

P2P ダウンロードにおける ISP 間トラフィック削減手法の提案

Method of traffic reduction between ISP in P2P

今泉 友輔 †, 今泉 貴史 ‡

Imaizumi Yusuke†, Imaizumi Takashi‡

z9t1510@chiba-u.jp, imaizumi_takashi@faculty.chiba-u.jp

千葉大学大学院融合科学研究科 †

千葉大学統合情報センター ‡

Chiba University, Graduate School of Advanced Integration Science†

Chiba University, Institute of Management and Information Technologies‡

概要

近年、インターネットの利用増加による通信帯域の圧迫が大きな問題となっているが、その中で P2P ファイル共有関連のトラフィックが占める割合は小さくない。P2P ファイル共有アプリケーションでは、目的のファイルを持つノード群から主にスループットに基づいて接続先を選択する。この際、距離などは考慮されないため長い距離をデータが流れることがあり、インターネット資源の浪費を引き起こしている。つまり、P2P ファイル共有アプリケーションはユーザー優先なアーキテクチャとなっている。P2P ファイル共有トラフィックによる帯域の圧迫のために、ISP では、帯域制限や特定のプロトコルの遮断を余儀なくされている。

接続先として地理的に近いノードを選択することで総トラフィックを削減する手法が提案されているが、これは ISP 側の視点から考えられたものであり、ユーザー側のインセンティブについては明確に述べられていない。本研究では、ノードの選択にダウンロード速度と距離の両方を用いる指標を導入し、ISP 側とユーザー側の双方を考慮したノード選択法を提案する。

キーワード

P2P, P4P, オーバーレイネットワーク, トラフィック削減

1 はじめに

インターネット利用者数は増加の一途を辿っており、それに伴い大量のトラフィックが発生している。通信形態として、従来のクライアント・サーバー方式だけでなく P2P (Peer to Peer) 方式での通信も多く用いられている。2004 年以降 YouTube などに代表される Web 上での動画共有サイトが次々に誕生し、一時 P2P トラフィックが上回っていたものの、2007 年には HTTP トラフィックが再び上回った。近年では依然として HTTP トラフィックの割合が多いものの、P2P トラフィックもそれに迫る割合を占めている [1]。

P2P とは、ネットワーク上で対等な関係にある端末

(Peer) 同士で通信を行う方式の総称である。従来のクライアント・サーバー方式に対して、P2P 方式ではユーザーがクライアントにもサーバーにもなりうる。この技術はサーバーへのトラフィックの一極集中を防ぎ、負荷分散や帯域の有効な利用を可能にしている [2]。

この技術はファイルの共有によく用いられている。P2P ファイル共有アプリケーションではトラフィックの一極集中を防ぐという特性を生かし、OS などの巨大なファイルの配布が行われている。P2P ファイル共有アプリケーションはネットワーク資源の有効利用を可能にしているが、膨大なトラフィックを生み出す要因ともなっている。バックボーンを提供する ISP では膨大な

トラフィックに対する対策が必要となり、また、アプリケーション側のアーキテクチャの見直しも議論されている。

P2P ファイル共有アプリケーションの多くは対象のノードの選択に主にスループットを指標とし、ISP 間の接続形態や地理的な距離を考慮しない。よって遠い位置にあるノードと通信する場合、その分長い距離をトラフィックが流れることになる。多くのユーザーがそのような通信をすることにより、帯域の圧迫を引き起こす可能性がある。関連研究で近い位置にあるノードを優先的に選択することで総トラフィックを削減する方法が存在するが、それは主に ISP 側の利点のみに着目したものであり、ユーザー側のインセンティブについては明確に述べられていない。

本論文ではノードの選択法に通信速度と距離の両方を考慮した新たな指標を用い、総トラフィックを削減しユーザーのダウンロード時間の増加を極力抑える手法を提案する。通信速度の指標として応答遅延、距離の指標として ISP のホップ数の両方を用い、ホップ数に重みを持たせた式を計算し選択するノードを決定する。ホップ数に重みを持たせることで、総トラフィックの削減と通信速度の優先度が調節可能である。この手法を用いることにより、ユーザーのダウンロード時間と発生するトラフィックの両方を考慮することができ、ネットワーク資源を効率よく使用できる。

2 P2P ファイル共有アプリケーション

この章では、P2P ファイル共有アプリケーションが抱える問題を提示し、関連研究とその課題について述べる。

2.1 問題点

P2P 方式のネットワークはアプリケーションレベルのオーバーレイネットワークである。P2P ファイル共有アプリケーションでのファイル転送の際に選ばれるノードは、多くの場合単にエンド間の性能を指標として選択される。よって、選択したノードまでのトランジットやピアリングなどの ISP 間の接続形態、地理的な距離を考慮しない。下位 ISP のユーザーが P2P ファイル共有アプリケーションを使い接続形態を考慮をしない通信をすると、トランジットリンクで結ばれている上位の ISP から流入するトラフィックが多くなる可能性がある [3]。料金が発生するトランジットリンクの場合、下位 ISP はトラフィックが流れた分上位 ISP に対し多くの費用を負うことになる。

具体例を図 1 に示す。P2P ユーザーにとって各ノードとの通信は、図のオーバーレイネットワーク上に示したような直接通信に見える。しかし、実際のネットワークでは ISP を経由する形で通信が行われる。この際、大きく迂回するような場合も考えられ、ユーザーの意識しない所でネットワーク資源が浪費されている。

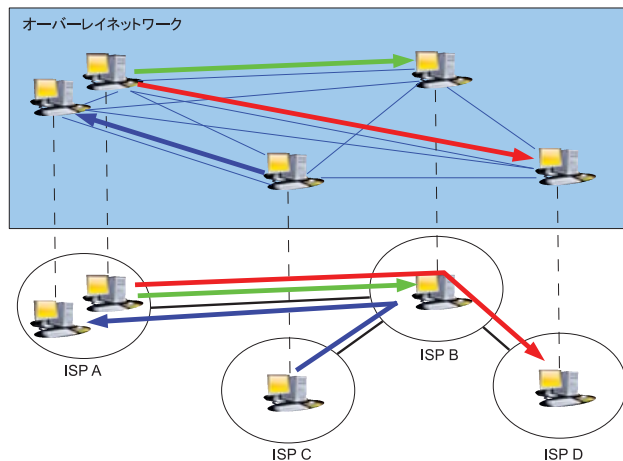


図- 1: ネットワーク資源の浪費

ネットワーク資源の浪費に対し、いかにトラフィックを抑え、設備増強にかかるコストを減らすかが課題となっている。トラフィック抑制策として考えられているのは、膨大なトラフィックを生み出す通信の制限である。考えられる案として「帯域制御」「総量規制」「特定の通信の遮断」などがある。これらの方法によって ISP の負担は軽減するが、ユーザーにとって利便性が大幅に低下する可能性があり、好ましい策とは言えない。一部の ISP ではすでに、主に P2P ファイル共有アプリケーションのトラフィック抑制策として帯域制御を実施している [4]。

2.2 関連研究

2.1 節の問題への対策として、P2P ファイル共有アプリケーションでのファイル転送において地理的な距離を考慮する手法を用いた研究が存在する。

- 早稲田大学の魏元の研究「P2P トラフィックの効率的制御法」[5]では、AS 番号を利用し、同一 AS 内にあるノードを選択することでトラフィックを AS 内に閉じ込め、総トラフィックを抑える手法が述べられている。P2P ファイル共有アプリケーションの一つである Bittorrent¹を使用し、トラッカーに

¹Bittorrent はトラッカーと呼ばれるインデックスサーバーを用いるハイブリッド型 P2P である。P2P ネットワーク上にあるデータをピースと呼ばれる単位に分割して扱い、一対多のダウンロードが可能である。チョーキングアルゴリズムと呼ばれるノード選択のアルゴリズムによりデータの拡散が効率化されている。

AS の情報を追加することで同一 AS 内のノードを選択する。また、BitTorrent のチョーキングアルゴリズムにより選択されたノード群でのデータ拡散の高速化が可能である。

- P4P Working Group によって提案されている技術「P4P」は、P2P ネットワークのコストが最適なノードを選ぶ技術であり、Proactive network Provider Participation for P2P から P4P と呼ばれる [6]。P2P アプリケーションが効果的な通信を実現するには、ネットワークトポロジー等を知る必要がある。現在の測定技術では、エンド間の努力だけでネットワークトポロジーを詳しく知ることや、利用可能な帯域やパケット損失レートの測定を行うことは困難である。また、エンドホストではどのリンクを通ったほうがコスト（経費）が安くなるかなどの、コストやポリシーについて知ることは非常に難しい。P4P ではエンドホストでは得ることが困難な ISP 間のリンクやピアの情報を ISP に提供してもらい、適切なノードの選択を行うことでネットワークリソースを効率的に利用する。

P4P ではネイティブな P2P と比較するとコンテンツ伝播時間、リンク使用率、リンクのピーク時の負荷などが劇的に改善できると主張され、実験においても高い効果が確認されている [7]。

2.2.1 関連研究における課題

これら 2 つの研究では、共に AS 番号を用い、同一 AS 内にあるノードを優先的に選択することでトラフィックの削減を行う。これらの方法はランダムでノードを選択する方法と比べると、近いノードとの通信になるため総トラフィックは少なくなり、ダウンロード速度の向上にもつながる [8]。しかし、同一 AS 内にあるノードの通信速度が速いとは限らず、大幅なダウンロード時間の増加を引き起こす可能性がある。

また、P4P が非 P4P クライアントを利用するユーザーや P4P をサポートしない ISP の加入者のダウンロード速度を低下させる可能性が考えられる。これは、通常の P2P ユーザーが全てのノードと共有する一方で、P4P ユーザーはローカルなノードとの共有をより行うようになっているためである [9]。

これらの方法をとることで確実にトラフィックの削減にはつながるが、ユーザーや P2P クライアントの開発者たちが容易に P4P を採用するとは考え難い。

3 提案手法

3.1 ホップ数重み付き応答遅延に基づくノード選択法

本研究では、ノードの選択に通信速度と ISP のホップ数の両方を考慮した指標を用いることで、各 ISP リンク間に流れるトラフィックの合計（総トラフィック）を削減しユーザーのダウンロード時間の増加を極力抑える手法を提案する。また、そのノード選択法が総トラフィックの削減と通信速度の優先度を調節できるものにした。

通信速度に RTT(単位 ms)、ホップ数には対象のファイルを持つノードまでの ISP の中継数を用い、

$$\text{ホップ数} \times P + RTT \quad (1)$$

というホップ数に重みをつけた応答遅延の指標を導入し、目的のファイルを持つノードの中でこの式の値が最も小さくなるものを選択する。P の値をホップ数優先度と呼ぶ。この値が大きいほど通信の局所性は高まり、総トラフィックは少なくなる。この値が小さい時には、RTT が小さい（＝通信速度が速い）ノードが選択されダウンロードにかかる時間は短くなる。

本手法は本来、通信速度を優先に考えた時と総トラフィックの削減を優先に考えた時の間をとるものだが、ノードの分布状況によって非常に効果的となる場合がある。3.2 節で速度優先の手法と総トラフィック優先の手法に対し、それぞれのネックとなるトポロジーの例を挙げ、提案手法を用いることによりどのようなノードが選択されるかを確認し、またその結果を比較する。

P2P ファイル共有アプリケーションで行われるエンド間の性能だけを見た速度優先の手法では ISP 側に、総トラフィックを削減するためにホップ数だけを見るような手法ではユーザー側にそれぞれマイナス面が偏ってしまう。提案手法を用いることにより、ユーザー側、ISP 側双方のインセンティブを保った P2P ファイル共有が可能である。この手法では、ノードの選択に単に AS 内外の判断ではなくホップ数を距離としている。また、調節可能なホップ数優先度によって、より多様な状況に対応ができ、柔軟なネットワーク資源の利用が可能になる。

3.2 効果的となるトポロジー例

速度優先時の問題

図 2 のように無視できるような速度の差であるノードが分布している場合に通信速度を優先に考えると、この例では最も RTT が小さいノード D が選択される。この時総トラフィックは 500MB となる。提案手法を用いた場合、ホップ数優先度を $P \geq 2$

に設定することにより、確実にノード A が選択され総トラフィックは最小の 200MB に抑えることができる。

このように、ホップ数を考慮することによって、速度の差が無視できるような場合にユーザーのデメリットがほぼなく、大幅に総トラフィックを削減できる。

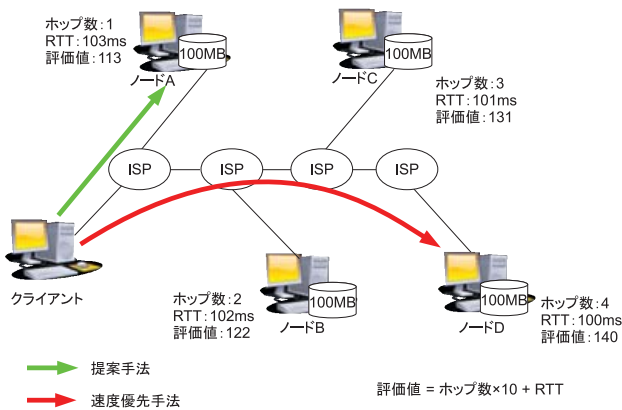


図- 2: 速度優先時の問題

トラフィック優先時の問題

図3のようにクライアントの同一ホップに通信速度が非常に遅いノードが存在する場合に総トラフィック削減を優先に考えると、最も近い位置にあるが非常に通信速度が遅いノード A が選択される。

提案手法を用いた場合、P の値を極端に大きく設定しない限り (この例では 898) ノード A の選択を避けることができる。

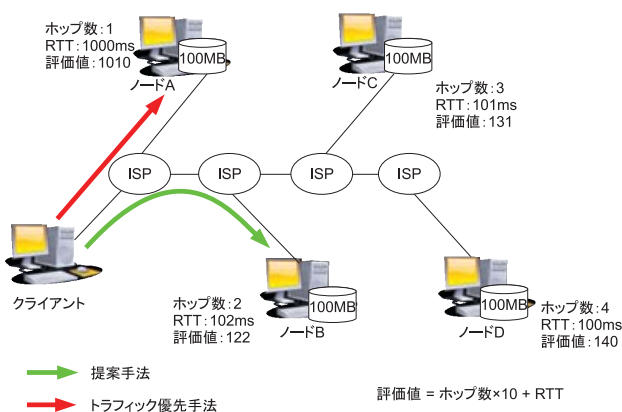


図- 3: トラフィック優先時の問題

P の値を適切な値に設定することにより、通信速度を優先とした手法と総トラフィックの削減を優先に考えた手法それぞれのネックとなるトポロジーに対し、効率の良いノード選択が同時に可能である。

3.3 評価実験

ノード選択に 3.1 節で述べた手法を用いることによる総トラフィックの削減とそれに対するダウンロード時間の結果をプログラムを作成し確認した。

3.3.1 実験内容

本実験では、位置とパラメータをランダムに設定した目的のファイルを持つノードを配置し、以下の3つの手法についてダウンロードにかかった時間と総トラフィックを計測した。

1. 速度優先手法

P2P ファイル共有アプリケーションで主に用いられるダウンロード方法である。最も通信速度の速い (RTT が小さい) ノードを一つ選択してダウンロードを行う。同一の速度であるノードが複数ある場合は、その中から最もホップ数が小さいものを選択する。

2. トラフィック優先手法

関連研究で用いられている総トラフィックを最小にするダウンロード方法である。最もホップ数が小さいノードを一つ選択しダウンロードを行う。最小のホップ数にノードが複数ある場合は、その中から最も通信速度の速いものを選択する。

3. 提案手法

式 (1) の値が最小となるノードを選択しダウンロードを行う。ホップ数優先度 P の値を 0~1000 の間で変化させそれぞれ結果を計測する。

3.3.2 実験のパラメータ

実験に用いるネットワークは図4のようなISPが一列に並んだトポロジーを想定し、各パラメータは次のようになっている。

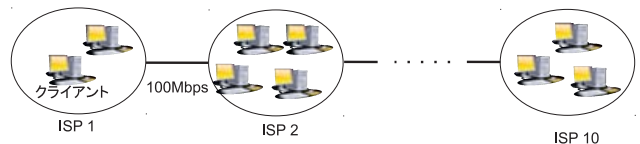


図- 4: 実験に用いたネットワーク

- ノード数: 50
- ISP ホップ数: 1~10
- ISP 間 RTT: 20ms

- RTT：10ms～1000ms (ISP 間 RTT を含む ※ 62.5KB のトラフィックの往復時間とする)
- ファイルサイズ：125MB

ノード数は、目的のファイルを持つノードの合計を示す。今回はある程度ファイルが拡散されているものとし、50 のノードが目的のファイルを持つことを想定する。ISP の中継数が非常に多くなる位置にあるノードに対しては、流れるトラフィックが大きく、また遅延も大きくなるため、どの手法でも選択されにくい。よって、今回は中継する ISP の数を 10 までの範囲とし、50 のノードをこの中でランダムに分布させる。各ノードはランダムな通信性能を持ち、100Mbps のリンクで繋がれた ISP 間の遅延を加えた RTT がクライアントとの通信速度となる。クライアントは各手法によって選択したノードから 125MB のファイルのダウンロードを行う。このパラメータからとりうる性能、結果は以下のようになる。

- ダウンロード速度：1Mbps～100Mbps
- ダウンロード時間：10s～1000s
- 総トラフィック：250MB～1375MB((ホップ数+1) ×ファイルサイズ)

シミュレーションに用いたテストプログラムは C 言語で作成し、乱数の生成には rand 関数を用いた。また、RTT、ホップ数の計測、ノードの選択にかかる時間は考えず、RTT から求めるスループットは信頼できるものとした。

3.3.3 実験結果

3.3.1 節で述べた 3 の手法について、ホップ数が 1～10 範囲でノードが分布する時の値を計測した。シミュレーションを 10000 回行いその平均をとった結果、P を変化させながら計測したダウンロード時間と総トラフィックはそれぞれ図 5、図 6 のようになった。また、ダウンロード時間と総トラフィックのグラフは図 7 のようになった。

図 5、図 6 より、提案手法は速度優先とトラフィック優先の間をとっていることがわかる。また、図 7 において提案手法の曲線が下に凸となっている。これは速くて近いノードが存在するためであり、提案手法ではそのようなノードが選択されやすくなっていることがわかる。

次に、通信の効率として単位トラフィックあたりのダウンロード速度を考える。この値が大きいくほど ISP 側とユーザー側双方にとってバランスがとれているものとする。P ごとの総トラフィック/ダウンロード速度は図 8 のようになった。P を適切な範囲に指定することによ

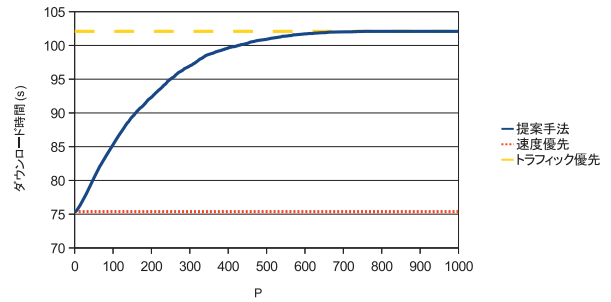


図- 5: ダウンロード時間の比較

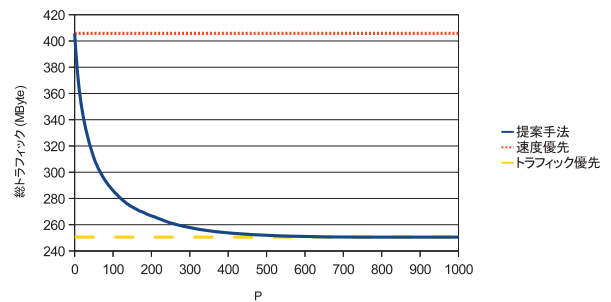


図- 6: 総トラフィックの比較

り、速度優先とトラフィック優先より効率的なノードが選択できることがわかる。例として、P=100 に設定した時の各手法の比較は表 1 のようになった。速度優先時と比べ、提案手法では 13 % のダウンロード時間の増加で 30 % のトラフィックが削減した。また、トラフィック優先時と比べ、17 % ダウンロード時間が早くなり、トラフィックの増加は 13 % となった。本実験は、既存手法に対し極端に問題となるノードが発生しないものとなっているが、その場合と比べても提案手法には効果があることがわかる。

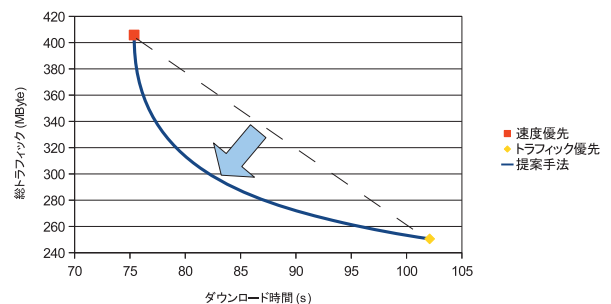


図- 7: ダウンロード時間-総トラフィック

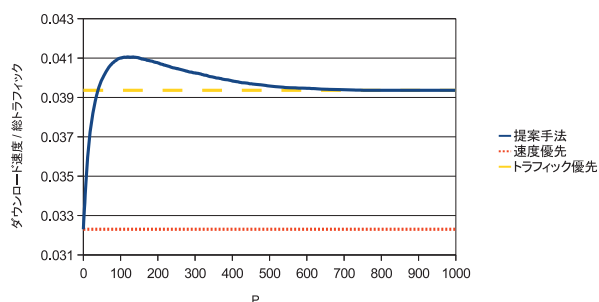


図- 8: ダウンロード速度/総トラフィック

表- 1: P=100 に設定した時のダウンロード時間と総トラフィックの比較

	ダウンロード時間(sec)	トラフィック (MByte)
速度優先	75	405
トラフィック優先	102	251
提案手法(P=100)	85	286

4 おわりに

本論文では、ダウンロード時間の増加を極力抑え、ISP 間の総トラフィックを削減する手法を提案した。この手法ではノードの選択にホップ数に重みをつけた値と応答遅延から計算する指標を用い、重みによって ISP 側とユーザー側それぞれの優位性のバランスをとるものとなっている。

P2P 方式を用いたファイルの共有は非常に便利なものであり、今後利用者はさらに増加し、流れるトラフィックも膨大となることが予想される。ISP 間を流れるトラフィックをうまくコントロールすることによって、ISP はバックボーンにかかるコストを削減でき、ユーザーへ料金の値上げや帯域規制をせずに済む。本手法を用いることによって通信事業の更なる発展が期待できる。

本論文の評価実験ではランダムにパラメータを持たせたテストプログラムでシミュレーションを行ったが、実際のネットワークはより複雑であるため、様々な状況を想定しパラメータを設定する必要がある。また、提案手法では RTT からダウンロード時間を計算したが、実際には RTT からスループットを正確に求めることは困難である。さらに、今回はホップ数の計測、式の計算にかかる時間を 0 としたが、ノード選択の際に発生する遅延について考慮すべきである。また、帯域状況に合わせたホップ数優先度の具体的な決定法についても考える必要がある。

参考文献

- [1] Ernesto. HTTP Traffic Overtakes P2P, Courtesy of YouTube. <http://torrentfreak.com/http-traffic-overtakes-p2p-courtesy-of-youtube/>, 2007.
- [2] John F. Buford, Heather Yu, and Eng Keong Lua. *P2P Networking and Applications*. MORGAN KAUFMANN, 2008.
- [3] 村松謙. P4P による P2P の効率化. <http://www.net.c.dendai.ac.jp/~muramatsu/p2p-p4p.html>, 2010.
- [4] 山崎洋一. 帯域制御を実施する ISP が増える, 2008. <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20071210/289183/>.
- [5] 魏元. P2P トラフィックの効率的制御法. Master's thesis, 早稲田大学大学院基幹理工学研究科情報工学専攻, 2009.
- [6] Haiyong Xie, Arvind Krishnamurthy, Yang Richard Yang, and Avi Silberschatz. P4P: Proactive Provider Participation for P2P. Technical report, Yale University Department of Computer Science, 2007.
- [7] 野田健. 資源探索範囲を考慮した P4P ネットワークの性能評価. 平成 20 年度 特別研究報告, 2009.
- [8] 岡崎直宣, 鮫島慎治. P2P におけるバックボーンネットワーク資源利用の効率化手法の検討. Technical report, Memories of the Faculty of Engineering, University of Miyazaki, 2010.
- [9] Ernesto. Uncovering The Dark Side of P4P. <http://torrentfreak.com/uncovering-the-dark-side-of-p4p-080824/>, 2008.