MOSM 上の情報伝搬現象は OSM と同様に共通重要度 cw の値によって, 性質を大きく変化させることが分かる. また, Glington らが OSM 上で得た, 最小の UR を実現する最小の cw の時に DR が最大となるという性質 [Glington 09] も確認することが出来る. 以上より, 提案の MOSM は OSM が実現する情報伝搬現象の性質をそこなわずに情報の種類の複数化について拡張がなされていると言える.

6.0.2 多様性を保持する情報伝搬現象

パラメータ設定より, 支配的意見 do が観測確率は, 被支配的意見 mo の約 4 倍なため, do に非常に有利な状況である. しかし, 実験 2 より, 好奇心率 $or = 0.8$, $cw \geq 0.55$ の時, 非意見形成率 UR は最小値 10% 付近に達し, 独占率 DR は約 70% 前後に抑えられることが分かる. これは $or = 0.0$ の場合に 90% 近いことと比較すれば, その抑制の効果が分かる. そして, このパラメータの時の意見多様度 FD を見ると, 0.5 付近の最大値をとる. これは被支配的意見 mo がそれぞれの占める割合が少ないながらもネットワーク内で共有されていることを意味する. 以上より, 提案の MOSM は多様性を持つ情報伝搬現象を実現すると言える.

7 まとめ

本研究で, 2 種類の情報に限定された OSM を複数種類の情報を扱えるように拡張した MOSM を提案した. さらに, 情報の多様性を維持する情報伝搬現象をモデル上で実現するため, エージェントに好奇心の概念を導入し, エージェントが受信意見の情報量に基づいて通信路の重みづけを調整する仕組みを導入した.

実験から, 拡張に関わらず, MOSM と OSM が実現する情報伝搬現象の性質が同一であることを確認した. また, 好奇心の概念を導入した MOSM 上であるパラメータで情報の多様性を維持する情報伝搬現象が実現されることを示した.

今後の課題として, 多様性を維持する情報伝搬現象を実現するパラメータや相転移状態はネットワークごとに差異が存在することから, パラメータの値についてネットワーク構造に依存しない統一的なルールを見つけてあげられる.

参考文献

- [Albert 02] Albert, R. and Barabási, A.-L.: Statistical mechanics of complex networks, *Reviews of modern physics*, Vol. 74, No. 1, p. 47 (2002)
- [Aminian 87] Aminian, K., Ameri, S., Beg, N., and Yost, A.: Predicting Gas Well Performance Under Altered Conditions., *Society of Petroleum Engineers of AIME, (Paper) SPE*, Vol. 2, (1987)
- [Claude E. Shannon 48] Claude E. Shannon, : A Mathematical Theory of Communication, *Bell System Technical Journal*, Vol. 27, No. July 1928, pp. 623–656 (1948)
- [Easley 10] Easley, D. and Kleinberg, J.: *Networks, crowds, and markets: Reasoning about a highly connected world*, Cambridge University Press (2010)
- [Glington] Glington, R., Scerri, P., and Sycara, K.: An Investigation of the Vulnerabilities of Scale Invariant Dynamics in Large Teams, Technical report
- [Glington 09] Glington, R., Scerri, P., and Sycara, K.: Towards the Understanding of Information Dynamics in Large Scale Networked Systems, *Information Fusion (FUSION)*, 2009, pp. 794–801 (2009)
- [Glington 10] Glington, R., Scerri, P., and Sycara, K.: Exploiting scale invariant dynamics for efficient information propagation in large teams, in *Proceedings of the 9th International Conference on Au-*

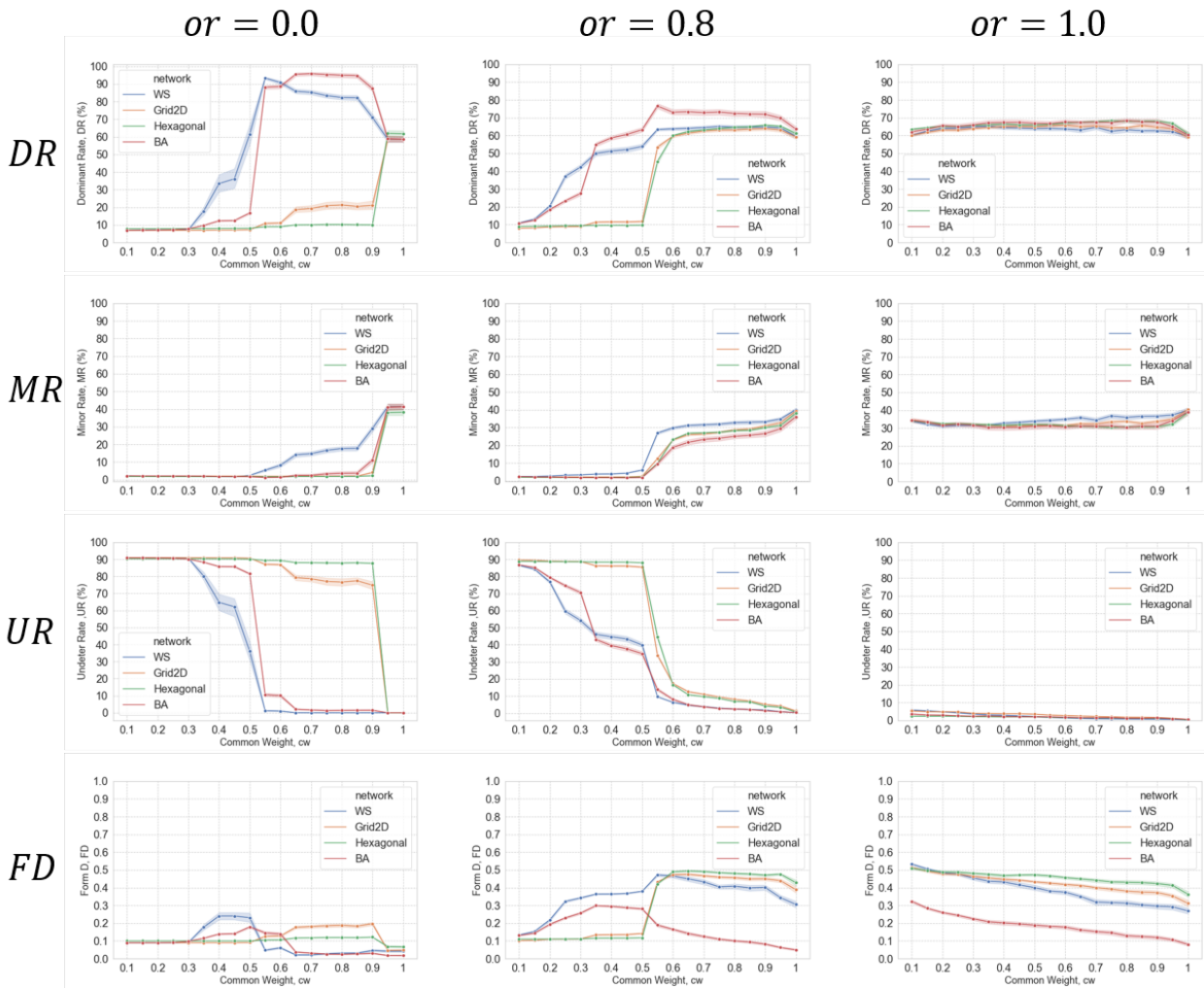


図 3: 好奇心率 $or \in \{0.0, 0.8, 1.0\}$ の時の cw の変化と情報伝搬の関係

tonomous Agents and Multiagent Systems, pp. 21–30 (2010)

[Prymak 11] Prymak, O., Rogers, A., and Jennings, N. R.: Efficient Sharing of Conflicting Opinions with Minimal Communication in Large Decentralised Teams, in *Workshop on Link Analysis in Heterogeneous Information Networks (IJCAI-11)*, p. 8 (2011)

[Russell 16] Russell, S. J. and Norvig, P.: *Artificial intelligence: a modern approach*, Malaysia; Pearson Education Limited, (2016)

[Watts 98] Watts, D. J. and Strogatz, S. H.: Collective dynamics of ‘small-world’ networks, *nature*, Vol. 393, No. 6684, p. 440 (1998)