

# アプリケーション QoS 向上のための ピュア型 P2P ファイル共有ネットワークの協調機構の検討と評価

小西潤士朗<sup>†</sup> 若宮 直紀<sup>†</sup> 村田 正幸<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学 大学院情報科学研究科 〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

E-mail: †{j-konisi,wakamiya,murata}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 物理網上に構築されたオーバーレイネットワークは互いにリンク、ルータなどの物理網資源を共有、競合するため、オーバーレイネットワークの利己的な制御が物理網を介して互いに影響を与えあい、結果としてすべてのオーバーレイネットワークの性能劣化を引き起こす。本稿では、複数のピュア型 P2P ファイル共有ネットワークが効率的、効果的に協調し、アプリケーションレベルの QoS を向上させるための機構について検討、提案している。提案機構では、それぞれの P2P ネットワーク上で選出された協調ピアと呼ばれるピア間で論理リンクを設定し、P2P ネットワーク間でメッセージを交換する。また、協調ピアは P2P ネットワーク間で交換されるメッセージをキャッシュすることにより協調の負荷を軽減する。シミュレーションによる評価の結果、P2P ネットワークの協調により、人気度の高いファイルについてより多くのファイル所有者を発見できるとともに人気度の低いファイルのファイル発見率がおよそ 2 倍に高まることが示された。また、協調ピアにおけるキャッシングにより、協調による負荷が抑えられることが示された。

キーワード オーバーレイネットワーク、ネットワーク協調、P2P (Peer-to-Peer)、ファイル共有

## Design and Evaluation of Cooperation of Pure P2P File-sharing Networks to Enhance Application-level QoS

Junjiro KONISHI<sup>†</sup>, Naoki WAKAMIYA<sup>†</sup>, and Masayuki MURATA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

1-5 Yamadaoka, Suita-shi, Osaka 565-0871, Japan

E-mail: †{j-konisi,wakamiya,murata}@ist.osaka-u.ac.jp

**Abstract** To provide application-oriented network services, a variety of overlay networks are deployed over physical IP networks. Since they share and compete for the same physical network resources, their selfish behaviors affect each other and, as a result, their performance deteriorates. In this paper, we consider a mechanism for pure P2P networks of file-sharing applications to cooperate with each other to enhance their application-level QoS. In our proposal, so-called cooperative peers establish logical links among two or more P2P networks, and messages and files are exchanged among cooperative P2P networks through these logical links. For efficient and effective cooperation, cooperative peers are appropriately chosen among candidate peers in a P2P network. Cooperative peers deposits meta-information in relaying messages to reduce the load of the cooperation. Simulation results showed that the number of found file holders and the rate of search hits increased, while the load by cooperation of P2P networks was reduced by caching.

**Key words** Overlay Network, Cooperative Network, P2P (Peer-to-Peer), File-sharing

### 1. はじめに

物理網上に構築されたオーバーレイネットワークは帯域や遅延などのネットワーク特性の測定、通信状態のモニタリング、エンドシステムからのフィードバックなどの情報にもとづいて、

自身のアプリケーションの求める QoS を満足できるように個々にトラフィック制御、経路制御、トポロジ制御を行う。オーバーレイネットワークは互いにリンク、ルータなどの物理網資源を共有、競合するため、あるオーバーレイネットワークの利己的な制御が物理網を介して間接的に他のオーバーレイネットワークに影

響を与えてしまう [1], [2]. そこで, オーバレイネットワークが協調制御することにより, オーバレイネットワーク間の干渉を抑え, 網資源の効率的利用やアプリケーションレベルの QoS を向上させるための手法についてさまざまな研究がなされている [3] ~ [7]. 我々の研究グループでは, オーバレイネットワークが協調することにより, 物理網や他のオーバレイネットワークに与える影響を低減するとともに, それぞれのオーバレイネットワークにおけるアプリケーションレベルの QoS を向上させることのできるオーバレイネットワーク共生環境について検討している [8] ~ [12]. オーバレイネットワーク共生環境モデルでは, それぞれのノードが自身の QoS 向上を目指してオーバレイネットワーク内, オーバレイネットワーク間の論理リンクを動的に設定, 切断し, その結果, オーバレイネットワークが互いに結合, 分離する. 互いに利するオーバレイネットワークの間には多くの論理リンクが設定されるようになり, 強固に結合, 融合される [8]. このようなオーバレイネットワーク共生環境を実現するため, 本稿ではピア型 P2P ファイル共有ネットワークを対象に, オーバレイネットワークが協調し, メッセージを交換するための機構を提案する.

Gnutella や Winny に代表されるピア型 P2P ファイル共有アプリケーションでは, ピアは所望のファイルを所有するピアを自ら探し出し, ファイルの所有者から適切な取得先を決定し, 取得先ピアから直接ファイルを取得することにより, ピア間のファイルの共有を実現している. ピアはまず隣接ピアに検索メッセージを送信することにより, 所望のファイルの検索を開始する. 隣接ピアは, 検索メッセージに対して該当のファイルを所有していれば, 応答メッセージを返信する. また, 隣接ピアは検索メッセージを自身の隣接ピアに中継していく (図 1.). このようにすべての隣接ピアに検索メッセージを中継していくフラッディングと呼ばれる手法は, P2P ファイル共有ネットワーク内で所望のファイルを発見するために有効であるが, ピア数の増加にしたがって検索のためのトラフィックによるネットワークやピアへの負荷が増大するため, ピア数に対するスケラビリティに乏しいことが指摘されている [13]. 特に, 物理網資源は有限のため, このようなピア型 P2P ファイル共有ネットワークが複数存在すると, フラッディングによる検索メッセージの爆発的な増加がいつそう大きな問題となる.

ピア型 P2P ネットワークの協調は異なる P2P ネットワークのピア間に論理リンクを設定し, 検索・応答メッセージをやりとりすることによって実現される. 協調により, 検索メッセージが効率よく伝播し, ファイル所有者の発見率, 発見数が向上すると考えられる. ピアは発見した複数のファイル所有者から, 速度や信頼性の観点からより適切なピアを選択することが可能となり, アプリケーションレベルの QoS が向上する. また, P2P ネットワークで共有されるファイルの種別やプロトコル, アーキテクチャに違いがあったとしても, 文献 [3], [4] で示されているように, 高速で信頼性の高いメッセージ転送ができる. さらに, ピアの離脱によりネットワークの分断が生じた場合でも, 他の P2P ネットワークを介することで検索・応答メッセージを伝播させることができ, P2P ネットワークの耐故障性

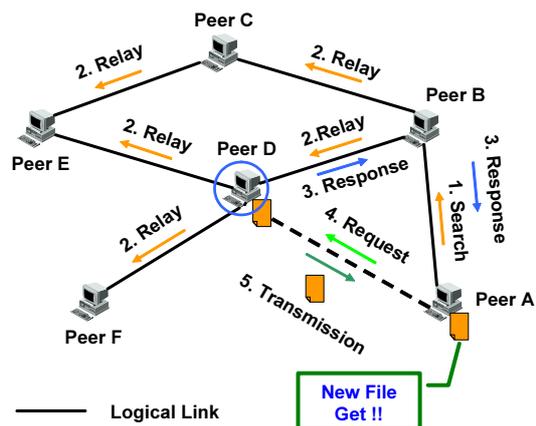


図 1 ピア型 P2P ファイル共有ネットワーク

が向上する [8].

しかしながら, 例えば, P2P ネットワークの中心から遠いピアを介して協調すると, メッセージが十分に伝播するためには TTL を大きくしなければならない, あるいは多数のピアを介して協調しなければならない, などの問題が生じる. そこで, 我々は, 文献 [11], [12] において, 自身のアプリケーションレベルの QoS の向上を目的に協調プログラムを導入したピアから, P2P ネットワーク間のメッセージ交換を行うピア (協調ピアと呼ぶ) を適切に選出する手法を提案した. 提案手法では, 隣接ピア数と他の協調ピアとの論理的なホップ数にもとづいて協調ピアを選出することにより, 低負荷で効率的なメッセージ転送を実現する. しかしながら一方で, 特に隣接ピア数が最大の協調ピアに負荷が集中することがシミュレーションにより明らかになった. そこで, 本稿では, 協調ピアおよび協調相手の P2P ネットワークへの負荷を軽減し, 協調の効果を高めるための協調ピアにおけるキャッシング機構を新たに提案する.

以降, 2. 章でピア型 P2P ファイル共有ネットワークの協調機構について述べる. 3. 章でシミュレーションにより協調の効果, 有効性を評価し, 4. 章で本稿のまとめと今後の課題について述べる.

## 2. ピア型 P2P ファイル共有ネットワークの協調機構

ピア型 P2P ファイル共有ネットワークの協調においては, それぞれの P2P ネットワークで選出された協調ピア間に論理リンクを設定し, 検索・応答メッセージをやりとりすることにより協調を実現する (図 2.). まず, 協調プログラムを導入したピアは協調ピア候補となり, 協調ピアを選出するための情報を交換する協調ピア候補ネットワークに参加する. 次に, 隣接ピア数をもとに仮協調ピアが選出され, 周囲に協調ピアの存在しなければ協調ピアとなる. 協調ピアは他の P2P ネットワーク上の協調ピアを発見し, P2P ネットワーク間の協調が効果的であると判断すると, 論理リンクを設定する. 1 対の協調ピアに対して 1 本の論理リンクが設定され, 論理リンクを通して検索・応答メッセージがやりとりされる. 本章では, それぞれの機構の概要を述べるが, 協調ピアにおけるキャッシング機構を除く

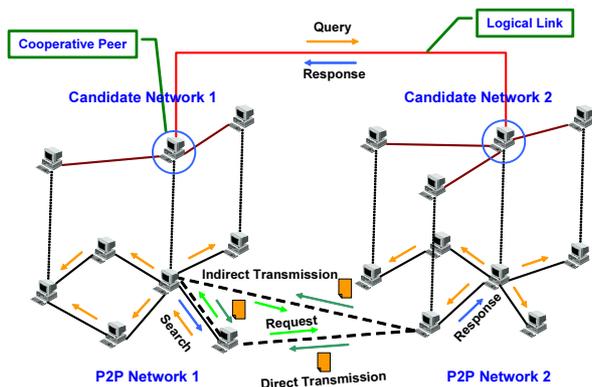


図2 ピア型 P2P ファイル共有ネットワークの協調

手法，機構の詳細については文献 [11], [12] を参照されたい。

### 2.1 協調ピア候補ネットワークへの参加

ピアは P2P ネットワークから享受するアプリケーションレベルの QoS，すなわち，ファイル発見率，ファイル所有者数，ファイル検索・取得遅延などに不満を感じると，他の P2P ネットワークとの協調による性能向上を期待して，協調プログラムを導入する。図 2. に示すとおり，協調プログラムを導入したピアは協調ピア候補となり，協調ピアの選出に必要な情報を交換するため，協調ピア候補ネットワークに参加する。

### 2.2 協調ピアの選出

新たに協調ピア候補が協調ピア候補ネットワークに参加したとき，ある協調ピア候補が自身の判断により協調要求メッセージを送出したとき，および他の P2P ネットワークから協調要求メッセージを受信したときに，協調ピア候補から協調ピアが選出，または再選出される。

P2P ファイル共有ネットワーク上で効率よく検索メッセージを伝播させると同時にネットワークやピアへの負荷を分散，軽減させるため，隣接ピア数，すなわち，次数が高く，互いに論理網上で離れた協調ピア候補を協調ピアとして選出する。そのため，まず協調ピア候補ネットワーク上でフラッディングによりすべての協調ピア候補が自身のもつ隣接ピア数を互いに知らせる。次に，協調ピア候補は自身を含むすべての協調ピア候補を隣接ピア数の降順に順位付ける。自身を最上位に順位付けた協調ピア候補は仮協調ピアになり，他の協調ピア候補に立候補メッセージを送信する。一方，立候補メッセージを受信した他の協調ピア候補は，仮協調ピアが自身の最上位の協調ピア候補と異なる場合，非承認メッセージを仮協調ピアに送信する。仮協調ピアは一定数以上の非承認メッセージを受信すると順位付けから自身を削除して，選出作業をやり直す。一定時間内に一定数の非承認メッセージを受信しなかった場合，仮協調ピアはピア型 P2P ファイル共有ネットワーク上で TTL を設定した確認メッセージをフラッディングする。TTL の範囲内にすでに協調ピアが存在していた場合，確認メッセージを受信した協調ピアは仮協調ピアに非承認メッセージを送信する。非承認メッセージを受信した仮協調ピアは，他の協調ピア候補にこれを知らせ，選出作業がやり直される。一定時間内に協調ピアからの非承認メッセージを受信しなかった場合，仮協調ピアは協

調ピアとなる。

### 2.3 他の P2P ファイル共有ネットワークの発見

選出された協調ピアは i3 ネットワーク [5] などを利用して，他の P2P ファイル共有ネットワークに参加している協調ピア候補を発見し，協調要求メッセージを送信する。協調要求メッセージの受信側の協調ピア候補ネットワークでは協調ピアが選出される。協調ピア候補から協調ピアへ協調要求メッセージが転送され，協調ピア間に論理リンクが設定される。

### 2.4 協調の是非判断

協調ピアは協調要求メッセージを受け取ったとき，また，協調中に協調の是非判断を行う。協調中の，あるいは協調を開始しようとする協調ピアは，P2P ファイル共有プロトコルの互換性，ピア数やファイル数などの P2P ネットワークの規模，共有されているファイルの種別などの情報を交換し，協調の是非判断を行う。協調が適切，有効であると判断した場合には論理リンクが設定，維持されるが，そうでない場合には要求が棄却，または論理リンクが切断される。

### 2.5 メッセージの中継，およびファイルの取得

それぞれのピア型 P2P ファイル共有ネットワークから協調ピアが選出され，協調ピア間に論理リンクが設定されると，協調が開始される。以降では，検索メッセージを発信したピアが所属する P2P ネットワークをゲストネットワーク (図 2. 中，P2P ネットワーク 1)，他方の P2P ネットワークをホストネットワーク (図 2. 中，P2P ネットワーク 2) と呼ぶ。ピアから送出された検索メッセージは，ゲストネットワーク内をフラッディングにより伝播する。検索メッセージがゲストネットワーク上の協調ピアに到達すると，協調プログラムによって必要に応じてプロトコルが変換されたのち，ホストネットワーク上の協調ピアの協調プログラムに転送される。協調ピア間の転送により検索メッセージの TTL が 1 だけ減じられたのち，検索メッセージはホストネットワーク上でフラッディングにより伝播する。なお，検索メッセージには固有の識別子が与えられ，重複した検索メッセージはピアで棄却される。

検索対象のファイルがホストネットワークで発見された場合，生成された応答メッセージは検索メッセージの逆の経路をたどってホストネットワーク上の協調ピアに到達する。協調ピアでは，必要に応じて応答メッセージのプロトコルを変換し，ゲストネットワーク上の協調ピアに転送する。ファイル取得のプロトコルが異なる場合，ゲストネットワーク上の協調ピアは本来のファイル所有者の情報をキャッシュした後，応答メッセージ中のファイル所有者を自身に変更する。応答メッセージは検索元のピアに到達し，ピアはファイルの所有者に直接ファイルを要求して，これを取得する。ファイル取得に関するプロトコルが異なる場合には，ゲストネットワーク上の協調ピアにファイルを要求することとなる。この場合，協調ピアはキャッシュした情報によりファイルの所有者にファイルを要求し，これを取得したのち，要求したピアにファイルを転送する。

### 2.6 協調ピアのキャッシング機構

P2P ネットワークが互いに協調すると，ゲストネットワークから流入する検索メッセージ，それらに対してホストネット

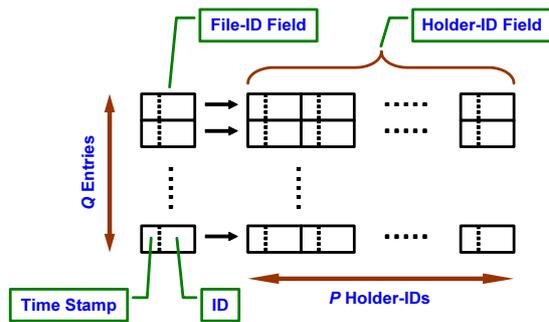


図 3 キャッシュ機構の構造

ワークで生成される応答メッセージによって、ピアの負荷が増大する。特に、協調ピア、および協調ピア間の論理リンクには多数の応答メッセージが集中するため、輻輳の原因となる。そこで、協調プログラムは応答メッセージに含まれるメタ情報をキャッシュする。

ゲストネットワーク上の協調ピアは、ホストネットワークに転送した検索メッセージに対する応答メッセージを受信すると、応答メッセージに含まれるメタ情報をキャッシュする。協調ピアにはホストネットワークで共有されているファイルに関する情報が蓄積される。協調ピアは、所属する P2P ネットワークから受信した検索メッセージがキャッシュにヒットした場合、検索メッセージをホストネットワークに転送せず、キャッシュから応答メッセージを生成して返信する。冗長な検索メッセージがホストネットワークに流入しなくなるため、ホストネットワークにおける検索負荷、協調ピアにおける応答メッセージ転送の負荷、協調ピア間の論理リンクにかかる応答メッセージの負荷を軽減することができる。

ピア型 P2P ファイル共有システムでは、要求されたファイルを所有するピアは必ず応答メッセージを生成するため、キャッシングアルゴリズムとして LRU を用いると、キャッシュが人気度の高いファイルのメタ情報に占められる。人気度の高いファイルはゲストネットワーク上にも多数存在するため、協調ピアでホストネットワークで共有される人気度の高いファイルの情報をキャッシュする効果はあまり高くない。そこで、提案機構では、キャッシュをファイル単位で管理し、ファイルごとにキャッシュ可能なメタ情報の数に制限を設け、人気度によらずファイルに関する情報が蓄積されるようにする。

提案機構では、協調ピアの保持するキャッシュには最大  $Q$  個のエントリを格納でき、それぞれのエントリはファイル ID と最大  $P$  個の所有者のリストから構成される。したがって、キャッシュ全体で  $Q \times P$  個のメタ情報を格納できる。本稿では、簡単のため、メタ情報をファイル ID と所有者 ID の組として考えているが、実際には属性やキーワードなどの情報も含まれている。なお、すべてのファイル ID と所有者 ID にはタイムスタンプが付けられている (図 3)。

応答メッセージを受信すると、協調ピアはまず応答メッセージからファイル ID と所有者 ID を取得する。キャッシュ内に同じファイル ID のエントリがない場合、新たなエントリが追加され、所有者 ID が登録される。これらのエントリ、所有者 ID

には応答メッセージ受信時刻のタイムスタンプが付与される。すでにキャッシュ内に  $Q$  個のエントリがある場合は、最も古いタイムスタンプをもつエントリを新たなエントリに置き換える。キャッシュ内に同じファイル ID のエントリがある場合、まずエントリのタイムスタンプが更新される。次に、所有者 ID のリストを検索し、同じ所有者 ID があれば、そのタイムスタンプを更新する。同じ所有者 ID がなければ、タイムスタンプを付加した新たな所有者 ID を追加するか、最も古い所有者 ID と置き換える。

協調ピアは同じ P2P ネットワーク内のピアで生成された検索メッセージを受信すると、キャッシュを検索する。キャッシュヒットした場合、すべての所有者 ID を含む応答メッセージを生成、送信するとともに、該当するエントリのタイムスタンプを更新する。キャッシュミスした場合、検索メッセージはホストネットワークに転送される。

### 3. シミュレーション評価

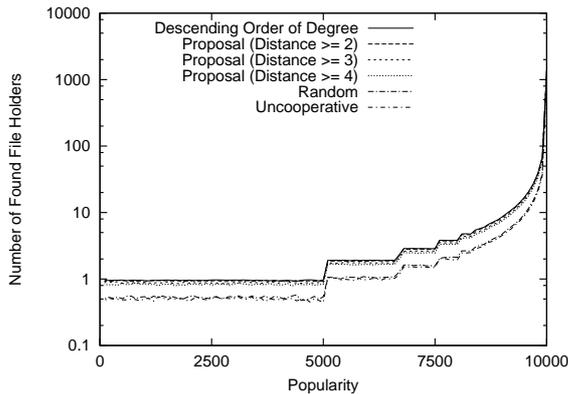
本章では、プロトコルが同じで同種のファイルを共有する 2 つのピア型 P2P ファイル共有ネットワークの協調について、発見したファイル所有者数とピアにかかる負荷を指標として、提案手法をシミュレーションにより評価する。

#### 3.1 シミュレーション条件

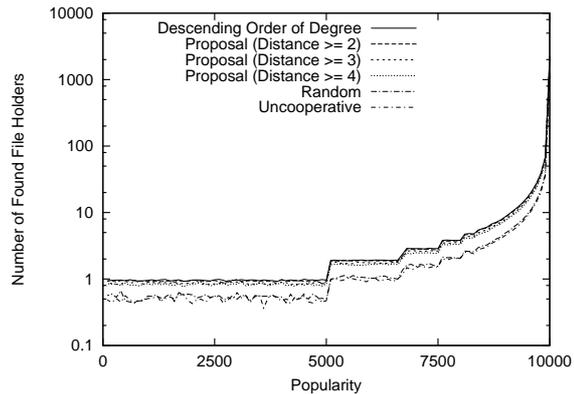
ピア型 P2P ネットワークとして、ピア数が 10,000 の BA モデルにもとづくパワー則に従うネットワークを用いた。ただし、ピア間のリンクには遅延、帯域などを設定しない。また、ピアの参加、離脱は発生しないものとする。P2P ネットワーク上には、人気度が  $\alpha = 1.0$  の Zipf 分布にしたがってファイルが配置される。それぞれのファイルの存在数は最も人気度の高いファイルの存在数をピア総数の半分、最も人気度の低いファイルの存在数を 1 として、人気度にしたがって定めた。ファイルはランダムに選ばれたピアに配置される。検索メッセージはランダムなピアで発生し、検索対象のファイルは  $\alpha = 1.0$  の Zipf 分布にしたがう人気度によって定める。検索メッセージの TTL は Gnutella の初期値である 7 とした。ただし、ファイルの分布を維持するため、応答メッセージを受信してもファイルの取得は行わない。

P2P ネットワークのすべてのピアを協調ピア候補として、それぞれの P2P ネットワーク上で 10 個の協調ピアを選出し、協調ピア間に論理リンクを設定する。また、協調ピアのキャッシュサイズは  $Q = 50$ 、 $P = 10$  とした。比較対象として、協調ピアを隣接ピア数の降順に選出した “Decending Order of Degree”，ランダムに選出した “Random”，協調しない場合を示す “Uncooperative” について評価した。図中，“Proposal (distance  $\geq j$ )” では、協調ピアは隣接ピア数の降順、かつ、互いの協調ピアを少なくとも  $j$  ホップ以上離して選出した場合の結果を表す。

評価指標として、発見したファイル所有者数、ピアにかかる負荷を用いた。発見したファイル所有者数は 1 つの検索メッセージで発見されるファイル所有者数の平均である。ピアにかかる負荷はピアがメッセージを送受信した回数の平均であり、



(a) ネットワーク 1



(b) ネットワーク 1 (キャッシュなし)

図 4 発見したファイル所有者数 (10,000:10,000)

協調しない場合に対してそれぞれの手法で協調した場合における増加率として評価する。なお、以降の評価では、ピア数と同数の検索メッセージを発生させた結果を示す。また、ページ数の制限のため、ピア数 10,000 の 2 つの P2P ネットワークが協調した場合について、一方の P2P ネットワークの結果のみを示す。

### 3.2 発見したファイル所有者数の評価

発見したファイル所有者数に関するシミュレーション結果を協調ピアにキャッシュがない場合とあわせて図 4 に示す。発見したファイル所有者数は協調ピアを隣接ピア数の降順に選出した場合が最も高く、提案手法もほぼ同様の結果を示している。また、キャッシュの有無によらず、同程度のファイル所有者を発見できている。

### 3.3 ピアにかかる負荷の評価

ピアにかかる負荷について比較するため、ピアの受信した重複した検索メッセージの協調による増加率について評価した結果を図 5 に示す。図より、ランダムに協調ピアを選出した場合には協調前後でピアの受信する重複した検索メッセージ数がほとんど変化しないのに対し、隣接ピア数を考慮した場合には隣接ピア数によらず増加率が高くなることからわかる。ただし、提案手法において協調ピア間の距離を保つことにより、協調ピアが P2P ネットワーク上で分散配置されるようになり、検索メッセージの重複を抑えることができる。

メッセージ送受信回数の協調による増加率に関するシミュレーション結果を図 6 に示す。協調ピアを隣接ピア数の降順に選出する場合と提案手法を比較すると、提案手法の方が隣接ピアの少ないピアにおけるメッセージ送受信回数の増加率は小さく、隣接ピアの多いピアにおける増加率は大きい。特に、協調ピア間の距離が離れるにつれて、隣接ピア数最大の、すなわち最初に協調ピアに選択されるピアの負荷が高くなる。パワー則に従うネットワークでは隣接ピアの多いピアはネットワークの中心に多く存在するため、協調ピア間の距離が離れるにつれて隣接ピアの少ないピアが協調ピアに多く選出される。そのため、他の協調ピアよりも隣接ピア数最大の協調ピアを経由した検

索メッセージが効率よく伝播し、検索メッセージに対する応答メッセージが集中するためである。例えば、ピア数 10,000 の 2 つの P2P ネットワークの協調において、平均メッセージ長を 50 バイトとし、すべてのピアが 1 分あたり 1 つの検索メッセージを送信した場合、普通のピアの平均メッセージ処理量はおよそ 73 KB/s であるのに対し、次数最大の協調ピアではおよそ 6.8 MB/s となる。しかし、協調ピアにおけるキャッシングを行わない場合と比較すると、次数最大の協調ピアではおよそ 57 % の負荷が軽減されており、キャッシングが協調ピアの負荷軽減に有効であることがわかる。また、P2P ネットワーク全体の平均メッセージ送受信回数もおよそ 13 % 減少した。

## 4. おわりに

本稿では、キャッシングを有する協調ピアによるピア型 P2P ファイル共有ネットワークの効率的、効果的な協調の仕組みについて検討し、シミュレーションによりその効果を評価した。その結果、協調ピアにおけるメタ情報のキャッシングにより、メタ情報をキャッシュせずに検索メッセージを伝播させた場合と同じ程度のファイル所有者を発見できる一方で、協調の負荷を軽減できることが示された。

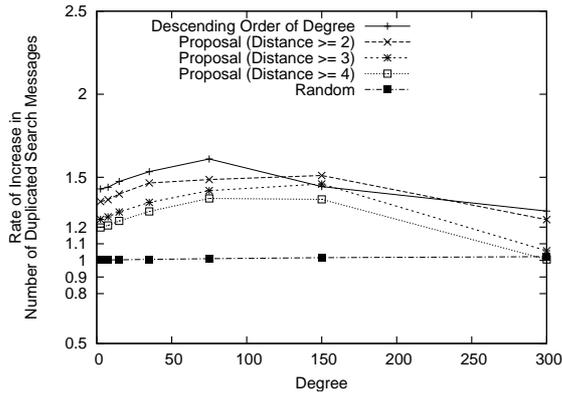
しかしながら、協調ピアには他のピアの 100 倍近い負荷がかかるため、協調ピアにおけるアプリケーションレベルの QoS の向上など、協調ピアにとっての協調の効果、有効性について、今後、引き続き検討の必要がある。

## 謝 辞

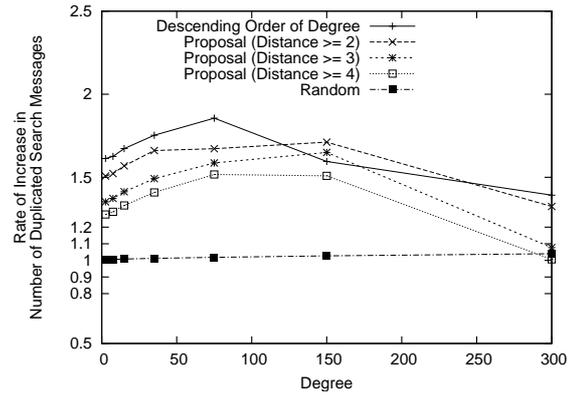
本研究の一部は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム (研究拠点形成費補助金) 「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 文 献

- [1] L. Qiu, Y.R. Yang, Y. Zhang, and S. Shenker, "On Selfish Routing in Internet-Like Environments," in Proceedings of ACM SIGCOMM Conference 2003, pp.151-162, Aug. 2003.
- [2] M. Seshadri and R.H. Katz, "Dynamics of Simultaneous Overlay Network Routing," Tech. Rep. UCB/CSD-03-1291,

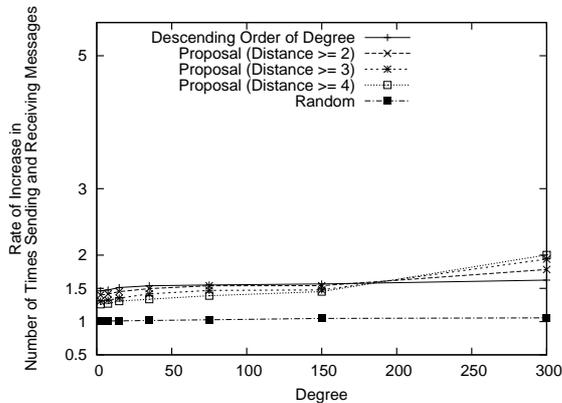


(a) ネットワーク 1

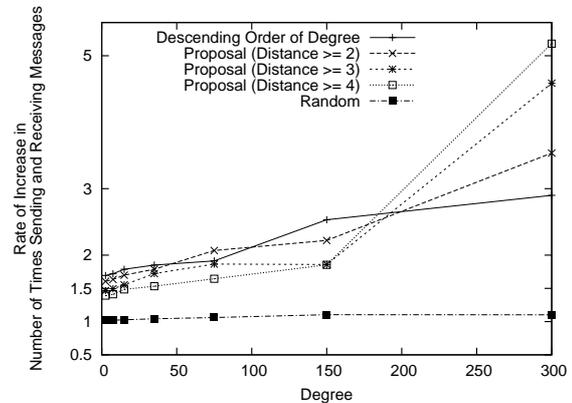


(b) ネットワーク 1 (キャッシュなし)

図 5 重複した検索メッセージの増加率 (10,000:10,000)



(a) ネットワーク 1



(b) ネットワーク 1 (キャッシュなし)

図 6 メッセージ送受信回数の増加率 (10,000:10,000)

Electrical Engineering and Computer Sciences (EECS), University of California Berkeley (UCB), Nov. 2003.

- [3] M. Kwon and S. Fahmy, "Toward Cooperative Inter-overlay Networking," in Poster in the 11th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP), Nov. 2003.
- [4] M. Kwon and S. Fahmy, "Synergy: An Overlay Internet-working Architecture and its Implementation," in Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), pp.401–406, Oct. 2005.
- [5] I. Stoica, D. Adkins, S. Zhuang, S. Shenker, and S. Surana, "Internet Indirection Infrastructure," in Proceedings of ACM SIGCOMM Conference 2002, pp.73–88, Aug. 2002.
- [6] A. Nakao, L. Peterson, and A. Bavier, "A Routing Underlay for Overlay Networks," in Proceedings of ACM SIGCOMM Conference 2003, pp.11–18, Aug. 2003.
- [7] D. Andersen, H. Balakrishnan, F. Kaashoek, and R. Morris, "Resilient Overlay Networks," in Proceedings of the 18th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP), Oct. 2001.
- [8] N. Wakamiya and M. Murata, "Toward Overlay Network Symbiosis," in Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P2005), pp.154–155, Aug. 2005.
- [9] 付 宏野, 若宮 直紀, 村田 正幸, "ハイブリッド型 P2P ファイル

共有ネットワークにおけるネットワーク協調機構の検討と評価," 電気情報通信学会技術研究報告 IN2005-33, pp.25–30, July 2005.

- [10] H. Fu, N. Wakamiya, and M. Murata, "Proposal and Evaluation of a Cooperative Mechanism for Hybrid P2P File Sharing Networks," in Proceedings of the 4th IASTED International Conference on Communications, Internet, and Information Technology, pp.7–13, Oct. 2005.
- [11] 小西 潤士朗, 若宮 直紀, 村田 正幸, "ピュア型 P2P ファイル共有ネットワークにおけるネットワーク協調機構の検討と評価," 電気情報通信学会技術研究報告 IN2005-34, pp.31–36, July 2005.
- [12] J. Konishi, N. Wakamiya, and M. Murata, "Proposal and Evaluation of a Cooperative Mechanism for Pure P2P File Sharing Networks," in Proceedings of the 2nd International Workshop on Biologically Inspired Approaches to Advanced Information Technology (Bio-ADIT), pp.33–47, Jan. 2006.
- [13] R. Schollmeier and G. Schollmeier, "Why Peer-to-Peer (P2P) Does Scale: An Analysis of P2P Traffic Patterns," in Proceedings of the Second IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P2002), pp.112–119, Sept. 2002.