社団法人 情報処理学会　研究報告
IPSJ SIG Technical Report

2005－DPS－121　(12)
2005－GN－54　(12)
2005／1／20

複数サーバ利用時の経路状態を考慮したストリーミング手法の提案

今本 吉治*　重野 寛*　岡田 謙一*

単一のサーバからだけでなく, インターネット上に分散配置したサーバから配信を行うストリーミング手法が近年提案されている. しかし, これらの手法ではサーバ選択のためのメトリックとしてクライアントの所属する AS やサーバからのホップ数などトポロジに基づいた情報を利用し, 空き帯域情報を考慮していない. このため, 選択したサーバからクライアントへのネットワーク間にストリーミングに十分な空き帯域が存在しない可能性があるという問題点がある. 本研究では, サーバ選択のためのメトリックとしてサーバからクライアントへの帯域情報を利用してサーバ選択をするストリーミング手法を提案し, シミュレーションによる評価を行った.

Streaming Method with Bandwidth Based Server Selection

Yoshiharu IMAMOTO*　Hiroshi SHIGENO*
Kenichi OKADA*

Recently, there're some proposals to deliver streaming media using distributed servers over the Internet. But in these technique, metrics to select a server is based on the network topology information such as number of hops and AS information in which clients are belonging. In this paper, we proposed the streaming technique to select the server using the metric of available bandwidth, and evaluated the performance using simulation.

1　はじめに

VOD や IP 電話, ビデオ会議などのアプリケーションが利用されることにより, ストリーミングメディアがより注目を集めている. しかし, ストリーミングメディアは高ビットレートを必要とし, 遅延やパケット損失に敏感であることから, 時間によって品質の変化するインターネットを介して大規模なストリーミング配信を安定して行うことが困難であった.

これに対し, ネットワークの状態に応じてストリーミングのビットレートを変更するマルチビットレートによるストリーミング配信, 冗長データを付与することによってネットワーク上で損失したパケットを復号する FEC[1] (Forward Error Correction) などの技術がこれまで研究されてきた. しかし, これらの技術は単一のサーバからクライアントへの単一経路を介したストリーミングデータの配信を前提としており, ストリーミングのセッション中にその単一経路上で輻輳が発生することによってストリーミングの品質が低下してしまうという問題点がある.

この問題点を解決するため, 近年ストリーミングのデータを単一経路を介して送信するのではなく, CDN やネットワーク中の中継ノードを介した複数の経路を用いてストリーミング配信を行う手法が研究されている [2][3]. これにより, サーバからクライアントへの経路上においてストリーミング品質が著しく低下する危険性が軽減される.

しかし, CDN においてはクライアントの所属する AS (Autonomous System) を, その他の研究では traceroute で得られる情報から計算した経路の重なりの度合など [2][3], ネットワークトポロジをベースとした情報をメトリックに経路の選択を行っており, ストリーミングメディアに重要な要素である帯域幅やパケットロス率などの経路の品質を考慮していない. さらに, CDN で広く利用されている AS 情報を

* 慶應義塾大学 理工学部 情報工学科
Department of Instrumentation(Information), Faculty of Science and Technology, Keio University

基にしたクライアントの割り当ては, 大まか粒度でしか行えないことが分かっている [4].

そこで本研究では, ネットワークのトポロジベースでサーバ選択を行うのではなく, それぞれの経路の空き帯域情報をメトリックとしてサーバ選択を行う分散ストリーミング手法を提案する. 本ストリーミング手法においては, ストリーミングサーバをインターネット上に分散配置し, 各候補サーバから受信するストリームのパケット到着間隔よりサーバ-クライアント間の空き帯域を推定し, サーバを選択する. また, サーバからクライアントへの帯域測定トラフィックはストリーミングデータを利用して行うため, 帯域測定を行うためのネットワークへの負荷は小さい.

以下, 2 章では関連研究について, 3 章では提案システムについて, 4 章で実験・評価を述べ, 5 章でまとめとする.

2 関連研究

近年, ストリーミングデータをサーバからクライアントへの単一経路だけで配信するのではなく, 中継ノードやネットワーク上に分散配置されたサーバを利用することによってストリーミング配信を行う手法が研究されている. これによって, サーバ-クライアント間のネットワーク品質低下によるストリーミングへの影響を軽減することが可能になる. 本章ではこれら既存研究の手法とその経路選択アルゴリズムについて説明し, 本研究との違いについて述べる.

2.1 Multiple Description Streaming with CDN

MDC(Multiple Description Coding) はストリーミングデータを単体で再生可能な複数の Description に分割するエンコーディング手法である. この研究においては, 各 Description をそれぞれ CDN のエッジサーバに割当ててストリーム配信をすることにより, クライアントがストリーミングデータを完全に受信できなくなる危険性を軽減することが可能である. しかし, この手法においてはエッジサーバの割当てに各エッジサーバからクライアントへの経路の重なり度合をメトリックとして利用しており, 帯域や遅延などの情報を考慮すると不適切な割当てが行われる可能性がある. また, 測定された経路情報から重複度をメトリックとしてサーバ側で割当てを行うアルゴリズムは複雑であるため, スケーラビリティに関して問題がある.

2.2 Path Diversity with Forward Error Correction System

PDF (Path Diversity with Forward Error Correction) システムにおいてはネットワーク内に中継ノードを配置し, サーバ-クライアント間のデフォルトルートと中継ノードを介した冗長経路両方を介して FEC による誤り訂正情報を付与したデータを送信する. これにより, FEC による誤り訂正能力以上のパケット損失が発生することが軽減されるため, クライアント側で視聴されるストリーミング品質が向上する. しかし, この手法においても traceroute から得られる情報より経路の重複度をメトリックとして中継ノードを選択している. 本提案手法では, 経路の重複度のようなトポロジから得られるメトリックではなく, 経路の品質をメトリックとしたサーバ選択を行う.

3 設計

本研究ではクライアントに対してストリーミング配信を行うサーバがインターネット上に分散配置されているものとし, この分散配置されたサーバに対して以下の手順でストリーミング配信を行う. また, 空き帯域を計測する対象となるサーバを以降候補サーバと呼ぶ.

1. クライアントが候補となるサーバのリストを受信する.
2. 各候補サーバに対し, 空き帯域探索ストリームのリクエストを出す.
3. 全ての候補サーバからの空き帯域探索ストリーム受信後, 3.3 節に説明するアルゴリズムを用いて各サーバへの空き帯域を計測する.
4. 3 において計測した空き帯域情報を基に, 空き帯域が一番大きいサーバを選択する.
5. 4 において選択したサーバから続きのストリームデータを受信する.

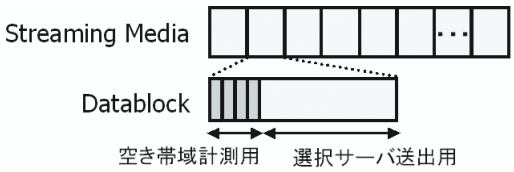

図 1: Datablock の構成

6. 空き帯域測定間隔ごと (後述の Datablock サイズごと) に 2〜5 を繰り返す.

ここで, 各サーバからの空き帯域の測定について測定のみに利用されるトラフィックを新たに発生させるのではなく, ストリーミングデータのトラフィックを用いて空き帯域の計測を行うため, ネットワークに対して計測データによる余分な負荷は発生しない.

3.1 ストリーミングメディアの分割

本研究においては, ストリーミングメディアへのアクセス単位を定義するため, ストリーミングメディアを Datablock というデータの塊に分割する. ただし, Datablock はストリーミングメディアのフォーマットそのものを変更するものではなく, 各候補サーバへの空き帯域を推定を行う時間間隔分のデータ単位である. この Datablock は図 1 のようになり, 以下の 2 種類のデータより構成される.

- 空き帯域探索用データ: 候補となるサーバから空き帯域探索ストリームとして送出するデータ
- 選択サーバ送出用データ: 空き帯域計測の結果によって選択されたサーバから送出するデータ

この空き帯域探索データを 3.2 節に述べる手法でクライアントへ送信し, 3.3 節に述べる手法により候補サーバ-クライアント間の空き帯域を推測する.

3.2 空き帯域計測ストリームの送信方法

候補サーバからクライアントへの空き帯域を推定するためのストリームの構成について説明する.

まず, 候補サーバへの空き帯域を測定するため, 本研究では Packet Train を利用して空き帯域の測定を行う.

Packet Train とは複数のパケットから構成されるパケット群であり, サーバから送信レート R_S でクライアントに向けて送出される. この Packet Train の各パケットの到着間隔をクライアントで計測し, その受信レート R_C が R_S に比べて増加傾向にあれば空き帯域 A は R_S よりも小さいと判断し, 逆に R_C が R_S に比べて増加傾向になければ空き帯域 A は R_S よりも大きいと判断する.

図 2: 通常のストリーミング

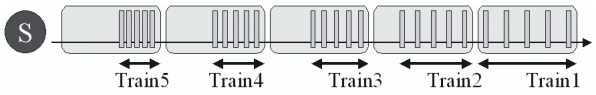

図 3: 空き帯域計測用ストリーム

一般的なストリーミング手法では, トラフィックは図 2 のように一定のパケット間隔でサーバからストリームが送出される. しかし, 空き帯域探索ストリームではこのストリームを Packet Train とみなし, 図 3 のように意図的にパケット間隔を制御して送信し, クライアントにおける Packet Train の到着間隔を 3.3 で述べた計測することによって空き帯域の測定を行う.

また, 本研究においては空き帯域の測定は空き帯域の絶対値を測定することを目的とするのではなく, 候補サーバからクライアントへの経路においてストリーミングに十分な帯域が存在するかを調べることを目的としている. よって, 送信レート R_S はストリーミングメディアのビットレートの 1 倍から S 倍の R_{MAX} まで (本研究では $S = 10$ とした) のレートに限定される.

3.3 Packet Train による空き帯域測定

3.2 節で説明した空き帯域探索ストリームのクライアントにおける受信結果の一例は図 4 のグラフようになる. ここで, x 軸はサーバから転送される Packet Train の送信レート R_S, y 軸はクライアントで計測される受信レート R_C である.

この受信結果に対し, 図 4 のように各送信レート R_S に対する R_C の平均値は空き帯域以下の R_S までは R_C が R_S と等しくなるため $y = x$ の近似直線に重なり, 空き帯域以上の R_S においては R_C の平

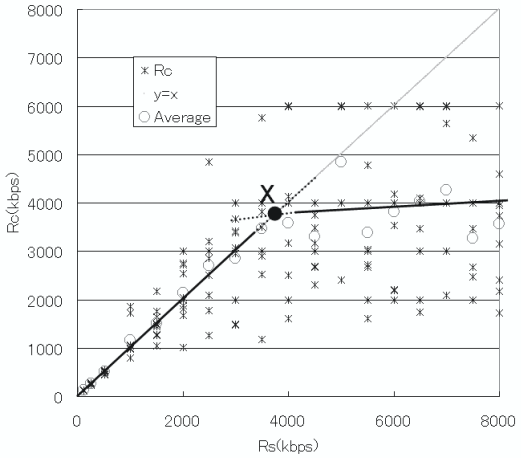

図 4: 受信ストリームからの空き帯域の計算

均値が x 軸にほぼ平行な $y = Ax + B$ で近似することができる. そこで, 以下のアルゴリズムを用いて 2 本の直線 $y = ax$ と $y = Ax + B$ を平均二乗法により求め, その交点における R_S を推定空き帯域とする.

1. Packet Train の受信結果に対して, 小さな送信レートから順に $S_i(i = 1...S)$ とする.
2. 送信レート S_i に対する受信レートの平均値を $i = 1$ から平均二乗法を用いて $y = ax$ で近似する.
3. $a < 0.95$ となるまで i ($i > 2$ とする) を増加.
4. $a < 0.95$ を満たす i 以降の S_i に対する受信レートの平均値について平均二乗法を用いて $y = Ax + B$ で近似する.
5. $y = ax$ と $y = Ax + B$ の交点 X の x 座標を推定空き帯域 A とする.

ただし, 3.2 節に述べるように, 本研究において空き帯域の測定は候補サーバ-クライアント間の空き帯域の絶対値を測定することを目的としておらず, ストリーミングに必要な帯域があることを推定することを目的としている. このため, R_S をある一定の送信レート R_{MAX} までしか送出しない. これにより, 空き帯域 A が R_{MAX} 以上の値である場合には必ずしも空き帯域 A の絶対値が計算されるとは限らない.

この場合は, その候補サーバへの空き帯域は R_{MAX} 以上であると判断し, 他の空き帯域 A が測定されたサーバよりも, 大きな空き帯域があるものとしてサーバ選択を行う. また, このような候補サーバが複数ある場合には, 計測の中で一番ジッタの小さな候補サーバを選択する.

4 実験・評価

本研究では提案したストリーミング手法の有効性を確かめるため, NS-2 を用いてシミュレーションを行った.

4.1 サーバ選択有効性の確認

まず, 提案手法におけるサーバ選択手法の有効性を確認するため, 図 5 のようなトポロジを作成した. そして, 以下の手順でシミュレーションを行った. ただし, $S1$, $S2$, $S3$ をはそれぞれサーバ, C はクライアントを表す.

1. S1,S2,S3 からクライアントへの各ボトルネックリンクに 0%〜90%の長期依存性のあるトラフィックを流す.
2. ボトルネックリンクのトラフィック量を 30 秒ごとにランダムウォークで 5%ずつ増減する.
3. $S1$, $S2$, $S3$ それぞれのサーバを単独で利用した場合, $S1$, $S2$, $S3$ を利用した提案手法において 3000 秒間のストリーミングを行う.
4. クライアントにおけるトラフィック受信確率, ジッタを計測する.

このシミュレーションの結果は図 6, 図 7 のようになる. 図 6 より, 単一サーバのみを選択してストリーム配信を行った場合には時間に応じてトラフィック量が変化するため, クライアントの受信ストリームのジッタがそれに応じて大きく変動している. これに対し, 提案手法では一定時間ごとに (シミュレーションにおいては 300 秒とした) 空き帯域の推定を行い, ストリームを受信していることから, 多くの時間において最小のサーバから受信を行っていることがわかる. ただし, 一定時間間隔ごとにサーバ選択を行うため, 一度サーバの選択を行うと次のサーバ選択までは同じサーバを利用し続ける. このため, 時間帯によっては最小のジッタになるサーバを選択していない部分がある.

また, 図 7 においても, 単一サーバを利用した場合には時間に応じてトラフィックの到着確率が低下し

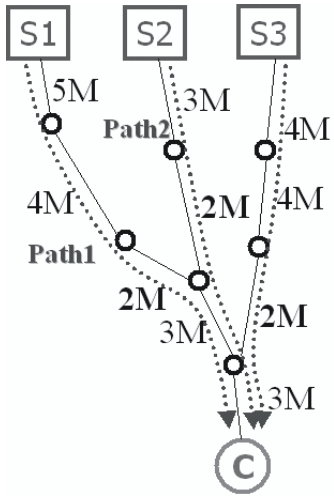

図 5: シミュレーション 1 のトポロジ

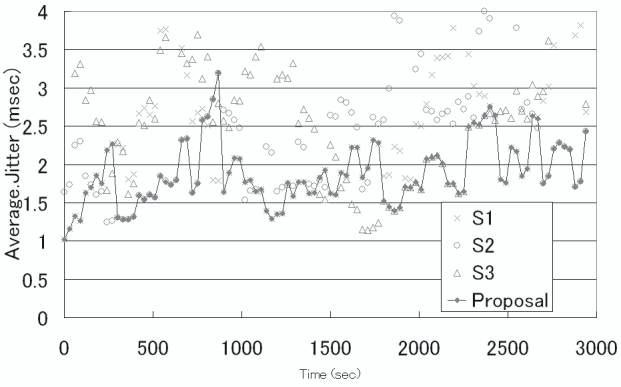

図 6: 平均ジッタ

ているのに対し, 提案手法では空き帯域の推定結果による選択を一定時間ごとに行っているためより多くのトラフィックを受信できていることが分かる.

4.2 大規模ネットワークにおけるストリーミング品質の検証

次に, 大規模ネットワークにおける提案ストリーミング手法のの品質を評価するため, 次のようなシミュレーションを行った. また, ネットワークのトポロジはトポロジ作成ツールとして提供されている BRITE[5] を利用し, 二階層 Albert-Barabasi アルゴリズムを利用して作成した.

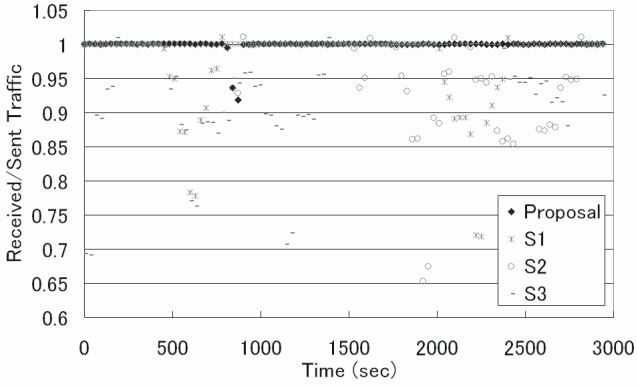

図 7: トラフィック到着確率

1. インターネットを模擬した 3000 ノードからなるトポロジを作成.
2. 作成したノードから 10 ノードをサーバ, 1 ノードをクライアントとしてをランダムに選択
3. シミュレーション 1 と同様のトラフィックを経路に流す.
4. クライアントから最短ホップ数のサーバ (以後最短ホップ法) を利用, 作成したサーバから N 個をサーバとした提案手法のそれぞれにおいてストリーミングを行う ($N = 3, 5, 7, 10$).
5. ストリーミングメディアのビットレートを変化させてトラフィック受信確率, ジッタを計測.

結果は図 8, 図 9 のようになる. 図 8 より, 最短ホップ法ではストリーミングメディアのビットレートが高くなるにしたがってトラフィック受信確率が大きく低下している. これに対し, 提案手法を用いてストリーミングを行った場合には, その低下が緩やかになり, トラフィックの受信確率が向上していることが分かる. 同様に, 図 9 より, 提案手法を用いることでストリーミングのビットレートを高くした場合でもジッタの増加が緩やかになっていることが分かる.

また, 提案手法において選択対象のサーバを 5 個まで増加させた場合にはトラフィック受信確率, 平均ジッタともに性能が向上しているがそれ以上に増加させても変化がないということが分かった. これは, サーバ数を増やしたとしても十分な空き帯域があるサーバが存在するとは限らないためと考えられる.

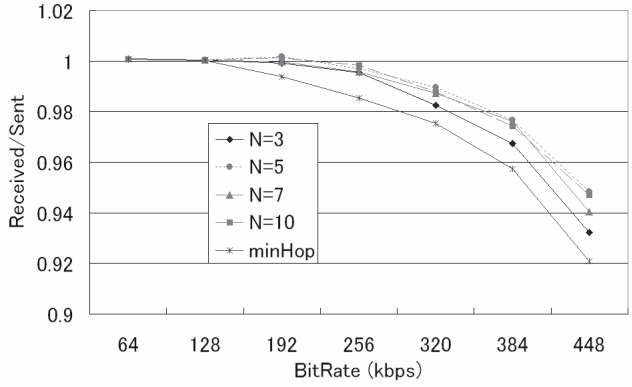

図 8: トラフィック到着確率

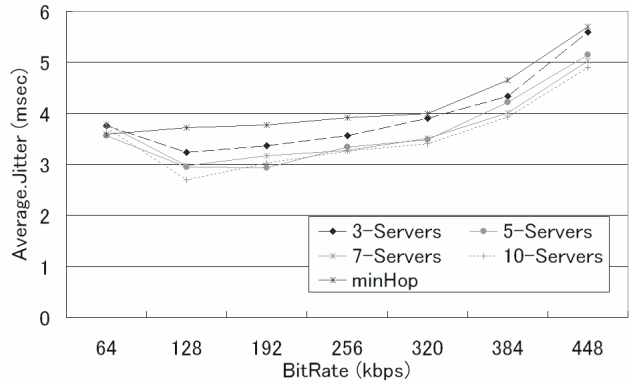

図 9: 平均ジッタ

5 結論

本稿では, トポロジ情報によるサーバ選択を行うのではなくストリーミングに重要な空き帯域情報を基にサーバ選択を行うストリーミング手法の提案を行い, シミュレーションを用いてその有効性の評価を行った. その結果, 一定時間ごとにサーバへの end-to-end での空き帯域の推定を行った結果によりサーバ選択を行うためジッタ, トラフィック到着確率が向上し, その有効性が確かめられた.

参考文献

[1] Ma, H. and Zarki, M.: Broadcast/multicast mpeg-2 video over wireless channels using header redundancy fec strategies, *The International Society for Optical Engineering*, Vol. 3528, pp. 69–80 (1998).

[2] J. Apostolopoulos, T. Wong, W. T. and Wee., S.: On Multiple Description Streaming with Content Delivery Networks, *Proc. of IEEE Infocom* (2002).

[3] Thinh Nguyen, A. Z.: Path diversity with forward error correction (PDF) system for packet switched networks, *IEEE INFOCOM 2003 - The Conference on Computer Communications*, Vol. 22, No. 1 (2003).

[4] Z.M. Mao, C. D. Cranor, F. B. M. R. O. S. and Wang, J.: A Precise and Efficient Evaluation of the Proximity Between Web Clients and Their Local DNS Servers, *Proceedings of USENIX Annual Technical Conference*, pp. 229–242 (2002).

[5] : BRITE: Boston University Representative Internet Topology Generator. http://www.cs.bu.edu/brite/.