

3GPP LTE 기반 상향링크에서 Hybrid OFDMA/SC-FDMA 릴레이를 이용한 성능 향상

정회원 강 동 관*, 설 봉*, 종신회원 김 덕 경**

Enhancing the Performance of 3GPP LTE Uplink Using Relays based on Hybrid OFDMA/SC-FDMA

Dong-Kwan Kang*, Peng Xue* *Regular Members*, Duk-Kyung Kim** *Lifelong Member*

요 약

3GPP LTE 시스템에서는 상향링크로 PAPR 효율이 좋은 SC-FDMA를 채택, 표준을 진행해왔다. 하지만, SC-FDMA는 주파수 영역에서 심한 왜곡이 생길 경우 OFDMA보다 성능이 저하된다는 단점이 있다. LTE에서 LTE-Advanced로 개량되면서 이를 보완하기 위해 셀 중심지역에서는 OFDMA를 사용하고, 셀 경계지역에서는 PAPR 효율이 좋은 SC-FDMA를 사용하지는 제안이 나왔다. 본 논문에서는 상향링크에서 Hybrid OFDMA/SC-FDMA를 기반으로 릴레이를 이용했을 경우의 성능을 측정하고 릴레이와 이동국의 위치에 따라 성능을 최대 할 수 있는 전송방식을 제안한다. 주어진 시뮬레이션 환경에서 이동국과 릴레이 위치에 따라 선택되는 전송방식의 BLER 성능 및 송신전력을 비교하였고, 릴레이의 위치에 따라 적절한 전송 방식을 선택했을 때 성능이 최대가 되는 것을 확인하였다.

Key Words : LTE, SC-FDMA, OFDMA, PAPR, Relay

ABSTRACT

In the 3GPP LTE systems, SC-FDMA is adopted for the uplink owing to its good PAPR efficiency. In the frequency domain, however, the performance of SC-FDMA is degraded due to frequency selective fading. As a compromise, a Hybrid OFDMA/SC-FDMA was proposed in the LTE-Advanced systems. Hybrid scheme uses SC-FDMA in the edge of cell area, while it uses OFDMA nearby the base-station. In this paper, uplink relays based on hybrid scheme is proposed to increase the performance of the 3GPP LTE systems. With different positions of mobile and relay, the proposed scheme can adaptively select SC-FDMA or OFDMA to improve the link performance. Our simulation results show that the proposed scheme achieves a better performance in terms of end-to-end BER and power consumption.

I. 서 론

현재 무선 이동통신 시장이 급성장하고, 무선 환경에서 다양한 멀티미디어 서비스가 요구되고 있으며, 동시에 전송 데이터의 대용량화 및 데이터 전송

의 고속화가 진행되고 있다. 고속 데이터 서비스를 위해 3GPP는 WCDMA의 3세대 이동통신 표준화 이후 HSDPA, MBMS, HSUPA 등의 기술을 지속적으로 추가하여 3세대 이동통신 시스템을 개량해 왔으며, 최근까지 3.9세대라 불리는 LTE(Long Term

※ 이 논문은 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2008-000-20333-0)

* 인하대학교 정보공학과 무선통신 연구실(kang2kd@gmail.com), ** 인하대학교 정보통신공학과

논문번호 : KICS2009-01-012, 접수일자 : 2009년 1월 9일, 최종논문접수일자 : 2009년 11월 9일

Evolution)의 표준을 제정해왔다.

현재는 ITU-R의 IMT-Advanced 표준을 위해 LTE를 개선한 LTE-Advanced를 준비하고 있다. LTE-Advanced는 IMT-Advanced 표준의 유력한 후보 중 하나로써 사업자들의 지지를 받고 있다. 3GPP LTE-Advanced에서는 PAPR 효율과 OFDMA (Orthogonal Frequency Domain Multiple Access)와 SC-FDMA(Single Carrier Frequency Domain Multiple Access)의 성능 차이를 적절히 보완하는 기술로서 Hybrid OFDMA/SC-FDMA가 제안되고 있다. 또한, throughput과 커버리지(Coverage)를 증대시키기 위한 다중 홉 릴레이 기술 등 여러 기술들이 제안되고 있다.^[1]

하향링크 LTE 시스템에서 사용되는 OFDM 방식은 고속의 데이터 전송 및 다중 경로에 적합한 방식이다. 하지만 OFDM 방식은 기본적으로 다중 반송파를 사용하므로 최대 전력 대 평균 전력의 비(PAPR: Peak to Average Power Ratio)가 상대적으로 크다는 단점을 가지고 있다. 상향링크 LTE 시스템에서는 전력 효율이 중요한 이동국에서 OFDM의 PAPR이 크다는 단점을 보완하기 위해 SC-FDMA를 사용한다.^[2]

그림 1은 SC-FDMA의 블록 다이어그램으로 전송단, 수신단에서 OFDM보다 각각 DFT, IDFT가 추가되었다. SC-FDMA는 하나의 반송파를 이용하여 데이터를 전송하는 특성상 OFDM보다 PAPR이 낮은 장점을 갖는다. 이러한 특성은 이동국에게 중요한 요소인 전력 효율을 높여준다. 하지만, SC-FDMA는 주파수영역에서 채널에 의해 신호가 심각하게 왜곡 될 경우 주파수영역 등화기를 사용한 후 IDFT를 거치면서 심각하게 왜곡 된 부분의 영향이 스프레딩(Spreading)되면서 데이터 전송률이 떨어

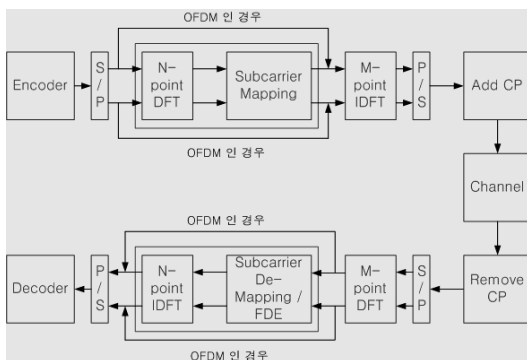


그림 1. SC-FDMA 블록 다이어그램

어지는 것을 확인하였다.^[3]

본 논문에서는 SC-FDMA의 PAPR 이득과 OFDMA와 SC-FDMA의 성능차이를 보완하는 Hybrid OFDMA/SC-FDMA 방식과 IEEE 802.16j에서 이미 표준화가 진행되었고 많은 기업체에서 선호하고 있는 기술인 릴레이의 결합된 형태를 제안한다. 이동국과 릴레이의 위치에 따라 OFDMA와 SC-FDMA 전송 방식 중 적절한 전송 방식을 선택함으로써 에러 성능을 향상시킬 수 있다. 또한, 동일한 단대단 (end-to-end) 성능 조건 하에서 이동국 또는 릴레이에서의 전력 소모를 감소시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 LTE-Advanced에서 제안되고 있는 기술들을 설명하고, III장은 제안된 전송 방식에 대해 기술한다. IV장은 모의 실험 환경 및 블록 오류율(BLER: Block Error Rate) 성능 분석 및 전력 소모 감소에 대해 고찰한다. 그리고 V장은 결론 부분이다.

II. LTE-Advanced에 제안되고 있는 기술

LTE-Advanced의 후보기술로 각 회사가 제안한 기술들에는 새로운 기지국의 추가와 backhaul의 증설 없이 음역지역, 셀 경계에 릴레이를 설치하여 셀 커버리지를 확장하고 throughput을 높이기 위한 다중 홉 릴레이(Multi-hop relay), 조각난 작은 대역을 효율적으로 사용하기 위해 제안된 기술인 스펙트럼 집성(Spectrum aggregation), 하향링크의 최대 데이터 전송률 및 throughput 증대를 위한 하향링크 MIMO, 상향링크 커버리지 확대, 최대 데이터 전송률 및 throughput 증대를 위해 최소 두 개의 전송 안테나를 갖는 상향링크 단일 사용자 MIMO, 그리고 상향링크 데이터 채널에 대해 throughput 증대를 위해 OFDMA를 도입하는 상향링크 Hybrid OFDMA/SC-FDMA 등이 있다.

2.1, 2.2단원에서는 본 논문에서 사용하는 Hybrid OFDMA/SC-FDMA와 다중 홉 릴레이에 대해 설명한다.

2.1 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.

그림 2는 LTE 상향링크에서 선택적 전송방식을 이용하는 Hybrid OFDMA/SC-FDMA의 시스템 모

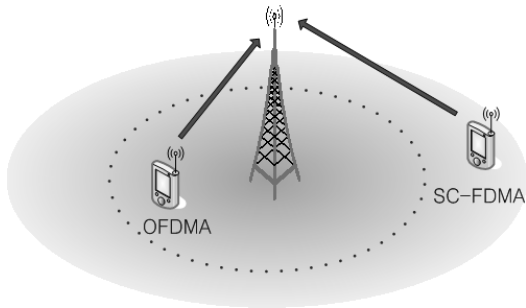


그림 2. Hybrid OFDMA/SC-FDMA

델을 보여준다. SC-FDMA는 OFDMA보다 성능은 다소 떨어지지만 단말에서 중요한 요소인 전력 효율이 좋기 때문에 이용되어진다. 하지만, 전력 효율이 좋은 셀 중심지역에서 기존 방식처럼 SC-FDMA만을 사용하는 경우 낮은 PAPR을 이용하여 얻는 이득보다 OFDMA와의 데이터 전송률 차이로 인한 손실이 더 크게 된다.

이러한 이유로 Hybrid OFDMA/SC-FDMA에서는 전력 효율이 중요한 셀 경계지역에서는 SC-FDMA를 사용하고 전력 효율이 보다 안정적인 셀 중심지역에서는 OFDMA를 사용하여 성능을 증대시키자는 것이다.^[4]

2.2 다중 홉 릴레이 (Multi-hop Relay)

3GPP LTE-Advanced에 제안되고 있는 유력한 기술 중에 또 하나는 다중 홉 릴레이 기술이다. 릴레이는 추가적인 기지국 추가와 backhaul의 증설 없이 음역지역의 throughput과 셀 커버리지를 효과적으로 증대시킬 수 있는 기술로서 기지국과 단말 사이를 이어 주는 중계자 역할을 하는 기기이다. 릴레이를 통하지 않고 기지국과 단말이 직접적으로 통신하는 경우 일반적으로 단일 홉(single hop)이라 부르고, 기지국과 단말을 릴레이가 이어주는 경우 홉의 수에 따라 다르지만 일반적으로 다중 홉(multi-hop)이라 부른다. 릴레이 또는 중계 방식은 이동성(mobility), 데이터 전달(forwarding), 다이버시티(diversity) 등에 따라 분류할 수 있다.^[5]

본 논문에서 릴레이는 이동형(Mobile)으로, 데이터 전달 방식은 DF(Decode-and-Forward) 방식으로 릴레이에서 수신 신호를 비트 단위까지 디코딩(decoding)하고, 이를 다시 변조(modulation)하여 재전송하였다. 동작 모드는 IEEE 802.16j에 정의되어 있는 non-transparent 모드를 가정한다.^[6] non-transparent 모드에서 기지국과 릴레이는 동일한 시점에 제어

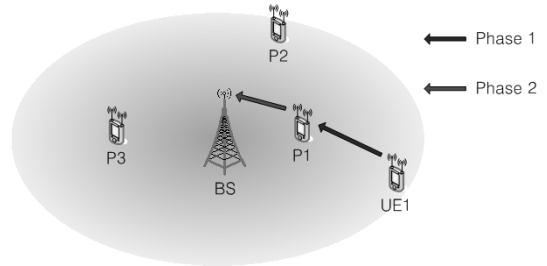


그림 3. 릴레이 전송 방식

정보를 이동국으로 전송함으로써 이동국이 기지국 또는 릴레이와 동기 및 프레임 구성 정보를 획득할 수 있다. 릴레이는 기지국으로부터 동기를 하고 프레임 구성 정보를 파악한다.

그림 3은 이동국 UE1과 P1의 릴레이 구조를 보여준다. 셀 경계지역에 위치한 UE1은 먼저 릴레이로 활용할 수 있는 이동국을 찾는다. UE1은 첫 번째 시간슬롯 Phase1에서 선택된 이동국(P1)에게 데이터를 전송하고 다음 시간슬롯 Phase2에서 P1은 UE1의 신호를 기지국으로 재전송하여 셀 경계지역에 위치한 UE1의 데이터 전송률을 높이고, 셀 커버리지를 확장시킨다. 하지만, 기존의 상향링크 LTE 시스템에 그림 3과 같은 릴레이 구조를 사용하게 되고, 릴레이와 이동국이 기지국에 가까운 영역에 위치한다면 SC-FDMA만을 사용하게 되고 OFDMA를 이동국이나 릴레이에서 선택적으로 사용하는 경우보다 데이터 전송률이 떨어질 수 있다.

III. 제안된 전송 방식

3.1 제안된 전송 방식의 프로토콜

본 논문에서 제안하는 방법에서는 모든 이동국이 SC-FDMA와 OFDMA 모두 송수신이 가능하고, 릴레이 프로토콜은 표 1 사용을 가정한다.

표 1의 Phase1에서 이동국(UE)는 릴레이(R)에게 데이터를 전송한다. Phase2에서는 릴레이가 기지국(BS)에 UE의 데이터를 재전송한다. 제안하는 방식은 UE와 릴레이, 그리고 BS의 위치에 따라서 SC-FDMA또는 OFDMA 중 적절히 선택하여 데이터를 전송한다.

본 논문에서는 Hybrid OFDMA/SC-FDMA와 다중 홉 릴레이 기술의 결합 된 형태를 사용함으로써 데이터 전송률과 커버리지를 증대시키고자 하는 것이다. 이때, 이동국과 릴레이, 그리고 기지국의 위치에 따라 선택되는 전송 방식에 따른 BLER 성능

표 1. 릴레이 프로토콜

| | 프로토콜 | 전송 방식 |
|--------------------|-------|-----------------|
| 시간 슬롯1 (Phase1) | UE->R | SC-FDMA / OFDMA |
| 시간 슬롯2 (Phase2) | R->BS | SC-FDMA / OFDMA |

및 전력 소모 정도를 관찰한다.

3.2 시스템 모델

제안한 방식은 이동국과 릴레이 간의 거리에 따라 OFDMA 또는 SC-FDMA를 선택하고 릴레이와 기지국 간의 거리에 따라 다시 OFDMA 또는 SC-FDMA를 선택하는 방식이다. 제안된 방식은 4 가지 형식의 시스템 모델이 나올 수 있다.

그림 4는 이동국(UE1,UE2)과 릴레이(R1,R2)의 위치에 따라서 SC-FDMA와 OFDMA를 선택적으로 사용한 경우이다. UE1과 R1의 경우, R1과 BS의 거리가 가까기 때문에 OFDMA를 사용하고, UE1과 R1의 거리는 멀기 때문에 SC-FDMA를 사용하는 것이다. 반대로 UE2와 R2의 경우, R2와 BS의 거리가 멀기 때문에 SC-FDMA를 사용해야하고, 거리가 가까운 UE2와 R2에서는 OFDMA를 사용해야 한다는 것이다.

그림 5는 이동국과 릴레이가 SC-FDMA 또는 OFDMA 전송 방식 한가지만 사용하는 경우이다. UE1과 R1의 경우, R1과 BS, UE1과 R1의 거리가 가까운 경우로 OFDMA만을 사용하자는 것이다. UE2와 R2의 경우, R2와 BS, UE2와 R2의 거리가 먼 경우로 UE2, R2 모두 SC-FDMA만을 사용하자는 것이다. Phase1에서 UE는 R에게 데이터를 전송하고, R은 그 데이터를 검출한다. Phase2에서 R은

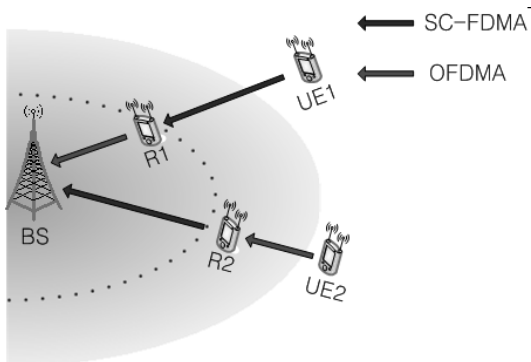


그림 4. SC-FDMA/OFDMA 결합된 전송 방식

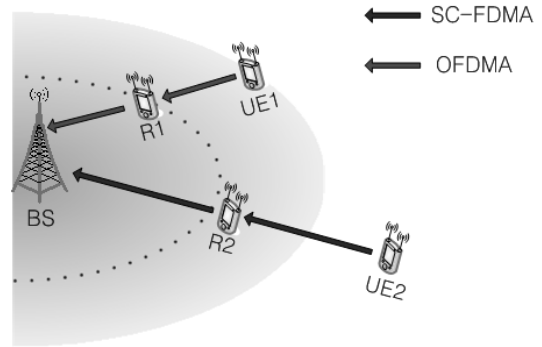


그림 5. SC-FDMA 또는 OFDMA 전송방식만을 사용한 경우

UE의 데이터를 재전송한다. 제안한 방식은 UE와 R의 위치에 따라서 적절한 전송방식을 사용해야 한다는 것인데, 거리가 가까운 경우에는 SC-FDMA보다 BLER 성능이 뛰어난 OFDMA를 사용하고, 거리가 먼 경우에는 PAPR 이득이 큰 SC-FDMA를 사용해야 한다는 것이다.^{[3],[4]} 이동국과 릴레이가 OFDMA와 SC-FDMA를 선택적으로 사용했을 때 동일한 거리에서 BER 성능이 최대가 될 수 있다는 것이다.

IV. 제안된 전송 방식의 모의실험

제안하고 있는 방법의 기본적인 구조인 Hybrid OFDMA/SC-FDMA 성능 비교에서는 OFDM과 SC-FDMA의 전력 효율에 따른 성능 차이가 중요한 요소 중 하나이다. 본 논문의 시뮬레이션에서는 OFDM 신호를 전송할 때 backoff를 고려하도록 한다.

4.1 Backoff

OFDM 통신 방식은 다중경로 페이딩에 대해 강한 특성을 갖는 반면, 비선형 왜곡에 대해 매우 민감하다는 단점이 있다. 비선형 왜곡은 인접채널에 스펙트럼 확산을 발생시켜 인접 채널 간섭을 발생시켜 전송 품질을 저하시키는 원인이 된다. 이러한 비선형 왜곡이 발생하는 여러 원인 중 송신기의 전력 증폭기는 큰 비중을 차지한다. 고출력 증폭기는 최대 전력 레벨까지 증폭할 수 있도록 비직선 특성을 갖는 포화영역 부근에서 동작된다. 고출력 증폭기에 2개 이상의 반송파가 입력되어 공동 증폭될 경우 포화영역부근의 비직선 특성으로 인하여 혼변조 성분 등이 발생하게 된다. 이들 혼변조 성분들은 잡음으로 작용하여 전송 품질을 저하시키는 요인이

된다. 따라서 다수 반송파가 입력되는 경우 수 dB의 입력을 backoff하여 직선 영역에서 동작되도록 하면 혼변조 잡음을 줄일 수 있으나 출력 전력이 낮아지는 단점을 갖는다.

본 논문에서는 OFDM의 clipping 전력값의 변화에 따른 BER 시뮬레이션 결과를 통해 backoff값을 결정하였다.

$$back - off = (A^2) / (MAX_input) \quad (1)$$

식(1)에서 backoff값은 clipping 전력과 최대 전송 신호 전력(MAX_input)의 비율로 정의한다. 식(1)을 이용하여 신호의 clipping 크기 $\pm A$ 를 알 수 있고, 시뮬레이션에 적용하여 backoff가 적용된 결과와 이상적인 경우의 성능 결과를 비교할 수 있다.^[7]

그림 6은 고정된 Eb/No (비트당 에너지를 잡음 전력 밀도로 나눈값) 값을 이용하여 OFDM의 이상적인 BER/BLER을 구한 결과와 식(1)을 이용하여 계산된 clipping 전력값의 변화에 따른 결과를 비교한 것이다. 이때, 시뮬레이션은 표 2에 제시된 값을 이용하였으며, backoff값 약 6 dB에서 이상적인 OFDM 성능과 거의 비슷한 성능을 유지할 수 있다는 것을 볼 수 있다.

표 2는 본 논문의 기본적인 시뮬레이션 환경이다. SC-FDMA 송신단에서 FFT 후 Spreading Factor(Q)는 4로 하였다. subcarrier mapping 방식으로는 Localized mapping을 사용하였다. 이동국-릴레이 간 링크와 릴레이-기지국 간 링크에서 SC-FDMA를 사용하는 지, OFDMA를 사용하는 지에 따른 4 가지 경우의 시뮬레이션에서 기본적으로 모든 이동국과

표 2. 시뮬레이션 환경

| 변수 | OFDM | SC-FDMA |
|-----------------|--|-----------|
| 대역 (Bandwidth) | 10 MHz | |
| FFT size | 1024 | |
| 사용된 subcarrier | 256 | 256 (Q=4) |
| CP 길이 | 64 | |
| 변조 | QPSK | |
| 경로 손실 모델 (NLOS) | 27.5+37.1log10(d) | |
| 채널 추정 | Perfect | |
| 송신 전력 (dBm) | 27 (backoff=6 dB) | 27 |
| 잡음전력밀도(dBm/Hz) | -174 | |
| 무선 채널 | ITU Pedestrian B | |
| 채널 코딩 | Convolution, rate= 1/2, Soft Viterbi decoding | |
| 채널 보상 | Zero-Forcing | |

릴레이는 표 2의 전송 전력을 사용하였고 OFDM을 사용할 경우 backoff는 6dB로 하였다. Phase2에서 릴레이는 이동국의 데이터를 bit단위까지 디코딩 후 이동국과 같은 전력인 27dBm으로 기지국에 재전송한다. BER과 BLER측정은 Phase2에서 기지국이 수신한 데이터를 기준으로 측정하였다.

4.2 OFDM과 SC-FDMA 모의실험

그림 7은 channel model PedB를 적용하였을 때 코드율 1/2의 soft Viterbi 디코딩을 가지는 Convolutional 채널 코딩을 사용하여 OFDM과 SC-FDMA의 BER/BLER 성능을 비교한 것이다. BLER이 10^{-2} 에서 약 5dB의 성능 차이를 볼 수 있다. 하지만, 그림 6에서 추정할 수 있는 backoff

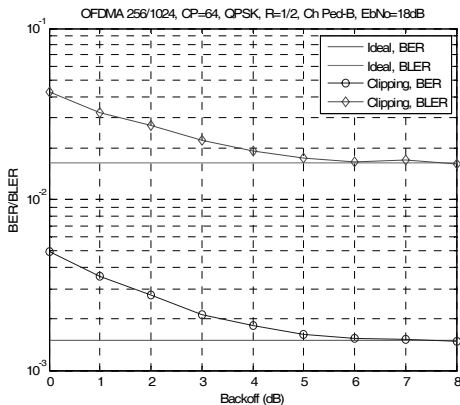


그림 6. backoff값에 따른 OFDM BER 성능

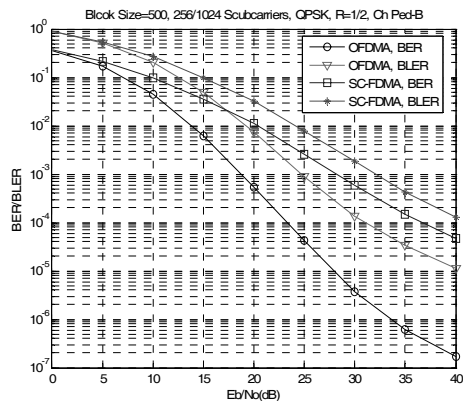


그림 7. OFDM과 SC-FDMA의 BLER 성능 비교

값을 6 dB라고 한다면 OFDM과 SC-FDMA 성능의 교차점이 생길 수 있다. 이 경우 OFDM은 교차점 이하에서 SC-FDMA보다 좋지 않고, 교차점 이상의 E_b/N_0 의 경우 OFDM의 성능이 SC-FDMA보다 좋게 된다.

본 논문에서는 이동국과 릴레이의 위치에 따라 pathloss가 적용되고 OFDM에 backoff값을 적용함으로써 기지국과 릴레이에서 수신 E_b/N_0 가 달라지는 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 기지국과 릴레이에서 수신되는 신호의 E_b/N_0 값을 측정하여 이동국과 릴레이에서의 적절한 전송 방식을 선택한다고 가정하였다. 이 때 OFDM의 backoff값과 Pathloss를 고려한 E_b/N_0 값이 가장 큰 릴레이를 선택한다는 가정에서 시뮬레이션을 수행하였고, 수신된 E_b/N_0 값을 추정하여 OFDM과 SC-FDMA의 성능이 교차되는 특정 E_b/N_0 를 기준으로 추정된 E_b/N_0 값이 더 작으면 SC-FDMA를 사용하고, 크면 OFDM을 적용하도록 한다는 가정이다.

그림 8은 OFDM의 backoff값과 pathloss를 고려한 시뮬레이션 결과로서 OFDM과 SC-FDMA의 성능 차이를 볼 수 있다. 결과 그래프는 거리에 따른 SC-FDMA와 OFDM의 BLER 성능 비교로 기지국의 위치를 0이라하고, 가로축의 거리(Distance)는 이동국과 기지국과의 거리를 의미한다. channel model은 Ped B와 5, 6 dB의 backoff값을 적용하여 시뮬레이션 했으며, backoff값이 6dB일 때는 약 170m 이후에 SC-FDMA의 성능이 OFDM보다 좋은 것을 볼 수 있고, backoff값이 5dB일 때는 그보다 먼 약 200m정도에서 OFDM과 SC-FDMA 성능의 교차점이 생기는 것을 볼 수 있다. OFDM의 backoff값과 channel model에 따라 약간의 차이는 있을 수 있지

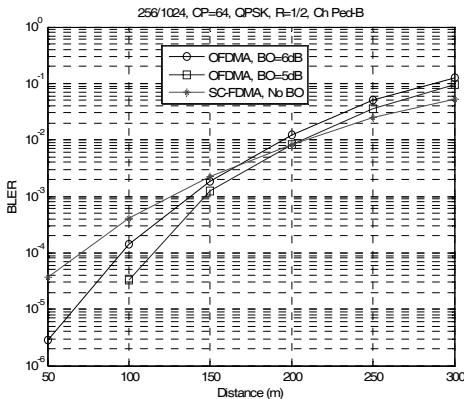


그림 8. 거리에 따른 SC-FDMA와 OFDM의 성능 비교

만, 이동국과 릴레이의 위치에 따라 어떤 전송 방식을 사용하느냐에 따라서 성능에 차이가 있을 수 있다는 것을 보여준다.

4.3 Hybrid OFDMA/SC-FDMA와 릴레이를 적용한 모의실험

그림 9는 이동국(UE)이 기지국으로부터 300m 떨어진 곳에 위치해 있고 릴레이의 위치에 따라 네 가지 전송 방식의 BLER 성능을 보여준다. 릴레이가 중간 지점인 150m 근처에 위치해 있을 때 이동국, 릴레이 모두 OFDM을 사용하는 경우가 BLER 성능이 가장 좋은 것을 확인할 수 있다. 하지만, 나머지 영역에서는 릴레이가 기지국 또는 이동국과 떨어지기 때문에 선택적 전송 방식을 사용하는 경우가 BLER 성능이 가장 좋은 것을 관찰할 수 있다. 0~125m 사이에서는 이동국과 릴레이 사이 거리가 길어짐에 따라 이동국-릴레이 간 링크에 SC-FDMA, 릴레이-기지국 간 링크에 OFDMA를 사용하는 Hybrid 방식이 가장 좋은 성능을 보인다.

반면에 175~300m 사이에서는 이동국-릴레이 간 링크에 OFDMA, 릴레이-기지국 간 링크에 SC-FDMA를 사용하는 방식이 가장 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다. 따라서, 이동국-릴레이 간 링크의 거리, 릴레이-기지국 간 링크의 거리에 따라 SC-FDMA와 OFDMA를 선택적으로 적용함으로써 최적의 성능을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 hybrid방식을 이용하기 위해 DF 방식의 릴레이를 고려하였다. 따라서, 단대단 BLER 성능은 이동국-릴레이 간 링크와 릴레이-이동국 간 링크 중 더 나쁜 성능을 갖는 링크에 의해 좌우된

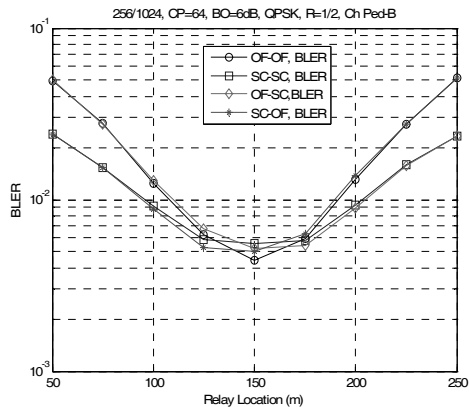


그림 9. 네 가지 전송 방식에서 릴레이 위치에 따른 BLER 성능 비교

표 3. 제안된 Hybrid 방식과 SC-FDMA만을 사용하는 방식 간 전력 소모 감소 정도 비교 (SC:SC-FDMA, OF:OFDMA)

| 거리 | 50m | 75m | 100m | 125m | 150m | 175m | 200m | 225m | 250m |
|---------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 제안된 hybrid 방식 | SC-OF | SC-OF | SC-OF | SC-OF | | OF-SC | OF-SC | OF-SC | OF-SC |
| UE에서 전력소모 감소 | | | | | | 2.4dB | 3.0dB | 6.1dB | ~10dB |
| 릴레이에서 전력소모 감소 | ~10dB | 6.1dB | 3.0dB | 2.4dB | | | | | |

다. 이동국, 릴레이, 기지국 간의 거리가 큰 경우 SC-FDMA를 이용하는 것이 적절한 반면, 거리가 작은 경우는 OFDMA를 사용하는 것이 더 작은 Eb/No 값으로 같은 BLER 성능을 획득할 수 있다는 것을 그림 7에서 알 수 있다. 따라서, 동일한 단대단 BLER 성능 조건 하에서, 제안된 hybrid 방식은 이동국이나 릴레이에서의 전력 소모를 감소시킬 수 있다.

표 3은 역방향에서 SC-FDMA만을 사용하는 경우와 비교하여 제안된 hybrid 방식을 이용하는 경우 이동국 또는 릴레이에서 획득할 수 있는 전력 소모 감소 정도를 나타낸다. SC-FDMA만을 이용하는 경우 관측된 BLER과 동일한 성능을 획득하고자 할 때 표 2에서 주어진 최대 전송 전력보다 낮은 전력으로 신호를 전송할 수 있다. 이때, 이동국 또는 릴레이에서 가능한 송신 전력 감소 정도를 dB단위로 표시하였다. 예로, 릴레이가 75m에 위치한 경우 이동국-릴레이 간 링크는 225m이며, 릴레이-기지국 간 링크는 75m가 된다. 짧은 거리를 가지는 릴레이-기지국 간 링크에서 SC-FDMA를 사용하는 경우 BLER은 1.3×10^{-4} 이며, SC-FDMA 대신 OFDMA를 이용할 때 약, 6.1dB 감소된 전력을 가지고 동일한 BLER을 얻을 수 있다.

따라서, 상기 시뮬레이션 결과로부터 릴레이의 위치에 따라 SC-FDMA와 OFDMA를 적절히 사용함으로써 BLER 성능을 향상시킬 수 있으며, 동일한 단대단 BLER 성능을 얻고자 하는 경우에는 단말 또는 릴레이에서 상당한 전력 소모 감소 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 LTE 시스템의 성능 향상을 위해 릴레이와 Hybrid OFDMA/SC-FDMA의 결합된 방식을 제안하였다. 제안된 방식을 LTE 시스템에 적

용하여 분석한 결과, 이동국과 릴레이의 위치에 따라 OFDM과 SC-FDMA를 선택적으로 사용할 때 최적의 전송 방식을 선택할 수 있었다. 상향링크 LTE 시스템에서 논의되고 있는 SC-FDMA의 성능 문제를 고려할 때 상향링크 LTE 시스템의 성능 개선을 위한 주요한 연구 방향으로 대두될 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 노태균, 고영조, 이경석, 안재영, 김영진, “3GPP LTE 및 LTE-Advanced 표준화 동향”, 전자통신 동향분석, 제23권 제3호, 2008년 6월.
- [2] Hyung G. Myung, Junsung Lim, and David J. Goodman, “Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission”, IEEE Vehicular Technology Magazine, Vol.1, No.3, Sep., 2006, pp.30-38.
- [3] Jianhua Zhang, Chen Huang, Guangyi Liu, Ping Zhang, “Comparison of the Link Level performance between OFDMA and SC-FDMA”, IEEE CNF, 25-27 Oct., 2006, Page 1-6.
- [4] 3GPP TR R1-080037, “Future 3GPP Radio Technologies for IMT-Advanced”, IMT-Advanced Workshop, 7-8 April., 2008.
- [5] IEEE C802.16-05/013, “Mobile multi-hop relay networking in IEEE 802.16”, July, 2005.
- [6] “P802.16j Baseline Document”, IEEE 802.16j-06/026r4.
- [7] B.J. Dixon, R.D. Pollard, S. Iezekiel, “A discussion of the effects of amplifier back-off on OFDM”, 1999 High Frequency Postgraduate Student Colloquium, 17 september, 1999, University of Leeds.

강 동 관 (Dong Kwan Kang)

정회원



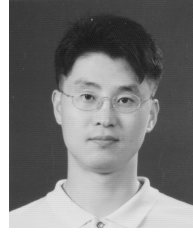
2007년 2월 인하대학교 정보통신공학과 학사

2009년 2월 인하대학교 정보공학과 석사

<관심분야> TD-SCDMA, 4G, Cooperative Communications, Cognitive Radio

김 덕 경 (Duk Kyung Kim)

종신회원



1992년 2월 연세대학교 전기공학과 학사

1994년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 석사

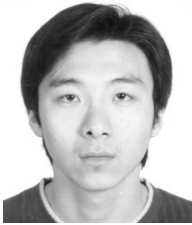
1999년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사

2002년 3월~현재 인하대학교 정보공학계열 정보통신 공학과 교수

<관심분야> UWB, CDMA, OFDM, RRM, 4G

설 봉 (Xue Peng)

정회원



2004년 8월 산동대학 정보공학과 학사

2006년 8월 인하대학교 정보통신 공학과 석사

2006년 9월~현재 인하대학교정보 공학과 박사과정

<관심분야> UWB, TD-SCDMA, 4G, Cooperative Communications, Cognitive Radio