

# 중계기를 사용하는 다중 사용자 OFDMA 시스템에서 주파수 재사용을 위한 선코딩 기법에 따른 성능 비교

강민규, 김경준, 전기준, 유향선, 김광순  
연세대학교 전기전자공학과  
{kangys8, kimkj, puco201, sssun, ks.kim} @yonsei.ac.kr

## Performance Comparison of Precodings for Frequency Reuse in Multiuser OFDMA Systems using Relays

Mingyu Kang, Kyung Jun Kim, Ki Jun Jeon, Hyangsun You, Kwang Soon Kim

Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University

262 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea

### 요 약

본 논문에서는 무선 중계기를 사용하는 다중 사용자 OFDMA 시스템에서 [4]에서 제안한 주파수 재사용 기법을 사용할 경우 간섭 신호 제거를 위한 선코딩 (precoding) 기법으로 더티 페이퍼 코딩 (dirty paper coding, DPC)과 THP (Tomlinson-Harashima precoding)가 각각 사용될 때의 성능을 비교한다. 위의 시스템에서 DPC가 사용될 경우 효과적인 간섭 영향 극복으로 최상의 성능을 얻을 수 있지만, 너무 높은 복잡도를 요구함으로써 실제 환경에서는 사용하기 어렵다는 단점을 갖고 있다. 반면에 THP는 복조 차수 (modulation order)가 낮을수록 추가적인 전력 손실이 발생하지만, 비교적 낮은 복잡도로 구현하기 쉬운 장점을 가지고 있는 효율적인 간섭 제거 기법이다. 본 논문에서는 모의 실험을 통하여 위 시스템에서 기지국이 비례적 공정 스케줄링 (proportional fair scheduling)을 수행할 때 중계기의 수가 증가할수록 주파수 재사용율이 증가하여 간섭 제거를 위한 선코딩으로서 THP와 DPC가 각각 사용될 때의 성능 차이가 줄어들음을 보였다.

## I. 서론

직교 주파수 분할 다중 접속 방식 (orthogonal frequency division multiple access, OFDMA) 시스템에서 셀 안에 다수의 무선 중계기를 추가 운용하여 협력 통신 기술을 사용할 경우 음영 현상을 극복하거나 전송 신호의 도달 범위를 확대하여 셀 경계에 있는 사용자에게도 높은 전송률을 안정적으로 제공하는 등 전체적인 셀룰러 시스템의 용량 증대를 얻을 수 있다 [1]. 또한 [2]에서는 중계기를 사용하는 다중 사용자 OFDMA 시스템에서 기지국이 중계기가 사용하는 자원을 간섭 제거를 위한 선코딩 (precoding)을 이용하여 재사용하는 효율적인 인지 협력 통신 기법을 제안하고, 실제 간섭 제거를 위한 선코딩 기법으로서 THP (Tomlinson-Harashima precoding) [3]가 사용될 때 전체적인 시스템의 주파수 효율성이 향상됨을 보였다.

본 논문에서는 중계기를 사용하는 다중 사용자 OFDMA 시스템에서 [2]에서 제안한 인지 협력 통신 기법을 수행할 경우 간섭 신호 제거를 위한 선코딩 기법으로 더티 페이퍼 코딩 (dirty paper coding, DPC)과 THP가 각각 사용될 때의 성능을 비교한다. 위의 시스템에서 DPC가 사용될 경우 효과적인 간섭 영향 극복으로 최상의 성능을 얻을 수 있지만, 너무 높은 복잡도를 요구함으로써 실제 환경에서는 사용하기 어렵다는 단점을 갖고 있다. 반면에 THP는 복조 차수 (modulation order)가 낮을수록 추가적인 전력 손실이 발생하지만, 비교적

낮은 복잡도로 구현하기 쉬운 장점을 가지고 있는 효율적인 간섭 제거 기법이다. 본 논문에서는 모의 실험을 통하여 위 시스템에서 기지국이 비례적 공정 스케줄링 (proportional fair scheduling)을 수행할 때 중계기의 수가 증가할수록 주파수 재사용율이 증가하여 THP와 DPC의 성능 차이가 줄어들음을 보인다.

## II. 시스템 모형

본 논문에서는 그림 1과 같이 [2]에서 제안한 인지 협력 통신 기법 수행을 위한 프레임 구조를 사용한다. 기존의 중계기를 이용하는 셀룰러 시스템에서 기지국은

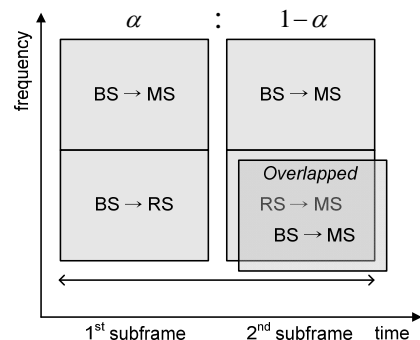


그림 1. 프레임 구조 [2]

두 번째 부프레임에서 중계기가 전송하는 신호를 미리 알고 있으므로 동일한 대역을 중계기보다 셀 안쪽에 위치해 있는 사용자들에게 추가로 할당하고 DPC 또는 THP 등의 선코딩 기법을 이용하여 중계기로부터의 간섭의 영향을 효과적으로 제거하며 신호를 전송할 수 있다.

중계기를 사용하는 다중 사용자 OFDMA 시스템에서 송수신 신호 및 감쇄 채널, 잡음 모형, 중계기 위치 등의 시스템 모형과 기지국이 비례적 공정 스케줄링을 수행할 때의 사용자 선택 방법 및 사용자 별 평균 전송률을 계산하는 방법은 [2]에서의 그것들을 따른다고 가정하였다.

### III. DPC 와 THP 의 성능 비교

본 장에서는 [2]에서 제안한 인지 협력 통신 기법 수행 시 선코딩 기법으로 DPC 와 THP 가 사용될 때의 성능을 모의 실험을 통해 얻은 결과를 이용하여 비교 분석한다. DPC 가 사용될 경우 간섭에 의한 영향이 완벽히 제거되며, 이 때 해당 링크의 SNR 이  $x$ 로 주어질 경우 전송률은 다음과 같이 주어진다 가정하였다 [4].

$$\log_2(1+x) - \log_2\left(\frac{2\pi e}{12} \cdot 10^{-\frac{g_s(\Lambda)_{\text{dB}}}{10}}\right) [\text{bps/Hz}] \quad (1)$$

위의 식에서  $g_s(\Lambda)_{\text{dB}}$  는 격자 (lattice) 선코딩 방식의 DPC 구현 시 웨이핑 이득 (shaping gain, SG)이며, 최적의 DPC 구현 시 1.53dB 의 값을 갖는다. THP 가 사용되는 경우에는 [2]에서 링크 성능을 구할 때 사용하였던 8 개의 변조 및 부호 조합으로 구성된 적응 변조와 부호화 (adaptive modulation and coding, AMC) 기법을 사용할 때 주어지는 해당 링크의 전송률을 사용하였다.

그림 2 는 무선 중계기를 사용하는 OFDMA 시스템에서 기존의 주파수 재사용을 하지 않는 방식과 [2]에서 제안한 주파수 재사용 기법에 선코딩 기법으로 DPC (SG=0.5dB, 1.53dB)와 THP 가 각각 사용되었을 때 사용자의 수에 따른 비례적 공정성 ( $\sum_k \log R_k$ )을 모의 실험을 통하여

구한 것이다. 중계기의 수는 3 개, 6 개인 경우를 각각 고려하였으며, 모의 실험을 위하여  $\alpha=1/2$ , FFT 사이즈는 1024, 부채널의 수는 32, 경로 감쇄 지수는 4 라고 가정하였다. 또한 ITU-pedestrian channel A 모형을 가정하였으며, 셀 반경은 1km, 각 중계기의 위치는 기지국으로부터 0.5km 떨어져있다고 가정하였다. 그리고 셀 반경의 평균 SNR 은 10dB, 평균 전송률을 구하는데 사용되는 윈도우 사이즈는 10 이라고 가정하였다. 먼저 [2]에서 제안하는 인지 협력 통신 기법을 사용할 경우 비례적 공정성이 크게 향상되는 것을 관찰할 수 있으며, 특히 사용자의 수가 증가할수록 기존의 기법 대비 증가 폭이 커지는 것을 관찰할 수 있다. 그 이유는 효율적인 주파수 재사용 기법을 사용할 경우 링크의 성능이 크게 향상되고, 이로 인하여 각 사용자의 평균 전송률도 함께 상승하기 때문이다. 그리고 DPC 가 사용될 때 SG 에 따른 성능 차이가 거의 없는 것을 확인할 수 있는데, 이는 DPC 를 이용하여 재사용되는 자원이 대부분 셀 안쪽의 평균 SNR 이 매우 큰 사용자에게 할당되어 SG 에 따른 채널 용량의 차이가 크지 않기 때문이다. 또한 THP 가 사용될 경우 중계기의 수가 증가하면서 더 큰 성능 향상을 나타내며 DPC 가 사용될 때와의 성능 차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 비례적 공정성 스케줄링의 특성상 동일한 시스템 환경에서는 링크 성능이 우수한 DPC 가 사용될

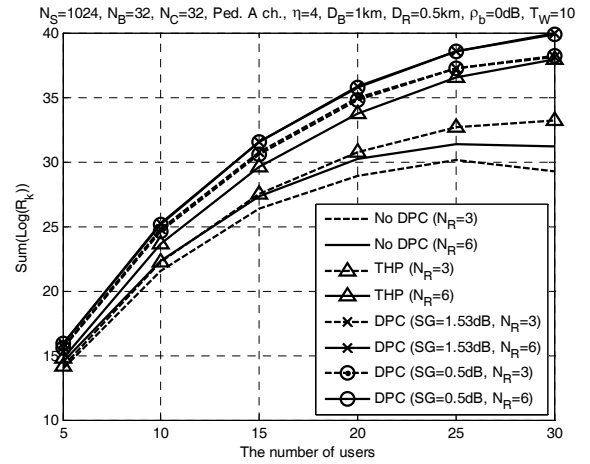


그림 2. 선코딩 기법으로 DPC 및 THP 가 각각 사용될 때 사용자의 수 및 무선 중계기의 수에 따른 비례적 공정성

경우 THP 가 사용되는 경우보다 셀 안쪽의 사용자의 평균 전송률이 높아지기 때문에 주파수 재사용을 할 확률이 높아진다. 따라서 링크 성능이 상대적으로 떨어지는 THP 가 사용될 때 중계기의 수가 너무 작을 경우 주파수 자원이 재사용될 확률이 낮아서 성능 향상의 폭이 작게 된다. 반대로 중계기의 수가 임의의 값보다 커지게 되면 THP 가 사용될 경우에도 주파수 재사용율이 증가하게 되어 큰 폭의 성능 향상을 나타내며 DPC 가 사용될 경우와의 성능 차이를 줄이게 된다. 여기에 좀더 다양한 종류의 변조 및 부호 조합으로 구성된 AMC 기법을 이용할 경우 THP 의 성능을 더욱 향상시킬 수 있을 것이다.

### IV. 결론

본 논문에서는 무선 중계기를 사용하는 다중 사용자 OFDMA 시스템에서 [2]에서 제안한 인지 협력 통신 기법을 수행할 경우 간섭 제거를 위한 선코딩 기법으로 DPC 와 THP 가 각각 사용될 때의 성능을 비교 분석하였다. 모의 실험을 통하여 기지국이 비례적 공정 스케줄링을 수행할 때 중계기의 수가 증가할수록 주파수 재사용율이 증가하여 THP 와 DPC 의 성능 차이가 줄어들음을 보였다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구 결과로 수행되었음 (IITA-2009-C1090-0902-0010)

### 참고문헌

- [1] Jaewon Cho and Zygmunt J. Haas, "On the throughput enhancement of the downstream channel in cellular radio networks through multihop relaying," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 22, no. 7, September 2004.
- [2] 강민규, 상영진, 고병훈, 김광순, "중계기를 사용하는 다중 사용자 OFDMA 시스템을 위한 효율적인 인지 협력 통신 기법," *한국통신학회논문지*, 34 권 3 호, pp.235-243, 2009년 3월.
- [3] M. Tomlinson, "New automatic equalizer employing modulo arithmetic," *Electron. Lett.*, vol. 7, pp. 138-139, Mar. 1971.
- [4] U. Erez and S. T. Brink, "A close-to-capacity dirty paper coding scheme," *IEEE Trans. Inform. Theory.*, vol. 51, No. 10, pp. 3417-3432, Oct. 3417.