

超分散分割保存された大容量コンテンツの即時配信システム

小倉 毅 金子晋丈 北村匡彦 君山博之 藤井竜也 高原 厚

筆者らは、ネットワーク仮想化技術と誤り訂正符号 (LDGM) によるデータ冗長化技術を組み合わせ、many-to-one 型の大容量コンテンツ配信を効率よく行うプラットフォームの実現方法を検討している。本稿では、主要な要素技術である、仮想ネットワークの組み合わせによる経路制御技術、冗長符号化伝送技術、そして、これらを用いた際のコンテンツの通信品質評価技術について、これまでの研究内容と評価結果を述べる。

1 まえがき

コンテンツ市場におけるサプライチェーンのグローバル化やコンテンツ提供時間の即時化への要求の増大により、既存のインターネットで用いられている伝送／蓄積技術よりも効率よくデジタルコンテンツ流通・伝送できるプラットフォームの必要性が高まっている。筆者らは、このようなプラットフォームの実現法として、大容量のデータをあらかじめ複数の分散配置された蓄積装置に分割して格納し、必要な時に1箇所を集めてきて閲覧する many-to-one 型のコンテンツ配信手法¹⁾をベースとするアプローチが有望であると考えている。理由は、送信拠点に近い場所では必要なネットワークの帯域が少なく済み、特定のコンテンツへのアクセス集中による蓄積装置の負荷の増大も起こりにくく、更には、データが分割されているのでデータ流出に対する安全性や拠点障害に対する耐性も高めやすいなどの特性を有しているためである。しかし、many-to-one 型配信ではフローの数が増えるため、通信品質の保証に TCP による再送制御や従来のトラ

フィック制御を適用することは制御負荷の増大や処理の複雑性の観点から望ましくない。

本研究では、再送制御のない伝送プロトコルの使用を前提とし、誤り訂正符号によるデジタルデータの冗長化技術とネットワーク仮想化技術を用いることで、many-to-one 型配信の利点を保持しつつ通信品質保証のための制御を効率よく行うプラットフォームの実現法を提案する。本提案は、仮想ネットワーク (スライス) として実現されている複数のルーティングプレーンを組み合わせ、効率よくトラフィック分散制御を行う「複数スライスを用いたトラフィック制御技術」、誤り訂正符号と仮想ネットワーク内処理によりロバストなデータ転送とダイナミックなトラフィック流量制御を実現する「超分散保存コンテンツのための冗長符号化伝送技術」及びこれらの技術を組み込んだ分散保存配信システムにおける通信品質評価を行った「複数スライス環境における通信品質評価技術」、の3つの要素技術 (図1) から成る。本稿では、これらの提案技術の概要と検証結果を述べる。

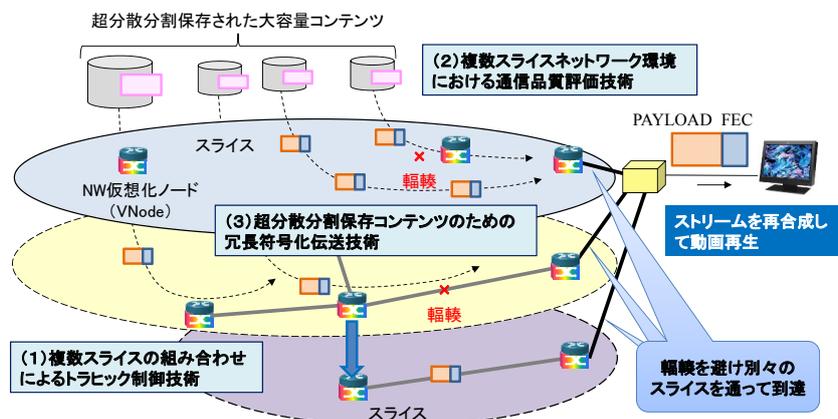


図1 本研究の提案方式を構成する要素技術

2 複数スライスを用いたトラフィック制御技術

2.1 従来技術の問題点

映像などのコンテンツを、通信品質を維持しながら配信する主な方法として、伝送経路の帯域リソースをあらかじめ確保しておく方法と、ネットワークの混雑や輻輳が発生した場合に伝送経路を明示的に変更する方法とがあるが、本研究が対象とする many-to-one 型配信の場合、配信経路のトポロジーが複雑になるため前者の方法は適用しにくい。後者の方法は一般に explicit routing と呼ばれ、OpenFlow^[2] や MPLS (Multiprotocol Label Switching)^[3] が代表的な普及技術として挙げられるが、OpenFlow は制御の単位があくまで1つのフローであるため、トラフィックを複数の経路に任意の割合で振り分けるような細かい流量制御ができないという問題や、新しく設定する伝送経路上の全スイッチのフローテーブルの設定が必要になる(ホップ・バイ・ホップ型の場合)という問題がある。MPLS については、パケット単位で複数の LSP (Label Switch Path) の使い分けを可能にする原理的なデータ構造は提供されているが実装の詳細は規定されていない。また、伝送経路の変更については、障害箇所の回避のための Fast Reroute を除いて、トラフィックを流す LSP の乗り換えや、エンド-エンドでの LSP の張り直しによって実現するようになっており、一度構築した LSP の一部分だけの変更はできないため、伝送途中での柔軟な経路変更ができない。

2.2 提案するトラフィック制御技術

本研究では、前述のような既存技術よりも柔軟で制御負荷の軽いトラフィック制御を実現するため、複数の仮想ネットワークの組み合わせによるトラフィック制御技術を提案する。ここで言う仮想ネットワークとは、例えば[4]のシステムで実現されているような、1つの

物理ネットワークの上に相互に独立する形で重畳された複数の論理ネットワークを指す。

従来技術のようにモノリシックなネットワークの中でルーティング制御やパス制御を行うのではなく、データ伝送の途中で必要に応じて、パケット単位で複数の仮想ネットワークを渡り歩く形の制御を導入する。それぞれの仮想ネットワークは相互に分離されたりリソースと既存のルーティングプレーンを有しているため、トラフィックの一部をある仮想ネットワークから別の仮想ネットワークへ移すだけで必然的に移行先の仮想ネットワークのトポロジーや経路制御に従うことになり、これによって複雑な経路探索やシグナリングを必要としない経路変更やトラフィック分散が実現できる。

具体的には、図2に示す基本操作を組み合わせることで複数の仮想ネットワーク(以下、スライス)を利用したトラフィック制御を行う。中心となる操作はスライス間連携である。これは、あるスライス内で帯域不足が発生した場合に、当該箇所を回避するためにデータ伝送の途中でトラフィックの全て、あるいは一部を別のスライスへ迂回する操作である。トラフィックの迂回先のスライスとして、そのスライス内で既に確立されているパケットルーティングにしたがった場合に十分な伝送帯域を確保しながらパケット転送が行えるスライスを選択する。スライス選択/切替は、送信端末から送出されたデータを送り込む最初のスライスの選択/切替操作である。これは、MPLS における LSP の乗り換えに相当する。スライスの自動生成は、上記の操作の実行時にトラフィックの迂回先や切替先となる適切なスライスが存在しない場合に、新しいスライスを動的に生成して利用する操作である。

なお、複数の伝送経路(スライス)を用いる本方式では、1つのフローを構成するパケット間の順序入替えが頻繁に起こるため、トランスポート層のプロトコルには、このような場合に性能低下を招きやすい

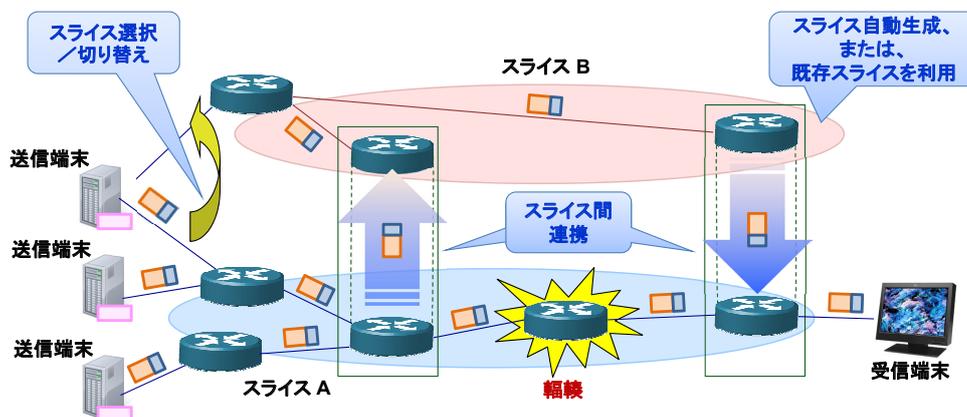


図2 複数の仮想ネットワークを利用したトラフィック制御

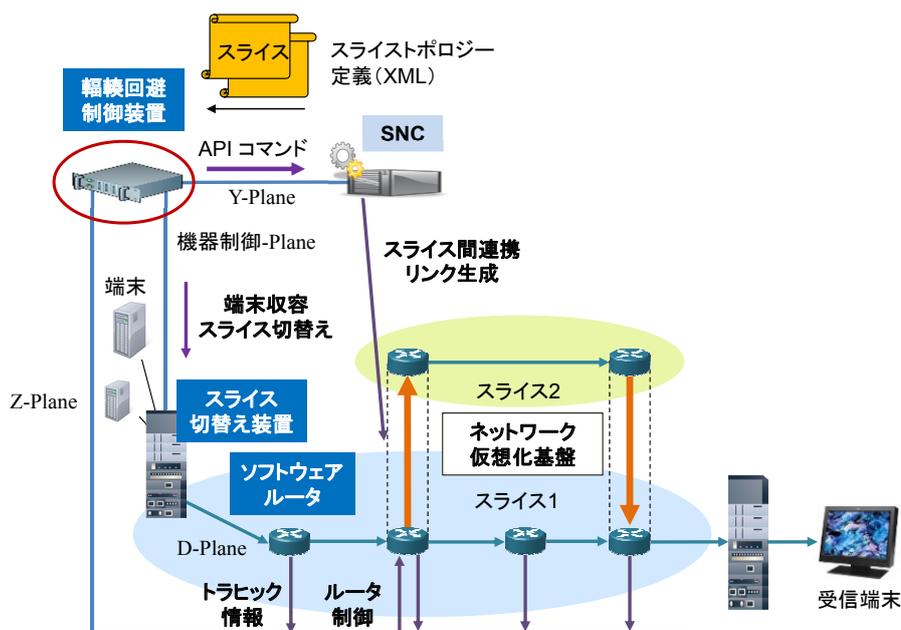


図3 システムアーキテクチャ

TCP ではなく、UDP ライクなプロトコルを用いることを前提とする。

2.3 JGN-X ネットワーク仮想化基盤上での実現

2.3.1 システムアーキテクチャ

本提案方式を JGN-X^⑤ のネットワーク仮想化基盤^④上に実装した。概要を図3に示す。今回の実装では、1台の制御装置がスライスのトラフィック状況を外部から一元的に俯瞰しつつ前述の基本操作を発動する集中制御型のモデルを採用した。図中の輻輳回避制御装置がその制御主体であり、本提案方式を実現する制御ソフトウェアをこの装置上に実装した。また、スライス間でのパケット転送機能等を実現するルータを、汎用ツール^⑥を活用して VNode の NS (Node Sliver) 内で動作するソフトウェアルータとして実装した。

SNC (Service Network Controller) は仮想化基盤自体の制御を司るモジュールで、輻輳回避制御装置に対して仮想化基盤制御のための API を公開する。輻輳回避制御装置はこの API を介してスライスのトポロジー定義ファイルや仮想化基盤の各種情報の取得、スライス間連携リンクの確立などの仮想化基盤制御を実行する。また、同制御装置は仮想化基盤の Z-Plane を介してパケット転送ルータからのトラフィック情報の受信や同ルータへのパケット転送に関する指示の送信を行う。さらに、機器制御-Plane を介して、コンテンツの送信端末の收容スライスの選択/切替指示をスライス切替装置^⑦に対して送信する。このスライス切替装置は、ユーザ拠点内の端末と仮想化基盤とを接続するゲートウェイ装置で、ユーザ拠点内の各端末を收容

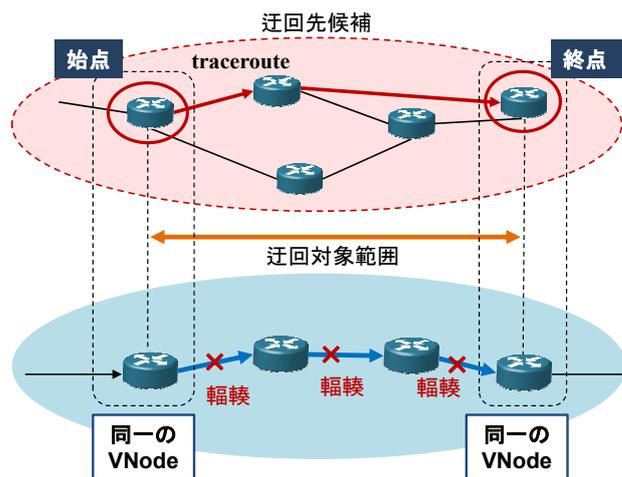


図4 トラフィック制御の概要

するスライスを動的に変更する機能を有する。**2.2**に述べたスライス選択/切替機能はこの装置により実現している。

なお、異なるスライス間でのパケット転送を可能とするスライス間連携リンクの確立機能は、仮想化基盤自体の新規機能として実現したものである。

2.3.2 トラフィック制御

トラフィック制御の概要を図4に示す。輻輳回避制御装置は、VNode の NS 上のソフトウェアルータからのトラフィック情報通知をもとに、データ伝送中のスライス内の伝送経路における帯域不足の有無を検査する。データ伝送経路上に帯域不足が生じている LS (Link Sliver) が存在する場合、そのような LS を全て包含する形の迂回対象範囲を決定し、迂回対象範囲の最上

流(始点)に位置するNS(Node Sliver)へ流入するトラフィックの全部、あるいは一部を他のスライスへ迂回する操作を試みる。最初の操作として、迂回対象範囲の始点のNSが属するVNodeと、終点のNSが属するVNode(実際には終点がスライス切替え装置となる場合もあるが、ここでは割愛する)の両方のVNodeを含む別のスライスの有無を調べる(今回の実装ではスライス間連携リンクは同じVNodeに属するNS間でのみ構築可能であるため、トラフィックを迂回できるスライスはこのようなものに限定される)。そのようなスライスが存在すると、次に、そのスライスをトラフィックの迂回先の候補として、そのスライスに迂回可能なトラフィック量を調べる。本提案方式では、迂回先スライスでのパケット転送はそのスライス内のルーティングに従わせるため、この迂回可能なトラフィック量は、迂回先候補スライスの始点から終点宛にパケットを送信した際に使われる転送経路のエンド-エンドでの可用帯域の値となる。この値を計測・管理するには様々な方法が考えられるが、今回の実装では、ソフトウェアルータのtraceroute機能の中にLSの可用帯域情報を含める機能を搭載し、始点から終点に向けてのtracerouteの結果から可用帯域の値を測定している。輻輳回避制御装置は、この可用帯域の値に基づいて当該スライスに迂回するトラフィック量を決定し、必要であればSNCを介してスライス間連携リンクを構築した後、ソフトウェアルータにパケット転送方法の変更指示(一部パケットの迂回先スライスへの転送と宛先の変更指示及び迂回先スライスから元のスライスへの転送と宛先の復元指示)を送信する。以降、必要な場合には迂回対象範囲を広げる操作も行いながら、元の伝送スライスの帯域不足が解消できるまで、トラフィックを迂回可能なスライスの検索と迂回処理を実行する。スライス間連携による迂回が可能でなくなった場合は、コンテンツの送信端末の収容スライスを他のスライスへ切り替える操作を実行し、それでも解消できない場合はSNCを介して新しいスライスを生成し当該コンテンツの伝送に用いる(ただし、このスライス生成機能は今回実装していない)。

2.3.3 動作確認

SNCが提供するAPIを介して1本のスライス間連携リンクを生成するのに要する時間を計測したところ、約5.8秒であった。したがって、スライス内で実際に伝送帯域が足りなくなってからスライス間連携リンクの構築による輻輳回避制御を発動しても帯域不足の状態が上記の時間以上続くことになり、パケットロスによるコンテンツ伝送の品質劣化を防ぐことは難しいと考えられる。このことから、現在の仮想化基盤を前提とする場合、実際に伝送帯域が足りなくなる前にそれ

を予見して早めにスライス間連携による迂回制御を発動し、帯域不足の発生を未然に防ぐ制御形態をとるのが望ましいと考えられる。

複数のスライスを介したコンテンツ配信については、[8]のJPEG2000コーデック装置と今回実装したソフトウェアルータを用いて、ビットレートが約170 Mbpsの圧縮4K映像を仮想化基盤上の複数のスライスを介して安定配信できることを確認している。

3 超分散保存コンテンツのための冗長符号化伝送技術

3.1 LDGM符号を用いた分散保存

本節では誤り訂正符号、特にLDGM(Low Density Generator Matrices)符号を用いた分散保存について概略を述べる。分散保存は、情報源であるソースファイル(例えば1分間の映像ファイル)に対して誤り訂正符号を適用して冗長化を行い、出力データを分割したデータ単位(チャンク)で分散的に保存する方法である。分散保存の利点として耐障害性(対ホスト、対拠点)、負荷分散性等が挙げられるが、本研究では特に分散配信との親和性、すなわち送信拠点(保存ホスト)が網内に分散しているため複数のネットワークパスを用いた伝送に向いている点に注目している。

分散保存のための誤り訂正符号には、RAIDで用いられる単純なパリティチェック方式やReed-Solomon(RS)符号などが用いられてきた⁹⁾。ただし、本研究では、映像配信をはじめとしたリアルタイム性が高く広帯域傾向にあるアプリケーションを目指している点から符号化処理、復号処理がコンテンツのデータサイズnに対して線形時間O(n)で可能なLDGM符号を用いる。また、LDGM符号は、符号化の高速性に加え、符号長と冗長率(符号化率)を柔軟に設定可能であるため¹⁰⁾、帯域が可変であるVBR映像アプリケーションにも容易に適応可能である。LDGM符号の符号/復号処理は、パケット(例えばUDPパケット)単位での演算になるため、処理高速化のためチャンクデータをこのパケットサイズと同等に設定して用いる。これにより、送信ホストではチャンクにIP/UDP等のヘッダデータを付加して送出するのみになり、非常に低負荷で送信することが可能になる。

LDGM符号を用いた分散保存において、受信者は各分散配置された送信ホストからチャンクデータを受け取り、LDGM復号によってオリジナルのソースファイルを復元する。つまり、分散保存されたチャンクデータ(パケット)全体が1つの符号ブロックとして扱われる。このため、単位符号ブロック内に含まれるチャンクパケット数、すなわち符号長nは非常に大きく

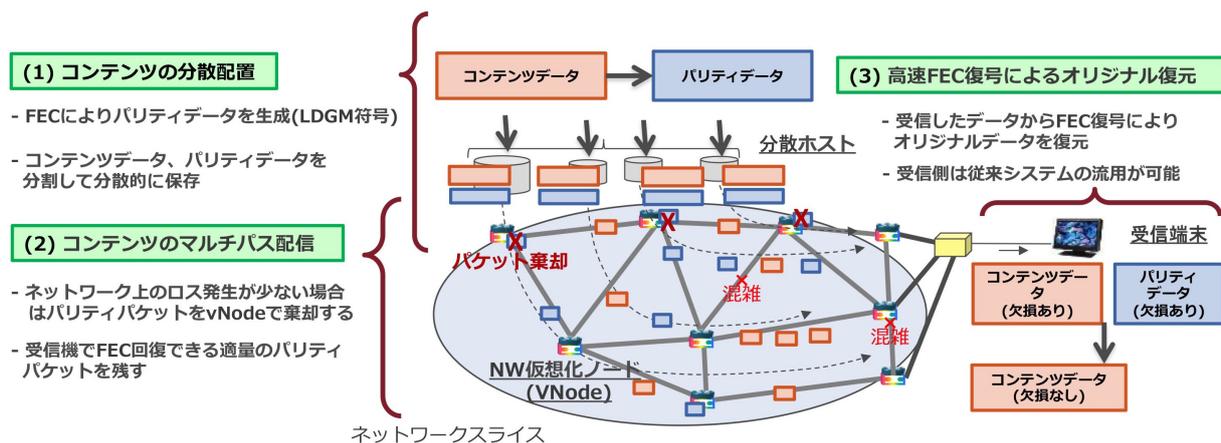


図5 LDGM符号を用いた分散保存配信概要

なり、この点でも LDGM 符号の高速性が必要になる^[11]。

本研究では、この LDGM 符号と VNode のプログラマビリティに着目し、網内のネットワークトラヒック量に応じてチャンクデータ冗長度を制御し、受信者が安定的に配信を受けられるシステムを目指してきた(図5)^{[12][13]}。

3.2 VNode による冗長率制御

ネットワーク上でのパケットロスを補償するために誤り訂正符号を用いる場合、通常は、送信ホストがパケットの送出を開始する前にネットワークの状況を考慮してあらかじめ冗長率を決定しておく必要がある。しかし、網内のトラヒック量は局所的かつ時間的に変動するため、最適な冗長率を前もって固定的に決定することは難しい。これに対して我々は、VNode のプログラマビリティを利用し、ネットワークの状況に応じて冗長率を制御する方式を提案してきた。本方式では、送信ホストは十分な冗長率でチャンクパケットを送出し、各 VNode 上で網内の輻輳状況に応じて通過するチャンクパケットを棄却することで符号ブロック内の冗長度を調整することを行う。網内のパケットロス率が計測システムにより通知された後、それを補償可能である冗長率を求め、チャンクパケットの棄却率を定める。LDGM 符号では、符号長 n 及び冗長率 r から復号に必要な受信パケット数が統計的に $(1 + \delta)nr$ で近似できるため、ここから棄却率を決定できる。

3.3 優先度付けによる配信サービス性能の向上

VNode 上での恣意的なパケット棄却は、誤り訂正符号の観点からすると自然発生するランダムパケットロスと同等である。LDGM 符号の復号処理に着目すると、パケットロスの位置があらかじめ想定できる場合、符号性能(同じ受信パケット数に対する復号成功確率)を向上させることが可能である。よって、

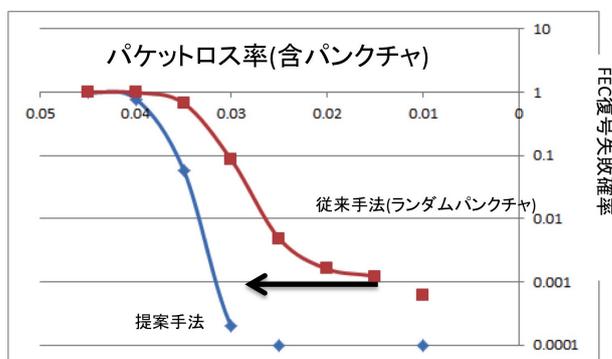
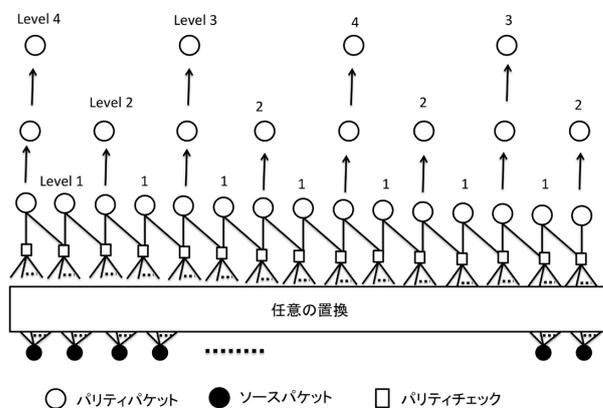


図6 LDGM符号の復号グラフ構造に着目したチャンクデータのクラス分け(優先度付け)とその効果

LDGM 符号によるチャンクパケット生成時にあらかじめ棄却の優先順位の付加情報を与えておき、VNode では選択的にパケットを棄却することで復号特性を改善することが可能になる。チャンクパケットの棄却優先順位は、LDGM 符号の符号グラフにおいて、特定の packets が欠損した場合に各符号ノード間の最小ループを減少させない packets の組み合わせでクラス分けを行うアプローチに同値である。本方式を分散保存配信システムに導入することで従来比 2.5 倍の packet loss が発生する場合でも受信成功(復号成功)する性能改善が得られ、結果としてサービス品質向上

が実現された(図6)。

3.4 システム性能

以上に述べた方式を用いて分散保存システムを構築し、パフォーマンス評価を行った結果、帯域 20 Gbps のマルチパスネットワーク上で分散保存ホスト 16 台を用いて計 16 Gbps (非圧縮 HD 10 本相当) のフローに対して受信成功確率 90 % 以上で配信可能であることを確認した。

4 複数スライス環境における通信品質評価技術

本節では、2 と 3 で述べたネットワーク仮想化基盤の VNode が持つプログラマビリティを活用したトラフィック制御技術と冗長符号化技術を大容量コンテンツ配信に適用した際の通信品質性能について述べる。具体的には、ネットワーク仮想化基盤を模擬した実験ネットワークにおける、輻輳回避のためのパケットを単位とする迂回技術の効果及びパケット棄却の優先度付けの効果について述べる。

4.1 many-to-one 型の配信手法における通信品質

many-to-one 型の配信手法は従来の TCP を用いたコンテンツ配信方式とは大きく異なっており、ファイル転送のスループットやネットワーク遅延、ジッタといった既存の通信品質の指標をそのまま流用することはできない。以下ではまず、many-to-one 型の配信手法における通信品質指標について、コンテンツ受信者とネットワーク運用者の立場に分けて説明する。

コンテンツ受信者の立場では、受信クライアントにおけるコンテンツの再現成功確率(ファイル復元確率)とクライアント端末の負荷を通信品質の指標とする。ファイル復元確率とは、希望したファイルを受信し誤

り訂正後再生可能な状態に復元できるかどうかを示した指標である。たとえば、100 回のファイル受信の試行において、誤り訂正処理を行った場合と誤り訂正が必要なかった場合を含め、毎回再生可能な状態にファイルを復元できた場合、ファイル復元確率は 100 % となる。100 回の試行で再生可能な状態になったのが 50 回、ファイルを復元できなかった場合が 50 回であれば、50 % となる。一般に高いファイル復元確率を達成するには高いパケット到着率が必要となる。クライアント端末の負荷とは、コンテンツの受信及び復元処理(誤り訂正処理)に要する計算負荷である。特に LDGM を誤り訂正符号に用いた復元処理においては、損失パケットが多くなるほど復元に要する計算量が增大する傾向にあり、クライアント端末の計算負荷が大きくなる。一方で、受信しなければならないデータ量が増えるほど、受信にかかる計算負荷は増大する傾向にある。本稿では特にファイル復元確率について述べる。

ネットワークを運用するキャリアやプロバイダにとっては、コンテンツ受信者の通信品質を維持しながら、通信の総量を削減することができればネットワークの効率的な運用が可能になる。また、突発的なトラフィックの増加に対し、新たな通信回線を用意するのではなく、バックアップ回線やプライマリ経路ではない別の経路、別の仮想ネットワークの容量に空きがあれば、これらの回線にトラフィックを迂回させることで回線利用効率を高めネットワーク全体の効率利用に繋がる。

4.2 パケット単位の迂回方式の効果の検証

2 で述べたネットワーク仮想化基盤を用いたパケット単位の迂回方式の効果の検証について述べる。性能評価には、慶應義塾大学において研究・開発している Order Insensitive Flow ルータ(OIF ルータ)を用いた。OIF ルータは VNode 上で動作することを前提に構築

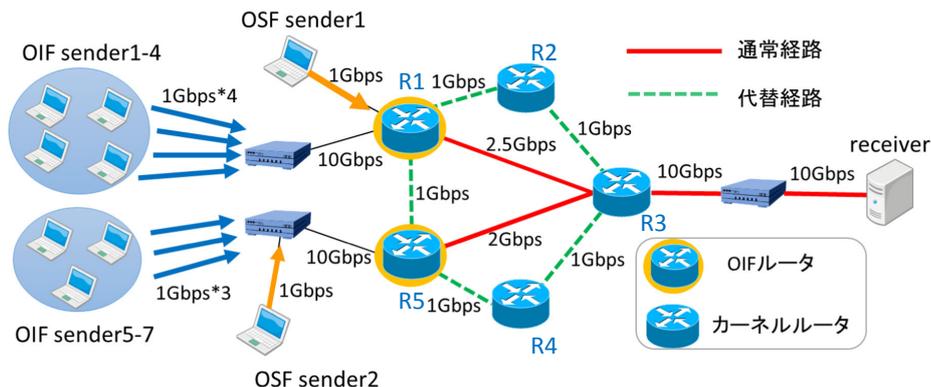


図7 パケットを単位とした迂回方式の性能評価環境

されたソフトウェアルータである。ここでは、パケット到着時の順序逆転がアプリケーションプログラムに影響を与えないフローを OIF と定義し、順序逆転がアプリケーションプログラムに影響を与えるフローを Order Sensitive Flow (OSF) と定義する。なお、本研究が対象とする UDP を用いた分散分割された大容量コンテンツの配信のトラヒックは、OIF に分類される。まず、OIF ルータの動作を簡単に説明する。OIF ルータは、OSF と OIF を宛先ポート番号により判断する。次に、パケットの宛先と出力インタフェースの輻輳状況を確認する。出力インタフェースが輻輳状態になれば、OIF、OSF とともに通常経路に流し、輻輳状態にあれば、OIF のパケットは迂回経路に、OSF パケットは通常経路に転送し、短期的な輻輳によるパケットロスを回避する。なお、迂回経路の情報は事前にルータ間でやりとりし、ルータが事前に把握しているものとする。

本研究では、OIF ルータを用いてクライアント端末へのパケット到着率を評価した。OIF ルータは、Ubuntu 12.10 で動作する PC 上のソフトウェアルータとして動作する。OIF ルータと通常の転送処理を行うルータ（カーネルルータ）を図 7 に示すように配置した。図中 R1-2 が仮想ネットワーク A 上に、R4-5 が仮想ネットワーク B 上に、R3 が受信端末のゲートウェイであり仮想ネットワーク A と B の両方に接続している環境を想定している。この環境では、R1 と R5 から R3 への通常経路はそれぞれ直接接続された 2 Gbps のリンクであり、R2 と R4 を介する経路が迂回経路となる。R1 と R5 の通常経路の出力インタフェースにおいて OIF と OSF により輻輳が発生するように送信サーバを配置した。R1 と R5 において、OIF の迂回を有効化した場合と従来方式のルータ（カーネルルータ）として動作させた場合の、OSF と OIF の実効スループットを図 8 に示す。図から OIF ルータを利用することで、OIF に OSF が抑圧されることなく、また OIF は代替迂回経路を利用することでスループットの向上が見られる。パケット単位の迂

回方式により、ネットワーク資源を有効に利用した大容量コンテンツ配信が行えることが明らかになった。

4.3 通信品質の安定性に関する評価

3 で述べた冗長符号化技術の効果の確認として、優先度付きパケット棄却時の通信品質安定性について述べる。冗長データを付与して UDP で送信する方式は、再送にかかる時間を削減するだけでなく、ネットワーク品質のばらつきがもたらすパケットロスの変動を冗長率の範囲内であれば吸収できるという特徴を有している。一方で、コンテンツに対し、あらかじめ誤り訂正符号を付与し分割して分散保存するため、ネットワーク状況に応じて冗長率を途中で増やす方向に変化させて符号を付与することも困難である。そのため、付与される誤り訂正符号の冗長率は、ネットワーク品質が最も低い場合を想定し、高く設定せざるを得ない。また、パケットロスから回復するために常に必要以上の冗長データを伝送する必要があるため、結果的に過度な冗長率設定が過剰なトラヒックをネットワークに流すことになる。

そこで、経路中の VNode が輻輳時に優先付けされた冗長パケットを選択的に棄却するだけでなく送信時点でネットワークの品質に合わせて選択的に棄却し、利用者の通信品質を維持しながら冗長パケットの送信量を最小化する冗長データ削減送信技術の評価をおこなった。冗長データ削減送信技術は、3.3 で述べた方式に基づいてあらかじめ冗長データをグループ化しておき、ネットワーク品質に応じて送信するグループ数を変化させることで送信量を制御する方式である。

本研究では、送信サーバもしくは経路上の VNode が冗長パケットを削減して選択的に送信する場合に、送信する冗長パケット量がファイルの回復確率にどのような影響を与えるかをネットワーク内のパケットロス率を変化させながら評価した。具体的には、ネットワーク内において 0.001 % から 5 % のパケットロスが発生することを想定し、冗長率 20 % で生成した冗長パケットのうち、1/32 から 1/4 まで送信する冗長パケット数を変化させながら、受信側におけるファイルの復元確率をそれぞれ計測した。利用したオリジナルのファイルサイズは 10.24 MB、送信に利用した分散サーバは 72 台である。図 9 に評価結果を示す。ネットワーク内のパケットロス率によって削減できる冗長データ量は異なるものの、冗長パケットの選択的な削減送信をしてもファイル回復成功確率 100 % を達成できることから、ユーザの通信品質を維持したままネットワークに送出するトラヒック総量の削減ができたことが確認できた。さらに、ネットワーク内のパケットロス率の変動が小さければファイル復元確率が大きく

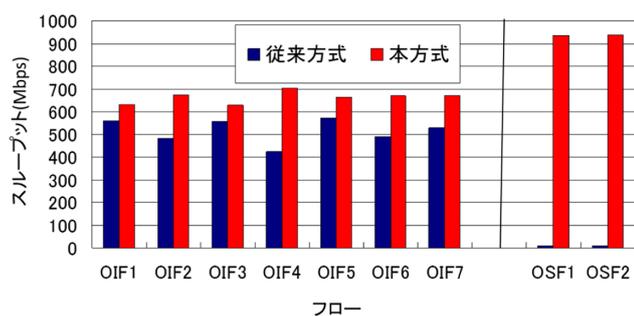


図 8 パケットを単位とした迂回方式の性能

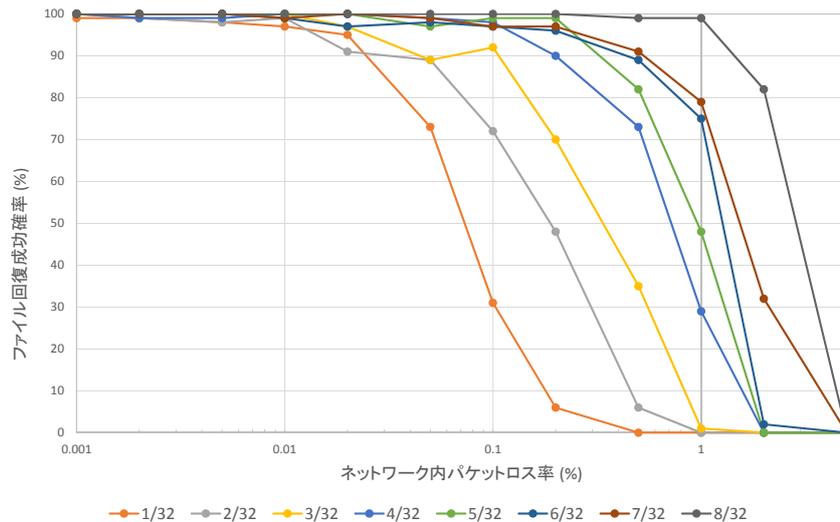


図9 20%の冗長率を付加した10MBファイルの冗長データ削減送信時のファイル回復成功率

変化しないことから安定性が高いことが明らかになった。そして、パケットロス率の上限が決まれば、削減量を決定することも明らかになった。現実的にはSLA (Service Level Agreement) において規定されたパケットロス率や実測されたパケットロス率を基準にすることで適切なトラフィック削減と安定した通信品質を両立できる。

なお、0.1%のネットワーク内パケットロス時に、受信クライアントにおける誤り訂正演算にかかった時間は、すべての冗長パケット(100%)を送る場合0.4ミリ秒であったが、冗長パケットの1/8(12.5%)だけを送信する場合には14.0ミリ秒に増加しており、受信クライアントの負荷が上昇していることも明らかになった。すなわち、送信時やネットワーク内輻輳時における冗長パケットの削減は、受信クライアントの処理負荷の増加とのトレードオフであり、時間制約の強い受信・再生時には留意が必要である。

5 むすび

大容量コンテンツ配信を効率よく行うプラットフォームの実現に向けてこれまでに検討した仮想ネットワークの組み合わせによる経路制御技術、冗長符号化伝送技術、通信品質評価技術の3つの技術について述べた。

仮想ネットワークの組み合わせによる経路制御技術は、従来の経路制御技術のようにモノリシックなネットワークの中でルーティングやパス制御を行うのではなく、既存のルーティングプレーンを有する仮想ネットワークをパケット単位で使い分けることにより、複雑な経路探索やシグナリングが不要な経路変更やトラフィック分散を柔軟に実現する。JGN-Xのネットワー

ク仮想化基盤上に制御機構を実装し、約170Mbpsの圧縮4K映像を安定配信できることを確認した。

冗長符号化伝送技術は、映像アプリケーションとの相性が良いLDGM符号と仮想ネットワークノード(VNode)のプログラマビリティを活用し、あらかじめ棄却の優先順位情報を与えたチャンクパケットをVNode上で選択的に棄却することで、受信側の復号特性を維持しながらトラフィック量の削減を行う技術である。性能評価の結果、ランダム廃棄の場合と比べて2.5倍のパケットロスが発生する場合でも復号性能が改善できること、コンテンツの分散保存ホスト16台を用いて16Gbps(非圧縮HD10本相当)のフローを安定配信できることを確認した。

通信品質評価技術では、通信ネットワーク内でのパケット単位の迂回制御の効果及び優先度付きパケット棄却時の通信品質の安定性についての検証を行った。前者については、パケット単位の迂回制御により、パケット到着の順序逆転を許さないOSFの伝送が、順序逆転を許すOIFに抑圧されることなく、かつ、OIFについては代替迂回経路を利用してスループットを向上させることができ、ネットワーク資源を有効に利用した配信が行えることが明らかとなった。後者については、コンテンツの配信経路中のVNode上でのパケット棄却だけでなくサーバからの送信時にも選択的な棄却を行うことで、受信側でのファイル回復成功率100%を達成しつつ送信トラフィックの削減が可能であることを示した。

今後は、まず、複数スライスによるトラフィック制御技術と冗長符号化伝送技術とを組み合わせた制御の実現について検討する。具体的には、1つのスライス内で冗長符号化を用いても受信映像品質が許容できない範囲にまで悪化する場合にスライス間でのトラフィック

の迂回や送信端末の収容スライスの切替えを発動する形になると考えられる。このとき、伝送に必要な空き帯域の制約は冗長符号のサポートにより軽くなることを考慮すると、冗長符号を使わない場合に比べてこれらのスライス制御が必要となる頻度を少なくでき、代替スライスに求められる空き帯域の基準も緩めることができるはずである。スライス制御の観点からは、このような制御の発動契機や代替スライスの選択基準を具体的に決定する方法を検討し、冗長符号化と併用した場合の効果を確認する。また、冗長符号化伝送の観点からは、パケットロス率などの特性が異なる複数のスライスを併用する技術、たとえば、送信端末の収容スライスが伝送特性の異なるスライスに動的変更された場合や、伝送途中でパケットを伝送特性の異なるスライスに迂回した場合に必要な制御についての検討が必要になると考えられる。

上記のような検討を通して個別技術を統合した後、映像配信プラットフォームアーキテクチャとしての提案と実用化検討を行っていく。実用化検討においては、対象とする映像配信アプリケーションの要求条件と、今回実験に使用したネットワーク仮想化基盤やその他のネットワーク仮想化技術の普及度合いに鑑みながら、前提とするネットワーク仮想化インフラの検討から始める必要があると考えている。

【参考文献】

- 金子晋丈, 他, "Content Espresso: 大容量ファイルのセキュアな広域共有の実現に向けて," 信学技報 Vol. 111, No.469, IN2011-192, pp.329-334, March 2011.
- OPEN NETWORKING FOUNDATION, "OpenFlow Switch Specification Version 1.4.0 (Wire Protocol 0x05)," Oct. 14, 2013.
- E. Rosen, et al., "Multiprotocol Label Switching Architecture," RFC3031, Jan. 2001.
- 中尾彰宏, "新世代ネットワーク構想におけるネットワーク仮想化," 電子情報通信学会誌, Vol.94, No.5, pp.385-390, 2011.
- 新世代通信網テストベッド JGN-X, <http://www.jgn.nict.go.jp>
- The Click Modular Router Project. <http://www.read.cs.ucla.edu/click/>
- 小倉毅, 他, "柔軟な遠隔コラボレーション環境を実現する仮想ネットワーク切替え技術," 信学技報 NS2013-249, pp.419-426, March 2014.
- 白井, 北村, 藤井, "JPEG 2000 を用いた 4K 超高精細映像ストリーミングシステム," 信学技報, Vol.107, No.244, CS2007-29, pp.43-48, Sept. 2007.
- James S. Plank and Lihao Xu, "Optimizing Cauchy Reed-Solomon codes for fault-tolerant network storage applications," Network Computing and Applications, 2006. NCA 2006. Fifth IEEE International Symposium on Network Computing and Applications, IEEE, 2006.
- Hui Jin, Aamod Khandekar, and Robert McEliece, "Irregular repeat-accumulate codes," Proc. 2nd Int. Symp. Turbo codes and related topics. 2000.
- 北村, 小倉, 君山, 藤井, "LDPC 復号計算時間のモデル化手法の提案," 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, Vol.2013, No.2, pp.151, 2013.
- Ando Daisuke, et al., "Content espresso: A system for large file sharing using globally dispersed storage," Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2013 IEEE 5th International Conference on Cloud Computing and Technology Science, Vol.2, IEEE, 2013.
- 北村, 小倉, 君山, 藤井, "誤り訂正符号を用いた映像メディアの分散保存配信システムの一検討," 電子情報通信学会技術研究報告: CS, 通信方式, Vol.113, pp.69-74.



小倉 毅 (おぐら つよし)

NTT 未来ねっと研究所メディアイノベーション
研究部メディア処理システム研究グループ
主任研究員
通信プロトコル、高速ストレージサーバ、ネットワーク



金子晋丈 (かねこ くにたけ)

慶應義塾大学理工学部専任講師
博士(情報理工学)
アプリケーション指向ネットワーク、ネットワークアーキテクチャ



北村匡彦 (きたむら まさひこ)

NTT 未来ねっと研究所メディアイノベーション
研究部メディア処理システム研究グループ
研究員
並列分散処理、高速リアルタイム処理、高速リアルタイム通信



君山博之 (きみやま ひろゆき)

NTT 未来ねっと研究所メディアイノベーション
研究部メディア処理システム研究グループ
主任研究員
博士(工学)
並列分散処理、高速リアルタイム処理、高速リアルタイム通信



藤井竜也 (ふじい たつや)

NTT 未来ねっと研究所メディアイノベーション
研究部メディア処理システム研究グループ
主幹研究員・グループリーダー
工学博士
映像通信処理、映像符号化、デジタル画像処理、メディアトランスポートシステム



高原 厚 (たかはら あつし)

NTT 未来ねっと研究所所長
工学博士
ネットワーク仮想化、システム設計、レジリエントシステム