

시간영역 파일럿 분할을 통한 지상파 DMB 중계기에서의 궤환신호 제거 기법

이지봉*, 손경식*, 박성익**, 이용태**, 김형남*

*부산대학교 전자전기공학과, **한국전자통신연구원 지상파전송기술연구팀

Feedback Cancellation Based on Partitioned Time-Domain Pilots for T-DMB Repeaters

Ji-Bong Lee*, Kyung Sik Son*, Sung Ik Park**, Yong-Tae Lee**, Hyoung-Nam Kim*

*Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Pusan National University,

**Broadcasting System Research Group, ETRI

*hnkim@pusan.ac.kr

Abstract: 지상파 DMB 서비스 확산에 대응하기 위해서는 중계기 설치를 통한 서비스 영역의 확대가 요구되나, 단순 RF형 동일 채널 중계기의 경우 송·수신 신호간의 간섭으로 인해 중계기의 출력이 제한되는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 중계기에서 수신 신호를 복조하여 궤환 채널을 추정하고 궤환 신호를 제거하는 방법이 제시되었으나, 파일럿 간격이 넓은 DMB 시스템의 특징으로 인해 궤환 채널 추정 속도가 느리다는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 본 논문에서는 파일럿으로 사용되는 블록 타입의 Phase Reference Symbol (PRS) 신호를 역 푸리에 변환하여 시간영역 파일럿 신호를 구하고, 이를 여러 개의 서브 그룹으로 분할하여 궤환 채널 추정을 위한 적응 횟수를 증가시킴으로써 추정 속도를 개선하여 궁극적으로 궤환 신호 제거 성능을 개선한다. 모의 실험을 통해 제안된 방법이 기존 방법에 비해 궤환 채널 추정 속도와 Residual Echo Power (REP) 측면에서 우수함을 보인다.

Keywords: T-DMB, DAB, OCR, repeater, feedback cancellation.

I. 서론

최근 지상파 Digital Multimedia Broadcasting (DMB) 서비스 지역이 확대됨에 따라, 서비스 품질유지를 위한 서비스 영역의 확장이 요구되고 있다. 이러한 요구에 대처하기 위해 고려될 수 있는 방법은 크게 두 가지로 나누어볼 수 있는데, 첫 번째는 주 송신기에서 전송 신호의 파워를 증가시키는 방법이고, 두 번째는 보조국이나 중계기 등을 설치하는 방법이다. 송신전력을 증가시키는 방법의 경우, 여타 기기와의 간섭을 피하기 위해 그 출력이 법적으로 엄격히 제한되므로 [1], 중계장치를 통한 서비스 영역 확장이 현실적인 방법으로 고려되고 있다. 그러나 중계기 수가 증가할 경우 중

계기 간의 복잡한 주파수 배분문제와 이에 따른 경제적 비용 증가 문제가 발생한다.

이에 반해 동일한 송·수신 주파수를 사용하는 동일 채널 중계기 (on-channel repeater, OCR)는 상이한 송·수신 주파수를 사용하는 중계기에 비해 전송 파워 조절과 주파수 배분 측면에서 장점을 가지고 있다 [2]. 그러나 OCR을 사용하는 경우에는 안테나 커플링으로 인해 송신 신호가 중계기로 궤환되어 송신 파워를 증가 시키면 시스템이 발진할 가능성이 있다. 이러한 문제는 실제 시스템 적용을 위해서는 반드시 해결되어야 할 문제이며, 이와 관련된 다양한 연구가 수행되고 있다 [2]-[6].

궤환 신호 제거기는 궤환 채널 추정에 사용되는 기준 신호에 따라 크게 intermediate-frequency (IF) 형과 복조형으로 나누어지며, IF 형은 중계기의 출력률, 복조형은 주 송신신호에 포함되어 있는 파일럿 신호를 채널 추정에 이용한다 [4],[5]. IF 형은 수신신호의 복조 과정이 필요없어 구조가 간단하다는 장점이 있으나, 기준신호가 오류를 포함하고 있어 궤환 신호 제거 성능에 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 IF 형에 비해 상대적으로 구조가 복잡하나, REP 측면에서 궤환 신호 제거 성능이 우수한 복조형 궤환 신호 제거기만을 고려한다. 그러나 기존의 복조형 궤환 신호 제거기를 지상파 DMB 중계기에 바로 적용할 경우 지상파 DMB 시스템의 넓은 파일럿 간격으로 인해 궤환 신호 제거기의 수렴 속도가 느린 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 시간영역으로 변환한 PRS 신호를 분할하여 궤환 신호 제거기의 적응 필터 갱신 횟수를 증가시킴으로써 궤환 신호 제거기의 성능을 개선할 수 있는 방법을 제안한다.

II. 지상파 DMB 시스템

EUREKA-147 DAB 시스템에 기반한 지상파 DMB 시스템은 전송 방식과 변조 방식으로 COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 과 DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) 을 채택하고 있다. 오디오뿐만 아니라 멀티미디어 서비

본 논문은 정보통신부의 출연금 등으로 수행하고 있는 한국전자통신연구원의 정보통신연구개발사업 위탁연구과제 연구결과입니다.

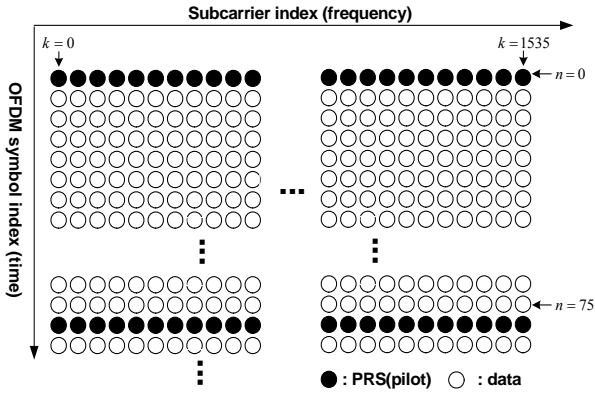


그림 1. 지상파 DMB 시스템의 파일럿 구조

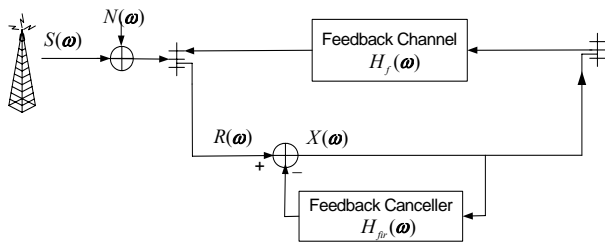


그림 2. 지상파 DMB 중계기의 기본 구조

스를 위해 요구되는 비트 오류율을 만족시키기 위해 부가적으로 convolutional interleaver와 Reed-Solomon coding을 채택하고 있다 [8]. 복조형 왜곡 신호 제거기의 성능을 결정하는 중요한 요소인 지상파 DMB 시스템의 파일럿 구조는 그림 1 과 같다. 그림 1 에서 보듯이 사용 가능한 파일럿은 매 76 OFDM 심볼마다 차등 변·복조를 위해 전송되는 블록 타입의 PRS가 유일하다. 지상파 DMB 중계기에서 왜곡 채널의 영향을 줄이기 위해 복조형 왜곡 신호 제거기를 적용할 경우, 넓은 파일럿 신호 간격으로 인해 수렴 속도 측면에서 문제가 발생한다. 특히 왜곡 채널이 빠르게 변화하는 상황에서 느린 수렴 속도는 중계기의 왜곡 신호 제거 성능에 심각한 영향을 미치므로, 이를 해결하기 위한 방법이 요구된다.

III. 지상파 DMB 를 위한 왜곡 신호 제거기

1. 왜곡 신호 제거기의 기본 원리 [5],[6]

지상파 DMB 중계기의 기본 구조는 그림 2 에 도시되어있으며, $S(\omega)$, $N(\omega)$ 와 $H_f(\omega)$ 는 각각 주 송신기의 송신 신호, 주 송신기와 중계기 사이에 더해지는 백색 잡음과 왜곡 채널의 주파수 응답을 의미한다. 여기서 중계기의 입력 신호 $R(\omega)$ 와 중계기의 출력 신호 $X(\omega)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R(\omega) = S(\omega) + N(\omega) + X(\omega) \cdot H_f(\omega) \quad (1)$$

$$X(\omega) = R(\omega) - X(\omega) \cdot W(\omega) \quad (2)$$

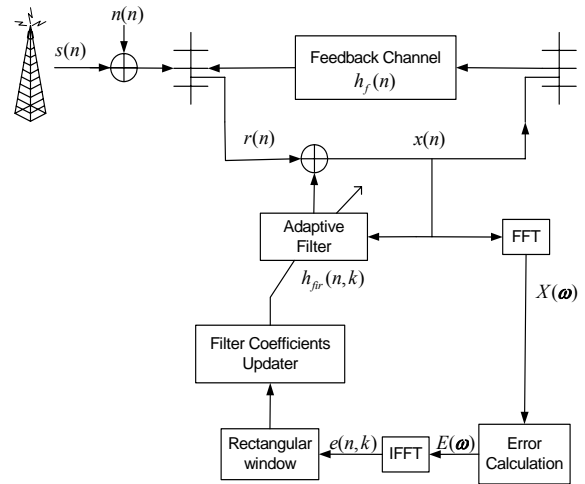


그림 3. 복조형 왜곡 신호 제거기가 포함된 지상파 DMB 중계기의 구조

식 (1)과 식 (2)를 이용하여 $S(\omega)$ 와 $X(\omega)$ 의 관계 식을 구하면 다음과 같다.

$$S(\omega) = X(\omega) + N(\omega) + S(\omega) \cdot H_f(\omega) - S(\omega) \cdot H_{fc}(\omega) \quad (3)$$

백색 잡음은 주 송신 신호에 비해 매우 작다고 가정하고, 왜곡 채널을 추정하기 위해 최소화 하고자 하는 에러를 $E(\omega) = H_f(\omega) - H_{fc}(\omega)$ 로 정의한 후 식 (3)에 대입하여 정리하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$E(\omega) = 1 - \frac{S(\omega)}{X(\omega)} \left(1 + \frac{N(\omega)}{S(\omega)} \right) \cong 1 - \frac{S(\omega)}{X(\omega)} \quad (4)$$

여기서 식 (4)는 현재 왜곡 신호 제거 필터와 실제 피드백 채널간의 오차를 의미한다. 왜곡 신호 제거기는 이 오차를 최소화 함으로써 정확한 왜곡 채널을 추정하고, 이를 이용해 왜곡 신호를 제거한다.

2. 적응 알고리즘

III-1 절에서 구해진 $E(\omega)$ 를 최소화하기 위해, 본 논문에서는 least-mean-square (LMS) 알고리즘을 사용하며, 그 구조는 그림 3과 같다. 그림 3에서 보듯이 먼저 역 푸리에 변환을 통해 시간 영역의 왜곡 채널 추정 오차 $e(n,k)$ 를 구해낸다. 여기서 n 과 k 는 각각 OFDM 심볼의 인덱스와 적응 필터 계수의 인덱스를 의미한다. 적응 필터 계수를 갱신하기 위해 구해진 $e(n,k)$ 에 사각 윈도우 함수 $rect(k)$ 를 곱하고, 다음 식을 이용하여 순차적으로 필터 계수를 갱신한다 [5].

$$h_{fc}(n,k) = h_{fc}(n-1,k) + \mu \cdot rect(k) \cdot e(n,k) \quad (5)$$

여기서 스텝사이즈 μ 는 1보다 작은 값이며, 사각 윈도우 함수는 다음과 같다.

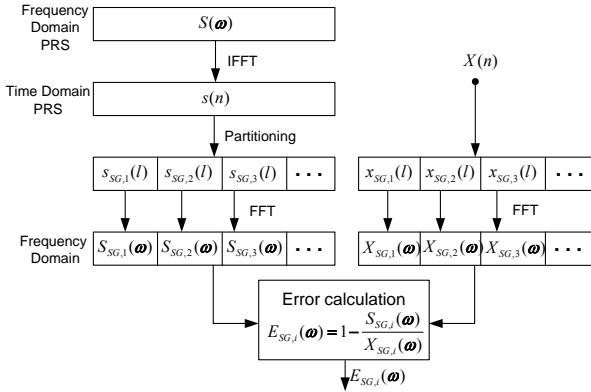


그림 4. 시간 영역 파일럿 (PRS) 분할 기법의 개념도

$$rect(k) = \begin{cases} 1 & (1 \leq k \leq M) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (6)$$

여기서 M 은 적응 필터의 탭 수를 나타낸다. 식 (4)를 이용해 적응 필터와 케환 채널과의 오차를 구하고, 이를 식 (5)에 적용하여 적응 필터의 계수를 갱신하는 일련의 과정을 수행하기 위해서는 주 송신기와 중계기 사이에 사전에 약속된 파일럿 심볼이 필요하므로, 적응 필터 계수의 갱신은 파일럿 심볼구간에서만 이루어지게 된다. 그러나 II 장에서 살펴본 바와 같이 지상과 DMB 시스템에서는 사용 가능한 파일럿은 PRS 뿐이므로, 적응 필터 계수의 갱신이 한 프레임에 해당하는 매 76 OFDM 심볼마다 이루어질 경우 프레임 내에서 변화하는 케환 채널을 정확하게 추정할 수 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다음절에서는 시간 영역 파일럿 분할 기법을 이용해 채널 추정속도를 향상시킬 수 있는 방법을 제시한다.

IV. 시간영역 파일럿 분할 기법

지상과 DMB 중계기에서 케환 신호 제거기의 성능 향상을 위해서는 적응 필터의 수렴 속도를 향상시켜 케환 채널을 빠르게 추적할 수 있는 방법이 요구된다. 이를 위해 본 논문에서는 시간영역 PRS 신호를 분할하여 푸리에 변환함으로써 적응 필터 계수의 갱신 횟수를 증가시키는 방법을 제안한다.

시간영역 파일럿 분할을 통한 적응 필터의 수렴 속도 향상 방법의 기본 개념은 그림 4에 도시되어 있다. 그림 4에서 $S_{SG,i}(\omega)$ 와 $X_{SG,i}(\omega)$ 는 각 서브 그룹에 해당하는 주파수 스펙트럼과 $S_{SG,i}(\omega)$ 에 대응되는 재전송 신호의 주파수 스펙트럼을 의미하며, 여기서 i 는 분할된 서브 그룹의 인덱스를 나타낸다. 그림 4에서 보듯이 중계기에서는 알고 있는 신호인 PRS를 역 푸리에 변환하여 시간영역 신호를 얻은 뒤 이를 몇 개의 서브 그룹으로 나누고, 각각을 푸리에 변환함으로써 각 서브 그룹의 주파수 스펙트럼 $S_{SG,i}(\omega)$ 를 얻는다. PRS 구간에서 각 서브 그룹의 신호 $X_{SG,i}(\omega)$ 가 수신되면 이에 해당하는 분할된 파일럿 $S_{SG,i}(\omega)$ 와의 연산을 통해 케환 채널 추정 오차를 구하고, 다시 적응 필터의 계수를 갱신하

표 1. 지상과 DMB 시스템 파라미터.

Parameters	Specifications
FFT size	2048
Number of transmitted carriers	1536
Guard interval	504
Sample time	1/2048000 seconds
Nominal bandwidth	1.536 MHz
Modulation scheme	$\pi/4$ -DQPSK
Transmission scheme	COFDM

표 2. 케환 신호 제거기 파라미터.

Parameters	Specifications
Feedback gain	0 dB
Feedback delay time	0.5 μ s (1 tap)
Additive noise in main channel : $N(\omega)$	40 dB
Adaptive filter length	10 μ s (21 taps)
Coefficient update step size : μ	0.1

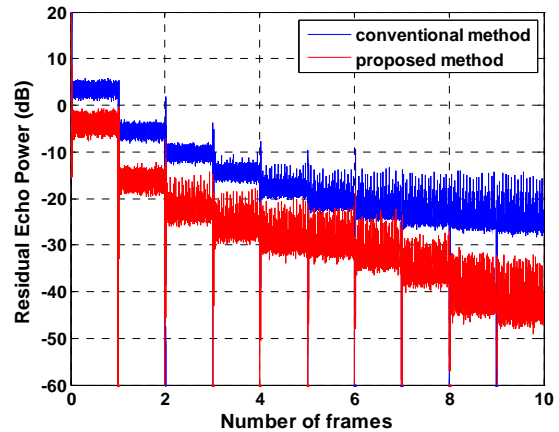


그림 5. 기존 방법과 시간 영역 파일럿 분할 기법의 성능 비교

는 과정을 반복한다. 이렇게 적응 필터를 업데이트 할 경우 분할된 서브 그룹 수만큼 적응 필터 계수를 갱신할 수 있으므로, 매 프레임마다 PRS를 이용해 필터 계수를 갱신하던 방법보다 수렴속도를 크게 향상시킬 수 있다.

V. 시뮬레이션 결과

지상과 DMB 중계기에서 제안하는 시간영역 파일럿 분할 기법을 이용한 케환 신호 제거기의 성능 평가를 위해 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험에 사용된 지상과 DMB 시스템 파라미터와 케환 신호 제거기 관련 파라미터는 각각 표 1 [7] 과 2 에 나타내었다. 제안된 방법의 성능을 검증하기 위해 동기는 완벽하다고 가정하였으며, 케환 신호 제거기의 성능 척도인 REP는 다음과 같이 정의된다.

$$REP = 10 \log_{10} \left(\frac{|x(n) - s(n)|^2}{E[s(n)]} \right) \quad (7)$$

여기서 $s(n)$ 과 $x(n)$ 은 각각 주 전송신호와 중계기 출력 신호를 의미한다.

그림 5 는 한 프레임에 해당하는 매 76 OFDM 심볼마다 PRS를 이용하여 적응 필터를 한 번 갱신하는 방법과 제안된 방법을 이용해 10 프레임에 대하여 모의 실험을 수행한 결과를 도시한 것이다. 여기서 제안된 방법을 적용하기 위해 사용된 서브 그룹의 크기는 1024 이다. 그림에서 보듯이 제안된 방법이 기존의 방법을 적용한 경우보다 낮은 REP를 가지는데, 이것은 채널 추정 갱신 간격의 차이에 기인한다. 즉, 두 방법 모두 프레임의 첫 번째 OFDM 심볼인 PRS에서만 적응 필터 계수의 갱신이 가능하나, 제안하는 방법이 PRS 구간 동안 적응 필터 계수의 갱신 횟수를 증가시켜 적응 필터의 수렴 속도가 향상되고 이로 인해 REP가 낮아지게 된다. 낮은 REP는 중계기의 재전송신호의 파워와 밀접한 관계가 있으므로, 제안된 방법은 지상과 DMB 중계기의 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 보인다.

VI. 결론

본 논문에서는 지상과 DMB 중계기에서 궤환 신호 제거기의 성능을 개선하기 위해 시간영역 과일릿 분할 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 PRS 구간에서 적응 필터 계수의 갱신 횟수를 증가시킴으로써, REP 측면에서 수렴 속도를 향상시킬 수 있다. 지상과 DMB 중계기에서 궤환 신호 제거 성능 향상은 재전송 신호의 파워의 증가를 의미하며, 이것은 중계기의 커버리지 확장에 기여할 수 있음을 의미한다. 따라서 제안된 방법을 지상과 DMB 중계기에 적용할 경우 서비스 확대뿐만 아니라 안정적인 서비스 환경 구축에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] “Part 27.60 TV/DTV interference protection criteria,” FCC regulations, 2006, p.309.
- [2] Y.-T. Lee, S. I. Park, H. M. Eum, J. H. Seo and H. M. Kim, “A Design of Equalization Digital On-Channel Repeater for Single Frequency Network ATSC System,” *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 53, no. 1, pp. 23-37, March, 2007.
- [3] R. W. Zborowski, “Application of an channel boosters to fill gaps in DTV broadcast coverage,” *in NAB Broadcast Engineering Conf. Proc.*, Las Vegas, Nevada, USA, April 10-13, 2000.
- [4] A. Wiewidrka and P.N. Moss, “Digital on-channel repeater for DAB,” BBC R&D White Paper WHP 120, Sept. 2005.

[5] Hiroyuki HAMAZUMI, Koichiro IMAMURA, Naohiko IAI, Kazuhiko SHIBUYA and Makoto SASAKI, “A Study of a Loop Interference Canceller for the Relay Stations in an SFN for Digital Terrestrial Broadcasting,” *Proceeding of the IEEE GLOBECOM 2000 Conference*, San Francisco, CA, USA, Dec 2000, Vol. 1, pp. 167-171.

[6] Koichiro Imamura, “Verification of Performance of Coupling Loop Interference Canceller for On-Air Relay in an SFN - On-Channel Repeater for ISDB-T,” *56th Annual IEEE Broadcast Symposium*, Washington D.C., USA, Sept. 2006.

[7] “ETSI EN 300 401, Radio broadcast systems: Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers,” European Telecommunications Standards Institute, May 2001.

[8] Gwangsoon Lee, Sammo Cho, Kyu-Tae Yang, Young Kwon Hanhm, and Soo In Lee, “Development of terrestrial DMB transmission system based on Eureka-147 DAB system,” *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 51, no. 1, pp. 63-68, Feb.