

3GPP-LTE 시스템의 상향링크 기술인 SC-FDMA를 위한 적응형 스위칭 등화기법

구성완*, 배정남*, 김진영*
 *광운대학교 전자공학과
 e-mail : goodtti@kw.ac.kr

Performance of Adaptive Equalizer with Switching Methods for SC-FDMA in Uplink of 3GPP-LTE System

Sung Wan Koo*, Jung Nam Bae*, Jun Young Kim*
 *Dept of Wireless Communications Engineering, Kwangwoon University

요 약

본 논문에서는 3GPP-LTE 상향링크 기술인 SC-FDMA에서 적응형 등화기 성능에 대해 알아보았다. SC-FDMA의 등화기에서 계산량을 줄여 효율성을 높이는 방법으로 ZF(Zero Forcing)과 MMSE(Minimum Mean Square Error)를 이용한 스위칭 기법을 제안하고, 제안한 시스템에서의 성능을 비교 분석하고자 한다. 제안한 스위칭 기법을 사용함으로써 SNR이 낮을 때는 MMSE를 이용하여 잡음에 대한 영향을 최소화 시켜주고, SNR이 높을 때는 ZF을 써서 상대적으로 복잡도가 적은 등화 기법을 통해 전체적인 시스템 복잡도를 줄여 효율성을 높이고자 한다.

1. 서론

무선 이동통신 시장의 급성장으로 인하여 무선 환경에서의 다양한 멀티미디어 서비스가 요구되고 있다. 따라서 전송 데이터의 대용량화 및 데이터 전송의 고속화가 진행되고 있다. 그러나 이용가능한 자원은 한정되어 있고, 이미 사용되고 있는 시스템과의 상호 영향에 따른 문제가 있기 때문에 가용 주파수와 전송 전력들은 엄격하게 제한된다. 따라서 주파수 대역폭을 증가시키지 않고 고속의 데이터를 전송할 수 있는 기술이 주목을 받고 있다.

광대역을 기반으로 하는 3GPP-LTE(3rd Generation Partnership Project-Long Term Evolution) 시스템이 현재의 요구 상황을 충족시킬 수 있는 시스템이라고 할 수 있다. 더욱 빠른 속도와 높은 데이터 전송 품질을 제공할 수 있는 3GPP-LTE는 2004년부터 연구를 시작하여, 현재에는 LTE-Advanced라는 이름으로 꾸준히 연구가 진행되고 있다[1]. 3GPP-LTE 시스템은 상향링크 50Mbps, 하향링크 100Mbps까지 전송률을 제공하고, 대역폭은 1.4, 3, 5, 10, 15, 20MHz까지 다양하게 사용이 가능하다. LTE 시스템의 상향링크 무선접속기술로는 FDD/TDD SC-FDMA(Single Carrier FDMA)기술을 채택하고 있다. 이 기술은 OFDMA(Orthogonal Frequency

Division Multiple Access) 기술과 상당히 유사하나 송신단에서 사용자별로 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행하고, 수신단에서 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 수행함으로써 송신 신호의 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)을 최소화할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 SC-FDMA 방식의 기존 등화기(Equalizer)기법의 경우에 상대적으로 복잡하여 계산량이 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 3GPP-LTE 시스템의 상향링크에서 SC-FDMA 방식에는 적합한 주파수 등화기가 필요하다[2, 3].

본 논문에서는 SC-FDMA의 등화기에서 계산량을 줄여 효율성을 높이는 방법으로 ZF(Zero Forcing)과 MMSE(Minimum Mean Square Error)를 이용한 스위칭 기법을 제안하고, 제안한 시스템에서의 성능을 비교 분석하고자 한다. 제안한 스위칭 기법을 사용함으로써 속도가 임계값 이상일 때는 MMSE를 이용하여 잡음 및 도플러 효과에 대한 영향을 최소화시켜 주고, 속도가 느릴 때는 ZF을 써서 상대적으로 복잡도가 적은 등화 기법을 통해 전체적인 시스템 복잡도를 줄여 효율성을 높이고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 3GPP-LTE 시스템, 3장에서는 제안된 적응형 스위칭 등화 기법을 설명하고 4장에서는 시뮬레이션 결과를 비교 분석하였다. 5장에서는 결론을 맺는다.

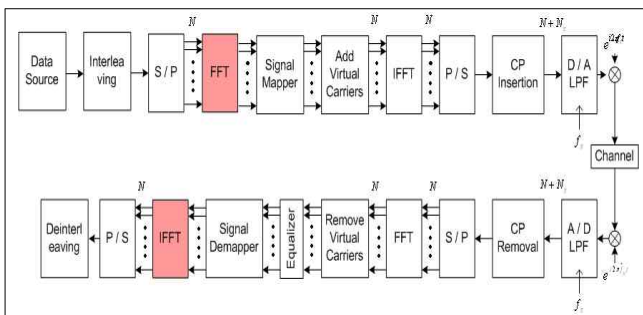
2. 3GPP-LTE 시스템

2.1 시스템 개요

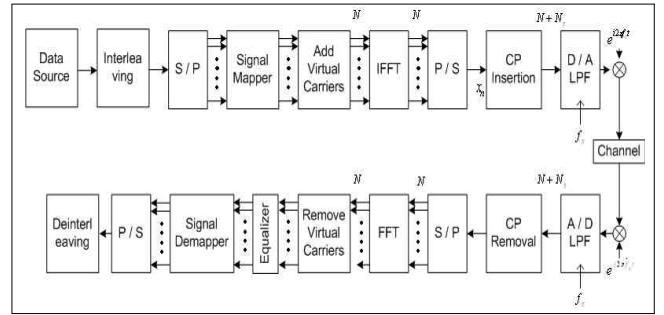
3GPP에서는 3세대 셀룰러 통신인 WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) 표준화 이후에 고속 데이터 서비스를 위하여 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)와 HSUPA(High Speed Uplink Packet Access)규격을 작성하여 3세대 이동통신 시스템 기술을 개발하여 왔다. 3GPP-LTE 표준화는 최대 데이터 전송률을 높이고 진화된 서비스를 위한 낮은 지연을 제공하기 위하여 시작되었다. 3GPP-LTE 표준화는 3GPP TSG-RAN(Technical Specification Group-Radio Access Network)에서 이루어지고 있으며 현재 Rel-8까지 진행되었다. 3GPP-LTE에서는 기존 3GPP에서의 WCDMA 무선 접속 기술을 이용하는 대신에 하향링크에 OFDMA 방식과 상향링크에 SC-FDMA 방식을 사용한다.

2.2 3GPP-LTE의 SC-FDMA

3GPP-LTE 시스템의 상향링크에서는 전송 기법으로 SC-FDE(Single Carrier with Frequency Domain Equalization)를 부반송파 분할 방식으로 확장한 SC-FDMA 기술을 채택하였다[4]. SC-FDMA 기술은 송신단 변조과정에서 IFFT를 입력 전에 사용자 별로 FFT 처리과정을 수행하고, 수신단 복조과정에서 FFT 출력신호를 IFFT 처리함으로써 상향링크 송신단에서 발생할 수 있는 PAPR을 최소화하여 단말의 전력소모를 줄인다. 이 외에 SC-FDMA 심벌은 CP(Cyclic Prefix)를 삽입하여 ISI(Inter Symbol Interference)를 방지하는 것은 동일하다. LTE 상향링크에서는 7개의 심벌이 모여 하나의 슬롯을 구성하는 normal CP와 6개의 심벌이 모여 하나의 슬롯을 구성하는 extended CP인 두 가지 종류의 CP 길이를 채택하고 있다. 그림 1의 (a)는 SC-FDMA 기법을 사용하는 3GPP-LTE 상향링크 송·수신단의 구조를 나타내고, (b)는 SC-FDMA와 OFDMA를 비교한 것이다.



(a) LTE 상향링크 송·수신단 블록도



(b) OFDM 시스템 블록도

[그림 1] SC-FDMA와 OFDMA 시스템 비교

표 1은 3GPP-LTE 상향링크 전송 파라미터를 나타낸다. 10 MHz 대역폭을 사용하는 경우, 슬롯 지속시간은 0.5ms, 부반송파 간격은 15kHz, 부반송파 수는 1024, 유효 부반송파 수는 600, 유효 주파수 대역은 9MHz로 주어진다. 한 슬롯은 normal CP의 경우에 7개의 SC-FDMA 심벌, extended-CP의 경우에 6개의 SC-FDMA 심벌로 구성된다.

[표 1] 3GPP-LTE 상향링크 전송 파라미터

전송 대역폭	10 MHz	20 MHz
슬롯 지속시간 (ms)	0.5	
부반송파 간격 (kHz)	15	
샘플 주파수 (MHz)	15.36	30.72
FFT 사이즈	1024	2048
유효 부반송파 수	600	1200

l 번째 상향링크 SC-FDMA 심벌은 식 (1)과 같이 정의된다.

$$s_l(t) = \sum_{k=-\lfloor \frac{N_{RB}^{UL} N_{sc}^{RB}}{2} \rfloor}^{\lfloor \frac{N_{RB}^{UL} N_{sc}^{RB}}{2} \rfloor - 1} x_{k^{(-)}, l} \cdot e^{j2\pi(\frac{k+1}{2})\Delta f(t - N_{CP,l}T_s)} \quad (1)$$

$$, 0 \leq t \leq (N_{CP,l} + N) \times T_s$$

여기서 $k^{(-)} = k + \lfloor \frac{N_{RB}^{UL} N_{sc}^{RB}}{2} \rfloor$, N 은 1024/2048, $\Delta f = 15$ kHz를 나타낸다. 상향링크 SC-FDMA에서는 하향링크 OFDMA와 달리 반송파 주파수 오프셋(0.5)을 발생시켜, DC에 해당하는 부반송파에 데이터를 전송한다.

3. 적응형 스위칭 등화기법

그림 2는 주파수 영역 등화 기법을 나타낸다. 수신된 신호는 FFT를 통과하게 되고, 가중치 행렬을 곱한 후, IFFT에 의해 주파수 영역에서 등화된 신호를 다시 시간 영역 신호로 변환시킨다.

본 논문에서는 등화기법으로 ZF와 MMSE를 사용한다. ZF에 의해 주파수 영역 등화기의 가중치 행렬은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

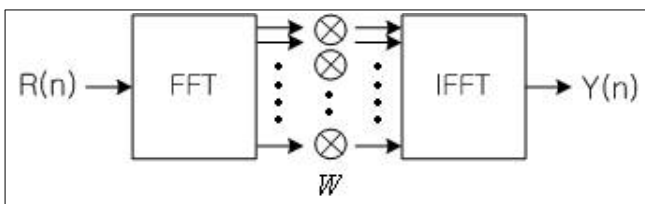
$$W_{ZF} = (H^H H)^{-1} H^H \quad (2)$$

MMSE에 의한 가중치 행렬은 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

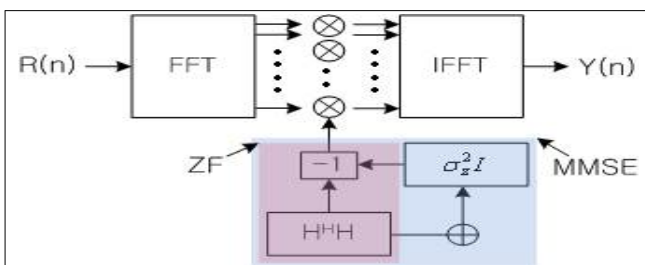
$$W_{MMSE} = (H^H H + \sigma_z^2 I)^{-1} H^H \quad (3)$$

여기서 H^H 는 hermitian전치 행렬이다. MMSE의 경우 잡음에 대한 사전정보인 σ_z^2 가 사용됨을 볼 수 있다. 일반적으로 ZF에 비해 MMSE가 더 좋은 성능을 보이는데, 이는 채널 이득행렬의 condition number가 클 경우 가중치를 곱할 때 발생하는 잡음 증폭이 MMSE의 경우가 ZF에 비해 적기 때문이다. 따라서 SNR이 낮아 잡음의 크기가 큰 경우 MMSE와 ZF의 성능 차이가 크고, SNR이 높아 잡음의 크기가 작을 경우 두 가지 기법의 성능이 유사하게 된다[5, 6].

따라서 본 논문은 SNR 및 속도에 따라 적합한 등화기법을 선택 수행할 수 있는 스위칭 기법을 제안한다.



[그림 2] 주파수 영역 등화 기법



[그림 3] 제안된 스위칭 기법이 적용된 등화 기법

3GPP-LTE는 이동성이 고려되는 환경으로 모바일의 속도가 증가하게 되면 도플러 효과가 커져서 에러가 증가하게 된다. 그러므로 속도가 느릴 때는 ZF를 사용하여 복잡성을 줄이고, 속도가 임계값 이상 올라가게 되면 MMSE를 사용해 성능을 올려주는 적응형 등화기법도 제안한다. 제안된 스위칭 기법은 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

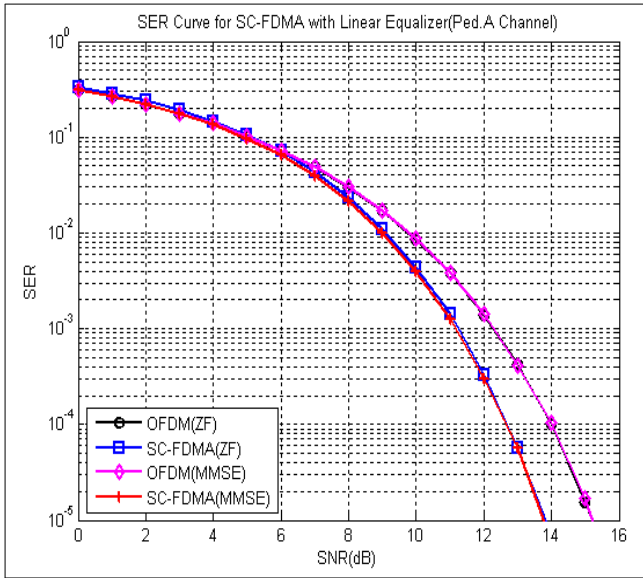
4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 3GPP-LTE 상향링크 시스템에서 등화기법이 적용된 SC-FDMA의 성능을 모의실험을 통해 비교 분석한다. 모의실험을 위한 파라미터는 표 2와 같다. 채널 환경은 ITU의 Pedestrian A와 Vehicular A를 사용하였다[7].

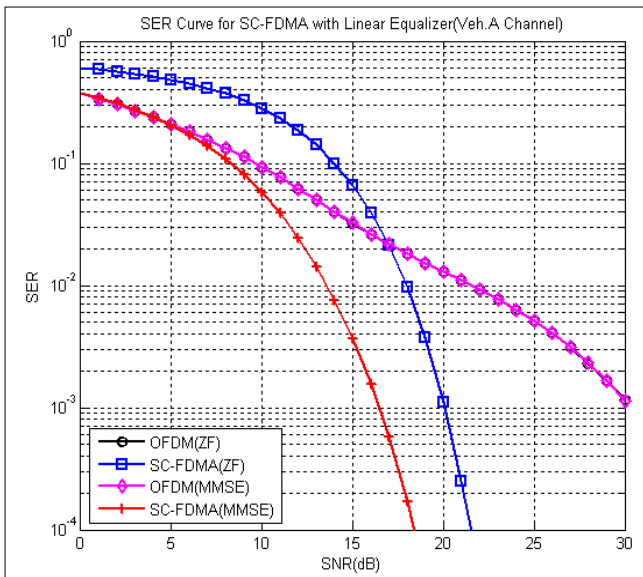
[표 2] 모의실험 파라미터

주파수 대역폭	10 MHz
FFT 사이즈	1024
유효 부반송파 수	600
채널 모델(ITU)	Pedestrian A
	Vehicular A

그림 4의 (a)는 Pedestrian A 채널에서의 등화기 성능을 나타낸다. Pedestrian A 채널은 보행자를 가정한 채널로 모바일의 속도가 매우 느린 채널로 도플러 효과가 크게 작용하지 않는다. OFDM은 원-탭 등화기로 ZF, MMSE 기법의 성능이 동일하게 나타나고, SC-FDMA의 경우 MMSE 기법이 ZF 기법보다 약간 성능이 좋게 나옴을 알 수 있다. Pedestrian A 채널, 즉 모바일의 속도가 느릴 경우는 ZF 기법을 사용하여 등화를 하는 것이 복잡도 측면에서 효과적임을 알 수 있다. (b)는 Vehicular A 채널에서의 등화기 성능을 나타낸다. Vehicular A 채널은 차량을 가정한 채널 모델로 모바일의 속도가 적용된 모델이다. 도플러 효과가 고려되기 때문에 성능의 열화가 발생하게 된다. OFDM의 경우 원-탭 등화기로 두 기법의 성능이 동일하게 나타나고, Pedestrian A보다 성능이 열화됨을 확인할 수 있었다. SC-FDMA의 경우 MMSE 기법의 ZF 기법보다 3~4dB 정도 우수한 성능을 보였다. Vehicular A 채널, 즉 모바일의 속도가 임계값 이상 증가할 경우는 MMSE 기법을 사용하여 등화를 하는 것이 성능 측면에서 효과적임을 알 수 있었다.



(a) Pedestrian A (SNR : 0~16dB)



(b) Vehicular A (SNR : 0~30dB)

[그림 4] 등화 기법에 따른 SER 성능

5. 결론

본 논문에서는 3GPP-LTE 상향링크 SC-FDMA 시스템에서 적응형 스위칭 등화기법을 제안하였다. SC-FDMA 기술은 OFDMA 기술과 상당히 유사하나 송신신호의 PAPR을 최소화할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 3GPP-LTE는 이동성이 고려되는 환경으로 모바일의 속도가 증가하게 되면 도플러 효과가 커져서 에러가 증가하게 된다. 그러므로 가 커져서 에러를 사용하여 증가성을 줄이고, 속도가 임계값 이상 높아지게 되면 MMSE를 사용하여 성능을 높여주 증적응형 스위칭 등화기법을 제안하였다. 성능 분석 결과 제안된 기법을 사용할 경우 복잡성과 성능 측면에서

좋은 결과를 보였고, 3GPP-LTE 상향링크에서 효율적인 등화 알고리즘 설계에 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2009-(C1090-0902-0005))

참고문헌

- [1] J. Y. Kim, MIMO-OFDM System for High-Speed Wireless Communications, Gyobo Publishers, Seoul, Korea, 2008.
- [2] H. G. Myung, J. Lim, and D. J. Goodman, "Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission", IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 1, no. 3, pp. 30-38, Sep. 2006.
- [3] G. Myung, J. Lim, and D. J. Goodman, "Peak-to-Average Power Ratio of Single Carrier FDMA Signals with Pulse Shaping," PIMRC, Aug. 2006.
- [4] H. Witschnig, G. Ossberger, A. Springer, A. Koppler, L. Maurer, M. Huemer, and R. Weigel, "The Effect of Blockwise Transmission on Higher-Order Modulation Schemes for SC/FDE," International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, pp. 27-30, Oct. 2002.
- [5] N. Al-Dhahir, "Single Carrier Frequency Domain Equalization for Space Time Block Coded Transmissions over Frequency Selective Fading Channels," IEEE communication Letters, vol. 5, no. 7, pp. 304-306, July 2001.
- [6] D. Falconer, S. L. Ariyavisitakul, A. Benyamin-Seeyar, and B. Eidson, "Frequency Domain Equalization for Single-Carrier Broadband Wireless Systems," IEEE Communications Magazine, vol. 40, 4, pp. 58-66, Apr. 2002.
- [7] 3GPP TS 25.101, User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD) (R7), Section B.2.2, Sep. 2007.