

セマンティックな確率的P2Pルーティングの提案

Semantic Probabilistic Routing for Peer-to-Peer System

森下 広史*¹ 河野 浩之*²
Hiroshi MORISHITA Hiroyuki KAWANO

*¹南山大学大学院 数理情報研究科
Graduate School of Mathematical Sciences and Information Engineering, Nanzan University

*²南山大学 数理情報学部
Faculty of Mathematical Sciences and Information Engineering, Nanzan University

P2P systems require semantic attributes of contents with flexibility and adaptability. We propose a semantic routing algorithm to optimize network topology autonomically. In this paper, we apply probabilistic routing algorithm to semantic characteristics of contents in peer-to-peer network. We evaluate our proposal semantic probabilistic routing algorithm to decrease traffic with maintaining search performance. Our proposal algorithm shows network stability and makes clusters with peers having same preference.

1. はじめに

P2Pシステム [Stephanos 04] は、資源を共有する目的でネットワークポロジの自己組織化が可能なノードの相互連結で成り立つ分散システムである。また、ピア型のP2Pシステムは管理構造の欠如のために検索効率の低さや不安定な構造などの問題点を抱えている [John 04]。

本研究では、ピア型のP2Pシステムがクエリーをブロードキャストすることによるトラフィックの増大を抑制することを目的として、意味的な手法に基づいて効率の良いピアの検索やP2Pオーバレイネットワークの組織化を達成する。

2章では、P2Pシステムにおけるネットワークの制御について述べる。また3章では、セマンティックベースのクエリーによる組織化の手法を提案する。そして4章では、提案した手法についてシミュレーションによる実験とその評価を述べる。5章でネットワークの組織化について述べ、6章でまとめる。

2. P2Pシステムの構造化手法

2.1節はインデックス指向で構造化した手法を2.2節ではセマンティック指向で構造化した手法を述べ、これらのP2Pシステムの制御手法を表1にまとめる [Stephanos 04, John 04]。

2.1 インデックス指向 P2P システム

インデックス指向による構造化手法は、効率、回復力、柔軟性などが設計の関心事となる。P2Pネットワークの代表的なシステムとして、チェーンモード伝播 (chain mode propagation) による Freenet や分散ハッシュテーブル (Distributed Hash Table, DHT) に基づく Chord, CAN, Tapestry, Pastry などがある。また、制御を目的としたサーバを媒体としてクライアントであるピア間での通信を行うハイブリッド型や各ピア間で独立して通信を行うピア型などがある。また、システム内のスーパーピアと呼ばれる一部の特別なピアがサーバとしての側面を持ち、制御のための特別な動作を行う。ただし、このスーパーピアは、ハイブリッド型システムにおけるサーバのような問題を抱える。

連絡先: 河野浩之, 南山大学数理情報学部情報通信学科, 愛知県瀬戸市せいれい町 27, 電話 (0561) 89-2000 (Ex. 6301), FAX: (0561) 89-2082, Mail: kawano@it.nanzan-u.ac.jp

構造化手法		例
インデックス指向 P2P システム		
チェーンモード伝播		Freenet
DHT	関連フィンガーテーブル	Chord
	n次元の座標空間	CAN
	plaxton メッシュ	Tapestry
		Pastry
		Kademlia
セマンティック指向 P2P システム		
トピックベース	トピック階層	SONs
	ローカルインデックス	RIs
JXTA	RDF ベース	Edutella
	SWAP	REMINDIN'
		INGA

表 1: P2P システムの分類

2.2 セマンティック指向 P2P システム

Semantic Overlay Network (SON) [Arturo 03] は、コンテンツの意味的な関連に基づくピアによって形成される。クエリーを適切な SONs に伝送することにより、検索式を満たすファイルをより高速に見つけ出し、無関係なコンテンツを持つノードの負荷を軽減する。また、Routing Indices (RIs) [Arturo 02] は、返答を得るために適当な隣接ピアにクエリーを転送する。RIs について、compound RI (CRI), hop-count RI (HRI), exponential RI (ERI) を提案し、ERI と HRI における著しい改善が示される。

そこで、P2P システムでセマンティックが欠如するという問題を解決するために、JXTA プラットフォームに基づく P2P システムである Edutella では、P2P アプリケーションにおいてメタデータを交換し合うために RDF ベースのインフラを提供する拡張が行われている。Edutella Query Service は、分散した RDF リポジトリにストアされる RDF メタデータのためのクエリー交換メカニズムである。

また、SWAP (Semantic Web and Peer-to-Peer)*¹ は、Edutella と類似した機能性を提供する。SWAP プロジェクトは、セマンティックウェブ技術と P2P パラダイムを結合することに

*¹ <http://swap.semanticweb.org/>

よって、この問題を克服することを目的とする。この SWAP プラットホームのために、REMINDIN'(Routing Enabled by Memorizing INformation about Distributed INformation) アルゴリズムが提案されている。これは、3 つ組のクエリーに基づく既知のピア集合から 2 つのピアを選択して、ネットワークのフラッディングを回避する。また、クエリーを転送して、クエリーの返答に成功したピアに関する知識を評価と保持する。INGA(Interest-based Node Grouping Algorithms) [Alexander 05, Alexander 07] は存在するルーティングアルゴリズムと異なり、応答と対照でインデックス化情報を確立するピアを経由するクエリーを使用する。また、転送する目的で、インデックス情報を評価するための意味的な情報を使用する。加えて、インデックス更新のために意味的な情報を使用する。

2.3 構造化に関する課題

P2P システムの制御手法について、セマンティックな関係を考慮する手法が考案されているが、検索効率の向上に対してトラフィックを低減させる効果は十分ではない。そこで、本稿ではトラフィックの低減について検討する。また、知識のローカルな集合を利用する場合に、オーバレイネットワークの変化やユーザの興味や嗜好が変化する状況に対応する必要がある。そのため、P2P ネットワークにおける柔軟で適応的でスケーラブルなネットワークの構築及び制御手法が要求される。

3. P2P ネットワーク組織化アルゴリズム

確率的ルーティングは、ピアの接続状態に応じた乱数を用いてパケット送出を確率的に行うことで、トラフィックを低減する。しかしながら、コンテンツや検索式の偏りを考慮していないため、全体的に検索効率を低下させる問題がある。

本研究では、ユーザの興味や嗜好に基づいた意味的なルーティングの制御を行う。ここでは、確率的ルーティングをユーザの嗜好に関する情報に基づいて拡張する。そして、クエリーの応答が得られる可能性が高いピアと積極的に通信できる動的なネットワークの組織化を図るメカニズムを提案する。

3.1 セマンティックなルーティング制御

図 1 に、我々の提案するセマンティックな確率的ルーティングが行われる様子を示す。クエリーの応答率に応じて分配した

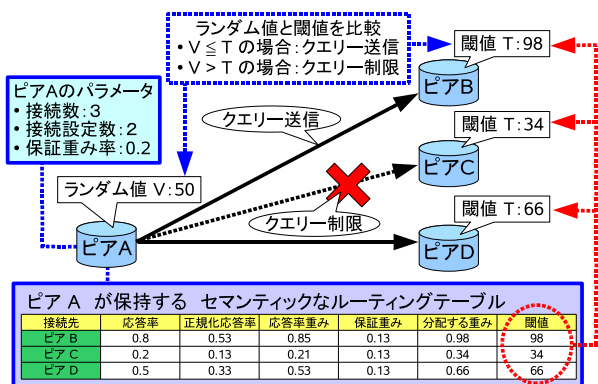


図 1: セマンティックな確率的ルーティング

重みから閾値を決定して、その閾値とランダム値を比較してクエリーの送信や制限を行う。これらのランダム値 V と閾値 T は、それぞれ $0 \leq V \leq 100$ と $0 \leq T \leq 100$ となるように正規化した値である。また、クエリーの応答が多く得られたピアを優先するように重みを分配する。

図 1 では、ピア A がピア B, ピア C, ピア D の 3 つのピアと接続しており、接続数が 3 である。例えば、トラフィック量に低下させるために、接続設定数 2 を用いて確率的に接続数を減少させる。

ここでピア A は、ピア B, C, D に対する情報をセマンティックなルーティングテーブルとして保持する。ピア A がピア B, C, D から得られたクエリーの応答率を、それぞれ 0.8, 0.2, 0.5 とする。この応答率を 3.2 節に述べる正規化を用いて、ピア B, C, D の正規化応答率を、それぞれ 0.85, 0.21, 0.53 とする。

分配する重みは、正規化した応答率に基づいて分配される応答率重みと各ピアに均等に保証される保証重みを加算することで構成する。図 1 では、接続設定数が 2 であり、保証重み率が 0.2 となり、応答率重みが 0.8 となる。これより、保証重みは、接続設定数 2 と保証重み率 0.2 から 3 ピアで均等に分配されるので、 $2 \cdot 0.2 \cdot \frac{1}{3} = 0.13$ とする。また、ピア B の応答率重みは、 $2 \cdot (1 - 0.2) \cdot 0.53 \approx 0.85$ となる。したがって、分配する重みは、応答率重みと保証重みより、ピア B では $0.85 \cdot 0.13 = 0.98$ となり、閾値を 98 とする。

ここで、ピア A のランダム値 V が 50 とし、ピア B, C, D の閾値 T が、それぞれ 98, 34, 66 とする。 $V \leq T$ を満たすピアのみにクエリーを送信するので、ピア B とピア D にはクエリーを送信して、そうでないピア C にはクエリーを制限する。このようにすることでネットワークのトラフィックの低減を図る。

3.2 ルーティングアルゴリズム

本節では、セマンティックな確率的ルーティングを行う以下のアルゴリズムを提案する。

確率的セマンティックルーティング

[Step 1]

ピアが接続しているピア数である接続数 N とトラフィックの総量に基づく仮想的なピアの接続数である接続設定数 N_S を設定する。学習のために、送信数 $querySend$ と最低送信数 $testQuery$ を比較する。 $querySend > testQuery$ なら [Step 2] へ、 $querySend \leq testQuery$ なら [Step 6] へ進む。

[Step 2]

N_S から $\sum_N W$ と $\sum_N R$ を分配する (式 (1))。 N_S について $\sum_N W$ と $\sum_N R$ の関係は、 $0 \leq a < 1$ とすると、 $N_S \cdot a = \sum_N W$ と $N_S \cdot (1 - a) = \sum_N R$ である。

保証重み W について式 (2) で与える。また、あるピアに対するクエリー送信数 $querySend$ と、そのピアから得られたクエリーの応答数を $queryHit$ とすると、そのピアの応答率は式 (3) で与えられる。ここで、正規化した応答率を h_n とすると、 R は各ピアの h_n に基づいて分配する応答率重みである (式 (4))。

$$N_S = \sum_N W + \sum_N R \quad (1)$$

$$W = \frac{N_S}{N} \cdot a = \frac{(N_S \cdot a)}{N} \quad (2)$$

$$h = \frac{queryHit}{querySend} \quad (3)$$

$$R = \{N_S \cdot (1 - a)\} \cdot \left(\frac{h}{\sum_N h} \right) = N_S \cdot (1 - a) \cdot h_n \quad (4)$$

[Step 3]

上限値 L は、確率的にルーティングの制限を扱うために、 $L = 1$ とする。 T が L に等しくなる基準の値を基準値 D とする (式 (5))。また、 h_n の最大値を h_{max} とする。 h_{max} が D より大きな値である場合は、 T が $L (= 1)$ より大きな値となるので、重みの分配を修正する必要がある。 $h_{max} \leq D$ なら [Step 4] へ、 $h_{max} > D$ なら [Step 5] へ進む。

$$D = L \cdot \frac{1}{N_S \cdot (1-a)} - \frac{N_S}{N} \cdot a \cdot \frac{1}{N_S \cdot (1-a)}$$

$$= \frac{L}{N_S \cdot (1-a)} - \frac{a}{N \cdot (1-a)} \quad (5)$$

[Step 4]

保証重み W と応答率重み R から閾値 T を設定する (式 (6))。

$$T = W + R \quad (6)$$

[Step 5]

$h_{max} > D$ のとき、 W の値を増加させることで、 T を L 以下の値とする。式 (7) で L と h_{max} の関係を与え、式 (8) で修正する保証重み W_r を示す。式 (1) より、 W が増加すると R は減少する。これより、 T は L を越えない値に修正される (3.3 節の図 2 を参照)。閾値 T は、 $T = W_r + R_r (R_r = N_S - W_r)$ とする。

$$(N_S - N \cdot W_r) \cdot h_{max} + W_r = L (= 1) \quad (7)$$

$$W_r = \frac{L - N_S \cdot h_{max}}{1 - N \cdot h_{max}} \quad (8)$$

[Step 6]

$V \leq T$ を満たすピアにクエリーを送信する。また、 $V > T$ なら [Step 7] へ進む。

[Step 7]

終了

3.3 重みの正規化

本研究で提案するセマンティックな確率的ルーティングでは、均等に保証されている重みについて、応答率重みに対する保証重みの分配量を調整する。図 2 は、分配した重みから閾値を設定する様子を示す。図 2 では、分配した重みが上限の値となる

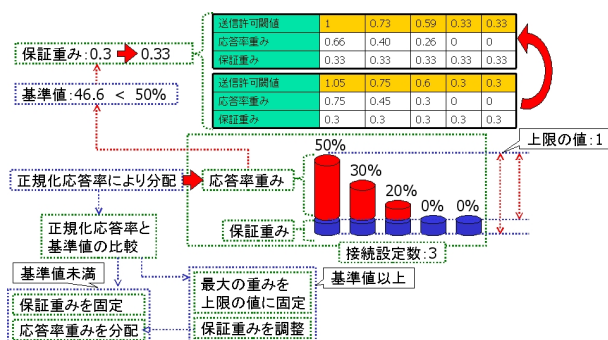


図 2: 確率的ルーティングに適用する閾値の調整

1 を超えた場合に、確率と対応させるために閾値を調整する。図 2 の各ピアに保証重みが 0.3 と与えられているが、分配された

応答率重みが 50% のピアは応答率重みが 0.75 となり上限値を超える 1.05 となる。ここで、各ピアの保証重みを 0.3 から 0.33 に修正することで、応答率重みの総量を減らし、応答率重みが 50% のピアの応答率重みを 0.66 とする。このように、分配される重みが最も大きくなるピアの重みは上限値を超えず、最大でも 1 となるようにする。実験では、 $N_S = \sum_N W + \sum_N R$ であり、 $0 \leq a < 1$ として、 $N_S \cdot a = \sum_N W$ と $N_S \cdot (1-a) = \sum_N R$ とするとき、 a を 0, 0.2, 0.5, 0.8 のように値を変化させ、重みのバランスを変える。

4. 確率的セマンティックルーティングの評価

4.1 エミュレーション実験

我々は、5 台の PC を用いてエミュレーションによる実験を行った [森下 06]。ピアは 8 種類のキーワードから 3 から 5 種類を選択し、送信するクエリー数は 5,000 である。ピアはクエリーに含むキーワードを保持し、クエリーを受信したピアは保持するキーワードが同じ場合にクエリーの応答を返す。ここでは、反応速度や帯域幅などの調整は行っていない。実装では、Gnutella に関する日本語サイトである jnutella *2 で提供されている "GTKt(Gnutella Tool Kit)" を利用する。GTKt は、Gnutella のプロトコル部分から成る Java 言語のライブラリである。

図 3 は、ある PC が他の 4 台の PC から得られた応答率を正規化してグラフに示したものである。図 3 では、共通のキー

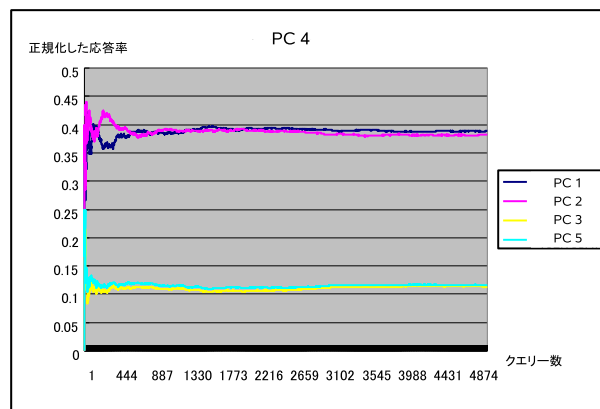


図 3: 正規化した応答率の測定

ワードの多い PC1 と PC2 に対して正規化した応答率が高く、また、異なるキーワードをもつ PC3 と PC5 に対する正規化した応答率は低くなっている。したがって、提案するアルゴリズムの閾値が効果的に作用していることが分かる。

4.2 シミュレーション実験

次に、ピア数を 1,000 とするシミュレーション実験を行った。まず、図 4 では、ピア数を 1,000 とし、 a の値をそれぞれ 0, 0.2, 0.5, 0.8 として実験を行った。また、クエリー数は 500,000 とし、クエリー 1,000 回毎に興味の変化と、クエリー 100 回毎に接続リンクの調整を行っている。ピアは 10 種類のキーワードから 3 種類を選択して、興味の変化では再度キーワードを選択する。ピアはクエリーに含むキーワードを保持し、クエリーを受信したピアは保持するキーワードが同じ場合にクエリーの応答を返す。この結果、ピアは次第に高い応答数を得られていく様子が見られる。図 4 で、グラフの初期の

*2 <http://www.jnutella.org>

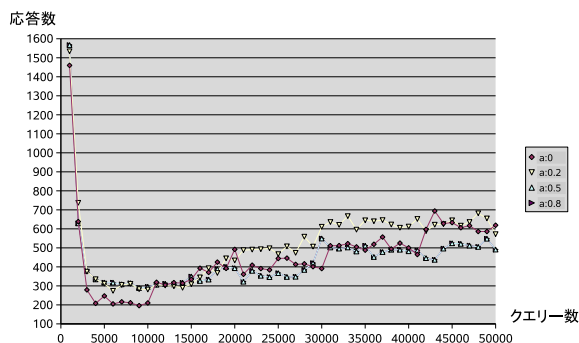


図 4: クエリーの応答数の推移

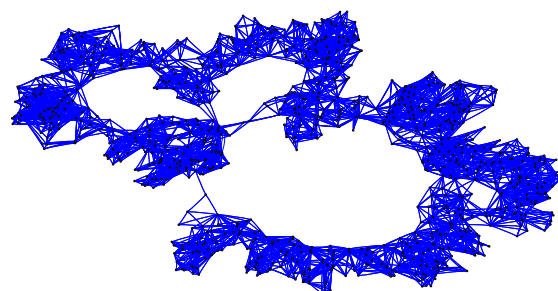


図 8: 1000 ピアのネットワークのクラスタ化

値が高くなっている理由は、クエリー学習の初期化のために、初めのクエリー 100 回の送信を常に許可したためである。以上により、我々の提案するアルゴリズムは、ピアの保持する嗜好がセマンティックな性質を持ち、提案するセマンティックな確率的ルーティングが効果的であることが分かる。

5. ピアのクラスタ化

本研究で提案した手法を用いたピアのクラスタ化を図 6, 図 7, 図 8 に示す。ここでは、“Pajek_A software for large network analysis”^{*3} を用いて組織化したネットワークの様子を示す。

まず、図 5, 図 6, 図 7 は、ピア数を 100 としたオーバーレイネットワークである。ここで、クエリー数を 5,000 とし、クエリー 500 回毎に興味の変化と、クエリー 50 回毎に接続リンクの調整を行う。実験は、図 5 で示すようにオーバーレイネットワークでピアを環状に接続して開始した。実験によりオーバーレイネットワークを組織化した結果、図 6 に示すオーバーレイネットワークのように変化する。

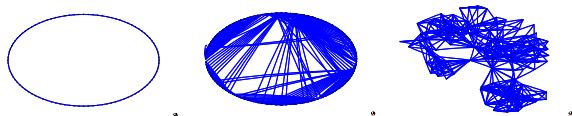


図 5: 実験前 図 6: 実験後 (1) 図 7: 実験後 (2)

ここで、“Pajek”の機能である Kamada-Kawai のアルゴリズムによる配置によって組織化したオーバーレイネットワークの調整をした結果が図 7 である。

図 8 は、ピア数を 1,000 としたオーバーレイネットワークである。クエリー数は 500,000 とし、クエリー 1,000 回毎に興味の変化と、クエリー 100 回毎に接続リンクの調整を行った。上記のネットワークと同様に、ピアを環状に接続して開始して、“Pajek”の機能によって組織化したオーバーレイネットワークが図 8 であり、ピアがクラスタ化されていることが分かる。

6. むすび

本研究では、P2P 環境下のセマンティックな確率的ルーティングアルゴリズムを提案し、ピアのクラスタ化によるトラフィック低減を確認した。

提案手法は、分配する重みの総量がトラフィック量に結びつくので、トラフィックの低減のために分配する重みの総量を減

らしすぎってしまう場合に、クエリーの送信が十分に行われな可能性ある。したがって、今後、トラフィックの低減量と分配する重みの総量の関係の評価する必要がある。

また、クエリーの送受信のみによって重みの分配は決定されるので、他の P2P システムに対して適応的であると考えられる。さらに、オープンディレクトリやドキュメントのローカルコレクションやローカルグラフなどに対して、どの程度適応することができるかは今後の課題である。

参考文献

- [John 04] John, R., Tim, M.: Survey of Research towards Robust Peer-to-Peer Networks, Search Methods, Technical Report UNSW-EE-P2P-1-1, University of New South Wales, 2004.
- [Stephanos 04] Stephanos, A., Diomidis, S.: A Survey of Peer-to-Peer Content Distribution Technologies, ACM Computing Surveys, Vol. 36, No. 4, pp. 335-371, 2004.
- [Arturo 03] Arturo, C., Hector, G.: Semantic Overlay Networks for P2P Systems, Technical report, Computer Science Department, Stanford University, 2003.
- [Arturo 02] Arturo, C., Hector, G.: Routing indices for peer-to-peer systems, In Proceedings International Conference on Distributed Computing Systems, pp. 23-34, 2002.
- [Alexander 05] Alexander, L., Christoph, T., Bastian, Q., Wolf-Tilo, B., Steffen, S., Wolfgang, N.: Searching Dynamic Communities with Personal Indexes, in 3rd. Int. Semantic Web Conference (ISWC), 2005.
- [Alexander 07] Alexander, L., Steffen, S., Christoph, T.: Semantic Social Overlay Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 25, No. 1, pp. 5-14, 2007.
- [森下 06] 森下広史: 自己組織化 P2P ネットワークシステムの構築, 南山大学 数理情報学部 情報通信学科 2005 年度 卒業論文, <http://www.seto.nanzan-u.ac.jp/msie/gr-thesis/it/proc/2005/02mt052.pdf>, (accessed 2007.4), 2006.

*3 <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>