

멀티-홉 릴레이를 이용한 LTE 하향링크 수신성능 개선에 관한 연구

박찬홍*, 문영민^o, 최용석*, 한영환*, 성현경*

*^o상지대학교 컴퓨터정보공학부

e-mail: pchnaya1@sangji.ac.kr, mym28@naver.com, macbeth01@nate.com, {yhhan, hkseong}@sangji.ac.kr

A Study on Receiving Performance Improvement of LTE Downlink Using Multi-hop Relay

Chan-Hong Park*, Young-Min Moon^o, Yong-Seok Choi*, Young-Hwan Han*, Hyeon-Kyeong Seong*

^oSchool of Computer Information and Communication Eng. Sangji University

● 요약 ●

본 논문에서는 현재 3GPP에서 진행되고 있는 차세대 이동통신 기술 표준, 즉 LTE 시스템의 하향링크 전송방식의 수신성능을 향상시키기 위해 기지국(BS)과 단말(MS) 사이에 릴레이(RS) 설치를 제안하고, BS의 위치와 설치된 RS의 거리를 각각 500m, 1000m로 하고 RS의 전송방식을 OFDMA와 SC-FDMA를 선택함으로써 수신성능을 높이기 위한 연구를 수행 하였다. 연구결과 RS의 위치가 BS와 가까울수록 RS에서는 SC-FDMA를 사용하는 것이 좋게 나왔고, 반대로 BS와 RS의 거리가 멀어질수록 RS에서는 OFDMA를 사용하는 것의 성능이 좋은 것으로 나왔다. 또한 BS와 MS 거리의 중심지역에서는 그 상황에 맞는 전송 방식을 사용함으로써 시스템의 수신성능을 향상시킬 수 있었다.

키워드: LTE, OFDMA, SC-FDMA, Multi-hop relay

I. 서론

전세계적으로 4G 이동통신의 표준화를 위해 OFDM을 기본 전송방식으로 하는 LTE를 개선한 LTE-Advanced의 표준화 작업을 진행 중에 있으며 적용된 기술들은 4G 이동통신에 가장 근접하다는 평가를 받고 있다. 3GPP LTE-Advanced에서는 PAPR 효율과 OFDMA와 SC-FDMA의 성능 차이를 보완하는 기술로 Hybrid OFDMA/SC-FDMA가 제안되고 있다[1]. 현재 LTE 하향링크에서는 주파수 효율 및 셀 용량을 증대하기 위하여 OFDMA를 사용한다. 하지만 OFDM은 기본적으로 다중 반송파를 사용하기 때문에 PAPR가 크다는 단점을 가지고 있다. 반면 LTE 상향링크에서는 OFDMA와 비슷한 방식이지만 전력 효율이 중요한 이동국에서 OFDM의 PAPR의 큰 단점을 보완하기 위해 SC-FDMA를 사용한다[2]. SC-FDMA는 하나의 반송파를 이용하여 데이터를 전송하는 특성을 가지고 있어 OFDM보다 PAPR이 낮다. 하지만 SC-FDMA는 주파수영역에서 채널에 의해 신호가 심각하게 왜곡 될 경우 수신단에서 주파수영역 등화기를 사용하기 때문에 심각하게 왜곡된 부분의 영향이 스프레딩되고 성능이 저하된다[3-4]. 따라서 본 논문에서는 OFDMA와 SC-FDMA의 성능 차이를 보완하기 위해 릴레이를 설치를 제안하고 기지국의 위치와 설치된 릴레이의 거리를 기반으로 하여 릴레이와 단말의 전송방식을 OFDMA와 SC-FDMA를 선택함으로써 수신성능을 높이기 위한 연구를 수행 하였다. 본 연구의 결과는 LTE 하향링크 시스템에서 나타나는 음영지역을 줄이고, BS의 셀 커버리지를

확대 시켜 시스템 전체의 수신성능을 향상 시켜 원활한 통신 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 관련기술

1. Hybrid OFDMA/SC-FDMA

1.1 OFDMA

OFDMA의 특징은 주파수 대역을 수백 개로 쪼개어 주파수간 간섭을 최소화해 대용량 데이터를 동시에 고속으로 보내는 기술이다. OFDMA에서는 준 반송파들이 더 큰 유닛인 서브채널들로 그룹화 되어 있으며, 이 서브채널들은 다시 무선 사용자들에게 할당될 수 있는 버스트로 그룹화 된다. 각 버스트 할당은 변조 순서 내에서 프레임 마다 바뀔 수 있다. 이는 기지국이 현재 시스템의 필요 요건에 따라 대역폭 사용을 동적으로 조정할 수 있게 해준다.[5-6]

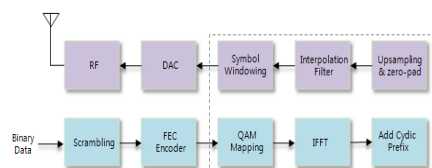


그림 1. OFDMA 하향링크 시스템의 송수신 블록도
Fig. 1. Transmitters/receivers blockdiagram of OFDMA downlink system

1.2 SC-FDMA

SC-FDMA는 단일 반송파 주파수분할 다중접속 방식이다. SC-FDMA에서는 FFT와 IFFT 모두 송신측에도 적용되고, 수신측에도 적용되기 때문에, 주파수 선택적 감쇠와 위상 왜곡이 방지될 수 있다. 또한 IFFT 수행 전에 Silent 푸리에 계수를 송신측에 삽입하고, 이들을 IFFT 수행 전에 수신측에서 제거함으로써 다중접속이 가능해진다.

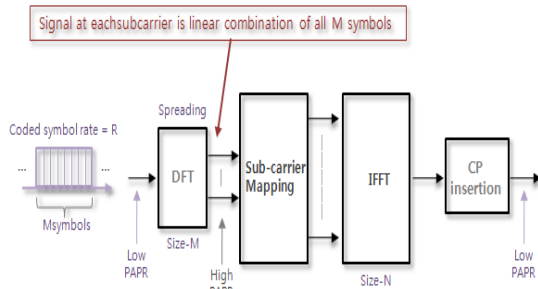


그림 2. SC-FDMA 송신단 구조
Fig. 2. Structures of SC-FDMA transmitter unit

그림 2는 SC-FDMA 기법을 사용하는 LTE 상향링크 송신단의 구조를 나타내고 있다. SC-FDMA에서는 기존에 OFDM 송신기의 구조에 부가적으로 FFT 연산을 먼저 한번 더 해줌으로써 PAPR이 오히려 주파수 축에서 증가했다가 다시 IFFT를 거치면서 시간 축에서는 PAPR이 줄어들도록 하는 것이다.

2. 멀티홉 릴레이(Multi-hop Relay)

기본적인 멀티홉 방식은 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있고, 셀 커버리지의 확장을 위해서 그림 3과 같이 BS의 신호를 수신할 수 없는 음영지역이나 셀 경계지역, 또는 서비스를 제공받지 못했던 셀 경계 외부까지도 RS를 이용하여 서비스를 제공 받을 수 있다.

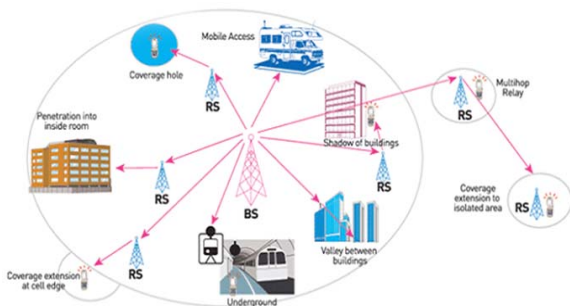


그림 3. 릴레이를 이용한 셀 커버리지 확장의 예
Fig. 3. Example of extension of cell coverage using relay

릴레이의 기법에는 데이터 중계 방식에 따라 고정중계기법과 선택 중계기법으로 나눌 수 있다. 고정중계기법은 RS가 항상 BS의 데이터를 수신하여 MS에게 전송해주는 기법으로 RS는 채널 상황에 대해 고려하지 않는 방식이고, 선택중계기법은 RS가 BS

로부터 수신된 신호의 전송 여부를 채널 이득을 통하여 결정하는 기법이다. 본 논문에서는 고정중계기법 중 DF 기법을 적용하였다.

DF 기법은 수신 신호를 비트 단위까지 복호화 하고 이를 다시 부호화 및 변조하여 재전송하는 기법이다. 수신 신호를 비트 단위까지 복호화하고 이를 다시 부호화 및 변조하여 재전송하는 기법이다[8]. DF 기법을 이용하는 RS는 수신한 신호를 복호화 하고 재 부호화 및 변조한 신호를 MS에 전송하며, 이때 D에 수신된 신호는 다음과 같다.

$$y_D = h_{RD} \hat{x} + n_D \quad (1)$$

여기서 \hat{x} 은 DF에 의해 재 부호화 및 변조된 RS에서의 송신신호이다. DF기법이 적용된 시스템의 채널 용량은 BS-RS 간, RS-MS간 두 채널 중 SNR이 작은 쪽의 채널 용량이 되며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$C_{DF} = \min \left\{ \frac{1}{2} \log_2(1 + p_{SR}), \frac{1}{2} \log_2(1 + p_{RD}) \right\} \quad (2)$$

두 채널의 유효 SNR이 동일할 경우, AF기법의 채널용량과 비교하면 DF기법의 채널 용량이 이득이 있음을 확인할 수 있다.

III. 멀티홉 릴레이 기술에 의한 LTE 수신 성능 개선 실험

본 논문에서는 LTE 환경에서 항상 최적의 성능을 얻기 위해서는 BS에서의 전송방식을 SC-FDMA로 선택하고, 음영지역의 성능을 최적화시키기 위하여 릴레이를 설치하고 그에 따른 프로토콜을 제안하였다. 또한 RS와 MS의 위치에 따라 각각의 전송방식을 SC-FDMA 나 OFDMA를 적절히 선택하여 단일 전송방식을 사용하였을 때의 단점을 보완하고 시스템의 성능을 증대시킬 수 있도록 하였다.

표 1. 제안된 릴레이 프로토콜
Table 1. The proposed relay protocols

	프로토콜	기존 LTE (HSDPA)	제안하는 방식	
			프로토콜1	프로토콜2
시간 슬롯1 (Phase 1)	BS → Relay	OFDM	SC-FDMA	SC-FDMA
시간 슬롯2 (Phase 2)	Relay → MS	OFDM	OFDMA	SC-FDMA

또한 프레임 구조는 RS가 백홀 구간 즉 BS의 신호를 수신할 때와 송신할 때 MS모드로 전환되고 BS로부터 받은 신호를 영역 내의 MS에게 전달하거나 또는 MS로부터 신호를 받을 때는 BS 모드로 전환되는 구조이다. 즉 동일하게 각각의 RS에 전달되는 상/하향링크 신호들은 시간영역에서 서로 다른 위치를 차지하여 전송하게 되는 구조이다.

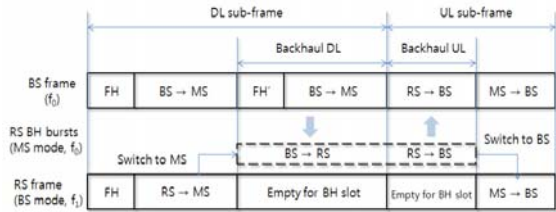
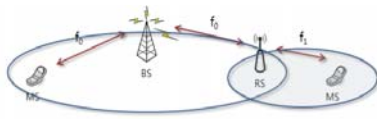


그림 4. RS 사용 시 프레임 구조
Fig. 4. Frame Structures using RS

시뮬레이션 환경은 표 2와 같다. 시뮬레이션 환경을 바탕으로 BS를 중심으로 각각의 거리별로 MS와 RS를 적절하게 위치시키고 FFT는 OFDM과 SC-FDMA 방식 모두 256으로 설정하였다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation parameter

Parameter	OFDM	SC-FDMA
FFT	256	256
Guard Period	FFT/4	FFT*Q/4
Modulation	QPSK, 16QAM	QPSK, 16QAM
Pathloss Model (NLOS)	27.7+40.2log10(d)	27.7+40.2log10(d)
Estimaion	Perfect	Perfect
Tx power(dBm)	27 (back off = 6,8dB)	27
Noise power(dBm)	-114	-114
Coding	Covolution (1/2, 1/4)	Covolution (1/2, 1/4)
Channel Compensation	ZF	ZF

IV. 모의실험 결과

5.1. BS와 MS의 거리가 500m 일 때, RS와 MS 사이의 전송 방식을 OFDMA와 SC-FDMA로 사용하였을 경우

그림 5는 BS에서 SC-FDMA 방식을 고정하여 사용하였을 경우에 RS의 전송방식에 따른 성능을 나타낸 것이다. RS의 위치가 100~200m의 경우에 SC-SC 성능이, SC-OF 성능보다 좋게 나타났다. 이는 BS와 RS의 거리가 가깝고 RS와 MS의 거리가 멀기 때문에 SC-SC인 경우에 성능이 더 좋게 나타난 것이지만, RS의 거리가 200m부터 성능의 차이가 나지 않았고, RS가 중심지역인 250m에서는 SC-OF의 성능이 좋게 나타났다. 이 후 BS와 RS의 거리가 점점 멀어지고 RS의 MS의 거리가 가까워지는

300m~400m에서도 SC-OF 방식을 사용하였을 때 성능이 더 좋게 나타났다.

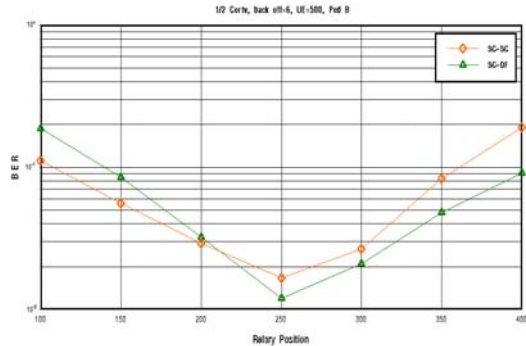


그림 5. MS의 위치가 500m이고 RS와 MS간의 전송방식에 따른 BER

Fig. 5. BER in MS location of 500m and OFDMA transfer mode between BS and MS

5.2. BS와 MS의 거리가 1000m 일 때, RS와 MS 사이의 전송 방식을 OFDMA와 SC-FDMA로 사용하였을 경우

그림 6은 BS와 MS사이의 거리가 1000m일 때, RS의 위치에 따라 선택된 전송방식의 수신성능을 나타낸 것이다. RS의 위치가 100~400m의 경우에는 BS와 RS의 거리가 가깝고 RS와 MS의 거리가 멀기 때문에 SC-SC인 경우에 성능이 더 좋았다. 중심지역인 500m에 RS가 있을 경우에는 SC-OF 성능 보다 SC-SC의 성능이 더 좋은 것으로 나타났다. BS와 RS의 거리가 점점 멀어지고 RS와 MS의 거리가 가까워지는 600~700m까지는 SC-OF가 좋은 성능을 보였으나 800~900m에서는 두 가지 전송방식의 차이가 크게 달라지지 않았다.

BS에서 RS까지 SC-FDMA로 전송이 되었다 하더라도 신호 자체의 왜곡이 심각하게 이루어질 수 있고, 이때 RS가 주파수 영역 등화기를 사용하여 IDFT를 거치게 되면서 왜곡된 부분의 영향이 스프레딩 되고 성능이 저하되었기 때문에 RS를 거치게 되더라도 성능이 좋아지지 않게 되는 것이다.

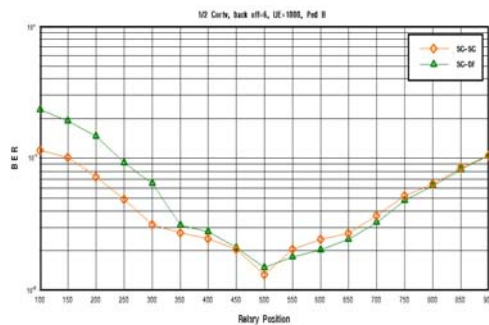


그림 6. MS의 위치가 1000m이고 RS와 MS 간의 전송방식에 따른 BER

Fig. 6. BER in MS location of 1000m and transfer mode between RS and MS

V. 결론

본 논문에서는 LTE 시스템의 하향링크 전송방식의 수신성능을 향상시키기 위한 방법으로 OFDMA와 SC-FDMA의 성능차이를 보완하기 위해 두 가지 방식을 결합한 전송방식을 제안하였고, 시스템의 성능과 커버리지를 증대시키기 위해 BS와 MS 사이에 RS를 설치하는 것을 제안하고 시뮬레이션을 실행하였다. 시뮬레이션 방법으로는 BS와 MS 사이의 위치를 500m, 1000m로 설정한 뒤 BS와 MS의 사이에 RS를 설치하고, BS의 전송방식을 SC-FDMA로 고정된 뒤 RS와 MS사이의 전송방식을 OFDMA와 SC-FDMA 방식으로 적절히 선택하는 실험을 하였다. 본 논문의 시뮬레이션 결과 BS에서는 SC-FDMA를 고정으로 하였기 때문에 RS의 위치가 BS와 가까울수록 RS에서는 SC-FDMA를 사용하는 것이 좋게 나왔고, 반대로 BS와 RS의 거리가 멀어질수록 RS는 MS와 가까워지기 때문에 RS에서는 OFDMA를 사용하는 것의 성능이 좋은 것으로 나왔다. 또한 BS와 MS 거리의 중심지 역에서는 그 상황에 맞는 전송방식을 사용함으로써 시스템의 수신 성능을 향상시킬 수 있었다.

참고문헌

- [1] E. Dahlman, S.Parkvall, J. Skold, P. Beming, 3G Evolution : HSPA and LTE for Mobile Broadband, 2nd ed, " Academic Press, 2008.
- [2] 3GPP TSG RAN WG1, "3GPP TR 25.892 v6.0.0; Feasibility Study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN Enhancement(Rel-6)," June 2004.
- [3] K. S. Kim, Y. H. Kim, J. Y. Ahn, and S. G. Hwang, "A pragmatic adaptive OFDM/FDD cellular system in frequency-selective fading channels," Wireless World Research Forum (WWRF) 8th Meeting, WG4, Beijing, China, Feb. 2004.
- [4] K. Park and C. Kang, "Relay-enhanced Cellular Performance of OFDMA-TDD System for Mobile Wireless Broadband Services," in Proc. of IEEE ICCCN 2007, Aug. 2007
- [5] Jianhua Zhang, Chen Huang, Guangyi Liu, Ping Zhang, "Comparison of the Link Level Performance between OFDMA and SC-FDMA", IEEE CNF, 25-25 Oct. 2006
- [6] Harri Holma, LTE FOR UMTS - OFDMA And SC-FDMA Based Radio Access, John Wiley & Sons, Ltd , 2009