

位置情報に基づく遅延挿入による P2P-TV トラフィック誘導方式

篠崎 友希[†] 三好 匠[†]

[†] 芝浦工業大学システム理工学部電子情報システム学科
〒 337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作 307
E-mail: {p08067, miyoshi}@shibaura-it.ac.jp

あらまし ピア・ツー・ピア通信技術を利用した従来の映像配信形アプリケーション (P2P-TV) では, ピアの位置情報やネットワークの物理的構造を考慮することなく接続先ピアを選択するため, 非効率的な論理ネットワークが構築されて帯域資源の浪費が問題となる. これに対し, 効率的な論理ネットワークを構築してトラフィックを適切に配置するための技術として, P4P, ALTO, ヒントサーバ方式などが提案されている. しかし, これらの手法ではネットワーク事業者から提供されるトポロジー情報の利用が必須であるため, アプリケーションの変更が必要となり, 従来の P2P-TV での利用は困難である. 本稿では, ゲートウェイルータを通過する通信フローを監視し, 接続先ピアの位置情報に基づいて追加遅延を挿入することで論理ネットワークの局在化を実現する P2P-TV トラフィック誘導方式を提案する. また, 提案手法を PC ルータ上に実装し, P2P-TV アプリケーションを使用して計測実験を行い, 本手法の有効性を調査する.

キーワード P2P, P2P-TV, 映像配信, トラフィックエンジニアリング, 遅延挿入

P2P-TV Traffic Engineering by Location-Based Delay Insertion

Yuki SHINOZAKI[†] and Takumi MIYOSHI[†]

[†] Department of Electronic Information Systems
College of Systems Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology
307 Fukasaku, Minuma-ku, Saitama-shi, Saitama, 337-8570 Japan
E-mail: {p08067, miyoshi}@shibaura-it.ac.jp

Abstract In the conventional peer-to-peer-based video delivery (P2P-TV) applications that select peers considering neither peers' locations nor physical network topology, an inefficient logical network would be formed and accordingly waste the network resources. Meanwhile, P4P, ALTO, and the hint server method have been proposed as techniques to build an efficient logical network and to handle traffic appropriately. These methods, however, require the topological information from network service providers, and applications must be modified for using such information: The conventional P2P-TV applications can hardly treat it without their modifications. In this paper, we propose a novel traffic engineering method that localizes P2P-TV traffic by monitoring the communication flows on a gateway router and inserting location-based additional delay. We implement the proposed method on a PC-based router and investigate its effectiveness through the experimental measurement using a conventional P2P-TV application.

Key words P2P, P2P-TV, Video delivery, Traffic engineering, Delay insertion

1. ま え が き

近年, インターネットにおけるトラフィックの急増が問題となっており, その主たる原因は映像配信サービスと言われている. Cisco Systems の資料 [1] によると, 2015 年末には映像ト

ラフィックが全トラフィックの 62 % を占めるという. 特に注目すべきは, YouTube [2] やニコニコ動画 [3] に代表されるクライアント・サーバ方式の映像配信サービスから, PPStream [4] や SopCast [5] のような P2P 通信方式を利用した映像配信サービス (P2P-TV) への移行である. Adobe Flash Player に P2P 通信

が可能となる RTMFP (Real Time Media Flow Protocol) [6] が実装されたり, JAVA アプレットにより P2P 通信を行う商用アプリケーション [7] が開発されるなど, P2P のための専用プラットフォームを用意することなく Web ブラウザのみで P2P 通信を実現することが可能となり, ユーザの P2P に対する敷居は以前と比べ著しく低下している. これらの技術は, 国内ではロケット打ち上げ映像の配信試験 [8] や, NHK の高専ロボコン配信 [9] などに利用されている. また, 欧州では Zattoo [10] によるテレビ放送のインターネット配信が普及しており, 米国では大統領演説などが P2P 技術によって配信されている [11]. このように, 今後は P2P-TV に起因するトラフィックへの対処が必要となると考えられる.

P2P 通信では, サーバに集中する配信負荷を複数のピアで分担することにより, スケーラビリティの高いデータ配信を実現している. その一方で, ピアの位置関係やネットワークの物理トポロジーを考慮せずに接続先ピアを選択するため, 非効率的な論理ネットワークが形成され, 遠方ピアとの通信を行うという問題がある. このような遠距離トラフィックは, ネットワーク事業者 (ISP: Internet service provider) の通信帯域を圧迫するだけでなく, 複数の ISP にまたがる通信となるため多額のトランジット料金が発生し, ISP の利益を圧迫する要因となっている. 特に, 今後更なる普及が見込まれる P2P-TV では, 映像配信に伴うトラフィックの増大が懸念される.

このような問題に対し, P4P (Proactive provider participation for P2P) [12], [13] や ALTO (Application-layer traffic optimization) [14]-[16] などの手法が提案されている. これらの手法では, ISP が P2P アプリケーションに対してネットワークのトポロジー情報を提供することで, 効率的な論理ネットワークの構築を実現している. 例えば, 必要なデータをもつピアが同一地域や同一 ISP に存在するならば, そのピアに接続してデータをダウンロードするほうが, 遠方ピアを選択するよりも通信速度が向上し, トランジット接続を抑制してネットワークを効率的に使用できる. 一方, ISP のトポロジー情報を利用するためには, P4P や ALTO に準拠したプロトコルを P2P アプリケーションに実装する必要がある. しかし, 既存の P2P-TV の多くはこれらのプロトコルに対応していないため, P4P や ALTO を利用することは困難である.

本稿では, アプリケーションの改変を行うことなく任意の P2P-TV に対して動作することを目標として, 遅延挿入による P2P-TV トラフィック誘導方式を提案する. 提案手法では, ゲートウェイルータを通過する P2P-TV 通信フローを監視し, IP アドレスから接続先ピアの位置情報を検索, 位置情報に基づいた遅延時間を各パケットに追加することで, P2P-TV トラフィックの誘導を実現する.

2. 従来手法

2.1 P4P

P4P は, 米国の分散コンピューティングに関する業界団体である DCIA (Distributed Computing Industry Association)

の P4P Working Group [17] が提案している手法であり, BitTorrent を用いて実装, 実験されている [12], [13]. ISP は, 自社のネットワーク内に iTracker 端末を設置し, 物理ネットワーク情報を提供する. 各ピアは, iTracker から提供される情報をもとに, 効率的な論理ネットワークを形成する. iTracker により提供される情報は, 主に info, policy, capability である. info は, ISP 内のトポロジーに関する情報で, AS 番号 (ASID) のほかに, ネットワークの近さを表す PID, 地理的な情報を表す LOC から成る. policy は送受信トラフィックの割合や混雑度, リンクの利用方針など, ISP が望む通信ポリシーである. capability は, 混雑時など appTracker の要請により ISP がサーバを用意した場合にピアに知らせるための情報をもつ.

BitTorrent ネットワークに iTracker を実装し, フィールド実験による評価を実施したところ, ISP ごとに論理ネットワークが形成されるようトラフィックを誘導することで, ダウンロード完了までの時間を約 45 % に, 回線帯域を 50~70 % 改善することに成功している.

2.2 ALTO

ALTO は, インターネット標準化団体 IETF (Internet Engineering Task Force) において, 精力的に標準化が進められている P2P トラフィック誘導方式である. ALTO では, 前述の P4P をもとにした技術であり, ネットワーク情報をアプリケーションに伝達するためのメカニズムを提供する [14], [15].

ALTO サービスは, トポロジー情報であるネットワークマップとコスト情報であるコストマップ, 及び管理ポリシーを ISP から受け取り管理する. ALTO のアーキテクチャは 2 種類あり, P2P クライアントアプリケーションが直接 ALTO サービスに接続して情報を入手する方式と, P2P クライアントアプリケーションと ALTO サービスの間にトラッカが介在し, BitTorrent のようにトラッカがピアの通信を振り分ける方式が提案されている [16].

2.3 ヒントサーバを用いた手法

国内では, ネットワーク高度利用推進協議会がヒントサーバを用いた手法を提案している [18], [19]. 前述の ALTO に準拠し, ISP 数が多いという日本の国内事情に合わせて ISP 間のバックボーンを考慮する仕様で, UG Live 2 [7], ShareCast2+ [20], BB ブロードキャスト [21] など国産 P2P-TV アプリケーションにて実装, 実験されている. ヒントサーバはインターネット・エクスチェンジ (Internet exchange) 接続情報などの経路情報を持ち, ピアまたはコントロールサーバの位置問合せに対し, IP アドレスから AS 情報と位置情報を調べて返答する. 接続ピア候補の問合せに対しては, AS 情報や地域情報などから算出される優先ノード情報が返答される.

ヒントサーバを用いた手法に対して, 地域野球リーグや JFL, 事業仕分けなどの映像配信実験が行われた. 実験の結果, P2P 映像配信によるネットワーク距離が, ヒントサーバを利用することで約 37 % 削減されたという.

2.4 問題点

これらの手法に共通するのは, ISP から P2P アプリケーショ

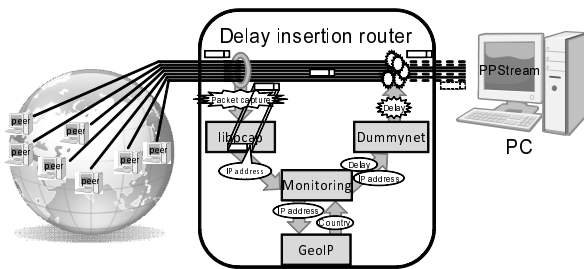


図1 遅延挿入ルータの構成

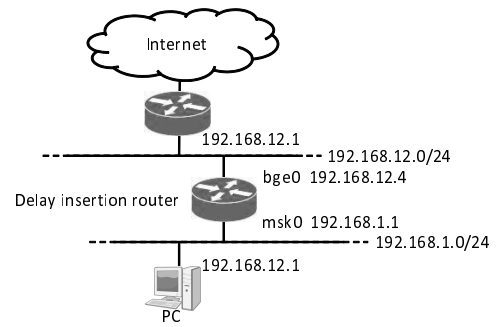


図2 計測環境

ンに対してトポロジー情報を提供するという点である。そのため、ISPの全面的な協力が必要であり、ISPからの情報提供がなければ成り立たない。一般に、トポロジーのようなネットワーク情報は企業秘密にあたるため、完全な情報提供は難しいと考えられ、よってP4PやALTOの完全な実現には困難が予想される。P4PはiTrackerを利用するためBitTorrent専用の手法となっており、P2P-TVなど他のアプリケーションへの適用が難しいことが挙げられる。また、いずれの手法においても、ネットワーク情報提供サーバへの問合せを行うプロトコルをP2Pアプリケーションに組み込む必要がある。UG Live 2やShareCast2+のように、新規にP2P-TVアプリケーションを開発する場合にはこれらのプロトコルの実装が可能であるが、PPStreamやSopCastのような既存のP2P-TVに対してアプリケーションの変更を行うことは技術的に困難である。

3. 提案手法

本稿では、P4PやALTOのようなネットワーク情報提供サーバを用いることなく、任意のP2P-TVアプリケーションに対してトラフィック制御を実現する手法を提案する。P2Pアプリケーションでは、データのダウンロード時間を最適化するため、通信要求に対する返信の早い順、すなわち往復遅延時間(RTT: Round trip time)を基準に接続先ピアを選択すると考えられる。そこで提案手法では、通信を一定の地域内に局在化させるトラフィック誘導を行うにあたり、物理的に遠方にあるピアとの通信に遅延を挿入してRTTを増加させる。これにより、論理ネットワーク上の距離に物理的距離を反映させて、P2P-TVアプリケーションが近距離ピアとの通信を優先するように仕向ける。

遅延の挿入は、P2P-TVアプリケーションが稼働する端末(測定用PC)とインターネットの間のゲートウェイルータに遅延挿入機能を実装することで実現する。本稿では、遅延挿入機能を実装したゲートウェイルータを遅延挿入ルータと呼ぶ。遅延挿入ルータは、図1に示すように、(1)通信監視、(2)接続先ピアの位置情報検索、(3)遅延挿入の3機能から構成される。以下に具体的な動作を説明する。

(1) 通信監視

遅延挿入ルータでは、接続先ピアのIPアドレスを取得するために、Pcapライブラリ[22]を用いて通過するすべてのIPパケットを監視し、新規のIPアドレスがあればMonitoringブ

ロックにて記録する。なお、LAN内で利用しているプライベートIPアドレスやマルチキャストアドレス、ブロードキャストアドレスは例外として扱い、記録は行わない。

(2) 接続先ピアの位置情報検索

(1)で記録したIPアドレスから、接続先ピアの位置情報を検索する。位置情報検索には、商用データベースであるMaxMind社GeoIPサービス[23]の無料版を利用する。GeoIPは、IPアドレスから国や地域情報を検索して、地域コードを出力するデータベースである。なお本稿では、提案手法の有効性に対する一次評価として、P2P-TVの接続先を日本国内へ誘導することを目的とし、位置情報として国名を出力するGeoLite Countryを使用した。

(3) 遅延挿入

遅延挿入機能として、ネットワークエミュレータであるDummynet[24]を使用する。Dummynetは、遅延挿入のほかに、帯域制限、キューサイズの変更、パケット損失のエミュレーションが可能であるが、今回は遅延挿入機能のみ使用する。(2)において位置情報を検索した結果、接続先ピアが日本国外にある場合には、Dummynetを使用して遅延を挿入する。

以上のように、提案手法では、ゲートウェイルータで遅延挿入を行うことでトラフィックの誘導を実現しており、ISPからのネットワーク情報の開示や、P2P-TVアプリケーションの変更は不要である。また、遅延挿入ルータ1台からでも動作するため、スケーラビリティに優れている。

4. 評価実験

4.1 測定方法

遅延挿入によるトラフィック誘導方式の有効性を検証するため、挿入する遅延時間を変化させて、P2P-TVアプリケーションの接続先ピアがどのように変化するかを調査する。P2P-TVアプリケーションとして、PPStream[4]を使用する。遅延挿入ルータのスペックは、Intel Core i7-2600 3.4GHz、DDR3 12GBメモリ、1Gbps LAN × 2で、OSはFreeBSD 8.2を使用している。測定用PCのスペックは、Intel Core 2 Duo E8400 3.0GHz、DDR2 4GBメモリ、100Mbps LANを有し、OSはWindows 7を使用している。インターネット接続回線はフレッツ光ネクストファミリータイプで、ISPはぷららである。測定環境は図2に示すとおりで、NATを用いてLAN内外の通信

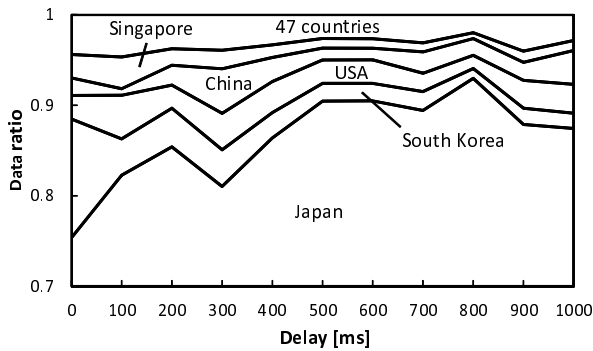


図 3 国別データ受信割合 (送受信とも遅延挿入)

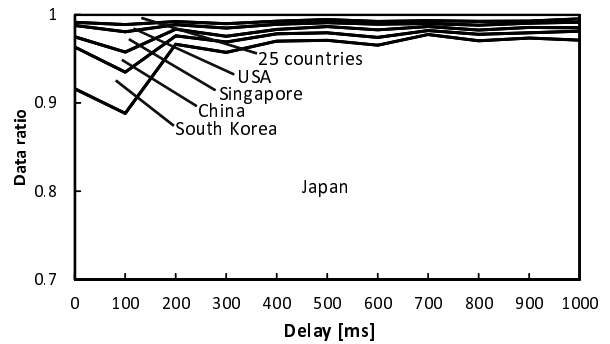


図 5 国別データ受信割合 (受信のみ遅延挿入)

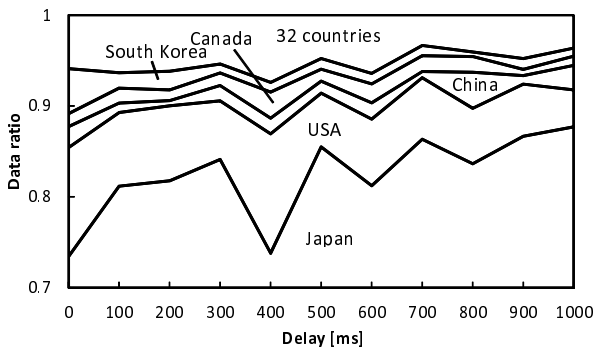


図 4 国別データ受信割合 (送信のみ遅延挿入)

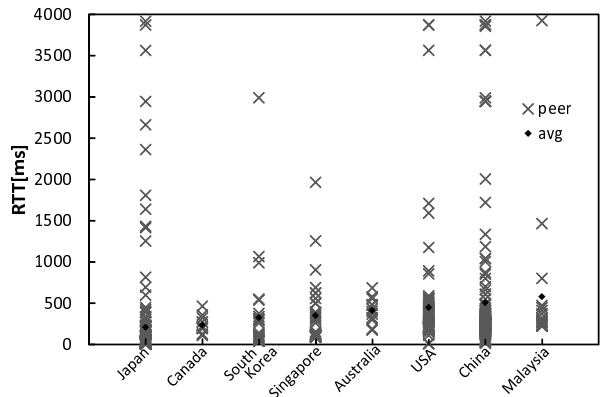


図 6 国別 RTT 分布

を通過させている。遅延は、パケットが遅延挿入ルータを通過するときには挿入される。測定に使用した動画は、ビットレートが 444kbps、長さが 46 分 45 秒の中国語で制作されたドラマである。遅延挿入ルータを稼働させた状態で、PPStream において動画を選択した直後から測定を開始し、5 分間の通信を監視する。データ受信量の測定には、測定用 PC にインストールした Wireshark [25] を使用する。

遅延挿入方法として、(1) 送受信ともに遅延を挿入する場合、(2) 送信のみに遅延を挿入する場合、(3) 受信のみに遅延を挿入する場合を考える。これら 3 つのケースに対して、挿入する遅延時間を 0 秒から 1 秒まで 100 ミリ秒単位で設定し、それぞれ 5 回ずつ計測を行う。送受信ともに遅延を挿入する場合には、送信と受信それぞれに半分ずつの遅延を挿入する。計測の順番で結果に影響が出ないように、遅延挿入の順番はランダムで行い、測定ごとにキャッシュの削除とアプリケーションの再起動を行う。なお、測定時刻は深夜から朝にかけて行い、遅延挿入方法の 3 方式はそれぞれ異なる日に計測を行った。

更に、通常時の通信状況を把握するため、国ごとの RTT の推定を行う。本稿では、遅延挿入を行わないときに取得した送受信パケットの前後関係から RTT を計測した。本来であれば ping コマンド等を使用するのが望ましいと考えられるが、ping に応答しないピアが多数存在したため、この手法で代替した。また、接続先ピア数が 10 未満の国や、RTT が 4 秒以上のピアについては、誤差の影響を考慮して結果から除外した。

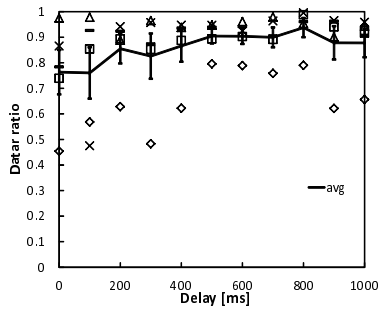
4.2 測定結果

各遅延挿入方法、及び各遅延時間において測定した 5 回分のデータ受信量を合計し、データ受信量の国別割合を算出した。

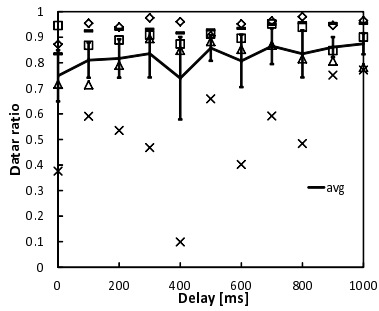
結果を図 3～図 5 に示す。これらの図は、遅延挿入ルータにおいて送受信ともに遅延を挿入したとき、送信のみ遅延を挿入したとき、受信のみ遅延を挿入したときの結果を示す。図の横軸は挿入される遅延時間を、縦軸はデータ受信量の割合を表す。また、測定した RTT の国別分布を図 6 に示す。

まず、図 3 より、遅延挿入を行わない状態での国内ピアからのデータ受信割合は約 75 % であるが、500 ミリ秒程度の遅延を挿入することで約 90 % まで増加し、P2P-TV トラフィックの国内への誘導に成功していることが分かる。海外の接続先ピアは、日本に近い韓国のほか、海底光ケーブルで直接結ばれている米国などに多く位置しており、図 6 からこれらのピアの多くは RTT が 500 ミリ秒以下であることが分かる。中国のピアは平均 RTT が 500 ミリ秒を超えているが、PPStream が中国製のアプリケーションであり、かつ計測に使用した動画も中国語コンテンツであったことから、RTT の割に接続先ピア数が増えていると考えられる。シンガポールが上位に入っているのも、同様の理由であろう。

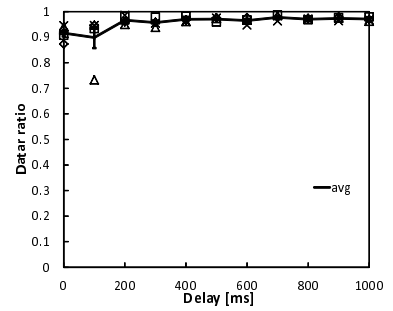
図 4 は送信パケットのみに遅延を挿入したときの測定結果であり、遅延挿入によって約 10～15 % ほどのトラフィック誘導が実現されていることが分かる。ただ、400 ミリ秒の遅延を挿入したときには、国内からのデータ受信割合が大きく減少しており、今後サンプル数を増やして更なる検証を行う必要があろう。なお、このときの測定では、カナダからの受信データ量が上位 5 か国に入っているが、図 6 から分かるように、RTT が非常に小さいためと考えられる。



(a) 送受信とも遅延挿入

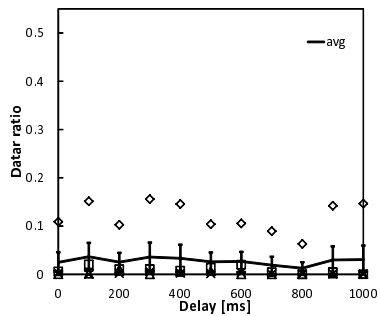


(b) 送信のみ遅延挿入

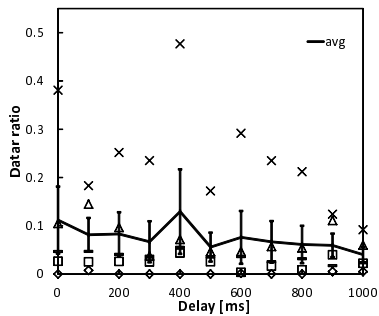


(c) 受信のみ遅延挿入

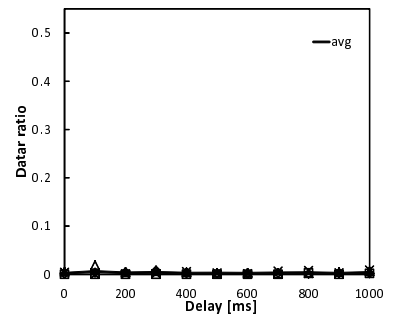
図 7 日本国内からのデータ受信割合



(a) 送受信とも遅延挿入

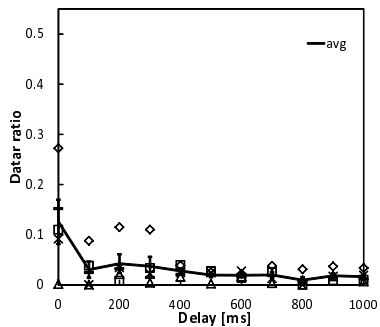


(b) 送信のみ遅延挿入

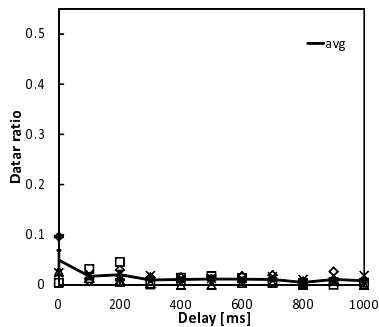


(c) 受信のみ遅延挿入

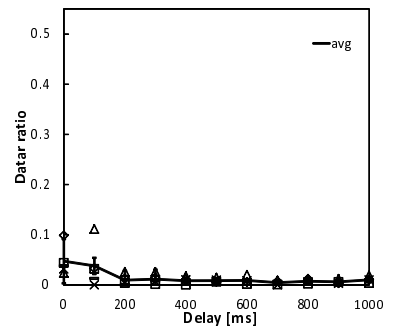
図 8 米国からのデータ受信割合



(a) 送受信とも遅延挿入

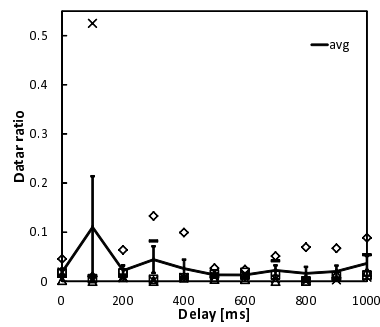


(b) 送信のみ遅延挿入

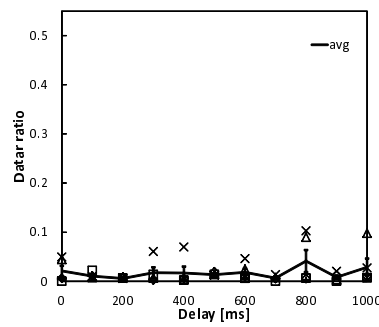


(c) 受信のみ遅延挿入

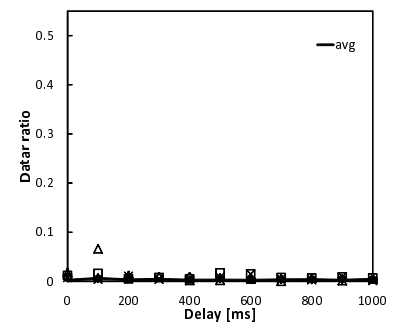
図 9 韓国からのデータ受信割合



(a) 送受信とも遅延挿入



(b) 送信のみ遅延挿入



(c) 受信のみ遅延挿入

図 10 中国からのデータ受信割合

図5は受信パケットのみに遅延を挿入したときの測定結果である。このときの測定では、遅延挿入を行わない状態で国内ピアから約90%のデータを受信しているが、200ミリ秒程度の遅延を挿入することで国内ピアへの更なるトラフィック誘導に成功している。

一方、図3～図5を総体的に見ると、データ受信割合の変化に国ごとの特徴があることが分かる。例えば、米国の場合は挿入する遅延時間に対してデータ受信量にあまり変化が見られないが、韓国の場合は100～300ミリ秒の遅延挿入で大きなトラフィック抑制効果があり、それを越えるとあまり変化は見られない。

これを詳しく検証するため、国ごとのデータ受信量を遅延挿入方法別に表したものを図7～図10に示す。これらの図では、計測ごとのデータ受信割合を算出してプロットし、それらの平均値を標準誤差付きの折れ線で表している。図7は日本国内からのデータ受信割合であり、一部データにばらつきはあるものの、全体として遅延挿入によるトラフィック誘導の効果が表れている。次に、図8、図9はそれぞれ米国、韓国からのデータ受信割合である。これらの図を見比べると、韓国からのデータ受信割合は100ミリ秒程度の短い遅延挿入で減少するのに対し、米国からのデータ受信割合は挿入する遅延時間に対し緩やかに減少するのが分かる。このように、遅延挿入によるトラフィック誘導効果の違いが発生するメカニズムについては、今後検証すべき課題である。一方、図10は中国からのデータ受信割合であるが、挿入する遅延時間に対して減少する傾向はそれほど強くない。PPStreamは中国製アプリケーションであることから、データを所持しているピアが中国に集中していると考えられる。よって、国内でピアを発見できない場合には、挿入する遅延時間によらず中国のピアに接続したり、若しくは中国にある映像配信サーバから直接ダウンロードしていると考えられる。

5. むすび

本稿では、遅延挿入ルータを使用したトラフィック誘導方式を提案し、P2P-TVアプリケーションを利用した評価実験により有効性を確認した。提案手法では、位置情報としてGeoIPサービスで検索できる国情報を利用し、国外ピアとの通信に遅延を挿入することで、P2Pトラフィックを国内に誘導した。実験結果から、国内ピアとの通信量を最大で約20%増加させることに成功した。提案するトラフィック誘導方式は、ISPが保持するネットワーク情報の提供やアプリケーションの変更は不要であり、遅延挿入ルータ1台からでも実現できるため、スケーラビリティに優れている。

本稿での実験は、まだサンプル数が十分でないことから、送受信ともに遅延を挿入すべきか、送信あるいは受信のみに遅延を挿入すれば十分であるかを判断することは難しい。今後より多くのデータを取得し、更なる検証を行いたい。また、本稿では国情報を利用して国内へのトラフィック誘導を実現したが、ISP単位でのトラフィック誘導を実施するために、AS番号を利用したトラフィック誘導も検討中である。更に、遅延挿入を行う

ことによる映像品質への影響調査も必要であろう。

謝辞 本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費助成事業(課題番号23760344)の助成を受けたものである。

文 献

- [1] Cisco visual networking index: 予測と方法論, 2010～2015年, Cisco Systems, Inc., July 2011. http://www.cisco.com/web/JP/solution/isp/ipngn/literature/pdf/white_paper_c11-481360.pdf
- [2] YouTube, Homepage. <http://www.youtube.com/>
- [3] ニコニコ動画(原宿), Homepage. <http://www.nicovideo.jp/>
- [4] PPStream, Homepage. <http://www.pps.tv/>
- [5] SopCast, Homepage. <http://www.sopcast.org/>
- [6] Cirrus: real time media flow protocol, Adobe labs, Homepage. <http://labs.adobe.com/technologies/cirrus/>
- [7] UG Live, ウタゴエ株式会社, Homepage. <http://www.utago.com/jp/technology/live/index.html>
- [8] “きずな/H-IIA ロケット14号機打ち上げ中継をP2Pで配信,” P2Pネットワーク実験協議会, Feb. 2008. <http://www.fmmc.or.jp/P2P/20080222.html>
- [9] 高専ロボコン2011ライブストリーミング, NHK, Homepage. http://www.nhk.or.jp/robocon/rbcn2011/k_live.html
- [10] Zattoo – watch online TV, Homepage. <http://zattoo.com/>
- [11] “CNN uses P2P plugin for its live stream,” TorrentFreak, Jan. 2009. <http://torrentfreak.com/cnn-uses-p2p-plugin-for-its-live-stream-090124/>
- [12] H. Xie, A. Krishnamurthy, A. Silberschatz, and Y.R. Yang, “P4P: explicit communications for cooperative control between P2P and network providers,” P4PWG Whitepaper, May 2007.
- [13] H. Xie, Y.R. Yang, A. Krishnamurthy, Y. Liu, and A. Silberschatz, “P4P: provider portal for applications,” ACM SIGCOMM 2008, pp. 351-362, Aug. 2008.
- [14] J. Seedorf and E. Burger, “Application-layer traffic optimization (ALTO) problem statement,” IETF, RFC 5693, Oct. 2009.
- [15] R. Alimi, R. Penno, and Y. Yang, “ALTO Protocol,” Internet draft, draft-ietf-alto-protocol-10.txt, Oct. 2011.
- [16] J. Seedorf, S. Kiesel, and M. Stiemering, “Traffic localization for P2P-applications: the ALTO approach,” IEEE P2P 2009, pp. 171-177, Sept. 2009.
- [17] P4P working group, DCIA, Homepage. <http://www.dcia.info/activities/#P4P>
- [18] 亀井 聡, “P2P 配信におけるインフラコストの負担構造と課題,” 信学技報, CQ2009-7, April 2009.
- [19] 山下達也 “インターネット・トラフィック最新状況,” INTEROP Tokyo 2010, June 2010. <http://www.ntt.com/interop/seminarpdf/08.pdf>
- [20] シェアキャスト2プラス, ShareCast, HomePage. <http://scast.tv/sc2plus>
- [21] BBブロードキャスト, TV Bank, Homepage. <http://bbbroadcast.tv-bank.com/>
- [22] TCPDUMP/LIBPCAP public repository, Homepage. <http://www.tcpcap.org/>
- [23] GeoIP: IP address location technology, MaxMind, Homepage. <http://www.maxmind.com/app/ip-location>
- [24] Dummynet, Homepage. <http://info.iet.unipi.it/~luigi/dummynet/>
- [25] Wireshark, Homepage. <http://www.wireshark.org/>