

エッジコンピューティングにおける SRv6を用いたトラフィック誘導手法の提案

遠峰 隆史¹ 名古屋 謙彦² 阿部 博³ 岡田 和也⁴

概要: 本稿では, MEC におけるトラフィック誘導手法として Segment Routing IPv6 (SRv6) を利用し, 選択的な通信の誘導手法を提案する. 提案手法は, エッジノードで提供されるサービス単位で SRv6 の識別子である SID を割り当てる. 端末は, 通信時にどのエッジノードのサービスに転送すべきかどうかをパケットに SID を埋め込むことで明示的に指定する. 同じサービスが複数のエッジノードで提供されている場合は, 端末に最も近いサービスに誘導しなければならない. この課題に対して, 提案手法では経路制御プロトコルの最短経路選択機能を活用し解決する. 各ルータは同じ SID に対して OSPF で計算されたコストが最も小さい広報ルータへの経路を設定する. この特性により, パケットを宛先の SID を広報している最近傍のサービスへの誘導が可能となる. 本稿では上記提案手法を実装し, MEC でのトラフィック誘導への適応可否, 展開時の制約条件などを明らかにする. また, MEC に求められる通信要件である遅延, 地理的分散, 帯域幅, 負荷分散, 可用性を提案手法が満たすかを議論する. 加えて, SID の割り当て方法, SID の通知・管理方法についても議論する.

A Traffic Steering on Edge Computing with SRv6

TAKASHI TOMINE¹ YOSHIHIKO NAGOYA² HIROSHI ABE³ KAZUYA OKADA⁴

1. はじめに

2020 年には, 第 5 世代移動通信システム (5G) のサービスが開始される. 利用者は 5G サービス圏内で低遅延かつ広帯域な通信を利用でき, 様々なアプリケーションやサービスの登場が期待されている. 自動車で実現される自動運転分野では, 特に低遅延で高信頼な通信が必要不可欠であり, 5G の活用が想定されている. 自動車に搭載された各種センサ, カメラ画像をリアルタイムに収集・解析し, 車の状態, 周辺の状態を把握し, 周囲の自動車とリアルタイムな情報共有が必要とされている [1]. また, オンライン

ゲームでは, 低遅延な性質を生かした, 臨場感とリアルタイム性のあるゲームの実現が期待されている [2].

しかし, 携帯端末や車載の計算資源では, 十分な計算量を得られないことが多い. そのため, ネットワーク側に設置された計算機資源と協調して各種処理を行う, Multi-access Edge Computing (MEC) をはじめとしたエッジコンピューティング技術が注目されている.

MEC は, 欧州の標準化団体である欧州電気通信標準化機構 (European Telecommunications Standards Institute: ETSI) の Multi-access Edge Computing (MEC) Industry Specification Group (ISG)[3] にて標準化が進められている技術である. MEC は, 当初 Mobile Edge Computing として標準化が進められていた. しかし, MEC はその適用対象として携帯電話網だけでなく, Wi-Fi ネットワークや有線ネットワークなど様々なネットワークへの適用も考慮できることから, Multi-access Edge Computing と名称変更された. MEC は, 計算機資源を利用者の近くに分散配置することで, 従来クラウドサービスなどを用いて提供していた処理を低遅延で提供可能とする. 高度な処理を必要と

¹ 国立研究開発法人情報通信研究機構 サイバーセキュリティ研究所 サイバーセキュリティ研究室

Cybersecurity Laboratory, Cybersecurity Research Institute, National Institute of Information and Communications Technology

² 株式会社レピダム

Lepidum Co. Ltd.

³ トヨタ自動車株式会社

Toyota Motor Corporation

⁴ 東京大学 情報基盤センター

Information Technology Center, The University of Tokyo

するアプリケーションは、MEC によってその高い要求を解決することが期待されている。

MEC を効率的に利用するためには、端末のトラフィックから、エッジノードに設置されたアプリケーションやサービスで処理すべきトラフィックを選択的に誘導しなければならない。MEC を利用しないトラフィックは、従来通り最短経路で宛先に転送される必要がある。また、低遅延な通信を保証するためには、ネットワーク内で利用者端末により近い場所（例えば基地局や局舎）へトラフィックを誘導し、アプリケーション、サービスを提供しなければならない。

MEC を利用する場合は、利用者端末に一番近いネットワークであるエッジネットワークを流れるトラフィックから MEC を利用するトラフィックだけエッジノードに誘導する。通常のトラフィックは、エッジノードを経由せず直接ネットワークの上流へ転送される。エッジネットワークを流れるトラフィックは、MEC を利用しないトラフィックに影響を及ぼさないように識別・分類しなければならない。同時に、MEC へ誘導するトラフィックも、遅延や帯域に影響を及ぼさない手法が望ましい。

本稿では Segment Routing IPv6 (SRv6) を用いたトラフィック誘導を提案する。SRv6 では、SID という識別子を持ちてトラフィックを柔軟に制御可能である。同時に、SRv6 は通常の IPv6 経路制御との親和性が高く、誘導しないトラフィックへの影響がない。本稿では、SRv6 による MEC へのトラフィック誘導の検証環境を設計し、適用可能性を報告する。

2. MEC におけるトラフィック誘導と性能要件

2.1 トラフィック誘導とは

MEC は、1 節で述べたようにエッジネットワークに設置し各種サービスを提供する。MEC の処理を必要としないトラフィックは MEC を経由せずにネットワークの上流へ転送しなければならない。そのため、MEC で処理が必要なトラフィックを識別し、エッジノードに誘導しなければならない。

MEC へ求められているネットワークの要件として、5G America[4] では 1) 遅延、2) 帯域幅、3) 可用性、4) 負荷分散、5) 地理的分散の 5 点を上げている。

2.2 トラフィック誘導の既存手法

MEC では、トラフィック誘導に Deep Packet Inspection (DPI) を用いる方法が検討されている [5]。DPI は、トランスポート層からアプリケーション層の情報をパケットから抽出し、各レイヤの情報に基づいて柔軟に転送制御を行う技術である。DPI を用いたトラフィック誘導手法では、エッジネットワークに DPI 装置を設置し、予め設定され

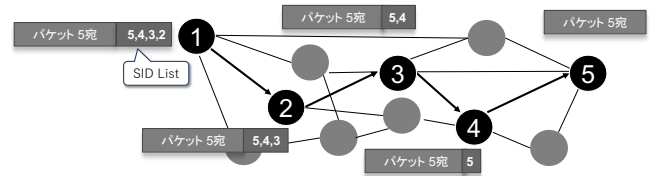


図 1 セグメントルーティングの動作概要

た識別情報（IP アドレス、ポート番号、アプリケーション種別など）に基づいてエッジノードへの誘導が必要なトラフィックをパケット単位で分類し転送する。MEC で提供されるサービスは動的に変化可能なため、エッジネットワークに設置された DPI 装置の持つトラフィック識別情報も追従させなければならない。DPI ではトランスポート層以上の情報をもとにトラフィックを識別できるが、通信が暗号化されていると正しく識別できない。

Software Defined Network (SDN) 技術の一つである OpenFlow を用いたトラフィック誘導も検討されている [6]。OpenFlow は、Open Network Foundation (ONF) によって標準化されている SDN 技術である。OpenFlow は、OpenFlow コントローラがパケットの処理ルールを管理する。OpenFlow スイッチは、OpenFlow コントローラから処理ルールを取得し、ルールに該当するパケットを処理する。しかし、OpenFlow は OpenFlow コントローラが全てのルールを管理しなければならない、ネットワークとして保持しなければならない情報が多くなる。

3. SRv6 を利用したトラフィック誘導

3.1 SRv6 技術の概要

セグメントルーティング (Segment Routing: SR)[7] は、ネットワークの中継地点を Segment Identifier (SID) で表現し、SID を指定することでソースルーティングを実現する経路制御技術である。SR は、Internet Engineering Task Force (IETF) の Source Packet Routing in Networking (SPRING) Working Group[8] で標準化されている。ネットワーク運用者は SR により、SR ファンクションが必要な箇所以外のルータは従来の機器のまま網内のトラフィック制御を実現できる。SR は、パケット単位の制御情報をネットワーク側で保持しないので、機器の負荷や運用の負荷を軽減できる。このような特徴から、ネットワークの最適化や効率化、5G ネットワークなどにおけるネットワークスライシングへの活用が期待されている。SR は、データプレーンとして MPLS と IPv6 が利用可能である。MPLS をデータプレーンとした SR を SR-MPLS、IPv6 をデータプレーンとした SR を SR-IPv6 (SRv6) と呼ぶ。

セグメントルーティングの動作概要を図 1 に示す。SR では、SID によってセグメントを表現する。パケットは、SRv6 トランジットノードにおける Transit ファンクションによって、SID のリストを IPv6 ヘッダに挿入 (T.Insert) あるいは



図 2 SR ヘッダ付き IPv6 ヘッダ

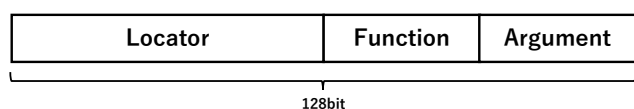


図 3 SID の構成

は SRv6 ヘッダ付き IPv6 ヘッダでカプセル化 (T.Encap) される。SR ヘッダが挿入された IPv6 パケットヘッダを図 2 に示す。SID リストは、元の IPv6 パケットの宛先をセグメントリスト 0 とした降順で経由地が記載される。また、SRv6 ヘッダの Segment Left の値に次に向かう SID のセグメントリストの番号が記される。SRv6 パケットは、次に向かう SID を宛先アドレスに設定し、ネットワークを転送される。SID を広告する SRv6 エンドポイントノードは、End ファンクションによって次のセグメントリストの SID に宛先を更新し、Segment Left を 1 減算する。以上の動作を SID リストに従い繰り返すことで、パケットは SID リストの順に転送され、最終的に元の宛先へ到達する。SRv6 エンドポイントノードにおいて次がリストの最後となる場合は、宛先 IPv6 アドレスを更新したのち、SRv6 ヘッダを削除する。

SRv6 では、SID を IPv6 アドレスにて表記する (図 3^{*1})。SRv6 における SID は、1) Locator, 2) Function, 3) Argument の 3 つのフィールドをもつ。Locator は、SR ファンクションを提供するノードのネットワークの位置である。多くの場合、SRv6 エンドポイントノードを一意に示し、ノードは Locator の IPv6 プレフィックスを経路制御プロトコルにて広告する。Function は、SRv6 エンドポイントノードで、どの SR ファンクションを利用するかを示す。Argument は、SR ファンクションに対する引数である。SRv6 では、Argument フィールドを用いてパケットの挙動を制御できる。それぞれのフィールドの長さは、各々が自由に定められる。SRv6 では、IPv6 の拡張ヘッダに SR ヘッダを挿入し、SR ヘッダに SID リストを記述する。

*1 各フィールドは可変長

3.2 SRv6 を応用したトラフィック誘導の仕組み

SRv6 では、SID リストを SR ヘッダに設定することで、パケットが任意の場所を経由して配送される。また、SRv6 パケットは通常の IPv6 経路に従って転送される。そのため、SR ファンクションを必要としないルータは通常の IPv6 経路制御とパケット転送をできれば良い。したがって、SRv6 網においても、SRv6 を利用しない IPv6 パケットも通常通り転送される。

本提案手法では、MEC におけるトラフィック誘導として先述の特性を活用し SRv6 を用いる。ネットワーク上で提供される機能はエッジノードで提供される。提案手法では、エッジノードへトラフィック誘導をするために SID を広告し、通常の経路からトラフィックを誘導する。

エッジノードへのトラフィック誘導に SID を用いる際、2 つの形態が考えられる。一つは、エッジノード自体が SID を持つ場合、もう一つは、エッジノードが SID を持たない場合である。エッジノード自体が SID を持つ場合、エッジノードは自身の SID を広告し、トラフィックを誘導する。利用者端末がエッジノードの計算資源を利用する場合や、外部のサーバの代わりにエッジノードで通信を終端する場合などが該当する。しかし、エッジノードで提供される機能のうち、トラフィックを透過させることで利用可能な機能では、ネットワークの上流からきたトラフィックか、下流からきたトラフィックかを見分ける必要がある。主に、ファイアウォールなどのセキュリティ機器や、プロキシなどの WAN 高速化装置などが該当する。そのため、エッジノード自身では SID を持たず、エッジノードの上流側の SID と下流側の SID を明示的に広告する必要がある。このように SID を広告することにより、上りと下りを区別したトラフィック誘導を実現する。

SRv6 の利点は、通常の IPv6 経路制御を使って SID を広告できる点である。IPv6 の経路制御では、OSPF version 3 (OSPFv3)[9] や IS-IS[10] が多く用いられている。特に日本では、OSPFv3 が多く用いられている。OSPFv3 は、IPv4 の経路制御プロトコルとして広く用いられている OSPF Version 2 (OSPF)[11] を IPv6 用に拡張したプロトコルである。OSPFv3 は、リンクステート型のプロトコルであり、各ルータが隣接するルータをリンクとして広告した情報をもとにトポロジマップを作成し、OSPF コストの最も小さい経路を選択する。OSPF では、同じ経路を異なるルータから広告できる。他のルータは、同じ経路を受信した際に受信ルータから経路広告元ルータに至る OSPF コストが小さい方を経路として採用する。SRv6 は、この特性を生かし、MEC によって提供される特定の機能に対応した SID を、同時にネットワーク上の離れた同じ機能を提供する箇所から広告することで、エッジノードの可用性を実現する。

次に、SRv6 を利用した MEC でのトラフィック誘導手法について説明する (図 4)。利用者端末は、MEC に対応

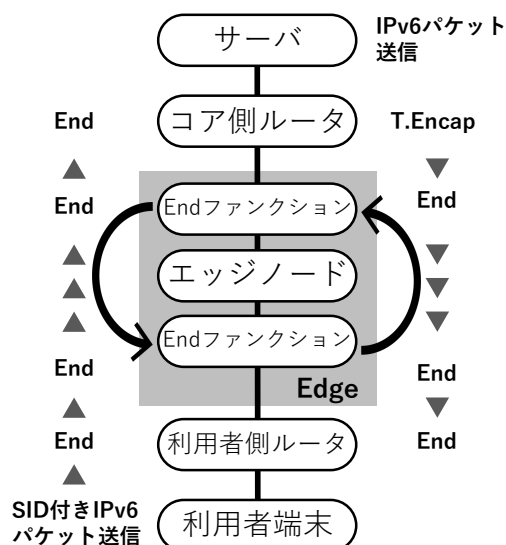


図 4 上下トラフィックの挙動

した SID リストを付与してパケットを送信する。この際、利用者端末がどのように SID のリストを取得するかは考察で議論する。パケットは一つ目の SID を宛先として、当該 SID を広告しているルータへ誘導される。当該 SID を広告しているルータは、宛先 IPv6 アドレスを次の SID に書き換え転送する。エッジノードを透過させる機能の場合は、端末に近い側の SID 広告ルータがエッジノードを挟んで対向の SID 広告ルータへ、対向の SID に関して静的経路を設定する。ルータでは静的経路が優先されるので、到着したパケットはエッジノードを通る経路で対向のルータへ転送される。また同時に、各エッジノードを挟む SID 広告ルータは、エッジノードごとにルーティングテーブルを Virtual Routing and Forwarding (VRF) により分割し、VRF 間の経路交換はバックボーン側のルータを経由して行う。これにより、SID 広告ルータにてパケットがエッジノードを通過させる際には、静的経路に従い転送され、別 SID へ転送する際には、一度バックボーン側のルータを経由して転送することができる。

サーバから利用者端末へ戻るパケットは、通常の IPv6 パケットであることが多い。そのため、エッジネットワークまでは通常の経路制御に従って到達する。エッジネットワークの最初のルータにて、T.Encap ファンクションにて SRv6 パケットでカプセル化される。この際に設定される SID リストは、利用者端末から送信する場合の逆順となり、最後に利用者端末の収容ルータの SID を指定する。SID リストの取得方法については、考察で議論する。パケットは、利用者端末から送信されたパケットとは逆の順序で利用者端末の収容ルータまで到達する。利用者端末の収容ルータまで到達したパケットは、IPv6 パケットに戻され利用者端末へ到達する。

3.3 提案手法の利点

提案手法では、ネットワーク機器は基本的には通常の経路制御を行う。加えて、SR ファンクションが必要な箇所に SRv6 対応ルータを導入する。そのため、ルータは従来運用されていた経路制御と転送を行えばよく、ネットワークへの負荷は少ない。

ネットワーク内への SID の広告に、既存の経路制御技術を利用する。既存の経路制御では、同じネットワーク情報が広告された場合には、よりコストの低い経路を採用する。そのため、状態の維持が重要でないサービスの場合、複数箇所から同じ経路を広告することで可用性を実現できる。

4. 提案手法の評価

本章では、提案手法が MEC におけるトラフィック誘導の要件を満たすか、実験により評価する。

4.1 評価項目の定義

2 節で挙げたように、MEC ではネットワーク要件として、1) 遅延、2) 帯域幅、3) 地理的分散、4) 負荷分散、5) 可用性が求められている。本節では、それぞれの項目について検証可能な指標を検討する。その上で、提案手法がネットワーク要件を充足可能な項目と不十分な項目を明らかにし、検討事項を定義する。

● 遅延

遅延は、利用者端末からサーバにパケットが到達するまでの時間を計測する。計測は、提案したトラフィック誘導手法を利用し MEC でサービスを提供する構成と、MEC へのトラフィック誘導を行わない構成で行う。

● 帯域幅

帯域幅は、利用者端末からサーバに至る帯域幅を計測する。計測は、提案したトラフィック誘導手法を利用し MEC でサービスを提供する構成と、MEC へのトラフィック誘導を行わない構成で行う。

● 可用性

可用性は、利用者端末の近接エッジノードに障害が発生した場合、近隣のエッジノードへの切り替えにかかる時間を計測する。

● 地理的分散・負荷分散

地理的分散と負荷分散特性は、定性的に議論を行い特性について明らかにする。

4.2 提案手法の実験構成

本節では、評価実験の構成と実験方法を説明する。

4.2.1 実験ネットワーク構成

ネットワークの各要素を Linux の Network namespace (netns) の機能を用いて実験する。表 1 は実験に用いたサーバ環境の仕様である。また、実験環境の構成を図 5 に示す。

表 1 實驗構築環境

CPU	Xeon E5-2670 (2.6GHz/8 コア)
搭載メモリ	96GB
OS	Ubuntu 18.04 LTS
カーネル	Linux 4.15.0-91-generic #92-Ubuntu
SRv6 実装	iproute2-ss180129
経路制御	Quagga 1.2.4-1

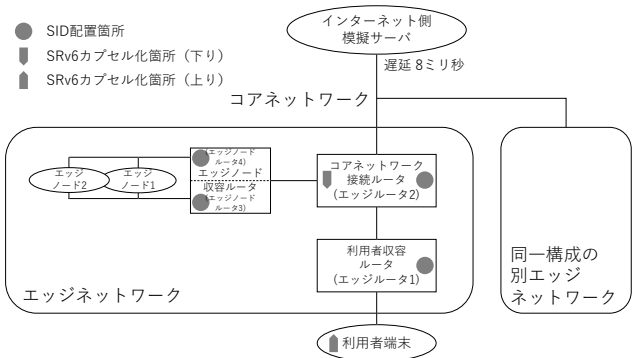


図 5 実験ネットワーク構成

実験は，利用者端末，エッジルータ，コアネットワークおよびエッジノード接続ルータ，エッジノード収容ルータ，エッジノードで構成される．また，外部へのネットワーク接続を模すためにコアネットワークにサーバを一つ用意した．サーバは，外部のものを模擬するため遅延を 8ms 追加した．可用性の検証を行うために，同一のネットワーク構成でクラスタをもう一つ用意し，コアネットワークへ同様に接続した．

トラフィックは、利用者端末とサーバの間で転送する。このトラフィックを、SRv6 によって任意のエッジノードへ誘導する。その際、SRv6 パケットへのカプセル化を、上りトラフィックでは利用者端末で、下りトラフィックはエッジネットワークのコアネットワーク接続ルータ (以下 エッジルータ 2) で行う。また、利用者端末収容はエッジネットワークの利用者端末接続ルータ (以下 エッジルータ 1) で行う。エッジノードは、透過トラフィックの方向性を考慮するため、エッジノードの利用者端末側とコアネットワーク側にそれぞれエッジノード収容ルータ (以下 エッジノードルータ 3, エッジノードルータ 4) を配置する。これにより、エッジノードはネットワークの上流と下流のいずれからのトラフィックかを判別可能となる。SID は、エッジルータ 1, エッジルータ 2, エッジノードルータ 3, エッジノードルータ 4 にそれぞれ付与する。SRv6 パケットは、任意のエッジノードを通過し、パケット本来の宛先に近い側のルータを通るよう、SID のリストを SRv6 ヘッダに記載する。

4.2.2 実験方法

評価にあたって、以下の6通りの実験を行った。

実験 1 (ex1) 利用者端末からサーバまで最短経路で送受

信する. 実験1は, 提案手法によるトラフィック誘導をせずエッジノードを利用しない.

実験 2 (ex2) 本実験は、利用者端末から提案手法を用いてエッジノードを1つ経由してサーバへ転送する。エッジノードは、ファイアウォールなどのセキュリティ機能を提供することを想定している。

実験 3 (ex3) 本実験は、提案手法により利用者端末からエッジノードまで送受信する．インターネット越しにあるサーバの代わりに低遅延のエッジノードを利用するシナリオを想定している．

実験 4 (ex4) 実験 4 は、端末が利用するサービスが近接しているエッジネットワークで提供されていない場合を想定している。サービスは、別のエッジネットワークで提供されており、提案手法により自動で経路設定・転送を行う。

実験 5 (ex5) 実験 5 は、実験 2 と同様に提案手法によりエッジノードにトラフィックを誘導するが、途中で当該エッジノードが利用できなくなり別のエッジネットワークに配置されたエッジノードにトラフィックを再誘導する。

実験 6 (ex6) 実験 6 は、エッジノードを 2 種類用意しそれらを接続してサービスを提供する.

各実験では、遅延と帯域の計測を行った。遅延計測は、ping6 コマンドを用い、利用者端末から 1 秒間隔で 1000 回 ICMP エコーリクエストパケットをサーバに送信し、往復遅延時間 (RTT) を計測した。帯域計測は、iperf3 を用い、利用者端末を iperf3 クライアント、サーバを iperf3 サーバとして実施した。計測は、TCP にて 1 秒間隔で実効帯域を 1000 秒間取得した。また、実験 4 のエッジノードの切り替え時間については、0.01 秒間隔で ping を送信し、未応答の ICMP パケット数を計測し推定した。

4.3 実験結果

遅延計測結果を図6および図7に示す。実験1は、トラフィック誘導を実施せずインターネット側に設置されたサーバと端末が通信を行うため、往復遅延が8 [ms] に集中している。実験3はエッジノードへのトラフィックを誘導することで平均0.080 [ms] となっており、他の実験と比べて大幅に遅延が短い。実験3の遅延は他の実験と比べて短く、実験の違いが分かりにくいいため図7から除外している。図6は、提案手法によるエッジノードへの誘導がない場合(実験1)とある場合(実験3)の比較である。結果から、エッジノードへトラフィックを誘導することで、約0.08 [ms] の低遅延を実現している。エッジノードにトラフィックを誘導する ex2, ex6 では、エッジノードへと転送される度に遅延が長くなる。また、近隣していない別のエッジノードを利用する場合は、ex4, ex5 の値から分かるように端末が近接するエッジネットワークを経由する場合

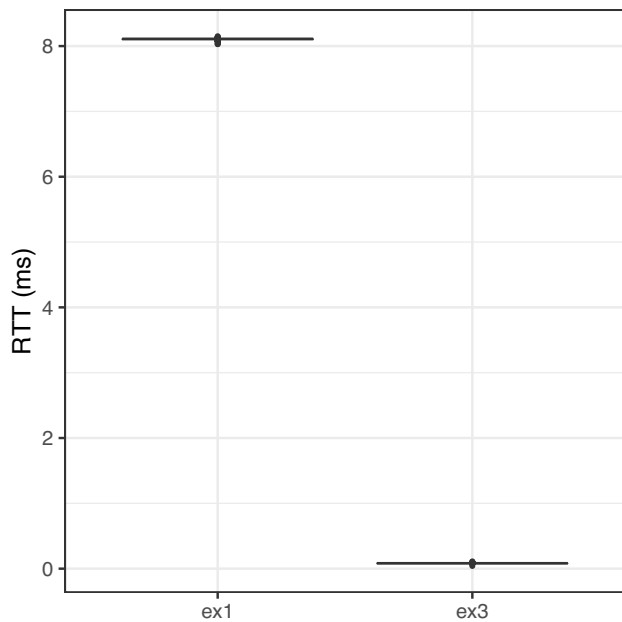


図 6 実験 1 および実験 3 の遅延計測結果

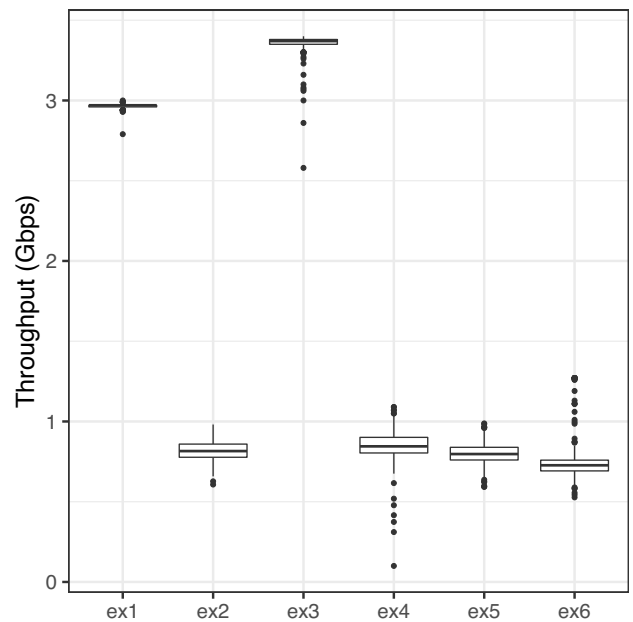


図 8 実効帯域計測結果

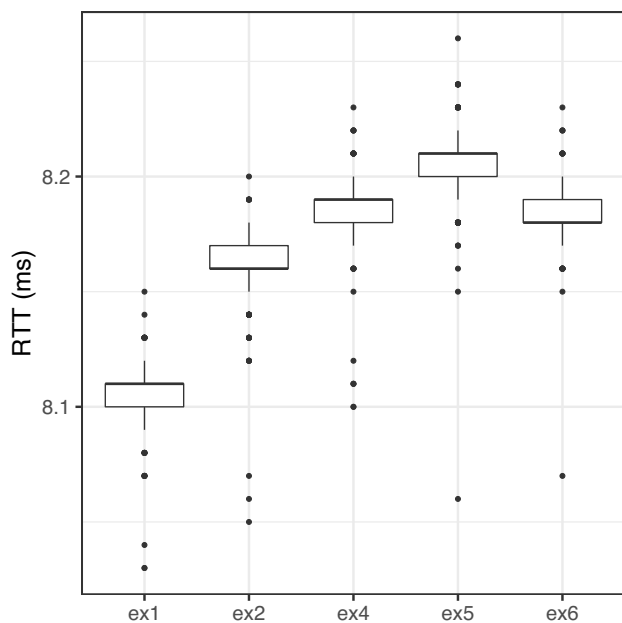


図 7 実験 3 を除いた遅延計測結果

と比べて往復遅延が増加している。

次に、計測した実効帯域の計測結果を図 8 に示す。図中、ex1 ではエッジノードを経由しない帯域を示している。通過するネットワークの箇所が増加すると実効帯域が狭くなる。しかし、ex3 では、実サーバより近くのエッジノードでトラフィックが終端される上、通過するネットワークノードの数も少ないので、サーバより広い帯域幅を得られている。

実験 5 では、エッジノードが切断された後に別のエッジノードに切り替わるまでの時間を測定した。切り替え時間は、ping6 で計測した結果、エッジノードとの通信切断

から再度接続するまでに約 0.6 秒であった。このようにトラフィックの切り替わりは、短時間で行えることが確認できた。

5. 考察

5.1 提案手法の特性

4 章の実験結果より、提案手法では 2 節で定義された遅延、帯域幅、可用性について充足することが確認された。

遅延は、図 7 のグラフから、エッジノードを追加しても 0.1ms 以下の遅延増加のみのため、大きな影響はないといえる。また、実験 3 では、エッジネットワーク内のエッジノードに転送することで図 6 で示すよう伝送遅延が小さくなっている。

帯域幅は、netns 中での計測なので特に同じトラフィックが通る箇所があると結果が十分に出ていない可能性がある。そのため、実験 2,4,5,6 の結果は十分な帯域や性能が確保された機器を用いると違う結果が得られると推測される。しかし、実験 3 の結果においては、遠方のサーバより直近のエッジノードのほうが実行帯域を確保できており、直近で十分な帯域を確保したいという要求を満たす。可用性は、SRv6 によるトラフィック誘導においては、同一 SID を複数箇所から経路広告することによって実現できた。

5.2 提案手法の可用性・負荷分散

本稿では、SRv6 によるトラフィック誘導手法を提案した。本手法は、SRv6 によりトラフィックの種類をネットワークで判断して振り分けるのではなく、パケット自体に SID を保持させることでトラフィック誘導を実現した。利用者端末は、提案手法によって近接するエッジノードへ誘

導されることで、極短い遅延と広い帯域幅でエッジノードの計算資源を利用できる。提案したトラフィック誘導手法は、経路広報に OSPFv3 を用いることで、異なるエッジネットワークから同じ SID を経路として広報する。あるエッジネットワークのサービスが停止した際は、別のエッジネットワークから広報されている当該サービスの SID 経路が選択され有効化される。そのため、端末からの通信は自動的に別のエッジネットワークに転送され、サービスを継続して利用できる。しかし、サービス側で通信の状態を保持する場合（例えばオンラインゲームなど）は、別途エッジノード間で利用者毎の状態を共有しておかなければならない。

5.3 サービス発見手法の検討

本稿の実験は、SID リストを予め端末が保持していることを想定し、SRv6 によってパケットをカプセル化していた。このリストの生成および配布方法は別途検討が必要である。

SID の配布方法については、SID リストの生成手法と配布手法をそれぞれ検討する必要がある。生成手法に関しては、ネットワーク運用者が管理しなければならない。ネットワーク運用者は、エッジノードを利用する際の SID や、エッジネットワークごとのルータの SID などを管理し、利用者の契約内容や所属するエッジネットワークの情報などを組み合わせて、適切に生成する必要がある。配布手法は、利用者ごとの情報から利用者やエッジルータへの効率的な手法の検討が必要である。この手法では、利用者においても平易に利用可能な手法で、かつ、アプリケーションの要求に合わせた処理時間が少ないものが求められる。

5.4 SRv6 カプセル化箇所の検討

本稿では、上りのパケットは利用者端末で、下りのパケットはエッジルータ 2 においてパケットのカプセル化を行った。しかし、先述の配布手法と合わせて、どの箇所が最適であるかを別途検討する必要がある。

SRv6 パケットへのカプセル化をする箇所については、それぞれの箇所の利点や欠点を考慮する必要がある。上りのパケットについては、本稿では利用者端末でカプセル化した。利用者端末でカプセル化を行うことで、宛先だけによって対応する SID リストを設定するだけでなく、アプリケーションに合わせて最適な SID リストを設定できる。しかし、利用者端末では SID リストの時間的にも適した配布手法を検討する必要があるほか、アプリケーションで処理を行うには、その実装の手間や処理の負荷がかかる。一方、ネットワーク側でカプセル化を行う場合は、送信元や宛先に基づいてカプセル化をする。機器によってはプロトコルやポート番号なども加味してルールを作成することができる。しかし、ネットワーク機器では利用者端末でカ

プセル化を行うほどアプリケーションに合わせた細かい設定は難しい。下りのパケットについては、本稿ではエッジネットワークとコアネットワークを接続するルータでカプセル化した。インターネットから来るトラフィックは、通常の経路制御に従い、利用者端末が接続されているエッジネットワークへ到達する。もし、この手前で SRv6 パケットにカプセル化してしまうと、パケットは利用者端末の直近のエッジネットワークを判別できない。そのため、可用性の実現のために複数箇所から同一の SID が広告されている場合、パケットは最適なエッジノードを選択できない。したがって、下りトラフィックにおいては、本稿での箇所が現状では最適だと考えられる。しかし、ネットワーク機器でルールに基づいてカプセル化を行うには、ネットワーク機器でトラフィック振り分けに関する情報を持たなければならない。その機器の負荷が高くなってしまい、そのため、ネットワークに負荷をかけない形で、パケットのカプセル化をする手法を検討する必要がある。依然としてある。

5.5 エッジノードで代替終端する手法の検討

本手法では、エッジノードに本来のサーバの IPv6 アドレスを設定し、SID を設定したエッジノードルータ 3 にてその IPv6 アドレス向けの静的経路をエッジノード宛に設定することで、エッジノードでの終端を実現した。しかし、この手法ではネットワーク運用者は、本来のサーバの IPv6 をあらかじめ知った上でエッジノードにアドレスを設定し、さらにルータへの設定が必要となる。以上の点について、手法について考察する。

エッジノードでトラフィックを終端するモデルでは、本提案手法では手間がかかってしまう。既存手法である DNS と IP エニキャストを組み合わせた手法 [12] の場合、ネットワークでは、ルータなどのネットワーク機器への変更は必要なく、エッジノード側での動的な変更も必要ないので、そちらの方が最適である場合がある。このように、エッジノードにおけるトラフィック誘導においては、本提案手法だけではなく、複数の手法を用いて実現することが望ましい。

6. おわりに

本稿では、エッジコンピューティングにおける通信誘導手法として SRv6 を導入した際の効果について検証した。SRv6 だけでは、MEC に求められるすべての通信要件を満たすことはできない。しかし、他の手法との組み合わせや、用途に応じた手法を適用することで、MEC への通信誘導を実現できる。

5 章で述べたように、サービスに適応した SID の生成および配布手法は継続して検討する必要がある。このようなサービスディスカバリの手法は、昨今のマイクロサービスの展開のなかで様々な議論がなされている。MEC におい

ては、本稿で述べたように遅延を最小にできるよう考慮した設計が必要である。提案手法を用いて MEC 環境を実現するには、最適な SID のリストを生成し、短時間で配布可能な手法を実現することが今後不可欠である。

謝辞 本研究成果は、科学技術振興機構事業研究成果最適展開支援プログラム A-STEP 機能検証フェーズの支援を受けた。

参考文献

- [1] Connected Car 社会の実現に向けた研究会. Connected Car 社会の実現に向けて. 8 2017.
- [2] 本間俊介, 石塚広樹, 春日秀之. 5G でゲームはどう変わる? ~そろそろ気にしておきたい 5G 最前線~. In *CEDEC 2019*, 9 2019.
- [3] ETSI - Multi-access Edge Computing - Standards for MEC. <https://www.etsi.org/technologies/multi-access-edge-computing?jjj=1587405885966>.
- [4] 5G Americas. 5G At The Edge. Technical report, 10 2019.
- [5] Masaaki Omotani, Takeshi Osaka, Ichiro Kudo, Akiko Kuboniwa, Chiharu Morioka, Taizo Yamamoto, Yuta Watanabe, Akira Misawa, and Tsukasa Okamoto. Edge Router System that Distributes Traffic Flexibly According to Services — NTT Technical Review. *NTT Technical Review*, Vol. 14, No. 5, pp. 1–8, 5 2016.
- [6] Anta Huang, Navid Nikaein, Tore Stenbock, Adlen Ksentini, and Christian Bonnet. Low latency MEC framework for SDN-based LTE/LTE-A networks. In *IEEE International Conference on Communications*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 7 2017.
- [7] Segment Routing. <https://www.segment-routing.net/>.
- [8] Source Packet Routing in Networking (spring). <https://datatracker.ietf.org/wg/spring/about/>.
- [9] Dennis Ferguson, John Moy, and Acee Lindem. RFC 5340 – OSPF for IPv6. 2008.
- [10] Christian E. Hopps. RFC 5308 – Routing IPv6 with IS-IS. 2008.
- [11] J. Moy. RFC 2328 – OSPF Version 2. 1998.
- [12] 岡田和也, 榎原茂, 川西直, 鈴木信雄, 門林雄基, 杉山敬三. マルチアクセスエッジコンピューティングのトラフィック誘導に着目した実装に関する一検討 (モバイルネットワークとアプリケーション). 電子情報通信学会技術研究報告 = IEICE technical report : 信学技報, Vol. 117, No. 390, pp. 1–6, 1 2018.