

# 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

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 現在、物理網には多数のオーバーレイネットワークが存在する。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、競争するため、あるオーバーレイネットワークの制御が物理ネットワーク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という問題が指摘されている。そこで、我々は、オーバーレイネットワークが互いに協調制御することにより、物理網や他のオーバーレイネットワークに与える影響を低減するとともに、それぞれのオーバーレイネットワークにおいてアプリケーションレベルの QoS を向上させる仕組みを検討している。本稿では、ピュア型 P2P ファイル共有ネットワークを対象に、複数のオーバーレイネットワークが協調するための機構およびアルゴリズムを提案し、シミュレーションにより協調によって得られる効果を評価した。シミュレーション評価の結果、P2P ファイル共有ネットワークの協調により、ファイルの検索効率が向上するとともに、提案するアルゴリズムによって P2P ネットワークの負荷軽減が図れることを示した。

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

## Proposal and Evaluation of a Cooperative Mechanism for Pure P2P File Sharing Networks

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, variety of overlay networks are deployed over physical IP networks. Since they share and compete for physical network resource, their selfish behaviors affect each other and their performance deteriorates. Our research group considers the model of overlay network symbiosis, where overlay networks coexist and cooperate to improve their application-level QoS while sustaining influences over physical networks and other overlay networks. In this paper, we propose mechanisms for pure P2P networks of file-sharing application to cooperate with each other. In our proposal, cooperative peers establish logical links among two or more P2P networks, through which messages and files are exchanged among cooperative P2P networks. Through simulation experiments, it was shown that our proposed mechanisms could improve the search efficiency and reduce load on P2P networks.

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

### 1. はじめに

現在、物理網には多数のオーバーレイネットワークが存在する。それぞれの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基づいて、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、トポロジ形成を行う。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、競争するため、あるオーバーレイネットワークの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]。例えば、高速な通信のため、転送遅延や空き帯域の

情報にもとづいてピアが隣接ピアを変更して通信を行ったとする。その結果、物理網への負荷変動が生じ、リンクやルータを競合する他のオーバーレイネットワークでの通信品質が劣化する。そこで、影響を受けたオーバーレイネットワークは独自の指標にもとづき、トポロジを変化させる。このような振る舞いはさらに他のオーバーレイネットワークにも影響を与え、頻繁な経路切り替え、物理網の継続的な負荷変動や輻輳の頻発などの原因となり、結果としてすべてのオーバーレイネットワークにおいてアプリケーションレベルの通信品質が劣化する。

オーバーレイネットワークが協調することにより、オーバーレイネットワーク間の干渉を防ぎ、網資源の効率的利用やアプリケーションレベルでの QoS を向上させるための仕組みとして、オーバーレイネットワーク間の情報交換の枠組みを提案するもの [3], [4] や経路制御のためのオーバーレイネットワークを導入するもの [5], [6] などの研究がなされている。例えば [3] では、i3 (Internet Indirection Infrastructure) ネットワークと呼ばれるオーバーレイネットワークにより、送受信者が互いを知ることなく情報を交換する仕組みを提案している。i3 では、情報やサービスの提供者は i3 ネットワークに packet メッセージと呼ばれるサービス識別子を付加したデータを送出する。一方、情報やサービスの利用者は享受したいサービスの識別子と自身のアドレスを trigger メッセージとして i3 ネットワークに送出する。i3 ネットワークが trigger のサービス識別子に一致する packet を trigger のアドレスに転送することにより、サービスの提供者から利用者へ情報が提供される。

我々の研究グループでは、オーバーレイネットワークの協調制御により、物理網や他のオーバーレイネットワークに与える影響を低減するとともに、それぞれのオーバー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ーレイネットワーク共生環境について検討している [7]。本稿では、さまざまなオーバーレイネットワークのうち、特にピア型 P2P ファイル共有ネットワークを対象とした協調の仕組みを提案する。P2P (Peer-to-Peer) 型通信では、ピアと呼ばれる個々のホストがサーバを介することなく互いに直接情報やデータを交換する。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、ピアが所望のファイルを所有するピアを自ら探し出し、直接ファイルを要求し、これ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。ピアはまず検索メッセージを発行することにより所望のファイルを検索する。他のピアは、検索メッセージに対して該当のファイルを所有している場合には、応答メッセージを返信するとともに検索メッセージを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データ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 [8]。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

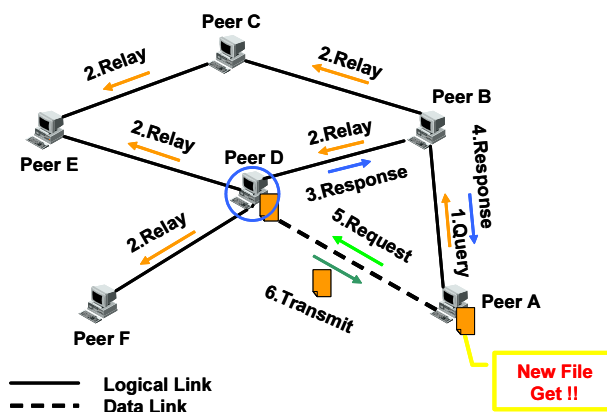


図 1 ピア型 P2P ファイル共有ネットワーク

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 ファイル共有ネットワークが互いに協調制御し、P2P ネットワークをまたがる検索・応答メッセージの中継やファイル転送を効率よく行うことができれば、より小さい TTL や少ない検索メッセージ数でファイルを発見できるため、ファイル検索時の負荷が低下し、ピア数に対するスケラビリティを高めることができる。また、ピアは、他の P2P ファイル共有ネットワーク上に存在するファイルも発見することができ、より多くのファイルをよりよいピアから取得できるようになる。さらに、ピアの離脱により P2P ネットワークの分断が生じて、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る。しかしながら、そのためには、ピア型 P2P ファイル共有ネットワークをどのようにして協調させるかが重要となる。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。その結果、P2P ネットワーク上を流れる検索メッセージが増大し、ネットワークの輻輳を引き起こす。

そこで、本稿ではピア型 P2P ファイル共有ネットワークが効果的に協調するための機構やアルゴリズムを提案する。提案手法では、それぞれの P2P ネットワーク上で協調ピアと呼ばれるピアを選出し、協調ピア間に論理リンクを設定して検索・応答メッセージのやりとりを行う。また、協調ピア間に距離をおくことによって、オーバーレイネットワークにおける負荷軽減を図るための手法についても提案している。提案手法の有効性をファイルの検索効率とピアやネットワークの負荷の観点からシミュレーションにより評価する。

以降、2章でピア型 P2P ファイル共有ネットワークの協調手法について述べる。3章でシミュレーションにより提案手法を評価し、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におけるネットワーク協調機構

本章では、ピア型 P2P ファイル共有ネットワークが効果的に協調するための仕組みを提案する。ピア型 P2P ファイル共有ネットワークの協調においては、それぞれのネットワー

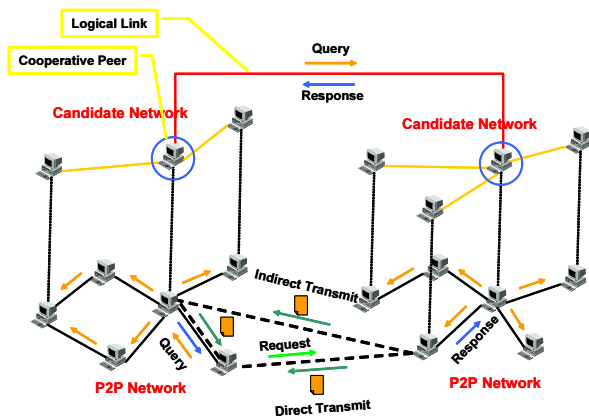


図 2 ピュア型 P2P ファイル共有ネットワークの協調

クで選出された協調ピアと呼ばれる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.)。本章では、協調ピアの選出、P2P ファイル共有ネットワークの発見、協調の是非判断、メッセージの中継およびファイルの取得、協調の終了について詳細を述べる。

### 2.1 協調ピア候補ネットワークの構築

ピュア型 P2P ファイル共有ネットワークを協調させるために、ピアに協調用プログラムを導入する。ピアは、P2P ネットワーク上で所望のファイルが発見できない、もしくはファイルをより素早く取得したい場合などに、他の P2P ネットワークとの協調による性能向上を期待し、協調用プログラムを導入する。協調用プログラムを導入したピア(以降、協調ピア候補と呼ぶ)は、協調ピア候補間で協調ピア候補ネットワークを構築し、協調ピア候補の中から P2P ネットワーク間のメッセージのやりとりを行う協調ピアを選出する(図 2.)。

まず、新しく協調用プログラムを導入したピアは、協調ピア候補ネットワークに参加するために、P2P ネットワーク上での特殊なメッセージのフラッディングや i3 ネットワークなどを用いて P2P ネットワークに存在する他の協調ピア候補を発見する。i3 ネットワークを用いる場合、新たな協調ピア候補は i3 ネットワークにサービス識別子と自身のアドレスを持つ trigger を送出する。すでに協調ピア候補ネットワークに参加している協調ピア候補はあらかじめ i3 ネットワークにサービス識別子と自身のアドレスをデータとした packet を送出している。新たな協調ピア候補は packet を受信することによって発見した他の協調ピア候補に対し、論理リンクを設定することにより、協調ピア候補ネットワークに参加する。ここで用いるサービス識別子は 256 ビットで構成されている。先頭の  $l$  ビットはネットワーク協調サービスを識別するものであり、すべての協調用プログラムで共通である。次の  $m$  ビットはピアが参加している P2P ネットワークを識別するものであり、P2P ネットワークごとに異なる値をとる。ピュア型 P2P ネットワークに新しく参加するピアは、ブートストラッピングノードと呼ばれる P2P ネットワークに常時参加しているピアに参加要求を送信することにより、他のピアに関する情報を取得し、このピアと論理リンクを設定することで P2P ネットワークに接続する。同じ P2P ネットワークに参加しているピアは同じブートストラッピングノードを利用しているため、ブートストラッピングノードの IP アドレスにハッシュ関数を適用して生成した  $m$  ビットのビット列を P2P ネットワーク識別子として用いることにより、同じ P2P ネットワークに参加している協調ピア候補は先頭の  $l + m$  ビットが同じサービス識別子を生成できる。最後の  $n$  ビットはランダムに生成され、サービス識別子のマッチングに利用される。i3 における inexact matching では、trigger のサービス識別子に対して、先頭から順に適合するビット長が最も長いサービス識別子をもつ packet が対応づけられる。したがって、新たな協調ピア候補は、同じ P2P ネットワークに参加している協調ピア候補からランダムに選ばれたピアを発見することになる。協調ピア候補は協調ピア候補ネットワークに参加した後、サービス識別子と自身のアドレスをデータとした packet を i3 ネットワークに送出する。

ネットワークに参加しているピアは同じブートストラッピングノードを利用しているため、ブートストラッピングノードの IP アドレスにハッシュ関数を適用して生成した  $m$  ビットのビット列を P2P ネットワーク識別子として用いることにより、同じ P2P ネットワークに参加している協調ピア候補は先頭の  $l + m$  ビットが同じサービス識別子を生成できる。最後の  $n$  ビットはランダムに生成され、サービス識別子のマッチングに利用される。i3 における inexact matching では、trigger のサービス識別子に対して、先頭から順に適合するビット長が最も長いサービス識別子をもつ packet が対応づけられる。したがって、新たな協調ピア候補は、同じ P2P ネットワークに参加している協調ピア候補からランダムに選ばれたピアを発見することになる。協調ピア候補は協調ピア候補ネットワークに参加した後、サービス識別子と自身のアドレスをデータとした packet を i3 ネットワークに送出する。

### 2.2 協調ピアの選出

協調ピア候補のうち、他のピュア型 P2P ファイル共有ネットワークと論理リンクを設定し、P2P ネットワーク間で検索メッセージや応答メッセージのやりとりを行うピアを協調ピアと呼ぶ。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、協調ピアが協調ピア候補ネットワークに参加している協調ピア候補から選出、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、低減させるためには、協調ピアを適切に選出しなければならない。これまでのさまざまな研究により、インターネットや多くのオーバーレイネットワークがパワー則に従うネットワークであることが明らかにされている。文献 [9] では、ノードの度数分布がパワー則に従う P2P ネットワークでは、度数の大きなノードを起点、または経由して検索メッセージを伝播させることによりファイルを効率よく検索できることが示されている。一方、協調ピア、およびその周辺のピアやリンクにはメッセージが集中するため、P2P ファイル共有ネットワーク上で狭い範囲内に複数の協調ピアが存在することは好ましくない。

そこで、次のような協調ピアの選択手法を提案する。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、それぞれの協調ピア候補は自身の知り得たすべての協調ピア候補を隣接ピア数の降順に順位付けする。自身を最上位に順位付けした協調ピア候補は、自身を仮協調ピアとして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。このような手法により、メッセージロスの発生などにより協調ピア候補の順位付けに差異が生じた場合にも適切に仮協調ピアが

選出される。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、自身が協調ピアになれなかったことを協調ピア候補ネットワークを通して他の協調ピア候補に知らせる。このような仮協調ピアは順位付けから削除され、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。このようにして協調ピア間を設定した TTL だけのホップ数離れさせることができ、負荷軽減が行える。複数の協調ピアを選出する場合はすでに協調ピアとなったピア、および他の協調ピアから承認されなかったピアを除く残りの協調ピア候補に対して、再び順位付けを行って選出作業を繰り返す。

### 2.3 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ピアを発見する。このとき、協調ピアは i3 ネットワークにサービス識別子と自身のアドレスを持つ trigger を送出する。サービス識別子は先頭の  $l$  ビットを除き、ランダムに生成される。ただし、続く  $m$  ビットについては自身の P2P ネットワーク識別子と異なる値とする。

i3 の inexact matching により適合した packet を受信し、他の P2P ネットワークの協調ピア候補を発見すると、協調ピアは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も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、先の手順で設定された論理リンクを通じて、協調の是非判断に必要となる情報を交換する。ここでは、P2P ファイル共有アプリケーションのプロトコル互換性、ピア数やファイル数における P2P ネットワークの規模、および P2P ファイル共有ネットワークで共有されているファイルの種別を協調の是非判断に用いるものとする。

P2P ファイル共有ネットワークの協調において、それぞれのアプリケーションのプロトコルが異なる場合には、協調ピアでプロトコルの変換を行わなければならない。したがって、メッセージ中継の負荷を軽減するためには、協調するネットワーク間のプロトコルに互換性があることが望ましい。また、ピア数やファイル数に大きな差がある P2P ネットワークが協調した場合には、大規模な P2P ネットワークでは新たに共有、発見できるファイル数は少ないがメッセージ中継による負荷増加の割合は小さく、一方、小規模な P2P ネットワークでは大規模な P2P ネットワークで共有されている多数のファイルが利用、取得可能になるが流入するメッセージによる負荷の増加が大きい。したがって、協調に際しては、協調による負荷の増加と得られる効果のトレードオフを考えなければならない。さらに、P2P ファイル共有ネットワークで共有されているファイルの形式や

内容がまったく異なる場合、ファイル検索におけるネットワーク協調の効果は小さい。したがって、映画、音楽、文書などのような類似したファイルを共有する P2P ネットワークが協調することが望ましい。協調ピアは、まず、取得した情報からそれぞれの基準に点数を付ける。次に、それぞれの基準に優先度を設定し、優先度にもとづく重み付き合計がある閾値を超えた場合、協調を許可する。互いの協調ピアで許可されると、P2P ネットワークの協調が開始される。一方もしくは両方で許可されなかった場合には、協調ピア間の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を選出し、協調ピア間に論理リンクを設定すると、ネットワークの協調が開始される(図 2.)。あるピアから送出された検索メッセージは、P2P 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、他方の協調ピアの協調プログラムに検索メッセージを転送する。このとき、協調ピア間の転送により検索メッセージの TTL は 1 だけ減少する。他方の協調ピアは受信した検索メッセージを P2P ファイル共有アプリケーションに転送し、検索メッセージは P2P ネットワーク上をフラッディングにより伝播する。なお、それぞれの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協調相手の P2P ネットワーク上で発見された場合、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をもとの P2P ファイル共有アプリケーションのプロトコルに変換し、もと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、もと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。応答メッセージはもとの P2P ネットワーク上を検索メッセージの逆の経路をたどって検索元のピアに到達する。応答メッセージを受信したピアは、ファイルの所有者に直接ファイルを要求し、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、協調ピアにファイルを要求することとなる。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 協調の終了

協調ピア間の論理リンクはソフトステートであり、一定期間検索メッセージが通過しないと切断される。また、協調ピアは、協調による効果と負荷のトレードオフを考慮して、論理リンクを切断し、協調を終了させる。例えば、送信した検索メッセージ数と受信した応答メッセージ数に対する受信した検索メッセージ数と送信した応答メッセージ数の比などによって評価できると考えられるが、指標の設定については今後の課題とする。

## 3. シミュレーション評価

本章では、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、検索メッセージの到達率とピアの負荷を指標と

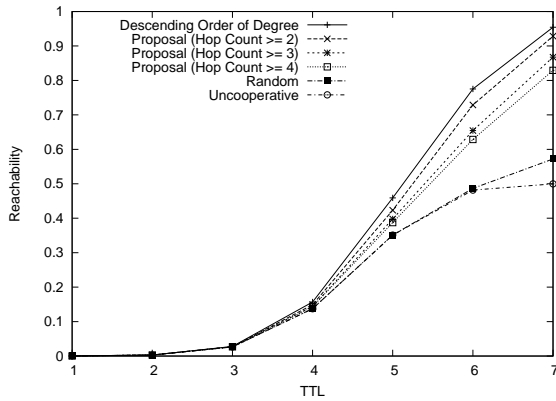


図 3 TTL に対する検索メッセージの到達率

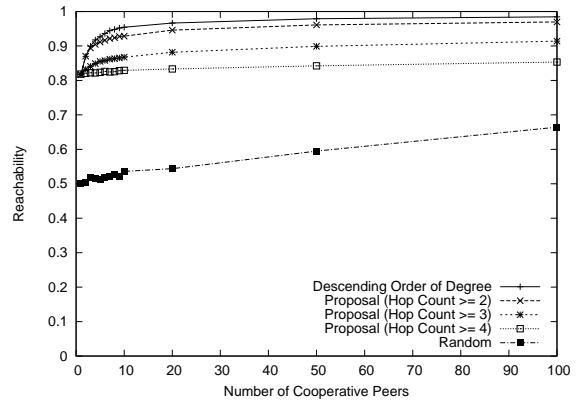


図 4 協調ピア数に対する検索メッセージの到達率

して提案手法をシミュレーションにより評価する．ここでは，全ピアのうち検索メッセージの到達したピアの割合をすべての検索メッセージについて計測し，その平均値を検索メッセージの到達率とした．また，ピアが発信，中継，受信した検索メッセージと応答メッセージの総数をピアにかかる負荷とした．

### 3.1 シミュレーション環境

ピア型 P2P ネットワークとして，トポロジジェネレータ BRITE [10] により生成した BA モデル [11] 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． $F$  種類のファイルに対し， $\alpha=1.0$  の Zipf 分布に従う人気度を与え，それぞれのファイルの存在数を最も人気度の低いファイルの数を 1 とし，この人気度によって定めた．例えば，ピア数が 10000 のネットワーク上には，5000 種類，総数 45473 個のファイルが存在し，最も人気度の高いファイルの存在数は 5000 個となる．

検索メッセージはランダムなピアで発生し，フラッディングによって TTL の範囲内で P2P ネットワーク上を伝播する．検索対象のファイルは， $\alpha=1.0$  の Zipf 分布に従う人気度によって定める．ただし，本評価では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．

以降では，ピア数 10000 のパワー則に従う 2 つの P2P ネットワークについて，それぞれのネットワーク上に 5000 種類，総数 45473 個のファイルを配置した．協調ピア数を 1 個から 100 個まで，検索メッセージの TTL を 1 から 7 まで変化させ，それぞれの場合について 20000 個の検索メッセージをランダムなピアで発生させた結果を示す．なお，本評価ではすべてのピアが協調ピア候補であるものとする．

### 3.2 検索メッセージの到達率の評価

検索メッセージの到達率に関するシミュレーション結果を図 3, 4 に示す．図中，“Uncooperative” は協調ピアを選出せず P2P ネットワークが協調しない場合，“Random” は協調ピアをランダムに選出した場合，“Decending Order of Degree” は隣接ピア数の降順で協調ピアを選出した場合，“Proposal (Hop Count  $\geq n$ )” は提案手法において確認メッセージの TTL を  $n-1$  として，協調ピア間のホップ数を  $n$  以上とした場合の結果である．図 3 では，協調ピアを 10 個選出した場合における検

索メッセージの TTL に対する到達率の変化を示している．図 3 より，検索メッセージの到達率は隣接ピア数の降順に協調ピアを選出した場合が最も高く，次いで提案手法，ランダムに選出した場合，協調しない場合となっている．例えば，協調しない場合において検索メッセージの TTL を 7 と設定した場合の到達率は，提案手法においては TTL を 6 と設定すれば十分に達成できることから，協調によって検索メッセージがより多くのピアに伝播し，ファイルを発見する可能性が高くなると考えられる．

図 4 では，検索メッセージの TTL を 7 に設定した場合の協調ピア数に対する検索メッセージの到達率の変化を示している．図に示されるとおり，提案手法では協調ピア間のホップ数を大きくすることにより隣接ピア数の少ないピアが協調ピアに選ばれるようになるため，到達率が下がっている．また，協調ピア数が増加していくにつれて到達率の上昇幅が小さくなっており，P2P ネットワークの協調においては少数の協調ピアで十分な効果が得られることがわかる．例えば，ピア数が 10000 個の 2 つの P2P ネットワークが協調する際には，1~10 個程度の協調ピアで十分であると考えられる．

### 3.3 ピアにかかる負荷の評価

ピアにかかる負荷に関するシミュレーション結果を図 5, 6 に示す．P2P ネットワークの協調による検索メッセージの到達率の向上とともに検索・応答メッセージ数も増加するため，図 3 と図 5，図 4 と図 6 はそれぞれ同様の傾向を示す．しかしながら，協調しない場合と同等の到達率を達成する際の負荷は，協調しない場合の TTL が 7 におけるメッセージ数が約 33000 個であるのに対し，提案手法での TTL が 6 におけるメッセージ数が約 35000 個であり，協調によりピアにかかる負荷はそれほど増加していないといえる．

次に，ピアごとの負荷について調べるため，協調ピア数を 10 個とした場合の隣接ピア数に対するピアの負荷分布を図 7 に示す．図 7 より，協調ピア間のホップ数を大きくすることにより，隣接ピア数において上位 2 つのピアにかかる負荷が大きくなっていることがわかる．これらはそれぞれの P2P ネットワークにおいて最も次数が高く，協調ピアとして選出されたピアである．重複した検索メッセージはピアで棄却されるため，検索メッセージの到達範囲が重なる場合，協調ピアあたりの検

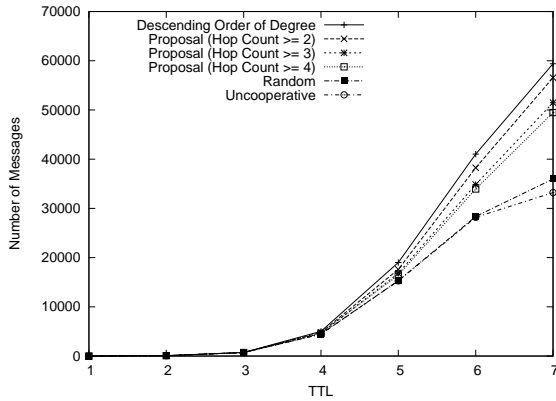


図 5 TTL に対するピアの平均負荷

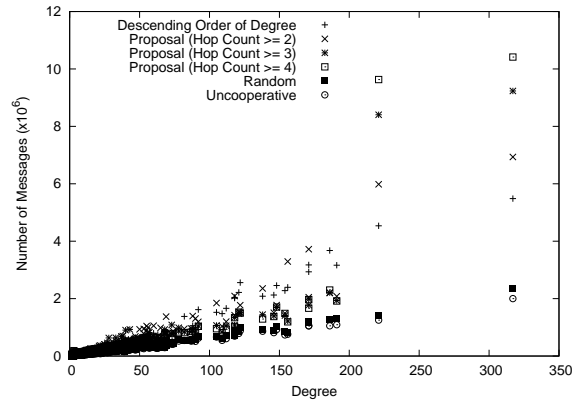


図 7 隣接ピア数に対するピアの負荷分布

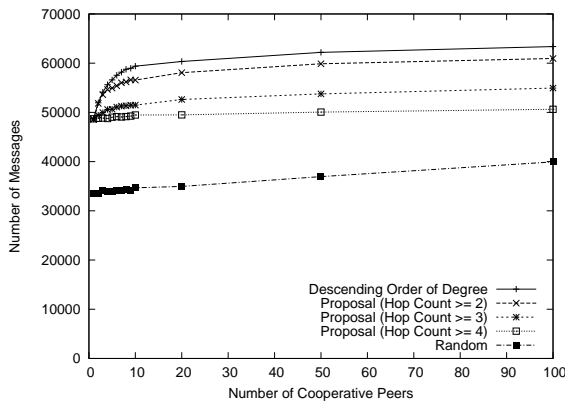


図 6 協調ピア数に対するピアの平均負荷

索メッセージの到達ピア数は少なくなる。したがって、協調ピアが互いに離れるにしたがい、検索メッセージがより多くのピアに到達し、より多くの応答メッセージを受信するため、協調ピアの負荷が増加していると考えられる。このように、提案手法により、協調における P2P ネットワーク全体の負荷を低くすることができる一方で、次数の高いピアへの負荷集中が発生することがわかった。

#### 4. おわりに

本稿では、ピア型 P2P ファイル共有ネットワークを対象に、複数のオーバーレイネットワークが協調するための機構およびアルゴリズムを提案し、シミュレーションにより協調によって得られる効果を評価した。その結果、パワー則に従う P2P ファイル共有ネットワークの協調では、隣接ピア数の大きなピアを協調ピアとすることによってファイルの検索効率が向上することを示した。また、協調ピアを一定ホップ数離すことにより、P2P ネットワーク全体にかかる負荷は軽減されるが、一部の協調ピアにかかる負荷が増大してしまうことが明らかとなった。

今後の課題としては、協調ピアへの負荷の偏りを軽減する手法を検討するとともに、ピア数やファイル数が大きく異なる P2P ネットワークや頻りにピアの参加、離脱が生じる P2P ネットワークを協調させた場合について、どのような特性を示すかについて検証し、効果的な協調の手法を検討する。また、物理網に与える影響について評価し、物理網特性を考慮した協調手

法について検討する。

#### 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, p151-162, Aug. 2003.
- [2] M. Seshadri and R.H. Katz, "Dynamics of Simultaneous Overlay Network Routing," in UCB EECS report UCB//CSD-03-1291, Nov. 2003.
- [3] I. Stoica, D. Adkins, S. Zhuang, S. Shenker, and S. Surana, "Internet Indirection Infrastructure," in Proceedings of ACM SIGCOMM, p73-88, Aug. 2002.
- [4] M. Kwon and S. Fahmy, "Toward Cooperative Inter-overlay Networking," in Poster in IEEE ICNP, Nov. 2003.
- [5] A. Nakao, L. Peterson, and A. Bavier, "A Routing Underlay for Overlay Networks," in Proceedings of ACM SIGCOMM, p11-18, Aug. 2003.
- [6] D.G. Andersen, H. Balakrishnan, M.F. Kaashoek, and R. Morris, "Resilient Overlay Networks," in Proceedings of ACM SOSP, Oct. 2001.
- [7] N. Wakamiya and M. Murata, "Toward Overlay Network Symbiosis," to be presented at the Fifth International Peer-to-Peer conference (P2P2005), Aug. 2005.
- [8] R. Schollmeier and G. Schollmeier, "Why peer-to-peer (P2P) does scale: An analysis of P2P traffic patterns," in Proceedings of P2P2002, (Linkoping), Sept. 2002.
- [9] L.A. Adamic, R.M. Lukose, A.R. Punyani, and B.A. Huberman, "Search in power-law networks," in Physical Review E, vol 64, 46135, Sept. 2001.
- [10] A. Medina, A. Lakhina, I. Matta, and J. Byers, "BRITTE: An approach to universal topology generation," in Proceedings of the International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication System (MASCOTS'01). available at <http://www.cs.bu.edu/brite/>, 2001.
- [11] A.L. Barabasi and R. Albert, "Emergence of Scaling in Random Networks," in Science, Vol 286, p509-512, Oct. 1999.