

지상파 DMB 디지털 동일 채널 중계기에서의 간섭 제거 기법

*홍진규 *최진용 *허민성 **서영우 *서종수

*연세대학교 전기전자공학과

**한국방송공사 방송기술연구소

e-mail : jkinu@yonsei.ac.kr

An Interference Cancellation Technique for Digital On-Channel Repeaters in T-DMB System

*Jin-kyu Hong, *Jin-Yong Choi, *Min-sung Hur, **Young-Woo Suh and *Jong-Soo Seo

* Department of Electrical and Electronics Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea

** Broadcasting Technical Research Institute, Korea Broadcasting System, Seoul, Korea

요약

지상파 DMB 동일 채널 중계기에서는 송신 안테나로부터 수신 안테나로 재입력되는 궤환 신호가 존재한다. 이 궤환 신호는 적절히 제거되지 않을 경우 수신 신호에 간섭으로 작용하게 되어 중계기 시스템의 안정성이 크게 떨어지게 된다. 과거에 진행된 연구에서는 궤환 채널을 추정하여 간섭을 제거시키는 궤환 신호 제거기(feedback canceller)를 사용하여 이와 같은 문제를 해결하였다. 하지만 기존의 추정 알고리즘은 간단한 구현에 비해 수렴 성능과 속도 면에서 만족할만한 성능을 얻을 수 없었으며, 신호 간 상관도 제거를 위해 충분한 시간 지연을 해야 하는 단점이 있다. 본 논문은 궤환 채널 추정에 적합한 PNLMS (Proportionate Normalized Least Mean Squares) 적응형 알고리즘을 적용해 새로운 궤환 신호 제거 기법을 제안하였으며, 전산 모의 실험을 통해 이와 같은 문제를 효과적으로 해결할 수 있음을 보여준다.

1. 서론

지상파 DMB (Digital Multimedia Broadcasting)는 고정 및 이동수신 환경에서 CD급의 고품질 음악 방송 및 고품질 영상 서비스를 제공하며 지상파 DTW와 보완적 관계를 구축하는 언제 어디서나 접속 가능한 차세대 방송 서비스이다. 현재 국내 표준으로 채택하고 있는 지상파 DMB 시스템은 Eureka-147 DAB system을 기반으로 Reed-Solomon Shortened Code와 Convolutional Interleaver를 사용한 MPEG-4 Video 전송부분을 추가해 이동 중에도 고품질의 멀티미디어 서비스를 제공한다[1].

2007년 8월 지상파 DMB의 전국방송을 계기로 국내 방송사들은 DMB 서비스 확충과 난시청 해소를 위한 네트워크 구축에 본격적으로 나서고 있다. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)의 다중 반송과 전송 방식을 사용하는 DMB 방송 네트워크의 특징은 단일 주파수 망 (SFN: Single Frequency Network)을 구현하여 서비스를 제

공할 수 있다는 점이다. 그러나 기존 TV 송신소를 활용해야 하는 등 송출 사이트의 선정에 융통성이 많지 않아서 많은 전파 음영지역이 보고되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 DMB 동일 채널 중계기(OCR: On Channel Repeater) 시스템을 사용한다[3], [4]. DMB 동일 채널 중계기는 수신신호를 증폭해서 그대로 음영지역에 재전송함으로써 전파 음영지역을 해소할 수 있는 기술이다. 그러나 동일 채널 중계기는 약한 입력 신호를 증폭시켜 큰 출력으로 송출하기 때문에, 큰 출력 신호가 궤환되어 입력으로 들어올 경우 시스템 불안정성을 야기하는 문제점을 안고 있다.

이 문제를 해결하기 위해 FIR 필터와 궤환 채널 추정기를 포함하는 궤환 신호 제거기가 사용된다. 일반적으로 궤환 신호 제거기는 출력 신호를 기준으로 생성된 궤환 신호를 중계기의 입력에서 제거하고 그 에러 값이 최소화되도록 동작한다. 이 때 적응형 알고리즘이 이상적으로 동작하기 위해서는 기준 신호로 활용되는 송출 신호와 에러와의 상관도가 없어야 하는데, 중계기에서는 송출 신호가 곧 에러이기 때문에 적응형 알고리즘을 바로 적용할 수 없다.

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2008-(C1090-0801-0011))

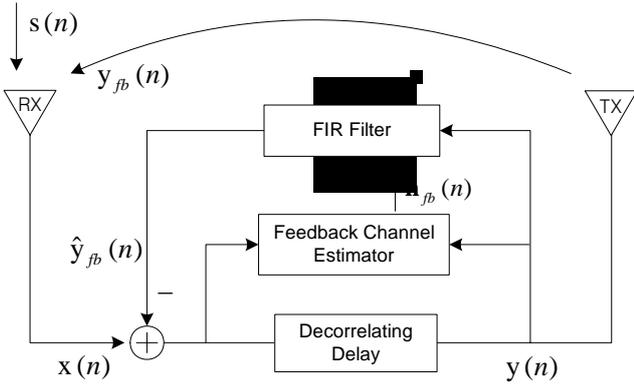


그림 1. 동일 채널 중계기의 궤환 신호 제거기

본 논문에서는 송출 신호의 지연 없이 송출 신호와 에러와의 상관도를 낮추면서 효과적으로 궤환 채널을 추정하여 궤환 신호 제거기를 동작시킬 수 있는 새로운 방법을 제시한다.

2. 동일 채널 중계기에서의 궤환 신호 제거 기법

그림 1은 동일 채널 중계기에서의 궤환 신호 제거기와 관련된 시스템 구성도를 나타낸다. 궤환 채널을 추정하기 위해 적응형 FIR(Finite Impulse Response) 필터가 송수신 안테나 사이에 적용되었다. 그리고 FIR 필터 탭 업데이트를 효과적으로 하기 위해서 LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 적용하였다[3]. 궤환 신호 제거기는 입력 $x(n)$ 으로부터 추정 궤환 신호 $\hat{y}_{fb}(n)$ 를 제거한 에러 신호 $e(n)$ 을 최소화한다. 에러신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 $\mathbf{y}(n)$ 은 $\mathbf{y}(n) = [y(n), y(n-1), \dots, y(n-K+1)]$, FIR 필터 탭 벡터는 $\hat{\mathbf{h}}_{fb}(n) = [\hat{h}_0(n), \hat{h}_1(n), \dots, \hat{h}_{K-1}(n)]$ 이다. 입력 신호 $x(n)$ 에서 궤환 채널을 통과한 간섭 신호 $y_{fb}(n)$ 가 완벽히 제거된다면 에러 신호 $e(n)$ 은 최소화된다. 이를 위해서는 필터 탭인 $\hat{\mathbf{h}}_{fb}$ 가 정확히 추정되어야 한다. 필터 탭 $\hat{\mathbf{h}}_{fb}$ 을 구하기 위한 비용 함수(cost function)는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$J = E [|\epsilon(n)|^2] = E [|x(n) - \hat{\mathbf{h}}_{fb}^T \mathbf{y}(n)|^2] \quad (2)$$

식 (2)를 $\hat{\mathbf{h}}_{fb}$ 에 대하여 미분하면 식 (3)과 같고 식 (4)와 같이 탭 업데이트가 이루어진다.

$$\frac{dE|\epsilon(n)|^2}{d\hat{\mathbf{h}}_{fb}} = -2\mathbf{y}E[x(n) - \hat{\mathbf{h}}_{fb}^T \mathbf{y}(n)]^* = -E[2\mathbf{y}\epsilon(n)^*] \quad (3)$$

$$\hat{\mathbf{h}}_{fb}(n) = \hat{\mathbf{h}}_{fb}(n-1) + \mu\epsilon(n)\mathbf{y} \quad (4)$$

여기서, μ 는 스텝 크기를 나타낸다. FIR 필터의 $\hat{\mathbf{h}}_{fb}$ 는 자기 상관도 영향을 제거하기에 충분한 길이의 지연 시간만 보장된다면 상관도 측정에 의해 추정될 수 있다. 기존의 동일 채널 중계기에서는 궤환 신호 추정기의 입력신호에 식 (5)와 같이 decorrelating delay를 이용한다. 송출 신호와 에러 사이의 상관도를 낮추기 위하여 Δ 만큼의 충분한 지연을 가진다.

$$\mathbf{y}(n-\Delta) = \mathbf{e}(n) \quad (5)$$

따라서 기존의 동일 채널 중계기는 decorrelating delay로 인하여 송출 신호에 긴 시간 지연이 생기는 단점을 가진다. 중계기의 입력 신호와 송출 신호 사이의 시간 지연은 무선망 내에 있는 중계기의 출력 신호와 주송신기의 신호를 모두 수신하는 수신기의 동기 및 등화에 부담으로 작용한다. 따라서 최적의 궤환 채널 추정 성능을 얻는 동시에 긴 시간 지연 없이 신호 간 상관도를 낮출 수 있는 궤환 신호 제거 기법이 필요하다.

3. 제안 궤환 신호 제거 기법

동일 채널 중계기의 출력 신호에 의하여 발생하는 궤환 신호는 성긴(sparse) 특성을 가지는 궤환 채널을 통과하여 재입력된다. 제안하는 궤환 신호 제거 기법은 PNLMS (Proportionate Normalized Least Mean Squares) 알고리즘[5]을 적용하여 에너지가 낮은 탭들의 갱신을 억제시킴으로써, 성긴 특성을 갖는 궤환 채널을 더 효과적으로 추정할 수 있다. FIR 필터 탭에 대한 업데이트와 그 에러 값 $e(n)$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\mathbf{h}}_{fb}^{(n+1)} = \hat{\mathbf{h}}_{fb}^{(n)} + \frac{\tilde{\mu}}{\mathbf{y}^T(n) \mathbf{G}(n) \mathbf{y}(n)} \mathbf{G}(n) \mathbf{y}(n) e(n) \quad (6)$$

$$e(n) = x(n) - \hat{y}_{fb}(n) = x(n) - \hat{\mathbf{h}}_{fb}^T \mathbf{y}(n) \quad (7)$$

여기서 $\hat{\mathbf{h}}_{fb}(n)$ 은 길이가 P 인 FIR 필터의 탭 벡터이고 $\mathbf{y}(n)$ 은 송출 신호 벡터를 나타낸다. 그리고 $x(n)$ 은 궤환 신호 제거기의 입력 신호, $\tilde{\mu}$ 는 스텝 크기, $e(n)$ 은 궤환 신호 제거기의 입력 신호와 추정 궤환 신호의 차이인 에러 신호를 나타낸다.

식 (6)에서 PNLMS 알고리즘의 탭 업데이트에 적용되는 $\mathbf{G}(n)$ 은 $g_0(n), g_1(n), \dots, g_{P-1}(n)$ 로 이루어진 대각행렬로써 각 값은 gain distributor $\gamma_p(n)$ 의 정규화된 값을 나타낸다.

$$g_p(n) = \frac{\gamma_p(n)}{\frac{1}{P} \sum_{p=0}^{P-1} \gamma_p(n)}, p = 0, 1, \dots, P-1 \quad (8)$$

식 (6)의 gain distributors $\gamma_p(n)$ 은 다음의 식들을 이용하여 계산된다.

$$\gamma_p(n) = \max\{\rho l'_\infty(n), |\widehat{h}_p(n)|\}, p = 0, 1, \dots, P-1 \quad (9)$$

$$l'_\infty(n) = \max\{\delta, l_\infty(n)\} \quad (10)$$

$$l_\infty(n) = \max\{|\widehat{h}_0(n)|, \dots, |\widehat{h}_{p-1}(n)|\}, \quad (11)$$

여기서 $l'_\infty(n)$ 은 채널 추정 벡터의 수정된 정규화 값으로, FIR 필터가 0으로 reset될 때의 stalling 현상을 피할 수 있다.

PNLMS 알고리즘은 Normalized LMS (NLMS) 알고리즘의 수정된 형태를 가진다. NLMS 알고리즘은 사후 에러 값을 최소화시켜 구할 수 있으며, 필터 탭의 업데이트에 입력 신호 벡터로 정규화시킨 스텝 크기를 적용한다. 반면에 PNLMS는 탭을 업데이트 할 때 모든 필터 탭에 동일한 크기를 할당하는 NLMS와 달리, 탭마다 이전 탭의 전력에 따라 불균등하게 크기를 할당한다. 따라서 PNLMS는 path 수가 적은 채널에서 빠르게 수렴하는 장점을 가지고 있다.

동일 채널 중계기에서의 왜곡 채널은 일부 채널 path의 성분만을 가지는 성긴 채널의 특성을 가지므로 PNLMS 알고리즘을 이용한 왜곡 신호 제거 기법을 적용하면 빠르게 수렴할 수 있다. 또한 왜곡 채널은 주송신채널을 기준으로 일정 시간 지연 후 생기므로 탭 업데이트 크기의 할당을 불균등하게 함으로써 기존의 decorrelating delay에서와 같은 긴 시간 지연 없이 신호 간 상관도를 줄일 수 있는 특성을 가진다. 따라서 동일 채널 중계기에서 긴 시간 지연없이 왜곡 신호를 충분히 제거할 수 있다.

4. 전산 모의 실험 결과

전산 모의 실험은 제안하는 왜곡 신호 제거기의 채널 추정 성능을 평가하기 위해 수행되었다. 또한 동일 채널 중계기를 통해 전송된 신호의 성능을 확인하기 위해 수신기의 BER(Bit Error Rate) 성능을 확인하였다. 실험 환경은 지상파 DMB 표준의 시스템 파라미터를 기반으로 하였다. 즉, 변조 방식은 $\pi/4$ -DQPSK, OFDM 부반송파 개수는 2048개가 사용되었으며, OFDM 심볼 길이는 $1000 \mu s$ 를 사용하였다. 순환 전치 구간은 심볼 길이의 1/4 ($246 \mu s$)을 사용하였고, 왜곡 채널 추정기의 필터 탭은 10 개 탭을 사용하였다. 실험에 사용된 PNLMS 알고리즘의 파라미터는 다음과 같다.

표 1. PNLMS 알고리즘의 파라미터

	ρ	δ	μ
값	0.0001	0.0001	0.001

본 실험에서 동일 채널 중계기의 송수신 동기는 완벽하다고 가정하며, 사용된 왜곡 채널은 탭 4 개의 시간 지연을 갖는 식 (12)와 같은 형태를 지닌다.

$$\text{Feedback channel model : } h(n) = \delta(n-4) \quad (12)$$

그림 2는 PNLMS 알고리즘을 사용해 왜곡 신호 제거를 수행하였을 때의 채널 추정 오차율 식 (13)의 잔류 왜곡 전력 (RFP, Residual Feedback Power)의 형태로 나타낸다.

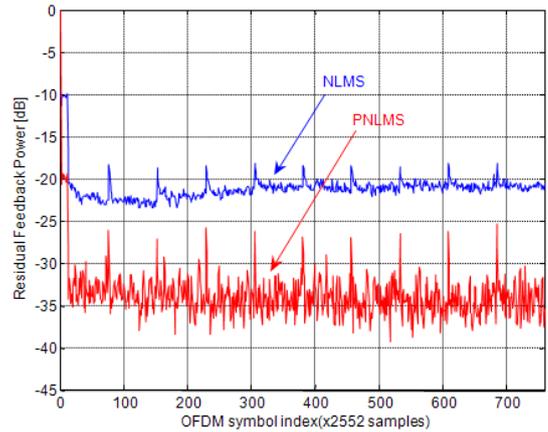


그림 2. PNLMS 적응형 알고리즘 적용 시 RFP 성능 평가 및 비교

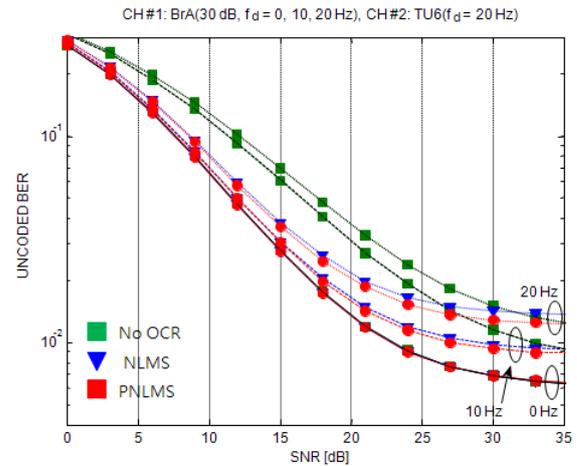


그림 3. PNLMS 적응형 알고리즘 적용 시 BER 성능 평가 및 비교

$$(\text{Residual Feedback Power}) = \frac{(y(n) - x(n))^* (y(n) - x(n))}{E[x(n)^* x(n)]} \quad (13)$$

실험 결과 PNLMS를 적용하였을 때, NLMS를 사용한 채널 추정에 비해 수렴 속도가 약 OFDM 심볼 20개 (51040개 샘플)만큼 빠른 것을 확인할 수 있다. 수렴 성능 또한 RFP가 -35 dB 전후로써, -20 dB 안팎으로 수렴하는 NLMS에 비해 약 15 dB의 이득을 얻는다.

그림 3은 PNLMS를 이용해 케환 채널 추정을 했을 때 수신 BER 성능을 보여준다. 지상파 DMB 송신기와 중계기 사이의 채널인 Channel #1을 정적 채널인 Brazil A 채널 (SNR : 30 dB), 중계기와 DMB 수신기 사이의 채널인 Channel #2를 도심지 환경의 동적 채널인 TU-6 (Typical Urban 6 paths) 채널로 모델링하였다.

실험 결과 주 송신 채널의 도플러 주파수가 0 Hz인 경우 동일 채널 중계기를 사용하지 않은 경우와 NLMS, PNLMS를 적용한 동일 중계기의 경우 모두 동일한 BER 성능을 보인다. 하지만 도플러 주파수가 올라감에 따라 PNLMS 알고리즘의 성능이 NLMS 및 OCR을 사용하지 않은 경우에 비해 뚜렷한 성능 이득을 보여주어 수신 성능 또한 개선시킬 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 지상파 DMB 동일 채널 중계기에 적용 가능한 케환 신호 제거 기법을 제안하였다. 제안한 케환 신호 제거기는 케환 채널 추정을 위해 PNLMS 알고리즘을 적용하였으며, 기존 알고리즘에 비해 수렴 성능 및 속도에서 우위를 보임으로써 동일 채널 중계기에서의 전력 제한을 크게 완화시킬 수 있었다. 또한 시간 지연 없이 신호 간 상관도를 저하시키므로 수신기의 등화 및 동기화 더 유리하다는 장점을 지닌다. 따라서 제안하는 케환 신호 제거 기법을 통해 지상파 DMB 동일 채널 중계기의 효율적인 운용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] G. Lee, S. Cho, K. T. Yang, Y. K. Hahm and S. I. 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. 2005.
- [2] K. Salehian, M. Guillet, B. Caron, and A. Kennedy, "On-Channel Repeater for Digital Television Broadcasting Service," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol.48, no.2, pp.97-102, Jun. 2002.
- [3] A. Wiewiorcka and P. N. Moss, "R&D White Paper WHP 120: Digital on-channel repeaters for DAB," Research & Development, British Broadcasting Corporation, Sept. 2005.
- [4] Hamazumi, H, Imamura, K, Iai, N, Shibuya, K, Sasaki, M,

"A Study of a Loop Interference Canceller for the Relay Stations in an SFN for Digital Terrestrial Broadcasting," *Global Telecommunications Conference 2000, San Francisco, CA, USA*, vol. 1, pp.167-171, Nov. 2000.

- [5] H. Deng and M. Doroslovacki, "Improving Convergence of the PNLMS Algorithm for Sparse Impulse Response Identification," *IEEE Signal Process. Letters*, vol. 12, no. 3, pp. 181-184, March 2005.
- [6] D. L. Duttweiler, "Proportionate normalized least mean square adaptation in echo cancellers," *IEEE Trans. Speech Audio Processing*, vol. 8, pp. 508-518, Sept. 2000.