

지상파 DMB 중계기를 위한 IF형 궤환 신호 제거 방법의 성능 분석

이영준*, 음호민**, 이용태**, 김형남*

*부산대학교 전자전기공학과, **한국전자통신연구원 지상파전송기술연구팀

Performance Analysis of IF-type Feedback Cancellation for T-DMB Repeaters

Young-Jun Lee*, Ho Min Eum**, Yong-Tae Lee**, and Hyoung-Nam Kim*

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

**Radio & Broadcasting Research Division, ETRI

*hnmkim@pusan.ac.kr

Abstract: 지상파 DMB (Digital Multimedia Broadcasting) 서비스의 영역 확대를 위해서는 디지털 동일채널 중계기의 사용이 요구되나, 디지털 동일채널 중계기는 중계기의 송·수신안테나 사이에 발생하는 궤환 신호 문제로 송신 출력이 제한되고, 이로 인해 확장 가능한 서비스 영역이 한정되는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 기존의 디지털 동일채널 중계기에 궤환 신호 제거 방법을 탑재하여 중계기의 송신 출력을 높이려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 지상파 DMB 중계기 개발에서 핵심 기술 중의 하나로 고려되고 있는 IF형 궤환 신호 제거기의 구조와 중계기 설계 시 고려해야 할 사항에 대해 살펴본다. 또한 모의 실험을 통해 다양한 궤환 채널환경 하에서 IF형 궤환 신호 제거기의 궤환 신호 제거 성능을 REP (Residual Echo Power) 관점에서 분석한다.

Keywords: T-DMB, DOCR, repeater, feedback canceller

1. 서론

최근 지상파 DMB (Digital Multimedia Broadcasting) 서비스가 전국적으로 확대됨에 따라 이에 따른 서비스 수요가 급증하고 있다. 이러한 서비스 수요에 증가에 대처하기 위해 서비스 영역 확장을 위한 중계기에 대한 관심이 고조되고 있다. 기존의 광 중계기, 마이크로웨이브 중계기는 고품질의 신호전송이 가능하다는 장점이 있으나 값비싼 구축비용과 유지비용으로 인해 경제적 부담이 크다는 단점이 있다. 이에 반해 디지털 동일채널 중계기는 제한된 방송 주파수의 이용 효율을 높일 뿐만 아니라, 서비스 영역 내에서 안정적인 전파 세기를 보장할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 중계기에서 재전송 신호 품질 향상을 위해 송신안테나의 출력을 증가시킬 경우 중계기의 송·수신안테나

사이에 궤환 신호가 발생하므로, 이를 방지하기 위해 중계기의 송신 출력이 제한되는 단점이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 현재까지 크게 두 가지 형태로 궤환 신호 제거에 대한 연구가 진행되고 있다. 하나는 중계기의 출력신호를 이용하여 궤환신호의 복제 (replica)를 생성하고 궤환 신호를 제거하는 intermediate-frequency (IF)형 방법이고 또 다른 하나는 중계기에서 수신된 주 송신기의 전송신호를 복조하고 그 신호에 포함된 파일럿 신호를 이용해 채널을 추정한 후 궤환 신호를 제거하는 복조형 방법이다 [2],[4]. 복조형 방법의 경우 전송 신호에 삽입된 파일럿 신호를 이용해 궤환 채널을 추정하므로 채널 추정의 정확도가 높고 궤환 신호 제거 성능이 우수한 장점이 있으나, 복조과정을 수행하기 위한 복잡한 하드웨어 구조와 시간 지연, 그리고 연산량이 많은 단점이 있다. 특히, 지상파 DMB 중계기에 복조형 궤환 신호 제거 방법을 적용할 경우, 넓은 파일럿 간격으로 인해 채널 추정 속도가 느리고, 이로 인해 궤환 신호를 제거하고 송신 출력을 향상시키는 데 많은 시간이 소요되어 실제 적용에는 어려움이 많다.

IF형 궤환 신호 제거 방법은 중계기의 출력 신호를 기준신호로 사용하여 궤환되는 신호와의 상관관계를 이용해 궤환 채널을 추정하므로 복조형 궤환 신호 제거 방법에 비해 추정 성능의 정확도가 낮은 단점이 있으나, 복조형에 비해 하드웨어 구조가 간단하고 입력신호에 상관없이 범용적으로 사용 가능하다는 장점이 있다. 본 논문에서는 단기간 내에 지상파 DMB 시스템에 적용 가능한 IF형 궤환 신호 제거방법에 대해 설명하고, 다양한 궤환 채널에 환경 하에서의 IF형 궤환 신호 제거기의 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 이러한 지상파 DMB 중계기의 IF형 궤환 신호 제거기법에 대해서 설명하고, III장에서 IF형 궤환 신호 제거기가 포함된 지상파 DMB 중계기의 구성과 중계기 내에서 궤환 신호 제거기가 가지는 여러 제약 조건에 대해 살펴본다. IV장에서는 모의 실험을 통해 단일 및 다중경로 궤환 채널환경 하에서 궤환 신호 제거기의 성능을 분석

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

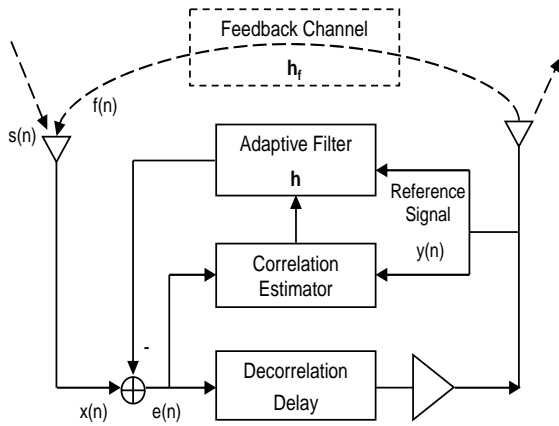


그림 1. 지상파 DMB 중계기의 케환 신호 제거기

하고 V 장에서 결론을 맺는다.

II. IF 형 케환 신호 제거 방법

1. IF 형 케환 신호 제거 방법

IF형 케환 신호 제거 방법은 그림 1과 같이 중계기의 출력신호 $y(n)$ 과 수신안테나로 들어오는 케환 신호 $f(n)$ 의 상관관계를 이용하여 케환 채널 h_f 를 추정하고 케환 채널의 레플리카를 생성해 케환 신호를 제거한다. 정확한 케환 채널 추정을 위해서는 중계기의 송신신호 $y(n)$ 이 주 전송신호 $s(n)$ 과 상관관계를 가지지 않아야 하나, 짧은 시간지연을 가지는 케환 채널을 통과한 중계기의 출력신호와 중계기의 입력신호 사이에는 상관관계가 존재하므로 이를 제거하기 위해 케환 신호가 제거된 $e(n)$ 을 중계기 내부의 decorrelation delay를 이용해 지연시켜 출력한다. 이상적으로는 decorrelation delay가 길어질수록 $s(n)$ 과 $y(n)$ 사이에 존재하는 상관관계가 제거되어 케환 채널 추정의 정확도가 증가한다.

2. LMS 적응 알고리즘

케환 채널의 추정을 위해 사용되는 적응 알고리즘은 중계기 시스템 지연 시간제한으로 인해 하드웨어 구현 시 낮은 복잡도와 적은 연산량이 요구되므로 적응 알고리즘 중 가장 간단한 LMS (Least Mean Square) 알고리즘만을 고려한다. 지상파 DMB 시스템은 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 이용하여 신호를 전송하는데, OFDM 신호의 통계적 특성이 noise-like하므로 LMS (Least Mean Square) 적응 필터가 이상적으로 동작할 수 있다 [2].

그림 1에서 볼 수 있듯이 케환 신호 제거기 입력을 $x(n)$, 출력신호를 $y(n)$, 적응 필터의 계수를 h 라 할 때, 케환 신호가 제거된 신호 $e(n)$ 은 다음과 같이 정의된다.

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

여기서 \mathbf{y}_n 은 송신신호 $y(n)$ 의 지연 신호로 이루어진 벡터 $(y(0), y(1), \dots, y(N-1))$ 이며, 적응 필터계수 h 는 LMS 적응 알고리즘에 의해 다음과 같이 갱신된다 [2], [5], [6].

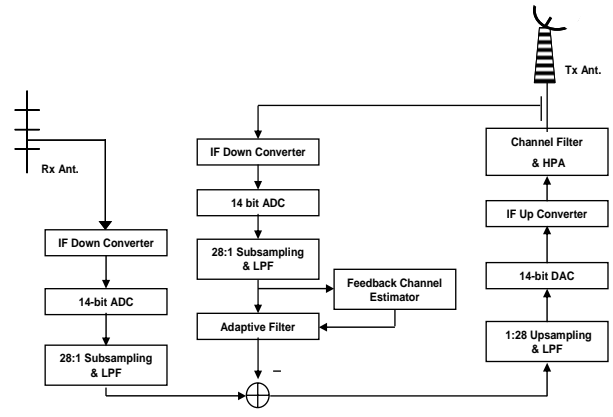


그림 2. 지상파 DMB 중계기의 블록 다이어그램

$$\mathbf{h}_{n+1} = \mathbf{h}_n - \mu \frac{\partial E[e(n)^2]}{\partial \mathbf{h}} = \mathbf{h}_n + 2\mu E[\mathbf{y}_n e(n)^*] \quad (2)$$

$$\approx \mathbf{h}_n + \mu e(n) \mathbf{y}_n^*$$

LMS 적응 알고리즘은 스텝 사이즈 μ 가 커짐에 따라 수렴 후 성능이 열화되나 수렴속도가 빨라지고, 반대로 μ 가 작아짐에 따라 수렴 후 성능은 개선되나 수렴속도는 느려지는 특징이 있다 [5], [6]. 중계기의 송신신호의 품질을 높이기 위해서는 작은 μ 값을 사용하여 수렴 후 성능을 개선해야 하나 적응 필터 계수가 도플러 효과나 다중 경로 반사로 인한 빠른 채널 변화를 모델링하지 못하는 문제점이 있다. 반대의 경우, 큰 μ 값을 사용하여 수렴속도를 증가시켜 채널 변화에 효과적으로 대응할 수 있으나, 수렴 후 성능이 저하되는 단점이 있다. 따라서 중계기에서 요구되는 수렴성능을 만족하면서 최대한 빠른 수렴속도를 가지게 하는 μ 를 설정해야 한다.

III. 지상파 DMB 중계기 설계

1. 지상파 DMB 중계기의 구성

그림 2는 지상파 DMB 중계기를 위한 IF형 케환 신호 제거기의 구성을 나타내는 것으로 주파수 대역 변환을 위한 IF up/down converter, up/sub-sampling & LPF와 아날로그 신호와 디지털 신호간의 변환을 위한 ADC 및 DAC, 케환 신호 제거를 위한 디지털 신호처리부 (Feedback channel estimator, Adaptive filter) 와 신호의 전력 증폭을 위한 high power amplifier를 포함한다.

2. 케환 신호 제거기의 설계 조건

그림 3에서 보듯이, 중계기의 수신안테나에 들어오는 케환 신호는 주 전송신호의 전력대비 +30dB의 전력을 가진다. DMB 수신기에서 안정적인 수신 성능을 보장하기 위해서는 중계기에서 케환 신호를 주 전송신호 전력대비 -15dB 이하로 억제하여야 한다 [2].

또한, 중계기에서 발생하는 시스템 지연이 지상파 DMB 신호 보호구간의 10% 이내가 되도록 설계해야 한다 [2].

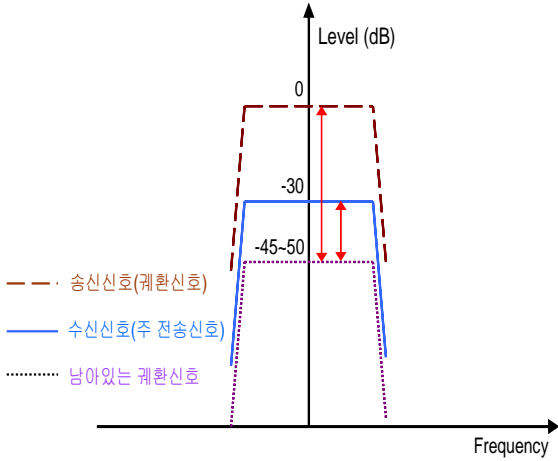


그림 3. 지상과 DMБ 증계기의 에코 신호 제거 성능 요구 조건

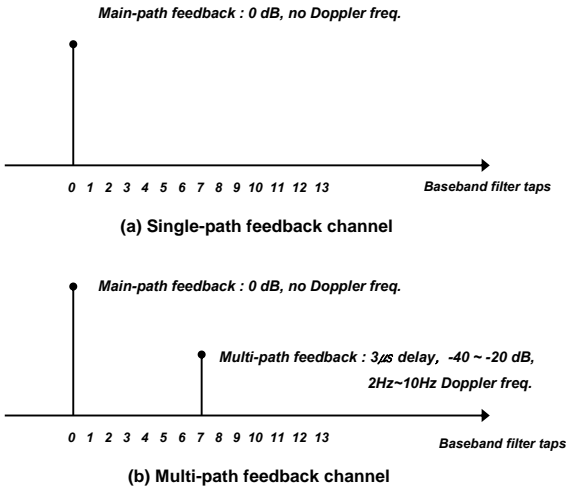


그림 4. 단일경로 에코 채널과 다중경로 에코 채널

IV. 시뮬레이션 결과

지상과 DMБ 증계기를 위한 IF형 에코 신호 제거기에서 스텝 사이즈 μ 에 따른 에코 신호 제거 성능을 분석하기 위해 다양한 에코 채널에서 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험에 사용된 에코 채널은 그림 4에 나타나 있다. 에코 신호 제거기의 성능을 평가하기 위한 평가지표는 다음과 같이 정의되며,

$$REP = 10 \log \left(\frac{e(n)e(n)^*}{\|s(n)\|^2} \right) \quad (3)$$

REP (Residual Echo Power)는 주 전송신호 전력대비 남아있는 에코 신호의 전력을 의미한다. 따라서 주 전송신호에 남아있는 에코 신호 성분이 작을수록 REP가 낮아지고, 이것은 증계기를 통해 재전송되는 신호가 주 송신기의 전송 신호와 유사함을 의미한다.

그림 5와 표 1은 그림 4(a)에 도시된 단일경로 에코 채널환경에서 스텝 사이즈 μ 에 따른 에코 신호 제거기의 에코 신호 제거 성능을 나타낸다. LMS 적응 알고

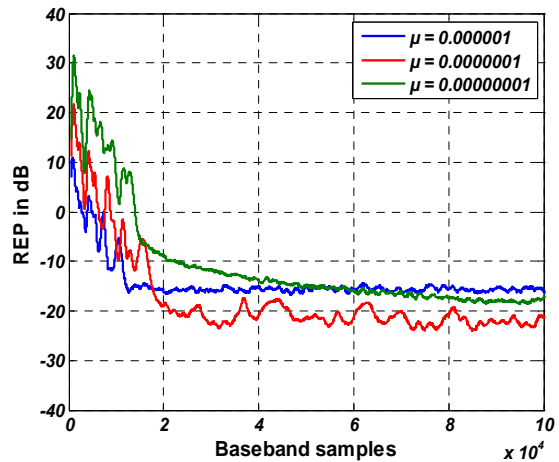


그림 5. 단일경로 에코 채널에서의 μ 에 따른 REP

표 1. 단일경로 에코 채널환경에서의 수렴 REP 비교

μ	0.000001	0.0000001	0.00000001
REP	-15 dB	-26 dB	-31 dB

표 2. 다중경로 에코 채널환경에서의 수렴 REP 비교 ($\mu = 0.000001$)

Doppler power \ Doppler freq.	-20 dB	-30 dB	-40 dB
2 Hz	-15 dB	-15 dB	-15 dB
10 Hz	-15 dB	-15 dB	-15 dB

표 3. μ 다중경로 에코 채널환경에서의 수렴 REP 비교 ($\mu = 0.0000001$)

Doppler power \ Doppler freq.	-20 dB	-30 dB	-40 dB
2 Hz	-20 dB	-23 dB	-25 dB
10 Hz	-12 dB	-20 dB	-25 dB

표 4. 다중경로 에코 채널환경에서의 수렴 REP 비교 ($\mu = 0.00000001$)

Doppler power \ Doppler freq.	-20 dB	-30 dB	-40 dB
2 Hz	-9 dB	-15 dB	-20 dB
10 Hz	0 dB	-7 dB	-13 dB

리즘의 특성으로 인해 μ 가 작아질수록 수렴속도는 떨어지나 수렴 후 REP는 낮음을 알 수 있으며, 모의 실험에 사용된 모든 μ 에 대해서 증계기에 요구되는 -15 dB 이하의 REP를 만족함을 볼 수 있다.

표 2~4는 그림 4(b)와 같은 다중경로 에코 채널환경에서 (부 에코 전력 : -20 dB, -30 dB, -40 dB, 도플러 주파수 : 2 Hz, 10 Hz) μ 에 따른 에코 신호 제거기의

궤환 신호 제거 성능을 나타낸다. μ 가 큰 경우, μ 를 점차적으로 줄여나가면 수렴 후 성능이 개선되나, 만약 μ 가 매우 작게 설정되면 채널 변화에 너무 민감해져 오히려 수렴 후 성능이 저하됨을 볼 수 있다.

$\mu = 0.00000001$ 인 경우, 단일경로 궤환 채널에서는 가장 좋은 REP를 보이나, 궤환 채널이 급격히 변화하면 느린 수렴속도로 인해 채널 변화를 따라가지 못해 REP 성능이 매우 열화됨을 볼 수 있다. $\mu = 0.0000001$ 인 경우에는, 단일 및 다중 경로 궤환채널 모두에서 낮은 REP를 보인다. 또한, $\mu = 0.0000001$ 일 때에는 다중 경로 궤환 채널에서의 성능 열화는 보이지 않으나, 수렴 후 REP가 상대적으로 높아 잡음에 대한 마진이 너무 없다는 단점이 있다. 따라서 중계기의 출력을 주 전송신호 전력대비 +30dB로 설정하는 경우, 스텝 사이즈를 0.0000001 정도로 설정하는 것이 타당함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 지상파 DMB 중계기의 IF형 궤환 신호 제거 기법에 대해 소개하고 모의 실험을 통하여 다양한 궤환 채널에 대한 궤환 신호 제거기의 성능을 분석하였다. 본 논문에서 분석된 결과들은 IF형 궤환 신호 제거기 설계 및 검증에 활용될 수 있으며, 중계기에서 최적화된 μ 를 설정하는 데 좋은 참고자료가 될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] “ ETSI EN 300 401, Radio broadcast systems: Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers,” European Telecommunications Standards Institute, May 2001.
- [2] BBKA. Wiewiorka and P.N. Noss, “ BBC R&D White Paper WHP120,” September 2005.
- [3] 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.
- [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,” *Proceeding of the IEEE GLOBECOM 2000 Conference*, San Francisco, CA, USA, Dec 2000, Vol. 1, pp. 167-171.
- [5] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 4th ed. Prentice Hall, 2002.
- [6] Sophocles J., Orfanidis, *Optimum signal processing: An Introduction*, 2nd ed. McGraw Hill, 1988.