

밀집 네트워크의 다중 액세스 포인트 협력을 위한 단순화된 채널 관리 방법

전소은¹, 이일구²

¹ 성신여자대학교 미래융합기술공학과 박사과정

² 성신여자대학교 융합보안공학과, 미래융합기술공학과 부교수

220237020@sungshin.ac.kr, iglee@sungshin.ac.kr

Simplified Channel Management Mechanism for Multi-AP Cooperation in Dense Networks

So-Eun Jeon¹, Il-Gu Lee²

¹Dept. of Future Convergence Technology Engineering, Sungshin Women's University

²Dept. of Convergence Security Engineering & Future Convergence Technology Engineering, Sungshin Women's University

요 약

가상 및 증강현실(VR/AR), 원격 제어, 산업 자동화를 위한 실시간 애플리케이션이 증가함에 따라 무선 통신 네트워크의 처리량과 지연시간 성능이 중요해졌다. 이에 따라 Wi-Fi 8에서는 초고신뢰 (Ultra-High Reliable, UHR)를 목표로 표준화가 진행 중이며 다수의 AP가 협력하여 데이터를 전송하는 다중 AP 협력 기법이 핵심 기술로 논의되고 있다. 하지만 기존의 다중 AP 협력 환경에서 협력 전송을 위한 제어 정보로 인한 간섭 증가와 OBSS (Overlapped Basic Service Set) 간섭 문제를 고려하지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 효율적인 다중 AP 협력 전송을 위한 단순화된 채널 관리 방법(Simplified Channel Management Mechanism, SCMM)을 제안한다. 실험 결과에 따르면, SCMM이 종래모델 대비 처리량은 평균 21.23% 증가했고, 지연시간은 평균 51.02% 감소했다.

1. 서론

무선 네트워크 환경에서 넓은 대역폭과 실시간 애플리케이션의 중요성이 커지면서 Wi-Fi 네트워크는 처리량과 지연시간 측면에서 네트워크에 연결된 방대한 양의 장치와 트래픽 양 문제를 해결하기 위해 지속적으로 연구개발이 이루어지고 있다 [1]. 하지만 최근 밀집 네트워크 환경에서 제한된 주파수 채널 자원과 비효율적인 경쟁 기반의 채널 사용 방식이 높은 간섭 레벨을 초래한다는 한계가 있다. 이에 따라 최근 표준화가 이루어지고 있는 802.11bn (Wi-Fi 8)에서는 Wi-Fi의 초고신뢰 (Ultra-High Reliable, UHR) 연결 통신 서비스를 제공하기 위해 표준화가 이루어지고 있다. 802.11bn에서는 기존의 비효율적인 경쟁 기반 채널 접근 메커니즘의 문제를 완화하기 위한 해결책으로 다중 AP 협력 기술이 논의되고 있다. 다중 AP 협력이란 802.11be (Wi-Fi 7)에서 BSS (Basic service set) 간의 효율적인 자원 사용을 위해 도입된 기술로 OBSS (Overlapped BSS) 간 협력하여 데이터 전송을 조정하

는 기법이다. 이는 AP가 시간, 주파수, 공간 자원을 제어된 방식으로 공유할 수 있기 때문에 OBSS에 위치한 무선 장치들 간의 경쟁을 완화할 수 있다 [1].

하지만 기존 다중 AP 협력 기법은 다수 개의 AP가 통신함에 따라 발생하는 간섭 문제는 고려하지 않고 있고 [2][3][4], 주변의 간섭을 최소화한 적은 개수의 BSS 환경에서의 통신 방법만 고려했다는 점에서 한계가 있다 [2][3][4][5]. 즉, 간섭이 매우 크게 발생하는 현실적인 밀집 AP 환경에서 기존의 다중 AP 협력 동작은 과부하가 매우 클 것으로 예상되며, 특히 많은 양의 제어 정보를 송수신하는 다중 AP 환경에서는 네트워크 환경에서의 간섭을 최소화하는 것이 필수적이다.

따라서 본 논문에서는 다중 AP 환경에서 간섭을 최소화하기 위해 비트맵 기반의 효율적인 채널 측정 방법인 SCMM (Simplified Channel Management Mechanism)을 제안한다.

2. 선행연구

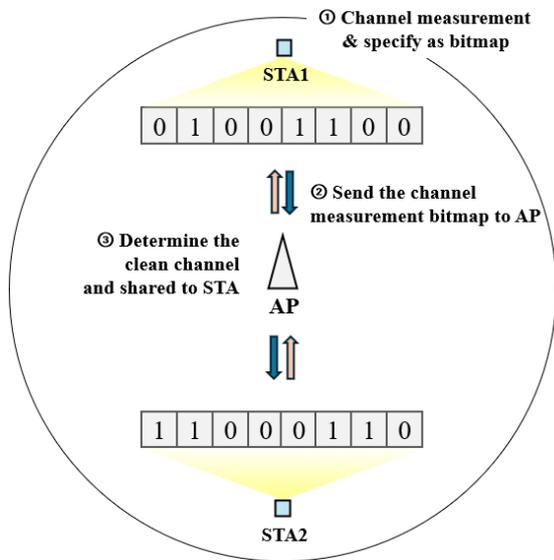
David Nunez [1]의 선행연구에서는 기존의 Wi-Fi 동작 과정에서 주기적인 다중 AP 협력 전송을 지원하기 위한 프레임워크를 제안한다. 본 선행연구에서는 AP의 그룹 형성 방법과 전송 스케줄링 메커니즘을 다룬다. Jason Yuchen Guo [4]의 선행 기고문에서는 co-SR (coordinated spatial reuse)의 실제 성능을 테스트하여 co-SR이 처리량 이득을 증가시킬 수 있음을 입증하였다. 하지만 두 선행연구는 다중 AP 환경에서 송수신하는 제어 정보 증가로 높아지는 간섭 문제는 고려하지 않았다.

Kosuke Aio [5]의 선행 기고문에서는 co-SR 성능에 오버헤드가 미치는 영향을 분석하고, 오버헤드를 줄이기 위한 방법을 제안하였다. Liuming Lu [6]의 선행 기고문에서는 저지연 트래픽을 전달하기 위한 다중 AP 협력 전송 기법을 제안하였고, Peshal Nayak [7]의 선행 기고문에서는 다중 AP 협력 전송의 리소스 최소화를 위해 선택적 플로우 제어(selection flow control) 기법과 AP 선택 기반 플로우 요구사항을 정의하고 있다. 하지만 본 선행 연구들은 공통적으로 적은 AP와 BSS 환경을 고려하고 있으며, 현실적인 OBSS 환경에서 간섭으로 인해 전송이 부하되는 문제는 고려하지 못했다.

따라서 본 연구에서는 다중 AP 동작을 수행하기 이전에 각 STA가 경험하는 채널 상태를 측정함으로써 비트맵 기반 채널 상태를 효율적으로 송수신하는 기법인 SCMM을 제안한다.

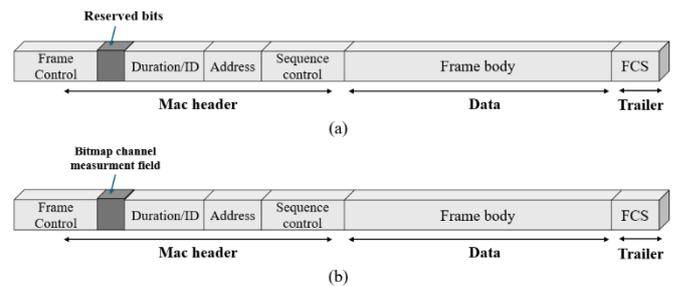
3. Simplified Channel Management Mechanism (SCMM)

본 장에서는 효율적인 다중 AP 협력 전송을 위해 비트맵 기반의 채널 측정 방법인 SCMM의 동작 방식을 서술한다. 그림 1은 SCMM의 동작 메커니즘을 나타낸 것이다.



(그림 1) SCMM의 동작 메커니즘

SCMM은 다중 AP 동작을 수행하기 이전에 각 STA가 채널을 먼저 측정한다. 그림 1은 160MHz 대역폭 환경에서 8개의 서브 채널의 비트맵을 나타낸 것이다. 각 STA가 경험하는 채널 상태를 측정하여 해당 STA가 측정한 신호 대 간섭 잡음비 (Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR)가 신호 대 간섭 잡음비 임계치를 초과하면 채널 상태가 좋다고 판단하여 채널 상태를 1로 표시하고, 신호 대 간섭 잡음비 임계치 이하의 신호 대 간섭 잡음비로 측정되면 채널에 간섭이 심해서 데이터 수신이 불가능한 것으로 판단하여 채널 상태를 0으로 표시한다. 각 채널 상태를 측정 후 비트맵으로 표시하여 AP로 전송하고, AP는 수신한 비트맵을 분석하여 각 STA가 공통적으로 간섭이 적은 서브채널로 통신을 수행하도록 한다. 그림 1과 같이, STA 1은 8개의 서브채널 상태가 01001100이고, STA2는 서브채널 상태가 11000110이다. 따라서, 공통적으로 상태가 좋은 채널은 서브채널은 2, 6번 채널이다. AP는 이 정보를 다시 STA에 공유하여 간섭이 적은 채널에서 통신함으로써 처리량을 증가시킬 수 있다. 그림 2는 SCMM의 채널 측정 비트맵 필드를 나타낸 것이다.



(그림 2) 패킷 프레임: (a) 무선랜 MAC frame, (b) SCMM channel measurement bitmap field

SCMM은 각 STA가 측정한 채널 상태 정보를 비트맵으로 AP에 송신하기 위해 기존 프레임에서 frame control 내의 reserved bit를 활용하여 전송할 수 있다.

4. 검증

4.1 실험 환경

본 장에서는 제안하는 SCMM의 성능을 검증하기 위한 실험 환경을 설명한다. SCMM의 성능을 비교하기 위한 종래 모델은 채널 상태를 별도로 측정하지 않고 고정된 서브채널로 통신하는 NCMM (Non Channel Management Mechanism) [1]으로 선정하였다.

본 실험은 matlab으로 SCMM과 NCMM을 모델링하여 성능을 평가했다. 시뮬레이션 모델은 160MHz 대역폭의 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 환경으로 8개의 서브 채널로 구성된 네트워크 환경으로 구현했다. 1개의 BSS에서 1개의 AP와 2개의 STA가 통신하는 환경으로 가정하였으며, 평가지표로는 처리량과 지연 시간을 사용하였다. 처

리량은 Eq. (1)에 따라 계산하였다.

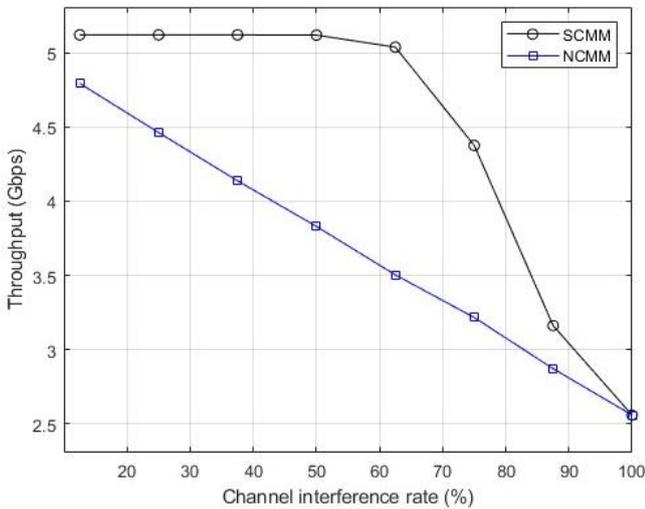
$$\text{Throughput} = \frac{\text{Amount of data received successfully}}{\text{Transmission time}} \quad (1)$$

각 STA 는 1ms 에 4 개의 10,000byte 크기의 데이터를 전송하는 환경을 가정하였다. 이 때 throughput 은 BSS 내 2 개의 STA 처리량의 합인 전체 네트워크 처리량을 계산하였다. 데이터를 전송할 때마다 BSS 주변의 장치들로 인해 채널 상태가 랜덤으로 변화하고, 간섭이 많은 채널로 데이터를 전송할 경우 데이터 전송에 실패하도록 구현하였다. 데이터 전송에 실패할 경우 8 회까지의 재전송이 가능하며, SCMM 의 경우 비트맵 상으로 채널 상태가 0 으로 표시되어 있을 경우 데이터 전송에 실패하는 환경으로 구현하였다. 지연시간은 각 모델이 데이터를 전송하는데 소요된 시간으로 평가하였다. 데이터 전송에 실패하면 다음 타임 유닛에서 데이터를 재전송한다.

서브채널에 간섭이 존재하는 비율 별 처리량과 지연 시간을 평가하였으며, 시뮬레이션은 총 5,000 회 반복하였다.

4.2 실험 결과 및 분석

그림 3 은 제안하는 SCMM 과 NCMM 의 처리량을 비교한 결과이다.

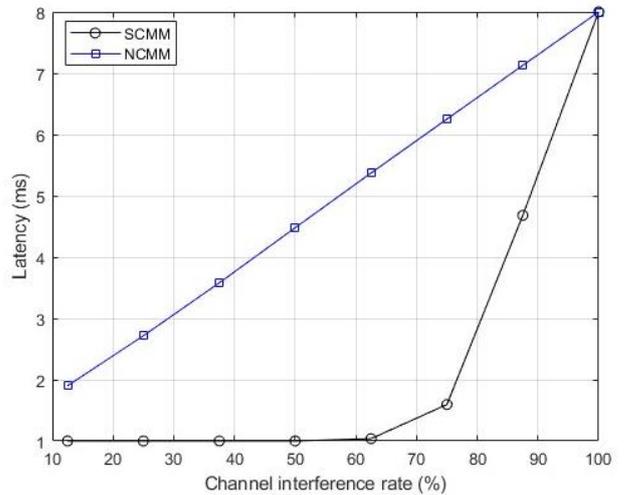


(그림 3) SCMM 의 처리량 성능 평가 결과

그림 3 에 따르면, NCMM 은 채널 간섭률이 증가함에 따라 반비례하여 처리량이 감소하는 결과를 보였고, SCMM 은 채널 간섭률이 약 60% 일 때까지는 높은 처리량을 유지하지만, 그 이후 급격하게 감소하는 결과를 보였다. 이는 8 개의 서브채널 중 간섭이 존재하는 빈도가 높을수록 데이터 전송 실패율이 높기 때문에 처리량이 비효율적인 결과를

보였다. 특히, 채널 상태와 상관없이 특정 채널로 고정하여 데이터를 전송하는 NCMM 은 채널에 간섭 비율이 증가할수록 급격하게 처리량 성능이 감소하였고, 이는 NCMM 이 채널 상태를 측정하지 않고 데이터를 전송하므로 간섭이 포함된 채널로 데이터를 전송할 가능성이 높기 때문이다. 반면에, 제안하는 SCMM 은 데이터를 전송하기 이전에 채널을 측정하여 채널 상태가 좋은 서브 채널을 선정하여 통신하기 때문에 간섭 비율이 60% 이하인 비교적 간섭이 적은 환경에서는 처리량이 2Gbps 로 좋은 성능을 유지하는 결과를 보였다. 반면에, 서브채널의 간섭 빈도가 70% 이상인 환경에서는 제안모델 또한 전송 가능한 채널이 매우 희소한 환경이기 때문에 NCMM 보다는 높은 성능이지만 처리량이 감소하는 추세를 보였다.

그림 4 는 SCMM 의 지연시간 성능 평가 결과를 나타낸 것이다.



(그림 4) SCMM 의 지연시간 성능 평가 결과

그림 4 에 따르면, NCMM 은 지연시간이 선형으로 비례하여 증가하는 반면, 제안 기술인 SCMM 은 채널 간섭률이 약 60%일 때까지는 1ms 내의 지연율을 보이다가 채널 간섭이 60% 이상 증가함에 따라 급격하게 지연이 증가하는 결과를 보였다. 이는 채널 간섭 빈도가 증가할수록 각 모델이 전송 실패할 가능성이 높아짐에 따라 재전송을 시도하는 과정에서 소요되는 시간이 증가하기 때문이다. 특히 NCMM 은 채널 측정 없이 데이터를 전송하기 때문에 간섭이 포함된 채널로 전송할 가능성이 높아지므로 반복적인 재전송으로 인한 지연시간이 급격하게 증가하였다. 그에 반해 제안하는 SCMM 은 간섭이 없는 채널로 데이터를 전송함으로써 데이터 전송 성공률이 높기 때문에 지연시간을 개선할 수 있었다.

5. 결론

네트워크에 연결된 장치의 수가 급증함에 따라 이

를 지원하기 위한 AP 환경도 밀집 AP 환경이 증가하고 있다. 이에 따라 기존의 비효율적인 경쟁 문제를 완화하기 위한 다중 AP 협력 전송 기법이 Wi-Fi 8 에서 활발하게 논의되고 있다. 하지만 기존 다중 AP 협력 전송 환경에서는 다수개의 BSS 가 중첩된 OBSS 환경이나 송수신하는 제어 정보로 인한 간섭 문제를 고려하지 않는다는 점에서 한계가 있었다. 본 연구에서는 각 STA 에서 경험하는 채널 상태를 측정하여 비트맵 형태로 AP 에 전송함으로써 최적의 서브채널을 도출하는 SCMM 모델을 제안하였다. 실험 결과에 따르면, SCMM 이 종래모델 대비 처리량은 평균 21.23% 증가시켰고, 지연시간을 평균 51.02% 줄일 수 있었다.

본 연구에서는 실험 환경의 단순화를 위해 단일 AP 환경에서 제안하는 모델의 성능을 입증하였다. 향후 연구에서는 다수 개의 AP 가 존재하는 실제적인 Multi-AP 환경을 구현하여 검증하고자 하며, 비의도적·의도적 비트맵 변경 문제를 탐지하는 무결성 확인 메커니즘을 연구할 예정이다. 나아가 비트맵 전송으로 인한 오버헤드를 최소화하기 위한 비트맵 압축 전송 방법을 연구할 계획이다.

Acknowledgement

본 논문은 2024 년도 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] Nunez, David & Smith, Malcom & Bellalta, Boris (Cisco). "Multi-AP Coordinated Spatial Reuse for Wi-Fi 8: Group Creation and Scheduling", 2023 21st Mediterranean Communication and Computer Networking Conference (MedComNet), 203-208., 2023.
- [2] Leonardo Lanante, Jeongki Kim, Serhat Erkucuk, Jiayi Zhang, Tuncer Baykas (Ofinno), "Cross Interference During Coordinated Spatial Reuse", IEEE 802.11 UHR SG, 2023.
- [3] Abdel Karim Ajami, Alfred Asterjadhi, Abhishek Patil, Duncan Ho, George Cherian, Gaurang Naik, Yanjun Sun (Qualcomm), "Considerations for AP coordination in UHR: Coordinated Medium Access", IEEE 802.11 UHR SG, 2023.
- [4] Jason Yuchen Guo, Yunbo Li, Guogang Huang, Ming Gan, Ross Jian Yu (Huawei), "Coordinated Spatial Reuse for UHR", IEEE 802.11 UHR SG, 2023.
- [5] Kosuke Aio, Yusuke Tanaka, Ryuichi Hirata, Ken Tanaka, Thomas Handte (Sony), "Overhead Analysis of Coordinated Spatial Reuse", IEEE 802.11 UHR SG, 2023.
- [6] Liuming Lu, Chaoming Luo, Pei Zhou (OPPO). "Multi-AP Coordination for Low Latency Traffic Delivery", IEEE 802.11, 2022.

- [7] Peshal Nayak, Junsu Choi, Boon Loong Ng, Rubayet Shafin, Vishunu Ratnam, Yue Qi, Elliot Jen (Samsung), "Resource Management for Multi-AP Coordination", IEEE 802.11 UHR SG, 2023.