

멀티링크 기반 AP 파워 세이빙 메커니즘

김소연¹, 정예림², 이일구³¹성신여자대학교 미래융합기술공학과 박사과정²성신여자대학교 융합보안공학과 학부생³성신여자대학교 융합보안공학과, 미래융합기술공학과 교수

{220237014, 20221130, iglee}@sungshin.ac.kr

Multi-Link based AP Power Saving Mechanism

So-Yeon Kim¹, Ye-Rim Jeong², Il-Gu Lee^{1,2}¹Dept. of Future Convergence Technology Engineering, Sungshin Women's University²Dept. of Convergence Security Engineering, Sungshin Women's University

요 약

최근 무선랜은 증가하는 트래픽 수요와 사용자의 다양한 애플리케이션 요구사항을 충족하기 위해 표준 기술이 진화하고 있다. 상용화가 본격적으로 시작된 WiFi 7 표준은 더 낮은 지연 시간과 더 높은 스루풋을 달성하기 위해서 멀티링크 동작(Multi-Link Operation, MLO) 기능을 도입하였다. 멀티링크 동작은 다른 주파수 대역이나 채널을 활용하여 동시에 데이터를 송수신하는 기술로서 스루풋은 증가하지만, 전력 소모량이 커지는 문제가 있다. 또한, 종래의 무선랜 표준 기술들은 대부분 저전력의 경량 단말에서만 에너지 절감을 고려해 왔으며, AP(Access Point)의 에너지 효율성은 고려하지 않았다. 따라서 본 논문에서는 멀티링크 동작을 지원하는 AP에서 에너지 효율을 개선하는 파워 세이빙 메커니즘을 제안한다. 실험 결과에 따르면, 스루풋을 높이기 위해 링크를 산발적으로 사용하는 종래의 방식 대비 제안하는 방식의 에너지 효율성이 최대 19.18% 개선되었다.

1. 서론

무선랜(Wireless Local Area Network)은 증가하는 트래픽 수요와 사용자의 다양한 애플리케이션 요구사항을 충족하기 위해서 발전해 왔다. 레거시 단말과의 호환성을 유지하면서도, 더 빠른 속도로 균일한 서비스 품질을 보장하는 방향으로 기술 개발과 표준화가 진행되고 있다. 최근 본격적으로 상용화된 WiFi 7 표준은 초고화질 비디오 전송, 가상 현실 및 증강 현실, 클라우드 환경에서 EHT(Extremely High Throughput) 목표를 달성하고자 멀티링크 동작(Multi-Link Operation, MLO) 기능을 도입하였다 [1]. 멀티링크 동작은 서로 다른 주파수 대역이나 채널을 활용하여 동시에 데이터를 송수신할 수 있는 기술이다 [2]. 멀티링크 동작을 지원하는 멀티링크 디바이스(Multi-Link Device, MLD)인 AP(Access Point)나 STA(station)는 2개 이상의 물리적인 인터페이스를 가지고 있지만 하나의 MAC(Media Access Control) 주소를 갖는다. 이러한 구조로 인해서 멀티링크 디바이스는 여러 개의 링크를 사용하

여 비동기적인 채널 접근과 다중 링크를 활용한 동시 데이터 송수신을 할 수 있다 [3]. 그러나 멀티링크 동작을 사용하면 스루풋은 증가하지만, 전력 소모량이 커지는 문제가 있다 [2]. 높은 스루풋을 달성하기 위해서 모든 링크를 활성화하여 트래픽 부하를 분산시키거나, 산발적으로 링크를 사용하기 때문이다 [4].

종래의 무선랜 표준 기술들은 대부분 코인 셀 배터리로 구동되는 저전력의 경량 STA에서만 에너지 절감을 고려해 왔다 [5]. 이러한 종래의 STA는 에너지 소모를 줄이기 위해서 파워 세이빙 메커니즘을 사용한다. 파워 세이빙 메커니즘은 STA가 프레임을 주고받지 않고 절전(sleep) 상태로 전환되는 것으로, 일정 주기마다 활성화(active) 상태로 전환되어 AP로부터 데이터를 송수신한다. 반면에 AP는 항상 전원이 연결되어 있어서 에너지 효율 측면에서의 논의가 이루어지지 않았으며, 주로 더 높은 스루풋을 달성하기 위한 연구가 진행되었다 [1,6].

그러나, 최근에는 사물인터넷(Internet of Things, IoT)을 활용한 홈 네트워크를 구축하면서 AP의 전력 절감에 대한 필요성이 증가하고 있다. 또한, 모바

일 AP의 활용도와 AP의 복잡도가 증가함에 따라 AP의 배터리 라이프 타임을 극대화하려는 요구가 증가했다. 따라서 본 연구에서는 멀티링크 환경에서 에너지 효율을 개선하는 AP 파워 세이빙 메커니즘을 제안한다.

본 논문의 주요 기여점은 다음과 같다.

- 트래픽 요구사항에 따라 링크를 제어하여 에너지 효율을 개선하는 멀티링크 기반 AP의 파워 세이빙 기법을 제안하였다.
- 멀티링크 디바이스의 에너지 효율성을 비교하고, 평가하는 프레임워크를 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 멀티링크 동작과 AP 파워 세이빙 메커니즘 관련 선행 연구를 분석하고, 3장에서 멀티링크 기반 AP 파워 세이빙 메커니즘을 제안한다. 4장에서 제안 방식의 성능을 평가하고, 5장에서 결론을 맺는다.

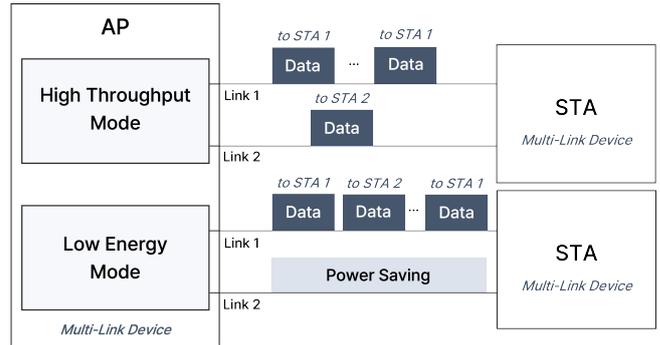
2. 관련 연구

종래의 멀티링크 동작 관련 연구들[1,6]은 주로 더 높은 스루풋을 달성하기 위해서 링크를 할당하거나 채널을 선택하는 기법을 중점적으로 연구했다. 네트워크 트래픽을 링크에 적절하게 분배하는 로드밸런싱 측면에서 연구가 진행되었으며, 에너지 효율을 고려한 연구는 거의 없었다[2]. 그러나 최근에 국제표준화 기구에서는 멀티링크 환경에서 AP의 파워 세이빙에 대한 논의를 활발하게 진행하고 있다 [7-10].

유한 부하가 발생하는 환경에서 멀티링크 동작의 지연 시간을 줄이기 위해 이론적 분석을 진행한 연구[1]에서는 여러 개의 무선 링크를 동시에 사용하는 방식이 네트워크 성능을 향상하는 방식임을 입증하였다. 하지만, 에너지 소비 효율과 같은 네트워크의 다양한 환경 조건들을 고려하지 않았기 때문에 실제 네트워크에 적용하기 어렵다.

멀티링크 환경에서 스루풋을 최대화하는 알고리즘을 제안한 연구[6]에서는 스루풋, 공정성, 지연시간을 고려하여 AP와 STA 간 링크를 할당하는 메커니즘을 제안하였다. 링크를 산발적으로 사용하는 방식보다 공정성을 고려하면서 링크를 할당하는 제안 방식이 처리량 측면에서 효율적임을 입증하였다. 하지만, 공정성을 고려하여 링크를 할당하더라도 여전히 에너지 소모량이 커질 수 있다는 한계가 존재한다.

3. 멀티링크 기반 AP 파워 세이빙 메커니즘



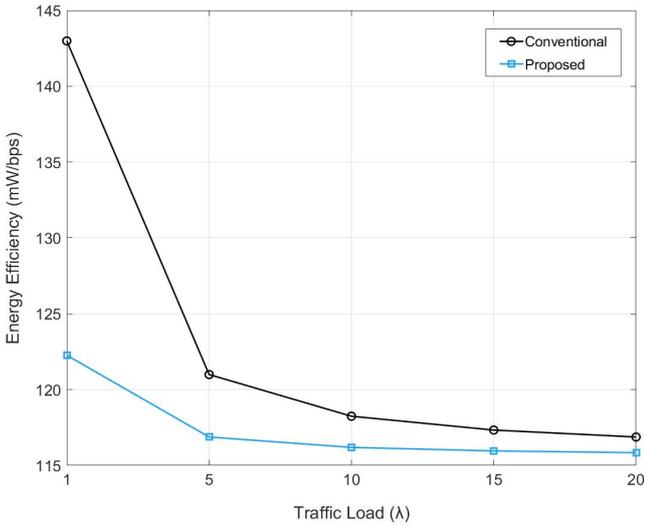
(그림 1) 멀티링크 기반 AP 파워 세이빙 메커니즘

그림 1은 AP MLD의 파워 세이빙 메커니즘을 나타낸다. AP MLD는 트래픽 요구사항에 따라 하이 스루풋 모드와 로우 에너지 모드를 선택하여 링크를 제어할 수 있다. 하이 스루풋 모드는 스루풋을 최대화하기 위해서 모든 링크를 활성화하거나, 산발적으로 링크를 사용한다. 반면, 로우 에너지 모드는 트래픽이 상대적으로 적은 환경 또는 지연이 허용되는 환경에서 모든 링크를 활성화할 필요 없이, 하나의 링크만 활성화한다. 로우 에너지 모드에서 하이 스루풋 트래픽이 발생하면 절전 상태에 있던 다른 링크를 활성 상태로 천이하여 하이 스루풋 트래픽을 처리하도록 동작한다. 따라서 제안 메커니즘은 일정 수준의 스루풋을 보장하면서도 에너지 효율적으로 동작할 수 있다.

4. 성능 평가

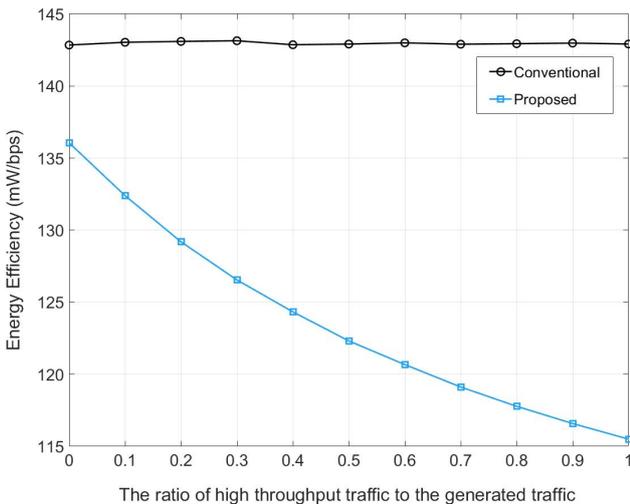
본 논문에서는 트래픽 부하, 전체 생성된 트래픽 중에서 하이 스루풋 트래픽의 비율, 링크의 개수에 따른 제안 방식과 종래 방식의 성능을 비교 평가한다. 이 성능 평가에서 AP의 전력 소모량은 트래픽을 송신하는 상태는 924mW, 대기(idle) 상태는 330mW, 절전 상태는 165mW로 가정하였다. 트래픽이 발생하는 시간 간격은 포아송(poisson) 분포로 모델링 하였다. 트래픽이 발생하면 종래의 방식은 링크를 산발적으로 사용하고, 제안한 방식은 하나의 링크로 처리하다가 하이 스루풋 트래픽이 발생하면 절전 상태에 있던 다른 링크를 활성화하여 사용한다. 또한, 시뮬레이션 시간은 1,000초, 트래픽은 1,000bytes로 고정하고, 1,000번 반복 수행한 뒤 에너지 소모량과 스루풋의 평균을 각각 측정했다. 에너지 효율성은 식(1)과 같이 계산하였다.

$$Energy\ Efficiency\ (mW/bps) = \frac{Energy\ Consumption}{Throughput} \quad (1)$$



(그림 2) 트래픽 부하(λ)에 따른 에너지 효율성

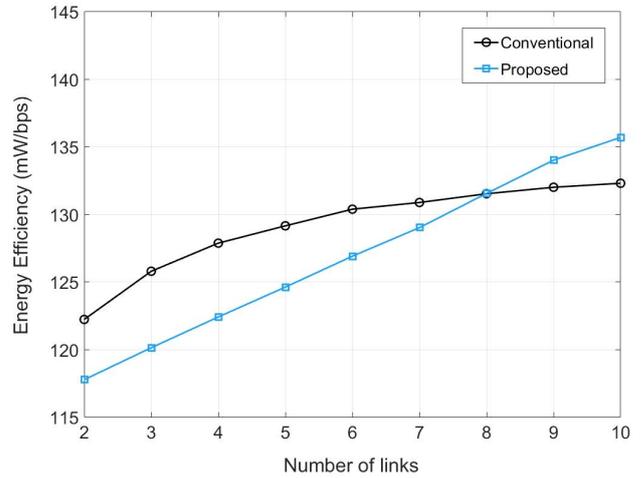
그림 2는 종래의 방식과 제안한 방식이 각각 2개의 링크를 가지고, 하이 스루풋 트래픽의 비율이 0.5인 환경에서 트래픽 부하(λ)에 따른 에너지 효율성을 나타낸다. λ 가 클수록 단위 시간당 발생하는 트래픽이 많아지기 때문에 두 방식의 에너지 효율성이 개선되는 결과를 보인다. 제안한 방식은 링크를 모두 활성화하지 않고, 일부 링크만 사용하여 데이터를 처리하기 때문에 종래의 방식보다 에너지를 적게 사용한다. 따라서 λ 가 1인 환경에서 제안한 방식의 에너지 효율성은 종래 방식 대비 대략 14.49% 개선되었으며, λ 가 20인 환경에서는 대략 0.88% 개선되었다. λ 가 커질수록 제안한 방식의 에너지 효율이 소폭으로 개선되는 것을 확인하였다.



(그림 3) 전체 생성된 트래픽 중 하이 스루풋 트래픽의 비율에 따른 에너지 효율성

그림 3은 두 방식이 각각 2개의 링크를 가지고, λ 를 1로 고정된 환경에서 하이 스루풋 트래픽의 비율

에 따른 에너지 효율성을 나타낸다. 전체 생성된 트래픽 중에서 하이 스루풋 트래픽의 비율을 0.1씩 바꿔가면서 에너지 효율성을 측정하였다. 하이 스루풋 트래픽의 비율이 커질수록 제안하는 방식의 에너지 효율성이 큰 폭으로 개선되는 결과를 보인다. 이는 하이 스루풋 트래픽이 발생하면, 제안한 방식은 처리량을 높이기 위해서 절전 상태에 있는 링크를 추가로 사용하기 때문이다. 추가로 소모한 에너지 대비 처리량이 크게 증가하므로 에너지 효율이 개선된다. 반면, 종래의 방식은 항상 데이터를 처리하기 위해서 링크를 산발적으로 사용하기 때문에 에너지 소모량이 일정하여 에너지 효율이 개선되지 않는다. 따라서 하이 스루풋 트래픽의 비율이 0.1인 환경에서 제안한 방식의 에너지 효율성은 종래 방식 대비 대략 7.44% 개선되었으며, 하이 스루풋 트래픽의 비율이 1인 환경에서는 약 19.18% 개선되었다.



(그림 4) 링크의 개수에 따른 에너지 효율성

그림 4는 λ 를 1로 고정하고, 하이 스루풋 트래픽의 비율이 0.8인 환경에서 두 방식의 링크 개수에 따른 에너지 효율성을 나타낸다. 링크의 개수가 증가할수록 두 방식 모두 단위 시간당 사용하는 에너지 소모량이 커지는 결과를 보인다. 링크의 개수가 8개 미만인 환경에서 제안한 방식의 에너지 효율성은 종래의 방식보다 평균적으로 대략 3.34% 개선된다. 반면, 링크의 개수가 8개 이상인 환경에서 제안한 방식의 에너지 효율은 대략 평균적으로 1.37% 낮은 결과를 보인다. 이는 제안한 방식이 스루풋을 높이기 위해서 추가 링크를 활성화하지 않으므로 스루풋 대비 대기 상태 링크의 에너지 소모가 증가하기 때문이다.

5. 결론

WiFi 7 표준은 더 낮은 지연 시간과 더 높은 스루풋을 달성하기 위해서 멀티링크 동작 기술을 도입하였다. 그러나 멀티링크 동작을 사용하면 스루풋은 증가하지만, 에너지 소모량이 큰 문제가 있다. 대부분의 종래 무선랜 표준들은 STA의 에너지 절감만 고려하고, AP의 에너지 효율성은 고려하고 있지 않다. 본 논문에서는 멀티링크 환경에서 에너지 효율을 개선하는 AP 파워 세이빙 메커니즘을 제안하였다. 실험 결과에 따르면, 제안한 방식이 링크를 산발적으로 사용하는 종래의 방식 대비 에너지 효율성이 최대 19.18% 개선되었다. 향후 연구에서는 멀티링크 환경에서 AP의 스루풋과 에너지를 동시에 최적화하는 방법을 연구할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2024년도 산업통상자원부 및 한국산업기술진흥원의 산업혁신인재성장지원사업 (RS-2024-00415520)과 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 ICT혁신인재4.0 사업의 연구결과로 수행되었음 (No. IITP-2022-RS-2022-00156310)

참고문헌

[1] B. Bellalta, M. Carrascosa, L. Galati-Giordano and G. Geraci, "Delay Analysis of IEEE 802.11be Multi-Link Operation Under Finite Load," *IEEE Wireless Communications Letters*, 12(4), pp. 595-599, April 2023.

[2] A. A. Abdalhafid, S. K. Subramaniam, Z. A. Zukarnain and F. H. Ayob, "Multi-Link Operation in IEEE802.11be Extremely High Throughput: A Survey," *IEEE Access*, 12, pp. 46891-46906, 2024.

[3] C. Deng et al., "IEEE 802.11be Wi-Fi 7: New Challenges and Opportunities," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(4), pp.2136-2166, 2020.

[4] M. Alsakati, C. Pettersson, S. Max, V. N. Moothedath and J. Gross, "Performance of 802.11be Wi-Fi 7 with Multi-Link Operation on AR Applications," 2023 *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Glasgow, United Kingdom, 2023, pp. 1-6.

[5] X. Jin, Y. Long, X. Fang, R. He and H. Ju, "Energy Consumption Optimization under Multi-link Target Wake Time scheme in WLANs," 2022 *IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*, Sanshui, Foshan, China, 2022, pp. 1119-1124.

[6] L. Zhang, H. Yin, S. Roy, L. Cao, X. Gao and V. Sathya, "IEEE 802.11be Network Throughput Optimization With Multi-Link Operation and AP Controller," in *IEEE Internet of Things Journal*, 2024.

[7] Lili Hervieu et al. (CableLabs), "A Perspective on UHR Features for Operator Residential Deployments," *IEEE 802.11 UHR SG*, 2022.

[8] Amelia Andersdotter et al. (Sky Group/Comcast), "Ultra-High Reliability (UHR) requirements for home-networking use cases," *IEEE 802.11 UHR SG*, 2022.

[9] Guogang Huang et al. (Huawei), "Considering Unscheduled AP Power Save," *IEEE 802.11 UHR SG*, 2023.

[10] Alfred Asterjadhi et al. (Qualcomm Technologies Inc.), "Considerations for enabling AP power save," *IEEE 802.11 UHR SG*, 2022.