

# Wi-Fi Direct에서 VBR 비디오 트래픽을 고려한 동적 에너지 관리 기법

김 매 화\*, 정 지 영\*, 이 정 루<sup>o</sup>

## Dynamic Power Management Method Considering VBR Video Traffic in Wi-Fi Direct

Mei-Hua Jin\*, Ji-Young Jung\*, Jung-Ryun Lee<sup>o</sup>

### 요 약

최근 Wi-Fi Alliance에서는 기존의 Wi-Fi 망에서 이동성을 갖는 무선 단말들이 중개기나 라우터가 없이 언제 어디서나 직접 통신이 가능한 Wi-Fi direct라는 새로운 표준 기술을 발표하였다. Wi-Fi direct에서 기기는 기존의 Wi-Fi 망에서 AP역할을 하는 Group Owner (GO)와 GO와 연결되어 있는 client로 구분되어 존재한다. 일반적으로 client들은 휴대성을 위해 제한된 배터리 용량을 갖기 때문에, 기기들의 에너지 소모가 효율적으로 이루어져야 한다. 이에 따라 GO의 에너지소모를 막기 위하여 두 가지 전력관리기법 Opportunistic기법과 Notice Of Absence (NOA)기법이 사용되었으나 이 두 기법은 트래픽 패턴 등의 특성을 고려하지 않아 에너지 효율성이 높지 않다. 이에 본 논문에서는 멀티미디어 트래픽의 특성을 파악하여 Wi-Fi direct power saving의 에너지 효율성을 높이기 위한 알고리즘을 제시한다. 제안하는 알고리즘은 NOA 기법에서 동적으로 변하는 비디오 프레임의 분포를 활용하여, 다음 비콘 구간에 도착할 비디오 프레임의 예상 크기에 따라서 GO의 awake 구간을 동적으로 조절함으로써, 불필요한 에너지 소모를 감소한다. 또한 비디오 프레임의 상호 의존성을 고려하여 비디오 프레임의 종류별로 우선 순위를 부여하고, 이를 바탕으로 우선순위가 높은 비디오 프레임이 높은 확률로 전송될 수 있도록 awake 구간을 결정함으로써 전송 효율을 높인다. 모의실험 결과 제안한 알고리즘이 NOA 기법에 비해 전송 지연이 더 짧고 에너지 효율이 더 높다는 것을 확인하였다.

**Key Words** : Wi-Fi direct, Dynamic power saving, VBR video traffic

### ABSTRACT

Recently Wi-Fi Alliance defined Wi-Fi direct, which can communicate through a direct connection between the mobile device anytime, anywhere. In Wi-Fi direct, all devices are categorized by group of owner (GO) and client. Since portability is emphasized in Wi-Fi direct devices, it is essential to control the energy consumption of a device very efficiently. In order to avoid unnecessary power consumed by GO, Wi-Fi direct standard defines two power management schemes: Opportunistic power saving scheme and Notice Of Absence (NOA)

\* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2015-H8501-15-1007)

\*\* 본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No.20154030200860)입니다.

• First Author : Chung-Ang University School of Electrical Engineering, mhkim0705@cau.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Chung-Ang University School of Electrical Engineering, jrlee@cau.ac.kr, 중신회원

\* Chung-Ang University School of Electrical Engineering, jiyoun@cau.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2015-09-284, Received September 1, 2015; Revised October 2, 2015; Accepted October 8, 2015

scheme. But, these two schemes do not consider the traffic pattern, so we cannot expect high energy efficiency. In this paper, we suggest an algorithm to enhance the energy efficiency of Wi-Fi direct power saving, considering the characteristics of multimedia video traffic. Proposed algorithm utilizes the statistical distribution for the size of video frames and adjusts the length of awake interval dynamically. Also, considering the inter-dependency among video frames, the proposed algorithm assigns priorities to video frames and ensures that a video frame with high priority is transmitted with higher probability than other frames with low priority. Simulation results shows that the proposed method outperforms the traditional NOA in terms with average delay and energy efficiency.

## 1. 서 론

최근 스마트폰 및 태블릿 PC 보급의 확대에 인하여 모바일 데이터 트래픽이 급격히 증가하고 있다. 이에 통신사업자들은 데이터 급증으로 인한 기지국 과부하를 방지하고자 단말간 직접통신을 통한 트래픽 부하 분산 기법에 관한 새로운 연구를 수행 중에 있다<sup>[1]</sup>. 최근 Wi-Fi Alliance에서는 기존의 Wi-Fi 망에서 이동성을 갖는 무선 단말들이 중개기나 라우터가 없이 언제 어디서나 직접 통신이 가능한 Wi-Fi direct라는 새로운 표준 기술을 발표하였다<sup>[2]</sup>.

근거리 직접통신에서 Wi-Fi direct는 직비(ZigBee), 블루투스(Bluetooth) 등의 기술과 비교가 가능하며, 그 중에서도 기기 간 통신에 널리 사용되는 블루투스와 직접적으로 비교된다. Wi-Fi direct는 IEEE 802.11n을 지원하는 Wi-Fi 칩에서는 최대 250Mbps의 전송속도로 데이터를 전송하고<sup>[3]</sup>, 이것은 현재 사용되는 블루투스 4.0 최대 24Mbps의 전송속도에 비해 10배 이상 높은 전송 속도를 가지고 있다. 전송반경도 100m 이상 넓은 전송거리를 가지며 이는 블루투스와 비교하여 10배 이상 넓다<sup>[4]</sup>.

Wi-Fi direct에서 각 기기들은 GO와 client 로 구분된다. GO는 기존의 Wi-Fi 망에서 AP 역할을 담당하고 client는 GO를 중심으로 연결되어 있다. Client는 오직 GO를 거쳐 통신이 가능하고 연결방식은 1대1 또는 1대N이 가능하다<sup>[5]</sup>. GO는 특정 기능 (beaconing, forwarding)을 수행할 필요가 있기에 client보다 에너지를 많이 소모한다<sup>[6]</sup>. 기존의 Infra-structure 모드 Wi-Fi 네트워크에서 AP에 연결되어 있는 단말에 관한 에너지를 절약하기 위한 연구가 진행 되어왔다. 그러나 일반적으로 AP는 상시전원 공급이 가능한 상태이기 때문에 AP의 전원 절약에 관한 연구는 거의 수행되지 않았다. 그러나 Wi-Fi direct에서 AP 역할을 수행하는 GO는 일반적으로 휴대성을 가지면서 배터리의 용량의 제약을 받기 때문에 GO에 관한 에너지소

모를 막기 위하여 Opportunistic power saving 기법과, NOA 기법이 제안되었다<sup>[7]</sup>.

그림 1은 Opportunistic power saving 기법을 설명한다. GO는 주기적으로 client에게 Traffic Indication Message(TIM) 정보가 담긴 비콘 메시지를 보낸 후 Client Traffic Window(CTWindow) 기간 동안 깨어있고 이때 데이터 전송이 가능하다. GO가 CTWindow기간이 끝나기 전에 데이터 전송이 완료되면 GO와 데이터를 받는 client는 CTWindow가 끝나는 순간 sleep 상태로 이동한다. GO는 CTWindow가 끝난 후에도 보낼 데이터가 있으면 계속 전송을 하고 데이터를 받는 client는 sleep 상태로 이동하지 않고 데이터 전송이 완료되면 sleep 상태로 이동한다.

반대로 client가 GO에게 전송할 데이터가 있을 때 전송하는 데이터의 Power Management 값을 0으로 세팅하여 전송한다. 데이터 전송이 완료시 마지막 데이터의 Power Management 값을 1로 세팅하여 (PM=1) 전송함으로써 데이터 전송이 완료되었음을 알린다. 이때 GO가 CTWindow 기간에 PM=1을 받으면 CTWindow 이후에 sleep 상태로 이동하고 CTWindow 이후에도 PM=1을 받지 못하면 PM=1을 받을 때까지 계속 깨어있게 되고, 이후 다음 비콘 주기가 sleep 상태에 있게된다<sup>[8]</sup>.

그림 2는 NOA 기법을 설명한 그림이다. Opportunistic power saving 기법에서는 GO가 비콘을 전송한 후 CTWindow 구간에서 집중적으로 데이터 송수신이 일어남에 반해, NOA 기법에서는 비콘 구간 (비콘 전송 시간 간격)의 active 구간의 개수 및

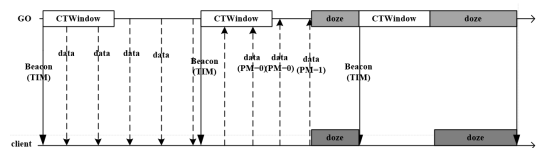


그림 1. Opportunistic power saving 기법  
Fig. 1. Opportunistic power saving method

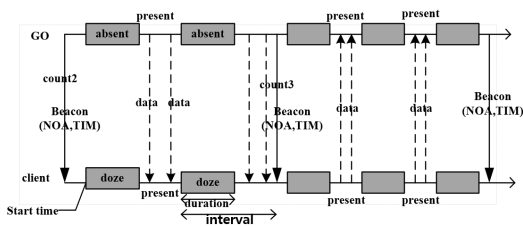


그림 2. NOA 기법  
Fig. 2. Notice Of Absence (NOA) method

지속 시간을 동적으로 결정하는 방식이다. GO는 주기적으로 client에게 absence 구간의 start time, duration, interval, count 등 active 구간의 스케줄링 정보를 비콘 메시지에 담아 알려준다. 그러면 GO와 연결된 client는 이 구간을 피하여 데이터를 전송하지 않고 GO는 absence구간에 sleep 상태가 되어 에너지를 절약한다<sup>[7]</sup>.

위와 같은 Wi-Fi direct에 관한 전력관리 기법이 제안됨에 따라 여러 관련 연구들이 광범위하게 진행되어 왔다. 논문 [8]에서는 실험을 통해 트래픽 패턴이 주기적인 경우에는 NOA 기법을, 버스트(burst)한 특성을 가지고 있을 경우에는 Opportunistic power saving 기법을 적용하는 것이 효율적이라는 것을 밝혔고<sup>[8]</sup>, 이를 바탕으로 데이터 전송 패턴에 따라 전력관리 기법을 변경하는 새로운 전력관리 기법을 제안하였다. 논문 [9]에서는 GO의 파라미터 (CTWindow, awake 구간)가 트래픽 흐름(flow)양에 의한 함수로 표현하는 알고리즘을 구현하여 트래픽의 부하(load)에 따라 동적으로 파라미터를 조절하는 Traffic Awake Parameter tuning Scheme (TAPS)기법을 제안하였다<sup>[9]</sup>. 실험결과를 통하여 TAPS기법은 에너지와 수율(throughput) 사이의 트레이드 오프 (trade-off) 관계를 확인하였다. 논문 [6]에서 저자는 트래픽에 의한 동적 관리 기법인 Adaptive Single Present Period (ASPP)와 Adaptive Multiple Present Period (AMPP)기법을 제안하였다<sup>[6]</sup>. 이 두 기법은 트래픽의 activity (utilization)에 의하여 매 비콘 주기마다 GO의 awake 구간을 스케줄링하는 알고리즘을 제안하여 에너지 이득을 얻었다. 논문 [10]에서는 어플리케이션에서 periodic streaming을 생성을 할 때 에너지와 지연시간을 동시에 고려한 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘을 기존의 Opportunistic power saving 기법을 기반으로 두 가지 기능을 지원하여 제안되었다<sup>[10]</sup>. 첫 번째는 기존의 Wi-Fi direct 프레임 포맷에 전송하는 데이터의 패턴을 인식하는 기능을 추가하였다. 두 번째

는 Temporary CTWindow (TCTW)을 정의하여 opportunistic 기법에 적용함으로써 duty cycle을 동적으로 조절하여 디바이스가 sleep 기간 사이에 짧은 기간 동안 깨어나 periodic data를 받게 설정하였다.

본 논문에서는 멀티미디어 트래픽의 특성을 파악하여 Wi-Fi direct power saving의 에너지 효율성을 높이기 위한 알고리즘을 제시한다. 제안하는 알고리즘은 NOA 기법에서 동적으로 변하는 비디오 프레임의 분포를 활용하여, 다음 비콘 구간에 도착할 비디오 프레임의 예상 크기에 따라서 GO의 awake 구간을 동적으로 조절함으로써, 불필요한 에너지 소모를 감소한다. 또한 비디오 프레임의 상호 의존성을 고려하여 비디오 프레임의 종류별로 우선순위를 부여하고, 이를 바탕으로 우선순위가 높은 비디오 프레임이 높은 확률로 전송될 수 있도록 awake 구간을 결정함으로써 전송 효율을 높인다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 먼저 본 논문에서 고려되는 VBR 비디오 트래픽의 모델을 설명하고, III장에서는 II장에서 언급한 비디오 트래픽의 모델을 고려하여 Wi-Fi direct 전력관리 기법에 대한 새로운 알고리즘을 제안하였다. IV장에서는 제안알고리즘에 관한 수식분석을 하였고, V장에서는 시뮬레이션을 통해 성능분석을 하였다.

## II. 비디오 트래픽 모델

Variable Bit Rate(VBR) 비디오 트래픽은 Intra(I), Predictive (P), Bi-directional (B) 세 가지 종류의 비디오 프레임으로 구성된다. 그림 3과 같이 I프레임으로 시작되어서부터 다음 I프레임이 시작되기 전까지 프레임들이 결정된 패턴으로 배치되는데, 이것을 Group of Picture(GOP) 구조라고 한다. GOP 구조는 일반적으로  $MmNn$ 으로 표현되고 여기에서  $n$ 은 GOP내의 모든 프레임의 개수를 표현하고  $m$ 은  $I-P$  프레임 혹은  $P-P$ 프레임 사이의 interval을 표현한다<sup>[11]</sup>. I프레임을 제외한 모든 프레임은 인접 프레임간의 종속성에 의하여 부호화 되고 I프레임은 다른 이미지를 참조하지 않고 그 자체로 부호화 된다. P프레임

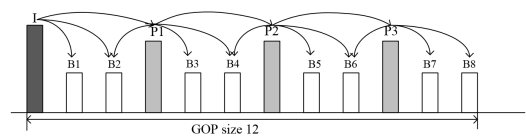


그림 3. 계층적 프레임 종속성  
Fig. 3. Hierarchical frame dependency

은 앞의 I프레임 및 P프레임을 참조하여 부호화되고 B프레임은 부호화할 때 이전 이후의 I-, P-프레임을 모두 참조한다. 따라서 I-프레임이 손실되면 GOP 내의 모든 프레임이 손실을 초래하게 되고 P-프레임이 손실되면 뒤에 P-, B-프레임들이 모두 손실을 초래하게 되는 반면 B프레임의 손실은 다른 프레임들에 영향을 주지 않게 된다<sup>[12]</sup>. 그러므로 프레임의 중요성을 보면 I프레임, P1프레임, P2프레임, P3프레임, B프레임 순인 것을 알 수 있다.

많은 연구에 의하면 각 프레임의 크기에 관한 분포는 감마분포를 따르는 것으로 알려졌다. 본 논문에서 사용되는 비디오 프레임의 크기에 관한 분포는 ATM network에서의 MPEG stream에 의하여 제안된 I-GAR 모델을 적용하였다<sup>[13]</sup>. 이 모델은 두 가지 사실을 기반으로 모델링이 되었다. 첫 번째는 각 I프레임 크기에 관한 분포는 감마분포로 표현된다. 두 번째로는 하나의 GOP 구조 내에서 B프레임들 (B1, B2, ... B8)의 크기 편차 및 P프레임들 (P1, P2, P3)의 크기 편차가 적다. 따라서 B, P프레임을 포함하는 GOP 내에서 프레임 사이에 크기관계가 있는 것을 알 수 있다. 각 프레임별 크기에 관한 분포를 모델링하기 위하여 먼저 감마분포를 I프레임의 크기에 대한 분포 함수로 선택하고, B프레임과 P프레임의 크기에 관한 분포 함수는 I프레임의 크기에 대한 감마 분포로부터 유도된다. 하나의 GOP 내에서 오직 한 개의 I프레임만 존재하고 I프레임은 다른 프레임과 상관없이 독립적으로 부호화된다. 또한 I프레임은 움직임 보상을 사용하지 않기에 B, P프레임보다 크기가 더 크다. 이에 따라 I프레임을 I-GAR 모델의 기초로 선택되고, B, P프레임의 크기에 관한 분포 함수는 I프레임의 크기의 분포를 나타내는 감마함수의 scale factor에 아래와 같은 스칼라 곱을 scale factor로 가지는 감마 분포로 표현된다<sup>[13]</sup>.  $m_B, m_P$ 를 위에서 설명한 각각의 B, P프레임에 대응하는 스칼라 값이라고 하면,  $m_B, m_P$ 는 아래와 같이 표현된다.

$$m_P = \frac{P}{I} = \frac{P1 + P2 + P3}{I},$$

$$m_B = \frac{B}{I} = \frac{B1 + B2 + \dots + B8}{I} \quad (1)$$

먼저 I프레임의 크기를 나타내는 random variable을  $Z_I$ 라고 하자.  $Z_I$ 의 확률밀도 함수는 아래와 같은 파라미터가  $\{k, \lambda\}$  인 감마 분포로 표현된다.

$$Z_I \sim \Gamma(k, \frac{1}{\lambda}), \quad f_{Z_I}(z) = \frac{\lambda^k z^{k-1} e^{-\lambda z}}{\Gamma(k)} \quad (2)$$

이때 감마 함수  $\Gamma(k) = (k-1)!$ 이다.  $Z_I$ 의 평균과 분산은 각각  $k/\lambda, k/\lambda^2$ 으로 계산된다. 마찬가지로 P-프레임과 B-프레임 크기를 나타내는 random variable을 각각  $Z_P$ 와  $Z_B$ 라고 정의하자. B-, P-프레임의 확률밀도함수는 아래와 표현된다.

$$Z_B = m_B Z_I \sim \Gamma(k, \frac{m_B}{\lambda}), \quad f_{Z_B}(z) = \frac{(\frac{\lambda}{m_B})^k z^{k-1} e^{-\frac{\lambda}{m_B} z}}{\Gamma(k)} \quad (3)$$

$$Z_P = m_P Z_I \sim \Gamma(k, \frac{m_P}{\lambda}), \quad f_{Z_P}(z) = \frac{(\frac{\lambda}{m_P})^k z^{k-1} e^{-\frac{\lambda}{m_P} z}}{\Gamma(k)} \quad (4)$$

이때  $Z_P$ 의 평균과 분산은 각각  $km_P/\lambda, km_P/\lambda^2$ 이고  $Z_B$ 의 평균과 분산은 각각  $km_B/\lambda, km_B/\lambda^2$ 으로 계산된다.

### III. 제안기법

본장에서는 앞장에서 언급한 VBR 비디오 트래픽 모델을 위한 Wi-Fi direct NOA 기반의 새로운 에너지 관리 기법을 제안한다. 윗 장에서 언급한 바와 같이 GOP 구조를 가지는 비디오 트래픽에서는 각 프레임 크기는 특정 분포를 따르게 된다. 이에 본 논문에서 제안하는 에너지 관리 기법의 핵심 아이디어는 GOP 구조를 가지는 비디오 프레임 별로 그 크기에 관한 분포를 고려하여 GO의 awake 구간을 동적으로 결정하는 알고리즘으로 요약할 수 있다. 먼저 비콘 구간 내 각 awake 구간의 크기와 위치는 비디오 트래픽의 각 프레임에 일 대 일로 대응되어 정의된다. 다시 말해서 하나의 비디오 프레임 별 하나의 awake 구간을 할당하게 된다. 이 때, 각 awake 구간의 크기는 각 awake 구간이 수용하여야 하는 비디오 프레임 별로 결정되며, 윗 장에서 정의된 해당 비디오 프레임의 크기에 대한 확률밀도함수에 의하여 결정된다. 각 비디오 프레임 별 대응되는 awake 구간의 길이를 구하는 구체적인 알고리즘은 다음과 같다.

먼저 GO는 각 프레임 별로 target probability  $p_x$ 를 설정한다. 여기에서 각 프레임 별 target probability는 각 프레임이 해당 awake 구간에서 온전히 전송될 수

있을 확률을 의미한다. 다시 말해서  $I$ 프레임에 해당되는 target probability  $p_I$ 가 0.95라 하면, 각  $I$ 프레임이 해당 awake 구간에 전송지연 없이 단말에 수신될 확률이 95%라는 의미이다. 따라서 특정 양의 실수  $S_x$ 에 대해서 다음과 같은 식이 성립하게 된다.

$$p_x = \int_0^{S_x} f_{Z_x}(z) dz \quad (5)$$

다시 말해서  $S_x$ 는 프레임  $x$ 가 전송되어야 하는 awake 구간이 수용 가능한 가장 큰 프레임의 크기를 의미하며, 이는 프레임  $x$ 의 target probability  $p_x$ 에 의해서 정해진다.  $S_x$ 는 운영자의 선택에 의해서 정해지는 변수이며, 본 논문에서는 각 프레임의 크기분포의 평균과 분산을 활용하여 아래와 같이 결정한다.

$$S_x(c) = E[Z_x] + c \cdot \sigma_{Z_x} \quad (6)$$

여기에서  $c$ 는  $S_x$ 의 값을 조절하는 scale factor이다. 채널 속도를  $v$ 라 할 때, 프레임  $x$ 의 target probability  $p_x$ 에 의해서 결정되는 awake 구간 (target awake 구간)의 길이는 다음과 같다.

$$T_x(c) = \frac{S_x}{v} = \frac{E[Z_x] + c \cdot \sigma_{Z_x}}{v} \quad (7)$$

그림 4에서는 프레임 분포에 따른 target값 설정과 awake 구간 설정하는 방법을 보여준다.  $1 - p_x$ 의 확률로 프레임  $x$ 의 크기는  $S_x(c)$ 보다 크게 되어 전송해야 할 프레임이 위 식에 따라서 설정된 awake 구간에 모두 전송되지 못하는 경우가 발생하게 된다. 이러한 경우, 그림 5에서와 같이 각 프레임의 잔여 데이터 처리는 각 프레임의 중요도에 따라서 상이하게 이루어진다. 각 프레임 중 가장 우선순위가 높은  $I$ 프레임의 잔여 데이터는  $I$ 프레임 이후  $B1$ 프레임을 위해 설정된 awake 구간에서  $B1$ 프레임과 함께 전송하여  $I$ 프레임의 전송 성공 확률을 높인다. 만약  $I$ 프레임의 잔여 데이터양과  $B1$ 프레임을 포함한 데이터의 크기가  $B1$ 프레임을 위한 awake 구간에서 수용할 수 없다면 나머지 잔여 데이터를  $B2$ 프레임을 위한 awake 구간으로 이전하여  $B2$ 프레임과 같이 전송하도록 한다. 우선순위가 다음으로 높은  $P1$ 프레임은  $I$ 프레임과 마찬가지로 해당 프레임 이후 연속된 두 프레임 ( $B3, B4$ )

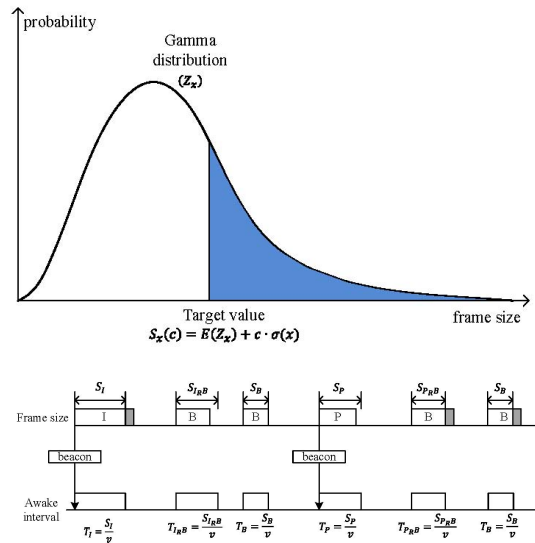


그림 4. 프레임 분포에 따른 target값 설정과 awake 구간 설정  
Fig. 4. Target probability and corresponding awake interval

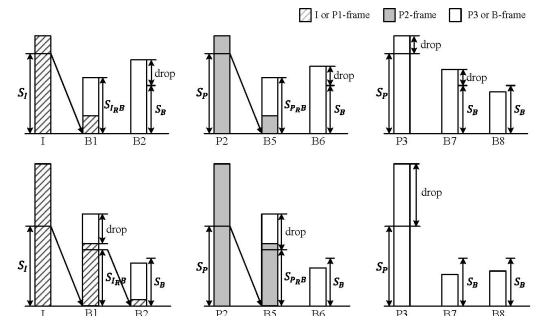


그림 5. 프레임 중요성에 따른 전송기법  
Fig. 5. Transmission scheme according to the priority of frame

을 위해 설정된 awake 구간들에서 전송한다. 그 다음 우선순위를 가지는  $P2$ 프레임은 다음 프레임 ( $B5$ )을 위해 설정된 awake 구간을 활용하여 전송한다. 우선순위가 낮은  $P3$ 프레임과  $B$ 프레임들은 다음 프레임을 위한 awake 구간에서 전송하지 않고 바로 유실된다.

#### IV. 알고리즘 분석

##### 4.1 제안한 알고리즘에 의한 새로운 프레임 크기 분포 분석

제안한 알고리즘에 의해 정해진 awake 구간에서 전송되지 못하는  $I$ 프레임의 잔여 데이터는 다음  $B1$ 프레임을 위한 awake 구간에서 전송된다. 이 때  $B1$

프레임을 위한 awake 구간에서 수신하게 되는 데이터의 크기는 기존의 I프레임의 잔여 데이터와 B1프레임의 크기의 합으로 나타나게 된다. 따라서 B1프레임을 위한 awake 구간을 결정하기 위해서는 식 (3)에서 나타난 B1프레임의 크기 분포를 사용해서는 안 되며, 새로운 분포 함수가 필요하다. 여기서 전송되지 못하는 I프레임의 잔여 데이터를  $I_R$ (I frame residual)로 정의하고, I프레임의 잔여 데이터와 B1프레임의 합을  $I_RB$ 프레임이라 정의하자. 마찬가지로 방법으로  $P_R$ (P frame residual)과  $P_RB$  프레임을 정의한다.

$c$ 가 주어졌을 때,  $I_R$ 의 크기를 나타내는 확률변수를  $Z_{I_R}$ 이라 하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$Z_{I_R} = \begin{cases} Z_I - S_I(c), & \text{if } Z_I \geq S_I(c) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

따라서  $Z_{I_R}$ 는 연속확률변수와 이산 확률 변수의 성질을 공유하는 혼합 확률 변수 (mixed random variable)가 되며, CDF는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$z < 0$ 인 경우,

$$F_{Z_{I_R}}(z) = 0 \quad (9)$$

$z = 0$ 인 경우,

$$F_{Z_{I_R}}(0) = P[Z_{I_R} = 0] = P[Z_I < S_I(c)] = p_I \quad (10)$$

$z > 0$ 인 경우,

$$\begin{aligned} F_{Z_{I_R}}(z) &= P[Z_{I_R} \leq z] \\ &= P[Z_{I_R} \leq z, Z_I \geq S_I(c)] + P[Z_{I_R} \leq z, Z_I < S_I(c)] \\ &= P[S_I(c) \leq Z_I \leq z + S_I(c)] + P[Z_I < S_I(c)] \\ &= F_{Z_I}(z + S_I(c)) \end{aligned} \quad (11)$$

으로 표현된다. 식 (9), (10), (11)로부터  $Z_{I_R}$ 의 PDF는 다음과 같이 얻어진다.

$$f_{Z_{I_R}}(z) = f_{Z_I}(z + S_I(c)) + p_I \cdot \delta(z), \text{ for } z \geq 0 \quad (12)$$

여기에서  $\delta(\cdot)$ 는 Dirac-delta 함수이다.  $I_R$ 과 B 프레임의 크기를 나타내는 확률변수를 각각  $Z_{I_R}$ 와  $Z_B$

이라 하면  $Z_{I_RB} = Z_{I_R} + Z_B$ 가 성립한다. 따라서  $Z_{I_RB}$ 의 분포 함수  $f_{Z_{I_RB}}(z)$ 는  $f_{Z_{I_R}}(z)$ 와  $f_{Z_B}(z)$ 의 합성곱 (convolution)으로 아래와 같이 계산된다. (Appendix 참고)

$$\begin{aligned} f_{Z_{I_RB}}(z) &= F_{Z_I}(S_I(c)) \frac{\left(\frac{\lambda}{m_B}\right)^k z^{k-1} e^{-\left(\frac{\lambda}{m_B}\right)z}}{\Gamma(k)} \\ &+ \frac{\left(\frac{1}{m_B}\right)^k \lambda^{2k} e^{-\lambda(z+S_I(c))}}{\Gamma(k)^2} \sum_{i=0}^{k-1} (-1)^{k-1-i} \binom{k-1}{i} (z + S_I(c))^i \cdot \\ &\left[ - \sum_{j=0}^{2k-2-i} \frac{e^{\left(\lambda - \frac{\lambda}{m_B}\right)z}}{\left[-\left(\lambda - \frac{\lambda}{m_B}\right)\right]^{j+1}} \frac{(2k-2-i)!}{(2k-2-i-j)!} z^{(2k-2-i-j)} \right. \\ &\left. + \frac{(2k-2-i)!}{\left[-\left(\lambda - \frac{\lambda}{m_B}\right)\right]^{(2k-1-i)}} \right] \end{aligned} \quad (13)$$

$I_R$ 과 B 프레임의 크기는 서로 독립이므로  $I_RB$  프레임분포의 평균  $E[Z_{I_RB}]$ 는  $I_R$ 프레임 크기의 평균  $E[Z_{I_R}]$ 와 B 프레임 크기의 평균  $E[Z_B]$ 의 합  $E[Z_{I_RB}] = E[Z_{I_R}] + E[Z_B]$ 으로 표현된다. 이때  $I_R$  프레임 분포의 평균은 아래와 같이 계산이 된다. (Appendix 참고)

$$E[Z_{I_R}] = \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_I(c)^{k-1-j} \frac{(j+1)!}{\lambda^{j+2}} \quad (14)$$

따라서  $I_RB$ 프레임 분포의 평균은 최종적으로 아래와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} E[Z_{I_RB}] &= E[Z_{I_R}] + E[Z_B] \\ &= \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_I(c)^{k-1-j} \frac{(j+1)!}{\lambda^{j+2}} + \frac{km_B}{\lambda} \end{aligned} \quad (15)$$

$E[Z_{I_R}^2]$ 는 아래와 같이 계산된다. (Appendix 참고)

$$E[Z_{I_R}^2] = \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_I(c)^{k-1-j} \frac{(j+2)!}{\lambda^{j+3}} \quad (16)$$

따라서  $I_RB$ 프레임분포의 분산  $\sigma_{I_R}^2$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \sigma_{I_R}^2 &= E[Z_{I_R}^2] - (E[Z_{I_R}])^2 \\ &= \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_I(c)^{k-1-j} \frac{(j+2)!}{\lambda^{j+3}} \\ &\quad - \left( \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_I(c)^{k-1-j} \frac{(j+1)!}{\lambda^{j+2}} \right)^2 \end{aligned} \quad (17)$$

따라서  $I_R B$ 프레임분포의 분산  $\sigma_{Z_{I_R B}}^2$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \sigma_{Z_{I_R B}}^2 &= \sigma_{I_R}^2 + \sigma_{Z_B}^2 \\ &= \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_I(c)^{k-1-j} \frac{(j+2)!}{\lambda^{j+3}} \\ &\quad - \left( \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_I(c)^{k-1-j} \frac{(j+1)!}{\lambda^{j+2}} \right)^2 + \frac{km_B}{\lambda^2} \end{aligned} \quad (18)$$

$P_R B$ 프레임의 크기에 대한 분포는 앞에서 구한  $I_R B$ 프레임 크기분포 수식(11-13)과 같은 방법으로  $P_R$ 프레임 크기분포와  $B$ 프레임 크기분포의 합성곱으로 구하며 최종적으로 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} f_{Z_{P_R B}}(z) &= F_{Z_P}(S_P(c)) \frac{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^k z^{k-1} e^{-\frac{\lambda}{m_P} z}}{\Gamma(k)} \\ &\quad + \frac{\lambda^{2k} \left(\frac{1}{m_B m_P}\right)^k e^{-\frac{\lambda}{m_P}(z+S_P(c))}}{\Gamma(k)^2} \sum_{i=0}^{k-1} (-1)^{(k-1-j)} \binom{k-1}{i} (z+S_P(c))^i \cdot \\ &\quad \left[ - \sum_{j=0}^{2k-2-i} \frac{e^{-\left(\frac{\lambda}{m_P} - \frac{\lambda}{m_B}\right)j}}{\left[-\left(\frac{\lambda}{m_P} - \frac{\lambda}{m_B}\right)(j+1)\right]} \frac{(2k-2-i)!}{(2k-2-i-j)!} z^{(2k-2-i-j)} \right. \\ &\quad \left. + \frac{(2k-2-i)!}{\left[-\left(\frac{\lambda}{m_P} - \frac{\lambda}{m_B}\right)(2k-1-i)\right]} \right] \end{aligned} \quad (19)$$

$P_R$ 프레임 분포의 평균은 아래와 같이 계산이 된다.

$$\begin{aligned} E[Z_{P_R}] &= \frac{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^k e^{-\frac{\lambda}{m_P} S_P(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_P(c)^{k-1-j} \frac{(j+1)!}{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^{j+2}} \end{aligned} \quad (20)$$

따라서  $P_R B$ 프레임 분포의 평균은 최종적으로 아래와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} E[Z_{P_R B}] &= E[Z_{P_R}] + E[Z_B] \\ &= \frac{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^k e^{-\frac{\lambda}{m_P} S_P(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_P(c)^{k-1-j} \frac{(j+1)!}{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^{j+2}} + \frac{km_B}{\lambda} \end{aligned} \quad (21)$$

$E[Z_{P_R}^2]$ 는 아래와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} E[Z_{P_R}^2] &= \frac{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^k e^{-\left(\frac{\lambda}{m_P}\right) S_P(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_P(c)^{k-1-j} \frac{(j+2)!}{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^{j+3}} \end{aligned} \quad (22)$$

따라서  $P_R$ 프레임분포의 분산  $\sigma_{P_R}^2$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \sigma_{P_R}^2 &= E[Z_{P_R}^2] - (E[Z_{P_R}])^2 \\ &= \frac{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^k e^{-\left(\frac{\lambda}{m_P}\right) S_P(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_P(c)^{k-1-j} \frac{(j+2)!}{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^{j+3}} \\ &\quad - \left( \frac{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^k e^{-\frac{\lambda}{m_P} S_P(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_P(c)^{k-1-j} \frac{(j+1)!}{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^{j+2}} \right)^2 \end{aligned} \quad (23)$$

따라서  $P_R B$ 프레임분포의 분산  $\sigma_{Z_{P_R B}}^2$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \sigma_{Z_{P_R B}}^2 &= \sigma_{P_R}^2 + \sigma_{Z_B}^2 \\ &= \frac{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^k e^{-\left(\frac{\lambda}{m_P}\right) S_P(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_P(c)^{k-1-j} \frac{(j+2)!}{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^{j+3}} + \\ &\quad - \left( \frac{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^k e^{-\frac{\lambda}{m_P} S_P(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_P(c)^{k-1-j} \frac{(j+1)!}{\left(\frac{\lambda}{m_P}\right)^{j+2}} \right)^2 \\ &\quad + \frac{km_B}{\lambda^2} \end{aligned} \quad (24)$$

4.2 평균 지연시간 및 평균 에너지 사용량 모델

프레임 당 평균 지연시간을 구하기 위해 먼저 각 프레임별로 지연이 발생할 확률을 아래와 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} \overline{P}_I &= P(Z_I > E[Z_I] + c \times \sigma_{Z_I}) \\ &\cong 1 + \frac{\lambda^k}{\Gamma(k)} \left[ \sum_{i=0}^{k-1} \frac{e^{-\lambda S(c)}}{\lambda^{i+1}} \frac{(k-1)!}{(k-1-i)!} (S(c))^{k-1-i} - \frac{(k-1)!}{\lambda^k} \right] \\ \overline{P}_P &= P(Z_P > E[Z_P] + c \times \sigma_{Z_P}) \cong \\ &1 + \frac{(\frac{\lambda}{m_P})^k}{\Gamma(k)} \left[ \sum_{i=0}^{k-1} \frac{e^{-\frac{\lambda}{m_P} S_P(c)}}{(\frac{\lambda}{m_P})^{i+1}} \frac{(k-1)!}{(k-1-i)!} (S_P(c))^{k-1-i} - \frac{(\frac{\lambda}{m_P})^k}{\Gamma(k)} \right] \\ \overline{P}_B &= P(Z_B > E[Z_B] + c \times \sigma_{Z_B}) \cong \\ &1 + \frac{(\frac{\lambda}{m_B})^k}{\Gamma(k)} \left[ \sum_{i=0}^{k-1} \frac{e^{-\frac{\lambda}{m_B} S_B(c)}}{(\frac{\lambda}{m_B})^{i+1}} \frac{(k-1)!}{(k-1-i)!} (S_B(c))^{k-1-i} - \frac{(\frac{\lambda}{m_B})^k}{\Gamma(k)} \right] \end{aligned} \quad (25)$$

N개의 GOP구조가 있다고 가정하면 프레임 당 평균 지연시간은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} D_{ave} &= [\overline{P}_I \sum_{i=0}^N (f - T_I(c)) + \overline{P}_P \sum_{i=0}^{2N} (f - T_P(c)) \\ &+ \overline{P}_{I_rB} \sum_{i=0}^N (f - T_{I_rB}(c)) + \overline{P}_{P_rB} \sum_{i=0}^{2N} (f - T_{P_rB}(c))] / 12N \end{aligned} \quad (26)$$

비교 대상 알고리즘으로는 본 논문에서 고려하고 있는 트래픽이 주기적으로 발생하는 특성을 가지고 있어 NOA 기법에 더 적합하다는 사실을 고려하여 기존의 NOA 기법을 채택한다. Wi-Fi direct에서 사용되는 에너지 소비량은 아래 표 1에서 정리하였다<sup>[8]</sup>.

N개의 GOP구조가 있다고 가정하면 I프레임이 도착할 때 I프레임에 대응하는 GO의 전체 awake 구간은  $T_I^{total} = NT_I$ , B프레임이 도착했을 때 B프레임에 대응하는 GO의 awake 구간은  $T_B^{total} = 6NT_B$ , P프레임일 때 P프레임에 대응하는 GO의 awake 구간은

표 1. 와이파이 칩셋의 전력소비 기준  
Table 1. Power consumption levels in the Wi-Fi chipset

Wi-Fi Chipset	Power(mW)
Sleep	0.3
Listen	432
RX	432
TX	640

$T_P^{total} = 3NT_P$ ,  $I_rB$ 프레임일 때 GO의 awake구간은  $T_{I_rB}^{total} = NT_{I_rB}$ ,  $P_rB$ 프레임일 때 GO의 awake구간은  $T_{P_rB}^{total} = 2NT_{P_rB}$  이다. 따라서 제안한 기법을 활용하였을 프레임 당 평균 에너지소모는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} E_{ave} &= P_{awake} (NT_I + 3NT_P + 6NT_B + NT_{I_rB} + NT_{P_rB}) / 12N \\ &+ P_{sleep} [N(f - T_I) + 3N(f - T_P) + 6N(f - T_B) \\ &+ N(f - T_{I_rB}) + N(f - T_{P_rB})] / 12N \end{aligned} \quad (27)$$

이에 따라 NOA 기법에서 프레임 당 평균 에너지 소모는 다음과 같이 나타낸다.

$$E_{ave} = P_{awake} T_{NOA} + P_{sleep} (f - T_{NOA}) \quad (28)$$

V. 시뮬레이션 분석

5.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 환경은 다음과 같다. MPEG-1 코덱의 해상도가 25fps, 352\*288 인 VBR 비디오 트래픽을 가정하였고<sup>[13]</sup> 채널 속도는 802.11g 표준에서 선택 가능한 6Mbps로 설정하였다. 프레임 간 간격이 40ms임을 고려하여 매 비콘 주기에 3개의 프레임을 포함하게끔 비콘 주기를 120ms로 설정하였다. 따라서 GO는 비콘 주기마다 3번 깨어나 프레임을 받을 수 있으며 이에 따라 count는 3으로 결정된다. I프레임 크기 분포를 나타내는 감마분포에서 파라미터  $k=22.39826$ ,  $\lambda=44.97535$ 이고 B, P프레임을 만족하는 scale factor  $m_P=0.26262$ ,  $m_B=0.13273$ 으로 정하였다<sup>[14]</sup>.

표 2. 시뮬레이션 파라미터 값 정의  
Table 2. Definition of simulation parameters

Parameter	Value
frame interval(f)	40ms
channel rate(v)	6Mbps
GOP structure(n,m)	12,3
GOP number(N)	20000
count	3
Beacon Interval(BI)	120ms



5.2 시뮬레이션 결과

그림 6은 제안기법에서  $c$ 값에 따른 프레임 당 평균 에너지소모와 평균 지연시간을 나타낸다.  $c$ 값이 커질수록 target awake 구간의 길이가 커져서 GO가 해당 프레임을 수신하지 못하여 다음 프레임으로 넘어가는 경우가 감소하게 됨에 따라 평균 지연시간이 작아지게 된다. 반면  $c$ 값이 커질수록 target awake 구간의 길이가 증가함에 따라 에너지가 더 많이 소모되는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 기존의 Wi-Fi direct 표준에서 제안한 NOA 기법을 적용하였을 때 awake 구간의 길이에 따른 프레임 당 평균 에너지 소모와 평균 지연 시간을 나타낸다. NOA에서 awake 구간의 길이는 제안한 기법에서  $c$ 값이 0.5일 때 제일 작은 B프레임 target value부터  $c$ 값이 1.7 일 때 target value가 제일 큰 I프레임을 포함을 하게 설정하였다. Awake값이 커질수록 평균 에너지가 더 많이 소모되고 지연시간이 더 작아지는 것을 확인 할 수 있다.

그림 8에서는 제안한 방식과 NoA 방식에서 프레임 당 평균 지연시간과 평균 에너지 소모량의 트레이드

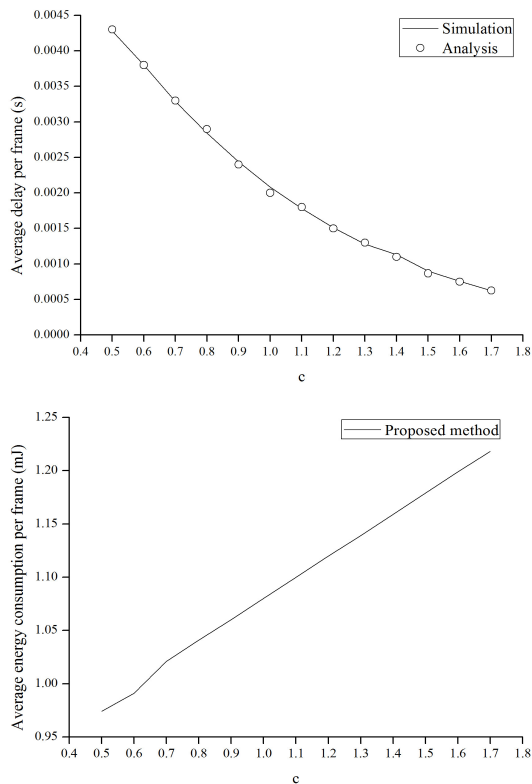


그림 6. 제안기법 성능분석  
Fig. 6. Performance evaluation of the proposed method

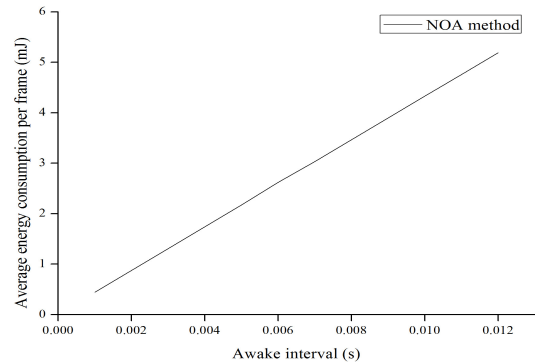
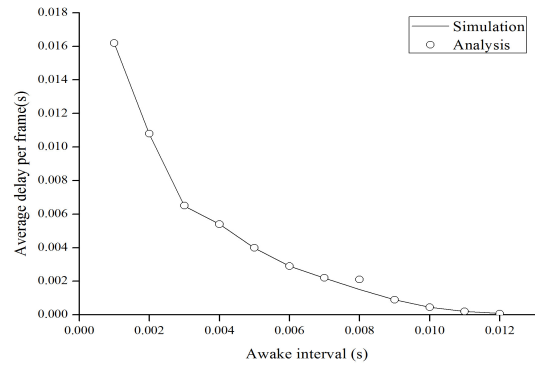


그림 7. NOA기법 성능분석  
Fig. 7. Performance evaluation of the NOA

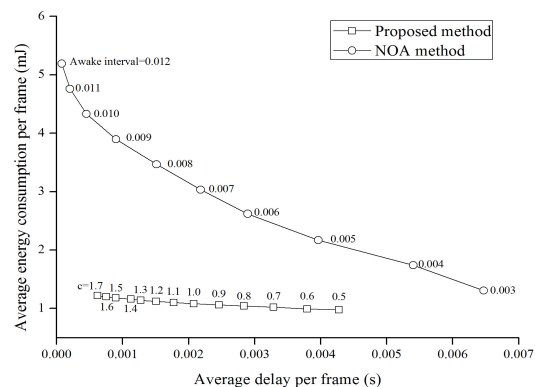


그림 8. 평균지연과 평균에너지소모의 트레이드오프 관계  
Fig. 8. Tradeoff between average delay and average energy consumption

드 오프 관계를 보여주고 있다. 두 방식 모두 평균 지연시간이 증가함에 따라 에너지 소비량이 감소하는 양상을 보여주고 있다. 그러나 같은 지연시간을 가졌을 때 소모되는 에너지 소모량은 제안한 방식에서 훨씬 작다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 제안한 방식은 NOA 방식에 비해 더 좋은 성능을 보여주고 있다.

## VI. 결론

기존의 Wi-Fi direct 에너지 관리 기법은 트래픽의 패턴에 따라 에너지 효율성이 다르고 파라미터 (CTwindow 구간, absent/present) 설정에 따라 성능이 상이하다. 본 논문에서는 에너지 효율성을 높이기 위하여 비디오 프레임의 크기가 각 프레임별로 동적으로 변한다는 사실에 착안하여 각 비디오 프레임의 크기에 대한 분포를 활용하여 현재 GO의 awake 구간을 동적으로 조절하는 알고리즘을 제안하였다. GO는  $I$ ,  $B$ ,  $P$  프레임의 크기에 대한 분포 함수로부터 target awake 구간을 설정하여, 각 프레임이 target awake 구간에서 온전히 전송될 확률을 제어한다. 또한 비디오 프레임의 상호 의존성을 고려하여 각 프레임별 우선순위를 부여하고, 우선순위가 높은 프레임이 해당 target awake 구간에서 전송하지 못하는 경우, 그 잔여 데이터를 다음 프레임 전송에 전송하게 함으로써 우선순위가 높은 프레임 전송 성공 가능성을 높였다. 모의실험을 통하여 기존의 NOA 기법과 성능 분석을 하였고, 제안한 방식이 평균 에너지 소비량과 평균 지연시간 측면에서 NOA 방식보다 더 좋은 성능을 보임을 확인하였다.

## Appendix

### 1. $f_{Z_{I,B}}(z)$ 계산

$$\begin{aligned} f_{Z_{I,B}}(z) &= (f_{Z_I} * f_{Z_B})(z) = \int_0^z f_{Z_I}(z-\tau) f_{Z_B}(\tau) d\tau \\ &= \int_0^z \left[ \frac{\lambda^k ((z-\tau+S_I(c))^{k-1} e^{-\lambda z})}{\Gamma(k)} + p_I \delta(z-\tau) \right] \\ &\quad \cdot \frac{\left(\frac{\lambda}{m_B}\right)^k z^{k-1} e^{-\frac{\lambda}{m_B} z}}{\Gamma(k)} d\tau \\ &= \int_0^z \left[ \frac{\lambda^k ((z-\tau+S_I(c))^{k-1} e^{-\lambda z})}{\Gamma(k)} \frac{\left(\frac{\lambda}{m_B}\right)^k z^{k-1} e^{-\frac{\lambda}{m_B} z}}{\Gamma(k)} \right. \\ &\quad \left. + p_I \delta(z-\tau) \frac{\left(\frac{\lambda}{m_B}\right)^k z^{k-1} e^{-\frac{\lambda}{m_B} z}}{\Gamma(k)} \right] d\tau \\ &= \int_0^z \left[ \frac{\lambda^k ((z-\tau+S_I(c))^{k-1} e^{-\lambda z})}{\Gamma(k)} \frac{\left(\frac{\lambda}{m_B}\right)^k z^{k-1} e^{-\frac{\lambda}{m_B} z}}{\Gamma(k)} \right. \\ &\quad \left. + p_I \delta(z-\tau) \frac{\left(\frac{\lambda}{m_B}\right)^k z^{k-1} e^{-\frac{\lambda}{m_B} z}}{\Gamma(k)} \right] d\tau \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \int_0^z p_I \delta(z-\tau) \frac{\left(\frac{\lambda}{m_B}\right)^k z^{k-1} e^{-\frac{\lambda}{m_B} z}}{\Gamma(k)} d\tau \\ &\quad + \int_0^z \frac{\lambda^k ((z-\tau+S_I(c))^{k-1} e^{-\lambda z})}{\Gamma(k)} \frac{\left(\frac{\lambda}{m_B}\right)^k z^{k-1} e^{-\frac{\lambda}{m_B} z}}{\Gamma(k)} d\tau \\ &= p_I \frac{\left(\frac{\lambda}{m_B}\right)^k z^{k-1} e^{-\left(\frac{\lambda}{m_B}\right) z}}{\Gamma(k)} \\ &\quad + \frac{\left(\frac{1}{m_B}\right)^k \lambda^{2k} e^{-\lambda(z+S_I(c))}}{\Gamma(k)^2} \int_0^z \tau^{k-1} (z-\tau+S_I(c))^{k-1} e^{\tau\left(\lambda-\frac{\lambda}{m_B}\right)} d\tau \\ &= F_{Z_I}(S_I(c)) \frac{\left(\frac{\lambda}{m_B}\right)^k z^{k-1} e^{-\left(\frac{\lambda}{m_B}\right) z}}{\Gamma(k)} \\ &\quad + \frac{\left(\frac{1}{m_B}\right)^k \lambda^{2k} e^{-\lambda(z+S_I(c))}}{\Gamma(k)^2} \int_0^z \tau^{k-1} (z-\tau+S_I(c))^{k-1} e^{\tau\left(\lambda-\frac{\lambda}{m_B}\right)} d\tau \\ &= F_{Z_I}(S_I(c)) \frac{\left(\frac{\lambda}{m_B}\right)^k z^{k-1} e^{-\left(\frac{\lambda}{m_B}\right) z}}{\Gamma(k)} \\ &\quad + \frac{\left(\frac{1}{m_B}\right)^k \lambda^{2k} e^{-\lambda(z+S_I(c))}}{\Gamma(k)^2} \sum_{i=0}^{k-1} (-1)^{k-1-i} \binom{k-1}{i} (z+S_I(c))^i \\ &\quad \cdot \int_0^z \tau^{2k-2-i} e^{\tau\left(\lambda-\frac{\lambda}{m_B}\right)} d\tau \\ &= F_{Z_I}(S_I(c)) \frac{\left(\frac{\lambda}{m_B}\right)^k z^{k-1} e^{-\left(\frac{\lambda}{m_B}\right) z}}{\Gamma(k)} \\ &\quad + \frac{\left(\frac{1}{m_B}\right)^k \lambda^{2k} e^{-\lambda(z+S_I(c))}}{\Gamma(k)^2} \sum_{i=0}^{k-1} (-1)^{k-1-i} \binom{k-1}{i} (z+S_I(c))^i \\ &\quad \cdot \left[ - \sum_{j=0}^{2k-2-i} \frac{e^{\left(\lambda-\frac{\lambda}{m_B}\right) z}}{\left[-\left(\lambda-\frac{\lambda}{m_B}\right)\right]^{j+1}} \frac{(2k-2-i)!}{(2k-2-i-j)!} z^{(2k-2-i-j)} \right. \\ &\quad \left. + \frac{(2k-2-i)!}{\left[-\left(\lambda-\frac{\lambda}{m_B}\right)\right]^{(2k-1-i)}} \right] \end{aligned}$$

2.  $E[Z_{I_R}]$  계산

$$\begin{aligned}
 E[Z_{I_R}] &= E[Z_{I_R}|Z_I \geq S_I(c)]P[Z_I \geq S_I(c)] \\
 &\quad + E[Z_{I_R}|Z_I < S_I(c)]P[Z_I < S_I(c)] \\
 &= (1-p_I) \cdot \int_0^\infty z f_{Z_k|Z_I \geq S_I(c)}(z|Z_I - S_I(c)) dz + p_I \cdot 0 \\
 \therefore f_{Z_k|Z_I \geq S_I(c)}(z|Z_I - S_I(c)) &= \frac{f_{Z_k}(z)}{P[Z_I \geq S_I(c)]} = \frac{f_{Z_k}(z)}{1-p_I} \\
 &= (1-p_I) \cdot \int_0^\infty z \frac{f_{Z_k}(z)}{1-p_I} dz \\
 &= \int_0^\infty z f_{Z_k}(z) dz \\
 &= \int_0^\infty z f_{Z_I}(z + S_I(c)) dz \\
 &= \int_0^\infty z \frac{\lambda^k (z + S_I(c))^{k-1} e^{-\lambda(z + S_I(c))}}{\Gamma(k)} dz \\
 &= \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \int_0^\infty z (z + S_I(c))^{k-1} e^{-\lambda z} dz \\
 \therefore (z + S_I(c))^{k-1} &= \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} z^j S_I(c)^{k-1-j} \\
 &= \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \int_0^\infty z \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} z^j S_I(c)^{k-1-j} e^{-\lambda z} dz \\
 &= \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_I(c)^{k-1-j} \int_0^\infty z^{j+1} e^{-\lambda z} dz \\
 &= \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_I(c)^{k-1-j} \frac{(j+1)!}{\lambda^{j+2}}
 \end{aligned}$$

3.  $E[Z_{I_R}^2]$  계산

$$\begin{aligned}
 E[Z_{I_R}^2] &= E[Z_{I_R}^2|Z_I \geq S_I(c)]P[Z_I \geq S_I(c)] \\
 &\quad + E[Z_{I_R}^2|Z_I < S_I(c)]P[Z_I < S_I(c)] \\
 &= (1-p_I) \cdot \int_0^\infty z^2 f_{Z_k|Z_I \geq S_I(c)}(z|Z_I - S_I(c)) dz + p_I \cdot 0 \\
 \therefore f_{Z_k|Z_I \geq S_I(c)}(z|Z_I - S_I(c)) &= \frac{f_{Z_k}(z)}{P[Z_I \geq S_I(c)]} = \frac{f_{Z_k}(z)}{1-p_I} \\
 &= (1-p_I) \cdot \int_0^\infty z^2 \frac{f_{Z_k}(z)}{1-p_I} dz \\
 &= \int_0^\infty z^2 f_{Z_k}(z) dz \\
 &= \int_0^\infty z^2 f_{Z_I}(z + S_I(c)) dz \\
 &= \int_0^\infty z^2 \frac{\lambda^k (z + S_I(c))^{k-1} e^{-\lambda(z + S_I(c))}}{\Gamma(k)} dz \\
 &= \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \int_0^\infty z^2 (z + S_I(c))^{k-1} e^{-\lambda z} dz
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore (z + S_I(c))^{k-1} &= \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} z^j S_I(c)^{k-1-j} \\
 &= \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \int_0^\infty z^2 \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} z^j S_I(c)^{k-1-j} e^{-\lambda z} dz \\
 &= \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_I(c)^{k-1-j} \int_0^\infty z^{j+2} e^{-\lambda z} dz \\
 &= \frac{\lambda^k e^{-\lambda S_I(c)}}{\Gamma(k)} \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} S_I(c)^{k-1-j} \frac{(j+2)!}{\lambda^{j+3}}
 \end{aligned}$$

References

[1] Cisco VNI Forecast, "Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update 2014-2019," *Cisco Public Information*, Feb. 2014.

[2] J. M. Jeong and J. D. Kim, "Connection history based device identification algorithm for wireless peer-to-peer connection," in *Proc. KICS Winter Conf. 2014*, pp. 283-284, Gangwon-do, Korea, Jan. 2014.

[3] E. S. Oh and S. H. Hwang, "Performance of SUN and WiFi P2P for M2M communication," *J. KICS*, vol. 38C, no. 09, pp. 740-745, Aug. 2013.

[4] M. C. Bech, *Wi-fi Direct vs Bluetooth vs ZigBee*, Retrieved May 14, 2014, from <http://martijnwifi.blogspot.kr/>

[5] Wi-Fi Alliance, *Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Technical Specification version, 1.1(2010)*, from <http://www.wi-fi.org/knowledge-center>.

[6] D. Camps-Mur, X. Perez-Costa, and S. Sallent-Ribes, "Designing energy efficient access points with Wi-Fi direct," *Computer Netw.*, vol. 55, no. 13, pp. 2838-2855, May 2011.

[7] D. Camps-Mur, A. Garcia-Saavedra, and P. Serrano, "Device to device communications with Wi-Fi direct: Overview and experimentation," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 20, no. 3, pp. 96-104, Jun. 2013.

[8] Y. Seo and Y. B. Ko, "Dynamic power management for energy efficient Wi-Fi direct," *J. KICS*, vol. 38B, no. 08, pp. 663-671, May 2013.

[9] H. S. Yoo, S. H. Kim, S. W. Lee, J. Y.

Hwang, and D. K. Kim, "Traffic aware parameter tuning for Wi-Fi direct power saving," in *Proc. ICUFN 2014*, pp. 479-480, Shanghai, China, Jul. 2014.

- [10] K. W. Lim, W. S. Jung, H. Kim, J. Han, and Y. B. Ko, "Enhanced power management for Wi-Fi direct," *2013 IEEE WCNC*, pp. 123-128, Shanghai, China, Apr. 2013.
- [11] M. F. Alam, M. Atiquzzaman, and M. A. Karim, "Traffic shaping for MPEG video transmission over the next generation internet," *Computer Commun.*, vol. 23, pp. 1336-1348, Aug. 2000.
- [12] H. H. Choi, H. G. Park, and J. R. Lee, "Vertical handover strategy for multi-layered real-time video traffics," *IEICE Trans. Inf. and Syst.*, vol. E97-D, no. 10, pp. 2802-2805, Oct. 2014.
- [13] G. S. Jung, K. W. Kang, and Q. Mulluhi, "Multithreaded distributed MPEG1 video delivery in the internet environment," in *Proc. 2000 ACM Symp. Applied Computing*, vol. 2, pp. 592-597, New York, USA, Mar. 2000.
- [14] Z. YongQiang, C. XinLin, and X. BingQun, "A new VBR model of MPEG streams on ATM network," in *Proc. 1998 Int. Conf. Commun. Technol.*, vol. 2, pp. 1-6, Beijing, China, Oct. 1998.

**김 매 화 (Mei-Hua Jin)**



2013년 6월 : 연변대학교 전자  
정보공학부 졸업  
2015년 8월 : 중앙대학교 전자  
전기공학과 석사  
<관심 분야> 저전력 통신 프  
로토콜, 메쉬 네트워크, 네  
트워크 이동성

**정 지 영 (Ji-Young Jung)**



2011년 2월 : 중앙대학교 전자  
전기공학부 졸업  
2013년 2월 : 중앙대학교 전자  
전기공학과 석사  
2013년 3월~현재 : 중앙대학교  
전자전기공학과 박사과정  
<관심분야> 이동 통신공학, 에  
드혹 네트워크, 저 전력 통신 프로토콜 등

**이 정 루 (Jung-Ryun Lee)**



1995년 2월 : 서울대학교 수학  
과 졸업  
1997년 2월 : 서울대학교 수학  
과 석사  
2006년 8월 : KAIST 전기 및  
전자 공학과 박사  
2008년 3월~현재 : 중앙대학교  
전자전기공학부 부교수  
<관심 분야> 저전력 통신 프로토콜, 메쉬 네트워크,  
네트워크 이동성, 생체모방 통신 등