

고효율 차세대 무선랜 시스템을 위한 전이중 거대 다중입출력

이진녕*, 최경준*, 김광순°

Full-Duplex Massive MIMO for High Efficiency Next Generation WLAN Systems

Jinyeong Lee*, Kyung Jun Choi*, Kwang Soon Kim°

요약

본 논문에서는 고밀도 환경을 고려해야 하는 차세대 무선랜에서 고효율의 우수한 전송 품질을 제공하기 위하여 고려할 수 있는 고용량 MIMO와 전이중 통신 기술들에 대해 다룬다. 제안하는 방식은 분리된 공간 자원의 양에 따라 다른 캐리어 센싱 한계값을 할당하는 JSDR 기술과 프로토콜 오버헤드를 줄인 효율적인 다중 사용자 고용량 MIMO 프로토콜, 그리고 전이중 통신을 적용하여 기존의 무선랜 시스템보다 네트워크 용량을 증가시킬 수 있음을 보였다.

Key Words : carrier sensing threshold, MU-MIMO protocol, Full-Duplex, massive MIMO, WLAN

ABSTRACT

In this letter, massive MIMO and full-duplex communication are considered together for high efficiency next generation WLAN systems. The proposed scheme allocates different carrier sensing thresholds by applying the joint spatial division and reuse (JSDR) scheme and is able to enhance the efficiency of MU-MIMO protocols by reducing the protocol overhead. Finally, full-duplex communication

is applied to improve the spectral efficiency of WLAN systems.

I. 서론

최근 이동통신 기기 수요의 급격한 증가에 따른 트래픽 증가를 해결하기 위해 차세대 무선랜 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 무선랜을 통한 사용자들의 데이터 사용량은 해마다 급격하게 증가하고 있는데, 2013년의 Mobidia 자료에 따르면, 안드로이드 스마트폰의 데이터 트래픽은 2012년 셀룰러와 무선랜이 각각 33%, 67%의 비율에서 2013년 27%, 73%로 무선랜의 비율이 급격하게 증가한 것을 확인할 수 있다.^[1] 즉, 해를 거듭할수록 무선랜의 데이터 사용량은 점점 증가할 것이고, 이는 무선랜의 환경이 점점 고밀도화 되어가는 것을 뜻하게 된다. 이에 따라 차세대 무선랜은 고밀도 환경에서 현재의 무선랜에 비해 더욱 효율적인 통신을 할 수 있도록 연구가 되어야 한다.

이러한 상황에서 현재 가장 많이 연구가 되고 있는 것이 바로 전이중 (Full-Duplex) 통신과 대용량 MIMO (Massive MIMO) 기술이다. 하지만 이러한 기술들을 바로 적용할 경우 고밀도 환경에서 고정된 캐리어 센싱 한계값 (carrier sensing threshold)으로 인한 성능 한계와 대용량 MU-MIMO에서 안테나 수의 증가에 따른 프리앰블 (preamble) 오버헤드 등의 문제로 인해 여전히 효율이 떨어지는 문제가 발생하게 된다.

본 논문에서는 고밀도 환경에서 효율을 높이기 위해 전이중 대용량 MIMO 상황에서 최적의 캐리어 센싱 한계값을 찾는 기술과 전이중 MU-MIMO 프로토콜을 무선랜 시스템에 적용하였고, 이에 따른 성능 결과를 보였다.

II. 시스템 모형

본 논문에서의 네트워크 모형은 [2]의 모형과 유사한 모형을 가정한다. 즉, 2차원 네트워크의 중심에 M개의 안테나를 가진 다중 안테나 고효율 AP, X_0 가 존

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송연구개발사업의 일환으로 수행하였음.[B0101-16-1367, 고성능, 고효율의 차세대 무선랜 무선전송 원천기술 개발]

• First Author : Yonsei University Department of Electrical and Electronic Engineering, jnlee@dcl.yonsei.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Yonsei University Department of Electrical and Electronic Engineering, ks.kim@yonsei.ac.kr, 종신회원

* Yonsei University Department of Electrical and Electronic Engineering, kjchoi@dcl.yonsei.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2016-07-143 Received July 11, 2016; Revised July 27, 2016; Accepted July 27, 2016

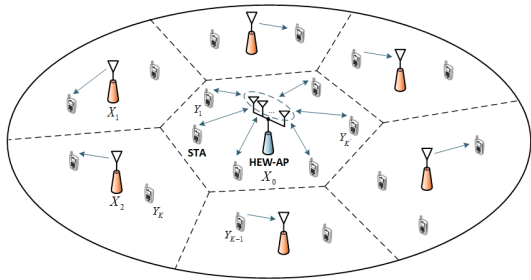


그림 1. 네트워크 모형
Fig. 1. Network model

재하고, 주위에 단일 안테나를 가진 L 개의 AP들 $\{X_1, X_2, \dots, X_L\}$ 와 최대 2개의 안테나를 가진 K 개의 STA들 $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_K\}$ 이 균일하게 분포한다. 단, [2]에서 하향링크만을 고려했던 것과는 달리, 여기서는 그림 1과 같이 레가시 (legacy) AP들은 상향링크와 하향링크 모두를, 그리고 고효율 AP는 전이중 통신을 고려한다. 단일 안테나를 갖는 AP들은 각각 하나의 STA에게 데이터를 전송하고, AP X_i 이 전송할 STA를 $Y_{\pi(i)}$ 이라고 한다. 그리고 고효율 AP는 K' 개의 STA $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_{K'}\}$ 에게 데이터를 전송한다.

본 논문에서의 채널 모델은 [2]에서와 마찬가지로 원링 분산 모델 (one-ring scattering model)을 사용하였다. 따라서 스칼라 및 벡터 채널은 각각 거리와 페이딩에 따라 정해지고, 그림 1에서 STA Y_k 가 방위 각 (azimuth angle) θ_k 에 위치해 있고, 주변에 반지름 r 크기의 원모양 산란체들이 있는 원형산란체 모형을 가정한다면, 채널의 상관 행렬은 각퍼짐 (angular spread), 반송파의 파장, 고효율 AP의 m 번째 안테나의 위치를 나타내는 2차원 열벡터를 이용한 적분 식으로 구할 수 있다.

III. 제안하는 방식

무선랜의 환경이 고밀도화 되어감에 따라 앞서 밝힌 바와 같이 고정된 캐리어 센싱 한계값으로는 더 이상의 성능 향상을 기대하기 어렵다. 따라서 여기서는 기존에 제안된 방식인 JSDR (Joint spatial division and reuse) 방식을 통하여 대용량 MIMO 상황에서 최적의 캐리어 센싱 한계값을 찾아내도록 한다.^[2] 즉, 전체 공간 차원 M 을 둘로 나누어 m 을 목표 STA에게 할당하고, $M-m$ 을 간섭 제거를 위한 영공간 (null space)에 할당한다. 여기서 목표 STA에게 할당한 공간 m 에 따라 다른 캐리어 센싱 한계값을 사용하도록

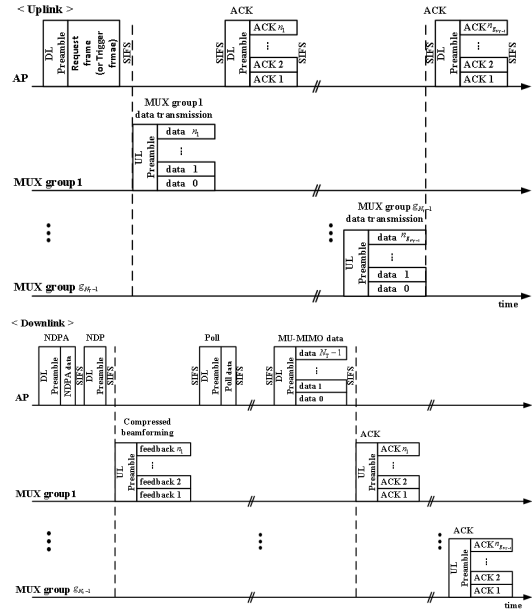


그림 2. 상향하향 링크 MU-MIMO 프로토콜
Fig. 2. UL/DL MU-MIMO protocol

하고, 최적의 m 을 선택하여 목표 STA들과 송수신을 주고받는다.

또한, 다중 사용자 상황에서 대용량 MIMO 사용으로 인해 프리엠블의 오버헤드가 급격하게 증가하게 되는 문제가 발생하는데, 이는 STA들을 그룹화하여 파일럿 (pilot) 신호를 다중화하여 전송하는 방식을 사용하여 오버헤드를 줄일 수 있다.^[3] 여기서 다중화 방식은 시간 도메인에서 순환 시프트 분리 (cyclic shift separation)를 통한 코드분할다중접속 (code-division multiplexing) 방식을 사용하여 다중화 그룹 내 프리엠블을 구분한다. 그림 2는 하향링크만 고려한 [3]의 방식을 상향 및 하향 링크에 모두 적용한 경우의 프로토콜 전송 방식을 나타냈다. 이와 같이 다중화 그룹을 미리 정하여, 파일럿 신호를 다중화하여 전송이 가능한 한편, 현재 주로 논의가 되고 있는 IEEE 802.11ax와 같이 트리거 프레임(Trigger frame)을 통해 MU-MIMO 전송을 하게 될 STA들에게 각각 정해진 스트림 수와 OFDMA 주파수 자원 정보를 전송하여, STA들이 동시 전송 가능하도록 하는 방법 또한 고려가 될 수 있다.^[4]

앞선 기술들과 더불어 전이중 통신을 통해 데이터 전송량을 더욱 높일 수 있다. 여기서 전이중 통신으로 인해 발생하는 자기 간섭은 기존의 다중안테나 상황에서의 자기 간섭 제거 방식을 통해 잡음 수준까지 제거가 되었다고 가정한다.^[5] 구체적으로 아날로그 간섭

제거는 70dB, 그리고 디지털 간섭 제거는 33dB로 총 103dB만큼 자기 간섭을 제거할 수 있다. 하지만 전이중 MU-MIMO의 경우 STA들 간의 추가적인 간섭이 발생하여 성능이 저하될 수 있고, 따라서 STA들 사이의 간섭을 고려한 스케줄링 방식이 고려되어야 한다.

IV. 성능 평가

본 논문에서는 성능 평가를 위해 레가시 AP와 고효율 AP의 송신 전력은 모두 20dBm, 사용 대역폭은 20MHz, 그리고 캐리어 센싱 한계값은 고밀도 환경을 고려하여 -62dBm을 초기값으로 잡았다. 네트워크 크기는 100m x 100m 반경에서 레가시 AP는 평균 10개, 그리고 AP당 STA 수는 평균 20개를 가정 하였다. 여기서 모든 STA들은 항상 전송하고자 하는 데이터를 충분히 갖고 있고, 앞서 고밀도 환경이기 때문에 동일한 프레임 시간 적용이 가능한 STA들을 항상 찾아서 그룹화할 수 있다.

그림 3은 이러한 환경에서 고효율 AP의 안테나 수가 각각 8, 16개일 때 기존의 방식과 제안하는 방식에 따른 성능 결과를 나타냈다. Case1은 IEEE 802.11에서의 고정 캐리어 센싱 한계값을 사용한 것이고, Case2는 JSDR을 통해 최적의 캐리어 센싱 한계값을 구하고 사용한 것이다. 또한 기존의 방식은 마찬가지로 IEEE 802.11 시스템에서 파일럿 오버헤드가 큰 상황이고, 제안하는 방식은 파일럿을 다중화하여 비교적 오버헤드가 감소하여 성능이 향상된 것이다. 반이중 방식에서는 기본적인 랜덤 스케줄링을 가정하였고, 전

이중 통신은 STA간 간섭이 있는 상황과 없다고 가정 한 상황에서 마찬가지로 랜덤 스케줄링을 가정하였다. 종합해 봤을 때, 제안하는 전이중 대용량 MIMO 기술을 사용함으로써 무선랜의 전체적인 네트워크 성능이 기존 무선랜 시스템에 비해 크게 향상된 것을 확인할 수 있다. 전이중 통신에서 STA간 간섭의 유무로 인한 성능 차이는 16개 안테나 기준으로 JSDR 방식을 사용할 경우 168.7Mbps이고, 성능 차이가 상당히 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 전이중 MU-MIMO 상황에서 STA 사이의 간섭을 고려한 적절한 스케줄링 방식을 적용할 경우 더욱 좋은 성능 결과를 기대할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 고밀도화 되어가는 무선랜 환경에서 더욱 효율적으로 통신을 하기 위해 제안하는 전이중 대용량 MIMO 기술들을 무선랜 시스템에 적용하였고, 그에 따른 성능 결과를 보였다. 결과를 통해 전이중 MU-MIMO를 적용함으로써 인해 발생하는 STA간 간섭으로 인한 성능저하가 상당히 큰 것을 확인했고, 따라서 STA간 간섭을 고려한 적절한 스케줄링 방식에 대한 연구가 필요함을 확인했다.

References

- [1] Informa/Mobidia, *Understanding the role of managed public Wi-Fi in today's smartphone user experience: A global analysis of smartphone usage trends across cellular and private and public Wi-Fi networks*, Feb. 2013.
- [2] K. J. Choi, et al., "Joint spatial division and reuse for maximizing network throughput in densely-deployed massive MIMO WLANs," *J. KICS*, vol. 40, no. 3, pp. 469-477, Mar. 2015.
- [3] K. J. Kim, et al., "Multi-user massive MIMO for next-generation WLAN systems," *Electr. Lett.*, vol. 51, no. 10, pp. 792-794, May 2015.
- [4] IEEE, *Proposed TGax draft specification*, IEEE 802.11-16/0024r1, Mar. 2016.
- [5] D. Bharadia and S. Katti, "Full duplex MIMO radios," in *Proc. 11th USENIX NSDI Symp. NSDI*, pp. 359-372, Apr. 2014.

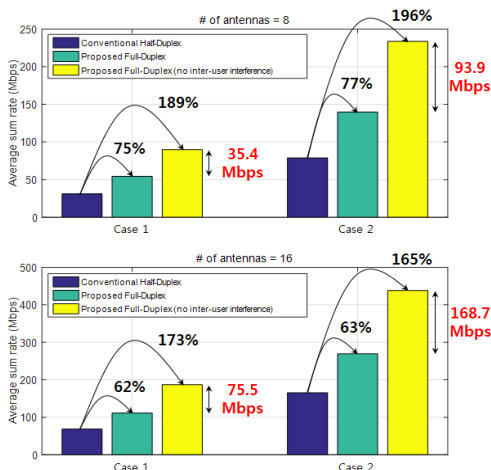


그림 3. 안테나 수에 따른 제안하는 방식의 성능
Fig. 3. Performance of the proposed scheme (# of antennas at HEW AP)