

특집논문-11-16-2-02

Unique-word 채용한 SC-FDE 기반 지상파 DTV 전송의 채널 추정 기법

신 동 철^{a)}, 김 재 길^{a)}, 안 재 민^{a)†}

Channel estimation scheme of terrestrial DTV transmission employing unique-word based SC-FDE

Dong-Chul Shin^{a)}, Jae-Kil Kim^{a)}, and Jae-Min Ahn^{a)†}

요 약

SC-FDE(Single Carrier with Frequency Domain Equalizer) 전송 방식에서 채널의 다중경로를 통과한 신호들은 채널 지연 확산과 노이즈 영향으로 심하게 왜곡이 되거나 ISI(Inter-Symbol Interference)가 발생된다. 기존 UW(Unique-Word) 기반 SC-FDE 전송 방식 중 하나인 반복적 채널 추정은 채널 길이를 안다고 가정하여 추정된 CIR(Channel Impulse Response)의 채널 길이 밖에 있는 노이즈 성분을 시간 영역에서 스무딩을 함으로써 노이즈 성분을 제거한다. 또한, 주파수 영역에서 채널 추정에 사용하는 UW를 복원하여 잔재하는 ISI 성분을 제거함으로써 채널 추정 성능을 향상시킨다. 본 논문은 채널 길이 안으로 있는 노이즈 성분 억압을 통한 채널 추정 기법을 제안한다. 노이즈 성분을 억압하기 위해 시간 영역에서 추정된 CIR로 채널 길이 밖에 있는 노이즈 성분을 이용하여 노이즈의 표준편차를 추정하고 본래 신호 샘플에 영향이 안가도록 노이즈 표준편차 이득의 기준을 만든다. 추정된 노이즈의 표준편차와 이득을 이용하여 CIR 샘플들이 기준값 이하 일 때 채널 길이 안에 있는 노이즈 성분을 스무딩을 한다. 시뮬레이션 결과는 채널의 MSE(Mean Square Error)와 BER(Bit Error Rate)을 통하여 제안된 기법을 적용할 때 성능 개선이 나타남을 확인 할 수 있었다.

Abstract

A signal passed through multi-path channel suffers ISI(Inter-Symbol Interference) and severe distortions caused by channel delay spread and noise components at the SC-FDE(Single Carrier with Frequency Domain Equalizer) transmission. Conventional UW(Unique-Word) based SC-FDE iterative channel estimation improves channel estimation performance by smoothing estimated CIR(Channel Impulse Response) of the noise components outside the channel length at time domain and restoring the broken cyclic property through UW reconstruction. In this paper, we propose channel estimation scheme through noise suppression within channel length. To suppress the noise, we estimate noise standard deviation as estimated CIR of the noise components outside the channel length and make criteria of the noise standard deviation gain that doesn't affect the original signal samples. When estimated CIR samples within channel length are less than the criteria value using the noise standard deviation and gain, the noise components are removed. Simulation results show that the proposed channel estimation scheme brings good channel MSE(Mean Square Error) and good BER(Bit Error Rate) performance.

Keyword : SC-FDE, channel estimation, unique-word, noise elimination

a) 충남대학교 전자전파정보통신공학과
 Dept. of Information Communications Eng., Chungnam National Univ.
 † 교신저자 : 안재민(jmahn@cnu.ac.kr)
 ※ 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가위원회의 산업원천기술개발(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002058, 차세대 지상파 3D HDTV를 위한 고효율 전송기술 개발]
 · 접수일(2010년12월20일), 수정일(2011년2월8일), 게재확정일(2011년2월15일)

1. 서 론

최근 시청자가 자연스럽게 3차원 입체 콘텐츠를 몰입하여 즐기도록 하는 차세대 실감 방송기술이 급속히 보급되

고 있으며 그에 따르는 관심이 급격히 커지고 있다^{[1][2]}. 이에 따라 지상파를 이용한 DTV 방송에 대한 필요성도 점차 증대되고 있으나 현재 관련 연구는 거의 진행되지 않고 있는 실정이다.

DTV의 지상파 전송이 고품질 이루어지기 위해서는 영상부호화기의 효율을 높여 기존의 DTV 전송시스템을 재활용하는 방식과 기존의 코덱을 재활용하되 전송시스템의 효율을 개선하여 전송하는 방식이 있을 수 있다. 후자의 경우 전송속도에 대한 요구사항은 기존의 ATSC(Advanced Television System Committee) 방식 대비 50% 이상의 전송효율 개선이 요구되며 현재 사용되고 있는 VSB(Vestigial Side Band) 기반 전송방식의 확장을 통해 달성하기에는 어려움이 존재하는 요구사항이라 할 수 있다^[3]. 이에 따라 전송효율의 개선을 위한 새로운 전송방식의 연구가 필요하며 유럽의 경우는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 채용한 DVB-T2(Digital Video Broadcasting-Terrestrial version2)에서 이러한 요구를 충족하고 있다^[4]. 이에 유사한 성능을 보일 수 있는 SC-FDE(Single Carrier with Frequency Domain Equalizer) 기법이 새로운 전송방식의 대안으로 고려될 수 있다^[5]. SC-FDE는 OFDM 방식과 비교하여 낮은 PAPR(Peak-to-Average

Power Ratio)을 가지며, 주파수 편차에 의한 성능저하가 비교적 작은 장점을 가지기 때문이다.

아래 그림 1과 2는 OFDM 방식과 SC-FDE 방식의 PAPR을 시뮬레이션을 통해 분석한 결과이다. SC-FDE 방식은 64QAM에서는 OFDM 방식보다 약 3dB가 개선되고, 256QAM에서는 OFDM 방식보다 약 2.5dB가 개선됨을 확인할 수 있다.

DTV 전송을 위한 SC-FDE 전송 방식은 다른 전송 방식 시스템과 마찬가지로 다중경로의 영향을 받는데 이를 통과한 신호들은 채널 지연 확산과 노이즈의 영향으로 심하게 왜곡되거나 Inter-Symbol Interference(ISI)가 발생된다. 이를 보상하기 위해 UW(Unique-Word)를 사용할 수 있으며 이 경우 주파수 영역에서의 채널 추정과 보상을 통하여 OFDM과 유사한 성능을 얻게 된다^[6]. 기존 UW 기반 SC-FDE 전송방식 중 하나인 반복적 채널 추정은 채널 길이를 안다고 가정을 하여 채널 길이 밖의 노이즈를 시간 영역에서 영 삽입(zero padding) 즉, 추정된 채널 스무딩을 함으로써 노이즈 성분을 제거한다. 그리고 주파수 영역에서 채널 추정에 사용되는 UW를 복원하여 잔재하는 ISI를 제거한다^[7]. 그러나 참고문헌 [7]은 채널 길이 안으로 있는 노이즈 성분 때문에 정확하게 채널을 추정할 수 없기 때문

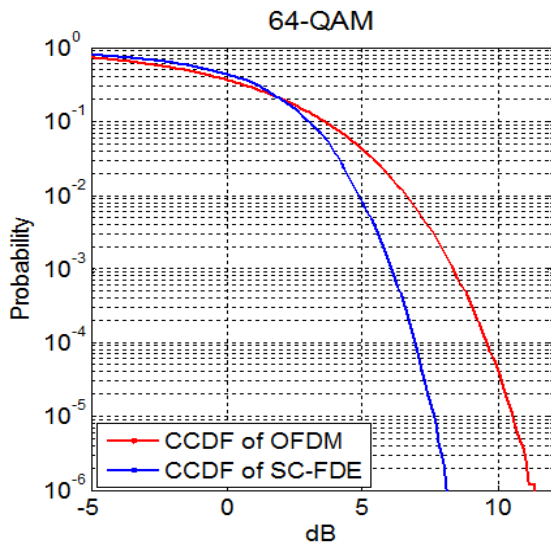


그림 1. OFDM과 SC-FDE의 PAPR 성능(64QAM)
Fig. 1. PAPR performance of OFDM and SC-FDE(64QAM)

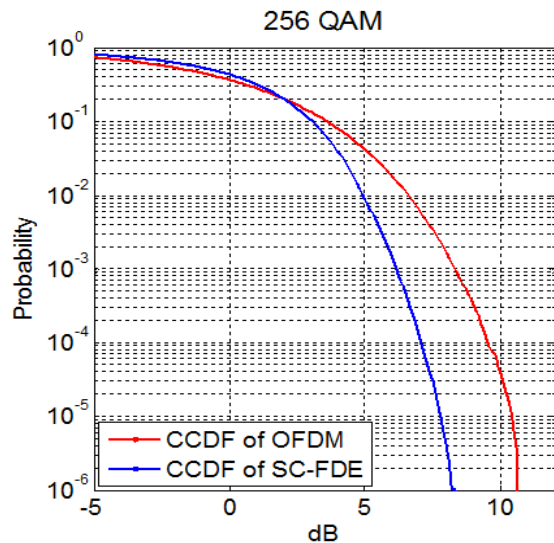


그림 2. OFDM과 SC-FDE의 PAPR 성능(256QAM)
Fig. 2. PAPR performance of OFDM and SC-FDE(256QAM)

에 채널 추정 성능에 영향을 끼친다. 이에 본 논문은 채널 길이 안으로 있는 노이즈 성분을 억압을 통한 채널 추정 기법을 제안한다. 노이즈 성분을 억압하기 위해 시간 영역에서 추정된 CIR(Channel Impulse Response)로 채널 길이 밖에 있는 노이즈 성분을 이용하여 노이즈의 표준편차를 추정하고 본래 신호 샘플에 영향이 안가도록 노이즈 표준편차 이득의 기준을 만든다. 추정된 노이즈 편차를 이용하여 CIR 샘플들이 기준 이하 일 때 채널 길이 안에 있는 노이즈 성분을 제거를 한다. 이렇게 노이즈를 억압하는 전체 과정을 노이즈 제거 문턱값 추정(NETE: Noise Elimination Threshold Estimation) 알고리즘이라 정의한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 지상파 DTV 전송을 위한 UW 기반 SC-FDE 프레임 구조와 시스템 블록도에 관한 시스템 모델을 제시한다. III 장에서는 기존 채널 추정 방식과 반복적 UW 복원 과정을 설명한다. IV 장에서는 제안하는 NETE 알고리즘 및 UW 복원 과정을 설명한다. V 장에서는 기존 방식과 제안하는 채널 추정 방식의 시뮬레이션 결과 성능을 비교하고 마지막 장에서는 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

SC-FDE 방식은 송신 단에서 데이터 수열을 블록화 할 때 삽입하는 여분의 보호구간의 심벌들이 CP(cyclic Prefix) 인지 UW인지에 따라 나눌 수 있다. CP를 사용 시에는 SC-FDE 심벌의 특성상 시간 영역에서 생성된 데이터 심벌 사이에 혼련 심벌인 pilot 삽입이 어려움이 발생한다. 이에 보호구간의 역할과 수신 단에서 주파수 영역 채널의 보상을 하기 위한 UW를 사용한다. UW의 시퀀스는 시간 영역과 주파수 영역 모두에서 전력분포가 일정한 zadoff-chu CAZAC(Constant Amplitude Zero Auto Correlation) 시퀀스를 사용하며 식 (1)로 나타낸다.

$$u(n) = \begin{cases} e^{j\frac{2\pi q}{Q}\left(n + \frac{n^2}{2}\right)}, & \text{if } Q = \text{even} \\ e^{j\frac{2\pi q}{Q}\left(n + \frac{n(n+1)}{2}\right)}, & \text{if } Q = \text{odd} \end{cases}, n = 0 \dots Q-1 < Q \quad (1)$$

위 식에서 Q 는 UW의 길이, q 는 root index 그리고 n 은 시간 영역 index이다. 그림 3은 전형적인 SC-FDE 프레임 구조이다. SC-FDE의 프레임 구조는 데이터와 보호구간의 역할과 수신 단에서 주파수 영역 채널의 보상을 하기 위한 UW로 구성된다.

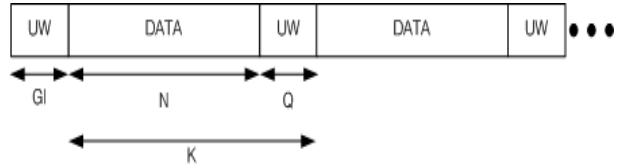


그림 3. UW 기반 SC-FDE 프레임 구조
Fig. 3. UW based SC-FDE frame structure

i 번째 송신 신호는 식 (2)와 같이 정의할 수 있다.

$$s_{n,i} = \begin{cases} x_{n,i}, & 0 < n < N \\ u_n, & N \leq n < K \end{cases} \quad (2)$$

위 식에서 K 는 송신신호 심벌의 길이이며, $K=N+Q$ 형태로 나타낼 수 있다. 또한, N 은 데이터 심벌의 길이이다. 채널을 거쳐 수신된 i 번째 신호는 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$r_{n,i} = \sum_{l=0}^{L-1} h_{l,i} s_{(n-l)_{K,i}} + w_{n,i}, 0 < n < K \quad (3)$$

위 식에서 $h_{l,i}$ 은 i 번째 송신신호와 컨볼루션을 이루고 있는 다중경로 채널, L 은 채널의 길이, l 은 채널 길이의 인덱스 그리고 $w_{n,i}$ 는 부가 백색 가우스 잡음(additive white gaussian noise: AWGN)이다.

그림 4는 SC-FDE 시스템 블록도를 나타낸다. 기존 반복적 채널 추정 방식 블록들과^[7] 색칠해진 블록들의 부분은 제안하는 NETE 알고리즘 부분이 추가된 부분이다. 점선으로 표시한 블록들의 부분은 붕괴된 주기성을 복원하여 ISI를 제거하고 정확한 채널 추정을 하기 위해 재차 추정하는 반복성을 나타낸다.

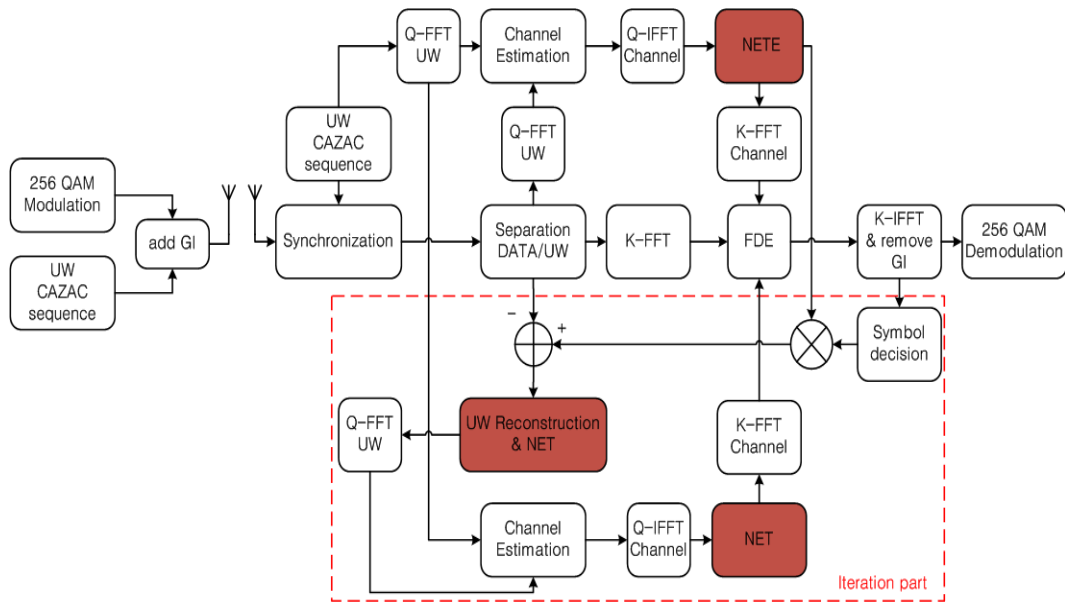


그림 4 . UW 기반 SC-FDE 시스템 블록도
Fig. 4. UW based SC-FDE system block diagram

III. 채널 추정 기법

기존 SC-FDE 기반 반복적 채널 추정 방식에서는 데이터 뒤에 있는 UW로 채널을 추정한다. 추정한 채널은 채널 길이 이를 안다고 가정을 하고 채널 길이 밖으로 영 삽입(zero padding)을 함으로 노이즈 성분을 제거한다. 그리고 다중 경로를 통과한 수신 신호는 채널 지연 확산 영향으로 데이터의 성분들이 UW에 밀려 들어와 주기성이 붕괴되고 ISI를 일으킨다. 붕괴된 주기성을 복원하여 ISI를 제거하기 위해 반복적 UW 복원 과정을 거쳐 채널 추정 성능을 개선시킨다^[7]. 그러나 참고문헌 [7]은 채널 길이 안으로 있는 노이즈 성분이 포함되기 때문에 정확하게 채널을 추정할 수 없어서 채널 추정 성능에 영향을 끼친다. 이 문제점을 해결하기 위해 제안하는 알고리즘은 채널 길이 밖에 있는 노이즈 성분을 제거에만 사용하지 말고 이를 이용하여 노이즈 표준편차를 추정한다. 추정된 노이즈 표준편차는 이득의 문턱 값을 곱하여 노이즈 제거 문턱값을 결정하고 채널 길이 안에 있는 샘플 중 노이즈 제거 문턱값 이하 값은 노이즈이므로 노이즈 성분을 제거한다. 문턱값이 높으면 본래 신호 샘플이 제거될 수 있기 때문에 본래 신호 샘플이 영향을

안가도록 문턱값의 기준을 정한다.

1. DFT 기반 채널 추정 방식

기존 UW 기반 SC-FDE 채널 추정 방식의 초기 채널 추정은 DFT 기반 채널 추정 방식으로 수신된 데이터의 뒷부분에 위치하고 있는 UW u_n' 부분과 이미 알고 있는 UW u_n 을 통하여 주파수 영역에서 최소 자승법(Least square: LS) 채널을 추정하고 Q -point IFFT를 거쳐 시간영역에서 초기 채널 임펄스 응답 \hat{h}_n (Channel Impulse Response: CIR)을 얻게 된다. C_k 는 u_n 을 Q -point FFT로 수행한 것이다.

$$\hat{h}_n = IFFT_Q \left\{ \frac{FFT_Q \{u_n'\}}{C_k} \right\}, 0 \leq n < Q \tag{4}$$

$$where \begin{cases} u_n' = r_{n+N}, & 0 \leq n < Q \\ C_k = FFT_Q \{u_n\}, & 0 \leq n < Q \end{cases}$$

추정된 CIR은 본래 CIR h_n 과 노이즈 성분 w_n 으로 구성된다. 채널 길이 L 밖으로 노이즈 성분이기 때문에 영 삽입

즉, 채널 스무딩을 통하여 노이즈 성분들을 제거하게 된다.

$$\hat{h}_n = \begin{cases} \hat{h}_n + w_n, & 0 \leq n < L \\ w_n, & \text{otherwise} \end{cases} \rightarrow \hat{h}_{(DFT)n} \quad (5)$$

$$= \begin{cases} \hat{h}_n + w_n, & 0 \leq n < L \\ w_n, & \text{otherwise} \end{cases}$$

2. 반복적 UW 복원 과정

채널의 지연 확산영향으로 데이터의 뒷부분의 성분이 밀려 들어와 UW에 ISI 영향을 미친다. 결국 UW의 주기성은 붕괴되고 채널 추정 성능을 저하시키는 원인이 된다. 그래서 UW 복원 과정을 거쳐 잔재하는 ISI를 제거한다. UW 복원 과정은 우선 채널을 보상한 후에 심벌 결정 과정을 거쳐 데이터 심벌 바운더리를 보상하여 \bar{x} 을 형성 시킨다. \bar{x} 는 K -point FFT 과정을 거쳐 주파수영역에서 추정된 채널 \tilde{H}_k 와 곱하게 되며 다시 K -point IFFT 과정을 거쳐 시간영역에서 새로운 y_n 을 생성한다. 채널 길이 L 기준으로 수신신호 r_n 과 y_n 은 식 (5)과정을 통해 복원된 UW p_n 을 얻게 된다.

$$p_n = \begin{cases} r_{n+N} - y_{n+N} + r_n - y_n, & 0 \leq n < L \\ r_{n+N} - y_{n+N}, & L \leq n < Q \end{cases} \quad (6)$$

where $y_n = IFFT_K\{FFT_K\{\bar{x}\} \cdot \tilde{H}_k\}$

기존 반복적 채널 추정 및 UW 복원하는 과정을 통해 성능은 개선되지만 문제점이 발생된다. 그 문제점은 채널 길이 안에 CIR은 반사 성분으로서 올바른 CIR과 노이즈 부분

이 같이 분포하고 있어 이 노이즈 성분 때문에 채널 추정 성능이 떨어지게 되고 UW 복원 시에도 채널 길이 안에 노이즈 성분 때문에 채널 추정 성능을 떨어뜨리는 원인이 된다.

IV. 제안하는 노이즈 제거 기법

1. NETE 알고리즘

기존 추정된 채널 시간영역에서 채널 길이 L 밖에 있는 노이즈 성분을 이용하여 노이즈 표준편차를 식 (7)과 (8)을 통하여 추정한다.

$$\hat{h}[n] = w[n], \quad L < n < Q \quad (7)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{E(w_n^2) - (E(w_n))^2}, \quad L < n < Q \quad (8)$$

추정된 노이즈 표준편차 $\hat{\sigma}$ 는 본래 신호 샘플에 영향이 안가도록 이득 α_{gain} 의 기준값을 알맞은 비율로 곱하고 NET p_{th} 을 만든다. NET 기준 이하 일 때, 노이즈는 0을 삽입하여 채널 길이 안에 있는 노이즈 성분을 제거한다. 채널 밖에 있는 노이즈 성분은 기존 방식으로 식 (5)를 적용한다. 식 (9), (10) 그리고 그림 5는 NET과정이다.

$$p_{th} = \alpha_{gain} \times \hat{\sigma} \quad (9)$$

$$\tilde{h}[n] = \begin{cases} \hat{h}[n], & |\hat{h}[n]| > p_{th} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

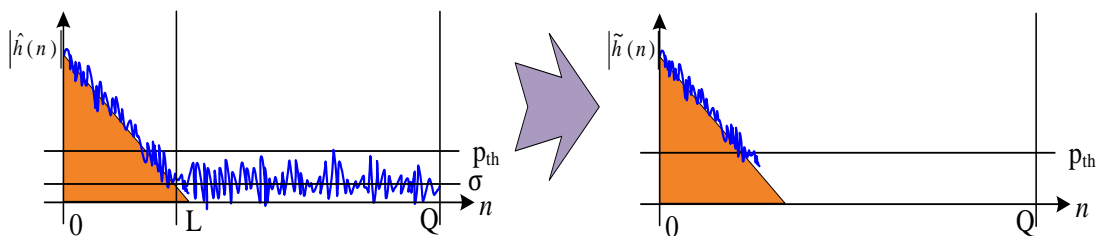


그림 5 . 노이즈 제거 문턱값 추정
Fig. 5. Noise elimination threshold estimation

2. 반복적 UW 복원 과정

UW복원 과정은 Q 길이 기준으로 복원 지점을 식 (11)로 나타낸다. 그러나 $r_n - y_n$ 은 data 성분과 노이즈 성분이 남아 있기 때문에 시간영역에서 NETE 알고리즘을 식 (10)과 채널 스무딩 과정인 식 (5)를 적용하여 채널 길이 안과 밖에 있는 노이즈 성분들을 제거한다.

$$p_n = r_{n+N} - y_{n+N} + r_n - y_n, \quad 0 < n < Q \quad (11)$$

V. 시뮬레이션 결과

1. 시뮬레이션 파라미터

DTV 전송을 위해 기존의 ATSC 방식 대비 50% 이상의 전송효율 개선이 요구되며 현재 사용되고 있는 VSB기반 전송방식의 확장을 통해 달성하기에는 어려움이 존재한다. 그러므로 OFDM과 유사한 성능을 보일 수 있는 SC-FDE 방식을 채용한다. UW 기반 SC-FDE 방식은 ATSC 방식의 5.38MHz 대역폭에서 동작하고 OFDM 전송 방식 기반 DVB-T2의 30Mbps급 전송속도를 구현하기 위해 DVB-T2 파라미터를 변환한다. 8K 블록사이즈와 19/256 비율의 UW을 사용하였고 256QAM을 위한 심벌의 결정 바운더리는 측정된 값 0.469이다. 채널은 브라질 채널 모델을 사용했고 채널의 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 브라질 채널 모델
Table 1. Brazil channel model

채널	구분	Path 1	Path 2	Path 3	Path 4	Path 5	Path 6
A	Delay(usec)	0	0.15	2.22	3.05	5.85	5.93
	Amplitude(dB)	0	-13.8	-16.2	-14.9	-13.6	-16.4
B	Delay(usec)	0	0.3	3.5	4.4	9.5	12.7
	Amplitude(dB)	0	-12	-4	-7	-15	-22
C	Delay(usec)	0	0.089	0.419	1.506	2.323	2.799
	Amplitude(dB)	-2.8	0	-3.8	-0.1	-2.5	-1.3
D	Delay(usec)	0.15	0.63	2.22	3.05	5.86	5.93
	Amplitude(dB)	-0.1	-3.8	-2.6	-1.3	0	-2.8

2. 성능

그림 6과 7은 NET를 3시그마와 6시그마로 적용했을 때 채널의 MSE(Mean Square Error)를 나타낸다. 3시그마로 적용했을 때는 기존 채널 길이 밖으로 노이즈 성분을 제거

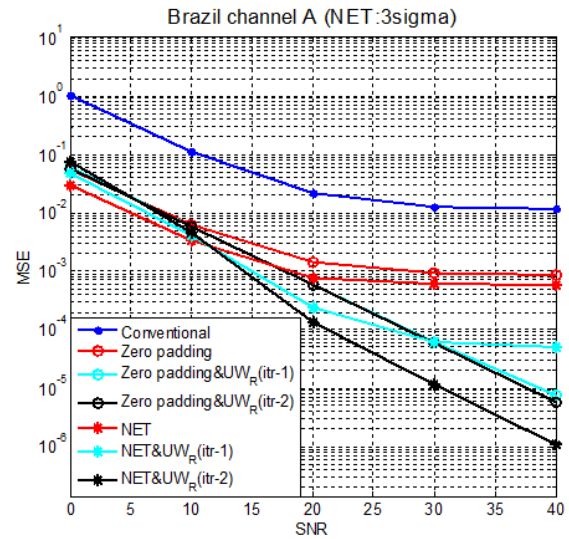


그림 6. Channel MSE 성능(3시그마)
Fig. 6. Channel MSE performance(3시그마)

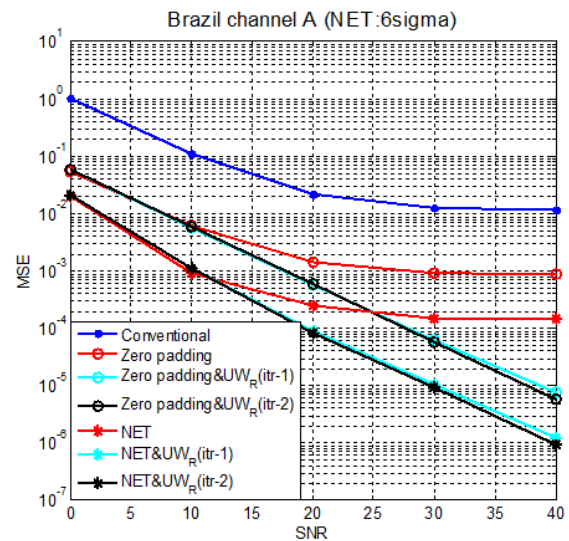


그림 7. Channel MSE 성능(6시그마)
Fig. 7. Channel MSE performance(6시그마)

했을 때보다 채널 길이 안까지 노이즈를 제거함으로써 더 좋은 채널 추정 성능이 나온다. 하지만 완전히 노이즈 성들이 제거되지 않아 잔재하는 노이즈 성분들로 인하여 채널 추정 성능이 떨어진다. NET의 이득을 과도히 올리면 노이즈를 완전히 제거를 할 수 있지만 본래 신호의 샘플에 영향

을 미칠 수 있다. 하지만 UW 복원 과정에서 채널을 보상하고 심벌 결정을 통해 본래 신호 샘플을 복원할 수 있어 NET를 3시그마 보다 6시그마를 적용했을 때 더 좋은 성능을 나타낼 수 있다.

그림 8, 9, 10 그리고 11은 브라질 채널 A, B, C 그리고

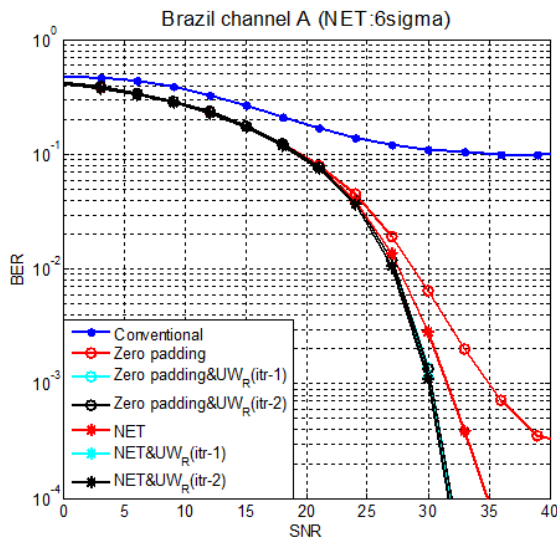


그림 8 . Brazil Channel A BER 성능
Fig. 8. Brazil Channel A BER performance

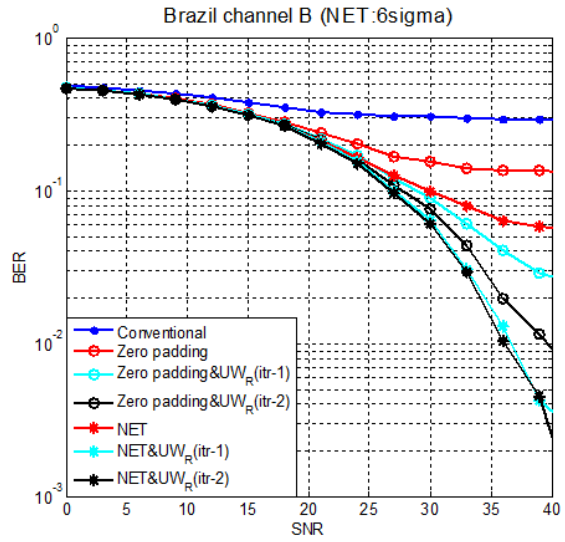


그림 9 . Brazil Channel B BER 성능
Fig. 9. Brazil Channel B BER performance

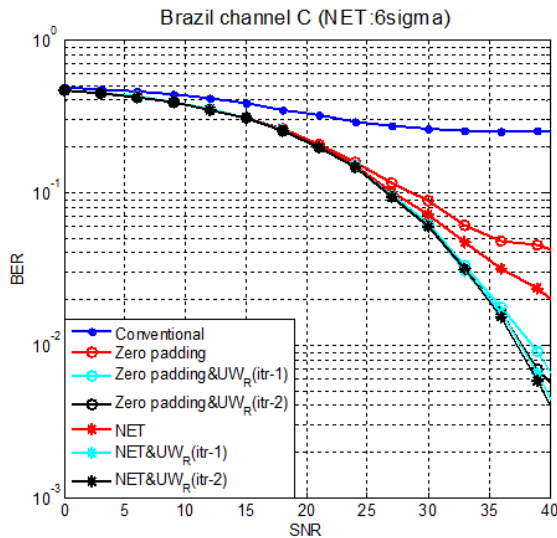


그림 10 . Brazil Channel C BER 성능
Fig. 10. Brazil Channel C BER performance

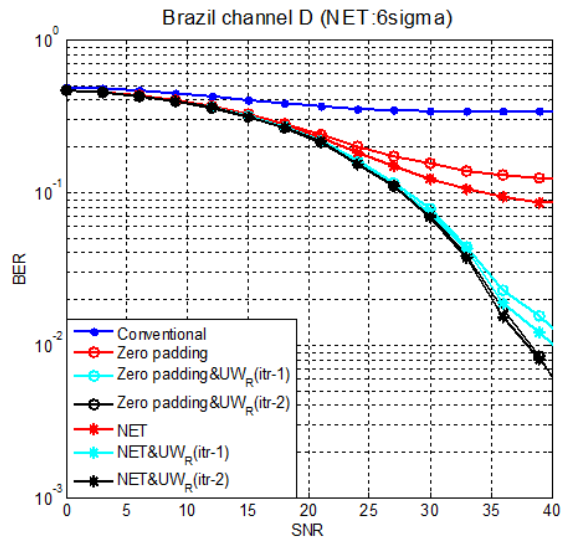


그림 11 . Brazil Channel D BER 성능
Fig. 11. Brazil Channel D BER performance

D에서의 BER(Bit Error Rate) 성능을 나타내며, NET는 6 시그마를 적용하였다. 초기 채널 추정값을 이용하여 기존 채널 추정 방식의 스무딩 적용 방식과 채널길이 안에 있는 노이즈 성분까지 제거하는 NET를 비교해보면 확연히 NET를 적용한 것이 더 좋은 BER 성능을 나타내고 있다. 그리고 반복적으로 UW를 복원하여 채널을 다시 추정할수록 성능은 더 개선된다.

VI. 결론

DTV의 지상파 전송을 위한 SC-FDE에서 UW 기반 채널 추정에서 발생하는 오류 마루를 제거하기 위한 NETE 알고리즘을 제안하였고, 이를 이용한 반복 채널 추정 및 보상을 통하여 UW 기반 SC-FDE 시스템의 성능이 개선되었음을 확인하였다. 제안 알고리즘을 통하여 채널 추정 성능은 MSE 기준으로 7dB 이상의 개선 효과가 있음을 확인하였으며 기존 방식에 남아있던 오류 마루가 제거됨을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안된 알고리즘을 통하여 UW 기반 SC-FDE 시스템의 구현 가능성을 높일 수 있을 것이며 이

를 통하여 지상파 DTV 전송시스템 구축에 기여 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] 박창섭, 이준용, 함상진, 조인준, 이근식, "3DTV 방송용 카메라 기술 개발 동향", 방송공학회지 제15권 제1호, pp. 12~23, 2010년 3월.
- [2] 호요성, 정재일, 강윤석, "3차원 TV와 실감 방송의 기술 동향", 전자공학회지 제36권 제4호, pp. 38~46, 2009년 4월.
- [3] Advanced Television Systems Committee, "ATSC Digital Television Standard," ATSC Doc, A/53, Parts 1~6. Jan. 2007.
- [4] ETSI, "Digital Video Broadcasting(DVB); Framing Structure, Channel Coding and Modulation for a second generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System," (DVB-T2), ETSI EN 302 755, V1.1.1, Sep. 2009.
- [5] D. Falconer, S. Ariyavistakul, A. Benyamin-Seeyar and B. Eidson, "Frequency domain equalization for single-carrier broadband wireless systems," IEEE Trans. Commun., Mag., vol. 40, no. 4, pp. 58~66, Apr. 2002.
- [6] L. Deneire, B. Gyselinckx, and M Engels, "Training sequence versus cyclic prefix - a new look on single carrier communication," IEEE Commun., Lett., vol. 5, no. 7, pp. 292~294, July. 2001.
- [7] Shigang Tang, Ke Gong, Jintao Wang and Yu Zhang, "Iterative Channel Estimation for Unique-Word Based Single-Carrier Block Transmission," IEEE Trans. Circuit and Systems for Commun., June. 2008.

저 자 소 개



신 동 철

- 2009년 2월 : 한밭대학교 전자공학과 학사
- 2009년 9월 ~ 현재 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 석사과정
- 주관심분야 : 차세대 이동통신, OFDM 이동통신



김 재 길

- 2009년 2월 : 충남대학교 전기정보통신공학부 학사
- 2011년 2월 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 석사
- 2011년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 박사과정
- 주관심분야 : 차세대 이동통신, OFDM 이동통신

저 자 소 개



안 재 민

- 1987년 2월 : 서울대학교 전자공학과 학사
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 1994년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
- 1994년 ~ 1999년 : 삼성전자 선임연구원
- 2007년 ~ 2008년 : 정보통신연구진흥원 차세대이동통신사업단장 정보통신부 차세대 이동통신PM
- 1999년 ~ 현재 : 충남대학교 전기정보통신공학부 교수
- 주관심분야 : 차세대 이동통신 물리계층 및 Radio Resource management