

複数の仮想ネットワークの連携による輻輳回避手法の提案

小倉 毅[†] 金子 晋丈[‡] 君山 博之[†]
藤井 竜也[†] 高原 厚[†]

[†] NTT 未来ねっと研究所 〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1

[‡] 慶應義塾大学 理工学部 〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

E-mail: [†] {ogura, kimiyama, fujii, takahara}@denshi.ac.jp, [‡] kaneko@dmc.keio.ac.jp

あらまし 本稿では、複数の仮想ネットワーク（スライス）を組み合わせることでネットワークの輻輳回避制御を行う新たな手法を提案する。本手法は、多数の蓄積装置に分割格納された1つのコンテンツデータを1箇所の受信端末に集めてくる形の面伝送型のデータ伝送において、従来のフローベースの経路制御による輻輳回避よりも簡易に輻輳制御が行える点を特徴とする。

キーワード 輻輳回避, 面伝送, 仮想ネットワーク, スライス間連携

A method for congestion avoidance using multiple virtual networks

Tsuyoshi Ogura[†] Kunitake Kaneko[‡] Hiroyuki Kimiyama[†]
Tatsuya Fujii[†] and Atsushi Takahara[†]

[†] NTT Network Innovation Laboratories 1-1 Hikarinooka, Yokosuka-shi, Kanagawa, 239-0847, Japan

[‡] Faculty of Science and Technology, Keio University 3-14-1 Hiyoshi, Kouhoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 223-8522, Japan

E-mail: [†] {ogura.tsuyoshi, kimiyama.hiroyuki, fujii.tatsuya, takahara.atsushi}@lab.ntt.co.jp,

[‡] kaneko@dmc.keio.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a method to facilitate congestion avoidance in the many-to-one-type data transmission using a network virtualization technology. In this method, we use multiple virtual networks (slices) for a delivery of contents and deal with the traffic control as a problem of combination of multiple virtual networks.

Keyword Congestion avoidance, many-to-one transmission, network virtualization, inter-slice routing

1. はじめに

コンピュータネットワークを使って大容量のデータをスムーズにやりとりしたいというニーズは、特に映像制作・配信の分野において近年ますます顕著化している。例えば、コンシューマ向けのインターネット配信ではハイビジョン品質の動画が扱われることも普通になりつつある。また、放送業界や映画制作などのプロ用途では、4Kや8Kなどの超高精細映像を扱うための研究開発が盛んになっており、さらに制作環境のデジタル化や作業拠点の分散化の進行が相まって、上記のようなニーズがますます大きくなってきている。

一方で、このようなニーズは、新たなデータの蓄積・配信方法を模索する動きにもつながっている。代表的な例は、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、必要な時にネットワークを介して一箇所に集めてきて閲覧する、分

散型のデータ蓄積・配信手法である。このような手法は、1つ1つの蓄積装置を低コストで実現でき耐故障性にも優れ、さらに、貴重なデータの盗難や改ざん防止といったセキュリティ面でも安全性が高く、大容量データを扱うための有用な手法として多くの研究開発が行われている。

しかし、分散型のデータ蓄積・配信手法では、本来なら一箇所に格納されているデータが複数の分散格納されているため、その配信時においては通常の1対1のデータ伝送とは異なり、複数のデータ格納箇所をソースとする多数の複雑なデータフローが形成されてしまう。蓄積装置の分散の度合いを上げれば上げるほどこの傾向は顕著になる。また、個々の蓄積装置から送出されるデータ量はわずかだが、データの受信端に近づくにつれて多数のフローが受信端近くのネットワークリソースに集中してくるため、この部分での帯域確

保が難しくなる。特に大容量のデータを扱う場合にこの問題は顕著になる。そして、このような問題に対し、従来の IP ネットワーク上で用いられる、個々のフローを意識した経路制御手法や再送制御を適用して輻輳回避の制御を行うことは、処理が複雑であり困難である。

本研究では、このような問題に対し、複数の仮想ネットワークの組み合わせによる輻輳回避手法を提案する。ネットワークのある部分で輻輳が発生した、あるいは発生しそうな場合に、トラフィックの一部を必ずしもフローを意識しない形で、構造が異なる他の仮想ネットワークへと迂回させることで、よりシンプルな輻輳回避制御を実現する。

2. 分散型のデータ蓄積・配信手法とその課題

通常のデータ配信では図1に示すように、データの格納元の蓄積装置からデータの受信端末までのエンドエンドで1つのデータ伝送経路を用いる伝送が行われる。このような方法をここでは“線伝送”と呼ぶ。

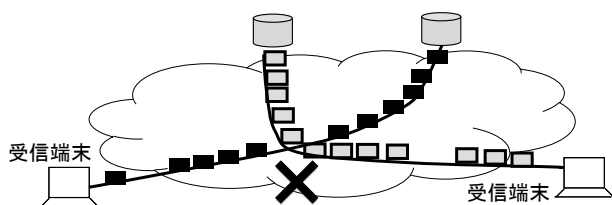


図1 一般的な1対1のデータ配信手法（線伝送）

このような線伝送において、特にデータ通信品質を保持しながらの伝送が必要となるストリーミングを行う場合、伝送するデータの種類に応じたネットワークの帯域をエンドエンドで確保する必要があるが、扱うデータが大容量になるほどこれは困難である。例えば図1に示したように途中で経路を共有する2つのストリームが存在する場合、この2つのストリームがそれぞれに必要な帯域を事前に確保できていなければ、ネットワークリソースの競合箇所においてパケットロスや遅延の増加などの通信品質の劣化が生じる。

これに対し、図2に示すように、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、必要な時にネットワークを介して一箇所に集めてきて閲覧する分散型のデータ蓄積・配信手法が提案されている[1]。このような方法をここでは“面伝送”と呼ぶ。

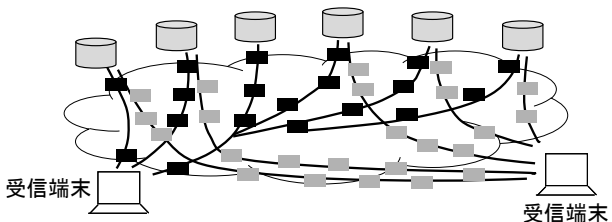


図2 分散型のデータ蓄積・配信手法（面伝送）

このような面伝送では、大容量データのストリーミングを行うような場合でも、1つ1つの蓄積装置から送出されるデータ量は少ないので、伝送するデータの種類に応じたネットワークの帯域確保は受信端末近くの部分のみで行えばよい。すなわち、線伝送の場合のように伝送するデータの種類に応じた帯域確保をエンドエンドで行う必要がないため、ネットワークリソースをより有効に、柔軟に扱うことが可能となる。さらに、1つ1つの蓄積装置を低コストで実現できる点、蓄積装置に冗長性を持たせることにより耐故障性を向上できる点、貴重なデータの盗難や改ざんがしにくいといった点などから、このような手法は、大容量データを効率よく安全に保存・伝送するための有用な手法として今後一般的になってくると思われる。

しかし、このような面伝送を行った場合でもネットワーク上での輻輳は起こりえる。特に、現行の IP ネットワーク上の一般的なルーティング方式では、たとえ送信元が異なっても宛先となる IP アドレスが同一（この場合は受信端末）であればトラフィックはやがて同一の経路に集中してしまうため、受信端末の近くになるほど当該データの伝送に必要なネットワークの帯域が足りなくなるという事象が起こりやすくなる。もちろん、受信側からネットワーク的に遠く離れた場所でも輻輳は起こりえる。このような輻輳が生じた場合、現状では、MPLS や OpenFlow などの技術を用いて経路変更（リルート）を実施する方法が考えられる。しかし、広い範囲に分散した数多くの蓄積装置から送信されてくる多数のフローの1つ1つに着目してこのような処理を行うのは複雑になると考えられる（図3）。

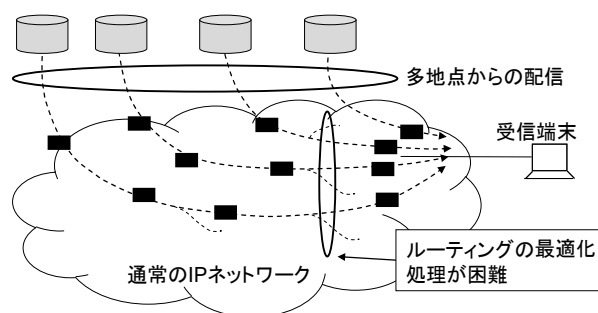


図3 従来のフローベースのトラフィック制御方式

3. 仮想ネットワークを用いる輻輳回避手法

3.1. 考え方

2. で述べた問題に対し、本研究では、従来のようなデータ送信の宛先やフローベースの経路制御（ルーティング）の最適化や配信データのレプリカ（キャッシュ）の配置方法の最適化ではなく、仮想ネットワークを複数使い、それらをうまく組み合わせることでネッ

トワークの輻輳を回避し通信品質を確保する手法を提案する。本提案では、ある仮想ネットワークで輻輳が発生した場合にトラヒックをまとめて輻輳の無い他の仮想ネットワークに乗り換えたり、仮想ネットワークを新たに生成して乗り換えたり、あるいは、最終受信地点へのパケットの収斂による輻輳を防止するためにあらかじめ複数の仮想ネットワークを用いてデータ転送を行う、などといった制御を行う。トラヒックを仮想ネットワークという括りでまとめて扱えば、ネットワークの輻輳回避問題を仮想ネットワークの重ね合わせ問題として扱うことができ、特に前述の面伝送のような伝送方式に基づくトラヒックの扱いが容易になると考えている。

なお、ここでいう仮想ネットワークとは、1つの物理的なネットワークリソースの上に構築される複数の仮想的なネットワークのことであり、従来のオーバーレイネットワークに近いものである。ただし、本提案では、仮想ネットワーク上の仮想的なデータ転送ノードの上でトラヒックに対する様々な処理が行えることを前提としており、この点が単なるオーバーレイネットワークとは異なる。以降では簡単のために、表1に示す用語を用いることとする。表中の用語は我々が実験プラットフォームとして使用している、JGN-X[2]の“ネットワーク仮想化基盤”上で使用されているものとはほぼ同一である。ただし、本提案は仮想ネットワークの実現プラットフォームとして特定の物を前提とするものではない。

表1 仮想ネットワークに関する用語の定義

| 用語 | 意味 |
|------------------|---------------------------------------|
| スライス | 1つ1つの仮想ネットワーク |
| 仮想化ノード | 仮想ネットワークを構築する機能を有する物理的なデータ転送ノード |
| アクセスゲートウェイ (AGW) | ユーザ端末を仮想ネットワークへ収容する機能を有する物理的なゲートウェイ装置 |
| ノードスリバー | スライス内に存在する仮想的なデータ転送ノード |
| リンクスリバー | ノードスリバー同士を接続しスライスのトポロジを決定する仮想リンク |

図4に、スライスを用いたトラヒック制御の最も簡単

な場合の概念図を示す。

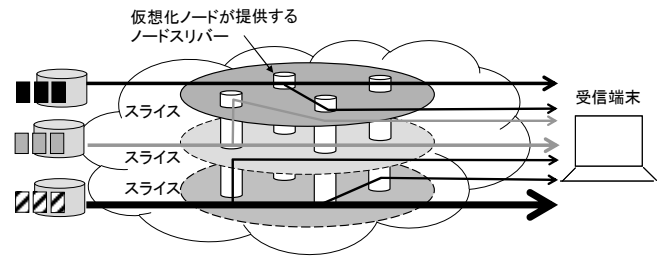


図4 複数のスライスによるトラヒック分散

同図は、先に述べた、最終受信地点へのパケットの収斂による輻輳を防止するためにあらかじめ複数の仮想ネットワークを用いてデータ転送を行う例である。仮想ネットワークの技術を使えばこのように構造（トポロジー）が異なるネットワークを予め用意しておき、これらを用いてトラヒックが集中しないように分散して伝送することが可能である。なお、図では、受信端末はそれぞれのスライスから、異なるノードスリバーを経由してトラヒックを受信する例を示しており、このような制御を行うことにより受信端末近くでのパケットの収斂を防止している。それぞれのスライス間でパケットのルーティングプロトコルとして同じものを使用しても異なるものを使用しても構わない。ネットワークの構造が異なるために、ルーティングプロトコルには依存せずにこのようにトラヒックを分散させることが容易に行える。

また、輻輳が発生した場合にそれを回避するために実際に行うスライス制御のオペレーションとしては、スライス間連携（インタースライスルーティング）、スライス選択/切替え、スライス自動生成（削除）、の3つを基本オペレーションとして想定している。これらの概念を図5に示す。スライス間連携は、スライス内で輻輳が発生した場合に、その輻輳部分を回避するために当該スライスでのデータ転送途中で別のスライスへトラヒックを迂回する制御である。スライス選択/切替えは、データ転送開始時に既存のスライスから適切なものを選択したり、データ転送の途中であるスライスに輻輳が発生した場合に、データ送信元の端末でデータ送信先となるスライスを変更する制御である。また、スライスの自動生成は、上記2つのオペレーションでトラヒックの迂回先として使用可能な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トラヒックの迂回に利用する制御である。スライス内で輻輳が発生した場合にこれらのオペレーションの中から必要なものを選択して実行するが、その選択基準については後述する。

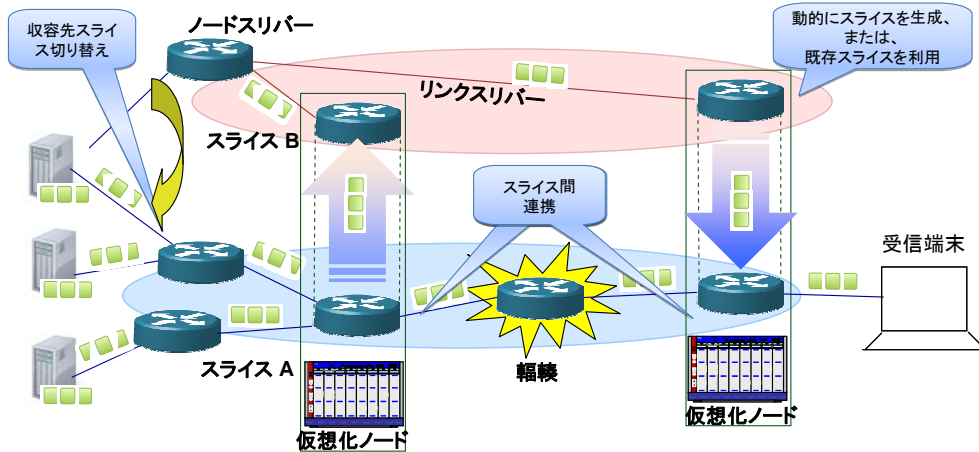


図5 スライス制御における3つの基本オペレーション

3.2. 冗長符号化技術・品質測定技術との連携

本制御方式、特にスライス間連携では、スライス内のトラヒックの個々のフローの識別は行わず、各ノードスリバーが自身を経由する全てのトラヒック、あるいは、ある割合の packets を対象に、輻輳回避に適した他のスライスへの乗り換えを実行する。このような制御により、個々のフローの細かい識別を行わずとも、構造が異なる複数のスライスの存在を利用してシンプルな輻輳回避が行えるという利点が生まれる。しかし、以下のような新たに考慮すべき点もある。

例えば、上記のスライス制御によってあるフローが流れるスライスが突然変化した場合、新しいスライスのトポロジーが古いスライスのそれと大きく異なるものであったとすると、スライス内でのデータ伝送遅延が大きく変化し、その結果エンドーエンドでの遅延も大きく変化することがあり得る。前のスライスよりも伝送遅延が大きなスライスに乗り換えた場合、アプリ

ケーションによっては、一時的に到着が遅くなった packets を損失 packets として処理せざるを得ないこともあり得る。また、あるノードスリバーが自身を経由する全てのトラヒックのうちの一部の packets (フローの識別は行わないことに注意) を新しいスライスへ乗り換える制御をおこなった場合、ある1つのフローについてみると、2つの異なるスライスを経由して受信端末へ到着する packets 群が存在することになり、その結果、データの到着順序が送信順序とは異なるものになってしまう可能性がある。さらに、スライス制御の目的が輻輳回避による通信品質の向上であるとは言え、プラットフォームの実装形態によってはスライス制御のオペレーションが瞬間的な packets 損失を誘発する可能性もある。

これらの問題に対処するため、本提案では、伝送データに対する冗長符号化の技術、および、ネットワーク(スライス)の通信品質測定技術を前述のスライス制御技術と組み合わせて用いる。

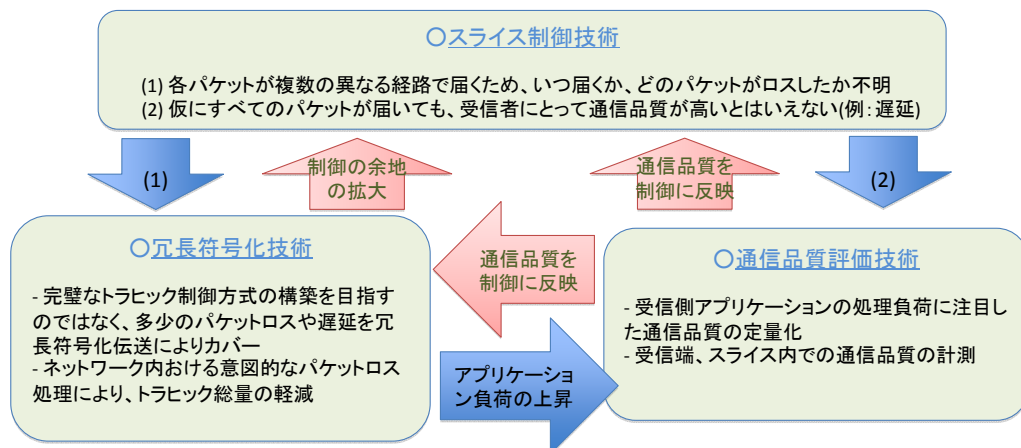


図6 スライス制御/冗長符号化/品質測定技術の関係

冗長符号化技術とは、送信するデータにあらかじめデータを冗長化する符号化処理を施しておき、受信端末側である程度のパケット損失が見られた場合でも復号処理時に元のデータを回復できるようにする技術である。本研究では、各種の符号化特性に優れた LDPC 符号[3]の一種である LDGM 符号を使い、これを FEC (Forward Error Correction)として用いる。これまでに、元のデータに対して符号を付加する割合(冗長度)を変化させた場合の復号処理にかかる時間から、トータルとして得られるデータ転送スループットを評価するなどの検討を行っている。この冗長符号化処理により、スライス制御に伴うパケット損失の影響を緩和し、スライス制御の自由度を高めることを目指す。また、蓄積装置にデータを格納する際にあらかじめ付与する符号の冗長度を最大限に高めることで、データ伝送の途中でネットワークが混雑してきた場合にノードスリバー上で故意にパケットを廃棄し、ネットワークの帯域消費量を軽減する制御を行うことも検討している。

また、このような冗長符号化によるパケット廃棄処理や前述のスライス制御オペレーションの発動契機となる情報を提供する手段として、ネットワークの通信品質を常時モニターし評価指標を与える機能を有する通信品質測定技術に関する検討も行っている。ただし、処理の複雑化を避けるために、フロー毎の通信品質測定は行わず、スライス内の通信品質測定のみを実施する。

これらの技術をスライス制御オペレーションと組み合わせることで、図 6 に示すような相乗効果が生まれ、全体としてより柔軟性の高い制御を実現することを目指している。ただし、これらの技術間の連携については検討段階である。

4. 輻輳回避のためのスライス制御方法の概要

4.1. 議論の前提

これまでに、輻輳回避のためのスライス制御の部分について、そのアウトラインの策定を行った。なお、現時点では以下の前提を置いている。

(前提 1) データ転送に必要なリソースの分離がスライス毎に完全に行われている。すなわち、スライス制御においては、仮想ネットワークのリソースを物理的なネットワークリソースに結びつけて考える必要はなく、それぞれのスライスに割り当てられた仮想的なリソースの消費状況のみを考慮すればよいものとする。

(前提 2) 考慮すべきスライスのリソースとしては、帯域のみを対象とする。遅延・ジッタ・パケット損失率などの他の属性値についても今後の検討対象とする

が、今回の検討では扱う属性値を帯域の 1 つに絞っている。したがって、以下で言う「輻輳」とは当該スライスにおける帯域不足の状態を差している。

(前提 3) 前述の冗長符号化技術との連携方法については今後の検討項目であり、ここでは対象としない。

(前提 4) 適切なトポロジーを有するスライスを探索するための具体的な方法はここでは議論しない。

4.2. 基本方針

策定したスライス制御のアルゴリズムについて述べる前に、その設計に際しての基本方針をここで述べる。以下の点に着目して方針決定を行った。

- A. データ伝送開始時の初期スライス選択
- B. スライス制御の基本オペレーションの使い分け
- C. スライス間連携ポイントにおけるスライス間データ転送方式
- D. スライス間連携時の伝送経路のループ発生回避

以下、それぞれについて説明する。

A. データ伝送開始時の初期スライス選択

前述の面伝送方式でデータ伝送を行う場合、受信端末の近くの部分でパケットの収斂が発生しにくい様に制御する必要がある。しかし、1 つのスライスの内部では 1 種類のルーティングプロトコルが動作しているのが普通であるため、ある 1 つのコンテンツの面伝送時に単一のスライスだけを使用してこのような制御を行うことは難しい。

したがって、データ伝送を開始する時点で初めから複数のスライスを、それらのスライスの最終段のノードスリバーが異なるものになるように確保し、それらの複数のスライスを介した伝送を行う必要がある。

B. スライス制御の基本オペレーションの使い分け

輻輳回避のためのスライス制御の実際のオペレーションとして現時点で想定しているものは、インタースライ斯拉ーティング、スライス選択/切替え、スライス自動生成、の 3 つである。

ある 1 つのスライス内で輻輳が発生した場合、あるいは、輻輳の発生が予想される場合にこれらのオペレーションの中から必要なものを選択して実行しなければならないが、その選択基準は以下になると考えた。

あるスライス内で輻輳が局所的に発生している場合、まずは、その輻輳領域に向かってデータを転送しているいずれかのノードスリバー上でスライス間連携を行

って、トラヒックの一部を他のスライスへ逃がすことで輻輳回避を試みるべきである。理由は、スライス切替えによってトラヒックの送信端末の収容スライスを元から変更する操作では、移行元スライスや移行先の新しいスライスの広い範囲に渡ってトラヒックを変動させるため、その影響を把握しながら使用する必要がある、それは容易ではないと考えられるからである。

次に、あるスライス内で広範囲に渡って輻輳が発生しており、少数のノードスリバーでのインタースライス間連携では効果が薄いと見込まれる場合には、スライス切替操作を選択するのが有効と考える。

スライス自動生成は、ベースとなる物理的なネットワーク基盤が当該機能を有している必要があり、また、スライス生成処理時にシステムにかかる負荷も大きくなることが予想されるため、スライス間連携やスライス切替えでのトラヒックの移行先として適切なスライスが存在しない場合にやむを得ず選択すべき処理であると考えられる。新たに生成したスライスは上記の2つのいずれかの操作で使用を開始することが前提となるため、生成するスライスの構造（トポロジ等）に自由度がある場合は、継続する操作が簡単になる方法での生成を試みるのが重要である。

C. スライス間連携ポイントにおけるスライス間データ転送方式

スライス間連携を実行するノードスリバーのことをスライス間連携ポイントと呼ぶ。このスライス間連携ポイントにおいて、あるスライスから別のスライスへのトラヒックの転送の仕方として、ある基準で選別したフローに属するパケットを別のスライスへ転送する方法と、フローは選別せず全てのフローのパケットの一定の割合を別のスライスへ転送する方法とが考えられる。前者は転送先スライスでのデータ転送経路を考慮したきめ細かい制御ができる可能性があるが、処理が複雑になることも考えられる。本研究が追及する制御の簡便性を考慮し、当面は後者のアプローチを取る。

D. スライス間連携時の伝送経路のループ発生回避

本研究ではスライス内のデータ転送経路の制御には基本的に既存のルーティングプロトコルを用いることを前提とする。そのため、通常1つのスライスの中でデータ転送経路のループが発生することはない。しかし、スライス間連携によるスライス跨ぎのデータ転送を行う場合はこの限りではない。たとえば、迂回先のスライスにおいてもスライス間連携が行われ、元のスライスにトラヒックが戻った場合、元のスライスにおいて迂回をおこなったスライス間連携ポイントより

も上流のノードスリバーへ再び迂回されてしまった場合に、スライスを跨るループ経路が発生する。このような事象の発生を防ぐ方法が必要である。今回の策定では、後述するように、迂回元のスライスのノードスリバーから、仮に元のスライス内でデータ伝送した場合に最初の到達先となる境界ノードスリバー（後述）に対して、迂回先のスライスからトラヒックを元に戻す方法を取ることでこのループ経路の発生を回避する。さらにこの方法は、トラヒックの迂回先スライスを、所望の受信端末に到達可能なものに限定する必要がなくなるという利点を有する。

4.3. スライス制御アルゴリズム

以上を踏まえ、策定したスライス制御アルゴリズムのアウトラインを以下に述べる。まず、複数拠点の複数蓄積装置に分散分割保存された1つのコンテンツデータを面伝送方式で1つの受信端末へ送信する場合の処理の流れを①に示す。また、概要を図7に示す。

① コンテンツの伝送開始から伝送終了までの流れ

1. 当該コンテンツを格納する各拠点の蓄積装置毎に、当該 AGW から送出するパケットの送信先スライスを決定する。
2. スライスの決定においては、受信端末近辺でデータ伝送に用いられるノードスリバーの重複をできるだけ避けるように、かつ、輻輳が発生していないスライスを選択する。
3. 送受信端末を必要なスライスに収容し伝送を開始。
4. 使用された各スライス毎に、必要に応じて輻輳回避処理を実施。
(3つのスライス制御の基本オペレーションを使用)
5. コンテンツ伝送終了。

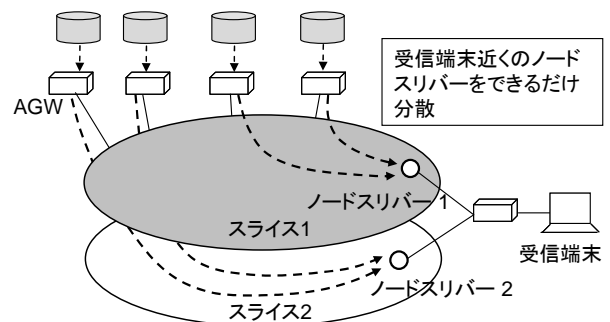


図7 コンテンツ伝送開始処理

次に、①の 4. に記載した輻輳回避処理を以下に示す。また、スライス間連携を用いる場合の概要を図 8 に示す。

②各スライスにおける輻輳回避処理

1. スライス内で輻輳が発生している領域を“輻輳エリア”として特定（輻輳エリアの特定方法は検討中）
2. 上記輻輳エリアが狭い場合はインタースライスにより輻輳回避
 - I. 輻輳エリアを包含する境界ノードスリバーの集合を決定。
 - II. 任意の 1 つの境界ノードスリバー A を選択し、そのノードスリバーから輻輳エリアへ流入するトラフィックを迂回可能なスライスを探索。迂回先となるスライスが満たすべき条件は以下。
 - ・ 迂回元のスライスの当該境界ノードスリバー A から、元のスライスでデータ伝送した場合に最初の到達先となる境界ノードスリバー B を含んでいること（実験プラットフォームの都合上、スライス間連携は同一ノードスリバー内で行うことを前提としている）。
 - ・ ノードスリバー A からノードスリバー B へ至る経路において輻輳が発生していないこと。
 - III. 迂回先スライスが決まれば、迂回可能な量のトラフィックを迂回。このとき、個々のフローは意識しない。
 - IV. 輻輳エリアの輻輳がおさまれば処理終了。おさまらない場合、迂回元の任意の別の境界ノードスリバー A2 を選択し、同様に処理。輻輳エリアの輻輳が回避されるまで II ~ IV を繰り返す。
3. 輻輳エリアが広く境界ノードスリバーの数が多くなる場合はスライス切り替えにより輻輳回避
 - I. コンテンツの伝送開始時と同じ基準で輻輳が無いスライスの選択を、AGW 毎に実施。新しいスライスへ送信先を切り替え。適切な切り替え先スライスが無い場合は、新規にスライスを生成。
 - II. 輻輳エリアの輻輳が解消されれば処理終了。解消されなければ、I ~ II. の処理を輻輳エリアの輻輳が回避されるまで繰り返す。

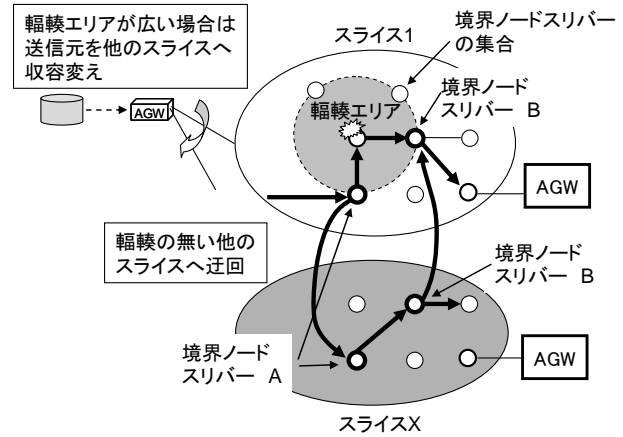


図 8 各スライスにおける輻輳回避処理
(スライス間連携を用いる場合)

5. スライス間連携による輻輳回避の検証実験

提案したスライス制御のうちの主要なオペレーションであるスライス間連携による輻輳回避のコンセプト検証を目的に、実際の仮想ネットワークプラットフォームを用いて実験を行った。

実験では、JGN-X が提供するテストベッドである「ネットワーク仮想化基盤」をプラットフォームとして使用した。同基盤は vNODE[4]と呼ばれる仮想化ノードによって仮想ネットワークを構築・提供する機能を有している。この JGN-X ネットワーク仮想化基盤の 4 台の vNODE（栄、堂島、白山、大手町）を用いて図 9 に示す系を構築し、スライス間連携による輻輳回避実験を行った。なお、同基盤の vNODE は、現時点では異なるスライス間でのデータ通信機能をサポートしていないが、特殊な設定を施すことにより通常のスライス内のリンクスリバーを用いた通信と同じ形でデータ転送が行えるようにした。

図 9 に示すように、2 つのスライスを用意し、1 ストリームの 4K 映像コンテンツ（180Mbps、LDGM 符号冗長度 30%）をスライス 1 を使用して伝送しながら、途中の堂島 vNODE 上に実装したアプリケーションソフトウェアでパケット廃棄を行って、廃棄率の上昇にともなう受信映像品質を目視で確認した。そして、パケット廃棄を行ったままの状態でも栄 vNODE 上に実装したアプリケーションソフトウェアで NTT 横須賀通信研究所からの受信トラフィックの一部をパケットロスが無い高品質のスライス 2 へ振り分け、スライス 2 へのパケット振り分け率を上昇させていった場合に受信映像品質がどのように変化するかを目視で確認した。これにより、スライス間連携による輻輳回避が正しく動作するか否かを確認した。

スライス 1 と 2 の間のスライス間連携の接続設定は図に示すように栄 vNODE と白山 vNODE で行った。

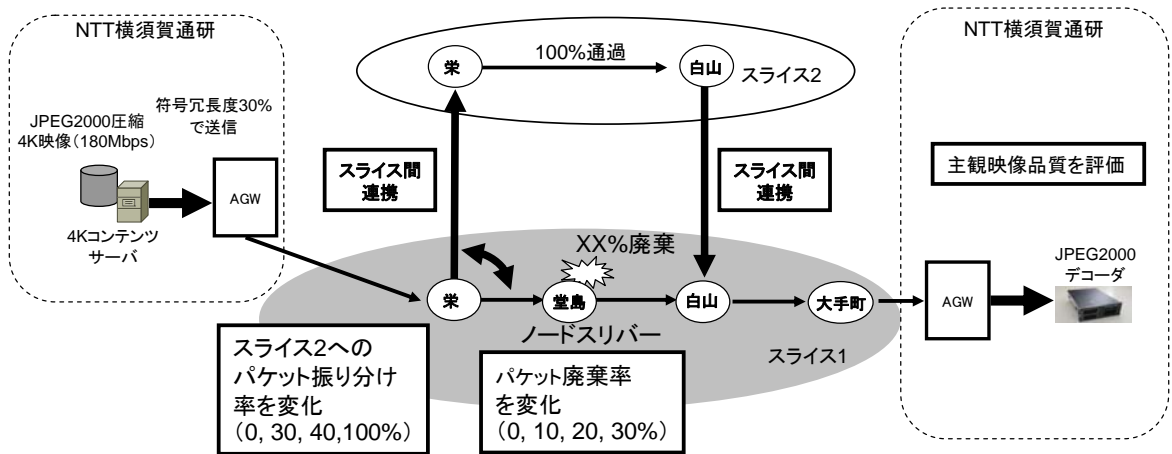


図9 スライス間連携による輻輳回避実験に用いた実験系 (JGN-X ネットワーク仮想化基盤)

なお、4K 映像の送受信には、NTT 研究所で開発し製品化もされている JPEG2000 リアルタイムコーデック装置を使用した。

図9に示すように、スライス内の各リンクスリバーは、スライス間接続の部分も含めて全て異なる IP サブネットとし、スライス内のデータ転送はレイヤー3で行った。すなわち、スライス内の各 vNODE のノードスリバーをルータとして動作させた。IP ルーティングの経路表は Linux カーネルのルーティングテーブルを route コマンドを用いて設定した。ただし、栄 vNODE、および、堂島 vNODE のノードスリバー上には今回の実験用に作成したアプリケーションソフトウェアを実装し、これらのソフトウェアが IP サブネットに対応するソケット間でのパケット転送を実行している。これらのソフトウェアは、スライス間のパケット振り分け率やパケット廃棄率を設定された値に調整しながらパケット転送する機能を有しており、これらの値の設定は、それぞれのノードスリバーにログインした制御端末からオペレータが手入力ですべて動的に変更できるようにした。

実験結果を以下に述べる。まず、映像伝送に関する結果を示す前に、今回スライス間接続として設定したリンクスリバーのデータ転送特性と他のリンクスリバーのデータ転送特性とを比較した結果を表2に示す。この結果から、今回 vNODE に対して特別な設定を施すことにより確立したスライス間接続のリンクスリバーのデータ転送特性と、他の種類のリンクスリバー、すなわち、端末-vNODE 間や vNODE 間を接続するリンクスリバーのデータ転送特性とがほとんど同じであることが分かる。したがって、今回実現したスライス間連携は、将来の同仮想化基盤のスライス間連携機能のベースとなる手法として有用であると考えられる。

表2 リンク種別毎のデータ転送特性比較

| リンクスリバー | スループット (Mbps) | パケットロス率 (%) |
|------------------|---------------|-------------|
| 送信端末 - 栄 vNODE 間 | 538.7689 | 0 |
| 栄 - 堂島 vNODE 間 | 559.6299 | 0.00103 |
| 栄 vNODE のスライス間接続 | 544.8189 | 0.00557 |

次に、図19の系において、堂島 vNODE におけるパケット廃棄率の各値において、栄 vNODE でのスライス2へのパケット振り分け率を変化させた場合の NTT 横須賀通研の 4K 受信映像の品質の変化の様子を表3に示す。パケット廃棄率が同じ値でも高品質のスライス2へのパケット振り分け率を増やすにつれて受信品質が良くなっていることが分かる。これにより、インタースライ斯拉ーティングが、トラヒックの通信品質回復のための有用な手段となり得ることが示された。

表3 NTT 横須賀での 4K 受信映像の品質

| 栄 vNODE におけるスライス2へのパケット振り分け率 (%) | 堂島 vNODE におけるパケット廃棄率 (%) | NTT 横須賀通研での 4K 受信映像の品質 |
|----------------------------------|--------------------------|------------------------|
| 0 | 0 | 良好 |
| | 10 | 良好 |
| | 20 | 不連続表示 |
| | 30 | 完全停止 |
| 30 | 0 | 良好 |
| | 10 | 良好 |
| | 20 | やや不連続 |
| | 30 | ほぼ停止 |

| | | |
|-----|----|--------|
| 40 | 0 | 良好 |
| | 10 | 良好 |
| | 20 | 僅かに不連続 |
| | 30 | やや不連続 |
| 100 | 0 | 良好 |

6. まとめ

複数の仮想ネットワークを組み合わせることでネットワークの輻輳回避制御を行う新たな手法を提案した。この方法は特に、多数の蓄積装置に分割格納された1つのコンテンツデータを1箇所の受信端末に集めてくる形の面伝送型のデータ伝送手法をとる場合に、従来のフローベースの経路制御による輻輳回避よりも簡易に輻輳制御が行える点が利点であると考えられる。本稿では、提案手法のコンセプトとスライス制御アルゴリズムのアウトラインについて述べ、また、JGN-Xのネットワーク仮想化基盤を用いて、主要なオペレーションであるスライス間連携を用いた場合の輻輳回避実験を行い、4K ストリーミング映像の受信品質の主観評価により、同オペレーションによって輻輳回避が正しく行われ、提案するコンセプトの有用性が確認できたことを示した。

今後は、スライスの品質特性として、今回議論した帯域やそれを反映したパケット損失だけでなく、遅延やジッタ等のその他の属性についても対象に含めた形でスライス制御アルゴリズムを改善していく。さらに、冗長符号化技術やスライスの通信品質評価技術と本スライス制御技術を連携させ、提案する輻輳回避手法の実装を完成し評価を進めていく予定である。

謝辞

本研究の一部は、独立行政法人 情報通信研究機構 (NICT) からの受託研究として、同機構からの支援に基づき実施している。ここに謝意を表す。

文 献

- [1] 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, Mar.2011.
- [2] 新世代通信網テストベッド JGN-X, <http://www.jgn.nict.go.jp>
- [3] 和田山正, 低密度パリティ検査符号とその復号法, トリケップス, 東京, 2002.
- [4] 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.