

# ハイブリッド型P2Pファイル共有ネットワークにおける アプリケーションレベルQoS向上のための ネットワーク協調機構の設計と評価

付 宏野<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: †{fuhongye,wakamiya,murata}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし オーバレイネットワークはリンク、ルータといった物理網資源を共有、競合しており、あるオーバレイネットワークの制御は物理ネットワークを介して間接的に他のオーバレイネットワークに影響を与えるため、オーバレイネットワークのQoSを向上するための振る舞いは結果として性能劣化を引き起こす。本稿では、ハイブリッド型P2Pファイル共有ネットワークを対象に、複数のオーバレイネットワークが効果的に協調し、より多くのファイルを発見し、より多くのピアとファイルを共有できるようになる機構について検討している。協調機構では、複数のP2Pネットワークに参加するピアによってメタサーバ間のメッセージ交換を中継することにより、ネットワークの協調を達成する。シミュレーション評価により、協調によってファイルの検索効率が向上するとともに、協調ピアにおけるファイル検索速度が他のピアと比較して28%短くなることが示された。

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

## Design and Evaluation of Cooperation of Hybrid P2P File-Sharing Networks to Enhance Application-Level QoS

Hongye FU<sup>†</sup>, Naoki WAKAMIYA<sup>†</sup>, and Masayuki MURATA<sup>†</sup>

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

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

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

**Abstract** Overlay networks, such as P2P, Grid, and CDN, have been widely deployed over physical IP networks. Since simultaneous overlay networks compete for network resources, their selfish behaviors to improve their application-oriented QoS disrupt each other. To enhance the collective performance and improve the QoS at the application level, we consider so-called the overlay network symbiosis where overlay networks cooperate with each other. In this paper, we considered a cooperative mechanism for hybrid P2P file-sharing networks, where peers can find more files and exchange files with more peers. Through simulation experiments, it was shown that the application-level QoS was improved in terms of the number of available files and the hit rate, and the response time of cooperative peers was decreased by 28% than normal peers.

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

### 1. はじめに

物理網上に存在するオーバ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情報などにもとづいて、アプリケーションの求めるQoSを満足できるよう、個別にトラヒック制御、経路制御、トポロジ形成を行う。複数のオーバレイネットワークはリンク、ルータといった物理網資源を共有、

競合しているため、あるオーバレイネットワークの制御は物理網を介して間接的に他のオーバレイネットワークに影響を与える[1]。そこで近年、オーバレイネットワーク間の干渉、競合を防ぎ、網資源の利用効率やアプリケーションレベルの性能を向上させるための研究が行われている[1]~[4]。

我々は、複数のオーバ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レイネットワークに与える負荷を低減するとともに、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 [5]~ [7] .

文献 [7] において、我々は、ハイブリッド型 P2P ファイル共有アプリケーションを対象に、オーバーレイネットワーク協調のための機構について検討、提案した。ハイブリッド型 P2P ファイル共有ネットワークはメタサーバからなるネットワークと、それぞれのメタサーバを中心としたスター型のメタサーバ-ピア間ネットワークとの階層構造となっている。ピアは、メタサーバに接続することにより P2P ネットワークへ参加し、続いて共有するファイルに関する情報をメタサーバに登録する。ファイル検索は、メタサーバへユニキャスト通信によって検索メッセージを送信することによって行われる。メタサーバは、要求されたファイルに関するメタ情報を持っていればピアに回答し、そうでない場合にはメタサーバ間で検索メッセージをフラッディングすることによりファイルに関するメタ情報を検索する。検索対象のファイルに関するメタ情報を持つメタサーバは応答メッセージを送出する。応答メッセージはメタサーバ間で中継され、送信元のピアに到達し、送信元のピアは所有者とのユニキャスト通信によりファイルを取得する。

P2P ファイル共有アプリケーションにおいては、ピアは一回の検索で所望のファイルを発見できなかった場合、検索のキーワードを変更して、何度も検索を繰り返す。このような冗長な検索はオーバーレイネットワークの負荷を高めるとともに物理網資源を無駄に消費してしまう。複数の P2P ファイル共有ネットワーク同士が協調し、双方で所有するファイルを共有しあえば、ファイルの発見率が向上し、冗長な検索が抑えられる。また、ピアはより多くの所有者を発見できるようになるため、よりよいピアからより早くファイルが取得できるようになり、また、ピアの負荷を分散させることもできる。共有ファイルの種類、プロトコルやアーキテクチャが異なる P2P ネットワークにおいても、文献 [4] で示されているように、協調により高速で信頼性の高いメッセージ転送ができる。また、協調により、システムの安定性と柔軟性を向上させることができ [5]、メタサーバの故障やリンク障害などにより、メタサーバ間ネットワークが切断された場合でも、協調相手のネットワークを介して、メタサーバ間通信を維持することができる。

本稿では、ハイブリッド型 P2P ファイル共有ネットワークを対象に、文献 [7] において検討した協調機構にもとづき、協調ピアからみた協調の効果を向上するためのキャッシュ機構を導入し、シミュレーション評価により、その効果を検証している。

以下、2 章では協調ピアを介したハイブリッド型 P2P ファイル共有ネットワークの協調機構について述べ、3 章においてシミュレーションにより協調の効果を評価する。最後に、4 章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

## 2. 協調ピアを介したハイブリッド型 P2P ファイル共有ネットワークの協調

ピアを介したハイブリッド型 P2P ファイル共有ネットワークの協調においては、複数のオーバーレイネットワークに参加するピアが協調用のプログラム (以降、協調プログラムと呼ぶ) を導

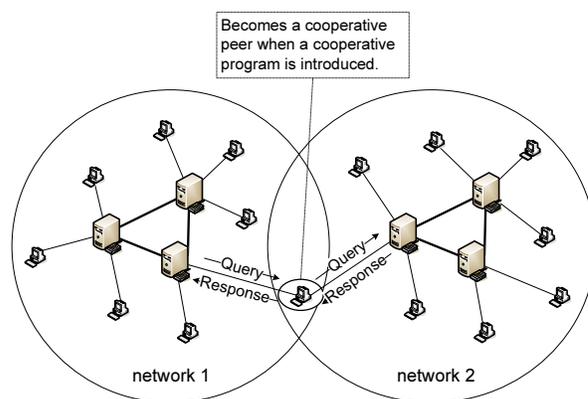


図 1 協調ピアを介した協調

入することにより、協調を実現する。複数の P2P ネットワークに所属するピアを共有ピアと呼び、協調プログラムを導入した共有ピア (協調ピアと呼ぶ) により、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転送、ファイル取得、プロトコル変換を行う (図 1)。

### 2.1 協調機構の概要

メタサーバは、ピアや他のメタサーバから受け取った検索メッセージに対応するメタ情報を持たない場合には、協調ピアを含む隣接メタサーバに検索メッセージをフラッディングする。協調ピアは固定長のファイル ID フィールドと可変長の所有者 ID のリストで構成されたエントリからなるキャッシュを有している。ファイル ID はエントリのインデクスとして用いられ、ファイル ID とそれぞれの所有者 ID にはタイムスタンプが付与される。協調プログラムは検索メッセージを受信すると、キャッシュを調べ、キャッシュヒットした場合は、そのメタ情報から応答メッセージを生成、検索メッセージ転送元のメタサーバに返信するとともに、ファイル ID のタイムスタンプを更新する。一方、キャッシュ内に該当するメタ情報がない場合には、協調プログラムは検索メッセージに対して、必要に応じてプロトコル変換を行った後、協調している他の P2P ネットワークのメタサーバに転送する。この時、検索メッセージの発生した P2P ネットワークをゲストネットワーク、検索メッセージの転送先の P2P ネットワークをホストネットワークと呼ぶ。検索メッセージはホストネットワークのメタサーバ間で転送され、ファイルが検索される。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メタサーバで棄却される。

ホストネットワークにおいて所望のファイルが発見された場合には、応答メッセージは協調ピアの協調プログラムを通してゲストネットワークに転送される。協調プログラムは応答メッセージを受信すると、キャッシュを調べ、ファイル ID がキャッシュに存在する場合は、所有者 ID のリストに新たなファイルの所有者 ID を追加するとともに、ファイル ID のタイムスタンプを更新する。所有者 ID が既に存在する場合には、所有者 ID のタイムスタンプを更新する。キャッシュに該当するファイル ID が存在しない場合は、ファイル ID と所有者 ID のリストを追加する。ただし、キャッシュに空きがない場合は、LRU (Least

Recently Used) にしたがって、最も古いタイムスタンプを有するファイル ID のエントリと置き換える。また、ホストネットワーク、ゲストネットワーク間でファイル取得に関するプロトコルが異なる場合には、応答メッセージのファイル所有者を協調ピアに書き換える。応答メッセージを受信したピアはファイルを取得するが、P2P ネットワーク間でプロトコルが異なる際には、ファイル取得もまた協調ピアを介して行われることとなる。

以上のように、協調ピアを介した協調においては、メタサーバや他のピアは協調ピアの存在や協調について知ることなく、協調が達成される。

## 2.2 協調ピアへの協調プログラムの導入

複数の P2P ファイル共有ネットワークに所属する共有ピアは、自身のアプリケーションレベルの QoS 向上などのため、協調プログラムを導入する。

共有ピアは、参加しているそれぞれの P2P ネットワークに検索メッセージを送信することにより、いずれの P2P ネットワークに対してもファイルを検索、取得することができる。しかしながら、そのためにはユーザは、参加しているどの P2P ネットワークにおいてファイルを検索するのが効果的か判断し、適切な P2P ファイル共有アプリケーションを用いて検索メッセージを作成、送信する必要がある。一方、協調プログラムを導入した場合、協調プログラムは協調の有効性を自律的に判断し、適切な P2P ネットワークと協調を行う。ユーザがある P2P ファイル共有アプリケーションにおいて発行した検索メッセージは、協調プログラムによってプロトコルが変換され、協調先の P2P ネットワークに送信される。したがって、ユーザは協調プログラムを導入することにより、検索対象の P2P ネットワークを意識することなく、効果的かつ効率的に複数の P2P ネットワークから所望のファイルを発見、取得することができる。また、協調ピアは協調負荷軽減のため、他のピアの応答メッセージに含まれるメタ情報をキャッシュしているため、キャッシュ内に自身の検索対象のファイルに関するメタ情報が存在すれば、P2P ネットワーク上での検索を行うことなく、即座にファイルを発見し、これを取得することができるため、検索速度が向上する。

## 3. シミュレーション評価

本章では、2 つの P2P ファイル共有ネットワークの協調の効果を、ファイル可用率と検索ヒット率、および協調ピアのキャッシュヒット率および検索遅延にもとづいて評価する。

### 3.1 シミュレーション環境

KaZaA [8] のトポロジを参考に、ハイブリッド型 P2P ファイル共有ネットワークを以下のステップで生成した。まず、2 次元領域に  $m$  台のメタサーバと  $n$  台のピアをランダムに配置した。次に、任意のメタサーバを最も近い一つのメタサーバと接続し、残りのメタサーバを既にメタサーバ間ネットワークに属する最も近いメタサーバに順次接続した。最後に、すべてのピアをそれぞれ最も近いメタサーバと接続した。

2 つの P2P ネットワークにおいて総数  $F$  種類のファイルが利用可能であり、それぞれのファイルの人気度は  $\alpha = 1.0$  の Zipf

分布に従うものとした。一番人気の低いファイルの存在数を 1 とし、したがって、一番人気の高いファイルの存在数は  $F$  となる。それぞれのファイルを 2 つの P2P ネットワークのランダムなピアに配置し、それぞれのピアは接続しているメタサーバにファイルのメタ情報を登録するものとした。なお、 $F$  はピアあたり平均 0.25 種類のファイルを所有するものとして決定した。

query-cycle model [9] にもとづき、ピアは平均  $\lambda = \{0, 0.5\}$  のポアソン分布に従うレートで検索メッセージを生成するものとした。したがって、query-cycle ごとにピアが  $x$  個の検索メッセージを生成する確率は  $p(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$  となる。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決定した。なお、ピアは自身の所有するファイルを要求しない。

本評価では、2 つの P2P ネットワークは同じプロトコルを用いるものとする。以降では、それぞれ 10 query cycles のシミュレーションを 100 回繰り返した平均値を用いている。

### 3.2 ファイル可用率と検索ヒット率

本節では、評価指標としてファイル可用率と検索ヒット率を用い、協調ピア以外のピアにおける協調による効果を評価する。2 つの P2P ネットワークが協調することにより、ピアはそれら P2P ネットワークに存在する全てのファイルを利用可能となる。そこで、1 つの P2P ネットワークで共有されているファイルの種類  $F$  の両 P2P ネットワークに存在するファイルの種類  $F$  に対する比をファイル可用率、生成された検索メッセージの総数に対する検索対象のファイルを発見した検索メッセージ数の比を検索ヒット率と定義する。本稿のシミュレーション環境においては、協調することによって全てのファイルが発見可能となるため、協調後のヒット率は 100% となる。

シミュレーション評価の結果、サイズと同じ P2P ネットワークでは、協調しない場合には、存在する全てのファイルのうち約 69 ~ 70% しか利用できず、協調することによって利用可能なファイルの種類が約 30% 増加することが分かった。また、協調によって検索ヒット率が向上し、特にサイズの小さい P2P ネットワーク同士が協調する方が効果が高いことが明らかになった。

また、サイズが異なる P2P ネットワークの協調においては、サイズの差が大きいほど協調の効果が大きいことがわかった。また、サイズの小さい P2P ネットワークの方が協調の効果が高く、特にサイズが 10 倍異なる場合には、利用可能なファイルの種類が約 76% 向上した。

### 3.3 協調ピアのキャッシュヒット率と検索遅延

協調ピアの生成した検索メッセージの総数に対する自身のキャッシュ内に検索対象のファイルが存在した検索メッセージ数の割合を協調ピアのキャッシュヒット率と定義する。

図 2 に、それぞれピア数が 1000 の 2 つの P2P ネットワークが協調した場合の協調ピアのキャッシュヒット率を示す。それぞれの P2P ネットワークにおけるメタサーバ数を 1 ~ 10 と変化させた。協調ピアにおけるキャッシュ容量は、ファイル種類数 500 に対し、100 とした。図中の  $c$  は協調ピア数を表す。図 2 より、協調ピア数によらず、協調ピアのキャッシュヒット率はメタサーバ数の増加にともなって高くなっていることがわかる。これは、シミュレーションでは、ピア数およびファイル数を固

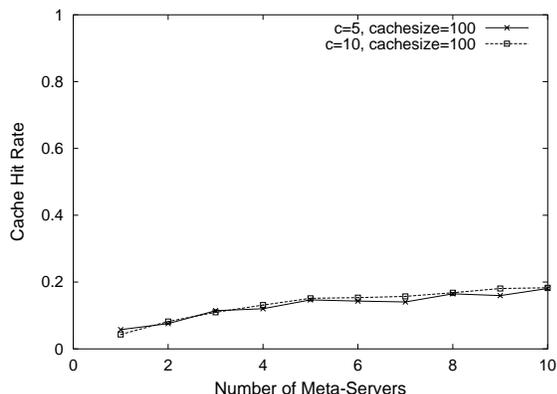


図2 協調ピアの生成した検索メッセージに対するキャッシュヒット率

表1 検索遅延

メタサーバ数 $m$	通常のピア	協調ピア
1	1.1	0.96
5	1.7	1.24
10	2.1	1.52

定したままメタサーバ数を変化させているため、メタサーバ数の増加にともない、メタサーバあたりの接続ピア数が減少し、その結果、メタサーバあたり登録ファイル数が減少するためである。

図3にファイルの人気度に対する協調ピアのキャッシュヒット率を示す。図中の  $m$  はメタサーバ数を表す。メタサーバが一つしかない場合には、人気度が高く、存在数の多いファイルに対する検索はメタサーバでヒットし、協調ピアにはフラッディングされない。その結果、協調ピアが中継する検索メッセージ、応答メッセージは比較的人気度の低いファイルのものとなるため、人気度の高いファイルの協調ピアのキャッシュヒット率が低くなる。一方、メタサーバ数が多い場合には、人気度に応じて協調ピアのキャッシュヒット率が向上するが、ある程度以上の人気度になると協調ピアのキャッシュヒット率が急速に低くなる傾向が見られる。

通常のピアにおいて人気度  $i$  のファイルが  $h_i$  ホップ先のメタサーバ、または協調ピアでファイル所有者のメタ情報を発見するものとする、通常のピアにおける平均検索遅延は  $\sum p_i/h_i$  で求められる。ただし、 $p_i$  は人気度  $i$  のファイルが検索対象になる確率である。一方、協調ピアにおける平均検索遅延は、 $\sum p_i(1-a_i)k_i$  で与えられ、 $a_i$  は人気度  $i$  のファイルの協調ピアにおけるキャッシュヒット率、 $k_i$  は協調ピアにキャッシュがない場合の人気度  $i$  のファイルのメタ情報までの平均ホップ数である。表1に、協調ピア数を10とした場合の、平均検索遅延を示す。表1より、協調ピアにおけるファイル検索遅延が他のピアと比較して短くなるのがわかる。特に、10台のメタサーバを有する2つのネットワークが協調した場合、ファイル検索遅延が28%短くなっている。

#### 4. おわりに

本稿では、複数のハイブリッド型 P2P ファイル共有ネット

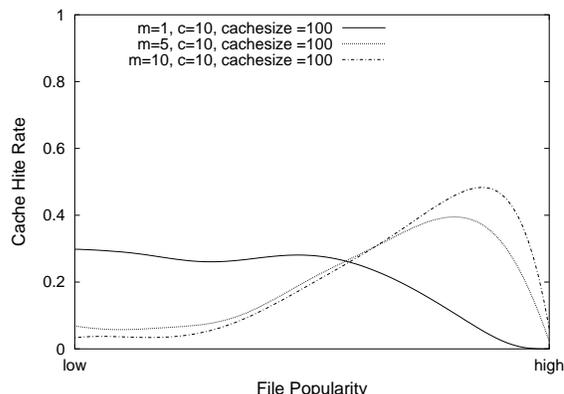


図3 ファイルの人気度に対する協調ピアのキャッシュヒット率

ワークが効果的に協調し、アプリケーションレベルの QoS を向上する協調機構について、協調ピアにおける協調の効果について検討した。シミュレーションによる評価の結果、協調ピアのキャッシュヒット率はそれほど高くないが、ファイル検索時間が28%短くなることが示された。

今後は、ピアの参加、離脱が動的に発生する環境における協調の効果について評価する。

#### 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] M. Seshadri and R.H. Katz, "Dynamics of Simultaneous Overlay Network Routing," Tech. Rep. UCB//CSD-03-1291, EECS Department, University of California, Berkeley, November 2003.
- [2] A. Nakao, L. Peterson, and A. Bavier, "A Routing Underlay for Overlay Networks," in Proceedings of ACM SIGCOMM, pp.11-18, August 2003.
- [3] I. Stoica, D. Adkins, S. Zhuang, S. Shenker, and S. Surana, "Internet Indirection Infrastructure," in Proceedings of ACM SIGCOMM, pp.78-88, August 2002.
- [4] M. Kwon and S. Fahmy, "Synergy: An Overlay Internetworking Architecture and its Implementation," tech. rep., Purdue University, October 2005.
- [5] N. Wakamiya and M. Murata, "Toward Overlay Network Symbiosis," in Proceedings of the Fifth International Peer-to-Peer conference (P2P2005), pp.154-155, August-September 2005.
- [6] J. Konishi, N. Wakamiya, and M. Murata, "in 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-ADIT2006), January 2006.
- [7] H. Fu, N. Wakamiya, and M. Murata, "Proposal and Evaluation of a Cooperative Mechanism for Hybrid P2P File-Sharing Networks," in Proceedings of The Fourth IASTED International Conference on Communications, Internet and Information Technology (CIIT2005), pp.7-13, October-November 2005.
- [8] J. Liang, R. Kumar, and K.W. Ross, "Understanding KaZaA." available at <http://cis.poly.edu/~ross/papers/UnderstandingKaZaA.pdf>.
- [9] M.T. Schlosser and S.D. Kamvar, "Simulating A File-Sharing P2P Network." available at <http://www.stanford.edu/~sdkamvar/papers/simulator.pdf>.