

2GHz~10GHz 무선 채널 환경에서 비례 적응형 등화기를 이용한 SC-FDE 시스템 구현과 성능분석

정희원 양용석*, 이규태*

Analysis of Performance for SC-FDE Systems Using Proportional Adaptive Equalizer in 2GHz~10GHz Frequency Radio Channel Models

Yong-Seok Yang*, Kyu-Tae Lee* *Regular Members*

요약

다중 경로 페이딩 환경에서 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)방식은 보호 구간 및 주파수 영역 등화로 심벌 및 채널 간 간섭을 방지하는 특성을 가지는 반면 전송신호의 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)크다는 것이다. SC-FDE(Single Carrier with Frequency Domain Equalization)방식은 OFDM과 유사한 성능을 가지면서 상대적으로 PAPR이 적은 반면 등화기가 복잡하다. 본 논문에서는 SC-FDE시스템을 위한 주파수 영역 비례 적응형 등화기를 제안하고, 2GHz ~ 10GHz 대역의 다양한 채널모델 환경 하에서 성능을 분석함으로써 802.11 및 802.16 등에 효과적으로 적용할 수 있음을 제시하였다. 아울러 동일조건의 OFDM시스템과 성능을 비교하여 수렴속도가 빠르고 단말기의 복잡도를 줄일 수 있음을 시뮬레이션을 통해 증명하였다.

Key Words : OFDM, SC-FDE, Channel Model

ABSTRACT

In the multipath fading channel, OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)system possess the characteristics of ISI/ICIwith prefix, but a weak point of circuit complexity and PAPR problem. SC-FDE(Single Carrier with Frequency Domain Equalization) performance is similar to OFDM system, but equalizer is complex in frequency domain. In this paper, simple proportional equalizer offer for SC-FDE system, it useful method in the 2GHz~ 10GHz channel model such as indoor, outdoor, SUI. It prove using MATLAB simulation, speed faster then OFDM system, reduce terminal complexity in same test condition.

1. 서론

정보의 대용량과 고속전송 요구가 폭발적으로 증가함에 따라 다중경로페이딩이 발생에 효과적으로 대처하기 위하여 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)방식이 다양한 분야에서 활발히 연구되고 있다.^[1] 다른 한편으로는 OFDM 방식에 대한 대안으로 SC-FDE(Single Carrier with Frequency

Domain Equalization) 방식이 주목을 받고 있다.^[2] 두 방식 모두 채널 확산에 의한 신호 왜곡에 강한 특성을 지니고 있으며, 주파수 영역에서 데이터를 블록 단위로 처리함으로써 효율적인 등화를 할 수 있는 장점이 있다.

OFDM방식은 SC-FDE방식과 비교하여 성능은 우수하나 송신시스템에 IFFT수행으로 전송신호의 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)이 상대적으로

* 공주대 전기전자정보공학과 신호처리 연구실 (kisul4@kongju.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-09-377, 접수일자 : 2006년 9월 10일, 최종논문접수일자 : 2007년 3월 22일

크다. SC-FDE방식은 OFDM방식과 유사한 성능을 가지면서도 송신시스템의 PAPR이 작고 복잡도가 상대적으로 적은 반면 등화기가 복잡하여 계산량이 많이 소요되는 단점이 있었다.

본 논문에서는 SC-FDE시스템에 주파수영역 비례 적응형 등화 알고리즘을 제안하고 실내, 도시 등 다양한 다중경로 채널환경에서 적용 가능 여부와 아울러 OFDM시스템과 성능을 비교 분석하였다.

Matlab으로 시뮬레이션 결과, 제안하는 SC-FDE 시스템이 OFDM시스템과 성능은 비슷하고 수렴속도가 상대적으로 빠르며 2GHz~10Ghz 주파수환경에서 적용이 가능함을 알 수 있었다.

논문의 구성은 II장에서 OFDM과 SC-FDE시스템을 비교하고 III장 및 IV장에서 주파수영역 적응형 등화기와 무선채널 모델별 특성을 설명하며, V장에서 제안하는 알고리즘으로 SC-FDE를 구현하여 등화기의 성능과 채널별 시뮬레이션 결과를 제시하고 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 구성

2.1 OFDM과 SC-FDE 시스템 비교

OFDM과 SC-FDE방식의 차이는 송신 시 IFFT Inverse FFT)수행 여부이며, 보호구간(Guard Interval)을 이용하여 심벌 간 간섭(ISI Inter Symbol Interference)을 방지하고 CP(Cyclic Prefix)를 통해 ICI(Inter Carrier Interference)에 대처 하는 것은 동일하다.

그림 1은 OFDM과 SC-FDE 방식에 대한 각각의 기능별 블록도이다.

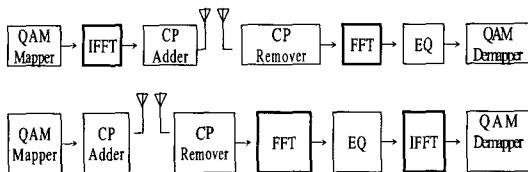


그림 1. OFDM시스템(위)과 SC-FDE시스템(아래)
Fig. 1. OFDM system (upper part) and SC-FDE system (lower part)

2.2 OFDM과 SC-FDE방식 결합(Coexistence)

OFDM방식과 SC방식의 장점을 활용하기위해 기지국(Hub)과 단말기(Subscriber)사이에 OFDM과 SC-FDE방식을 결합할 수 있다. 이중모드 시스템은 (Dual mode System)은 그림 2와 같이 소프트웨어 무선모뎀(Software Radio Modem)으로 IFFT 블럭

을 스위칭으로 재구성(reconfigured) 할 수 있다. 기지국(Hub)에서 2번의 IFFT와 한번의 FFT를 수행을 하게된다. 따라서 단말기(Subscriber)는 한번의 FFT만 수행 하게 된다. 단말기 측면에서 보면 기존의 OFDM 방식에 비해 복잡도가 감소되고 PAPR제한 사항을 해결할 수 있으며 Power Amplifier의 비용을 작게 할 수 있는 장점이 있다.^[3]

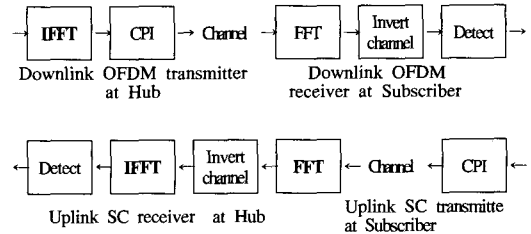


그림 2. OFDM과 SC-FDE방식 결합
Fig. 2. Coexistence of OFDM and SC-FDE systems

III. 주파수 영역 적응형 등화기

3.1 주파수 영역 등화기

채널 지연이 긴 경우 주파수 등화기는 시간 등화기에 비해 상대적으로 계산량이 적고, 적응 시간도 시간 영역보다 빠른 장점을 가지고 있다.^[4]

일반적으로 무선채널을 통과하여 채널지연과 오염된 수신 신호 R(k)은

$$R(k) = X(k)H(k) + W(k) \quad (1)$$

로 표현될 수 있으며, 여기에서 X(k)는 송신 신호, H(k)는 채널의 전달 함수이며, W(k)는 잡음 성분이다. 등화 신호 Y(k)는

$$Y(k) = C(k)R(k) = C(k)X(k)H(k) + C(k)W(k) \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다. 식 (2)에서 C(k)는 등화기 계수이다. 초기 모드에서 부채널의 왜곡을 보상하는 단일 탭 복소 계수 C(k)는 식(3)과 같이 MMSE(Minimum Mean Squares Error) 방식으로 구할 수 있다.

$$C(k) = \frac{H^*(k)}{|H(k)|^2 + \frac{\sigma^2}{\xi(k)}} = \frac{H^*(k)}{|H(k)|^2 + \frac{1}{SNR}} = \frac{R(k)X^*(k)}{|R(k)|^2 + \frac{|X(k)|^2}{SNR}} \quad (3)$$

여기에서 σ_2 는 잡음 분산, $\xi(k)$ 은 신호 에너지이다. SNR(Signal to Noise Ratio)이 클 경우 잡음 효과를 무시하면 $C(k)$ 는 식(4)와 같이 간단하게 LS(Least Square) 기법으로 계산할 수 있다.

$$C(k) = \frac{1}{H(k)} = \frac{X(k)}{R(k)} \quad (4)$$

이러한 정보 모드에서는 다양한 적응 알고리즘을 통해 등화기 계수를 갱신해 나가게 된다.

3.2 SC-FDE의 주파수 영역 등화회로

SC-FDE방식의 주파수영역 등화회로의 블록도는 그림 3과 같다.

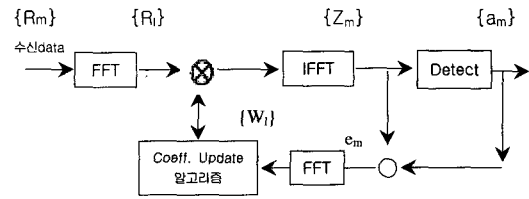


그림 3. SC-FDE 주파수 영역 등화회로
Fig. 3. SC-FDE Equalizer of Frequency domain

적응형 등화기의 출력은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_m = \frac{1}{M} \sum_{l=0}^{M-1} W_l R_l e^{j\frac{2\pi}{M}lm} \quad (5)$$

R_l 은 $\{r_m\}$ 을 주파수 도메인으로 변환위해 FFT해주므로 $R_m = \sum_{l=0}^{M-1} r_m e^{-j\frac{2\pi}{M}lm}$ 이 된다.

그림 4와 같이 M은 데이터이고 L은 데이터의 1/4크기의 뒷부분 심볼이며 CP(Cyclic prefix)는 L을 복사해서 사용된다.

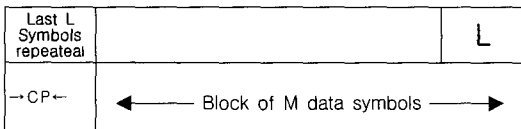


그림 4. 데이터 심볼과 CP
Fig. 4. Data symbol and CPI

적응형 SC-FDE의 출력을 얻기 위하여 식을 전개하면 송신된 데이터 $\{a_k\}$ 는 M데이터 심볼의 블록이고 수신된 샘플 $\{r_m\}$ 은 MI블럭으로 MI point

FFT로 사용되면 I는 data symbol당 수신입력 샘플수이다. m번째 시간영역 출력샘플은

$$Z_m = \frac{1}{M} \sum_{l=0}^{M-1} W_l R_l e^{j\frac{2\pi}{M}lm} \quad m = 0, 1, \dots, (M-1) \quad (6)$$

$$R_l = \sum_{m=0}^{M-1} r_m e^{-j\frac{2\pi}{M}lm} \quad l = 0, 1, \dots, (M-1) \quad (7)$$

m번째 샘플의 에러 $e_m = Z_m - a_m$ 이며 최소자승에러 $E\{|e_m|^2\}$ 이다.

수신된 복소 샘플 $\{r_m\}$ 은 그림 3.에 의거

$$r_m = \sum_{k=0}^{M-1} a_k h\left(\frac{mT}{T} - KT\right) + n\left(\frac{mT}{T}\right) \quad m = 0, 1, \dots, (M-1) \quad (8)$$

여기서 $h(t)$ 는 채널의 임펄스 응답이며 $n(\frac{mT}{T})$ 는 부가잡음이다.

식 (8)을 주파수 영역으로 변환하면

$$R_l = H_l A_l + V_l \quad (9)$$

$$H_l = \sum_{m=0}^{M-1} h\left(\frac{mT}{T}\right) e^{-j\frac{2\pi}{M}lm} : \text{채널임펄스응답} \quad (9a)$$

$$A_l = \sum_{m=0}^{M-1} e^{-j\frac{2\pi}{M}lm} : \text{data 심볼} \quad (9b)$$

$$V_l = \sum_{m=0}^{M-1} n\left(\frac{mT}{T}\right) e^{-j\frac{2\pi}{M}lm} : \text{잡음} \quad (9c)$$

에러 e_m 은 $Z_m - a_m$ 으로 나타낼 수 있으며 최소화를 위하여 $E\{|e_m|^2\}$ 으로 된다.

등화 알고리즘을 통과한 후 update된 등화계수 W_l 은 식 (10)과 같이 쓸 수 있다.

$$W_l = W_{l-1} + \Delta \cdot e_m \cdot R_l \quad (10)$$

그런데 다루고자하는 신호가 복소수이고 트레이닝 직후의 W_l 은 식 (11)과 같이 쓸 수 있다.

$$W_l^{(n+1)} = W_l^{(n)} + \Delta \cdot E_l^{(n)} \cdot R_l^{(n)} \quad l = 0, 1, p-1 \quad (11)$$

여기서 W_l, R_l 은 벡터값으로 수열로 표현된다.

본 논문에서는 채널의 시변 특성에 따라 식12와 같이 등화계수를 조정해 나간다.^{[5][6][7]}

$$C(j,k) = C(j-1,k) + \Delta \left[\frac{A(j-1,k)}{R(j-1,k)} - C(j-1,k) \right] \quad (12)$$

$$= (1-\Delta)C(j-1,k) + \Delta \frac{A(j-1,k)}{R(j-1,k)}$$

식 (12)는 식(11)의 비례 적응형 등화 알고리즘으로서 C(j,k)는 j번째 블록의 k번째 등화계수이며, Δ는 등화기 상수로서 등화계수의 영향도를 결정하며, A(j-1,k)는 결정심벌, R(j-1,k)는 수신심벌이다.

등화기 계수는 이전 등화기 계수, 결정 케환된 심벌과 수신 심벌에 의해 유도된다. 등화상수 Δ는 초기 모드에서 1로 설정될 수 있으며, 결정 모드에서는 0과 1사이의 값으로 설정되며, Δ가 0이면 이전 계수는 등화기 계수의 조정 없이 그대로 다음 심벌에 적용된다. 비례 적응형 등화기는 결정 케환형 등화기의 형태로 빠른 수렴 특성을 가지게 된다.

IV. 무선채널 모델

구현한 SC-FDE시스템이 무선채널환경에 적용가능여부와 성능을 확인하기 위하여 다양한 채널환경을 사용하였다. 무선채널환경은 다수의 탭, 다양한 지연(delay spread), 가시전파와 비 가시전파, 레일리(Rayleigh)페이딩, 라이시안(Rician) 페이딩 채널환경을 포함하였다. 실내(Indoor)채널환경은 가시전파(Line Of Sight, LOS)가 없는 레일리 페이딩(Rayleigh Fading)을 고려하기 위해 HIPERLAN/2^[8]에 제시된 5가지 모델 중 사무실환경의 모델A를 적용하였다. 실외(Outdoor)채널환경은 도시, 언덕, 시골지역 등을 묘사한 EURO-COST(European Co-operative for Scientific and Technical research)에서 제시한 COST259모델^{[9][10][11]}중 도시지역을 적용 했는데 이는 지형적인 특성과 전파특성을 고려하여 2GHz 부근에서 평균적인 전력지연 프로파일을 제시하고 있으며, 가시전파가 있는 라이시안 페이딩(Ricean fading)과 레일리 페이딩 모두를 고려할 수 있기 때문이다. 또한 2~10GHz 광대역 무선 채널에서 SC-FDE 성능확인을 위해 IEEE802.16.3에서 제안된 6가지 SUI 모델 중 SUI-2와 SUI-5, SUI-6을 적용하였다.^[10]

표 1은 실내(Indoor)환경채널로 전형적인 사무실의 전파모델의 파라미터이다.

그림 5는 실외환경 중 도심지역의 채널모델이며, 그림 6은 SUI채널 모델 중 SUI-2, 5, 6이다.

표 1. Indoor Channel

Tap Number	Delay (ns)	Average Relative Power (dB)	Ricean K	Doppler Spectrum
1	0	0.0	0	Class
2	10	-0.9	0	Class
3	20	-1.7	0	Class
4	30	-2.6	0	Class
5	40	-3.5	0	Class
6	50	-4.3	0	Class
7	60	-5.2	0	Class
8	70	-6.1	0	Class
9	80	-6.9	0	Class
10	90	-7.8	0	Class
11	110	-4.7	0	Class
12	140	-7.3	0	Class
13	170	-9.9	0	Class
14	200	-12.5	0	Class
15	240	-13.7	0	Class
16	290	-18.0	0	Class
17	340	-22.4	0	Class
18	390	-26.7	0	Class

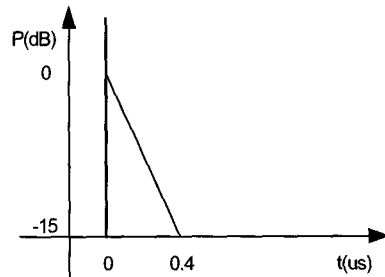


그림 5. 도심지역 채널 모델
Fig. 5. Typical Urban channel model

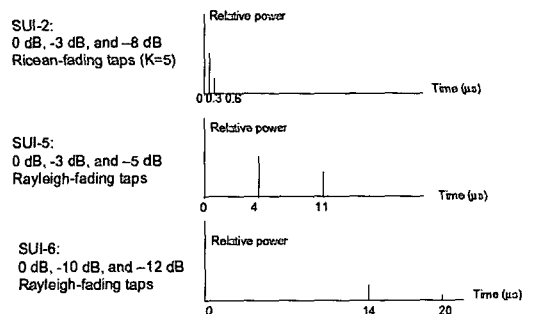


그림 6. SUI 채널모델
Fig. 6. SUI channel models

V. 시뮬레이션 결과

다양한 채널환경에서 OFDM시스템을 구현하고 성능을 분석 한 시뮬레이션 결과가 제시된 바가 있다.^[13]

본 논문에서 시뮬레이션은 Matlab으로 기본적인 OFDM시스템과 제안하는 주파수 등화기를 적용한 SC-FDE시스템을 구현하고 여러가지 채널모델에서의 각각의 성능을 분석하였다. 2가지 방식의 등기는 일치한다고 가정하였고 채널코딩은하지 않았다.

OFDM시뮬레이션 환경은 그림 1의 위와 같이 송신시스템은 BPSK 또는 16QAM으로 Mapping후에 1,024 IFFT하여 OFDM변조하였다. 그리고 데이터의 1/4크기로 CP(Cyclic Prefix)를 추가하고 백색잡음(AWGN)을 부과한 후 선택한 채널로 전송시켰다. 수신시스템에서는 CP(Cyclic Prefix)를 제거한 후 1,024 FFT와 Demapping하여 원 신호를 복원하였다.

SC-FDE시뮬레이션 환경은 그림 1의 아래와 같이 송신시스템은 IFFT 수행 없이 데이터의 1/4크기로 CP(Cyclic Prefix)를 추가하고 백색잡음(AWGN)을 부과한 후 선택한 채널로 전송시켰다. 수신시스템에서는 CP를 제거 후 오염된 신호와 기준신호를 이용하여 등화계수를 구하고 비례 적응형 등화 알고리즘을 적용하여 등화계수를 최신화하여 원 신호를 복원하였다.

그림 7은 SC-FDE의 수신시스템에서 등화기를 통과하기 전에 정상도인데 신호가 SUI-A 채널통과와 오염된 잡음을 CP로 제거하였지만 완벽히 복원하지 못함을 볼 수 있다. 반면에 그림 8은 제안한 알고리즘을 통과한 후의 정상도로 Bit Error없이 채널이 복원 되어 성능이 우수함을 보여준다.

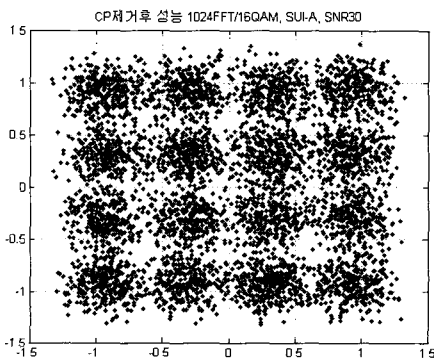


그림 7. 수신시스템에서 CP제거 후 정상도
Fig. 7. Signal constellation of without proportional adaptive equalizer

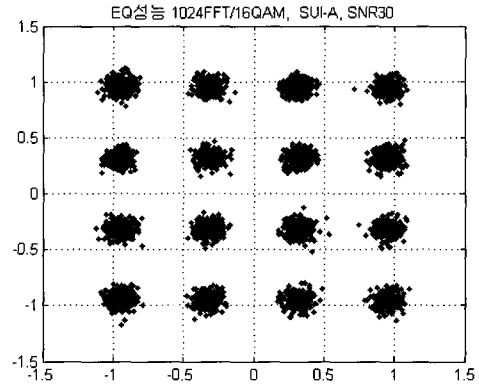


그림 8. SC-FDE 등화기 통과 후 정상도
Fig. 8. Signal constellation of with proportional adaptive equalizer

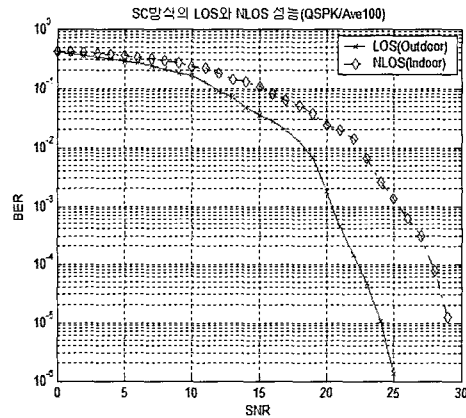


그림 9. SC-FDE방식에서 LOS 및 NLOS 성능
Fig. 9. BER performance of LOS and NLOS with SC-FDE

그림 9는 제안하는 알고리즘을 적용한 SC-FDE 시스템의 성능으로 NLOS환경, 즉 HIPERLAN/2 채널의 사무실(Indoor)과 LOS환경, 즉 COST259

채널의 도시지역(Outdoor)에서 각각의 BER 그래프이다. QPSK로 매핑하고 100번의 SNR을 평균하여 BER을 구한 결과, 가시전파 환경인 LOS의 성능이 다소 우수한 것으로 나타났다.

그림 10, 그림 11, 그림 12는 2GHz~10GHz대역의 SUI-2, 5, 6모델을 SUI-A, B, C 모델로 대칭하여 SC-FDE시스템에 적용한 성과 OFDM방식의 성능을 각각 비교한 것이다. Mapping은 BPSK 또는 16QAM으로 했고 SNR을 1에서 30까지 증가해 가며 4가지 경우에 대해 BER을 구했다. BER은 오류를 최소화 하기위해 100회 수행 결과를 평균하여 얻은 값이다.

시뮬레이션 결과, BPSK에서는 OFDM방식의 성

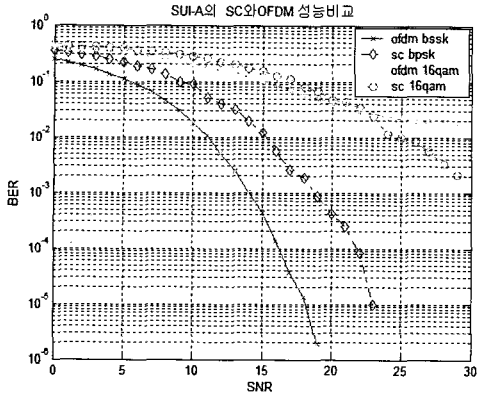


그림 10. SUI-A적용시 SC-FDE와 OFDM성능 비교
Fig. 10. Comparison of BER Performance for SC-FDE and OFDM in SUI-A

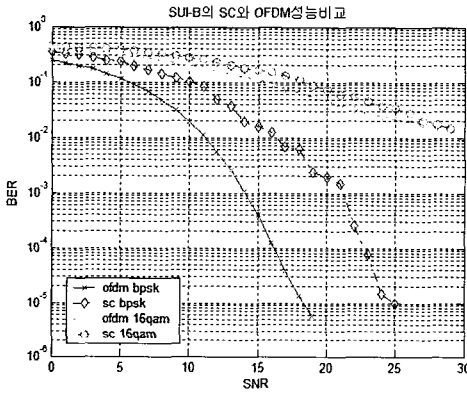


그림 11. SUI-B적용시 SC-FDE와 OFDM성능 비교
Fig. 11. Comparison of BER Performance for SC-FDE and OFDM in SUI-B

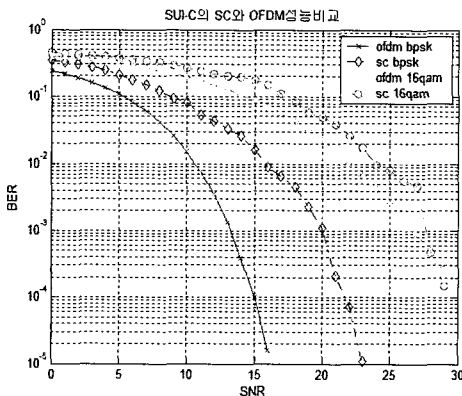


그림 12. SUI-C적용시 SC-FDE와 OFDM성능 비교
Fig. 12. Comparison of BER Performance for SC-FDE and OFDM in SUI-C

능이 우수하나 16QAM에서는 제안한 SC-FDE방식과 OFDM의 성능이 비슷함을 알 수 있었다.

표 2. 제안하는 SC-FDE방식의 수렴속도

Fig. 2. Convergence speed proportional adaptive equalizer in SC-FDE system

구분	Mod	SC-FDE	OFDM	결과	조건
SUI-A	BPSK	10sec	19sec	1.9배	SNR=5 Ave100회
	16QAM	238sec	355sec	1.5배	
SUI-B	BPSK	27sec	54sec	2.0배	SNR=15 Ave100회
	16QAM	287sec	380sec	1.32배	
SUI-C	BPSK	42	93sec	2.21배	SNR=30 Ave100회
	16QAM	301sec	415sec	1.38배	

표 2는 SC-FDE시스템과 OFDM시스템의 수렴시간을 비교한 것이다. 표 2를 분석해 보면 지연 스프레드(delay spread)가 클수록, 변조도가 높을수록 수렴시간이 많이 걸림을 알 수 있다. 비례 적응형 SC-FDE시스템의 수렴속도가 다소 빠른 것은 송신 시스템에서 IFFT를 수행하지 않으므로 시변 채널 환경에 주파수와 위상의 영향을 상대적으로 적게 받기 때문으로 볼 수 있다. IFFT를 수행하면 각 Bit에 $e^{j\omega t}$ 를 곱해 주게 되고 $e^{j\omega t}$ 는 $2\pi f_{N-1} t$ 가 되어 (여기서 N은 orthogonal이 보장되는 정수배 주파수) 주파수와 위상의 함수로 된다. 저역통과시스템으로 동작하는 시변 채널 환경에서 주파수 및 위상 변동은 응답지연으로 나타나게 될 수 있기 때문으로 보인다.

VI. 결론

본 논문에서는 SC-FDE시스템에 제안한 알고리즘을 적용 시 OFDM시스템과 유사한 성능을 가지면서도 PAPR이 상대적으로 적고 송신시스템의 단말기의 복잡도를 감소시킬 수 있으며 수렴속도가 다소 빠름을 제시하였다. 또한 다양한 채널모델에서 적용 가능함으로 OFDM시스템과 같이 IEEE 802.11 뿐만 아니라 2~10GHz IEEE802.16에서도 사용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

향후 시변채널에서 내성을 가질 수 있는 알고리즘의 연구가 추가되면 성능은 보다 향상시킬 수 있을 것이며 SC-FDE와 OFDM방식이 결합된 시스템을 적용 시 도심지, 산악 등 다양한 장소에서 통신이 요구되는 특수임무 분야에 이동기지국과 간단한 단말기로 통신이 가능할 것으로 예상되어 경제적 파급효과도 클 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Ramjee, Prasad, "OFDM for wireless communication systems", pp177, 2004.

[2] ICA, "이동통신 백서", pp.187, April 2004.

[3] D.Falconer, S.Ariyavisitakul, A.Seeyar, and B.Eidson, "Frequency Domain Equalization for Single-Carrier Broadband Wireless Systems," *IEEE Communications Magazine*, pp. 58-66, April 2002.

[4] M.V.Clark, "Adaptive Frequency Domain Equalization and Diversity Combining for Broadband Wireless Communications," *IEEE Journal on selected areas in Comm*, Vol. 16, No.8, pp. 1385-1395, October 1998.

[5] J.Rinne and M.Renfors, "Equalization of Orthogonal Frequency Division Multiplexing Signals," *IEEE GLOBECOM 94*, Vol. 1, pp.415-419, 28. November~2. December 1994.

[6] K.Matheus, G.Frank, and P.Schramm, "Parameter optimization for decision directed frequency tracking for coherent OFDM," *GLOBECOM '00*, Vol. 3, pp. 1402-1406, 27. November-1. December 2000.

[7] Ji-Heon Kim, "Frequency Domain DFE coupled with Common Phase Error Tracking Loop in OFDM Systems," *61st IEEE VTC Spring 2005*, May. 2005.

[8] ETSI, "Broadband Radio Access Net Works (BRAN); HIPERLAN Type 2; Hphysical (PHY)Layer," *TS 101 475*, Feb, 2001.

[9] Kim, S.C. "Radio Propagation Measurements and Prediction Using Three Dimensional Ray Tracing in Urban Environments at 908MHz and 1.9GHz," *IEEE Trans. Veh.. Technol.*, vol. 48, no3, pp.931-946, May.1999.

[10] COST259 Document, *3GPP TR 25.943 V4.0.0*, June, 2001.

[11] Correia, ed., "Wireless flexible personalized communications COST259:European cooperation in mobile radio research", John Wiley & Sons, 2001.

[12] V. Erceg, K.V.S. Hari, M.S. Smith, D.S. Baum, K.P. Sheikh, C. Appenden, J.M. Costa, C. Bushue, A. Sarajedini, R. Schwartz, D. Brantlund, "Channel Models for Fixed Wireless Applications", *IEEE 802.16. 3c- 01/29r1* Feb. 23, 2001.

[13] Yong-Seok Yang, Kyu-Tae Lee "Analysis of 64QAM/OFDM system performance considering channel estimation based on the Urban, Rural and Hilly channel model" *한국인터넷방송통신·TV학회논문지* Vol. 5, No.2, PP87-95, 2005.

양 용 석 (Yong-Seok Yang)

정회원



정보통신 기술사 (51회)

1985년 2월 : 금오공과대학교 전자공학과 (공학사)

1994년 2월 : 울산대학교 전자/전산기공학과 (공학석사)

1996년 : 미국 스펙트럼관리학교 졸업

2006년 : 공주대학교 전기전자정보공학과 공학박사과정 수료

<관심분야> OFDM, 디지털 신호처리, 통신시스템설계

이 규 대 (Kyu-Tae Lee)

정회원



1984년 : 고려대 전자공학과 졸업

1986년 : 고려대 전자공학과 석사

1991년 : 고려대 전자공학과 박사

2001년 : 미 조지아텍 교환 교수

2002년~현재 : 한국전자통신연구원 이동통신연구소 초빙연구원

1992년 3월~현재 : 공주대 전기전자공학부 부교수

<관심분야> OFDM, 디지털 신호처리, SDR 구조