

# 적응 IIR 필터링을 이용한 지상파 DMB 중계기에서의 채널 추정

서기환\*, 음호민\*\*, 이용태\*\*, 김형남\*

\*부산대학교 전자전기공학과, \*\*한국전자통신연구원 지상파전송기술연구팀

## Channel Estimation for T-DMB Repeaters Using Adaptive IIR Filtering

Ki-Hwan Suh\*, Ho Min Eum\*\*, Yong-Tae Lee\*\*, and Hyung-Nam Kim\*

\*Dept. of Electronic and Electrical Engineering, Pusan National University,

\*\*Radio & Broadcasting Research Division, ETRI

\*[hankim@pusan.ac.kr](mailto:hankim@pusan.ac.kr)

**Abstract:** 지상파 DMB 서비스가 본격화 됨에 따라, 이에 따른 서비스 영역의 확대가 요구되고 있다. 서비스 영역 확대를 위해서 궤환 신호 제거가 가능한 디지털 동일채널 중계기에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있지만, 기존 동일채널 중계기는 궤환 채널만을 모델링하여 제거하고 주 송신기와 중계기 사이의 전송채널에 의해 발생하는 신호왜곡은 보상하지 않는다. 그러나 이러한 왜곡을 중계기에서 보상하여 재송신할 수 있다면 중계기의 재송신 신호품질을 향상시킬 수 있다. 이를 위해서는 전송채널과 궤환 채널에 대한 정확한 추정이 요구된다. 본 논문에서는 주 송신기와 중계기 사이의 전송채널의 계수와 중계기에서 발생하는 궤환 채널의 계수를 등식 오차 적응 무한 충격 응답 (IIR) 필터링을 이용하여 추정하는 방법을 제안한다. 제안된 IIR 필터링을 이용한 추정 방법은 다양한 환경에서의 DMB 중계기의 전송채널과 궤환 채널에 대한 정확한 추정이 가능함을 모의 실험을 통하여 보인다.

**Keywords:** Terrestrial DMB, Channel estimation, DOCR, Adaptive IIR filtering.

### I. 서론

지상파 DMB (Digital Multimedia Broadcasting) 서비스가 전국적으로 확대됨에 따라 가입자가 700만을 넘어서는 등 서비스 시장이 본격적으로 활성화되고 있으나, 서비스 지역의 제한과 음영 지역 등의 문제가 서비스 확산의 걸림돌로 작용하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 제한된 방송 주파수의 이용 효율을 높일 뿐만 아니라, 방송 구역 내에서 안정적인 전파 세기를 보장할 수 있는 디지털 동일채널 중계기 (Digital On-channel Repeater, DOCR) [1] 의 도입이 요구된다. 그러나 DOCR의 경우 주 송신기의 송신신호와 중계기의 재전송신호가 동일한 주파수를 사용하므로 DOCR의

출력신호가 다시 DOCR의 입력신호로 들어오는 궤환 신호 문제가 발생하고 이로 인해 중계기의 재전송 안테나의 출력이 제한되는 단점을 가지고 있다. 이러한 DOCR에서 발생하는 궤환 신호 문제를 해결하기 위해 다양한 궤환 신호 제거 알고리즘들이 연구되었다 [2]-[5].

기존의 궤환 신호 제거 알고리즘들은 중계기의 송·수신안테나 커플링에 의해 발생하는 궤환 채널을 유한 충격응답 (finite impulse response, FIR) 필터링을 통해 추정하고, 추정된 궤환 채널을 이용하여 궤환 신호로 인한 왜곡을 보상한다. 그러나 기존의 궤환 신호 제거 알고리즘들은 중계기에서 발생하는 궤환 채널만을 모델링하여 제거하므로, 주 송신기와 중계기 사이의 채널에 의해 발생하는 왜곡은 보상하지 못한다. 즉, 주 송신기와 신호가 중계기로 전송될 때 발생하는 채널 왜곡이 신호 재전송 시 그대로 전파되므로 중계기의 전송신호 품질이 열화되는 문제가 발생한다. 주 전송채널 왜곡으로 인한 전송신호 품질 열화를 방지하기 위해 중계기에서 궤환 채널과 송신 채널을 동시에 추정해 FIR 필터로 모델링하는 방법이 고려될 수 있으나, 매우 큰 차수의 FIR 필터가 요구되어 긴 시스템 지연시간을 허용할 수 없는 DOCR의 특성상 구현이 거의 불가능하다.

그러나 궤환 채널과 송신 채널을 동시에 추정할 수 있다면 궤환 신호의 제거를 통한 DOCR의 재전송 신호의 출력을 높일 수 있을 뿐만 아니라 주 송신기와 중계기 사이의 채널에 의한 신호의 왜곡을 동시에 보상할 수 있으므로, DOCR의 성능을 향상시킬 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 등식 오차 (equation-error) 적응 무한 충격 응답 (infinite impulse response, IIR) 필터링 [6],[7]을 이용하여 궤환 채널의 계수는 IIR 필터의 극점을 나타내는 분모의 계수로, 송신 채널의 계수는 IIR 필터의 영점을 나타내는 분자의 계수로 추정하는 방법을 제시한다.

본 논문 구성은 다음과 같다. II장에서 등식 오차 적응 IIR 필터링을 이용하여 채널을 추정하는 방법을 제시하고 III장에서는 모의실험을 통해 제시한 채널 추정 방법의 성능을 분석하고 IV장 결론을 맺는다.

본 연구는 정보통신부의 출연금 등으로 수행하고 있는 한국전자통신연구원의 정보통신연구개발사업 위탁연구 과제 결과입니다.

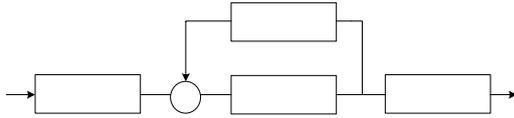


그림 1. 지상파 DMB 용 DOCR 의 채널 환경.

II. 등식 오차 적응 IIR 필터링을 이용한 지상파 DMB 중계기의 채널 추정

지상파 DMB 용 동일채널 중계기를 설치할 경우 주 송신기와 중계기 그리고 단말기 사이에 발생하는 채널은 그림 1과 같다. 채널  $A(z)$ ,  $B(z)$  와  $C(z)$  는 각각 중계기의 재전송 신호가 다시 중계기의 입력으로 들어오는 폐환 채널, 주 송신기와 중계기 사이에 발생하는 주 송신 채널 그리고 중계기와 수신기 사이의 부송신 채널을 의미한다. 이 때, 잡음에 의한 영향은 없다고 가정하고, 주 송신기의 출력신호인  $s(n)$  과 중계기의 출력 신호  $x(n)$  사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$X(z) = \frac{B(z)}{1 - A(z)} \cdot S(z) \quad (1)$$

식 (1)과 중계기의 출력 신호  $x(n)$  과 단말기의 수신신호  $y(n)$  의 관계를 이용하여,  $s(n)$  과  $y(n)$  의 관계를 구하면 다음과 같다.

$$Y(z) = \frac{B(z) \cdot C(z)}{1 - A(z)} \cdot S(z) \quad (2)$$

식 (2)에서 만약 DMB 중계기가 폐환 채널  $A(z)$  와 주 송신 채널  $B(z)$  를 동시에 추정하여 폐환 신호 제거와 등화가 완벽하게 수행된다고 가정하면, 식 (2)는 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$Y(z) = C(z) \cdot S(z) \quad (3)$$

식 (3)은 단말기가 수신되는 신호  $Y(z)$  가 단지 부송신 채널  $C(z)$  에만 영향을 받는 것을 의미하므로, 중계기 설치 시 발생할 수 있는 왜곡을 최소화할 수 있음을 보여준다. 이를 위해 동일채널 중계기에서 바라본 채널  $H(z)$  라 하면 다음과 같은 분수 함수 (rational function) 형태로 나타낼 수 있다.

$$H(z) = \sum_{i=0}^{\infty} h_i z^{-i} = \frac{B(z)}{1 - A(z)} = \frac{\sum_{m=0}^M b_m z^{-m}}{1 - \sum_{n=1}^N a_n z^{-n}} \quad (4)$$

여기서,  $\{h_i\}$  는 채널의 충격응답(impulse response)이고  $A(z)$ ,  $B(z)$  는 각각 그림 1에서의 폐환 채널 A와 주 송신 채널 B에 해당한다. 적응형 IIR 필터링은 다음과 같은 형태의 채널 계수를 추정한다.

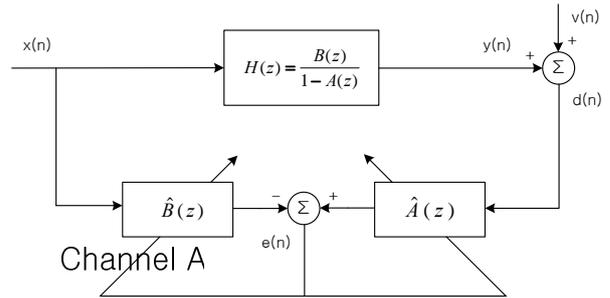


그림 2. 등식 오차 IIR 필터 구조.

$$\hat{H}(z) = \sum_{i=0}^{\infty} \hat{h}_i z^{-i} = \frac{\hat{B}(z)}{\hat{A}(z)} = \frac{\sum_{m=0}^M \hat{b}_m z^{-m}}{\sum_{n=0}^{\hat{N}} \hat{a}_n z^{-n}} \quad (5)$$

여기서 실제 채널인  $H(z)$  의 채널 계수  $a_n$  와  $b_n$  의 추정 값인  $\hat{a}_n$  와  $\hat{b}_n$  는 각각 적응 IIR 필터의 계수들이고,  $\hat{a}_0 = 1$  이다. 이 때,  $J$  를 다음과 같이 정의할 수 있다,

$$J = \min \{ \hat{N} - N, \hat{M} - M \} \quad (6)$$

여기서  $J < 0$  인 경우 부족한 차수 (reduced order)를 가지게 되고,  $J \geq 0$  인 경우 적응 필터가 충분한 차수 (sufficient order)를 가지게 되며, 특히  $J = 0$  일 때는 적응 필터가 실제 채널의 계수의 차수가 동일함을 의미한다.

식 (4)를 적응 IIR 필터링으로 추정하는 방법은 크게 두 가지로 나누어지는데, 하나는 등식 오차 방법 (equation-error method)이고, 다른 하나는 출력 오차 방법 (output-error method)이다. 출력 오차 방법의 경우 안정성이나 국소 최소 (local minimum) 문제가 발생하므로 [6], 본 논문에서는 등식 오차 방법에 관해서만 다룬다. 등식 오차 접근 방식은 IIR 필터를 두 개의 FIR 필터로 분할하여 최적의 계수를 유도하므로 안정성이 보장된다 [6]. 그림 2는 채널 추정을 위한 등식 오차 적응 IIR 필터 구조를 나타내었다. 여기서  $x(n)$ ,  $y(n)$  및  $v(n)$  은 각각 주 전송 신호, 채널  $H(z)$  를 통과한 중계기의 재전송 신호와 가산성 백색잡음을 의미한다.

$\hat{a}_n$  와  $\hat{b}_m$  을 구하기 위해서 먼저 등식 오차인  $e(n)$  을 입력신호  $x(n)$  과  $\hat{a}_n$  와  $\hat{b}_m$  과의 관계를 이용해 정리하면 다음과 같다.

$$e(n) = d(n) - \hat{\theta}^T(n) \phi(n) \quad (7)$$

여기서  $\hat{\theta}(n)$  과  $\phi(n)$  은 다음과 같다.

$$\hat{\theta}(n) = [\hat{a}_1(n) \ \dots \ -\hat{a}_N(n) \ \hat{b}_0(n) \ \dots \ \hat{b}_M(n)]^T$$

$$\phi(n) = [-d(n-1) \ \dots \ -d(n-\hat{N}) \ x(n) \ \dots \ x(n-\hat{M})]^T$$

표 1. Brazil A 의 채널 프로파일

Path Number	Delay[ $\mu s$ ]	Amplitude [dB]
1	0.0	0.0
2	0.15	-13.8
3	2.22	-16.2
4	3.05	-14.9
5	5.86	-13.6
6	5.93	-16.4

표 2. Brazil B 의 채널 프로파일

Path Number	Delay[ $\mu s$ ]	Amplitude [dB]
1	0.0	0.0
2	0.30	-12.0
3	3.50	-4.0
4	4.40	-7.0
5	9.50	-15.0
6	12.70	-22.0

평균 자승 등식 오차(mean square equation error, MSE)를 최소화 되도록 필터 계수  $\hat{\theta}(n)$  을 조정하기 위해, LMS (Least Mean Square) 알고리즘을 적응 IIR 필터링에 적용하면 다음과 같은 계수 갱신 식을 얻을 수 있다.

$$\hat{\theta}(n+1) = \hat{\theta}(n) + \mu \phi(n)e(n) \quad (8)$$

여기서  $\mu$  는 LMS 알고리즘의 스텝 사이즈를 의미한다.

제안된 적응 IIR 필터링을 이용한 동일채널 중계기에서의 채널 추정 은 궤환 채널  $A(z)$  와 주 송신 채널  $B(z)$  의 계수를 동시에 추정할 수 있으므로, 동일채널 중계기에서 궤환 신호 제거와 주 송신 채널의 등화를 가능하게 한다.

### III. 시뮬레이션 결과

지상파 DMB 시스템에서 제안된 IIR 필터링을 이용한 채널 추정 방법의 성능평가를 위해 모의 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 채널은 Brazil A와 Brazil B 채널이며 Brazil A와 Brazil B 채널의 프로파일은 표 1 과 표2 에 각각 나타나 있다 [10]. 모의 실험에 사용된 중계기의 궤환 신호 크기와 중계기 출력의 신호 대 잡음비는 각각 -2.1 dB와, 10 dB로 설정하였으며, LMS 알고리즘의 스텝 사이즈  $\mu$  는  $10^{-4}$ 으로 하였다.

그림 3과 4는 송신 채널이 Brazil 채널 A이고, 등식 오차 적응 IIR 필터의 차수가 각각  $(\hat{N}, \hat{M}) = (1, 13)$ ,  $(6, 18)$ ,  $(1, 8)$  일 때의 추정된 채널의 계수와 충격응답을 비교한 것이다. 각각의 차수에 해당하는 계수만을 비교하였을 때는 추정하려는 실제 채널 계수의 차수보다 적응 IIR 필터의 차수가 작은 경우 (reduced order 인 경우)가 필터의 차수가 많은 경우 보다 동일 탭에서 추정 오차가 작으나, 적응 충격 응답을 비교해 보면

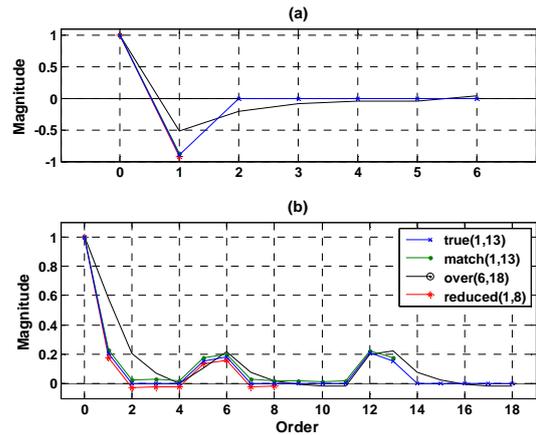


그림 3. 주 송신 채널이 Brazil A 일 때 추정된 채널 계수. (a) 추정된 분모계수  $\hat{a}_n$ . (b) 추정된 분자계수  $\hat{b}_m$ .

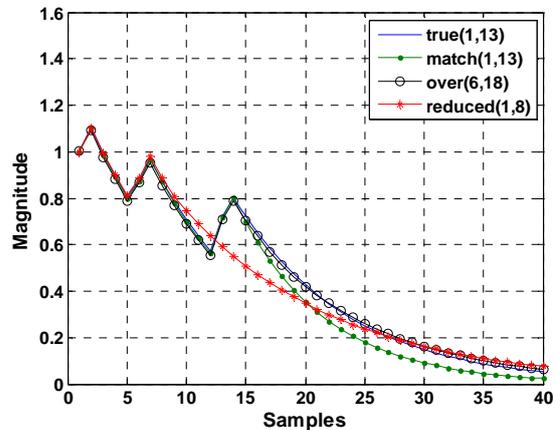


그림 4. 주 송신 채널이 Brazil A 일 때의 추정된 채널의 충격응답.

reduced order인 경우 필터의 차수가 낮아 실제 채널을 제대로 모델링하지 못해 sufficient order인 경우 보다 채널 추정 오차가 큰 것을 확인할 수 있다.

그림 5와 6은 송신 채널이 Brazil 채널 B이고, 적응 IIR 필터의 차수가 각각  $(\hat{N}, \hat{M}) = (1, 26)$ ,  $(6, 31)$ ,  $(1, 21)$  일 때의 추정된 채널의 계수와 충격응답을 비교한 것이다. Brazil 채널 A 환경에서 수행한 모의 실험 결과와 달리 reduced order인 경우에도 채널 추정오차가 작은 것은, Brazil 채널 B가 Brazil 채널 A보다 8차수 높은 채널 차수를 가지고 있어 전체 차수에 대한 부족한 차수의 비가 낮은 것에 기인한다. 두 가지 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 충분한 차수 (sufficient order)가 보장된다면 적응 IIR 필터링을 통해 중계기의 궤환 채널과 주 송신 채널의 추정이 가능하므로, 중계기에서 궤환 신호 제거와 주 송신 채널에 의한 왜곡을 동시에 보상할 수 있음을 의미한다.

### IV. 결론

본 논문에서는 지상파 DMB 동일채널 중계기에서

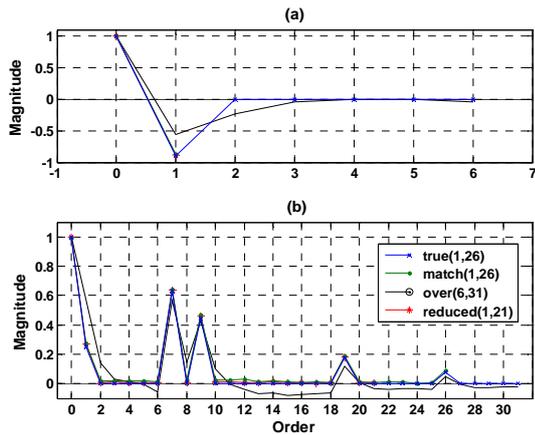


그림 5. 주 송신 채널이 Brazil B 일 때 추정된 채널 계수. (a) 추정된 분모계수  $\hat{a}_n$ . (b) 추정된 분자계수  $\hat{b}_m$ .

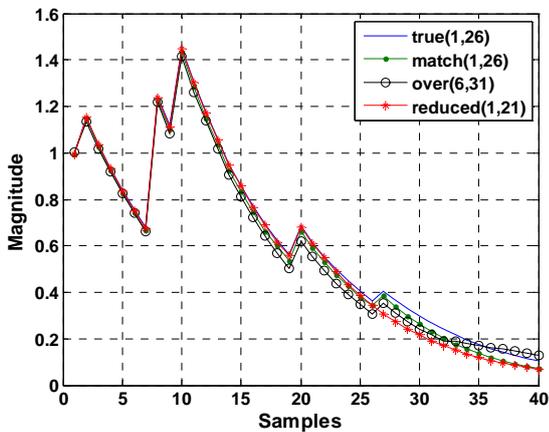


그림 6. 주 송신 채널이 Brazil B 일 때의 추정된 채널의 충격응답.

주 송신기와 중계기 사이의 송신 채널과 중계기에서 발생하는 궤환 채널을 동시에 추정하기 위해 등식 오차 적응 IIR 필터링을 이용하는 방법을 제안하고, 모의 실험을 통해 제안된 방법이 궤환 채널과 주 송신기와 주 송신 채널을 정확히 추정함을 보였다. 다만, 본 논문에서는 등식 오차 방식의 단점인 바이어스 문제가 크게 나타나지 않았지만, 실제 시스템 적용 시에는 잡음의 영향이 나타날 가능성이 높기 때문에 참고문헌 [7]에서 제시된 방법과 같은 바이어스를 제거할 수 있는 등식 오차 방식의 도입이 필요할 것이다.

이러한 방법을 통해 잡음의 영향을 거의 받지 않고 채널 추정할 수 있다면, 중계기에서 궤환 신호 제거와 주 송신 채널에 의한 왜곡을 보상을 동시에 수행할 수 있을 것이다. 향후 실제 적용 과정에서 나타날 수 있는 문제들을 해결할 경우 제안된 적응 IIR 필터링 방법은 지상파 DMB를 위한 동일 채널 중계기의 성능향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] 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.

[2] 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, 2000.

[3] A. Wiewidrka and P.N. Moss, "Digital on-channel repeater for DAB," BBC R&D White Paper WHP 120, Sept. 2005.

[4] 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," in *Proceedings of the IEEE GLOBECOM 2000 Conference*, San Francisco, CA, USA, Dec 2000, Vol. 1, pp. 167-171.

[5] 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.

[6] J. J. Shynk, "Adaptive IIR filtering," *IEEE Acoust., Speech, Signal Processing Mag.*, vol. 6, pp. 4- 21, 1989.

[7] H.-N. Kim, W.-J. Song, "Unbiased equation-error adaptive IIR filtering based on monic normalization," *IEEE Signal Processing Lett.*, vol. 6, pp. 35- 37, Feb. 1999.

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

[9] 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.

[10] Mackenzie, ABERT, and SET, "General description of laboratory tests," DTV Field Test Report in Brazil, July 2000.