

## 4-포트 크레딧 기반 셰이퍼(Credit-Based Shaper) TSN 스위치를 활용한 차량용 QoS 보장 구현 및 성능 평가

### (Implementation and Performance Evaluation on a 4-Port Credit-Based Shaper TSN Switch for QoS Provisioning in Automotive Ethernet)

#### 요 약

최근 전기/전자(E/E) 아키텍처가 영역(존) 기반 구조로 진화함에 따라, 차량 내 네트워크는 고대역폭 멀티미디어 스트림과 중요 제어 데이터를 포함한 다양한 트래픽 유형의 신뢰성 있는 전송을 요구받고 있다. 이 논문은 이러한 요구에 대응하기 위해 크레딧 기반 셰이퍼(Credit-Based Shaper, CBS)를 이용해 시스템을 구현하고, 이를 4포트 차량용 TSN(Time-Sensitive Networking) 스위치를 이용해 시험 및 성능 평가를 수행하였다. 실험 환경으로는 다수의 영상 스트림 소스, 두 개의 영상 수신기, 네트워크 혼잡을 유발하는 베스트 에포트(BE) 트래픽 생성기를 구성하였으며, CBS 기능 활성화 여부에 따른 네트워크 성능을 비교 분석하였다. 그 결과, CBS를 적용한 경우 네트워크 과부하 상황에서도 시간 민감성 영상 스트림의 우선순위 제어를 통해 안정적인 재생과 최소한의 프레임 손실을 달성하는 것으로 나타났다. 처리량, 프레임 손실률, 영상 재생 품질 측면에서 측정된 성능 지표는 CBS가 차량용 인포테인먼트 시스템의 QoS(Quality of Service) 보장에 효과적인 수단임을 입증한다. 연구는 다중 도메인 차량 존 기반 아키텍처 환경에서 다양한 트래픽 유형의 QoS 보장을 위한 실용적 방안으로서 CBS 메커니즘의 적용 가능성을 확인하였으며, 향후 자율주행 및 커넥티드 카 기술의 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

#### ABSTRACT

With the recent evolution of electrical/electronic (E/E) architecture toward a zonal structure, in-vehicle networks are required to reliably transmit diverse traffic types, including high-bandwidth multimedia streams and critical control data. To meet this demand, we implemented a system using a Credit-Based Shaper (CBS) and conducted tests and performance evaluations using a 4-port automotive TSN (Time-Sensitive Networking) switch. Our experimental setup included multiple video stream sources, two video receivers, and a best-effort (BE) traffic generator to induce network congestion. We then compared and analyzed the network's performance with and without the CBS function activated. The results showed that applying CBS achieved stable playback and minimal frame loss through the priority control of time-sensitive video streams, even under network overload. The performance metrics measured in terms of throughput, frame loss rate, and video playback quality demonstrate that CBS is an effective means of ensuring QoS for in-vehicle infotainment systems. Our research confirms the applicability of the CBS mechanism as a practical solution for guaranteeing QoS for various traffic types in a multi-domain zonal vehicle architecture and is expected to contribute to the future advancement of autonomous driving and connected car technologies.

**키워드 :** 차량용 이더넷, 크레딧 기반 셰이퍼, 서비스 품질, 존 아키텍처, 인포테인먼트

**Keywords :** Automotive Ethernet, Credit-Based Shaper, Quality of Service, Zonal Architecture, Infotainment

## I. 서 론

여기에 서론을 입력하세요. (스타일:본문)

## II. 본 론 (스타일:각 장 제목)

### 1. 크레딧 기반 셰이퍼 (Credit-Based Shaper)

크레딧 기반 셰이퍼(Credit-Based Shaper, 이하 CBS)는 IEEE 802.1Qav 표준에 정의된 트래픽 셰이핑 메커니즘으로, 각 트래픽 클래스에 대해 크레딧(credit)이라는 값을 실시간으로 관리하면서 전송 가능 여부를 판단한다. 이 방식은 시간 민감성(Time-Sensitive) 트래픽의 지연을 최소화하면서도 전체 네트워크 대역폭을 효율적으로 활용할 수 있도록 설계되었다.

CBS는 트래픽 클래스별로 다음과 같은 두 가지 속도를 정의한다.

idleSlope: 큐가 비어 있을 때 크레딧이 증가하는 속도이며, 해당 클래스에 보장되는 대역폭을 의미한다.

sendSlope: 프레임 전송 중 크레딧이 감소하는 속도로,  $\text{sendSlope} = \text{idleSlope} - \text{portRate}$ 로 정의된다. 여기서 portRate는 링크의 전체 전송 속도이다.

트래픽 클래스  $c$ 의 크레딧 값  $\text{credit}_c$ 는 다음과 같은 규칙에 따라 시간에 따라 변화한다.

큐가 비어 있을 경우:

$\text{credit}_c$ 는 idleSlope 비율로 선형적으로 증가한다.

큐가 프레임을 전송할 경우:

$\text{credit}_c$ 는 sendSlope 비율로 선형적으로 감소한다.

CBS는  $\text{credit}_c \geq 0$ 인 경우에만 해당 트래픽 클래스의 프레임 전송을 허용한다. 이를 통해 높은 idleSlope을 부여받은 트래픽 클래스는 빠르게 크레딧을 회복하여 자주 전송 기회를 얻게 되며, 반면 idleSlope이 낮은 트래픽 클래스는 우선순위가 높은 큐가 비어 있을 때에만 제한적으로 전송된다.

CBS 메커니즘은 다음과 같은 조건을 반드시 만족해야 한다:

모든 트래픽 클래스에 설정된 idleSlope 값의 총합은 링크 전체 대역폭(portRate)을 초과할 수 없다.

이러한 구조는 다음의 두 가지 핵심 효과를 동시에 달성한다:

시간 민감성 스트림(예: 오디오/비디오)은 높은 idleSlope을 부여받아 네트워크 자원에 우선적으로 접근할 수 있다.

우선순위가 높은 큐가 비어 있을 경우, 낮은 우선순위 트래픽도 전송되어 네트워크 자원을 유휴 상태 없이 활용할 수 있다.

결과적으로 CBS는 실시간성과 공정성을 동시에 만족시키는 트래픽 셰이핑 기법으로, TSN(Time-Sensitive Networking) 환경에서 핵심적인 역할을 수행한다.

크레딧 기반 셰이퍼는 각 트래픽 클래스에 대한 크레딧 값을 기반으로 동작한다. idleSlope는 대기 상태일 때 크레딧이 증가하는 비율을, sendSlope는 프레임 전송 중 크레딧이 감소하는 비율을 나타낸다. 여기서 sendSlope는 idleSlope에서 링크 대역폭을 뺀 값이다.

$$\text{sendSlope}_c = \text{idleSlope}_c - \text{Bandwidth}_{\text{link}}$$

트래픽 클래스  $c$ 의 크레딧  $\text{credit}_c$ 는 다음 규칙에 따라 변동한다.

\* 큐가 비어 있을 때:

$$\frac{d \text{credit}_c}{dt} = \text{idleSlope}_c$$

\* 큐가 프레임을 전송할 때:

$$\frac{d \text{credit}_c}{dt} = \text{sendSlope}_c$$

CBS는 크레딧 값이 0보다 크거나 같을 때에만 해당 트래픽 클래스의 프레임 전송을 허용한다. 이를 통해 높은 우선순위 트래픽은 크레딧을 빠르게 축적하여 대역폭을 보장받고, 낮은 우선순위 트래픽은 우선순위 큐가 비어 있을 때만 전송될 수 있다. 모든 클래스에 할당된 idleSlope의 합은 전체 링크 대역폭을 초과할 수 없다.

$$\sum_{c=1}^n \text{idleSlope}_c \leq \text{Bandwidth}_{\text{link}}$$

이 메커니즘은 시간 민감성 스트림(더 높은 idleSlope 값)이 네트워크에 우선적으로 접근하도록 보장하는 동시에, 우선순위가 높은 큐가 비어 있을 때 우선순위가 낮은 트래픽도 전송될 수 있도록 한다.

### 2. 시스템 구현 (Implementation)

## 2.1 시스템 설계 목표 및 구성 개요

본 장에서는 IEEE 802.1Qav 기반 Credit-Based Shaper(CBS) 기능을 중심으로, 우선순위 기반 트래픽 제어 시스템을 구현하기 위한 TSN(Time-Sensitive Networking) 스위치 환경의 아키텍처 및 실험 환경을 설명한다. 구현 대상은 Microchip사의 LAN9692 TSN 지원 SoC(System-on-Chip)를 기반으로 하며, Microchip에서 제공하는 VelocityDRIVE-SP 실시간 펌웨어를 이용하여 TSN 기능을 제어한다. 제안된 시스템은 TSN 표준에 정의된 CBS, VLAN 및 PCP 기반의 트래픽 클래스 매핑, 정밀 시간 동기화(IEEE 802.1AS-2020), 스트림 식별 및 필터링 등의 기능을 통합적으로 구성하고, 이를 UART 기반 MUP1 채널을 통해 선언적 YAML 구문으로 설정함으로써 신뢰성 높은 트래픽 품질 보장을 가능하게 한다.

## 2.2 하드웨어 플랫폼: LAN9692 기반 TSN 스위치

LAN9692는 ARM Cortex-A53 프로세서를 기반으로 설계된 고성능 TSN SoC로, SGMII, RGMII, SFP+ 등 다양한 물리 계층 포트를 지원한다. 본 실험에서는 총 4개의 포트를 사용하며, 포트 8은 송신용, 포트 9는 트래픽 생성용, 포트 10과 11은 수신용으로 할당하였다. 이 장치는 내부적으로 하드웨어 큐 기반 트래픽 분류 및 shaping 기능을 제공하며, 각 큐는 독립적인 shaping 파라미터를 설정할 수 있다. 또한, LAN9692는 IEEE 1588 PTP (Precision Time Protocol)을 지원하며, 이를 기반으로 TAS(Time-Aware Shaper)나 CBS와 같은 시간 기반 shaping 기능을 수행할 수 있다. 보드 제어는 MUP1 인터페이스(UART 기반)를 통해 수행되며, CoAP 프로토콜과 YANG 데이터 모델을 조합하여 구성 명령을 선언적으로 기술하고 전송할 수 있다.

Product	Features
EVB-LAN9692-LM	EVB-LAN9692-LM Key Specifications
	System - CPU: ARM Cortex-A53 (64-bit, single-core) @ 1 GHz - Memory: 2 MiB ECC SRAM, 8 MB QSPI

NOR flash
Network Interfaces - 4× SFP+ ports (via LAN9692 SerDes) - 7× MATEnet ports (via LAN8870) - 1× RJ45 port (via LAN8840, for management or external Ethernet)
Management & Development - USB-C UART (MUP1) - CORECONF/YANG over CoAP - VelocityDRIVE-SP firmware - VelocityDRIVE CT GUI
Time-Sensitive Networking (TSN) Features - IEEE 802.1Qbv — Time-Aware Shaper (TAS) - IEEE 802.1Qav — Credit-Based Shaper (CBS) - IEEE 802.1Qci — Per-Stream Filtering and Policing (PSFP) - IEEE 802.1AS-2020 — gPTP (with SMA 1PPS in/out, hardware timestamping)
Note: - IEEE 802.1CB (FRER: Frame Replication and Elimination) is not officially supported in current firmware but may be available for evaluation or future updates.

그림 1. 실험 환경 구성도  
Fig. 1. Experimental setup

## 2.3 VelocityDRIVE SP 시스템 구성

VelocityDRIVE SP는 Microchip에서 제공하는 TSN 제어 전용 소프트웨어 플랫폼으로, 네트워크 인터페이스 및 TSN 기능을 YANG 모델 기반으로 노출하며, CoAP 프로토콜을 통해 외부 제어자가 네트워크 상에서 설정을 반영할 수 있도록 한다. 본 구현에서는 'ieee802-dot1q-bridge', 'ieee802-dot1q-sched-bridge', 'ieee802-dot1q-cbs',

'ieee802-dot1q-stream-filters-gates' 등 다양한 YANG 모듈을 활용하여 VLAN, 트래픽 클래스, 큐 shaping, 스트림 필터링 등을 설정하였다. 주요 기능은 다음과 같다:

- Credit-Based Shaper(CBS) 기능 활성화 및 포트별 트래픽 클래스 큐에 대해 idleSlope, hiCredit, loCredit 설정
- VLAN ID 및 PCP(Priority Code Point)에 기반한 트래픽 분류 및 큐 매핑
- Stream Filter를 통한 트래픽 흐름 정의 및 목적지 포트 지정
- TSN 설정은 YAML 기반 선언적 스크립트로 작성되어 MUPICC 유틸리티를 통해 LAN9692에 적용

## 2.4 구현 세부 절차

TSN 기능 구현은 UART 기반 MUP1 채널을 통해 설정 파일(YAML 형식)을 전송하는 방식으로 진행되었다. 설정 순서는 다음과 같다.

1. 기본 인터페이스 구성: 각 포트를 1Gbps 전이중 모드로 설정하고, VLAN 구성 및 포트 간 프레임 전달 구조를 설정한다.
2. PCP 기반 트래픽 클래스 매핑: VLAN PCP 값에 따라 수신 프레임을 8개의 트래픽 클래스(TC0~TC7) 중 하나로 매핑한다. 예를 들어, 고해상도 영상 스트림은 TC7과 TC6에, 일반 백그라운드 트래픽은 TC0에 매핑하였다.
3. CBS 파라미터 설정: 포트 2 및 포트 3의 이그레스 큐에 대해 'idleSlope', 'hiCredit', 'loCredit'을 각각의 트래픽 클래스별로 설정한다. shaping 파라미터는 송신 스트림의 평균 전송률보다 여유 있는 값으로 설정되며, 예를 들어 15Mbps 영상 트래픽에는 20Mbps 대역폭을

예약한다.

4. 스트림 필터 설정: 지정된 MAC/VLAN을 기준으로 식별되는 스트림에 대해 필터를 구성하고, 이를 특정 포트에 전달되도록 설정하였다.

5. 설정 적용 및 활성화: 전체 구성은 YAML 포맷으로 작성된 설정 파일을 'muplcc -m ipatch' 명령어를 통해 전송하고, 활성화 시점은 'pending' 설정을 통해 시간 지정 또는 즉시 적용 방식으로 제어하였다.

## 2.5 트래픽 검증 및 모니터링

구현된 TSN 시스템의 검증은 실제 트래픽을 사용하여 수행되었다. 송신 포트에서는 1Gbps의 UDP 트래픽을 iperf3 기반으로 생성하였고, 수신 포트에서는 Wireshark 및 'tcpdump'를 통해 shaping 결과를 캡처하였다. shaping 활성화 전후의 큐별 latency, jitter, 그리고 packet loss를 비교하여 CBS 기능의 효과를 정량적으로 평가하였다. 특히 고해상도 영상 스트림의 경우, CBS가 미적용된 환경에서는 jitter 및 burst 전송이 빈번히 발생한 반면, shaping 적용 이후에는 평균 latency가 안정되고 손실률이 현저히 줄어드는 개선 효과를 확인할 수 있었다.

## 2.6 송신 측 PC 구성 및 트래픽 전송 스크립트 구성

본 시스템 구현에서 송신 측은 VLAN 기반의 트래픽 우선순위 제어와 함께, 트래픽 클래스 기반 Credit-Based Shaper(CBS) 실험을 위한 고해상도 영상 스트림을 전송한다. 각 송신 스트림은 VLAN PCP(Priority Code Point) 값에 따라 분류되며, 실제 이더넷 프레임 송신 시 skb priority를 기반으로 매핑된다. 이를 통해 송신되는 트래픽이 TSN 스위치에서 지정된 트래픽 클래스 큐에 정확히 매핑되도록 구성된다.

송신 스크립트는 bash 기반으로 작성되며 다음과 같은 기능을 포함한다:

- \* VLAN 인터페이스 생성 및 IP 주소 설정
- \* egress QoS 맵을 통해 skb priority → VLAN PCP 매핑
- \* 'tc' 필터를 이용한 포트별 skb priority 설정
- \* iperf3나 VLC 기반 송신 트래픽 자동화

```

``bash
#!/bin/bash
# 송신 포트 설정 예시 (enp9s0 → VLAN ID 100 →
PCP 분류)
DEV_SND=enp9s0
VLAN_ID=100
VLAN_IF=r100
SRC_IP=10.0.100.1
DST_IP=10.0.100.2

# VLAN 인터페이스 구성 및 QoS 맵 설정
sudo ip link add link "$DEV_SND" name
"$VLAN_IF" type vlan id "$VLAN_ID"
sudo ip addr add "$SRC_IP/24" dev "$VLAN_IF"
sudo ip link set "$VLAN_IF" up
sudo ip link set dev "$VLAN_IF" type vlan
egress-qos-map 0:0 1:1 2:2 3:3 4:4 5:5 6:6 7:7

# tc 필터 설정: 포트별 skb priority 지정 (예: 포트
5005 → PCP 5)
for i in $(seq 0 7); do
    p=$((5000 + i))
    prio=$i
    sudo tc filter add dev "$VLAN_IF" egress
protocol ip prio $((10+i)) u32 \
    match ip dport $p 0xffff \
    action skbedit priority $prio
done
``

```

이 스크립트는 송신 측 시스템에서 각 UDP 포트별로 skb priority를 명시적으로 설정함으로써, VLAN 프레임에 삽입될 PCP 값과 트래픽 클래스 매핑이 일관되도록 보장한다. 이후 VLC 또는 iperf3 등을 사용하여 실제 스트림을 송신할 수 있다.

---

## 2.7 스위치 측 TSN 구성 스크립트 적용 절차

LAN9692 기반 스위치 보드는 Microchip의 VelocityDRIVE-SP 플랫폼을 기반으로 동작하며, 설정은 UART(MUP1) 채널을 통해 'muplcc' 도구를 사용

하여 YAML 형식의 설정 파일을 전송하는 방식으로 이루어진다.

실험에 사용된 주요 구성 파일은 다음과 같다:

- \* 'ipatch-vlan-set.yaml': VLAN 및 포트 간 프레임 전달 구조 설정
- \* 'ipatch-cbs-idle-slope.yaml': 포트별 트래픽 클래스 idleSlope / hiCredit / loCredit 설정
- \* 'ipatch-p8-deco-p10-enco.yaml': 스트림 필터 및 복제 대상 포트 정의
- \* 'ipatch-p8-deco-p11-enco.yaml', 'ipatch-p9-deco-p11-enco.yaml': 추가적인 다중 경로 스트림 구성

적용 순서는 다음과 같다:

```

``bash
# 1. VLAN 포워딩 및 포트 매핑 구성
sudo dr muplcc -d /dev/ttyACM0 -m ipatch -i
ipatch-vlan-set.yaml

# 2. Credit-Based Shaper 파라미터 적용
sudo dr muplcc -d /dev/ttyACM0 -m ipatch -i
ipatch-cbs-idle-slope.yaml

# 3. 스트림 필터 및 복제 설정
sudo dr muplcc -d /dev/ttyACM0 -m ipatch -i
ipatch-p8-deco-p10-enco.yaml
sudo dr muplcc -d /dev/ttyACM0 -m ipatch -i
ipatch-p8-deco-p11-enco.yaml
sudo dr muplcc -d /dev/ttyACM0 -m ipatch -i
ipatch-p9-deco-p11-enco.yaml

# 4. 설정 확인
sudo dr muplcc -d /dev/ttyACM0 -m fetch -p
"/ieee802-dot1q-bridge:bridges"
sudo dr muplcc -d /dev/ttyACM0 -m fetch -p
"/ieee802-dot1cb:cb-stream-identifier-table"
``

```

각 설정은 선언적 YAML 스크립트를 통해 구성되므로, 시스템 복구 및 재적용이 용이하며, 트래픽 클래스

별 shaping 정책 실험이 반복 가능하게 된다.

## 2.8 VLC 기반 실시간 전송 실험 구성 및 네트워크 튜닝 요소

본 절에서는 Time-Sensitive Networking(TSN) 환경에서 멀티미디어 트래픽 전송의 실제 품질을 확인하기 위해, VLC 미디어 플레이어를 활용한 UDP 기반 비디오 스트리밍 실험을 구성하였다. 특히, TSN 스케줄링 동작 중의 미디어 전송 품질과 네트워크 튜닝 요소들이 전송 안정성에 미치는 영향을 분석하기 위한 목적으로 진행되었다.

송신 측에서는 MP4 형식의 비디오 파일을 실시간으로 복수 수신지로 전송하였으며, 수신 측에서는 VLC 또는 ffmpeg 계열 툴을 활용하여 디코딩 및 표시를 수행하였다.

### 2.8.1 송신 측 구성

송신 측에서는 VLC의 cvlc CLI를 활용하여 MP4 영상을 실시간으로 UDP 전송하였다. 실험에 사용된 대표적인 명령어는 다음과 같다.

```
cvlc --loop /home/test/sample.mp4 \
--sout "#duplicate(\
dst=std{access=udp{ttl=16,mtu=1400},mux=ts,dst=10.0.100.2:5005},\
dst=std{access=udp{ttl=16,mtu=1400},mux=ts,dst=10.0.100.3:5005}}" \
--ttl=16
--loop 옵션은 파일 반복 재생을 통해 지속적인 스트리밍을 유도하기 위한 설정이다.
```

mux=ts는 MPEG-TS (Transport Stream) 형식으로 전송하여 복수 수신자가 안정적으로 디코딩할 수 있도록 한다.

ttl=16은 테스트 환경 내에서의 멀티홉 전달을 방지하기 위한 TTL(Time To Live) 설정이다.

mtu=1400은 IP 단편화를 피하기 위한 최대 전송 단위 조정이며, 네트워크 장비 호환성과 안정성을 고려한 값으로 설정하였다.

또한, 특정 VLAN 또는 TSN 큐에 해당 트래픽을 유도하기 위해 사전에 ipatch-vlan-set.yaml을 통해 포트와 VLAN ID, PCP(Priority Code Point) 설정이 적용되었으며, ipatch-cbs-idle-slope.yaml을 통해 Credit-Based Shaper(CBS) 파라미터가 설정되었다.

### 2.8.2 수신 측 구성

수신 측에서는 VLC 또는 ffplay를 통해 지정된 포트에 수신되는 MPEG-TS 스트림을 디코딩하였다. 대표적인 수신 명령어는 다음과 같다.

VLC 수신:

```
cvlc udp://@:5005
```

FFmpeg 기반 수신:

```
ffplay udp://@:5005
```

이 명령어들은 UDP 포트 5005로 수신되는 스트림을 수신 측에서 실시간 디코딩 및 표시하는 데 사용된다.

### 2.8.3 네트워크 튜닝 요소

본 실험에서는 단순 스트리밍 외에도 다음과 같은 네트워크 튜닝 요소들이 적용되어 TSN 실험 환경에 적합하도록 구성되었다.

MTU 최적화: 실험 환경에서의 경로 MTU를 고려하여 1400B 이하로 설정하여 단편화를 방지함.

VLAN/PCP 설정: TSN 스케줄링 테스트를 위해 스트림에 VLAN Tag 및 PCP 우선순위 3~5를 설정.

큐별 CBS 구성: 각 우선순위에 대응하는 TSN 큐에 대해 CBS Idle Slope 값을 구성하여 대역폭을 제어함.

트래픽 분리: 실험 트래픽과 관리 트래픽(SSH, NTP 등)을 물리적 포트 또는 VLAN 기준으로 분리하여 간섭을 최소화함.

TSN 스케줄 적용 여부 확인: 실험 대상 포트에 대해 gate-enabled 및 oper-gate-states 등을 확인하고, 필요 시 ipatch-pX-deco-pY-enco.yaml을 통해 스트림 연결을 정의함.

※ 이후 실험에서는 VLC 송신의 프레임 지연(Latency), 손실율(Loss), 실시간 디코딩 성공 여부 등을 기반으로 TSN 설정의 효과를 분석하고자 한다. 필요 시 iperf3를 통한 동시 대역폭 부하 실험과 비교 측정도 가능하다.

## 2.7 iPATCH 설정

본 실험에서는 TSN 스위치에 대한 CBS(Credit-Based Shaper) 기반 스트림 보호 기능을 검증하기 위해, Microchip VelocityDRIVE-SP 시스템에서 제공하는 iPATCH 방식으로 설정을 구성하였다. iPATCH는 MUP1 기반 YANG 모델 설정 반영 방식으로, 설정 내용을 YAML 파일로 작성하고 이를 `dr muplcc` 명령어로 장치에 적용한다.

설정 목적은 다음과 같다:

VLAN 활성화 및 큐 설정: 포트별 VLAN 처리와 큐별 최대 SDU 크기를 지정

포트 간 디코딩/인코딩 스트림 매핑: AV 스트림을 송신 포트에서 수신 포트로 직접 매핑

CBS idleSlope 설정: AV 트래픽 클래스에 대해 고정 대역폭(예: 20Mbps)을 할당

실험에 사용된 iPATCH YAML 파일은 다음과 같다:

파일명	내용
<code>ipatch-vlan-set.yaml</code>	VLAN 사용 설정, 각 포트에 대한 gate enable 및 <code>queue-max-sdu</code> 설정
<code>ipatch-p8-deco-p10-enc.o.yaml</code>	Stream A의 디코딩/인코딩 포트 설정 ( <code>swp8</code> → <code>swp10</code> )
<code>ipatch-p8-deco-p11-enc.o.yaml</code>	Stream B의 디코딩/인코딩 포트 설정 ( <code>swp8</code> → <code>swp11</code> )
<code>ipatch-p9-deco-p11-enc.o.yaml</code>	Stream B 백업 포트 설정 ( <code>swp9</code> → <code>swp11</code> )
<code>ipatch-cbs-idle-slope.yaml</code>	AV 트래픽 클래스(TC1)에 대한 idleSlope 설정 (20Mbps)

### iPATCH 설정 스크립트

다음은 위에서 설명한 설정들을 순서대로 보드에 반영한 iPATCH 명령어 및 주요 설정 내용이다.

#### 2.7.1 VLAN 설정 및 Queue 크기 설정

VLAN 기능 활성화 및 각 큐별 최대 SDU 크기를 설정한다. 해당 설정은 `ipatch-vlan-set.yaml`에 정의되어

있으며, 아래 명령어로 반영하였다.

```
dr muplcc -d /dev/ttyACM0 -m ipatch -i ipatch-vlan-set.yaml
```

주요 설정 항목 (예시):

```
- ?
"/ietf-interfaces:interfaces/interface[name='swp8']/
  ieee802-dot1q-bridge:bridge-port/
```

```
ieee802-dot1q-sched-bridge:gate-parameter-table/gate
-enabled"
: true
```

```
- ?
"/ietf-interfaces:interfaces/interface[name='swp8']/
  ieee802-dot1q-bridge:bridge-port/
```

```
ieee802-dot1q-sched-bridge:gate-parameter-table/
queue-max-sdu-table[traffic-class='1']/queue-max-sd
u"
: 1518
```

#### 2.7.2 포트 매핑 (Decap/Encap)

(1) Stream A: `swp8` → `swp10`

```
dr muplcc -d /dev/ttyACM0 -m ipatch -i ipatch-p8-deco-p10-enc.o.yaml
```

```
- ? "/tsn-device:device/tsn-psfp:decap-flow-table/flow[flow-id='streamA']/
  input-port"
: "swp8"

- ? "/tsn-device:device/tsn-psfp:encap-flow-table/flow[flow-id='streamA']/
  output-port"
: "swp10"
```

```
- ?
"/tsn-device:device/tsn-psfp:decap-flow-table/flow[flo
w-id='streamA']/
  input-port"
: "swp8"
```

```
- ?
"/tsn-device:device/tsn-psfp:encap-flow-table/flow[flo
w-id='streamA']/
  output-port"
: "swp10"
```

(2) Stream B (Main): `swp8` → `swp11`

```
dr muplcc -d /dev/ttyACM0 -m ipatch -i
```

```

ipatch-p8-deco-p11-enco.yaml
-
?
"/tsn-device:device/tsn-psfp:decap-flow-table/flow[flow-id='streamB']/
  input-port"
  : "swp8"
-
?
"/tsn-device:device/tsn-psfp:encap-flow-table/flow[flow-id='streamB']/
  output-port"
  : "swp11"
(3) Stream B (Backup): swp9 → swp11
dr muplcc -d /dev/ttyACM0 -m ipatch -i
ipatch-p9-deco-p11-enco.yaml
-
?
"/tsn-device:device/tsn-psfp:decap-flow-table/flow[flow-id='streamB-backup']/
  input-port"
  : "swp9"
-
?
"/tsn-device:device/tsn-psfp:encap-flow-table/flow[flow-id='streamB-backup']/
  output-port"
  : "swp11"
2.7.3 CBS idleSlope 설정
AV 트래픽 클래스(TC1)에 대해 포트별로 20 Mbps idleSlope을 할당한다. 이를 통해 BE 트래픽과 혼재된 상황에서도 AV 스트림이 보장된 대역폭을 확보할 수 있다.
dr muplcc -d /dev/ttyACM0 -m ipatch -i
ipatch-cbs-idle-slope.yaml
-
?
"/ietf-interfaces:interfaces/interface[name='swp8']/
  ieee802-dot1q-bridge:bridge-port/
ieee802-dot1q-sched-bridge:traffic-class-table[traffic-class='1']/
  idle-slope"
  : 20000000
-
?
"/ietf-interfaces:interfaces/interface[name='swp9']/
  ieee802-dot1q-bridge:bridge-port/

```

```

ieee802-dot1q-sched-bridge:traffic-class-table[traffic-class='1']/
  idle-slope"
  : 20000000

```

이와 같이, 모든 설정은 파일 기반의 iPATCH 방식으로 명시적이고 반복 가능한 형태로 구성되었다. 이후 실험 결과 분석에서는 이 설정이 실제로 스트림 보호에 어떤 효과를 주었는지를 다룬다.

### 3. 실험 설계

#### 3.1 실험 환경 구성

실험 환경은 아래 그림과 같이 4-포트 차량용 TSN 스위치와 4개의 컴퓨터를 중심으로 구축되었다.

(그림 안의 내용을 영문으로 작성하시기 바랍니다.)

그림 1. 실험 환경 구성도  
Fig. 1. Experimental setup

\* 포트 1 (소스): 두 개의 개별 영상 스트림을 생성하는 영상 스트리밍 애플리케이션(예: FFmpeg)을 실행하는 컴퓨터. 평균 비트 전송률이 15Mbps인 H.264 스트림을 사용한다.

\* 포트 2 (수신기 1): 첫 번째 영상 스트림을 수신하고 재생하는 영상 플레이어(예: VLC)를 실행하는 컴퓨터.

\* 포트 3 (수신기 2): 두 번째 영상 스트림을 수신하고 재생하는 영상 플레이어를 실행하는 컴퓨터.

\* 포트 4 (BE 트래픽 생성기): 500~800Mbps의 높은 용량의 베스트 에포트 UDP 스트림을 생성하는 네트워크



크 트래픽 생성기(iperf3)를 실행하는 컴퓨터.

### 3.2 실험 시나리오

두 가지 주요 테스트 시나리오를 진행할 것이다:

해 다음 지표를 측정하였다.

\* 평균 처리량(bps): 영상 스트림이 할당된 대역폭을 수신하고 있는지 확인하기 위해 수신 포트(포트 2 및 포트 3)에서 측정한다.

\* 프레임 손실률(%): 전송 중 손실된 영상 프레임의 비율이다. 이는 영상 품질을 평가하는 데 중요한 지표이다.

\* 영상 재생 품질: 영상 재생 경험에 대한 주관적인 평가(예: 시각적 결함, 영상 끊김, 오디오/비디오 동기화 문제)이다. VLC의 "지터 버퍼" 상태와 같은 객관적인 지표도 사용할 수 있다.

그림 2. 실험 시나리오 (CBS 비활성화)  
Fig. 2. Experimental scenario (CBS disabled)

## III. 실험결과 및 분석

결과는 CBS가 활성화된 시나리오가 비활성화된 시나리오보다 우수함을 명확하게 보여줄 것으로 예상된다.

기준 시나리오에서는 BE 트래픽으로 인한 혼잡 때문에 영상 스트림이 상당한 패킷 손실과 처리량 감소를 겪을 것이다. FIFO 큐는 영상 스트림에 우선순위를 부여하지 않아 끊김, 멈춤, 잠재적인 오디오 비동기화를 특징으로 하는 저하된 시청 경험을 초래할 것이다.

CBS 활성화 시나리오에서는 영상 스트림이 우선순위화된다. idleSlope 설정은 압도적인 BE 트래픽이 존재하는 상황에서도 각 스트림이 필요한 대역폭을 보장받도록 할 것이다. 스위치는 누적된 크레딧을 사용하여 BE 패킷보다 영상 프레임을 먼저 전송할 것이다. 우리는 부드럽고 중단 없는 영상 재생 경험을 볼 수 있을 것으로 기대한다. 처리량 차트는 영상 스트림이 필요한 비트 전송률에 근접하게 수신되고 있음을 보여줄 것이고, 프레임 손실률은 무시할 수 있을 정도로 낮을 것이다.

CBS의 효율성을 입증하기 위해 다음 차트가 필요하다:

차트 1: 두 시나리오에 대한 영상 스트림의 평균 처리량(Mbps)을 비교하는 막대 차트. 이 차트는 CBS가 제공하는 대역폭 보장을 시각적으로 나타낼 것이다.

차트 2: 두 시나리오 모두에 대해 테스트 기간 동안의 순

그림 3. 실험 시나리오 (CBS 활성화)  
Fig. 3. Experimental scenario (CBS enabled)

기준 시나리오 (CBS 비활성화): 스위치는 표준 비-TSN 이더넷 스위치로 작동한다. 모든 트래픽은 동등하게 취급되며, 전송은 단순한 선입선출(FIFO) 큐를 기반으로 한다. 포트 4에서 발생하는 높은 용량의 BE 트래픽으로 인해 영상 재생 품질이 크게 저하될 것으로 예상된다.

CBS 활성화 시나리오: 스위치의 CBS 기능이 활성화된다. 각 영상 스트림 TC의 idleSlope는 20Mbps로 설정하여 총 40Mbps를 할당한다. BE 트래픽은 낮은 우선순위인 TC0에 할당된다. TC0의 idleSlope는 남은 대역폭(예: 960Mbps)으로 설정될 것이다.

### 3.3 측정 지표

CBS의 효율성을 정량화하기 위해 두 시나리오에 대

간 프레임 손실률(%)을 보여주는 선 그래프. 이는 기준 시나리오에서 BE 트래픽의 영향을, 그리고 CBS가 제공하는 안정성을 강조할 것이다.

차트 3: CBS 활성화 시나리오에서 각 트래픽 클래스(영상 스트림 1, 영상 스트림 2, BE 트래픽)의 대역폭 활용도를 시간 경과에 따라 보여주는 누적 영역 차트. 이는 CBS가 어떻게 우선순위가 높은 스트림에 영향을 주지 않고 남은 용량을 BE 트래픽이 채울 수 있도록 대역폭을 동적으로 할당하는지 시각적으로 보여줄 것이다.

(표 안의 내용을 영문으로 작성하시기 바랍니다.)

표 1. 여기에 그림 제목을 입력하세요(마침표삭제)  
Table 1. Please put the title of table here.


## IV. 결 론

우리의 연구 결과는 크레딧 기반 셰이퍼(CBS)가 차량용 이더넷 네트워크에서 서비스 품질(QoS)을 보장하는 매우 효과적인 메커니즘임을 확인할 것이다. 이 연구는 TSN 및 CBS를 사용하여 신뢰할 수 있고 효율적인 차량 내 인포테인먼트 네트워크를 구현하는 것의 타당성을 입증하며, 이는 떠오르는 존 E/E 아키텍처의 핵심 구성 요소이다. 향후 연구는 더 많은 트래픽 유형을 통합하고, 더 많은 포트로 설정을 확장하며, 다른 트래픽 클래스에 대한 CBS의 종단 간 지연(end-to-end latency) 영향을 분석하는 것을 포함할 것이다. 이는 TSN이 제공하는 QoS 보장 기능을 갖춘 통합된 다중 도메인 차량 네트워크 아키텍처를 위한 사례를 공고히 할 것이다.

## Acknowledgement

본 논문은 산업통상자원부 재원으로 한국산업기술기 획평가원 (KEIT)의 지원을 받아 수행된 연구 결과임니

다. [사업명: 자동차산업기술개발사업 (스마트카)/과제명 : 자율주행차 전장부품 결합·오류 대응을 위한 기능 가 변형 아키텍처 및 평가·검증기술 개발 / 과제 고유 번호 : RS-2024-00404601]

## References

- [1] M. Armstrong, J. Wright, *Mobile call termination in the UK*, UCL, Sep. 2007. (<https://doi.org/~>)
- [2] U. Berger, "Access charges in the presence of call externalities," *Journal of Economic Analysis & Policy*, 3(1), Article 21, 2004. (<https://doi.org/~>)
- [3] U. Berger, "Bill-and-keep vs. cost-based access pricing revisited," *Economics Letters*, 86(1), pp.107-112, 2005. (<https://doi.org/~>)
- [4] D. Birke, G. Swann, "Network effects and the choice of mobile phone operator," *Journal of Evolutionary Economics*, 16(1-2), pp. 65-84, 2006. (<https://doi.org/~>)

<<참고문헌(영문으로 작성)작성요령>>

### 1. 작성 방법

- (1) 참고문헌은 본문에 인용한 것만을 반드시 **영문**으로 기재해야 하며, 기재 방법은 아래와 같은 순서대로 하고, 잡지명과 도서명에는 기울임 효과를 준다.
- (2) 참고문헌 목록에는 적어도 국내에서 발표된 논문 1편 (국내 학술대회 및 국내학회 발행 논문지 포함) 이상이 포함되어야 한다.
- (3) 논문 제목의 첫 글자의 처음 알파벳은 대문자로 표시한다.( 참고문헌 작성 예 참고)
- (4) 본문에서 인용한 참고문헌 번호는 인용문 우측 상단의 []안에 기입한다.

예) <sup>[1]</sup>. 윗첨자

### 2. 참고문헌 작성 예:

Ex1) 논문집의 경우(저자명, "제목," 잡지명, 권, 호, 페이지, 월, 연도.) (<https://doi.org/~>)

[1] S. K. Oh and E. B. Goldsmith, "The better manuscript preparation for speedy publication," *J. Commun. Networks (JCN)*, vol. 13, no. 6, pp. 10-16, Dec. 2011. (<https://doi.org/~>)

Ex2) 단행본의 경우(저자명, 도서명, 출판사명, (페이지), 연도.) (<https://doi.org/~>)

[2] J. K. White, *Communications and Networks*, 2nd Ed., KICS Press, 2010. (<https://doi.org/~>)

Ex3) 학술대회 논문집의 경우(저자명, "제목," 학술대회논문

집명, 페이지, 개최도시, 국가, 월, 연도.)

(<https://doi.org/~>)

- [3] K. B. Lee, S. Smith, and K. K. Silver, "Conference proceeding paper," in Proc. KICS Int. Conf. Commun. 2010 (KICS ICC 2010), pp. 201-205, Jeju Island, Korea, June 2010.

(<https://doi.org/~>)

Ex4)사이버 문서의 경우(저자명, 제목(연도), 접속일시 (월, 일, 연도), URL.) (<https://doi.org/~>)

- [4] J. Park, A Guide to Journal Publication(2011), Retrieved Aug., 30, 2012, from <http://www.kics.or.kr>. (<https://doi.org/~>)

<<폰트문제>>

본 한글스타일 파일에서는 기본폰트를 사용하므로 논문에 실리는 게재논문의 폰트와는 다를 수 있다.