

## 情報環境の変化に対応した複数の動的エージェントによるネットワーク内情報共有（継続）

研究代表者 菅原真司 名古屋工業大学 大学院 工学研究科 准教授

### 1 はじめに

近年、通信端末の高性能化やネットワークの高速化などにより、音楽や動画などの様々なデジタルコンテンツが広く普及した。それに伴い、ネットワーク上のコンテンツの大容量化や多様化が進み、ユーザが効率的にコンテンツを検索するシステムが必要となっており、現在では端末同士が対等な立場で接続するPeer-to-Peer (P2P) ネットワークを用いたコンテンツ共有が有望視されている。これはネットワークに接続するピアと呼ばれる各端末が、対等な立場で互いに直接情報を交換する通信方式であり、クライアントであるユーザが常に特定のサーバを介して通信を行うクライアント・サーバ方式に比べ、耐故障性やスケーラビリティにおいて優れるといった特徴がある。また、P2P ネットワークを用いたコンテンツ共有では、サーバを利用するかどうかによってハイブリッド型P2Pネットワークとピュア型P2Pネットワークに分類することができる。ハイブリッド型P2Pネットワークでは、インデックス情報を中央のサーバで一括して管理することで、目的のコンテンツを検索できる。しかしその反面、サーバに故障があった場合には、システム全体が停止してしまうというような耐故障性の問題、あるいは、ネットワークの規模によってはインデックス情報や、その処理が肥大化するというようなスケーラビリティの問題が生じる。それに対し、ピュア型P2Pネットワークでは、インデックス情報の保持や様々な処理を各ピアが平等に分担するため、上記のような問題は起きにくい。しかし、目的のコンテンツを検索する場合にサーバが存在しないため、自身と隣接しているピア（以降、隣接ピアと呼ぶ）にクエリと呼ばれるメッセージを転送し、何回かの転送の末にクエリを受信したピアが目的のコンテンツを保持している場合のみ、これを検索することが可能となるが、無作為なクエリの転送は効率的なコンテンツの検索方法とは言い難い。そこで、これまでにネットワークトポロジやコンテンツ配置に構造的な制約を与える構造化P2Pネットワークと制約を与えない非構造化P2Pネットワークの双方において、その解決策が検討されている。構造化P2Pネットワークでは、Chord [1] や CAN [2] などのように分散ハッシュテーブルを用いることで、クエリを転送する構造をあらかじめ準備している。これにより、目的のコンテンツを高精度に検索でき、ネットワーク負荷を抑制することが可能であるという利点がある。しかし、ピアの加入・離脱などが断続的に発生し、動的に変化するネットワークでは、運用コストが増加することや、ハッシュ関数を用いるためキーワードの部分一致検索には不向きであることなどが問題である。それに対し、非構造化P2Pネットワークでは、Gnutella [3] や Freenet [4] などのようにネットワークトポロジやコンテンツ配置に制約を与えないため、特別な構造を持たないネットワーク上でも利用でき、部分一致検索など汎用性のある検索が可能であるという利点がある。しかし、クエリ数の増加によってネットワーク負荷が大きくなることや検索精度が低下する問題がある。

そこで筆者らは、平成22年度の電気通信普及財団の研究助成を戴き、より設計、実装の簡単なハイブリッド型P2Pネットワーク上で複数の動的エージェントを用いた効率的なコンテンツ共有手法についての研究を行った。この手法では、複数の動的エージェントがネットワーク内を巡回し、ネットワークトポロジや、各ピアのコンテンツの保持状況などを常に把握しておくことで、コンテンツ要求を適切なピアに誘導する点に特徴があった。計算機シミュレーションを用いた評価では、提案方式は十分な有効性を示したが、さらなる改善の余地が見られたため、平成23年度も継続して本研究を行わせて戴けることとなった。

本継続研究（これ以降、本研究）では、前年度までのハイブリッド型P2Pネットワークから、ピュア型の非構造化P2Pネットワークを前提としたモデルに条件のハードルを上げ、複数のエージェントがネットワーク内を巡回し、探索したリンクとコンテンツ情報を各ピアに伝搬させることで、クエリ転送を効率化する手法を提案する。提案手法では、エージェントの探索した情報を基に、各ピアが目的とするコンテンツの検索に最適な経路でクエリを転送することで、検索精度を高く維持しつつ、それに要するネットワーク負荷を抑制する。各ピアは、クエリ転送によるコンテンツ検索の結果（成否）を数多く知ることにより、最適なクエリ送信経路に関する知識を常に修正し続け、より精度の高いコンテンツ検索が行えるようになる。

これ以降の本報告の内容は以下の通りである。まず2において本研究と関連する研究について述べ、次に3において動的エージェントを用いた効率的なクエリ転送に関する提案と評価結果を示す。最後に4で本研究全体の総括を行う。

## 2 関連研究

本稿で前提としている非構造化 P2P ネットワークにおける 関連研究として、文献 [5]– [10] を挙げる。

まず、Gnutella に用いられているフラッディング方式 [5] では、コンテンツを要求するピア（以降、要求ピアと呼ぶ）が隣接ピアにクエリを転送し、クエリを受信したピアがコンテンツを所有していない場合、Time To Live (TTL) によって制限された転送回数まで隣接ピアにクエリを転送することを繰り返す。また、コンテンツを所有している場合、クエリが転送された経路を逆順にたどることで要求ピアにコンテンツを送信する。フラッディング方式では、TTLによって設定されたホップ数の範囲内のピアすべてにクエリを転送するため、クエリがネットワーク内に大量に発生することや、一つのクエリによって目的のコンテンツを発見しても他のクエリは転送を続けるため、ネットワーク負荷の増加につながるものが問題となる。さらにこの方式ではTTLで設定した範囲までしかクエリが転送されないため、範囲外のコンテンツを検索することができず、適切なTTLを設定する必要がある。

次にDirect Index (DI) と呼ばれる手法が文献 [6] で提案されている。この手法では、各ピアが他のピアの位置とその有用度を記述したDIを保持し、コンテンツの検索時には有用度の大きいピアにクエリを転送する。ここで有用度とは、各コンテンツのアクセス頻度と、その更新からの経過時間によって決定された値で、この値が大きいピアほど要求ピアにとって有用なピアであると判断できる。また、各ピアはDIを最新の状態に維持するため、互いに一定時間ごとに自身の保持するDIの情報を隣接ピアに送信し、古い情報は更新する。そのため要求ピアが目的のコンテンツを効率的に発見できるが、DI を更新するためにネットワーク負荷が増加するという問題がある。

また、Adaptive Probabilistic Search (APS) と呼ばれる手法が文献 [7] で提案されている。APSでは、図1の動作例に示すように、各ピアが隣接ピアに関する indices と value のテーブルを保持する。コンテンツの検索を行う場合、隣接ピアの中からクエリを転送するピアを決定する。ただしピアは自身が保持するテーブルを参照し、value が大きいリンクほど選択確率を高くする。テーブルの更新に関しては、ピアがクエリを転送する際に、まず自身が保持するテーブルの各 value を一律 10 減少させ、次いでコンテンツを検索できた場合のみクエリが転送された経路を逆順にたどることで、その経路に含まれるリンクの value をそれぞれ 20 増加させる。図2に具体的な動作例としてピア A がピア C にクエリを転送する場合を示す。ここでコンテンツの検索が成功した場合には、ピア A からピア C の value のみ増加し、その他は減少する。一方、コンテンツの検索が失敗した場合には、すべての value が減少する。このように APS では、コンテンツの検索が成功したリンクほどクエリが転送される確率が高くなり、逆にコンテンツの検索が失敗したリンクはクエリが転送される確率が低くなる。そのため従来のフラッディング方式と比較して、検索精度を高く維持しつつ、クエリ数を抑制することが可能となる。

上記の各手法では、検索精度を向上させ、それに要するコストを抑制することが可能であるという結果が示されているが、ピアの加入・離脱によりネットワークが変動する状況において、それぞれの手法には改善すべき問題が残されており、例えば、DI に関して最新の状態に更新するための運用コストが増加することや、今まで保持していた情報が正しくなくなった場合に障害が生じることなどが挙げられる。そこで本研究では、コンテンツの検索精度を高く維持し、それに要するコストを抑制すると同時に、上記の問題点を改善するためネットワーク内を巡回する複数のエージェントを用いたクエリ転送手法を提案する。

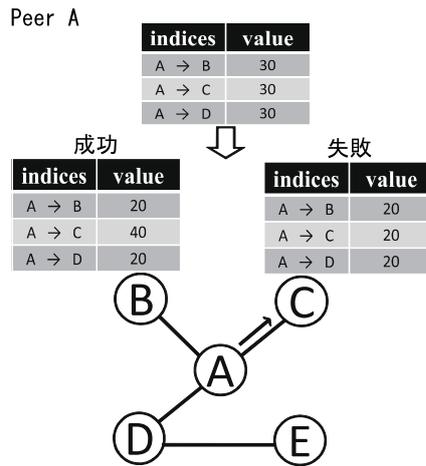


図 1 APS の動作例

### 3 動的エージェントを用いた効率的なクエリ転送

#### 3-1 提案手法の概要

本研究では、非構造化 P2P ネットワークにおいて関連研究で述べた APS のクエリ転送手法を参考とし、動的エージェントによる効率的なクエリ転送手法を行うことでネットワーク内の状況を把握する手法を提案する。具体的には、ネットワーク内を巡回する複数のエージェントが探索したリンクとコンテンツ情報（以降、探索情報と呼ぶ）を基に各ピアが保持する indices と value のテーブルを更新する。ここでエージェントとはネットワーク内のピア間を自由に移動可能なプロセスのことを示す[11]。図 2 に提案手法の概要図を示す。APS ではコンテンツを検索する場合に各ピアの indices と value のテーブルを参照し、検索成功の可否によって value を更新している。提案手法ではエージェントが巡回によって得られる各ピアの探索情報を保持し、ピア間を移動する度に自身の探索情報を基にしてテーブルを更新して最新の状態を保つことで、検索精度を向上しつつネットワーク負荷を抑制することを可能とする。以下で提案手法について具体的に述べる。

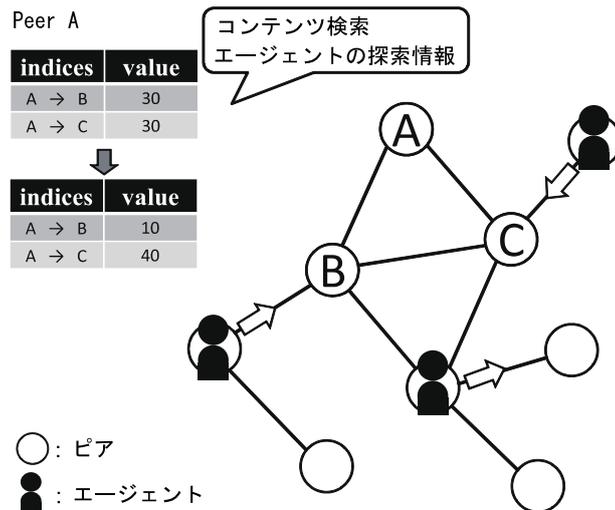


図 2 提案手法の概要図

### 3-2 提案手法の動作

提案手法では、ネットワーク内を巡回する複数のエージェントが自身の探索情報を基にして、現在滞在しているピアから最小のクエリ転送回数でコンテンツを検索できる経路を計算する。そして、その経路に該当するリンクの value を増加させ、その他の value を減少させる。各ピアがコンテンツを検索する場合には、APS と同様に自身の indices と value のテーブルを参照して value が大きいリンクほど選択確率が高くなるようにクエリを転送するピアを決定し、クエリを転送した場合の成功の可否によって value を更新していく。また、コンテンツの検索動作を終了する条件は、定められた TTL が 0 になること、または目的のコンテンツを取得することとする。各エージェントは自身の探索情報として過去  $\alpha$  ホップ数以内の移動によって得られた各ピアのリンクとコンテンツ情報を保持する。これはエージェントがピアを探索してからの時間経過による誤情報の伝搬、及びエージェントが保持する情報量のネットワークコストへの影響（後述）を防ぐことを意図している。以下にエージェントの動作アルゴリズムを示す。

#### <エージェントの動作アルゴリズム>

1. 複数のエージェントをネットワーク内に配置する。
2. エージェントが現在滞在しているピアに対して、他のピアに関する探索情報を保持している場合、各コンテンツを最短で検索可能なピアまでの経路に該当する value を 50 増加させ、その他の value を 10 減少させる。
3. エージェントは現在滞在しているピアに関するリンク情報とピアが保持しているコンテンツ情報を取得する。そして、エージェントが保持する探索情報のうち、探索したピア数が閾値  $\alpha$  ( $\geq 1$ ) を超えていない場合には、新たにピアの探索情報を書き込む。また、探索したピア数が閾値  $\alpha$  を超えている場合には、最も時間経過しているピアの探索情報を削除し、新たにピアの探索情報を書き込む。
4. 探索情報の書き込みが終了したエージェントは次に移動するピアを決定する。各ピアにはエージェントが移動した時刻が記録しており、エージェントが現在滞在しているピアに隣接するピアの中で最後の訪問から最も時間が経過しているピアを移動先として選択する。
5. エージェントは手順 4 で選択したピアに現在までに取得した探索情報を送信し、手順 2 に戻る。

#### <アルゴリズム終わり>

### 3-3 評価

#### (1) 評価方法

本研究では、計算機シミュレーションにより以下の三つの評価尺度を用いて検証する。また比較手法として、関連研究で述べたフラッディング方式とAPSを用いることで手法の有効性を確認する。今回用いた評価方法では、各ピアには予めエージェントが動作するためのプログラムが用意されており、エージェントの移動時に送信する情報は自身が探索した情報のみであるものとする。また、エージェントの初期配置は無作為に決定するものとし、ピアのネットワークからの離脱によるエージェントの消滅は発生しないものとする。

- ・ 検索成功率：  
コンテンツの要求回数に占める、検索が成功した回数の割合。
- ・ ネットワークコスト：  
単位時間あたりのコンテンツの検索に要したコスト。具体的にはクエリの転送に要するコストを 1 とし、エージェントの移動コストは探索したピア数  $\alpha$  に従うものとする。
- ・ 検索効率：  
単位時間あたりの検索成功回数をネットワークコストで割った値。

表1：共通のパラメータ

ネットワーク形態	BAモデルトポロジ
シミュレーション単位時間	5,000
初期ピア数	1,000
ピアの加入・離脱の頻度 $\lambda_{mov}$	0.1
ピアのストレージ容量	10
コンテンツの種類数	30
コンテンツの初期配置数	10
エージェント数	10
エージェントのデータ保有数	3

表2 条件毎に異なるパラメータ

条件1	TTL	3
	コンテンツ要求頻度 $\lambda_{req}$	10~200
条件2	TTL	1~6
	コンテンツ要求頻度 $\lambda_{req}$	100

### (2) シミュレーション条件

シミュレーションの共通パラメータを表1に、条件ごとに異なるパラメータを表2に示す。ネットワークトポロジにはピア数1000のBAモデル[12]を用いた。各ピアには無作為に選択した10種類のコンテンツを保持させ、これをコンテンツの初期配置とした。さらに、ネットワーク上では平均 $\lambda_{mov} (> 0)$ のポアソン分布に従うピア数の加入と離脱が単位時間ごとに発生するものとする。加入するピアは無作為に選択した10種類のコンテンツを保持し、接続する相手ピアはそれが持つリンク数に比例した確率で選択されるものとした。一方、離脱するピアはネットワーク内のすべてのピアから無作為に選択される。離脱したピアと接続していたピアが複数ある場合は、それらの中から無作為に選択された一つのピアと残りのピアが接続することで、ネットワークの分裂が生じないようにするものとする。また、ネットワーク全体に対して単位時間あ

たり平均 $\lambda_{req} (> 0)$ のポアソン分布に従う数のコンテンツ検索要求が発生するものとし、これらの数のピアがネットワーク上から無作為に選択され、選択された各ピアは30種類のコンテンツから自身が保持していないコンテンツを無作為に検索要求するものとした。さらにコンテンツを要求したピアが検索に成功した場合、そのコンテンツを自身のストレージに複製配置する。複製により定められたストレージ容量を超える場合には、オーナー複製配置手法[5]と同様に複製されてからの時間が最も経過しているコンテンツを優先して削除する。

### (3) 結果と考察

図3から図6にコンテンツ要求頻度 $\lambda_{req}$ を10から200まで変化させた場合(条件1)のシミュレーション結果を示す。

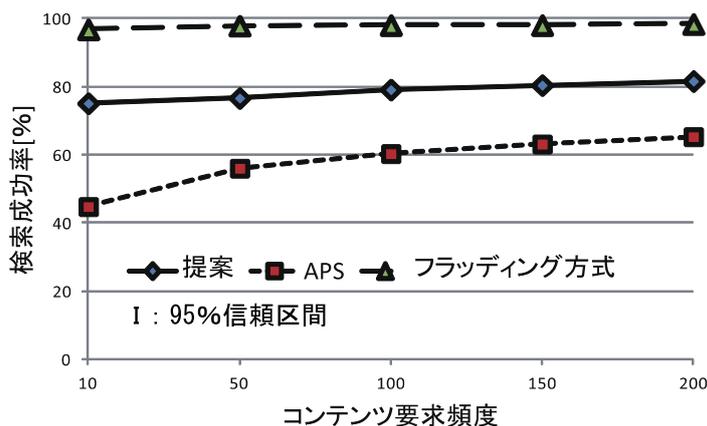


図3 検索成功率とコンテンツ要求頻度の関係 (条件1)

図3に条件1の検索成功率とコンテンツ要求頻度の関係を示す。すべてのコンテンツ要求頻度において、フラッディング方式、提案手法、APSの順に検索成功率が高くなっていることがわかる。フラッディング方式が最も高い検索成功率となる理由は、すべての隣接ピアに対してクエリを転送するため、TTLで定めた範囲内のコンテンツをすべて検索できたことが原因である。また、提案手法がフラッディング方式に次いで高い検索成功率となる理由は、エージェントがネットワーク内を巡回し、各ピアに探索情報を伝搬させることで最適な経路でクエリを転送できたためである。提案手法がフラッディング方式の検索成功率に及ばない理由は、エージェントの探索情報がピアの加入・離脱やコンテンツの複製配置によるネットワーク環境の変化によって誤情報をピアに伝搬させてしまうことがあるため、このような差が生じたと考えられる。しかし、提案手法とAPSを比較した場合、APSではコンテンツの検索時のみテーブルを更新するが、提案手法ではコンテンツの検索時とエージェントの探索情報に従ってテーブルを更新するため、提案手法の方が高い検索成功率が得られることができた。

図4に条件1の各手法に関するネットワークコストとコンテンツ要求頻度の関係、図5に条件1の提案手法とAPSに関する同関係を示す。まず図4から、すべてのコンテンツ要求頻度においてフラッディング方式のネットワークコストが最も大きくなっていることがわかる。これは、フラッディング方式がすべての隣接ピアにクエリを転送するためである。次に図5においてコンテンツ要求頻度が高くなるに従い、提案手法とAPSとの差が小さくなっていることがわかる。これは、提案手法ではエージェントの移動コストがコンテンツの要求頻度に拘らず発生するため要求頻度が低い場合にはその効果を生かしきれないが、要求頻度が高く、最適なクエリ転送によるネットワークコストの削減ができる回数が増加すると、提案方式が有効に動作するためである。

図6に条件1の検索効率とコンテンツ要求頻度の関係を示す。コンテンツ要求頻度が低い場合は、APS、提案手法、フラッディング方式の順に検索効率が高く、コンテンツ要求頻度が高い場合には、提案手法、APS、フラッディング方式の順に検索効率が高いことがわかる。まず、すべてのコンテンツ要求頻度に対してフラッディング方式が最も検索効率が低くなる理由は、すべての隣接ピアにクエリを転送することで最も高い検索成功率を得ることができる反面、ネットワーク上のクエリ数も増加してしまうことが原因である。また、コンテンツ要求頻度が低い場合に提案手法がAPSよりも検索効率が低くなる理由は、提案手法の方が高い検索成功率を得られている反面、それ以上にネットワークコストも大きくなるためである。しかし、コンテンツ要求頻度が高くなるにつれ、提案手法とAPSのネットワークコストの差が小さくなり、この条件の評価では、コンテンツ要求頻度が50以上で逆転している。

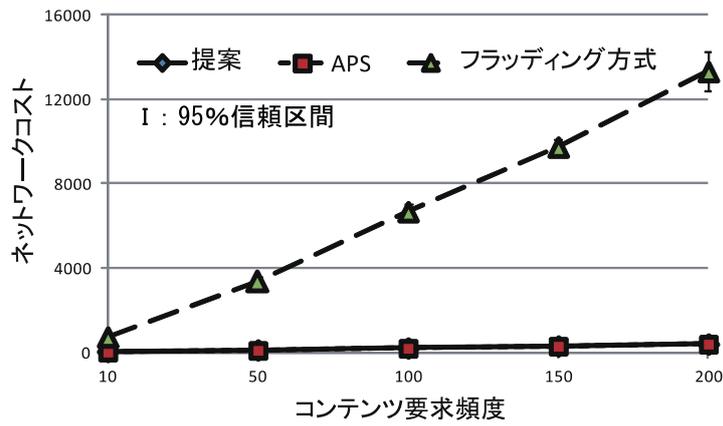


図4 ネットワークコストとコンテンツ要求頻度の関係 (条件1)

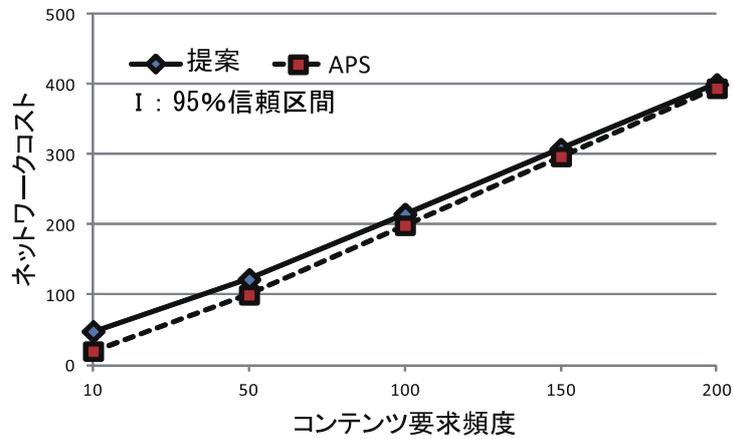


図5 提案手法およびAPSに関するネットワークコストとコンテンツ要求頻度の関係 (条件1)

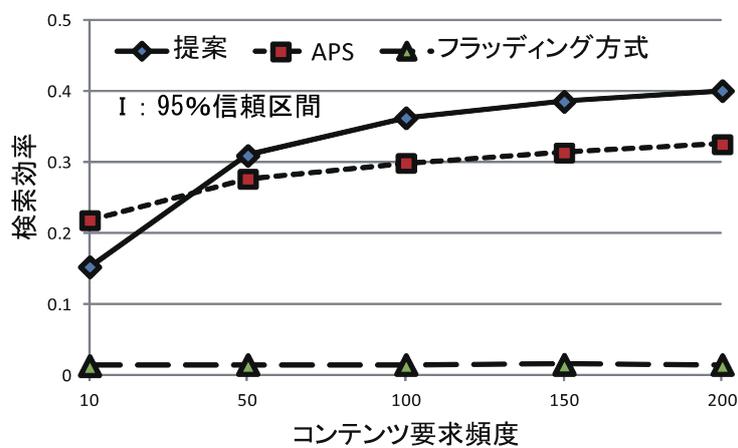


図6 検索効率とコンテンツ要求頻度の関係 (条件1)

図7から図10にクエリ転送の上限回数であるTTLを1から6まで変化させた場合（条件2）のシミュレーション結果を示す。

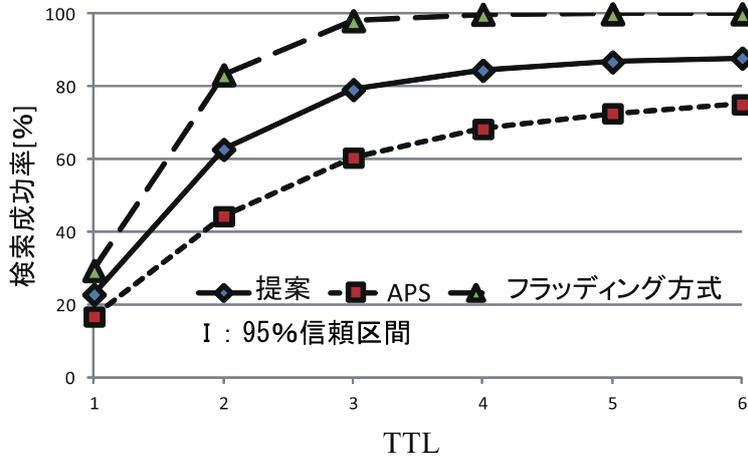


図7 検索成功率とTTLの関係（条件2）

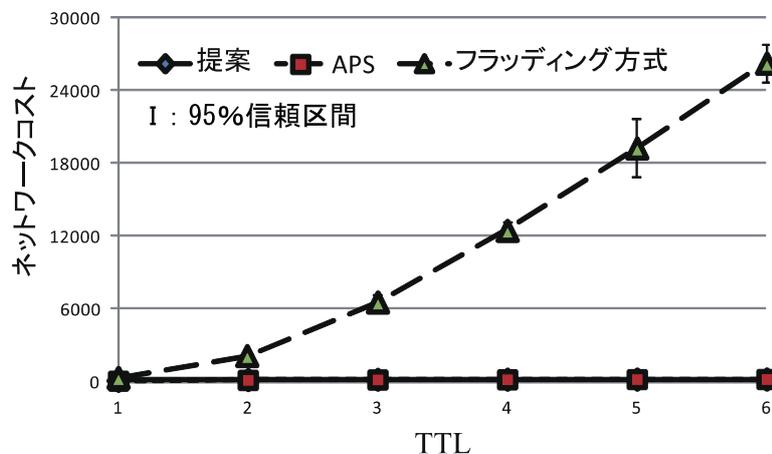


図8 ネットワークコストとTTLの関係（条件2）

図7に条件2の検索成功率とTTLの関係を示す。すべてのTTLにおいてフラッディング方式、提案手法、APSの順に検索成功率が高く、TTLが大きくなるにつれ、各手法の検索成功率が高くなることからわかる。フラッディング方式、提案手法、APSの順に検索成功率が高い理由は、条件1のシミュレーション結果で示した理由と同様である。また、TTLが大きくなるにつれ、各手法の検索成功率が高くなる理由は、クエリを転送できる範囲が広がるためである。TTLが1の場合は、各手法において検索成功率に大きな差は見られないが、TTLが2以上になると、その差が顕著になる。これはTTLが大きくなるにつれ、クエリを転送するピアを選択する方法によって、目的のコンテンツを高精度に取得できる手法とそうでない手法との違いが

生じたためである。

図8に条件2の各手法に関するネットワークコストとTTLの関係、図9に条件2の提案手法とAPSに関する同関係を示す。図8では、TTLが大きくなるにつれ、フラッディング方式のネットワークコストが増加しており、これは隣接ピアにクエリを転送する回数が増加したことが原因である。図9においてTTLが小さい場合は、提案手法のネットワークコストがAPSよりも大きいですが、TTLが大きくなるにつれ、差が小さくなり、ついに両者の値が逆転している。これはTTLが大きく、より遠いピアまでクエリ転送ができる条件では、図5の考察と同様に最適なクエリ転送によるネットワークコストの削減効果が大きく期待できるからである。

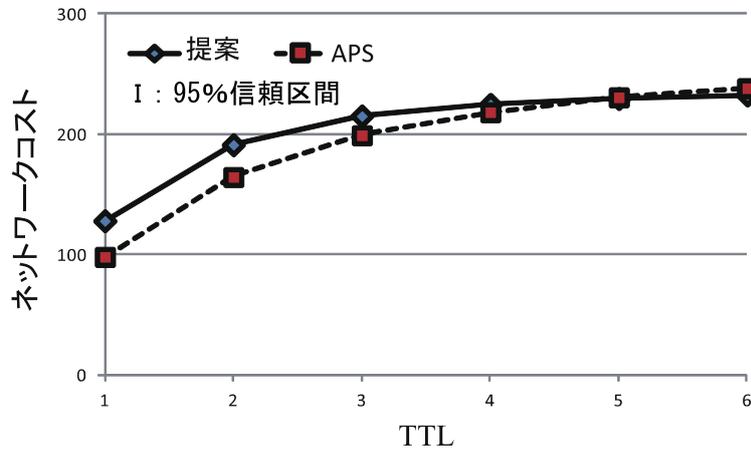


図9 提案手法およびAPSに関するネットワークコストとTTLの関係 (条件2)

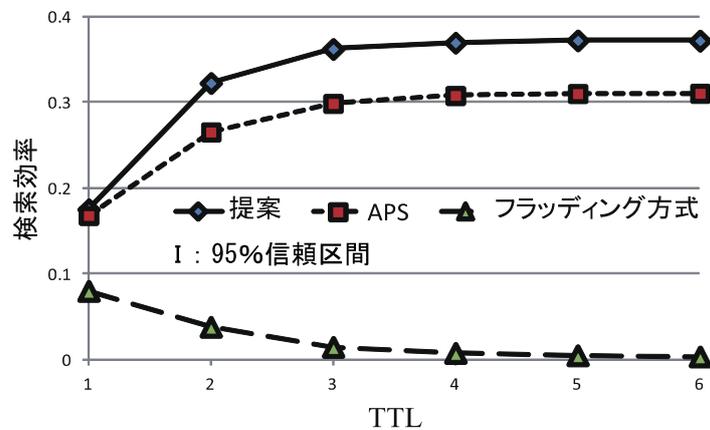


図10 検索効率とTTLの関係 (条件2)

図10に条件2の検索効率とTTLの関係を示す。TTLが1の場合は、提案手法とAPSの検索効率の差はそれほど見られないが、TTLが2以上の場合において、提案手法、APS、フラッディング方式の順に検索効率が高いことがわかる。まずフラッディング方式が最も低い検索効率となっている理由は、条件1のシミュレーション結果で示した理由と同様にすべての隣接ピアにクエリを転送するため、検索成功率を高く維持できる反面、TTLが大きくなることで、それ以上に検索に要するクエリ数が増加してしまうからである。また提案手法とAPSを比較した場合、TTLが1の場合は検索成功率、ネットワークコストの両方とも各手法に差がそれほど見られないため、検索効率の結果も差が見られない。しかしTTLが大きくなると、提案手法が

エージェントの巡回によってテーブルを更新しているため、APSと比較すると高い検索成功率を維持しつつ、少ないクエリ数により検索が成功しているため、両者の検索効率に差が生じたことが原因である。

以上より提案手法は、今回のシミュレーション条件ではコンテンツ要求頻度が高いほど、また TTL が大きいほど検索効率が高いことがわかった。提案手法はエージェントがネットワーク内を巡回し、各ピアに探索情報を伝搬させているため、他の手法と比較して高い検索成功率を維持しつつ、より少ないクエリ数で目的のコンテンツを検索したため、このような結果になったと考えられる。しかしエージェントが保持する探索情報に誤情報が含まれている場合には検索成功率が低下してしまう問題もあるため、改善の余地がある。

### 3-4 むすび

本研究では、各端末が対等な立場で接続する非構造化 Peer-to-Peer ネットワークのコンテンツ共有システムにおいて、複数のエージェントがネットワーク内を巡回し、探索したリンクとコンテンツ情報を各ピアに伝播させることで最適な経路を用いてクエリを転送する手法を提案し、計算機シミュレーションによりその有効性を確認した。

## 4 おわりに

平成 22 年度に電気通信普及財団の研究助成を戴き、ユーザがコンテンツの共有を行う P2P ネットワークにおいて、そのネットワーク内を巡回する複数の動的エージェントを常駐させ、各ピアの接続状況からなるネットワークトポロジ情報と各ピアが所持するコンテンツの情報を常時収集するシステムについて検討を行った。当初はハイブリッド型 P2P ネットワーク上でのネットワーク内情報探索において、全体のネットワークトポロジが未知である環境にあっても、エージェント間の探索状況の共有を効率的に行う方式を求めた。このときの評価で用いた条件下では、提案方式は、比較しているどの方式よりも通信コスト、時間コストを抑制できており、処理コストについてもロック方式やスタンプ方式と同程度に抑制できていた。また、前節の提案方式に対してすべての条件において優越しており、改善の効果が見られた。これにより、戴いた研究助成で目指した当初の予定は達したと思われる。

しかしその後、研究助成期間の終盤になって、ネットワークモデルをハイブリッド型 P2P からピュア型 P2P に変更することで問題を拡張し、ピュア型 P2P の非構造化オーバーレイネットワークにおけるコンテンツ共有を目的として、複数の動的エージェントがネットワーク内を巡回することで、動的に変化するネットワークトポロジとコンテンツの配置状況を継続的に把握し、ユーザの要求に応じて必要なコンテンツの位置情報を提供する機能を実現する手法を提案した。

しかしその時点で筆者らは、この提案が有望なアイデアを含むと認識できたものの、その後の研究を進めるには残りの期間では十分な時間が取れなかったため、平成 23 年度までの研究助成の継続を同財団に申請した。これを認めて戴き、今回の継続研究を行うことができたことに関して、この場を借りて同財団に深い感謝の意を表したい。

平成 23 年度の研究は、繰り返しになるが、ピュア型 P2P の非構造型オーバーレイネットワークにおけるコンテンツ共有を行う方式を提案している。これは、前年度までのハイブリッド型 P2P と比較して、より柔軟で高いスケーラビリティを持つシステムを構築することができる。また、フォールトトレランス性を高く維持できる点も特長のひとつである。そして、このようなシステムを前提として、提案方式では、探索したリンクとコンテンツ情報を各ピアに伝搬させることで、クエリ転送を効率化している。すなわち、エージェントの探索した情報を基に、各ピアが目的とするコンテンツの検索に最適な経路でクエリを転送することで、検索精度を高く維持しつつ、それに要するネットワーク負荷を抑制する。この場合、各ピアは、クエリ転送によるコンテンツ検索の結果（成否）を数多く経験することにより、最適なクエリ送信経路に関する知識を常に修正し続け、より精度の高いコンテンツ検索が行えるようになる。

提案方式の有効性の検証には、計算機シミュレーションを用いた。検索成功率がほぼ 100 パーセントとなるフラッディング方式は、その代償としてネットワークコストが非常に大きくなるため、ネットワークコストが問題にならない特殊な環境を除けば現実的な解とはなり得ない。今回比較した中では、APS が唯一現実的な方式であるが、ネットワークコストではほぼ互角、検索成功率では十分に提案方式の有用性が高い結果となった。また、両者の指標を総合した指標となる検索効率でも提案手法が優れる結果となった。総合的には提案手法は十分に有効であると考えられる。

今回の研究では、情報環境の変化に対応できる情報共有手法を提案するところに大きな狙いのひとつが

あったが、提案手法の有効性の検証では主としてピアの持つコンテンツが大きく変化する環境を考えた。しかし、もう一方の変化要因であるネットワークトポロジの変遷については、前提として与えてあるものの、多くのバリエーションを与えて検証するに至らなかった。そこで今後はそのような点も含めて詳細に提案方式を検証し、さらなる改良を加えてゆく予定である。

## 【参考文献】

- [1] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M. Frans Kaashoek, H. Balakrishnan, “Chord: A Scalable Peer-to-Peer Lookup Service for Internet Applications,” ACM SIGCOMM’ 01, pp. 149-160, Aug. 2001.
- [2] S. Ratnasamy, P. Francis, M. Handley, R. Karp, and S. Shenker, “A Scalable Content-Addressable Network,” ACM SIGCOMM’ 01, pp. 161-172, Aug. 2001.
- [3] “Gnutella,” <http://gnutella.wego.com>.
- [4] “Freenet,” <http://freenetproject.org>.
- [5] Q. Lv, P. Cao, E. Cohen, K. Li, and S. Shenker, “Search and Replication in Unstructured Peer-to-Peer Networks,” Proc. ICS’ 02, pp. 84-95, June 2002.
- [6] 山田太造, 相原健郎, 高須淳宏, 安達淳, “非構造Peer-to-Peer システム上でのピアの有用性に基づいた問い合わせ処理,” 情処学研報, pp. 691-698, July 2004.
- [7] D. Tsoumakos, and N. Roussopoulos, “Adaptive Probabilistic Search for Peer-to-Peer Networks,” Proc. ICS’ 03, pp. 102-110, Sep. 2003.
- [8] 松波秀和, 寺田努, 西尾章治郎, “P2P 型コンテンツ検索システムのための効率的なTop-k 検索処理手法,” 情処学論, Vol. 47, No. 9, pp. 2850-2859, Sep. 2006.
- [9] 中河隆仁, 森友則, 朝香卓也, 高橋達郎, “Unstructured 型P2Pネットワークにおけるコンテンツの人気度を考慮したTTL 制御法,” 信学技報, pp. 411-416. Feb. 2009.
- [10] 山本大貴, 遠藤慶一, 岡野大, 天野要, “非構造化P2P ネットワークにおける検索速度向上と通信負荷軽減を両立させた検索手法,” 信学論D, pp. 1082-1090, July 2010.
- [11] 大内東, 山本雅人, 川村秀憲, “マルチエージェントシステムの基礎と応用,” コロナ社, Apr. 2002.
- [12] A. Barabási, R. Albert, “Emergence of Scaling in Random Networks,” Science, pp. 509-512, Oct. 1999.

## 〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
非構造化 Peer-to-Peer ネットワークにおける複数の動的エージェントを用いた管理領域の分割による情報探索手法	電子情報通信学会技術研究報告 (ネットワークシステム研究会)	2011 年 10 月 13 日
非構造化 Peer-to-Peer ネットワークにおける複数の動的エージェントを用いた効率的なクエリ転送手法	電子情報通信学会技術研究報告 (ネットワークシステム研究会)	2011 年 10 月 13 日
経路選択の履歴と複数の動的エージェントを用いた効率的なクエリ転送手法	電子情報通信学会技術研究報告 (インターネットアーキテクチャ研究会)	2012 年 3 月 15 日
An information search method based on management area segmentation with multiple mobile agents in unstructured peer-to peer networks	Proceedings of The Third International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (IEEE INCoS’ 11)	2011 年 12 月 1 日