

# 인터프레임 스페이스 통신을 활용한 저지연 트래픽 전송 기법

이선진<sup>1</sup>, 이일구<sup>2</sup><sup>1</sup>성신여자대학교 미래융합기술공학과 박사과정<sup>2</sup>성신여자대학교 융합보안공학과/미래융합기술공학과 교수

220237017@sungshin.ac.kr, iglee@sungshin.ac.kr

## Low Latency Traffic Transmission Technique Utilizing Interframe Space Communication

Sun-Jin Lee<sup>1</sup>, Il-Gu Lee<sup>2</sup><sup>1</sup>Dept. of Future Convergence Technology Engineering, Sungshin Women's University<sup>2</sup>Dept. of Convergence Security Engineering, Sungshin Women's University

### 요 약

전 산업에서 초고속 저지연 데이터 서비스 수요가 증가하면서 저지연 트래픽 (low latency traffic, LLT) 처리 중요성이 커지고 있다. 기존 연구들은 LLT 에 우선순위를 부여하여 먼저 처리하는 프리엠프션 기법을 제안했으나 제어 오버헤드가 증가하거나 non-LLT 트래픽 성능을 열화하는 문제를 해결할 수 없었다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 종래에 사용하지 않았던 짧은 인터프레임 스페이스 (Short Interframe Space, SIFS)를 LLT 에 활용하는 새로운 전송 기법을 제안한다. 본 논문에서는 수치 분석을 통해 제안하는 인터프레임 스페이스 통신 (Interframe Space Communication, ISC) 이 종래의 전송 방법 대비 스루풋을 평균 50% 개선하고 지연도를 98% 개선할 수 있음을 보였다.

### 1. 서론

첨단 정보통신기술 산업의 발전으로 사물인터넷, 인공지능, 가상/증강현실 시장이 확장되면서 저지연 트래픽 (low latency traffic, LLT) 데이터 서비스 수요가 증가하였다. 이에 따라 국제 표준기구인 IEEE SG(Study Group)에서는 802.11bn (와이파이 8 세대)의 목표를 초고신뢰성 (Ultra High Reliability, UHR) 로 두어 무선랜 연결의 신뢰성을 향상시키고 대기시간을 최소화하기 위한 다양한 기술들을 제안하고 있다[1].

효율적인 LLT 처리를 위해 현재까지 논의된 방법론에는 다중 액세스 포인트 협력 (Multi-AP cooperation), PPDU (physical protocol data unit) 설계, 프레임 오버헤드 단축, 인공지능을 통한 통신 지연 개선, 프리엠프션/스케줄링 등이 있다[2]. 이 중 프리엠프션 방식은 특정 유형의 트래픽의 우선순위를 부여하는 메커니즘으로, 프리엠프션 기술을 적용하면 LL 패킷 전송 지연 시간을 개선할 수 있다. 그러나, 액세스 포인트가 요청을 거부할 경우, LLT 처리에 대한 딜레이가 늘어나며, 요청 과정에서 제어 오버헤드가 발생하는 한계가

있다. 따라서 본 논문에서는 기존에 사용되지 않고 있는 짧은 인터프레임 스페이스 (Short Interframe Space, SIFS)를 활용하여 LLT 를 전송하는 새로운 전송 기법인 인터프레임 스페이스 통신 (Interface Space Communication, ISC) 기법을 제안한다.

본 논문의 주요 기여점은 다음과 같다.

- 1) 인터프레임 스페이스를 활용한 LLT 전송 기법을 제안한다.
- 2) LLT 전송 기법의 효율성을 수학적으로 모델링하고 평가하는 프레임워크를 제안하고 평가한다.

### 2. Related Work

LLT 전송을 위한 종래 방법론의 기여점과 한계점은 표 1 과 같다.

<표 1> 종래 LLT 전송 기술 동향

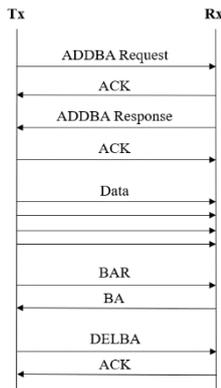
Ref	방법론	한계점
[2]	- 비주기적, 동적 이벤트 기반의 LLT 를 처리하기 위한 긴급 TXOP 공유를 요청하는	- 프레임의 긴급성 및 우선순위 선정 방식의 모호

	스케줄링 방법 제안	성
[3]	- LLT 전송할 수 있는 시나리오 구상 - 스테이션이 트리거링 정보를 전송하면, 액세스 포인트는 LLT 정보를 스테이션에게 전송하고, LL 패킷을 처리하는 방법 제안	- 트리거링 정보를 보내도 액세스 포인트가 거절할 경우 지연도 급증
[4]	- 우선적으로 스테이션 사이에서만 경합을 허용하는 방법 제안 - 충돌을 피하기 위해 경합 매개변수 설정에 자유도를 부여함	- 시스템 복잡성 증가 - 충돌 발생 시 지연도 증가
[5]	- UL PPDU의 인터프레임 스페이스를 활용하여 스테이션의 존재를 알리는 방법 제안	- PPDU 간 충돌 문제 - 지연도 문제

표 1 과 같이 종래 연구들에서는 LLT 처리의 우선 순위를 조정하거나 스케줄링 하는 방법으로 처리 효율을 높이고 있으나, 액세스 포인트가 수락하지 않을 경우에는 현재 처리중인 트래픽이 모두 처리될 때까지 기다려야 하기 때문에 지연도가 증가할 수밖에 없는 구조이다. 또한 LLT 를 처리하는 과정에서 프리엡프션과 같은 오버헤드가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 LLT 의 처리 지연도 문제를 최소화하기 위해 ISC 기반 LLT 전송 기법을 제안한다.

### 3. ISC 을 활용한 LLT 전송 기법

802.11e 에서 추가된 즉각 블록 승인 (immediate block ack, IBA)에서의 블록 승인 과정은 그림 1 과 같다[6].

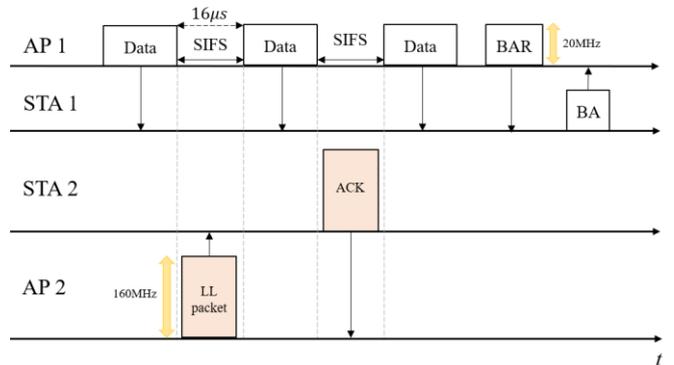


(그림 1) IBA block acknowledgement 과정

먼저, 송수신자 간 추가 블록 승인 (Add Block Ack, ADDBA) 요청, 응답을 거쳐 초기화된 후, 송신자가 데이터 블록을 전송한다. 수신자는 블록들과 블록 승인 요청 (Block Ack Request, BAR)을 받은 후, 블록 승인 (Block Ack, BA)으로 응답하며, 이후 송신자는 삭제 블록 승인 (Delete, Block Ack, DELBA) 요청을 보내 블록 전송을 마친다.

인터프레임 스페이스 (Interframe Space, IFS)는 무선 환경에서 여러 개의 단말이 데이터를 전송하는 과정에서 발생할 수 있는 충돌 문제를 예방하기 위해 일정 시간 대기하는 간격을 의미한다. 이때 IFS 중 SIFS 는 RTS, CTS, ACK 프레임 등에 사용되는 가장 짧은 대기 시간으로 전송 지연도, 수신 프레임의 데이터 처리 시간, 에어타임 (airtime)을 합산한 것이다. 현재 표준에서는 SIFS 구간을 16μs로 정의하고 있다.

본 논문에서는 기존에 데이터 전송에 사용되지 않았던 SIFS 구간을 활용하여 저지연 패킷을 전송하는 기법을 제안한다. 이때, 시간 주파수 듀얼리티 (time-frequency duality)에 따르면, SIFS 구간 안에 LLT 를 전송하기 위해 주파수 도메인에서 전송 대역폭을 확장하는 대신에 시간 도메인 단에서 전송 시간을 단축할 수 있다. SIFS 16μs에서 LLT 와 non-LLT 의 간섭을 방지하기 위해 양 끝단 3μs를 고려한 6μs를 제외하여 10μs 안에 저지연 패킷을 전송할 수 있다. 즉, 종래 20MHz 로 사용되던 대역폭을 160MHz 로 확장하여 전송하면, 10μs 의 전송 시간에 최대 20 심볼에 해당하는 저지연 패킷까지 처리할 수 있다. 그림 2 는 제안하는 ISC 를 통한 LLT 전송 메커니즘의 동작 과정을 나타낸 것이다.

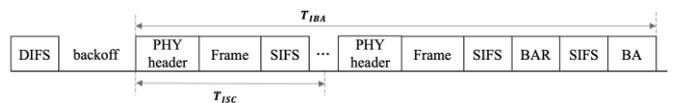


(그림 2) ISC 를 통한 LLT 전송 메커니즘

기존에는 이 SIFS 구간동안 다른 노드들 또한 통신을 하지 않고 기다렸기 때문에 전송 지연도가 증가한다. 그러나 ISC 는 SIFS 를 활용하여 전송함으로써 저지연 패킷의 지연도를 크게 단축할 수 있다.

### 4. 실험 환경 및 결과

본 논문의 실험 환경은 IBA 전송 환경으로 가정하였으며, IBA 의 스킴은 그림 3 과 같이 동작한다[7].



(그림 3) IBA scheme

제안하는 모델의 성능을 평가하기 위해 포화 처리량과 지연도 수식을 정의하였다. 표 2 와 같이 파라미터를 정의하였으며, 종래모델과 제안모델의 포화 처리량은 각각 식 (1) 및 식 (2)와 같다.

<표 2> notation 정의

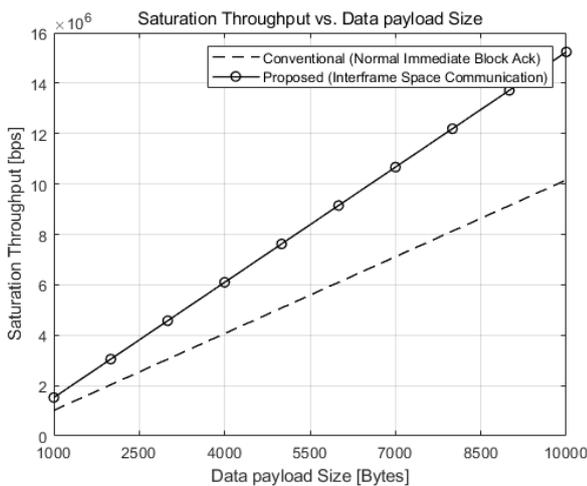
Parameter	Meaning
$T_{PHYhdr}$	Time duration for PHY header
$T_f$	Time duration to transmit a frame
$T_{SIFS}$	Time duration of SIFS
$T_{DIFS}$	Time duration of DIFS
$T_{bar}$	Time duration of BAR frame
$T_{ba}$	Time duration of BA frame
$T_{IBA}$	Time duration from PHYheader to BA
$T_{ISC}$	Time duration from PHYheader to next SIFS
$\delta$	Propagation delay
$N_b$	Number of frame in block
$L_{data}$	Length of information bits for normal traffic
$L_{data_{LL}}$	Length of information bits for low latency traffic

이때 DIFS 시간은  $34\mu s$ , SIFS 시간은  $16\mu s$ , BAR 과 BA 시간은 각각  $8\mu s$ ,  $4\mu s$ 로 설정하였으며, 전파 지연 시간은  $4\mu s$ 로 고정하여 실험하였다. 데이터 전송과 ACK 전송을 고려해  $L_{data_{LL}}$ 을  $L_{data} / 2$ 로 정의하였다.

$$S_{IBA} = \frac{L_{data}}{N_b \cdot (T_f + T_{SIFS}) + T_{DIFS} + (T_{SIFS} + T_{bar} + T_{ba}) + (N_b + 2)(T_{PHYhdr} + \delta)} \quad (1)$$

$$S_{ISC} = \frac{L_{data} + L_{data_{LL}}}{N_b \cdot (T_f + T_{SIFS}) + T_{DIFS} + T_{SIFS} + T_{bar} + T_{ba} + (N_b + 2)(T_{PHYhdr} + \delta)} \quad (2)$$

전송하는 데이터 페이로드의 크기를 1,000byte 부터 10,000byte 까지 1,000byte 단위로 증가하였을 때의 포화 처리량 결과는 그림 4 와 같다.



(그림 4) 데이터 페이로드 크기 변화에 따른 종래모델과 제안모델의 포화 처리량

그림 4 와 같이 제안모델을 활용하면 기존 IBA 기반의 데이터 처리 방식 대비 포화 처리량 성능이 50%

향상되며, 저지연 패킷 처리율이 증가한다.

네트워크에서 발생하는 트래픽을 포아송 분포로 모델링하였다. 포아송 분포는 단위 시간 내 특정 사건의 발생 횟수가 갖는 확률 분포를 의미한다. 포아송 확률 분포 함수는 식 (3)과 같다[8].

$$prob(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad (3)$$

이때  $f(x)$ 는 한 구간에서  $x$  건의 사건이 발생할 확률을 의미하며,  $\lambda$ 는 한 구간에서 사건이 발생할 평균 횟수를 의미한다.  $e$ 는 자연상수로 약 2.718281의 고정값을 가진다.

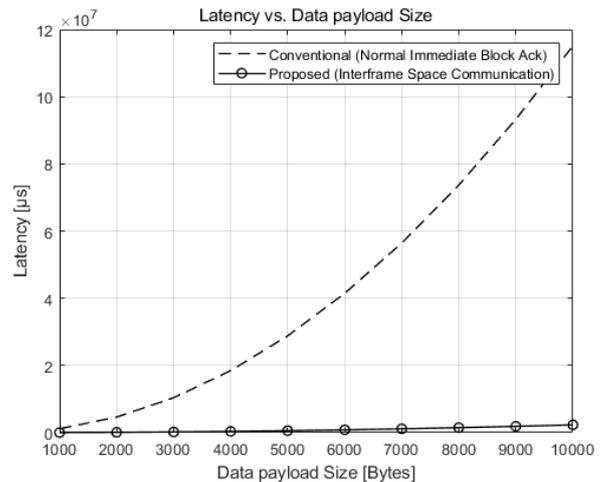
종래모델과 제안모델의 latency 는 각각 식 (4), 식 (5)와 같다.

$$L_{IBA} = \sum_{n=0}^{\frac{T_{IBA}}{4}} \left( \frac{T_{IBA}}{4} - n \right) \cdot poisson \quad (4)$$

$$L_{ISC} = \left\{ \sum_{n=0}^{\frac{T_{ISC}}{4}} \left( \frac{T_{ISC}}{4} - n \right) \cdot 2 \right\} \cdot poisson + T_{SIFS} + T_{bar} + T_{ba} \quad (5)$$

종래모델인  $L_{IBA}$  는 첫번째 PHYheader 부터 마지막 BA 이 전송되는 시간을 심볼단위인  $4\mu s$ 별 time slot 으로 구분하여 각 slot 별로 포아송 분포를 고려한 LL 패킷 도착 확률을 모델링하였다. 이에 반해 제안한 방법으로 전송했을 때의  $L_{ISC}$  는 첫번째 PHYheader 로 부터 두번째 SIFS 까지의 기간을  $T_{ISC}$ 로 정의하고, 타임 슬롯(time slot)으로 구분하였다. SIFS, BAR, BA 기간 동안 저지연 패킷이 들어와 처리하는 시간은 데이터 프레임 전송 시간 대비 매우 작기 때문에 상수로 고정하였다.

데이터 페이로드 크기 변화에 따른 종래모델과 제안모델의 지연도 결과는 그림 5 와 같다.



(그림 5) 데이터 페이로드 크기 변화에 따른 종래모델과 제안모델의 지연도

종래모델은 저지연 패킷을 전송하기 위해 데이터를 모두 전송하고 BA 이후에 저지연 패킷을 전송할 수 있었지만, 제안모델은 SIFS 기간을 활용하여 데이터 프레임 전송하고 ACK 을 수신할 수 있기 때문에 제안모델의 지연도가 줄어든다.

## 5. 결론

무선랜 기술을 사용하는 서비스들이 다양해지면서 와이파이 기술이 점차 발전하고 있다. 이 중 LLT 지연시간을 개선하는 것이 UHR 을 달성하기 위해 중요한 이슈 중 하나이다. 종래 기술 표준에서 저지연 패킷을 처리하기 위해서는 기존 노드 간의 데이터 처리 과정이 선행된 후 저지연 패킷이 다시 전송을 요청하는 과정을 거쳐야 하므로 지연 오버헤드가 크다는 한계가 있다. 그러나 본 연구의 평가 결과에 따르면 SIFS 기술을 활용하여 저지연 패킷을 처리하는 제안 모델을 사용할 때 스루풋을 50% 개선하면서 지연시간을 종래모델 대비 평균 98% 최소화할 수 있다. 본 논문에서는 IBA 환경에서 간단한 수치 분석을 통해서 제안모델의 성능을 입증했지만, 향후 연구에서는 IBA 방식에서 저지연 패킷의 처리율과 기존 패킷의 처리율을 동시에 최적화하기 위한 방법을 연구할 예정이다.

## 6. Acknowledgement

본 논문은 2024년도 산업통상자원부 및 한국산업기술진흥원의 산업혁신인재성장지원사업 (RS-2024-00415520)과 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 ICT 혁신인재 4.0 사업의 연구결과로 수행되었음 (No. IITP-2022-RS-2022-00156310)

## 참고문헌

- [1] Galati Giordano, Lorenzo & Geraci, Giovanni & Carrascosa, Marc & Bellalta, Boris. (2023). What Will Wi-Fi 8 Be? A Primer on IEEE 802.11bn Ultra High Reliability.
- [2] Ofinno, Enhanced Scheduling Method for Low Latency Traffic, IEEE 802.11-23/0378r0, 2023.
- [3] LG Electronics, Transmission Method of Low Latency Traffic, IEEE 802.11-23/1909r0, 2023
- [4] Intel, Low Latency Channel Access, IEEE 802.11-23/2126r1, 2023
- [5] Realtek, Ultra-reliable PHY elements: Low Latency, Low Collision, Low Power Medium Access, IEEE 802.11-24/0284r1, 2024
- [6] Viten Patel, BlockAck Mechanism and AP debugging for BlockAck exchange, 2014.11.12, <https://wirelessonthego.postach.io/post/blockack-mechanism-and-ap-debugging-for-blockack-exchange>
- [7] T. Li, Q. Ni, T. Turetli and Y. Xiao, "Performance analysis of the IEEE 802.11e block ACK scheme in a noisy channel," *2nd International Conference on Broadband Networks, 2005.*, Boston, MA, USA, 2005, pp. 511-517 Vol. 1, doi: 10.1109/ICBN.2005.1589655.
- [8] Song, Liang, and Dimitrios Hatzinakos. "Cooperative transmission in poisson distributed wireless sensor networks: protocol and outage probability." *IEEE transactions on wireless communications* 5.10 (2006): 2834-2843.