

# 시간 민감 트래픽의 주기성에 따른 F/M Based Gated Adaptive CoDel의 성능분석

김 현 수\*, 이 재 훈°

## Performance Evaluation for F/M Based Gated Adaptive CoDel in Periodicity of Time-Sensitive Traffic

Hyunsoo Kim\*, Jaehwoon Lee°

요 약

주기적인 시간 동기 기반의 시간 민감 트래픽 스케줄링은 비동기 트래픽의 성능을 낮추면서 버퍼에 버퍼블로트를 유발한다. F/M based Gated Adaptive CoDel은 시간 민감 트래픽 시구간까지의 잔여 시간동안 보낼 수 있도록 패킷을 단편화하여 보냄으로써 효율적인 전송을 가능하게 하였다. 주기적인 시간 민감 트래픽의 발생 환경에서 F/M based Gated Adaptive CoDel은 단편화 과정에서 발생하는 추가 데이터에 의한 오버헤드가 고려되지 않는다. 본 논문에서는 비주기적인 시간 민감 트래픽 환경에서 F/M based Gated Adaptive CoDel을 적용하여 단편화 과정에서 발생하는 추가 데이터에 의한 오버헤드가 알고리즘에 미치는 영향을 분석한다.

**키워드** : 시간 민감 트래픽, 버퍼블로터, 지연 조정, F/M based Gated Adaptive CoDel, Gated Adaptive CoDel

**Key Words** : TSN, Bufferbloat, Delay adjustment, F/M based Gated Adaptive CoDel, Gated Adaptive CoDel

### ABSTRACT

Time-sensitive traffic based on periodic time synchronization causes Bufferbloat while lowering performance. F/M based Gated Adaptive CoDel enables efficient transmission by fragmenting and sending packets so that they can be sent during the remaining time up to time-sensitive traffic time period. F/M based Gated Adaptive CoDel in the environment of periodic time-sensitive traffic does not take into account the overhead caused by the additional data generated in the fragmentation process. In this paper, we apply F/M based Gated Adaptive CoDel in aperiodic time-sensitive traffic environment to analyze the effect of overhead caused by additional data in the fragmentation process on algorithm.

### I. 서 론

통신 기술이 발전함에 따라 인터넷에 대한 접근성이 좋아지면서 인터넷 사용자의 수와 더불어 트래픽

발생량도 늘어나고 있다. 네트워크 스위치 내에 있는 버퍼의 크기는 유한하기 때문에 트래픽의 양이 늘어날수록 버퍼에 혼잡(Congestion) 발생 가능성이 증가하며, TCP에서는 패킷의 폐기로 인한 재전송 발생 가

※ 이 논문은 과학기술정보통신부가 지원한 ‘정보통신방송연구개발사업’의 지원을 받아 수행되었음.(과제번호 :2018-0-00846)

• First Author : Dongguk University Department of Information and Communication Engineering, ahrizwell@naver.com, 정희원

° Corresponding Author : Dongguk University Department of Information and Communication Engineering, jaehwoon@dongguk.edu, 정희원

논문번호 : 202107-156-B-RN, Received July 7, 2021; Revised August 17, 2021; Accepted August 25, 2021

능성이 증가하게 된다.

버퍼가 꽉까지 차오르게 될 경우, 버퍼는 테일 드롭(tail-drop) 방식을 통하여 패킷을 폐기하게 된다. TCP 기반의 동작에서 테일 드롭 방식으로 인한 패킷의 폐기는 송신 측에서 패킷의 재전송을 유발하고 이로 인하여 중단 간 지연이 발생하게 된다. 테일 드롭으로 패킷이 폐기된 중단들은 동시에 슬로우스타트(slow-start) 방식으로 패킷 전송율을 줄이고 또한 동시에 증가시키기 때문에 이로 인해 TCP 동기 현상이 발생하게 된다.

메모리 가격의 하락은 라우터나 스위치 등의 네트워크 장비에 있는 버퍼를 저렴한 가격에 큰 용량으로 구성할 수 있도록 하였다. 패킷의 폐기 및 재전송 요청은 버퍼의 크기에 영향을 받는다. 버퍼의 크기가 작으면 패킷의 폐기와 재전송 요청은 자주 일어나게 된다. 네트워크 관리자는 인터넷에서 발생하는 혼잡을 줄이고 네트워크 이용률(network utilization)을 높이기 위해 버퍼의 크기를 크게 구성하는 것이 가능하게 되었다.

버퍼의 크기가 크면 저장되는 패킷의 수가 증가하게 되고, 오랜 시간동안 버퍼에 잔류하는 패킷이 발생하게 된다. 버퍼에 잔류하는 패킷은 재전송을 요청하지 않기 때문에 버퍼에 체류하는 시간만큼 중단 간 지연이 증가하게 되는데, 이를 버퍼블로트(bufferbloat)라고 한다<sup>11</sup>. 버퍼블로트는 라우터나 스위치에서 과도하게 큰 버퍼를 사용할 때 발생하는 과도한 버퍼링이 원인이며, 버퍼의 크기가 클수록 중단 간 지연이 늘어난다.

버퍼블로트와 TCP 동기 현상을 해결하기 위하여 AQM(Active Queue Management) 기법이 제안되었다<sup>2</sup>. 초기 AQM 기법인 RED(Random Early Detection)는 패킷이 도착할 때마다 현재 버퍼에 저장되어 있는 패킷 수에 따라 확률적으로 패킷을 폐기한다. RED는 버퍼블로트를 해결하는데 도움을 주지만 확률적으로 패킷을 폐기하기 때문에 초기 매개 변수 설정이 어렵다는 문제점이 있다<sup>12</sup>.

CoDel(Controlled Delay) AQM은 RED와는 다르게 체류 지연(Sojourn Delay), 목표 지연(Target) 그리고 최초 폐기 간격(Interval)을 고려하여 확률적인 패킷 폐기가 아닌 설정 변수에 의한 패킷 폐기를 결정한다<sup>4</sup>. CoDel은 패킷의 체류 지연이 최초 폐기 간격을 초과한 경우, 체류 지연이 목표 지연을 초과하고 대기열의 길이가 MTU(Maximum Transmission Unit)보다 큰 경우에 패킷의 폐기를 결정한다. 패킷의 체류 지연은 현재 시간(now)에서 버퍼에 유입된 타임스탬프

프 값(enqueue time)을 뺀 값이다. CoDel은 스케줄러로부터 패킷 추출을 요청받으면 CoDel 알고리즘에 의해 추출된 패킷의 폐기 여부를 결정한다.

4차 산업 혁명 시대가 도래하면서 시간 민감 트래픽 처리 기술이 중요해졌다. 이에 따라 이더넷 기반의 시간 민감 트래픽을 처리하는 TSN(Time-Sensitive Network) 기술이 많은 주목을 받게 되었다<sup>5</sup>. TSN은 네트워크 전체를 정확하게 시간 동기화 하고 이더넷 환경에서 시간 동기 기반의 스케줄링을 이용하여 시간에 민감한 트래픽을 저 패킷 손실(low packet loss)과 저 지연(low delay), 저 지터(low jitter) 등을 보장하는 확정적 서비스를 제공한다. TSN은 시간에 민감한 트래픽을 확정적으로 제공하기 위하여 포워딩(Forwarding) 기술, 시간 동기화 기술, 경로 설정 및 자원 예약 기술, 무 손실 전달(Frame Replication and Elimination for Reliability) 기술을 사용한다.

이더넷 기반의 환경에서 시간 동기 기반의 스케줄링은 시간 민감 트래픽이 전송되는 구간과 비동기 트래픽이 전송되는 구간으로 나뉘어질 수 있다. 이를 비동기 트래픽의 관점에서 본다면, 게이트가 닫혀있는 동안에는 시간 민감 트래픽이 전송되고 게이트가 열린 동안에는 비동기 트래픽이 전송되는 것처럼 보이게 된다.

예를 들어 TSN으로 구성된 한 링크의 속도가 10Mbps이고 시간 민감 트래픽이 한 주기의 80%를 사용한다고 할 때, 비동기 트래픽을 전송할 수 있는 속도는 2Mbps가 된다. 시간 민감 트래픽이 전송되는 동안에 수신되는 비동기 패킷은 버퍼에 저장된다. 만일 버퍼의 크기가 크다면 비동기 패킷은 계속해서 버퍼에 쌓이게 되며, 이로 인하여 버퍼블로트가 발생하게 된다.

TSN 환경에서 비동기 트래픽에 발생하는 버퍼블로트를 해결하기 위한 한 가지 방법은 비동기 트래픽에 CoDel 기반의 AQM을 적용하는 것이다. 그렇지만 시간 민감 트래픽이 전송되는 기간 동안에도 버퍼 내에 저장되어 있는 비동기 패킷의 체류 지연은 증가하며 따라서 버퍼 내에 있는 비동기 패킷은 높은 체류 지연 값을 가지게 된다. 이 후 스케줄러에 의해 버퍼에서 추출된 비동기 패킷은 높아진 체류 지연 값으로 인하여 CoDel에 의한 패킷 폐기 확률이 높아진다.

Gated Adaptive CoDel은 TSN 환경에서 체류 지연 증가로 인한 비동기 패킷의 폐기 확률을 줄이기 위해 제안되었다<sup>6</sup>. Gated Adaptive CoDel은 비동기 트래픽 이 전송되는 구간에서만 체류 지연을 측정하기 때문에 높아진 체류 지연 값에 의한 패킷의 폐기 확률

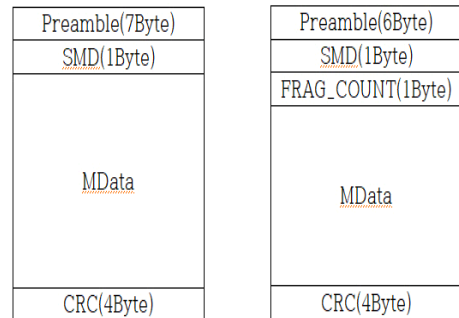
을 낮출 수 있다. 하지만 Gated Adaptive CoDel은 게이트가 닫히기까지 남은 시간이 버퍼에 저장되어 있는 하나의 비동기 패킷을 전송하는데 필요한 시간보다 짧은 경우, 비동기 패킷을 전송하지 못하여 채널을 낭비하는 문제점이 있다.

최근 TSN으로 구성된 하나의 링크에서 비동기 패킷을 송신 노드에서 단편화(Fragmentation)하고 수신 노드에서 병합(Merge)하는 기술이 정의되었다<sup>7)</sup>. 주기적으로 시간 민감 트래픽이 전송되는 환경에서 Gated Adaptive CoDel 알고리즘에 비동기 패킷의 단편화/병합을 적용하여 효율적인 전송이 가능한 F/M based Gated Adaptive CoDel 알고리즘이 제안되었다<sup>8)</sup>. 이 기법에서는 게이트가 닫히기까지 남아 있는 잔여 시간이 비동기 패킷을 전송하기에 부족한 경우, 해당 패킷을 단편화하여 잔여 시간 동안 단편화된 패킷을 전송하고 패킷의 나머지 부분은 다음 게이트가 열리는 시간에 전송한다. 그리고 수신 네트워크 장비는 단편화된 패킷을 받아 다시 조립한다. 이 기법에서 송신 노드는 게이트가 열리기까지 남아있는 시간을 계산하고, 이 시간에 맞도록 패킷을 단편화하여 전송함으로써 채널을 효율적으로 사용한다는 장점이 있다. 시간 민감 트래픽의 전송 시간이 미리 정해져 있는 경우, 송신 노드는 게이트가 언제 닫히는지를 미리 알고 있기 때문에 게이트가 닫히는 시간에 맞추어 미리 비동기 패킷을 단편화할 수 있다. 하지만 시간 민감 트래픽의 전송 시간이 미리 정해지지 않은 경우에는 송신 노드는 선제적으로 비동기 트래픽을 단편화할 수 없다. 즉, 비동기 트래픽이 전송되는 도중에 시간 민감 트래픽이 도착하면 시간 민감 트래픽은 전송 중인 비동기 트래픽의 단편화가 진행되는 시간만큼의 지연이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 이더넷 기반의 TSN 환경에서 시간 민감 트래픽이 비주기적으로 전송되는 경우에 F/M based Gated Adaptive CoDel의 성능을 분석하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.3 br에 정의된 패킷 단편화 양식에 대하여 설명한다. 3장에서는 시간 민감 트래픽이 비주기적으로 전송되는 경우에 F/M based Gated Adaptive CoDel의 동작에 대하여 설명한다. 4장에서는 OMNET++ 기반의 모의실험을 통하여 비주기적인 환경에서 F/M based Gated Adaptive CoDel의 성능을 분석하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. IEEE 802.3br 비동기 패킷 단편화 양식

[그림 1]은 IEEE 802.3br에 정의된 비동기 패킷의 단편화 양식을 보여준다. 패킷이 단편화될 경우, 단편화된 첫 번째 패킷은 [그림 1(a)]와 같이 일반 패킷 헤더의 SFD(Start of Frame Delimiter)가 SMD(Start Mframe Delimiter)로 바뀌며 나머지 부분은 동일하다. 이후 단편화된 패킷들은 [그림 1(b)]와 같이 패킷의 순서를 식별하기 위해 1Byte 크기의 FRAG\_COUNT라는 파라미터가 추가되며 Preamble의 크기는 1Byte 감소한 6Byte가 된다. 즉, 패킷은 단편화가 이루어질 때마다 CRC(Cyclic Redundancy Check)부분의 4Byte와 헤더 부분의 8Byte가 추가된다. 수신 노드에서는 SMD를 통하여 해당 노드가 단편화된 패킷인지, 일반 패킷인지를 구분할 수 있다. 만일 단편화된 패킷인 경우, 첫 번째 단편화된 패킷을 제외한 나머지 패킷들은 초기 FRAG\_COUNT값을 0으로 가지며 modulo 4의 값으로 설정되어 해당 단편화된 패킷이 몇 번째 단편인지를 구분한다. 단편화된 패킷은 CRC 결과 값을 0x0000FFFF 값과 XOR한 값이 포함된다. 단편화되지 않은 패킷이나 단편화된 패킷의 마지막 단편은 일반적인 CRC 계산이 이루어진다. 단편화된 패킷이 마지막 단편인지에 대한 판별 여부는 CRC 필드값을 통하여 확인이 가능하다. 만일 비동기 트래픽의 전송 도중 시간 민감 트래픽의 전송 요청이 들어오면, 송신 스위치는 전송 중인 패킷을 [그림 1(a)]과 같은 형태로 단편화하여 전송하고 남은 패킷을 [그림 1(b)]와 같이 헤더를 추가하여 버퍼에 저장한다. 그리고 시간 민감 트래픽의 전송이 종료되면 송신 스위치는 남은 패킷을 버퍼에서 추출하여 전송을



(a) 비동기 패킷의 첫 번째 단편 (b) 첫 번째 이후의 단편화 패킷

그림 1. IEEE 802.3br에 정의되어 있는 비동기 패킷 단편화 형식  
Fig. 1. Asynchronous packet fragmentation format defined in IEEE

시작한다.

#### IV. 모의 실험

### III. 비주기성을 갖는 시간 민감 트래픽 환경에서 F/M based Gated Adaptive CoDel

[그림 2]는 시간 민감 트래픽이 비주기성을 갖는 경우, F/M based Gated Adaptive CoDel의 동작에 대한 순서도를 보여준다. 비동기 트래픽이 전송중인 경우, 송신 스위치는 버퍼에서 패킷을 추출한 후 해당 패킷이 단편화된 패킷인지 아닌지를 확인한다. 만일 추출한 패킷이 단편화된 패킷이라면 송신 스위치는 패킷에 CoDel을 적용하지 않고 즉시 전송을 시작한다. 단편화된 패킷이 없다면 송신 스위치는 버퍼에서 추출한 패킷에 CoDel을 적용하여 패킷의 폐기 여부를 결정한다. 비동기 트래픽을 전송하는 도중에 시간 민감 트래픽이 발생하게 되면, 송신 스위치는 전송중인 비동기 패킷을 단편화하여 첫 번째 단편화 패킷은 전송하고 남은 단편화 패킷은 버퍼에 저장한 후 시간 민감 트래픽을 전송한다. 시간 민감 트래픽이 비주기적으로 발생하는 경우, 단편화된 패킷에는 CRC 4 byte 만큼의 오버헤드가 발생하는데, 이는 시간 민감 트래픽의 전송에 지연을 유발할 수 있다. 단편화 과정에서 발생하는 오버헤드가 중단 간 지연에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 모의 실험을 진행한다.

본 절에서는 시간 민감 트래픽에 on/off 모델을 적용하여 시간 민감 트래픽이 비주기적으로 발생하도록 하고, 해당 환경에서 F/M based Gated Adaptive CoDel의 성능을 분석한다. 실험 환경은 OMNET++을 이용하여 구축하였으며 네트워크 토폴로지는 [그림 3]과 같은 N : 1 덤벨 구조를 사용하였다. N 개의 클라이언트들은 100Mbps 속도의 이더넷망을 통해 송신 스위치와 연결되며 TCP 기반의 비동기 트래픽을 전송한다. 송신 스위치에는 또 다른 하나의 클라이언트가 연결되며, 이 클라이언트는 on/off 모델이 적용되어 비주기적으로 발생하는 시간 민감 트래픽을 전송한다. 시간 민감 트래픽은 off 상태일 경우에 전송이 진행되며, on 상태일 경우 전송은 중단된다. 송신 스위치는 백 홀 네트워크를 통하여 수신 스위치와 연결된다. 수신 스위치는 하나의 TCP 서버에 연결된다. 클라이언트들과 송신 스위치를 연결하는 링크는 100Mbps의 전송 속도를 가진다.

[표 1]은 모의 실험을 위하여 설정한 파라미터들의 값을 보여준다. 비동기 트래픽의 전송 속도는 10Mbps로 설정하고 TCP 단말의 개수는 16으로 설정한다. 16 개의 클라이언트들은 각각 1Mbyte, 1.5Mbyte, 2Mbyte의 비동기 트래픽을 전송한다. 즉, 발생하는 비동기 트래픽의 총 합은 16Mbyte, 24Mbyte, 또는 32Mbyte 이다. 시간 민감 트래픽은 하나의 클라이언

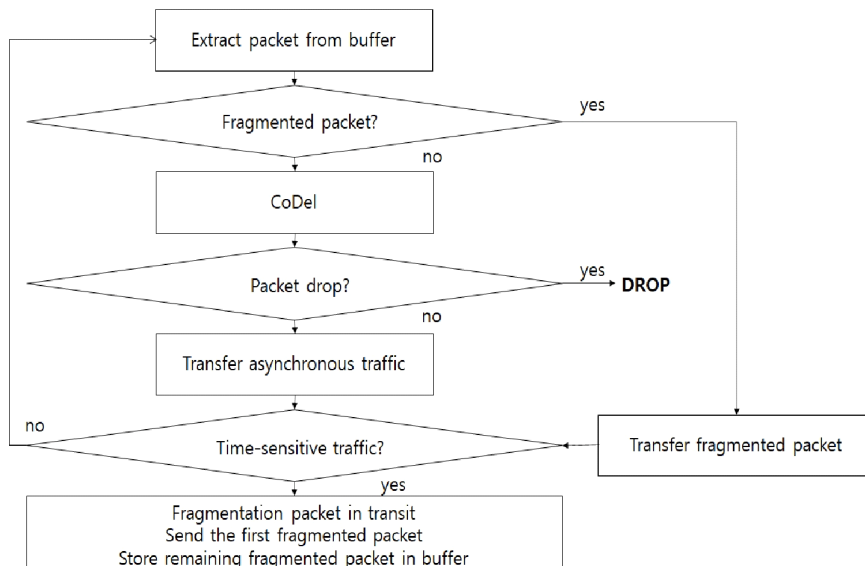


그림 2. on/off model이 적용된 F/M based Gated Adaptive CoDel flow chart  
Fig. 2. F/M based Gated Adaptive CoDel with on/off model flow chart

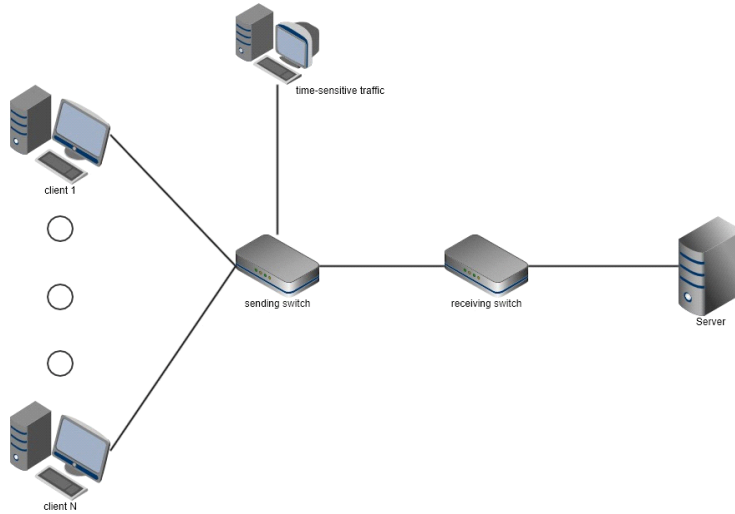


그림 3. 모의 실험 네트워크 구조  
Fig. 3. Simulation Network Topology

트에서 144Mbyte, 216Mbyte, 또는 288Mbyte만큼 전송한다. 목표 지연(Target)과 최초 폐기 간격(Interval)은 각각 CoDel AQM의 기본값(default)인 5ms, 100ms으로 설정한다. 시간 민감 트래픽이 전송되는 구간과 그렇지 않은 구간은 각각 지수분포(exponential distribution)를 갖는다고 가정한다. 즉, 시간 민감 트래픽이 전송되는 한 주기는 on 구간과 off 구간으로 이루어져 있다. on 구간은 평균  $1/\lambda$  을 갖는 지수분포로 이루어져 있으며 이 기간 동안에는 비동기 트래픽이 전송된다. 또한 off 구간은 평균  $1/\mu$  을 갖는 지수분포로 이루어져 있으며 이 기간 동안에는 시간 민감 트래픽이 전송된다. 이 모의실험에서는

평균 on 구간과 off 구간의 비율은 1:9로 고정하고 실험을 진행하였다.

[그림 4]는 비동기 트래픽의 초 데이터량이 32Mbyte일 때, 시간 민감 트래픽의 주기성에 따른 시간 민감 트래픽과 비동기 트래픽의 총 전송 시간을 보여준다. 여기에서  $1/\lambda=0.01$ 이고  $1/\mu=0.09$ 이다. TS\_traffic은 시간 민감 트래픽의 주기성에 따른 시간 민감 트래픽의 총 전송 시간을, Async\_traffic은 시간 민감 트래픽의 주기성에 따른 비동기 트래픽의 총 전송 시간을 보여준다. 시간 민감 트래픽이 주기적으로 발생하는 경우와 비주기적으로 발생하는 경우, 모두 동일한 비율로 시간 민감 트래픽과 비동기 트래픽을 전송하기 때문에 비동기 패킷의 전송 시간은 서로 비

표 1. 모의 실험 파라미터 설정  
Table 1. Configuration of Simulation Parameter

Parameter	Value
Asynchronous traffic bandwidth (Mbps)	10Mbps
TCP client number	16
TCP client transmission data (Mbyte)	1, 1.5, 2
TSN transmission data (Mbyte)	144, 216, 288
Target delay	5ms
Interval	100ms
Average on/off period ( $1/\lambda : 1/\mu$ )	0.005s : 0.045s 0.01s : 0.09s

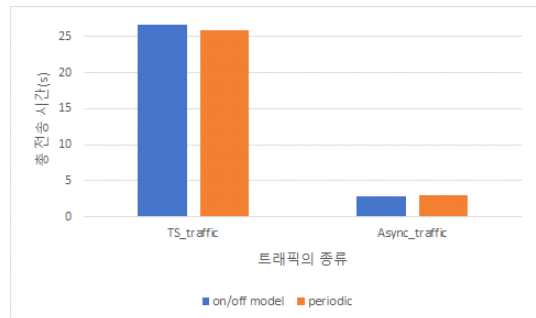


그림 4. 시간 민감 트래픽의 주기성에 따른 시간 민감 트래픽과 비동기 트래픽의 총 전송 시간  
Fig. 4. Total transmission time for time-sensitive and asynchronous traffic according to the periodicity of time-sensitive traffic

슷하다. 하지만 비주기적인 시간 민감 트래픽 발생 환경에서는 비동기 패킷 단편화 과정에서 오버헤드에 의한 지연이 발생한다. 따라서 시간 민감 트래픽이 비주기적으로 전송되는 경우가 시간 민감 트래픽이 주기적으로 발생하는 경우보다 더 오랜 시간이 걸린다.

[그림 5]는 한 주기가 0.05s 또는 0.1s인 경우에 비동기 패킷의 단편화로 인한 시간 민감 트래픽의 전송 지연을 보여준다. 성능 비교를 위하여 참고문헌 [8]에 정의된 방식의 모의 실험 결과는 파라미터 옆에 [8]로 표시하였다. 시간 민감 트래픽의 데이터량이 늘어날수록 시간 민감 트래픽이 비주기적으로 전송되는 환경에서 발생하는 지연시간과 시간 민감 트래픽이 주기적으로 전송되는 환경에서 발생하는 지연 시간의 차이가 커진다. 또한 시간 민감 트래픽이 비 주기적으로 전송되는 환경에서는 평균 on 구간이 짧아질수록 단편화 오버헤드에 의해 지연이 늘어나게 된다.

[그림 6]은 한 주기가 0.05s 또는 0.1s인 경우에 비동기 패킷의 단편화로 인한 시간 민감 트래픽의 처리율을 보여준다. 처리율은 총 전송 데이터를 총 전송

시간으로 나눈 값으로 정의된다. 시간 민감 트래픽의 데이터량이 적을 때는 비동기 패킷의 단편화가 많이 진행되지 않고, 버퍼블로트가 발생할 확률이 낮기 때문에 CoDel에 의한 패킷의 폐기가 적다. 하지만 시간 민감 트래픽의 데이터량이 증가할수록 비동기 패킷의 단편화가 많아지며, 버퍼블로트가 발생할 확률이 높기 때문에 CoDel에 의한 패킷의 폐기가 증가한다. 때문에 전송하는 데이터량이 늘어날수록 시간 민감 트래픽의 주기성에 관계 없이 처리율이 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 시간 민감 트래픽이 주기적으로 전송되는 경우에는 시간 민감 트래픽이 비주기적으로 전송될 때보다 전송 지연이 낮기 때문에 높은 처리율을 보인다.

### V. 결 론

통신 기술이 발전하면서 이더넷 기반의 시간 민감 트래픽을 처리할 수 있는 TSN 기술은 중요해지고 있다. Gated Adaptive CoDel은 게이트가 닫히기까지 남은 시간동안 비동기 패킷을 보낼 수 없으면 아무런 동작을 하지 않는다. F/M based Gated Adaptive CoDel은 주기적으로 전송되는 시간 민감 트래픽에 대하여 IEEE 802.3br에 정의된 비동기 패킷 단편화 양식을 이용하여 링크를 효율적으로 사용할 수 있도록 하였다. 하지만 시간 민감 트래픽이 비주기적으로 전송되는 경우, 비동기 패킷의 단편화 과정에서 오버헤드가 발생한다. 시간 민감 트래픽이 주기적으로 전송되는 환경에서 F/M based Gated Adaptive CoDel은 시간 민감 트래픽의 전송 요청이 언제 오는지 알 수 있어 사전에 전송중인 비동기 패킷의 단편화가 가능하다. 하지만 시간 민감 트래픽이 비주기적으로 전송되는 환경에서 F/M based Gated Adaptive CoDel은 시간 민감 트래픽의 전송이 요청된 순간 비동기 패킷의 단편화가 진행되며, 단편화 전송 후에야 비로소 시간 민감 트래픽이 전송되기 때문에 단편화 오버헤드로 인한 지연이 발생한다. 평균 on/off 주기의 비율을 같게 하고 주기를 다르게 하였을 경우, 평균 on/off 주기가 짧아질수록 시간 민감 트래픽은 비동기 패킷의 단편화가 많이 진행되기 때문에 전송 시간이 길어지게 되는 것을 확인할 수 있었다.

비동기 패킷의 오버헤드로 인한 시간 민감 트래픽의 지연이 전체 시스템에 큰 영향을 미치지 않는 환경에서는 엄격한 스케줄링 없이 시간 민감 트래픽이 전송될 수 있을 것이다. 그렇지만 공장 자동화, 무인 자동차와 같은 지연에 민감한 시간 민감 트래픽의 경우

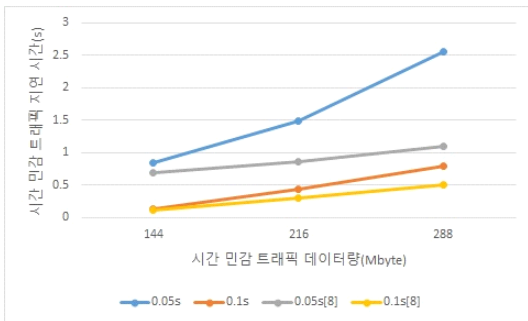


그림 5. 시간 민감 트래픽의 주기성/비주기성에 따른 시간 민감 트래픽 지연 시간  
Fig. 5. Time-sensitive traffic latency due to periodicity/apperiodicity of time-sensitive traffic

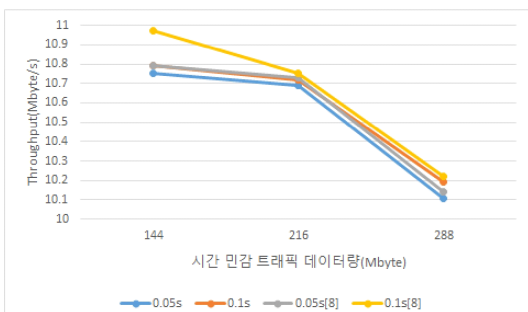


그림 6. 시간 민감 트래픽의 주기성/비주기성에 따른 시간 민감 트래픽 처리율  
Fig. 6. Time-sensitive traffic throughput due to periodicity/apperiodicity of time-sensitive traffic



에는 엄격한 타임 스케줄링을 통해 비동기 패킷의 단편화 오버헤드로 인해 발생하는 지연을 줄이는 것이 필요하다.

## References

- [1] J. Gettys and K. Nichols, "Bufferbloat : Dark buffers in the internet," *Queue*, vol. 9, no. 11, 2011.
- [2] *IEFT Active Queue Management and Packet scheduling Working Group* (concluded WG), see <https://datatracker.ietf.org/wg/aqm/about/>.
- [3] S. Floyd and V. Jacobson, "Random early detection gateways for congestion avoidance," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 1, no. 4, pp. 397-413, 1993.
- [4] K. Nichos and V. Jacobson, "Controlling queue delay," *Commun. ACM*, vol. 55, no. 7, pp. 42-50, 2012.
- [5] K. A. Nsiah, K. Alkhouri, and A. Sikora, "Configuration of wireless TSN networks," *2020 IEEE 5th IDAACS-SWS*, Dortmund, Germany, 2020.
- [6] M.-H. Son, C. H. Yoon, J.-W. Kim, and P.-S. Park, "Performance of controlled delay active queue management scheme for time sensitive networking with gated scheduling and its implementation," *J. IEIE*, vol. 56, no. 4, pp. 20-33, Apr. 2019.
- [7] IEEE 802.3 Ethernet working Group, "*IEEE 802br-Amendment 5: Specification and Management Parameters for Interspersing Express Traffic*," Jun. 2016.
- [8] H. Kim, J. H. Lee, and C. H. Yoon, "An efficient F/M-based gated adaptive CoDel algorithm in TSN network," *J. IEIE*, vol. 57, no. 09, Sep. 2020.

## 김 현 수 (Hyunsoo Kim)



2020년 2월 : 동국대학교 정보통신공학과 학사 졸업  
2020년 2월~현재 : 동국대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> 컴퓨터 네트워크, 블록체인

## 이 재 훈 (Jaehwoon Lee)



1985년 : 한양대학교 전자공학과 학사 졸업  
1987년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
1987년~1990년 : 데이콤  
1990년~1999년 : 삼성전자 정보통신총괄

1999년~현재 : 동국대학교 정보통신공학과 정교수  
<관심분야> 초고속통신망, 다중 액세스 프로토콜, 인터넷 프로토콜