

멀티-홉 릴레이 기법을 이용한 LTE 통신망 수신 성능 개선에 관한 연구

박찬홍*, 윤효준*, 최용석*, 김종수*, 성현경*

*상지대학교 컴퓨터정보공학부

e-mail:pchnayal@sangji.ac.kr, gorthdkemf@nate.com,

macbeth-choi@hanmail.net, cskim@sangji.ac.kr, hkseong@sangji.ac.kr

A Study on Receiving Performance Improvement of LTE Communication Network Using Multi-hop Relay Techniques

Chan-Hong Park*, Sung-Won Jang*, Sang-Joo Park*

Chong-Soo Kim*, Hyeon-Kyeong Seong*

*School of Computer Information and Communication Eng., Sangji niversity

요 약

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 전송방식을 사용함으로써 시스템의 수신성능을 향상시킬 수 있었다. 본 논문에서 시뮬레이션 한 결과를 토대로 실제 LTE 시스템에 적용하였을 때, 셀 커버지지를 확장 시켜 시스템 전체의 수신성능을 향상시킬 수 있을 것으로 보였다.

1. 서론

전 세계적으로 무선 환경에서 사용할 수 있는 다양한 멀티미디어 서비스가 요구되고 있고, 동시에 대용량의 데이터 전송 및 데이터 전송의 고속화가 진행되고 있다. 최근에 들어서는 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 OFDMA 와 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. 또한 변조 레벨이 높아짐에 따라 SC-FDMA의 장점인 PAPR 효율이 크게 떨어지게 된다[3-4]. 따라서 본 논문에서는

OFDMA와 SC-FDMA의 성능 차이를 보완하기 위해 릴레이를 설치를 제안하고 기지국의 위치와 설치된 릴레이의 거리를 기반으로 하여 기지국과 릴레이의 전송방식을 OFDMA와 SC-FDMA를 선택함으로써 수신성능을 높이기 위한 연구를 수행 하였다. 본 연구의 결과는 LTE 하향링크 시스템에서 나타나는 음영지역을 줄이고, BS의 셀 커버지지를 확대 시켜 시스템 전체의 수신성능을 향상 시켜 원활한 통신 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

2. Hybrid OFDMA/SC-FDMA

Hybrid OFDMA/SC-FDMA는 이동국이 기지국과 가까운 셀 중심지역에 위치한 경우 OFDMA를 사용하고 셀 경계지역에 위치한 경우 PAPR 효율이 좋은 SC-FDMA를 사용하는 기술이다.

2.1. 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. 게다가 각 사용자가

전체 대역폭의 일부만 소비하기 때문에 각 사용자의 파워도 현재 시스템의 필요 요건에 따라 조정될 수 있다[5-6].

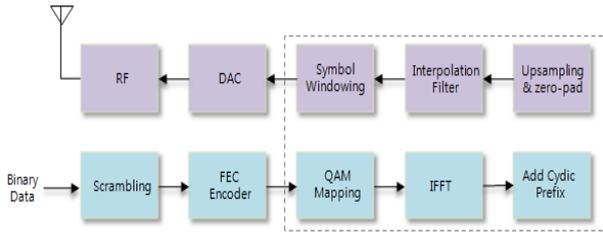


그림 1. OFDMA 하향링크 시스템의 송수신 블록도
Fig. 1. Transmitters/receivers blockdiagram of OFDMA downlink system

2.2. 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 다중 접속이 가능해진다[7].

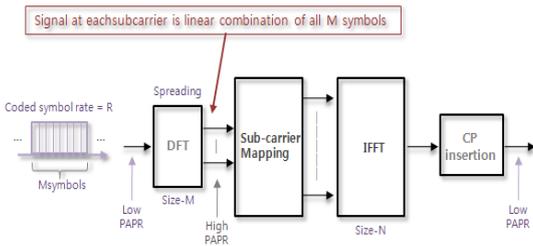
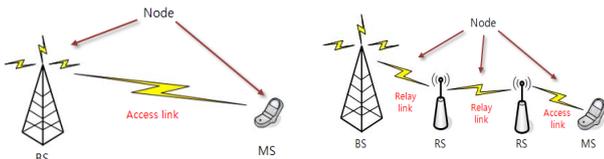


그림 2. SC-FDMA 송신단 구조
Fig. 2. Structures of SC-FDMA transmitter unit

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

3. 멀티-홉 릴레이(Multi-hop Relay)



(a)단일 홉 (single-hop) (b)멀티 홉 (multi-hop)

그림 3. 단일 홉과 멀티 홉 중계 방식

Fig. 3. Relay techniques of single-hop and multi-hop

기본적인 멀티-홉 방식은 다이버시티 이득을 얻을 수 있

는 장점을 가지고 있고, 셀 커버리지의 확장을 위해서 그림 4와 같이 BS의 신호를 수신할 수 없는 음영지역이나 셀 경계지역, 또는 서비스를 제공받지 못했던 셀 경계 외부까지도 RS를 이용하여 서비스를 제공 받을 수 있다. 또한 초기 비용 및 유지비용을 절감 시켰다. 또한 릴레이는 주파수 재사용의 효율을 극대화 하며 커버리지 확대, 통신에 필요한 거리를 단축함으로써 단말 전력의 감소 등의 장점을 가지고 있다.

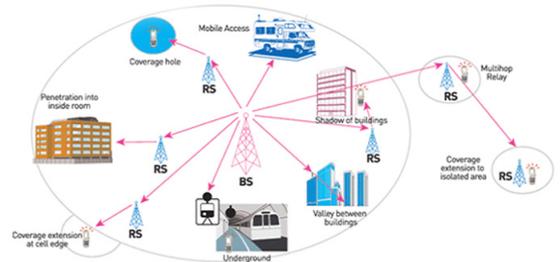


그림 4. 릴레이를 이용한 셀 커버리지 확장의 예
Fig. 4. Example of extension of cell coverage using relay

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 BS로부터 수신된 신호의 전송 여부를 채널 이득을 통하여 결정하는 기법이다. 본 논문에서는 고정중계기법 중 DF 기법을 적용하였다. 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→RS간, 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 채널 용량과 비교하면 DF기법의 채널 용량이 이득이 있음을 확인할 수 있다.

4. 멀티-홉 릴레이 기술에 의한 LTE 수신 성능 개선 실험

본 논문에서는 LTE 환경에서 항상 최적의 성능을 얻기 위해서는 RS에서 각 단말의 환경에 따라서 SC-FDMA나 OFDMA를 적절히 선택하여 사용할 수 있는 방법을 제안하고 또한 음영지역의 성능을 최적화시키기 위하여 릴레이를 설치하고 그에 따른 프로토콜을 제안한다. 송신단과 수신단의 거리가 가까운 경우에는 주파수 효율 및 셀 용량을 증대하기 위하여 OFDMA를 사용하고, 거리가 먼 경우에는 LTE 상향링크에서 사용되고 있는 SC-FDMA 방식을 이용하여 OFDMA의 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 | OFDMA | OFDMA |
| 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 BS모드로 전환되는 구조이다. 즉 동일하게 각각의 RS에 전달되는 상/하향링크 신호들은 시간영역에서 서로 다른 위치를 차지하여 전송하게 되는 구조이다.

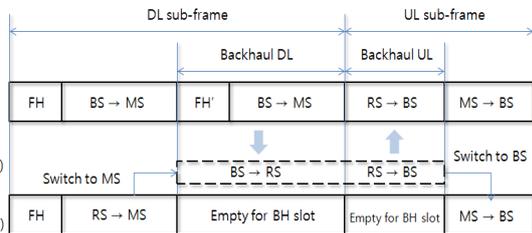
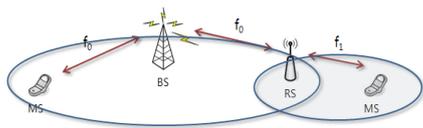


그림 5. RS 사용 시 프레임 구조
Fig. 5. Frame Structures using RS

본 논문에서는 제안하는 방식은 LTE 환경에서 항상 최적의 성능을 얻기 위해 BS와 MS사이에서 RS를 설치하여 통신환경을 원활하게 하였고, BS와 RS, RS와 MS의 위치에 따라 각각의 전송방식을 SC-FDMA 나 OFDMA를 적절히 선택하여 사용할 수 있는 방법을 제안하였고, 각각의 방식에 대한 결과를 확인하기 위해 시뮬레이션을 실행하였

다. 시뮬레이션 환경은 표 2와 같다. 시뮬레이션 환경을 바탕으로 BS를 중심으로 각각의 거리별로 MS와 RS를 적절하게 위치시키고 FFT는 OFDM과 SC-FDMA 방식 모두 256으로 설정하였고, 보호 피어어드는 보호 구간에 의해 발생하는 SNR의 손실을 최소화하는 관점에서 유효 심볼 구간의 길이가 보호 구간의 길이보다 클수록 바람직하며, 유효 심볼 구간이 적어도 보호구간의 4배가 되도록 선택하여야 하기 때문에 OFDM에서는 FFT/4로 설정하였고, SC-FDMA에서도 OFDM과 동일한 조건으로 맞춰야 하기 때문에 FFT*Q/4로 설정하였다. 또한 BS와 MS 사이의 거리에 따른 변조 방식으로 각각 QPSK와 16QAM 방식을 사용하였으며, OFDM과 SC-FDMA의 SNR에 따른 성능과 거리별 성능차이를 확인하기 위해서 백-오프 값을 6~8dB로 설정하였다. 마지막으로 MS와 RS는 동일한 전송전력으로 데이터를 전송하기 위해서 전력제어를 사용하지 않았다.

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 |

5. 모의실험 결과

5.1 BS와 BS의 거리가 500m 일 때, RS와 MS의 전송방식을 OFDMA와 SC-FDMA로 사용하였을 경우

그림 6은 MS가 BS으로부터 500m에 떨어진 곳에 위치해 있을 경우 RS의 위치에 따라 선택된 전송방식에 대한 수신 성능을 나타낸 것이다. 중심 지역을 250m를 기준으로 했을 때, BS와 RS의 거리가 가깝고 RS와 MS의 거리가 먼 100~200m에서 OF-SC의 성능이 OF-OF의 성능보다 좋은 것을 알 수 있다. 이는 RS와 MS까지의 거리가 비교적 멀기 때문에 RS에서 SC-FDMA를 사용하였을 때의 성능이 OFDMA를 사용했을 때 보다 더 좋게 나타난 것이다. 전력 효율이 안정적인 중심지역에서는 OF-OF가 OF-SC를 사용하였을 때 보다 성능이 좋게 나타, RS와 MS의 거리가 가까워질 수록 SC-FDMA 방식 보다

OFDMA 방식을 사용하는 것의 성능이 좋은 것을 알 수 있었다. 반대로 BS와 RS의 전력이 안정적인 중심지역 부터 BS에서 RS의 거리가 멀고 RS와 MS의 거리가 가까운 300m~400m에서는 OF-OF가 좋은 것을 확인 할 수 있었다.

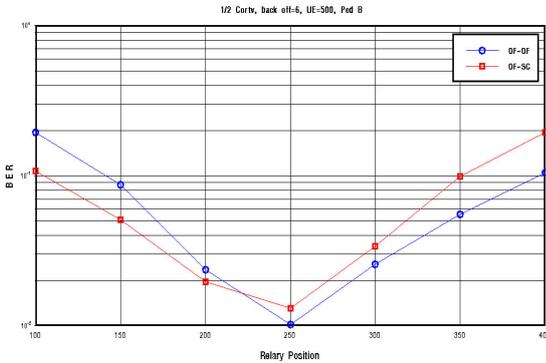


그림 6. MS의 위치가 500m이고 RS와 MS간의 전송방식에 따른 BER

Fig. 6. BER in MS location of 500m and OFDMA transfer mode between BS and MS

5.2 BS와 MS의 거리가 1000m 일 때, RS와 MS의 전송방식을 OFDMA와 SC-FDMA로 사용하였을 경우

그림 7은 BS와 MS사이의 거리가 1000m일 때, RS의 위치에 따라 선택된 전송방식의 수신성능을 나타낸 것이다. 즉 BS에서 RS로의 전송방식을 OFDMA로 고정시키고 RS에서 MS으로의 전송방식을 각각 OFDMA와 SC-FDMA로 변화시켜 OF-OF와 OF-SC 두 가지 경우를 실험한 결과이다. RS의 위치가 100m~300m에 위치해 있는 경우에는 OF-SC가 OF-OF 보다 성능이 더 좋은 것으로 나타났고, 350m부터 중심지역인 500m 까지는 각각의 방식의 BER을 비교해본 결과 두 방식의 차이가 크게 나타나지 않았다. 이후 RS의 위치가 650m~900m에 있을 경우에는 OF-OF가 OF-SC를 사용했을 때 보다 성능이 좋게 나타났지만, 두 방식의 차이가 크게 나타나지는 않았다.

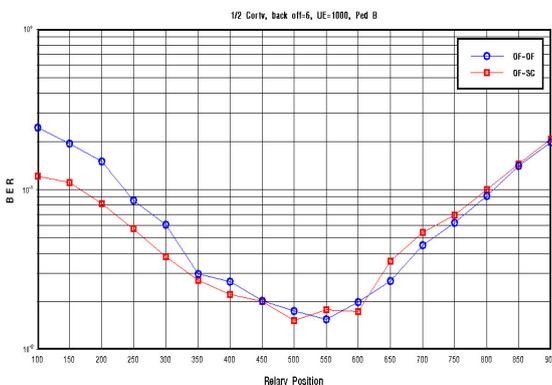


그림 7. MS의 위치가 1000m이고 RS와 MS 간의 전송방식에 따른 BER

Fig. 7. BER in MS location of 1000m and transfer mode between RS and MS

5. 결론

본 논문에서는 LTE 시스템의 하향링크 전송방식의 수신 성능을 향상시키기 위한 방법으로 OFDMA와 SC-FDMA의 성능차이를 보완하기 위해 두 가지 방식을 결합한 전송방식을 제안하였고, 시스템의 성능과 커버리지를 증대시키기 위해 BS와 MS사이에서 RS를 설치하는 것을 제안하고 시뮬레이션을 실행하였다. 시뮬레이션 방법으로는 BS와 MS 사이의 위치를 500m, 1000m로 설정한 뒤 BS와 MS의 사이에 RS를 설치하고, BS와 설치된 RS를 기반으로 OFDMA와 SC-FDMA 전송방식을 적절히 선택하는 실험을 하였다. 본 논문의 시뮬레이션 결과 RS의 위치가 BS와 가까울수록 BS에서는 OFDMA를 사용하고 RS에서는 SC-FDMA를 사용하는 것이 좋게 나왔고, 반대로 BS와 RS의 거리가 멀어질수록 BS에서는 SC-FDMA, RS에서는 OFDMA를 사용하는 것의 성능이 좋은 것으로 나타났다. 또한 BS와 MS 거리의 중심지역에서는 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
- [7] 이상근, 조봉열, 여운영, 쉽게 설명한 3G/4G 이동통신 시스템 (HSDPA,HSUPA,WiMAX중심), 홍릉과학출판사, 2008
- [8] IEEE 802.16MMR-06/005, "802.16 Mobile Multihop Relay Tutorial," March 2006.