

# IoT 네트워크의 트래픽 셰이핑 기법 연구

최창원\*

한신대학교 AI.SW 계열 교수

## A Study on the IoT Network Traffic Shaping Scheme

Changwon Choi\*

Professor, School of Computing and Artificial Intelligence, Hanshin University

**요약** IoT 네트워크는 다양한 기기들을 연결하는 구조로서 많은 분야에서 활용되고 있으며 대부분의 연구들은 응용 분야나 플랫폼 설계, 보안 적용 등의 분야에서 수행되었지만 IoT 네트워크의 트래픽 제어에 대한 연구는 많이 진행되지 않았다. 본 논문에서는 IoT 네트워크에서 게이트웨이(싱크 노드)가 처리하는 트래픽을 유형별로 제어할 수 있는 트래픽 셰이핑 기법을 제안하고 이 모델을 수치해석 방법으로 분석하고 시뮬레이션을 통해 제안 기법의 적합성을 제시하였다. 제안된 트래픽 셰이핑 기법은 실시간 트래픽을 중심으로 전송하는 게이트웨이와 비실시간 트래픽을 전송하는 게이트웨이로 구분하고 무선 방식이 대부분인 센서 네트워크의 특성을 반영하여 분석하고 전송 처리율을 구하였다. 실험 결과 수치 해석적 분석과 시뮬레이션이 유사한 결과를 보임으로써 제안된 트래픽 제어 기법의 효율성을 확인할 수 있었다.

**주제어** : 트래픽 제어 기법, 싱크 노드, 센서 네트워크, IoT 네트워크

**Abstract** This study propose the traffic shaping scheme on IoT Network. The proposed scheme can be operated on the gateway which called sink node and control the IoT traffic with considering the traffic type(real-time based or non real-time based). It is proved that the proposed scheme shows a efficient and compatible result by the numerical analysis and the simulation on the proposed model. And the efficient of the proposed scheme by the numerical analysis has a approximate result of the simulation.

**Key Words** : Traffic Shaping Scheme, Sink Node, Sensor Network, IoT Network

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 목적

IoT 네트워크는 지능화된 사물들이 서로 연결되어 네트워크를 통해 사물과 사물, 사물과 사람 간에 상호 소통하고 상황인식 기반의 지식이 결합되어 지능적인 서비스를 제공하는 인프라이다. 다양한 분야에 적용될 수 있으며 수많은 센서 노드들로 구성되어 있는 무선 센서 네트워크는 한정적인 자원을 가지고 온도나 습도, 공기의 질

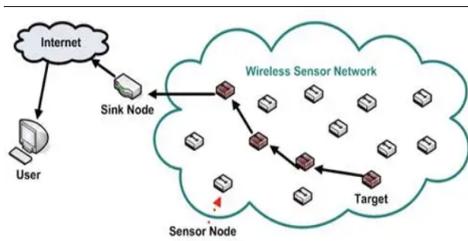
과 같은 환경 파라미터를 감지하기 위해 배치된다[1]. 무선 센서 네트워크는 센서노드와 게이트웨이로 구성된다. 센서 노드들은 물리적 환경을 측정하고 게이트웨이 노드(싱크 노드)로 데이터를 전송한다. 게이트웨이는 센서 노드로부터 데이터를 종합하고 서버나 브로커에게 데이터를 전송한다.

IoT 네트워크는 다수의 싱크 노드로 전달된 데이터를 처리하기에 원활한 서비스를 제공하기 위해서는 안정된 트래픽 제어 방법이 요구된다.

이 논문은 한신대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

\*교신저자 : 최창원(won@hs.ac.kr)

접수일 2023년 9월 27일 수정일 2023년 11월 22일 심사완료일 2023년 11월 24일

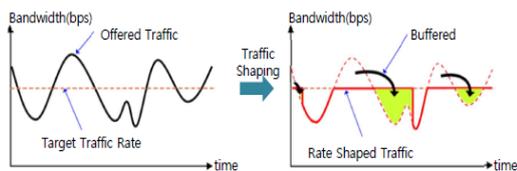


[Fig. 1] IoT Network &amp; WSN

다수의 게이트웨이에서 발생하는 데이터들은 유무선 방식으로 서버나 브로커에 전달되며 최근에는 IoT 네트워크의 특성 상 Ad-Hoc 네트워크 형태로 구성되며 무선 방식(IEEE 802.11 계열)이 많이 사용되고 있다.

802.11(CSMA/CA) 프로토콜은 DCF(distributed coordination function) 방식을 이용하여 MAC을 구현하는데 DCF는 이진 지수 백오프(binary exponential backoff)를 사용하여 패킷 전송을 원하는 게이트웨이가 유휴 채널을 DIFS (distributed interframe space) 시간 동안 carrier sensing하고 임의의 시간만큼 백 오프한 후 전송을 시도하게 한다. 무선 환경에서는 전송된 패킷의 충돌 여부를 알지 못하므로 ACK 프레임의 수신 여부로 충돌 여부를 추측한다.

본 논문은 이러한 IoT 네트워크의 특성 상 다수의 싱크 노드(게이트웨이)에서 발생하는 트래픽을 안정되게 관리하기 위한 트래픽 제어 기법을 제안한다. 일반적인 네트워크의 트래픽 셰이핑 기법은 전달되는 트래픽의 양을 일정 수준으로 제어하는 기법으로 트래픽의 양이 과도하게 높아질 경우 버퍼에 캐싱하고 이후 네트워크 상태에 연동하여 캐싱된 트래픽을 전송하는 방식이다. 이때 버퍼가 가득 찰 경우 일부 패킷들을 폐기한다. 트래픽 셰이핑 기법은 다운 스트림 속도가 업 스트림 속도보다 낮거나 버스트 트래픽이 발생될 경우 업 스트림 장비에 적용하는 경우가 효율적이다[2].



[Fig. 2] Traffic Shaping Concept

본 논문은 다양한 데이터가 혼재되어있는 IoT 네트워크에 실시간(Real Time) 처리가 필요한 게이트웨이노드와 실시간 처리가 중요하지 않은 게이트웨이 노드간의

우선 순위를 제공하여 실시간 데이터 게이트웨이의 데이터가 안정적으로 제공될 수 있는 트래픽 셰이핑 기법을 제안한다.

## 1.2 관련 연구

Lee[3][11,12]의 연구는 IoT 네트워크의 서버 대역폭을 제어하기 위한 스무딩(Smoothing) 기법을 제안하였으며 본 연구에서 다루고 있는 싱크 노드(게이트웨이)와 서버 간의 트래픽 제어 영역이 아닌 서버 측의 트래픽 제어 방식이다. Park[1]은 IoT 네트워크와 센서 네트워크의 효율적 연결을 위한 게이트웨이를 설계하고 이에 대한 활용 방안에 대해 연구하였으며 MQTT, CoAP, XMPP 프로토콜들을 수용하는 방법을 제안하였다. 센서 네트워크의 특성을 활용하기 위해 센서의 인증 프로토콜을 설계하고 기밀성 및 무결성을 제공하는 Shin[4]의 연구는 다양한 센서의 보안성을 강화하기 위한 방안으로 트래픽 제어 방안이 확보되는 것을 전제로 진행하였다. 무선 네트워크의 트래픽 제어를 위한 연구들로 Bianchi[5]는 백오프 단계와 백오프 카운터를 이용한 이차원 마코프 모형을 이용하여 트래픽이 혼잡(포화) 상태에서의 DCF 전송 처리율을 계산하였지만 혼잡 상태 하에서는 각 게이트웨이의 전송 대기열에 항상 전송할 패킷이 존재하고, 실제 상황에서는 게이트웨이의 대기열에 전송할 패킷이 없는 게이트웨이의 유휴 상태도 발생한다. 이러한 유한 트래픽(finite traffic load) 가정 하에서의 성능 분석은 좀 더 복잡해진다[6,7].

일반적으로 ACK를 수신하지 못한 경우 백오프 카운트를 증가시키며 재전송을 시도하지만 IoT 네트워크의 실시간 트래픽의 경우, 패킷 송신의 시간이 길어지면서 지연 시간이 일정 수준 이상으로 증가되는 경우가 발생한다. 따라서, 최종 백오프 단계에서도 전송에 실패한 데이터에 대하여 지속적인 재전송을 시도하는 기존의 DCF는 실시간 트래픽에는 적절하지 않게 된다.

본 논문에서는 실시간 데이터(RT)를 전송하는 게이트웨이와 비실시간 데이터(Non-RT)를 전송하는 게이트웨이 노드가 혼재된 IoT 네트워크에 기본 DCF 방식을 적용되 재전송 메카니즘과 백오프 윈도우를 데이터 유형별로 구분하여 모델링하고 그에 따른 각 유형별 전송 처리율과 전체 전송 처리율을 계산한다. 제안된 모델은 첫째, 포화 상태를 가정하지 않아서 생기는 게이트웨이의 유휴 상태를 고려하였으며 둘째, 슬롯 단위로 트래픽을 관측하지 않고 IoT 트래픽의 특성을 고려하여 트래픽의 변화를 기반으로 세션 단위로 관측하는 개념을 도입하였다.

## 2. 제안 트래픽 제어 모델 분석

### 2.1 트래픽 유형

IoT 네트워크에서 발생하는 트래픽을 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽의 두 유형으로 구분하여 모델링하였다.  $N$ 개의 게이트웨이들이 DCF방식을 이용하여 패킷을 전송하고자 할 때,

- $N^{(1)}$  : 비실시간 전송 게이트웨이(유형 1)
- $N^{(2)}$  : 실시간 전송 게이트웨이(유형 2)

유형 1은 전송에 성공할 때까지 계속 재전송을 시도하여 패킷 손실(packet loss)을 허용하지 않으며, 유형 2는 마지막 백오프 후 전송 실패 시 패킷 손실이 발생한다고 가정한다. 즉, 유형 2 트래픽이 유형 1 트래픽보다 우선 순위가 높다고 할 수 있다. 또한 각 게이트웨이의 상태는 채널 상태와 전송 버퍼에 있는 패킷의 수에 따라 결정되고 각각 독립적으로 행동한다고 가정한다.

시간을 길이가  $\delta$ 인 슬롯 단위로 나누어 전송 상태에 따라 시간을 다음 세 종류의 이산 구간으로 구분한다.

- ① 전송이 발생하지 않는 구간 : 한 개의 슬롯
- ② 전송 시작 시점에서부터 부수적인 동작까지 처리될 때까지의 구간 :

성공한 전송(Success) 시간  $T_s^{(i)}$  = (유형  $i$ 의 트래픽 전송 시간 + SIFS + ACK + DIFS)( $i=1,2$ )

- ③ 충돌된(Congestion) 전송 시간  $T_c^{(i)}$  = (유형  $i$ 의 트래픽 전송 시간 + DIFS)

이산 구간들을 모두 슬롯 단위의 변환을 위해

- $t_c^{(i)}$  슬롯 : 트래픽 전송에만 소요되는 시간
- $t_s^{(i)}$  슬롯 : 트래픽 전송 시간 + SIFS + ACK
- 한 개의 DIFS :  $D$ 개의 슬롯으로 구성하면

전송이 성공할 경우,  $(t_s^{(i)} + D)$  슬롯이 경과한 후 모델을 관찰하며, 충돌이 발생한 전송의 경우는  $(t_c^{(i)} + D)$  슬롯 후 관찰한다. 각 유형별로  $m$ 번째 백오프를 구성하는 슬롯의 수를  $W_m^{(i)}$ 이라 하면,  $W_m^{(i)} = 2^{m-1} W_{\min}^{(i)}$  이 되며, 유형별 최대 백오프 단계는  $M^{(i)}$ 로 한다.

이제 임의의 시점에서 유형 1 게이트웨이와 유형 2 게이트웨이들은 다음 세 종류의 상태 중 하나에 속하게 된다.

- (S1)  $I$  : 전송할 트래픽이 없는 상태
- (S2)  $(S, l)$  : 하나의 세션이 시작된 후 첫 번째 패킷이  $l$  슬롯 시간이 지나고 첫 번째 DIFS가 완료되는 상태 단,  $l=0, 1, \dots, (D-1)$

- (S3)  $(n, m, l)$  : 게이트웨이 버퍼에  $n$ 개의 패킷이 대기하고 있고, 현재  $m$ 번째 백오프 과정을 진행 중이며, 백오프 카운터는  $l$  인 상태.

단,  $n=1, 2, 3, \dots, l=0, \dots, (W_m^{(i)}-1), m=1, \dots, M^{(i)}$

### 2.2 제안 모델 분석

게이트웨이가 전송할 트래픽이 없는 유휴 상태(Idle)는  $I$  (S1)이다. 유형  $i$  게이트웨이가 한 세션 동안 전송할 패킷이  $n$ 개일 확률을  $f_n^{(i)}$ 이라 하자. 이때, 한 세션 동안 전송되는 평균 패킷 수를  $\bar{P}^{(i)}$ 라 정의하면

$$\bar{P}^{(i)} = \sum_{n=1}^{\infty} n \bar{f}_n^{(i)}, \quad \text{단, } \bar{f}_n^{(i)} = \sum_{j=n}^{\infty} f_j^{(i)}$$

아울러 유형  $i$  게이트웨이가 유휴 상태를 벗어나는데 필요한 슬롯의 수는 성공 확률이  $\lambda^{(i)}$ 인 기하 분포를 따른다고 가정한다.

첫 번째 패킷의 DIFS에 대하여 (S2) 상태 즉, 상태  $(S, l)$ 은 세션의 첫 번째 패킷이 이미  $(D-l)$  슬롯을 지났기에 DIFS 완료를 위해서는  $l$  슬롯만 지나면 된다. IEEE 802.11 방식에 의해 유휴 채널을 DIFS 동안 대기 후, 백오프 절차를 수행하여 매 슬롯의 끝에 백오프 카운터  $l$ 을 1씩 감소시켜 백오프 카운터가 영이 되면 게이트웨이는 전송을 시도한다. 전송이 성공할 경우, 패킷의 수  $n$ 은 1 감소하고 백오프 단계는 1로 재설정되며, 충돌일 경우 백오프 단계를 1 증가시킨다.

이제  $x_I^{(i)}, x_{S,l}^{(i)}, x_{n,m,l}^{(i)}$ 을 유형  $i$ 인 임의의 게이트웨이가 평형 상태에서 각각  $I, (S, l), (n, m, l)$  상태에 있을 확률이라고 하자.  $\tau^{(i)}$ 를 임의의 이산 구간동안 유형  $i$  게이트웨이가 패킷을 전송할 극한 확률로 정의하고 유형  $i$  패킷의 전송 확률이라 부르면, 전송은 백오프 카운터가 제로가 될 때 일어나므로 전송 확률은

$$\tau^{(i)} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{M^{(i)}} x_{n,m,0}^{(i)}$$

또한, 임의의 유형  $i$  게이트웨이에 대하여 이 게이트웨이를 제외한 나머지  $(N^{(i)}-1)$  게이트웨이들과 다른 유형인  $N^{(j)}$  게이트웨이들(단,  $j=1, 2, j \neq i$ ) 중에서 정확히  $k$ 개의 게이트웨이(들)만 전송을 시작할 확률을  $p_k^{(i)}$ ,  $k$ 개 이상의 게이트웨이들이 전송을 시작할 확률을  $\bar{p}_k^{(i)}$ 라 정의하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$p_0^{(i)} = (1 - \tau^{(i)})^{N^{(i)}-1} (1 - \tau^{(j)})^{N^{(j)}} \quad (2.1)$$

$$p_1^{(i)} = (N^{(i)}-1) \tau^{(i)} (1 - \tau^{(i)})^{N^{(i)}-2} (1 - \tau^{(j)})^{N^{(j)}} + N^{(j)} \tau^{(j)} (1 - \tau^{(j)})^{N^{(j)}-1} (1 - \tau^{(i)})^{N^{(i)}-1} \quad (2.2)$$

$$\overline{p}_1^{(i)} = 1 - p_0^{(i)} \quad (2.3)$$

$$\overline{p}_2^{(i)} = 1 - p_0^{(i)} - p_1^{(i)} \quad (2.4)$$

이제 전송 확률  $\tau^{(i)}$ 에 대한 임의의 초기 값에서 시작하여, 그 값이 수렴할 때까지 매 단계마다 전송 확률을 업데이트시키는 과정은 다음과 같다.

- ① 임의 단계의 전송 확률이 일정 값보다 크다면 전송 상태에 돌입할 확률이 커지므로 충돌 확률이 커진다. 따라서 각 게이트웨이가 통상적으로 경험하게 되는 백오프 절차의 단계가 높아지게 된다.
- ② ①은 게이트웨이가 전송상태에 돌입할 확률을 낮추는 결과를 유도하여 다음 단계의 전송 확률은 일정 값보다 작아진다.
- ③ 따라서 과정이 반복됨에 따라 전송 확률은 일정 값에 수렴하게 된다.

1) Step 1 : 전송 확률을 초기화한다.

$$\tau_{\min}^{(i)} = 0.0 \ \& \ \tau_{\max}^{(i)} = 1.0 \ \& \ \tau^{(i)} = 0.5 (\tau_{\min}^{(i)} + \tau_{\max}^{(i)}) \quad i = 1, 2$$

2) Step 2 :  $\tau_{new}^{(i)}$  를 구한다.

현재의  $\tau^{(i)}$ 를 이용하여  $p_k^{(i)}$ 와  $\overline{p}_k^{(i)}$ 를 계산한다.

(식 (2.1)-(2.4))

$$x_{1,1,0}^{(i)} = \frac{1 - p_0^{(i)} (1 - \lambda^{(i)}) - p_1^{(i)} (1 - \lambda^{(i)})^{L_0 + D} - \overline{p}_2^{(i)} (1 - \lambda^{(i)})^{L_0 + D}}{(1 - \lambda^{(i)})^D}$$

$$x_{S,l}^{(i)} = \lambda^{(i)} [x_{1,1,0}^{(i)} + p_1^{(i)} (1 - \lambda^{(i)})^{L_0} + \overline{p}_2^{(i)} (1 - \lambda^{(i)})^{L_0}]$$

$$\times \frac{1 - [(1 - \lambda^{(i)}) p_0^{(i)}]^{D-l}}{1 - (1 - \lambda^{(i)}) p_0^{(i)}} (1 - \lambda^{(i)})^l + \lambda^{(i)} (p_0^{(i)})^{D-l}$$

$$c_0^{(i)} = x_{S,0}^{(i)} p_0^{(i)} + \sum_{l=0}^{D-1} x_{S,l}^{(i)} \overline{p}_1^{(i)}$$

$$+ [\overline{p}_1^{(i)} - p_1^{(i)} (1 - \lambda^{(i)})^{L_0} - \overline{p}_2^{(i)} (1 - \lambda^{(i)})^{L_0}]$$

2-1)  $\tau_{new}^{(1)}$  를 계산한다.

$$\alpha^{(1)} = 1 + \left( \sum_{l=0}^{D-1} x_{S,l}^{(1)} \right) + (d_0^{(1)} \overline{P}^{(1)}) \left( \sum_{m=1}^M \frac{(p_1^{(1)})^{m-1}}{(1 - p_1^{(1)})^{l(m-1)}} \frac{H_m^{(1)} + 1}{2} \right)$$

$$\tau_{new}^{(1)} = \frac{c_0^{(1)} \overline{P}^{(1)}}{\alpha^{(1)}} \frac{1}{1 - p_1^{(1)}}$$

2-2)  $\tau_{new}^{(2)}$  를 계산한다.

$$\alpha^{(2)} = 1 + \left( \sum_{l=0}^{D-1} x_{S,l}^{(2)} \right) + (d_0^{(2)} \overline{P}^{(2)}) \left( \sum_{m=1}^M \frac{(p_2^{(2)})^{m-1}}{(1 - p_2^{(2)})^{l(m-1)}} \frac{H_m^{(2)} + 1}{2} \right)$$

$$\tau_{new}^{(2)} = \frac{c_0^{(2)} \overline{P}^{(2)}}{\alpha^{(2)}} \frac{1 - (p_1^{(2)})^{M^{(2)}}}{1 - p_1^{(2)}}$$

3) Step 3 : 아래 조건에 따라  $\tau^{(i)}$ 를 업데이트한다.

$$3-1) \text{ if } |\tau_{new}^{(1)} - \tau^{(1)}| > |\tau_{new}^{(2)} - \tau^{(2)}| \quad \&$$

$$\tau_{new}^{(1)} < \tau^{(1)}, \quad \tau_{\max}^{(1)} = \tau^{(1)}$$

$$3-2) \text{ if } |\tau_{new}^{(1)} - \tau^{(1)}| > |\tau_{new}^{(2)} - \tau^{(2)}| \quad \&$$

$$\tau_{new}^{(1)} > \tau^{(1)}, \quad \tau_{\min}^{(1)} = \tau^{(1)}$$

$$3-3) \text{ if } |\tau_{new}^{(1)} - \tau^{(1)}| < |\tau_{new}^{(2)} - \tau^{(2)}| \quad \&$$

$$\tau_{new}^{(2)} < \tau^{(2)}, \quad \tau_{\max}^{(2)} = \tau^{(2)}$$

$$3-4) \text{ if } |\tau_{new}^{(1)} - \tau^{(1)}| < |\tau_{new}^{(2)} - \tau^{(2)}| \quad \&$$

$$\tau_{new}^{(2)} > \tau^{(2)}, \quad \tau_{\min}^{(2)} = \tau^{(2)}$$

$$3-5) \tau^{(i)} = 0.5 (\tau_{\min}^{(i)} + \tau_{\max}^{(i)}) \text{ 를 재계산한다.}$$

4) Step 4 :  $\tau^{(1)}$ 과  $\tau^{(2)}$ 가 수렴할 때까지 Step 2 - Step 3을 반복한다.

다음으로 채널 전송 처리율을 구한다. 전송 처리율은 단위 슬롯 시간당 전송 가능한 정보량으로 채널이 성공 전송에 소요되는 시간의 비율과 동일하다.

$p_S^{(i)}$ 는 임의의 이산 구간동안 채널에서 유형  $i$  게이트웨이가 성공적으로 전송할 확률,  $p_C^{(i)}$ 는 유형  $i$  게이트웨이의 트래픽이 충돌 전송할 확률,  $p_C^{(3)}$ 은 서로 다른 유형의 게이트웨이가 충돌 전송을 발생시킬 확률로 정의한다. 또한  $p_I$ 는 임의의 이산 구간 동안 채널이 유휴 상태에 있을 확률이라고 하면 이 확률들은 유형별 전송확률과 게이트웨이의 수를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$p_I = (1 - \tau^{(1)})^{N^{(1)}} \times (1 - \tau^{(2)})^{N^{(2)}}$$

$$p_S^{(1)} = N^{(1)} \times \tau^{(1)} \times (1 - \tau^{(1)})^{N^{(1)}-1} \times (1 - \tau^{(2)})^{N^{(2)}}$$

$$p_S^{(2)} = N^{(2)} \times \tau^{(2)} \times (1 - \tau^{(2)})^{N^{(2)}-1} \times (1 - \tau^{(1)})^{N^{(1)}}$$

$$p_C^{(1)} = (1 - (1 - \tau^{(1)})^{N^{(1)}} - N^{(1)} \times \tau^{(1)} \times (1 - \tau^{(1)})^{N^{(1)}-1}) \times (1 - \tau^{(2)})^{N^{(2)}}$$

$$p_C^{(2)} = (1 - (1 - \tau^{(2)})^{N^{(2)}} - N^{(2)} \times \tau^{(2)} \times (1 - \tau^{(2)})^{N^{(2)}-1}) \times (1 - \tau^{(1)})^{N^{(1)}}$$

$$p_C^{(3)} = (1 - (1 - \tau^{(1)})^{N^{(1)}}) \times (1 - (1 - \tau^{(2)})^{N^{(2)}})$$

따라서, 유형 1 게이트웨이의 전송 처리율은

$$\frac{p_S^{(1)} \times T_S^{(1)}}{p_I \times \delta + p_S^{(1)} \times T_S^{(1)} + p_S^{(2)} \times T_S^{(2)} + p_C^{(1)} \times T_C^{(1)} + p_C^{(2)} \times T_C^{(2)} + p_C^{(3)} \times T_C^{(3)}}$$

유형 2 게이트웨이의 전송 처리율은

$$\frac{p_S^{(2)} \times T_S^{(2)}}{p_I \times \delta + p_S^{(1)} \times T_S^{(1)} + p_S^{(2)} \times T_S^{(2)} + p_C^{(1)} \times T_C^{(1)} + p_C^{(2)} \times T_C^{(2)} + p_C^{(3)} \times T_C^{(3)}}$$

채널의 전체 전송처리율은

$$\frac{p_s^{(1)} \times T_s^{(1)} + p_s^{(2)} \times T_s^{(2)}}{p_i \times \delta + p_s^{(1)} \times T_s^{(1)} + p_s^{(2)} \times T_s^{(2)} + p_c^{(1)} \times T_c^{(1)} + p_c^{(2)} \times T_c^{(2)} + p_c^{(3)} \times T_c^{(3)}}$$

으로 주어진다. 단, 식에서  $T_c^{(3)} = \text{Max}(\text{유형 1 패킷 전송시간, 유형 2 패킷 전송 시간}) + \text{DIFS}$  이다.

### 3. 모델 성능 평가

제안 모델의 성능을 평가하기 위해 NS-2를 이용하여 시뮬레이션하였으며 사용한 파라미터들은 <Table 1>과 같다.

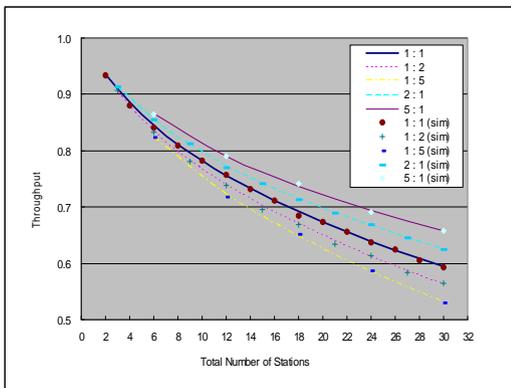
<Table 1> Simulation Parameters

Item	Number of Slots
Traffic	172
SIFS	5
ACK	5
DIFS	3

유형별 게이트웨이의 비율과 전체 게이트웨이의 수를 변화시켜 가면서 전송 처리율을 비교하였다.

- 1) 유형 1의 최소 백오프 윈도우 : 32
- 2) 유형 2의 최소 백오프 윈도우 : 16
- 3) 최대 백오프 단계 : 4
- 4) 한 슬롯 동안 유휴 상태 탈출 확률 : 0.01
- 5) 세션당 평균 패킷 수 : 70

[Fig. 3]은 유형 1 게이트웨이와 유형 2 게이트웨이의 비율이 1:1, 1:2, 1:5, 2:1, 5:1인 경우 전체 게이트웨이의 수에 대한 전송 처리율이며 분석에 의한 결과는 선으로, 시뮬레이션 결과는 점으로 나타내었다. 모델에 대한 분석 결과와 시뮬레이션 결과가 유사한 결과를 보이는 것을 확인할 수 있다.

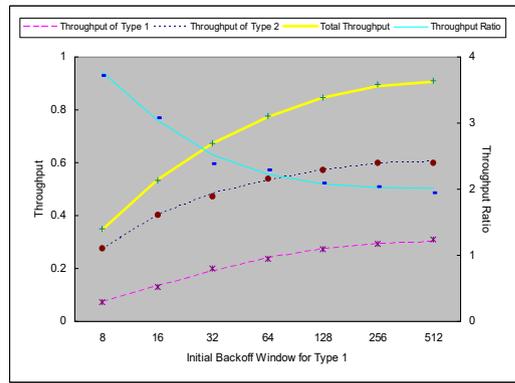


[Fig. 3] Throughput vs. Total Number of G/Ws

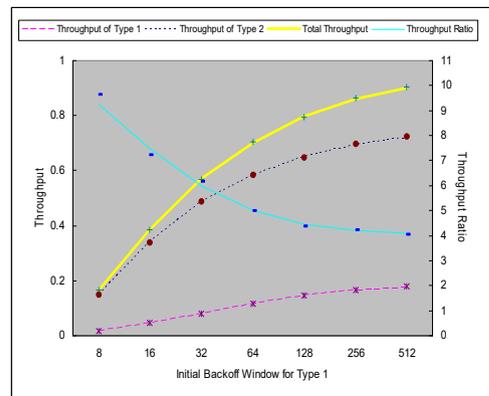
전체 게이트웨이 수가 증가함에 따라 전송처리율은 점점 낮아지며, 유형별 게이트웨이의 비율이 동일한 경우와 비교하여 유형 2 게이트웨이의 비율이 높아질수록 전송 처리율은 감소되는 것을 확인할 수 있다.

다음은 유형별 게이트웨이의 비율이 동일한 경우에 대하여 전체 게이트웨이의 수가 4, 20인 경우, 최소 백오프 윈도우의 크기를 변화시켜가며 전송 처리율을 비교하였다. 유형 2 게이트웨이의 최소 백오프 윈도우는 유형 1의 절반인 경우와 1/4인 경우를 시뮬레이션하였다.

[Fig. 4]와 [Fig. 5]에서는 각 유형별 전송 처리율과 채널 전체 전송 처리율, 그리고 두 유형의 전송처리율간의 비율(ratio)을 계산하여 나타내었다.



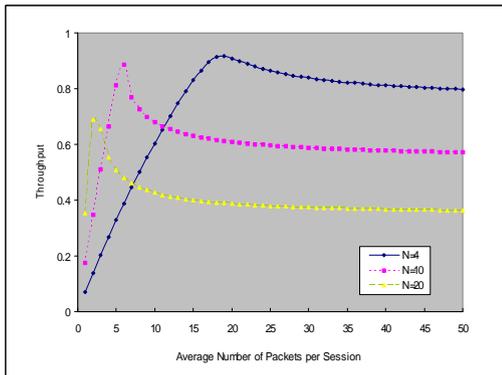
[Fig. 4] Throughput vs. Initial Backoff Window (N=20, W(2)=W(1)/2)



[Fig. 5] Throughput vs. Initial Backoff Window (N=20, W(2)=W(1)/4)

유형 2의 전송 처리율은 유형 1의 전송 처리율보다 낮다. 유형 2의 최소 백오프 윈도우가 유형 1의 절반인 경우에는 전송 처리율의 비율이 대략 2에서 4 정도이므로

모델 분석에 근접한 것을 확인할 수 있다. 하지만, 유형 2의 최소 백오프 윈도우가 유형 1의 1/4인 경우 두 유형별 전송 처리율에 심각한 차이가 존재함을 알 수 있다. (Fig. 5) 이는 시뮬레이션의 결과가 대체로 모델 분석 결과와 대략적으로 일치하지만 유형별 전송 처리율은 전체 채널 전송 처리율의 정확도와는 차이가 있음을 확인할 수 있다.



[Fig. 6] Throughput vs. Average Number of Packets per Session

[Fig. 6]은 게이트웨이가 유휴 상태를 벗어날 수 있는 탈출 확률이 1/10000인 경우, 세션당 평균 패킷 수를 변화시켜 가며 전송 처리율을 비교한 결과이다. 전체 게이트웨이의 수를 4, 10, 20으로 하였을 때, 세 경우 모두 세션당 패킷 수가 커짐에 따라 최대 전송 처리율에 도달한 후 전송 처리율이 혼잡 전송 처리율에 수렴함을 알 수 있다. 특히 게이트웨이의 수가 작을수록 최대 전송처리율과 혼잡 전송 처리율에는 큰 차이를 보였다.

#### 4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 IoT 네트워크에서 게이트웨이(싱크 노드)가 처리하는 트래픽의 유형별로 효율적 제어 기능을 제공할 수 있는 트래픽 셰이핑 기법을 제안하고 이를 수치해석 방법으로 분석하고 시뮬레이션을 통해 제안 방식의 적합성을 제시하였다. 제안된 트래픽 셰이핑 기법은 실시간 트래픽을 중심으로 전송하는 게이트웨이와 비실시간 트래픽을 전송하는 게이트웨이로 구분하고 무선 방식이 대부분인 IoT 네트워크의 특성을 반영하여 분석하고 전송 처리율을 구하였다. 일부 백오프 윈도우의 변화에 따라 전송 처리율의 정확도가 수치 해석상 결과와 차

이가 발생하는 현상은 실험 파라미터의 설정이 좀 더 세밀하게 설계되어야 하겠다.

IoT 네트워크가 앞으로 유선에 기반한 전통적인 방식보다는 무선 또는 모바일 망에 기반한 방식으로 발전할 것이기에 본 연구가 효율적이고 실시간 기반의 트래픽을 효율적으로 제어할 수 있는 방안으로 활용되기를 기대한다.

아울러 본 논문에서 제안된 모델은 개수가 고정된 유형별 게이트웨이로 가정하였지만 실제 IoT 네트워크는 유형별 게이트웨이의 수가 변동적인 경우가 대부분이거나 동일한 게이트웨이에서 서로 다른 유형의 패킷을 전송하는 것이 가능하므로 이러한 경우에 대한 모델 설정과 성능 분석이 향후 수행되어야 한다. 또한 트래픽 셰이핑 기법을 패킷 손실을 고려한 모델에 적용할 경우 이에 대한 손실률 및 성능 평가도 수행되어야 한다.

#### REFERENCES

- [1] Y. Park, et al, "Gateway and application for connection of IoT and WSNs", Proceeding of The Korea Society of Computer and Information, pp. 531-532, 2015.
- [2] support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1100096325/d7505117/
- [3] Myoungjae Lee, "Smoothing Algorithm Considering Server Bandwidth and Network", Journal of Internet of Things and Convergence, Vol.8, No.1, pp.53-58, 2022.
- [4] Kwang, Shin, "Lightweight Sensor Network Authentication Protocol for the Internet of Things", Journal of KITT. Vol.20, No.1, pp.103-111, 2022.
- [5] Bianchi, G. "Performance Analysis of the 802.11 Distributed Coordination Function", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.18, pp.535-547, 2000.
- [6] Zaki, A. N. and El-Hadidi, M. T. "Throughput Analysis of IEEE 802.11 DCF under Finite Load Traffic", In First International Symposium on Control, Communications and Signal Processing, pp.535-538, 2004.
- [7] Duffy, K., Malone, D. and Leith, D. J. "Modeling the 802.11 Distributed Coordination Function in Non-saturated Conditions", To appear IEEE communications Letter, 2005.
- [8] IEEE "IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification", Nov. 1997.
- [9] Yang, X. and Pan, Y. "Differentiation, QoS Guarantee, and Optimization for Real-Time Traffic over One-Hop Ad Hoc Networks", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol.16, No.6, 2005.
- [10] Bianchi, G. "Performance Analysis of the 802.11 Distributed

- Coordination Function" , IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.18, pp.535-547, 2000
- [11] MyounJae Lee, "Video Data Transfer Algorithms for Efficient Use of Network Bandwidth", Journal of Next-generation Convergence Information Services Technology, Vol.10, No.1, pp.11-20, 2021.
- [12] MyounJae Lee, "Performance Evaluation of Smoothing Algorithm for Efficient Use of Network Resources in IoT environments", Journal of The Korea Internet of Things Society, Vol.7. No.2, pp.47-53, 2021.
- [13] C. Choi et al., "A Simple Cost Analysis of Host ID-LOC Separating protocol using SDN Features," JKIoTS, Vol.2, No.4, pp.41-47, 2016.
- [14] C. Choi, "A Study On IoT Data Consistency in IoT Environment," JKIoTS, Vol.8, No.5, pp.127-132, 2022.
- [15] Dokko et. al, "A Study on the Design of MyData API G/W," JKIoTS, Vol.9, No.2, pp.47-54, 2023

최 창 원(Choi, ChangWon)

[종신회원]



- 고려대학교 전산과학과 학사/석사/박사
- 1996년 ~ 현재 : 한신대학교 컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

사물인터넷, 유무선 네트워크 및 보안, 시스템 분석