

コース	ソフトウェアデザイン	指導教員	光来 健一
学生番号	23222204	氏名	田代 滉太
論文題目	AF_XDP と P4 VM を用いた透過的かつ柔軟なパケット転送制御		

## 1 はじめに

近年、仮想環境におけるネットワーク機能の高度化に伴い、柔軟なパケット処理が求められている。仮想 P4 スイッチは仮想マシン (VM) が送受信するパケットに対して P4 プログラムを実行することで、柔軟な転送制御を行うことができる。P4 プログラムは管理者のみがロードできるが、VM のユーザもロードできるようになれば VM 内情報を利用したき細かい転送制御が行えるようになる。一方で、クラウドの仮想 P4 スイッチとユーザの P4 プログラムは互いに信頼できるとは限らないため、P4 プログラムをユーザごとの専用の機密 VM (P4 VM) 上で隔離実行して保護するシステム [1] が提案されている。しかし、パケットを P4 VM に転送するために仮想スイッチを変更する必要があるため、適用可能な仮想スイッチが限定されるという課題がある。

本研究では、AF\_XDP ソケット API を用いる仮想スイッチに対して、カーネル内でパケットを P4 VM へ転送することで透過的かつ柔軟なパケット転送制御を実現する TransP4 を提案する。

## 2 TransP4

TransP4 は図 1 に示すように、仮想スイッチが AF\_XDP ソケット API を用いて送受信するパケットをカーネルのデバイスドライバ層において P4 VM に転送する。AF\_XDP は Linux において提供される高速なパケット処理機構である。仮想スイッチは UMEM と呼ばれるメモリ領域を NIC と共有し、UMEM に対して DMA 転送を行うことでゼロコピー通信を実現する。また、RX リングと TX リングと呼ばれるリングバッファを用いて UMEM 上のパケットデータを指すディスクリプタをドライバと直接やり取りする。TransP4 は AF\_XDP を用いる仮想スイッチを変更することなく、P4 プログラムを透過的に実行することを可能にする。

仮想スイッチはパケット受信時に従来通り、RX リングから取り出したディスクリプタが指す UMEM 上のパケットデータを取得することができる。ただし、P4 VM が UMEM を参照できるようにするために、UMEM を共有メモリ上に作成して P4 VM と共有する。NIC がパケットデータを UMEM

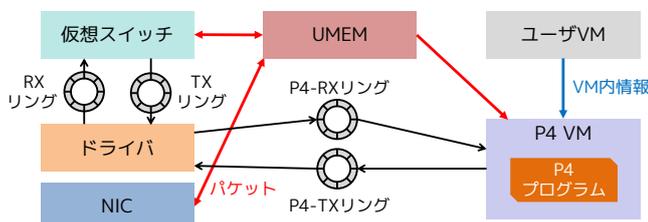


図 1. TransP4 のシステム構成

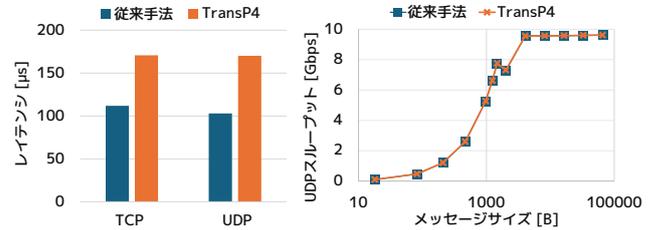


図 2. ユーザ VM の通信性能

に書き込むと、ドライバは RX リングの代わりに、P4 VM と共有する P4-RX リングにディスクリプタを書き込む。P4 VM では P4 プログラムがパケットデータを参照し、転送するか破棄するかを判定を P4-TX リングに書き込む。転送する場合には、ドライバが RX リングにディスクリプタを書き込む。

仮想スイッチはパケット送信時にも従来通り、パケットデータを UMEM に格納し、そのデータを指すディスクリプタを TX リングに書き込むことができる。ドライバはパケットを送信する前にディスクリプタを P4-RX リングに書き込み、P4 VM で P4 プログラムを実行する。ドライバは P4-TX リングから判定結果を取得し、転送する場合には NIC が UMEM 上のパケットデータを送信する。

## 3 実験

TransP4 を用いて、ユーザ VM 内の情報を利用したパケットフィルタリングが可能であることを確認する実験を行った。P4 プログラムにおいてネットワーク利用率を模した値をユーザ VM から取得し、利用率が設定値を超えた場合にパケットが破棄されることを確認した。

また、ユーザ VM のレイテンシおよび UDP スループットを図 2 に示す。P4 VM にパケットを転送することでレイテンシは約 60 % 増加する一方、UDP スループットは 1 % 未満の低下にとどまることが分かった。TCP スループットの低下も 1 % 未満であったが、高パケットレートでは通信が切断される場合があった。

## 4 まとめ

本研究では、カーネル内でパケットを P4 VM へ転送することにより、透過的かつ柔軟なパケット転送制御を実現する TransP4 を提案した。今後の課題は、TCP 通信の不安定性を改善することや仮想スイッチが UMEM を完全に透過的に扱えるようにすることである。

## 参考文献

- [1] M. Iwai et al. P4 Shield: Secure Execution of Users' P4 Programs with In-VM Information inside Clouds. CCWC 2026.