

ソフトウェア指向による高性能クラウドネットワーキングへの展望

Toward Software-Centric High-Performance Cloud Networking

川島 龍太

Ryota Kawashima

名古屋工業大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

1 まえがき

移動通信システムにおけるコアネットワークの5G化が進むなか、はやくも次世代の6G (Beyond 5G) ネットワークシステムの研究開発が始まっている。5G/6G 通信では、多様な性能特性を持つネットワークサービスを迅速に構築・展開するため、ネットワークスライシング技術が重要な役割を持つ [1]。これらのサービスは同一の物理ネットワーク基盤上に展開されるが、共有の物理資源を柔軟に分割・管理するには、多種多様なネットワーク機能 (Network Function, NF) のソフトウェア化が欠かせない。実際、現在の通信事業者では一日あたり数千件のネットワーク更新要求が発生しており、分単位あるいは秒単位での対応が求められるが、ハードウェア機器を中心とした従来のネットワークシステムではこの要求を満足できない。そのため、ネットワーク機能の「ソフトウェア化」および運用管理の「自動化」が必須であり、この実現に向けてクラウドネイティブな性質を持つネットワーク機能 (Cloud Native Network Function, CNF) が注目されている。

ネットワーク機能のソフトウェア化および CNF 化にあたり、マイクロサービスに代表されるアーキテクチャ体系と Kubernetes などの実装フレームワークを駆使して、CNF の開発およびライフサイクル管理を効率化する取り組みが増えている。一般的に、CNF は汎用サーバ上のコンテナアプリケーションとして実現するが、既存研究における評価結果が示すように、専用ハードウェア機器と比較して通信性能が顕著に低いという課題がある [2]。これは汎用サーバにおけるパケット I/O 性能がフローあたり 40 Mpps 程度で頭打ちになる [3] のに加えて、vhost-user に代表される仮想ネットワーク I/O の処理オーバーヘッドが顕著なためである。6G では最大でテラビット級の性能が必要とされるが、実用的なパケット処理を行う CNF の性能は、現状において (フローあたり) たかだか 10 Gbps 程度であり、Data Plane Development Kit (DPDK) や eXpress Data Path (XDP) などの高速化フレームワークを使用するだけでは不十分である。一方、プログラマブル ASIC や FPGA を用いて高速なデータプレーンを実現する例も増えているが、秒単位での構成変更や (独立に実装された) ネットワーク機能の多重化という点で課題がある。

そこで本稿では、汎用サーバをベースとしたクラウドネイティブなネットワーク機能を対象として、「既存の」ハードウェア機能を最大限に活用したソフトウェア中心の性能向上手法について検討する。

2 クラウドネットワーキング

現在のクラウドネットワークにおいては、スケール性や耐障害性および簡潔性を高いレベルで満足するために、2階層の Leaf-Spine スイッチからなる Clos トポロジが広く採用されている。このようなネットワークにおいては、さまざまなネットワーク機能がエッジ部分に集約されており、サーバ仮想化技術との相性が良い。そのため、ネットワークスライシングの実現にも向いており、Software Defined Networking (SDN) 技術やトンネリング技術を活用してオーバーレイ型の仮想ネットワーク (スライス) を柔軟かつ迅速に構築・運用できる。

NFV ノードはクラウドネイティブなネットワークを実現する際の要であり、理想的には汎用サーバおよびその上で動作するコンテナ形式のネットワーク機能の組み合わせである。このようなノード構成は CI/CD 技術を活用した開発・運用管理に適しており、Kubernetes などによる CNF コンテナの大規模運用が可能である。

汎用サーバやコンテナを用いた柔軟性の高いシステムは、(専用ハードウェア機器と比較して) 性能が顕著に低く、様々な高速化手法の導入が欠かせない。DPDK はパケット I/O 処理に特化した代表的な高速化フレームワークであり、CPU (コアおよびキャッシュ機構) やメモリ資源を効率的に管理する。また、割り込み処理やパケットコピー処理、ロックなどの性能低下要因を排除しており、実装面における最適化も進んでいる。しかし、DPDK を導入するだけでは 5G/6G ネットワークが求める性能要件を達成できず、システムアーキテクチャ、ソフトウェア-ハードウェア境界、および通信プロトコルを再考し、ソフトウェアによるパケット処理を前提とした体系に進化させる必要がある。

3 パケット処理の高速化における課題

一般に、パケット処理は「I/O 処理」と「本処理」に大別されるが、本稿では、パケット処理性能の上限を決定する「I/O 処理」に焦点をあてる。

NFV ノードにおける通信性能の上限を引き上げるには、基本となるパケット I/O 処理性能の向上が欠かせない。図 1 は、筆者によるパケット I/O 処理性能の評価結果であり、評価環境は脚注¹のとおりである。図のグラフは、単純なパケット転送プログラム (*Test-pmd*) をベアメタル形式で実行した際のスループット (単一 UDP フロー) を示しており、最大で約 40 Mpps (64B パケッ

¹Intel Core i9-7940X 3.1 GHz, Mellanox ConnectX-6 VPI (200 GbE)

