

CDN における通信中の通信品質の劣化を改善する サーバ及びパス切替手法

西牟田 裕之[†] 野林 大起^{††} 池永 全志^{††}

[†]九州工業大学大学院 工学府 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1

^{††}九州工業大学大学院 工学研究院 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1

E-mail: †nishimuta.hiroyuki171@mail.kyutech.jp, ††{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp

あらまし Youtube や Facebook, Netfrix などの新たな分野のコンテンツプロバイダの登場により, インターネットトラフィックの大部分を動画, 画像, 音楽, Web ページといったコンテンツの配信によるトラフィックが占めている. コンテンツ配信では, サーバ及びネットワーク内の負荷分散と通信品質の確保を目指して Content Delivery Network (CDN) と呼ばれる技術を活用している. 現状の CDN 等では, ユーザと配信サーバ間で一度通信を開始すると, 競合フローの発生によって通信経路中の利用可能な帯域が変化した場合でも接続先のサーバを変更することは困難である. そのため, 動画配信のような継続時間の長い通信を扱う場合, 従来の経路制御や配信サーバ選択では通信開始後の通信品質の劣化に対して柔軟に対応できない可能性がある. そこで本研究では, 通信中の通信品質の劣化の改善を目的とし, パスの推定獲得スループットに基づくサーバ及びパスの切替手法を提案する. さらに, 既存手法と比較して提案手法が高いスループット性能を提供可能なことをシミュレーションにより評価する.

キーワード CDN, 経路制御, 配信サーバ選択, QoS

Adaptive Server and Path Switching Scheme for Content Delivery Network

Hiroyuki NISHIMUTA[†], Daiki NOBAYASHI^{††}, and Takeshi IKENAGA^{††}

[†] Graduate School of Engineering, Kyushu Institute of Technology

^{††} Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology

Sensui-cho 1-1, Tobata-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, 804-8550, Japan

E-mail: †nishimuta.hiroyuki171@mail.kyutech.jp, ††{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp

Abstract Due to an increase in content providers providing large-capacity contents, most of the traffic flowing into the Internet is occupied by multimedia contents such as videos, images, music, and so on. In content distribution on the Internet, content delivery networks (CDNs) that can guarantee the load distribution and communication quality of the server and the network entity is used around the world. With current CDN technologies, when the user establishes a connection with the distribution server, it is difficult to change both the server and the path between the user and the server. Therefore, when dealing with long duration communication in CDNs, conventional path control and distribution server selection related to CDNs may not be able to respond flexibly to changes in communication quality after the communication starts. In this paper, we propose the path and server switching scheme based on the estimated available throughput of each path to improve the performance of communication in CDNs. Furthermore, we show that our proposed method can provide high throughput performance compared with the existing method by using network simulations.

Key words CDN, route control, Server Selection, QoS

1. はじめに

スマートフォンやタブレットの普及により, インターネットを利用するユーザが増加している. これに伴い, 多くのユーザ

は動画や画像, 音楽などの大容量コンテンツをインターネットを用いて利用するケースが増大している. このようなコンテンツ配信技術として, 負荷分散と通信品質を確保可能な Content Delivery Network (CDN) が利用されている. Cisco 社による

と、全世界のインターネットトラフィック全体に占める CDN によるトラフィックの割合は、2016 年の 52% から 2021 年には、71% に増加すると予測している [1]. CDN 事業者はオリジナルのコンテンツを保有するオリジンサーバに代わって、実際にユーザからの要求に対応する配信サーバを Internet Service Provider (ISP) に分散配置し、コンテンツ配信事業者は CDN 事業者の設置した配信サーバを利用してコンテンツを配信する [2]. ユーザからの要求をオリジンサーバに代わって配信サーバが処理することで、ネットワーク内の負荷分散とユーザの通信品質の向上を図っている. そのためコンテンツ配信において発生するフローの始発点は、各 CDN 事業者によって定義された配信サーバ選択法によって決定される. 配信サーバ選択法は、分散配置された配信サーバの中からサーバの負荷やキャッシュヒット率などに基づいてユーザにコンテンツを配信するサーバを選択するものであり、ユーザの通信品質やネットワーク内のトラフィック量は配信サーバ選択に影響を受ける [3]. 代表的な CDN 事業者である Akamai 社は Domain Name System (DNS) ベースの配信サーバ選択法を用いている [2] [4]. ユーザは配信サーバの IP アドレスを Akamai 社の DNS サーバに問い合わせ、Akamai 社の DNS サーバは配信サーバを選択し、選択された配信サーバの IP アドレスをユーザに回答する. DNS ベースの配信サーバ選択では、一般的にユーザとネットワークに近い配信サーバが選択される. このように、CDN における配信サーバ選択はユーザの通信品質に大きな影響を与える要因の 1 つとなる. そのため、CDN における配信サーバ選択法に関する研究が行われている [5]. また、CDN は ISP とは独立した Akamai 社等の CDN 事業者によって運営され、経路制御は ISP が、配信サーバ選択は CDN 事業者がそれぞれ制御している. しかし、コンテンツは大容量のフローを使用して配信されるため、CDN 事業者の配信サーバ選択によって選択された配信サーバのトラフィックにより ISP のネットワーク内で輻輳が生じ、ISP 内の他の通信の品質が低下する. 逆に、ISP の経路制御により CDN 事業者の配信サーバ選択によって選択された配信サーバのトラフィックが、十分な品質の確保が不可能なパスを使用してデータが転送されてしまう場合がある. このように、経路制御と配信サーバ選択は互いの制御の影響を考慮する必要がある.

一方で、Google 等のコンテンツプロバイダや、Tier-1 ISP のような大規模なネットワークを有する企業では、自社で CDN を構築し、運用するケースが増えている [3] [6]. また、ISP と CDN 事業者が互いに協力することで、経路制御と配信サーバ選択を同時に制御する方式も提案されている [3] [7]. さらに、OpenFlow を用いて Software Defined Network (SDN) を構築して動的に経路制御や配信サーバ選択を実施する方式が提案されており [6] [7] [8] [9] [10] [11], SDN を用いることでリアルタイムにネットワーク内の情報収集やフロー単位の経路制御が可能となり、より高度な経路制御や配信サーバ選択が期待されている. しかし、これらの経路制御や配信サーバ選択手法は通信開始時のネットワーク内の状況に基づいて制御が行われているが、ネットワーク内の状況は常に変動しており、通信の途中に

通信経路上で輻輳が生じ、通信品質が劣化してしまう可能性が考えられる. ネットワークの状況に応じて通信中のフローを動的に経路制御することで、通信中の通信品質の劣化を改善する手法が検討されているが、ネットワーク内の状況によっては、通信品質を改善可能なパスが存在せず動的に経路制御するだけでは通信品質の劣化に十分に対応できない場合がある [12] [13].

そこで本研究では、通信中の通信品質劣化を改善するサーバ及びパス切替手法を提案し、動的な経路制御に加えて接続先のサーバを切り替えることで通信品質の劣化を改善する. 本方式では、OpenFlow を用いて SDN を構築することでネットワークを構成するスイッチ間のリンク上を流れるフロー数及び、リンクの利用可能帯域幅を取得する. 取得したこれらの情報を用いてクライアントと配信サーバ間のすべてのパスの獲得可能なスループットを推定する. 推定した獲得スループットから通信品質が劣化したフローの通信品質を改善可能なパス及びサーバを探索し、探索結果に応じてサーバ及びパスを切り替える.

以降、2 節で関連研究について述べ、3 節で提案手法であるサーバ及びパス切替手法について述べる. 4 節でシミュレーション環境について述べ、5 節でシミュレーション評価により提案手法の有効性を検証する. 最後に 6 節で全体をまとめる.

2. 関連研究

通信中の通信品質劣化の改善に関しては、様々な研究がなされている. 現在のビデオストリーミングの大部分では、Adaptive Streaming と呼ばれるネットワーク内の状況に応じてビデオコンテンツのビットレートを動的に変更する仕組み [14] が用いられている. そして、ビデオコンテンツのビットレートを選択するアルゴリズムを改良することで、アプリケーションレベルで通信品質の劣化に対応している [15].

しかし、ネットワークの輻輳に対してアプリケーションレベルの対応では根本的な通信品質の改善とはならない. そこで、通信中にフローのパスを変更する手法が提案されている [12] [13]. [12] では、OpenFlow Switch (OFS) の受信量をリンク負荷として定義し、ネットワーク内のリンクの負荷が一定値を超えた場合に最も利用可能帯域が大きいパスに経路を変更する手法を提案している. しかし、リンク負荷の瞬間的な値がパス変更を決定する値となっており、この値は、短い間隔で動的に大きく変動するので、必要以上にパスを変更する問題がある. そこで、[13] では、リンク負荷の移動平均をパス変更を決定する値とするとともに、パスを変更した後に一定時間パスを変更しない時間を設けている. また、パス変更を決定する際の適切なしきい値設定と提案手法の有効性を検証している. [16] では、パス選択に要する遅延に比べて、フローテーブルの更新による遅延が無視できない問題であるとしてコントロールプレーンにおけるフローのパス選択とデータプレーンにおけるフローテーブルの更新スケジュールの最適化に取り組んでいる. しかし、通信中のフローのパスを変更する既存の手法では、ネットワークトポロジや通信経路の輻輳状況によっては、通信品質を改善可能なパスが存在しない場合がある. このように関連研究では、通信中の通信品質の劣化に対応できない問題がある.

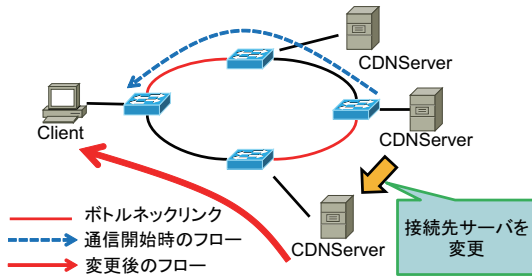


図1 提案手法の概要

3. 提案手法

本研究では、前節で述べた課題を解決し、フローのスループット性能を改善するための、サーバ及びパス切替手法を提案する。図1に提案手法の概要を示す。提案手法では、通信中の通信品質の劣化に対して、現在のクライアントとサーバ間でパス切替のみで品質劣化に対応可能な場合、パス切替のみを行う。パス切替のみでは品質劣化に対応不可能な場合、接続先のサーバを切り替えることで品質劣化に対応する。ただし、本手法では、既存の通信中に接続先のサーバを切り替えた場合でも継続してアプリケーションが利用可能であることを前提とする。

3.1 想定するネットワーク

提案手法では、OpenFlowを用いたSDNによってCDNを構成したシングルドメインネットワークを想定する。よって、クライアント、OFS、配信サーバは単一のOpenFlow Controller (OFC)によって集中制御され、全ての配信サーバは同じコンテンツを保有しているものとする。OFSは自身に接続しているリンク上を流れるフロー数と自身のインタフェースの受信量を計測し、OFCは一定周期で自身の制御するネットワーク内のOFSからこれらの情報を取得する。

3.2 提案手法の流れ

以下に本提案手法の一連の流れを示す。

Step 1 各クライアントにおいて自身に流入するフローの品質の劣化を判断。

Step 2 OFCにおいてクライアント - サーバ間のすべてのパスの推定獲得スループットを算出。

Step 3 Step 2で算出したパスの推定獲得スループットを基にOFCは現在のクライアント - サーバ間で通信品質を改善可能なパスを探索。

Step 4 Step 3で通信品質を改善可能なパスが存在した場合、パスを切り替える。

Step 5 Step 3で通信品質を改善可能なパスが存在しない場合、OFCは通信品質を改善可能なサーバを探索し、サーバを切り替える。ただし、通信品質を改善可能なサーバが存在しない場合は、現在の通信を継続。

3.2.1 クライアントにおける通信品質劣化の判断

本手法では、全フローの通信品質を測定するために、各クライアントは自身に流入する全フローのスループットを任意の周期 T で計測する。通信品質を表す指標としてクライアントで計測されたフロー F_i のスループットの移動平均を $S_i(t)$ とし

て、式(1)のように更新する。

$$S_i(t) = Y_i(t) * (1 - \alpha) + S_i(t - 1) * \alpha \quad (1)$$

ここで、クライアントに流入するフローを F_i ($i = 1, \dots, n$)、現在の時刻を t 、時刻 t におけるフロー F_i のスループットを $Y_i(t)$ 、平滑化係数を α とする。フロー F_i の通信開始後から現在の時刻 t までに算出された最大の S_i を $\max S_i$ と定義し、 $S_i(t)$ が $\max S_i$ に対して一定の割合以下(式(2))となる状態が5周期(5T)継続した場合、クライアントは F_i の通信品質が劣化したと認識して、OFCに通知する。

$$S_i(t) < \max S_i * \beta \quad (2)$$

ここで、 β は $0 \leq \beta \leq 1$ を満たす任意の係数とする。

3.2.2 推定獲得スループットの算出

OFCはクライアントから品質劣化の通知を受け取ると、クライアントとサーバ間のパスの中で品質を改善可能なパスを探索する。OFCはパスの推定獲得スループットに基づいて通信品質を改善可能なパスを探索する。まず、パスの推定獲得スループットを算出するために、リンクの推定獲得スループットを求める。パス P_j ($j = 1, \dots, n$)に属するリンク $L_{j,k}$ ($k = 1, \dots, m$)の推定獲得スループット $X_{j,k}$ を以下の2つの方法で求める。最初にリンク $L_{j,k}$ 上を流れるフロー数に基づき、推定獲得スループット $X_{flow,j,k}$ を求める。リンク $L_{j,k}$ 上を流れるフロー数からリンク $L_{j,k}$ のフロー数に基づく推定獲得スループット $X_{flow,j,k}$ は式(3)で表される。

$$X_{flow,j,k} = \frac{L_{j,k}の容量}{1 + L_{j,k}上のフロー数} \quad (3)$$

次に、OFSの各インタフェースの受信量に基づき、残余帯域 $X_{residual,j,k}$ を求める。OFSのインタフェースの受信量からリンク $L_{j,k}$ の受信量に基づく残余帯域 $X_{residual,j,k}$ は式(4)で表される。

$$X_{residual,j,k} = L_{j,k}の容量 - OFSの受信量 \quad (4)$$

リンク $L_{j,k}$ の推定獲得スループット $X_{j,k}$ を式(5)より求める。

$$X_{j,k} = \max(X_{flow,j,k}, X_{residual,j,k}) \quad (5)$$

最後に、各リンクの推定獲得スループットに基づいて、クライアントとサーバ間のパスの推定獲得スループットを算出する。パス P_j の推定獲得スループット Z_j は、 P_j を構成する全リンクの推定獲得スループット $\{X_{j,1}, X_{j,2}, \dots, X_{j,k}\}$ の最小値として、次の式(6)によって求める。

$$Z_j = \min(X_{j,1}, X_{j,2}, \dots, X_{j,k}) \quad (6)$$

図2は、サーバクライアント間に P_1 と P_j の二つのパスが存在する例を示している。図2において、パス P_1 を構成するリンクは $L_{1,1}$ および $L_{1,2}$ であり、 P_1 の推定獲得スループット Z_1 は、 $\min(X_{1,1}, X_{1,2})$ によって求めることができる。

3.2.3 パスの切替

OFCは算出した各パスの推定獲得スループットから通信品

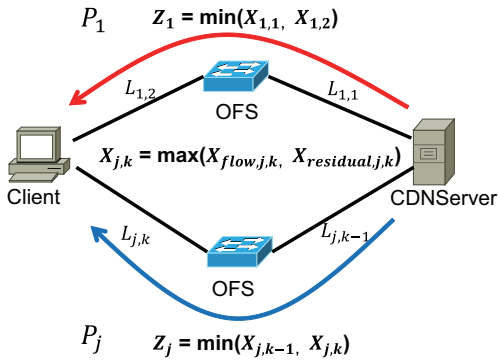


図2 パスの推定獲得スループットの算出

質を改善可能なパスを探索する。通信品質を改善可能なパスの条件は式(7)で表される。

$$Z_j > Z_{current} \wedge Z_j > \max S_i * \beta \quad (7)$$

ここで、 $Z_{current}$ は、パス切り替えの対象となっているフローが現在使用中のパスにおける推定獲得スループットを示す。すなわち、式(7)の条件は、現在使用中のパス以上の推定獲得スループットを有しているとともに、通信品質劣化を判断するしきい値以上のスループットを得ることができるパスを選択することを示している。

ただし、通信品質を改善可能なパスがクライアント - サーバ間に存在しない場合、OFC は通信品質を改善可能なパスを持つサーバの探索を開始する。

3.2.4 サーバの切替

通信中のクライアント - サーバ間において、パスの切替のみで通信品質劣化を改善できない場合に、OFC は、式(8)の条件を満たすサーバへの切替を行う。

$$l' + u < l \quad (8)$$

ここで、 l は、現在の通信を継続した場合の残余通信時間であり、対象とするフローの通信品質劣化を判断した際の $S_i(t)$ と通信中のコンテンツの残りのデータ量から算出する。 l' は、サーバ切替後の推定残余通信時間であり、切替後のサーバとクライアント間の推定獲得スループットによって求めることができる。また、 u は OFC によるサーバ切替に要する時間である。

サーバ切替の手順は以下の通りである。

Step 5-1 現在の接続先サーバを除き、クライアントから経由する OFS の数が最も少ないサーバを候補サーバとして選択。

Step 5-2 候補サーバとクライアント間のパスの推定獲得スループットを算出し、式(8)の条件を満たす場合、候補サーバを切替先のサーバとして決定。

Step 5-3 Step 5-2 で条件を満たすサーバが存在しない場合、候補サーバを変更して Step 5-1, Step 5-2 を繰り返す。

Step 5-4 全てのサーバが条件を満たさない場合は、現在の状態を維持。

接続先サーバが変更されない場合は、再度、通信品質劣化が判断されるまで現在の通信を維持する。このように通信中の品質劣化に対して、まずはパスの切替で対応を試みる。パスの切替

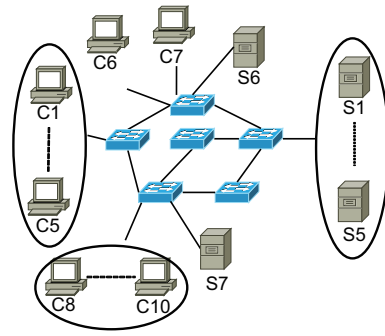


図3 シミュレーショントポロジ

表1 シミュレーション設定

項目	設定
シミュレータ	ns-3.24
リンクの転送遅延	1 ms
リンクの帯域幅	100 Mb/s
シミュレーション時間	250 s
周期 T	1 s
コンテンツのデータ量	500 MB
試行回数	3 回

では対応できない場合、接続先のサーバを切り替えることで、通信品質を改善する。

4. シミュレーション環境

本節では、提案手法の性能評価に用いたシミュレーションの詳細について説明する。今回は NS-3 (Network Simulator-3) シミュレータを用いて提案手法を評価した [17]。

4.1 シミュレーションモデル

シミュレーショントポロジを図3に示す。図3において C1 - C10 は 10 台のクライアント、S1 - S7 は 7 台の配信サーバを表しており、それぞれの端末は OFS を介して接続されている。シミュレーション設定を表1に示す。今回はサーバ切替のオーバーヘッドを無視するため、サーバ切替に要する時間 $u = 0$ s とする。また、本手法ではスループットの移動平均を算出する際に短時間で大きく変動するスループットの影響でサーバ及びパスが必要以上に切り替わることを防ぐために、過去の値に重みを置いて平滑化係数 α を 0.8 とする。

4.2 シミュレーションシナリオ

シミュレーションでは、通信開始時に最適なサーバ選択を行わない CDN を想定し、0 s から 3 s 間隔でランダムに選択されたクライアント - サーバ間でフローを発生させる。ただし、1つのクライアントに流入するフローは最大1本とし、発生するフローは全て TCP による 500 MB のファイル転送とする。また、S6 及び S7 は他のネットワークの配信サーバとし、クライアントは S1 - S5 のサーバと通信開始する。この時、ネットワーク内のトラフィック量が提案手法の動作に与える影響を評価するため、TCP によるファイル転送のフロー数を 5, 7, 10 本と変更してシミュレーションを実行する。

本研究では、比較手法としてサーバ及びパス切替を行わな

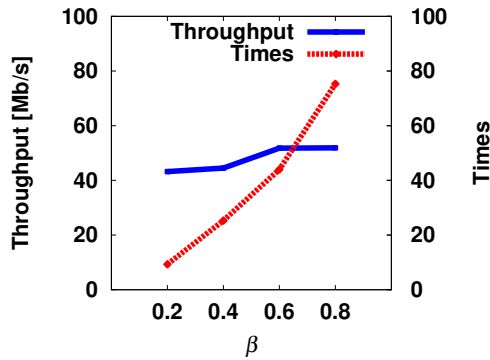


図4 係数 β の傾向

い手法 (Conventional1) とパス切替のみを行う手法 (Conventional2) を用いて、フローのスループット性能及びコンテンツのダウンロードに要した時間を評価する。

5. シミュレーション結果

本節では、前節の評価項目に従ってサーバ及びパス切替手法の有効性を検証する。

5.1 係数 β の評価

通信中のフローの通信品質劣化を判断する式 (2) において、係数として用いたパラメータ β は、本手法において、通信品質劣化の判断及び、品質を改善可能なサーバ及びパスの探索に用いられているため、この β の値がフローのスループット性能に大きな影響を与えることが考えられる。そこで、パラメータ β の値によるスループット特性の変化を調査することで、適切な β の設定を行う。図3のトポロジを用いて、フロー数を10本、 $\beta = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ と変化させて、提案手法を適用した場合に β がフローのスループット特性に与える影響を調査した。図4に係数 β を変更した場合の全フローの平均スループット特性を示す。 β が大きくなるにつれ、フローのスループットが向上する結果となった。これは、 β の値が大きくなると通信品質を改善可能なパスやサーバとして、パスの推定獲得スループットが大きいものだけが変更先のサーバやパスの候補になるだけでなく、通信品質劣化がより早く判断されるようになるためである。

しかし、 β の値が大きくなるにしたがって通信品質が劣化したと判断される回数が増加する結果となった。通信品質が劣化したと判断されるたびに OFC はパスの推定獲得スループットの計算、サーバ及びパスの選択・切替をしており、通信品質劣化の判断の回数が増加するにつれ OFC の計算量は増加する。 $\beta = 0.6, 0.8$ とした場合のフローのスループット性能の差は0.2%程度であった。また、 $\beta = 0.6$ の場合は、クライアントにおいて通信品質が劣化したと判断された回数が $\beta = 0.8$ の場合の60%であった。以上の結果より、 β の値を大きくするとフローのスループット性能は改善されるが OFC の計算量が増加することが確認できたため、以降は小さい計算量で良好なスループット性能を示した $\beta = 0.6$ を使用する。

5.2 スループット性能、及び通信時間

ここでは、フローのスループット性能及びコンテンツのダウ

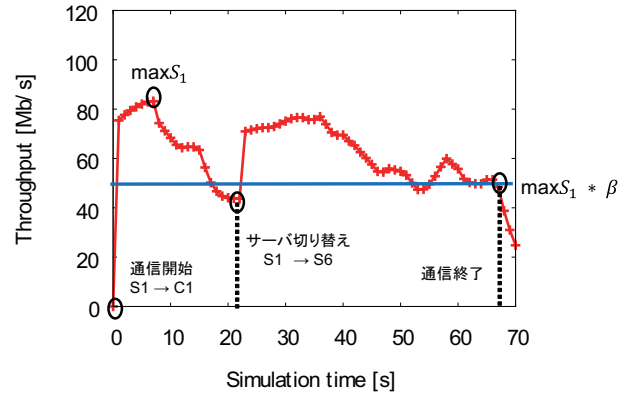


図5 フロー F_1 のスループットの移動平均 S_1 の推移

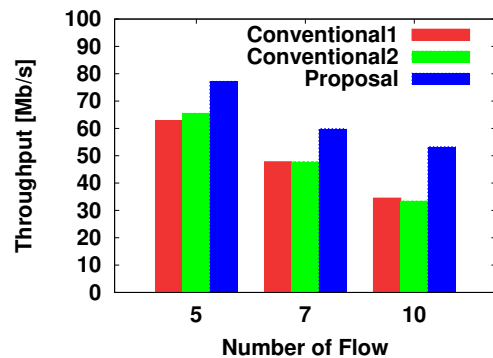


図6 全フローの平均スループット性能

ンロードに要した通信時間を評価する。図5は提案手法において、C1 - S1間で発生したフロー F_1 のスループットの移動平均 S_1 の推移を表している。0sにC1 - S1間で発生したフロー F_1 は6sにC3 - S3間で発生したフローとパスの一部を共有したことで、9sからスループット性能が低下し始めた。さらに、15sにC5 - S5間で F_1 とパスの一部を共有するフローが発生したため、15s以降から F_1 のスループット性能はさらに低下した。そして、22sの時点でクライアントC1によって F_1 の品質が劣化したと判断された。C1から品質劣化の通知を受けたOFCはC1 - S1間の他のパスの推定獲得スループットを算出したが、式(7)の条件を満たす推定獲得スループットを持つパスがC1 - S1間に存在しないため、 F_1 の接続先サーバをS6へ切り替えた。接続先のサーバをS1からS6へ切り替えることでフロー F_1 のスループット性能は大きく改善され、36sにC6 - S3間のフローが接続先のサーバをS6に切り替えたことで、 F_1 のスループット性能は再び低下したが、2回目の品質劣化が判断されることはなく F_1 の通信は終了した。図5より、提案手法は正しく動作し、通信中に通信品質が劣化した場合に対応可能であることが確認できた。

全フローの平均スループット性能を図6に、全フローがコンテンツのダウンロードに要した平均通信時間を図7に示す。図6の縦軸は、全フローの平均スループット、横軸は、ネットワーク内のフロー数を表しており、図7の縦軸は、全フローがコンテンツのダウンロードに要した平均通信時間を表している。

図6より、ネットワーク内のファイル転送によるフロー数を

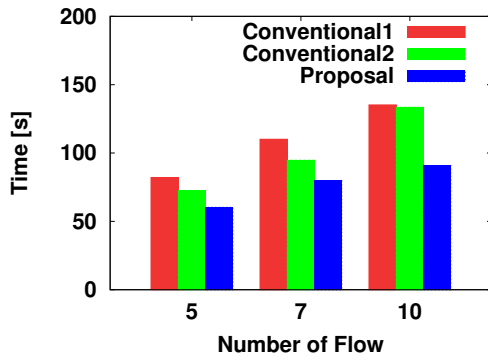


図7 全フローがコンテンツのダウンロードに要した平均通信時間

変更しても提案手法は常に比較手法より高いスループット性能を示した。また、ネットワーク内のファイル転送によるフロー数が増加するにつれて比較手法のスループット性能を基準として、提案手法のスループット性能の改善率は増加した。逆にパスのみを切り替える手法はフロー数が増加するにつれてスループット性能は低下している。これは、関連研究の問題点で挙げたようにネットワーク内のトラフィック量が増加したことで、クライアントとサーバ間の複数のパスで輻輳が発生し、通信品質を改善可能なパスが現在のクライアントとサーバ間では存在しないためである。これらのことから、提案手法はネットワーク内のトラフィック量が多い場合ほど効果的であることが分かった。図7より、ネットワーク内のファイル転送によるフロー数を変更しても常に提案手法はコンテンツのダウンロードに要する通信時間を短縮することを示した。また、フローのスループット性能と同様にネットワーク内のファイル転送によるフロー数が増加するにつれて通信時間は大きく短縮された。

以上の結果より、提案手法はネットワーク内の状況に応じて柔軟にサーバ及びパスを切り替えることで通信中の通信品質劣化を改善しフローのスループット性能を維持可能なことを確認した。

6. まとめ

本研究では、CDN を利用したコンテンツ配信によるトラフィックが増加している状況に着目し、クライアントとサーバ間のボトルネックリンクを回避し柔軟にサーバ及びパスを切り替える手法を提案した。提案手法では、OpenFlow による SDN 上に CDN を構築し、フローの品質劣化に対して OFC がクライアントとサーバ間のパスの推定獲得スループットを算出し、品質を改善可能なサーバ及びパス切替を行うことで品質劣化に対応する手法を提案した。シミュレーションにより提案手法を評価した結果、提案手法は比較手法よりも良いスループット性能を示すとともにコンテンツのダウンロードに要する通信時間を削減した。今後は、トポロジ及びシナリオを変更して提案手法のスケラビリティを検証した後、実際の CDN を想定し大量のコンテンツ配信におけるフローの品質劣化の対応方法を検討していく。

謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP16K00131 の支援を受けている。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: 予測と方法論, 2016~2021 年 ホワイトペーパー," https://www.cisco.com/c/ja_jp/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.html. (閲覧日: 2019 年 2 月 5 日)
- [2] A.-M. K. Pathan, et al., "A taxonomy and survey of content delivery networks," Grid Comput. Distrib. Syst. Lab, Univ. Melbourne, VIC, Australia, Tech. Rep. GRIDS-TR-2007-4, 2007.
- [3] 上山 憲昭 他, "モデル予測制御を用いた配信サーバ選択と経路の最適選択法," 信学技報, vol.114, no.477, NS2014-237, pp.349-354, 2015 年 3 月.
- [4] Ramesh K.Sitaraman, et al., "Overlay Networks: An Akamai Perspective," Wiley-IEEE Pres, October, 2014.
- [5] Chang Liu, et al., "Go-with-the-Winner: Performance Based Client-Side Server Selection," 2016 IFIP Networking Conference (IFIP Networking) and Workshops, May, 2016.
- [6] Kok-Kiong Yap, et al., "Taking the Edge off with Espresso: Scale, Reliability and Programmability for Global Internet Peering," SIGCOM'17, August, 2017.
- [7] Matthias Wichtlhuber, et al., "An SDN-Based CDN/ISP Collaboration Architecture for Managing High-Volume Flows," IEEE Transactions on Network and Service Management, Volume: 12, Issue: 1, March, 2015.
- [8] Feng Qin, et al., "Optimizing Routing and Server Selection in Intelligent SDN-based CDN," Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), November, 2016.
- [9] Cui Chen-xiao, et al., "Research on Load Balance Method in SDN," International Journal of Grid and Distributed Computing, Vol. 9, No. 1 (2016), pp. 25-36, September, 2016.
- [10] Jun Li, et al., "An Effective Path Load Balancing Mechanism Based on SDN," 2014 IEEE 13th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications, September, 2014.
- [11] Mohammad AI-Fares, et al., "Hedera: Dynamic Flow Scheduling for Data Center Networks," NSDI'10 Proceedings of the 7th USENIX conference on Networked systems design and implementation Pages 19-19, April, 2010.
- [12] Hui Long, et al., "LABERIO: Dynamic load-balanced Routing in OpenFlow-enabled Networks," 2013 IEEE 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), March, 2013.
- [13] Yuan-Liang Lan, et al., "Dynamic Load-balanced Path Optimization in SDN-based Data Center Networks," 2016 10th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP), 2016.
- [14] Selvarj Kesavan, et al., "Dynamic Adaptive Streaming Over HTTP(DASH)-Comprehensive Study and Rate Adaptation Performance Analysis." International Journal of Soft Computing, January, 2015.
- [15] Junchen Jiang, et al., "Improving Fairness, Efficiency, and Stability in HTTP-based Adaptive Video Streaming with FESTIVE," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 22, pp. 326-340, Feb. 2014.
- [16] Hongli Xu, et al., "Real-time Update with Joint Optimization of Route Selection and Update Scheduling for SDNs," 2016 IEEE 24th International Conference on Network Protocols (ICNP), Nov. 2016.
- [17] nsnam, "ns-3," <https://www.nsnam.org> (閲覧日: 2019 年 2 月 5 日)