

# An eBPF-XDP hardware-based network slicing architecture for future 6G front to back haul networks

(논문 요약용)

5G와 6G 네트워크에서는 높은 데이터 전송 속도와 신뢰성, 그리고 유연한 네트워크 관리가 필수적이다.

이 논문에서는 네트워크 슬라이싱, 프로그래밍 가능한 데이터 플레인, XDP, eBPF, SmartNICs를 포함하는 하드웨어 기반 기술을 사용하여 네트워크 성능과 효율성을 극대화하는 것에 다룬다.

## XDP, eBPF

데이터 플레인에서 높은 처리 속도와 낮은 지연 시간 가능 및 데이터 패킷의 실시간 처리와 분류를 개선

## SmartNICs

네트워크 트래픽 처리를 네트워크 카드로 오프로드 → CPU 부하 감소, 시스템의 성능 향상

리눅스 커널의 오버헤드 줄이고 네트워크 슬라이스를 효과적으로 제어 및 모니터링

## 커널 바이패스

컴퓨터에서 데이터 처리할 때 운영 체제의 중심부의 커널을 우회하는 기술

데이터 처리 과정에서 발생할 수 있는 지연을 크게 줄일 수 있음

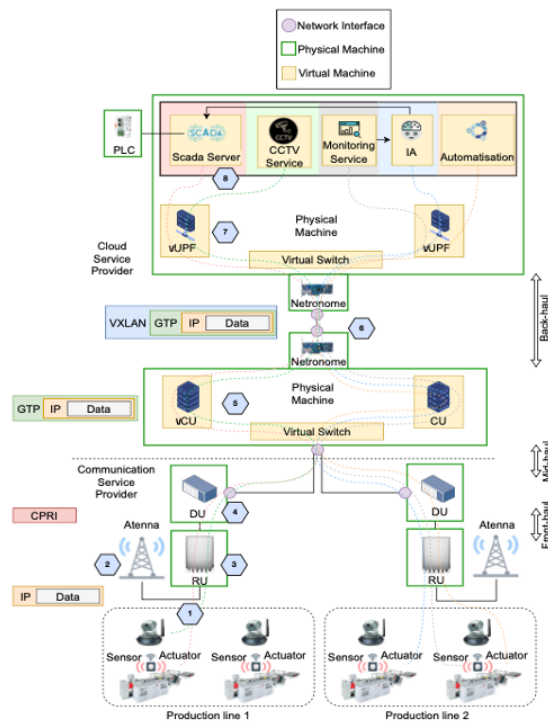
고성능 네트워크를 달성하기 위해 시스템 호출과 컨텍스트 스위치의 오버헤드를 최소화

주요 기술로는 DPDK, SNABB SWITCH, NETMAP, PACKET, MMAP, PF RING, EF VI, AF XDP가 있다.

## 하드웨어 오프로드

프로그래밍 가능한 하드웨어는 메모리 접근성을 유지하며 높은 처리 속도를 제공한다. Netronome과 Corigine은 하드웨어 오프로드와 커널 바이패스 기술을 결합한 Agilio SmartNICs를 사용할 것이다.

## 다중 테넌트 pre-6G 아키텍처



차세대 네트워크는 CSP가 데이터 처리와 네트워크 서비스 연결 제공하고, MIMO 안테나와 RU를 통해 데이터 신호 강화하고 무선으로 변환한다.

DU는 기지국 일부 기능 수행, vCU는 네트워크 효율과 자원 사용을 최적화한다.

SmartNICs은 vCU와 vUPF 사이의 트래픽을 전달하며 데이터 경로 처리와 제어, 모니터링을 오프로드한다.

vUPF는 사용자 이동성과 인증을 관리한다.

전체 네트워크 낮은 지연 시간, 높은 전송 속도, 신뢰성을 제공하며 네트워크 슬라이싱을 통해 자원을 효율적으로 관리한다. Agilio CX SmartNIC은 네트워크 인터페이스 카드로 데이터 경로 최적화, 가상 스위치는 VXLAN을 사용하여 트래픽 최적화한다.

## 프로토타이밍 플랫폼 및 구현

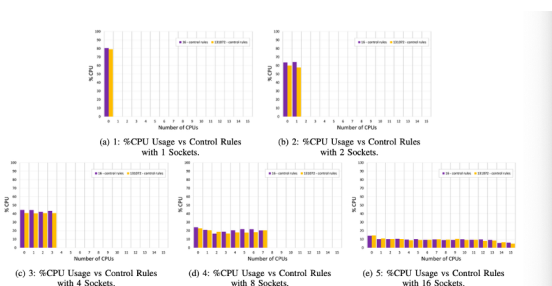
고성능, 고신뢰성을 지원하는 Agilio CX SmartNIC 기반의 XDP 참조 데이터 경로를 중심으로 다룬다.

다중 테넌시, 실시간 모니터링, 고급 네트워크 슬라이싱 및 트래픽 필터링 지원, XSK 소켓과 Linux 커널을 우회하는 맞춤형 NFP 드라이버를 통해 성능을 개선한다.

사용자 공간, Linux 커널 공간, SmartNIC 하드웨어가 있는데 데이터 및 제어 플레인을 통해 효율적인 네트워크 관리를 가능하게 한다.

Agilio CX SmartNIC은 eBPF 기반 제어 및 모니터링 맵을 통해 네트워크 트래픽을 실시간으로 처리하고, 특정 네트워크 패킷을 효율적으로 제어하며, 필요에 따라 사용자 공간으로 전송한다.

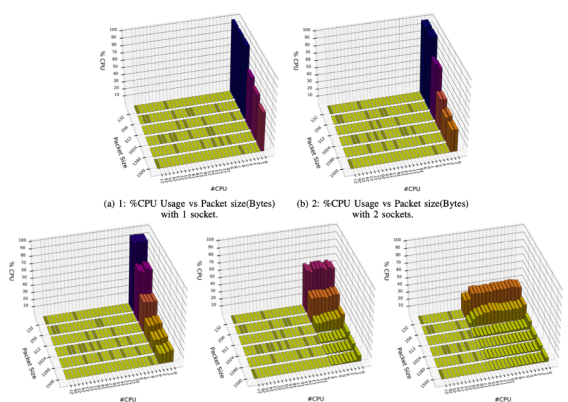
## 실증적 검증



CPU 부하 분석

### CPU 부하 분석

Agilio CX SmartNIC을 사용하여 네트워크 트래픽 처리할 때, CPU 부하는 소켓 수가 증가함에 따라 감소한다. 제어 규칙 수에 상관없이 CPU 부하가 일정하게 유지되어 시스템의 확장성을 입증한다.

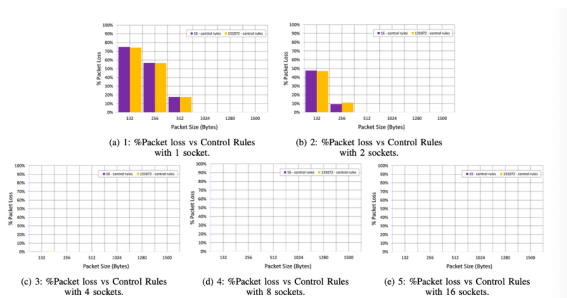


패킷 크기에 따른 CPU 부하

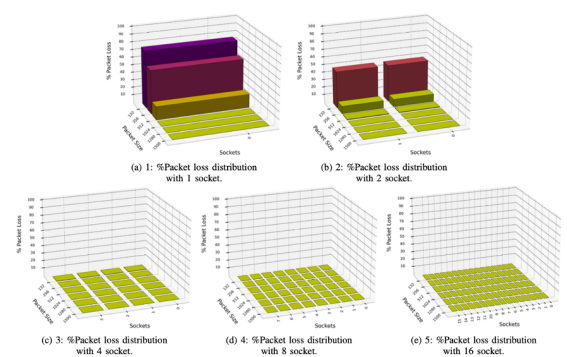
### 패킷 크기에 따른 CPU 부하

소켓 수가 증가하고 패킷 크기가 커짐에 따라 CPU 부하가 감소한다.

eBPF/XDP 기반 프레임워크의 확장성과 네트워크 트래픽의 효율적 분산 처리 능력을 보여준다.



소켓 수에 따른 패킷손실, 패킷 크기 및 제어규칙 수 간의 관계



%별 패킷 손실, 바이트 단위 패킷 크기, 소켓 수 간의 관계

## 패킷 손실을 분석

소켓 수가 증가할수록 패킷 손실을 감소한다.

소켓이 4개 이상일 경우, 최악의 조건에서도 패킷 손실률을 0%에 수렴한다.

시스템의 신뢰성과 성능 향상을 보여준다.

## 대역폭 및 초당 패킷 처리량

최악의 시나리오 (그래프 a) : 패킷 크기가 132 바이트일 때 →초당 처리되는 패킷 수는 2000만개 (70% 손실)

최적의 시나리오 (그래프 c) : 각 소켓당 500만개씩 초당 처리 할 경우 → 0% 손실이 일어남

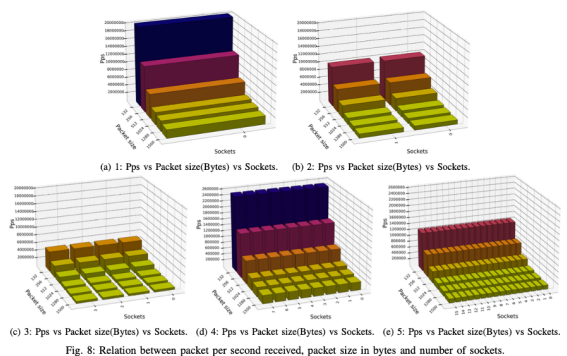
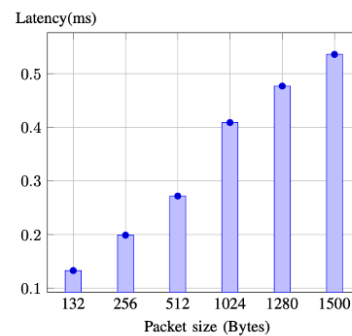


Fig. 8: Relation between packet per second received, packet size in bytes and number of sockets.

즉, 패킷 손실은 패킷 크기에 증가함에 따라 감소하고, 소켓 수가 증가함에 따라 처리되는 트래픽 양은 동일하게 유지된다

## 대역폭 및 초당 패킷 처리량

패킷 크기가 커질수록 RTT가 증가하는 경향이 있으나, 까다로운 시나리오에서도 이 시스템은 안정적인 성능을 유지한다.



## 결론

eBPF/XDP 기반 네트워크 필터링은 멀티 테넌트 흐름을 동적으로 식별하고 분류하며, 트래픽을 신속하게 처리하여 높은 네트워크 성능을 보장한다.

패킷 필터링과 처리를 빠르고 효율적으로 만들어준다.

eBPF 하드웨어 맵은 실시간 네트워크 매트릭을 기록하고 보고할 수 있으며, 데이터 처리를 향상시키기 위해 메모리 접근 시간을 최적화한다.

Agilio CX SmartNIC은 네트워크 데이터 플레인의 하드웨어 기반 오프로드를 실현하고, Linux 커널을 우회하여 직접 하드웨어와 통신함으로써 네트워크 성능을 개선한다.

AF XDP 지원의 NFP 드라이버는 SmartNIC을 통한 고속 데이터 전송을 가능하게 하여 AF XDP의 성능을 최적화한다.