

단일반송파 시스템에서 MMSE 주파수 영역 등화기의 성능분석

*김학진 *최진용 *서종수

*연세대학교

*hjkim840@yonsei.ac.kr

MMSE Equalization technique for single carrier broadband system in SFN

Kim, Hak-jin *Choi, Jin-Yong *Seo, Jong-Soo

*Yonsei University

요약

OFDM시스템의 대안으로, SC-FDE시스템은 주파수 선택적 페이딩 환경에서 구현상의 복잡도가 크지 않으면서 낮은 PAPR로 다중 경로 지연에 의한 영향을 완화시키기 위한 기술로 연구되어 왔다. SC-FDE시스템에서 보호 구간으로 PN신호를 훈련 심볼(Training Sequence)로 덧붙여 CP에 비해 빠른 동기화와 채널 추정에 사용될 수 있는 장점이 있으며, 채널 추정을 위해 Correlation과 LMS기법을 동시에 적용함으로써 에러가 최소가 되기까지 수렴 시간을 줄일 수 있다.

본 논문에서는 PN시퀀스를 기반으로 추정된 채널 값으로, ISI를 효과적으로 제거할 수 있는 MMSE-FDE 등화 기법을 제안한다. SFN 채널 환경과 같이 스펙트럼 넓이 강한 다중 경로 페이딩환경에서 ISI를 선 제거 하는 ISI cancellation 기법을 통해 정확한 SNR추정을 할 수 있고, 이를 통해 MMSE-FDE 등화 성능을 향상시킬 수 있다.

I. 서론

최근 모바일 휴대용 기기의 DTV 서비스가 증가 하고 있다. 지상파 DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 나 DVB-H(Digital Video Broadcasting-handheld), DTMB(Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting)는 잘 알려진 모바일 방송 표준 기술이다.

모바일 방송 환경은 다중 경로 페이딩에 의해 수신된 심볼의 크기 및 위상 왜곡을 발생하게 하고, 인접 심볼 간섭(inter Symbol Interference : ISI)에 의해 통신 시스템의 성능 저하를 초래한다.

OFDM은 주파수 선택적 페이딩 환경에서 다중 경로 지연에 의한 영향을 완화시키기 위한 기술로 널리 사용되고 있으나, 높은 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)로 인해 수신 성능이 열화된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 단일 반송파 시스템에서의 주파수 영역 등화 기법에 대한 연구가 진행되어 왔다[1][2]. SC-FDE (Single-Carrier Frequency Domain Equalization) 시스템은 OFDM과 비슷한 복잡도를 가지면서 적은 PAPR로 인해 비선형성 전력 증폭기에 덜 민감하다는 장점을 가진다. 또한 주파수 영역에서 ZF(Zero Forcing), MMSE(Minimum Mean Square Error) 기법으로 간단히 등화 할 수 있다[3].

SC-FDE 시스템의 경우 채널 추정과 빠른 동기화를 위하여 PN 신호를 보호구간(cyclic prefix) 대신에 사용한다. 그러나 다중 경로 지연에 의해 PN 신호는 다음 데이터 구간 신호에 영향을 주고, 이로 인하여 이전 블록 값이 현재 블록에 영향을 주는 IBI(Inter Block Interference)가 발생하게 된다[3]. 그러므로 PN 신호에 기반한 채널 추정 기법을 이용한 FDE를 위해서는 간섭제거기가 필요하다. 추정된 채널 값으로 ZF이나 MMSE 기반의 주파수 영역 등화 기법을 적용할 수 있는데, SFN(Single Frequency Network)과 같은 열악한 채널환경에서 ZF 기법은 채널의 deep-null의 영향으로 MMSE 기법에 비하여 성능열화가 발생한다. 그러나 MMSE 기법을 적용하기 위해서는 SNR 값이 필요로 한다.

따라서 본 논문에서는 MMSE 등화기를 이용한 SC-FDE 시스템에서 PN 신호 기반의 간섭제거기법을 이용한 채널 추정 기법을 제안하였으며, MMSE 등화기를 위해 필요로 하는 SNR 추정 기법에 대해서 제안한다. 또한 이를 기반으로 SFN 채널 환경에서 제안한 기법의 성능을 비교 분석한다.

II. SC-FDE 시스템에서 채널 추정 기법

그림 1은 SC-FDE 시스템의 구성도 나타낸다. 한 프레임은 595 길이의 PN 신호를 보호구간(GI: Guard Interval)으로 사용하는 프

※ 본 연구는 방송통신위원회 및 정보통신산업진흥원의 방송통신정책연구센터 운영지원사업의 연구결과로 수행되었음(nipa-2010-C1091-1001-0005)

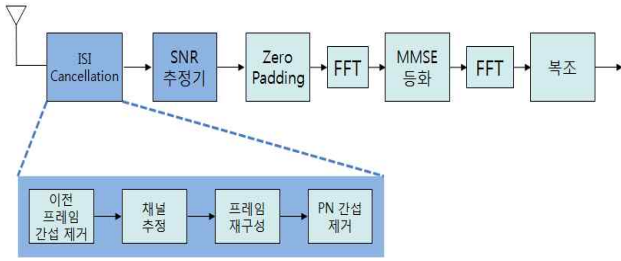


그림 1. SC-FDE 수신단 블록도

레이프 헤더(FH: frame header)와 3780길이의 변조된 심볼인 프레임 바디(FB: frame body)로 구성된다. 다중 경로 페이딩을 통과한 후 수신된 심볼은 간섭 제거를 통해 이전 프레임의 간섭 제거 및 PN

신호에 의해서 FB에 영향을 미치는 간섭을 제거한다. 즉, ISI cancellation은 이전 프레임에서 추정된 채널 값을 이용해, 현재 프레임에 영향을 미치는 이전 프레임의 IBI를 제거한다. IBI가 제거된 FH를 통해 채널을 추정하고, 추정된 채널 값으로 FB에 PN 간섭 신호가 제거된 새로운 프레임으로 재구성한다[4]. 이 프레임을 통해 정확한 SNR을 추정 할 수 있고, 추정된 SNR을 이용해 MMSE-FDE 등화 성능을 향상 시킬 수 있다.

다중경로에 의한 심볼 간 간섭을 효과적으로 제거하기 위해 적응형 채널 추정 기법이 사용되며, 이는 다중 경로 환경에 효과적으로 대응 할 수 있다. 적응형 채널 추정 알고리즘으로 LMS(Least Mean Square)를 적용하며, 이 때 입력신호 $\mathbf{x}(n)$ 와 수신신호 $\mathbf{y}(n)$ 으로부터 구한 에러신호 $\mathbf{e}(n)$ 은 다음과 같다.

$$\mathbf{e}(n) = \mathbf{x}(n) - \hat{\mathbf{h}}^T(n)\mathbf{y}(n) \quad (1)$$

여기서 $\hat{\mathbf{h}}^T(n)$ 은 추정된 채널 값이고, 에러신호 $\mathbf{e}(n)$ 을 최소화 하는 LMS 채널 추정 알고리즘은 다음과 같다.

$$\hat{\mathbf{h}}(n+1) = \hat{\mathbf{h}}(n) + \lambda \mathbf{e}(n) \mathbf{y}(n) \quad (2)$$

기호 '*'는 켈레 복소수를 나타내고, λ 는 스텝크기를 나타낸다. 스텝크기가 작을수록 에러신호 $\mathbf{e}(n)$ 는 최소화 되지만, 에러 신호가 최소가 되기까지 많은 수렴 시간이 필요하다. 초기의 수렴시간을 단축시키기 위하여 PN 신호들을 이용하여 correlation에 기반을 둔 채널 추정 기법을 적용하여 $\hat{\mathbf{h}}^T(n)$ 의 초기 값으로 이용한다[5].

III. ISI cancellation을 통한 SNR 추정 기법

길이가 각각 M, N인 FH와 FB로 구성된 i번째 프레임 $\mathbf{g}_{i,n}$ 은 다음과 같다.

$$\mathbf{g}_{i,n} = \begin{cases} \mathbf{p}_{i,n} & 0 \leq n < M \\ \mathbf{s}_{i,n-M} & M \leq n < M+N \end{cases} \quad (5)$$

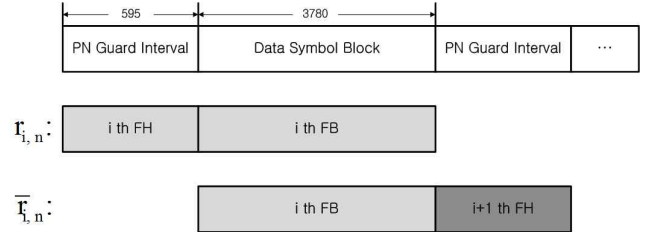


그림 2. 재구성된 프레임 구조

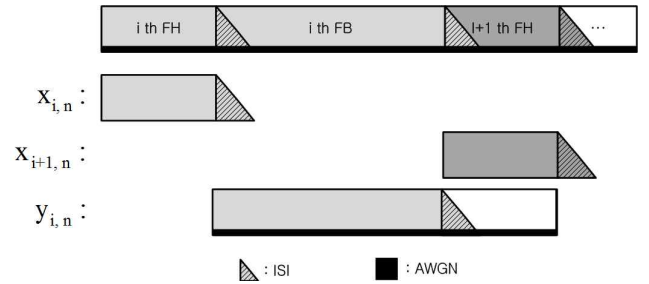


그림 3. PN 간섭 제거

보호구간인 FH는 다중 경로 채널에 의한 IBI를 완화시키기 위해 채널의 최대 지연 시간 보다 길게 설정한다. 다중경로 페이딩 채널을 통과한 전송 신호는 탭 계수가 L인 FIR필터를 통과한 신호가 되고, 채널 상태 정보(CSI: Channel State Information)는 여러 프레임 동안 변하지 않는 준정적(quasi-static) 채널로 모델링 된다. 채널 $h_{i,n}$ 을 통해 전송된 신호 $r_{i,n}$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{i,n} = h_{i,n} * g_{i,n} + z_{i,n} \quad 0 \leq n < M + N + L - 1 \quad (6)$$

여기서 $z_{i,k}$ 은 백색잡음(AWGN)을 나타낸다.

수신된 신호는 이전 프레임 $r_{i-1,n}$ 으로부터 추정된 채널 상태 정보(CSI: Channel State Information)를 이용하여 현재 프레임 $r_{i,n}$ 에 발생한 ISI를 제거해 준다. 또한 간섭이 제거된 현재 프레임의 FH를 이용해 채널을 추정 한 후, 그림 2와 같이 현재 프레임의 FH를 제거하고 다음 프레임의 FH를 결합해 새로운 프레임 $\bar{r}_{i,n}$ 을 구성한다.

프레임 $\bar{r}_{i,n}$ 에 인접한 PN 신호의 간섭 성분은 다음 식과 같다.

$$x_{i,n} = \hat{\mathbf{h}} * \mathbf{p}_{i,n}, \quad 0 \leq n < L + M - 1 \quad (7)$$

$\hat{\mathbf{h}}$ 은 i번째 프레임에서 추정된 채널 값이다. i와 i+1번째 PN 신호에 의해 발생한 간섭 성분인 $\{x_{i,n}\}_{n=M}^{M+L-1}$, $\{x_{i+1,n}\}_{n=0}^{M-1}$ 을 제거하면 그림 3의 $y_{i,n}$ 을 얻을 수 있고, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{i,n} = \begin{cases} \bar{r}_{i,n} - x_{i,n+M}, & 0 \leq n < L-1 \\ \bar{r}_{i,n}, & L \leq n < N \\ \bar{r}_{i,n} - x_{i,n-N}, & N \leq n < N+M-1 \end{cases} \quad (8)$$

PN 간섭 신호가 제거된 $y_{i,n}$ 의 FH 구간에는 백색잡음만이 남아 있다. SNR추정은, 이 구간에서 신호의 파워를 추정함으로써 잡음성분을 정확히 측정 할 수 있다.

추정된 SNR을 바탕으로 MMSE-FDE 등화를 할 수 있다. 등화를 하기 전 백색잡음 구간에 영 삽입(zero padding)을 해 줌으로써 잡음 성분을 보다 등화 성능을 향상 시킬 수 있다.

IV. 모의실험 및 성능 비교 분석

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 ISI cancellation을 통한 SNR 추정기법의 성능 분석을 하였다. 기본적인 SC-FDE시스템은 중국 지상파 방송 표준인 DTTB표준에 기반을 두었고, 스펙트럼 널(null)이 강한 채널 환경에서 보다 강한 성능 향상을 보이기 위해 시뮬레이션 환경은 SFN환경인 브라질 E채널로 정하였다.

그림 4는 Correlation과 LMS 채널 추정 기법을 동시에 적용한 것과, LMS 채널 추정 기법만을 적용하였을 경우의 평균 에러 파워를 나타낸 것이다. 스텝 크기 λ 값을 0.0006으로 작게 설정함으로써 에러가 최소가 되기까지의 수렴시간이 비교적 오래 걸리도록 설정하였다. LMS 채널 추정기법만 적용했을 경우는 수렴하기 까지 약 270프레임 이상의 시간이 소요되는 반면에, 10프레임 동안 Correlation 기법으로 추정된 채널 값을 LMS 채널 추정의 초기 값으로 설정했을 경우 소요시간이 약 90프레임 정도로 수렴 시간이 단축됨을 볼 수 있다.

그림 5는 제안하는 알고리즘을 적용한 SC-FDE시스템의 성능으로 변조방식으로 QPSK를 적용한 시스템의 성능을 보여주고 있다. ISI cancellation을 적용하지 않을 경우에는 채널의 스펙트럼 널 값에 의해 손상된 심볼 정보를 보상할 수 없다. 그러나 ISI cancellation을 통해 간섭 성분을 선 제거 한 후 SNR 추정을 통해 MMSE-FDE 등화를 하면, ISI cancellation을 적용하지 않을 경우 발생한 error flow성분을 효과적으로 다룰 수 있음을 확인하였다. 또한 ZF-FDE 등화기법의 경우 SFN 채널 환경과 같이 스펙트럼 널이 심한 경우에는 잡음 증가(noise enhancement)로 인한 성능 열화가 발생 하므로, 이런 채널 환경에서는 잡음을 고려한 MMSE기법이 유리하다.

V. 결론

본 논문은 ISI cancellation을 통한 SNR 추정기법을 제안 하였고, 중국 지상파 방송시스템인 DTTB시스템의 단일 반송파 시스템에 적용하여 그 성능을 검증 하였다. 제안한 ISI cancellation을 통한 SNR 추정 기법으로 MMSE-FDE 등화 성능이 향상됨을 확인하였다. 또한 SFN 채널 환경과 같이 스펙트럼 널이 심한 환경에서는, 보다 정확한 잡음 성분 측정을 통해 MMSE-FDE 등화 성능을 향

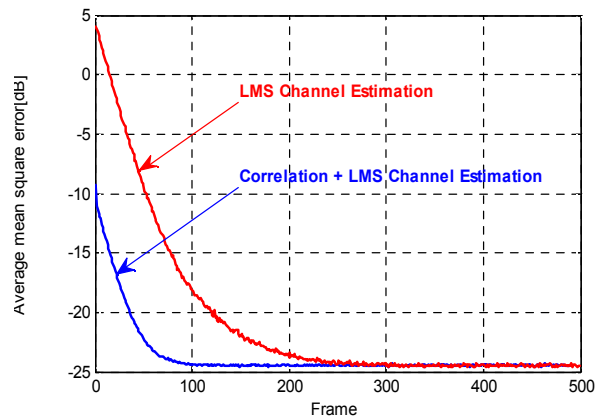


그림 4. 채널 추정 기법에 따른 평균 에러 파워

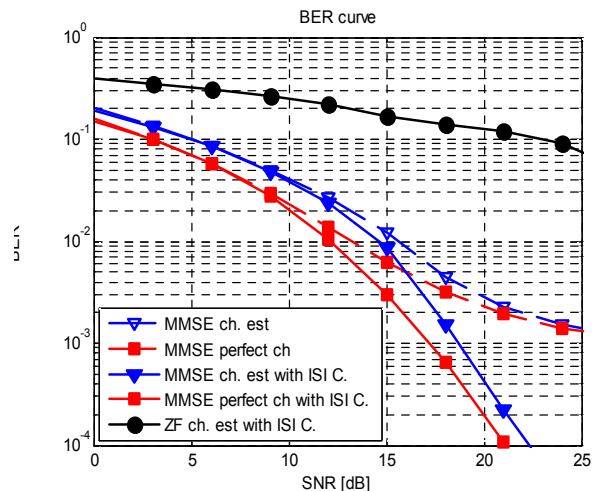


그림 5. 채널 추정 및 ISI cancellation 적용에 따른 BER 성능

상 시킬 수 있음을 확인하였다. 따라서 제안하는 ISI cancellation을 통한 SNR 추정 기법을 통해, 단일 반송파를 사용하는 지상파 방송 시스템에서 더 나은 성능 이득을 얻을 것으로 기대된다.

[1] Z. Wang and G. B. Giannakis, "Wireless Multicarrier Communications- where Fourier Meets Shannon," IEEE SignalProc Magazine, vol. 17, no.3, May2000.
 [2] H. Witschnig, T. Mayer, A. Springer, A. Koppler, L. Maurer, M. Huemer, R. Weigel, "A different look on cyclic prefix for SC/FDE", PIMRC,Sept.2002.
 [3] D. Falconer, S. L. Ariyavisitakul, A. Benyamin-Seeyar, and B. Eidson, "Frequency Domain Equalization for Single Carrier Broadband Wireless Systems," IEEE Commun. Magazine, April 2002.
 [4] Fanf Yang, Jintao Wang, Jun Wang, Jian Song, and Zhixing Yang, "Novel Channel Estimation Method Based on PN Sequence Reconstruction for Chinese DTTB System," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 54, No. 4, NOVEMBER 2008

[5] Bowei Song, Lin Gui, Yunfeng Guan and Wenjun Zhang,
"On Channel Estimation and Equalization in TDS-OFDM based
Terrestrial HDTV Broadcasting System," IEEE Transactions on
Consumer Electronics, vol. 51, No.3 , AUGUST 2005.