

# 成果報告書

澤田 開杜 (慶應義塾大学 環境情報学部 4 年)

- タイトル: "Integrating Netfilter into SRv6 Routing Infrastructure of Linux as an SR-Aware Network Function"
- 発表形式: オーラルセッション
- 学会: The 38th International Conference on Information Networking (ICOIN2024), icoin.org
- 開催期間: 2024 年 1 月 17 日 ~ 2024 年 1 月 19 日
- 開催形式: ハイブリッド (現地参加)

## 研究概要

昨今のデータセンタネットワークでは、汎用的なサーバや仮想マシン、コンテナ技術を使ってネットワークの機能 (NF) を仮想化する技術が一般化してきている。一連のルールに沿って NF を適用することを、サービス ファンクションチェイニング (SFC) という。SFC にデプロイされる NF はサービスファンクション (SF) と呼ばれ、SFC ではあるパケットを任意の順番で SF へ通過させる必要がある。従来のパケットルーティングでは、あるパケットを任意の順番で指定したノードへ通過させる、ということはいできない。よって、SFC の実現のためには従来のパケットルーティングとは別の経路制御機構が必要である。SFC を実現できる経路制御技術の 1 つに Segment Routing over IPv6 (SRv6) という技術がある。SRv6 では、SRv6 header と呼ばれるヘッダで IP パケットをカプセル化する。また、SRv6 header にはパケットが通過するノードが順番に含まれる。これによって、IP 的なベストパスに関係なくパケットが通過するノードを指定可能になるため、任意のルールに従って SF を通る順番を指定できる。また、SRv6 はトラフィック制御だけでなく、トランジットするパケットに対して特定の操作を適用でき、この特定の操作の種類のことをビヘイビアという。

Linux カーネルには netfilter というパケット処理フレームワークが実装されている。netfilter を使うことで、パケットのフィルタリングや NAT, NAPT, その他のパケットマングリング操作を適用できる。しかし、SRv6 は SRv6 header でカプセル化されているため、カプセル化されている内部のパケットに対して netfilter を適用できない。そこで、本論文では End.AN.NF という新しい SRv6 ビヘイビアを提案する。End.AN.NF は Linux netfilter を Linux の SRv6 ルーティングインフラストラクチャへ統合す

ることができる。言い換えると、End.AN.NF は、SRv6 を利用した SFC 環境において、Linux netfilter を SRv6 に 対応した SF として扱えるようにする。End.AN.NF を利用する際、netfilter を利用して作成されたアプリケーションの実装を変える必要はなく、End.AN.NF は SRv6 の基本処理である End ビヘイビアを実行しながら、SRv6 でカプセル化された内部のパケットへ netfilter を適用できる。さらに、End.AN.NF は、パケットバッファにマークを付けることができる。したがって、netfilter を利用して作成されたアプリケーションは End.AN.NF がパケットバッファに付与したマークを照合することで、適用するルールを変更できる。本研究では、End.AN.NF を Linux カーネルに実装し、その性能評価を行った。計測の結果、End.AN.NF は End.DT4 と H.Encaps を使って SRv6 でカプセル化された内部パケットに netfilter を適用する方法に比べ、27% 高いスループット、及び 3.0 マイクロ秒低いレイテンシを実現した。

## 研究成果と今後の展望

本研究により、Linux netfilter を利用した SFC 環境を SRv6 で実現するための新たな SRv6 ビヘイビアが提案された。また、そのスループット性能、及びレイテンシは実用上十分な数値であり、既に Linux に実装されている手法で Linux netfilter を SRv6 に統合した場合よりも性能が向上することを確認した。また、本研究を The 38th International Conference on Information Networking (ICOIN2024) で発表した結果を踏まえ、修正とブラッシュアップを施して同じテーマで卒業論文を執筆した。結果として、村井合同研における優秀卒論文賞を受賞することができた。

今後も SRv6 の新たなビヘイビアを考案したり、実用上欠かせないルールの制御部分に関する研究を進めていきたい。政策メディアに院進予定であるため、来年度中に 1 本論文を執筆することを目標としている。

## 謝辞

今回の ICOIN2024 の参加に関しまして、費用を援助して頂いたことに深く感謝申し上げます。