일반논문-10-15-6-12

ATSC 지상파 DTV 시스템을 위한 궤환간섭 제거기를 가지는 EDOCR

박 성 익^{a)}, 이 영 준^{b)}, 서 기 환^{b)}, 음 호 민^{a)}, 서 재 현^{a)}, 김 홍 목^{a)}, 김 형 남^{b)*}

An EDOCR with a Feedback Interference Canceller for the ATSC Terrestrial DTV System

Sung Ik Park^{a)}, Young-Jun Lee^{b)}, Ki-Hwan Suh^{b)}, Homin Eum^{a)}, Jae Hyun Seo^{a)},
Heung Mook Kim^{a)}, and Hyoung-Nam Kim^{b)}

요 약

본 논문에서는 ATSC 지상파 DTV 시스템의 단일 주파수 망 구성을 위한 궤환간섭 제거기(Feedback Interference Canceller: FIC)를 가지는 등화형 디지털 동일채널 중계기(Equalization Digital On-Channel Repeater: EDOCR)를 제안한다. 제안된 FIC를 가지는 EDOCR은 송/수신 안테나의 충분치 못한 분리도로 인해 야기된 궤환신호를 FIC를 통해 제거함으로써 송신출력을 높일 뿐만 아니라, 등화기를 통하여 송신기와 중계기 간 다중경로 신호 및 잔존하는 궤환신호를 제거하여 기존의 동일채널 중계기 보다 우수한 출력신호 품질을 보장한다. 또한, 본 논문에서는 전산실험을 통해 FIC를 가지는 EDOCR의 성능의 우수성을 검증한다.

Abstract

In this paper, we propose an equalization digital on-channel repeater (EDOCR) with a feedback interference canceller (FIC) for single frequency network of the ATSC terrestrial DTV system. The proposed EDOCR with FIC does not have only high output power by cancelling feedback signals caused by insufficient antenna isolation through the FIC, but also shows better quality of output signals than the conventional on-channel repeaters (OCRs) by removing multipath signals existing between the main transmitter and the OCR, and residual feedback signals through an equalizer. In addition, computer simulations are provided to figure out the superior performance of the proposed EDOCR with FIC.

Keywords : ATSC, SFN, EDOCR, FIC

I. 서 론

지상파 TV 방송사업자는 방송사의 방송권역 내에서 방송 콘텐츠를 시청자들에게 효율적으로 전달하기 위해 송신기 및 중계기를 설치하여 운영하고 있다. 지금까지 아날로그 TV 방송뿐 아니라, ATSC (Advanced Television Systems Committee) 지상파 디지털 TV 방송은 각각의 송신기 또는 중계기에 서로 다른 주파수를 할당하여 방송망을 구

a) 한국전자통신연구원 방송시스템연구부
Broadcasting System Research Department, ETRI

b) 부산대학교 전자전기공학과
School of Electrical Engineering, Pusan National University

* 교신저자 : 김형남 (hnkim@pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가위원회의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002067, 지상파 DTV 전송효율고도화기술개발]

· 접수일(2010년7월19일), 수정일(2010년11월4일), 게재확정일(2010년11월22일)

성하는 다중 주파수 망(Multiple Frequency Network: MFN)을 통해 서비스되고 있다. 그러나 MFN을 통한 방송 망 구축은 동일 주파수 간섭이 없는 원거리 지역을 제외하고는 같은 주파수를 재사용할 수 없기 때문에 주파수 이용 측면에서 매우 비효율적인 방송망 구성방법이다. 특히 현재와 같이 지상파 아날로그 TV 방송과 지상파 디지털 TV 방송을 동시에 송출하고 있는 상황에서는 모든 방송사의 송신기 및 중계기에 각각 다른 주파수를 할당하기에는 방송 주파수가 충분하지 못한 실정이다. 따라서 방송망 구성에 있어서 주파수 이용의 효율성 제고에 대한 요구가 더욱 커지고 있다.

이러한 주파수 부족현상 및 낮은 주파수 이용효율을 해결하기 위해, 다수의 송신기와 중계기가 동일한 주파수 대역을 사용하여 주파수 이용효율이 높고 방송 구역 내에서 안정적인 전파 세기를 제공하는 단일 주파수 망(Single Frequency Network: SFN)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. ATSC 방식의 지상파 디지털 TV 방송에서 SFN 구성을 위한 기술은 다수의 송신기들이 같은 주파수를 사용하여 방송 신호를 송출하는 분산 송신기(Distributed Transmitters: DTxT) 기술과 송신기와 이 송신기 신호를 중계하는 중계기가 같은 주파수를 사용하는 디지털 동일채널 중계기(Digital On-Channel Repeater: DOCR) 기술로 크게 나누어지며, 두 기술을 혼용하여 SFN을 구성하는 것이 일반적이다^[1-4]. 하지만, DTxT 기술은 이미 많이 설치되어 있는 송신기에 송신기간의 동기를 맞추기 위한 새로운 장치를 추가해야 하고, 송신기들 사이의 거리가 제한되며, 유지 및 보수 비용이 높다는 단점을 가지고 있다. 반면에 DOCR 기술은 기존에 설치된 송신기의 변경없이 SFN 구성이 가능하지만, 출력신호의 품질이 떨어지며 출력전력이 낮아지는 단점이 있다.

기존의 DOCR이 가지는 단점을 보완하기 위하여 등화형 DOCR (Equalization DOCR: EDOCR) 기술 및 DOCR을 위한 궤환간섭 제거기(Feedback Interference Canceller: FIC)에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다^[5-9]. EDOCR은 기존의 DOCR에 판정궤환 등화기(Decision Feedback Equalizer: DFE)를 적용한 것으로 송신기와 중계기 간 다중경로 및 잡음으로 인한 신호 왜곡과 중계기 송/수신 안테나의 충분치 못한 분리도로 인하여 야기된 궤환신호(feedback

signal)를 동시에 제거하여 높은 송신출력과 우수한 출력신호 품질을 보장한다. 하지만, EDOCR은 등화기의 성능한계로 인해 송신기로부터 전송되는 신호보다 높은 전력을 가지는 궤환신호가 입력되면 궤환신호를 성공적으로 제거하지 못한다. 이러한 궤환신호 제거능력의 한계로 인해 EDOCR의 송신출력은 송/수신 안테나간의 분리도 이하로 엄격하게 제한된다는 단점이 있다. 이에 반해, FIC를 가지는 DOCR은 에코(echo) 제거 기술을 바탕으로 송신기로부터 전송되는 신호보다 높은 전력을 가지는 궤환신호를 효과적으로 제거하여 송신출력을 높일 수 있다. 그러나 송신기와 중계기 간 다중경로 및 잡음으로 인한 신호 왜곡은 보상하지 못한다.

본 논문에서는 FIC를 가지는 EDOCR을 제안하고, 전산 실험을 통해 그 성능을 검증한다. 제안된 FIC를 가지는 EDOCR은 송/수신 안테나의 충분치 못한 분리도로 인하여 야기된 궤환신호를 FIC를 통해 등화기가 제거할 수 있는 수준으로 억압함으로써 송신출력을 높일 뿐만 아니라, 등화기를 통하여 송신기와 중계기 간 다중경로 신호 및 잔존하는 궤환신호를 제거하여 우수한 출력신호 품질을 보장한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장과 III 장에서는 기존 EDOCR과 FIC의 구조 및 특징에 대해 각각 살펴본다. IV 장에서는 본 논문에서 제안하는 FIC를 가지는 EDOCR의 구조 및 요구사항에 대해 살펴보고, V 장의 전산실험을 통해 제안된 시스템의 성능을 분석한다. 마지막으로 VI 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 등화형 디지털 동일채널 중계기

DOCR은 그림 1처럼 송신기의 방송신호가 약하게 수신되는 지역에 설치하여 난시청 지역을 해소하고 송신기 신호의 전송영역을 넓히는 역할을 한다. 기존의 RF (Radio Frequency) 증폭형 또는 IF(Intermediate Frequency) 변환형 DOCR은 그 구조가 간단하고 신호처리 시간이 짧다는 장점이 있으나, 송신출력이 낮고 인접채널 제거성능 및 출력신호 품질이 떨어진다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 참고문헌 [5-7]에서는 EDOCR을 제안하였으

그림 1. DOCR 개념도

Fig. 1. Concept diagram of a DOCR

며, 그 구조는 그림 2와 같다. EDOCR은 수신 안테나, 프리실렉터, 저잡음 증폭기 (Low Noise Amplifier: LNA), 주파수 하향 변환기, 복조기, 등화기, TxID (Transmitter Identification) 삽입기, 변조기, 주파수 상향변환기, 고출력 증폭

기(High Power Amplifier: HPA), 채널 필터 및 송신 안테나로 구성된다. EDOCR의 신호처리 과정을 살펴보면, 수신 안테나를 통해 수신된 RF 신호는 프리실렉터와 저잡음 증폭기를 통해 인접채널 제거 및 증폭된 후, 주파수 하향 변환

그림 2. EDOCR의 구성도

Fig. 2. EDOCR structure

기를 통해 IF 대역의 신호로 변환된다. 이후 복조기를 통해 기저대역 심볼로 변환된 후, 등화기를 통해 다중경로 신호와 궤환신호 등에 의한 왜곡이 보상된다. 등화기를 통해 복원된 신호는 변조기와 주파수 상향 변환기를 통해 RF 신호로 변조되고, 고출력 증폭기와 채널필터를 거쳐 송신 안테나를 통해 재전송된다. 기존 DOCR과 구분되는 EDOCR은 특징은 다음과 같다.

- ① EDOCR은 FEC(Forward Error Correction) 복호 및 부호부를 사용하지 않기 때문에 DOCR 입력신호와 출력신호가 서로 다른, 즉 모호성(ambiguity) 문제를 가지지 않는다.
- ② EDOCR은 복조부에서 정합필터를 사용하기 때문에 수신신호의 선택성이 우수하다. 즉, 인접채널 제거능력이 우수하다.
- ③ EDOCR은 그림 3처럼 FFF (Feed-Forward Filter: FIR), FBF (Feed-Back Filter: IIR), 그리고 오류정정 능력을 가지고 있는 지능형(intelligent) 양자화기(trace-back depth가 1인 트렐리스 복호기)로 구성되는 판정 의거(decision-directed; DD) DFE를 사용한다^[10]. 이러한 DD-DFE는 송신기와 EDOCR 사이의 전송로에 의해 야기된 잡음 및 다중경로 신호를 효과적으로 제거할 수 있기 때문에, EDOCR 출력신호의 품질을 입력신호보다 우수하게 만든다. 또한, EDOCR 송/수신 안테나의 낮은 격리도로 인해 야기된 궤환신호를 제거할 수 있기 때문에, EDOCR 송신출력을 기존 RF 증폭형 또

- 는 IF 변환형 DOCR 대비 10배 이상 높일 수 있다.
- ④ EDOCR은 변조부를 사용하기 때문에 송신신호의 품질이 우수하다. 즉, FCC (Federal Communications Commission)에서 요구하는 SNR (Signal to Noise Ratio) 및 Spectrum Mask 조건을 만족한다.

하지만 EDOCR은 많은 디지털 신호처리로 인해 기존의 RF 증폭형(시스템 지연: $0.5 \sim 1 \mu s$) 또는 IF 변환형(시스템 지연: $1 \sim 2 \mu s$) DOCR에 비하여 송수신 신호간의 시간지연, 즉 시스템 지연(약 $5.0 \mu s$)이 길다는 단점이 있다^[6]. 뿐만 아니라, EDOCR은 등화기의 성능한계로 인해 송신기로부터 전송되는 신호보다 높은 전력을 가지는 궤환신호가 입력되면 궤환신호를 성공적으로 제거하지 못한다. 이러한 궤환신호 제거능력의 한계로 인해 EDOCR의 송신출력은 송/수신 안테나간의 분리도 이하로 엄격하게 제한되며, 이에 따라 기존 중계시설을 충분히 활용하지 못한다는 단점이 있다.

III. 궤환간섭 제거기

기존 DOCR의 제한된 송신출력 문제를 극복하기 위해 에코(echo) 제거 기술을 바탕으로 하는 FIC에 관한 연구가 활발히 이루어졌으며, 이러한 FIC관련 연구는 크게 IF형 FIC와 복조형 FIC로 분류된다^{[8][9]}. IF형 FIC는 중계기의 출력신호를 기준신호로 사용하고, 기준신호와 궤환신호와의 상관관계를 통해 중계기 송/수신 안테나 사이의 궤환채널

그림 3. EDOCR을 위한 등화기의 구성도
Fig. 3. Equalizer for an EDOCR

을 추정하여 궤환신호를 제거한다. 복조형 FIC는 궤환신호를 복조한 후 기 약속된 파일럿 신호 혹은 훈련 신호를 통해 궤환채널을 추정하여 궤환신호를 제거한다. 일반적으로 IF형 FIC는 간단한 구조를 가지지만, 기준신호와 궤환신호와의 상관관계가 높은 경우 궤환신호 제거성능이 매우 열화된다. 반면, 복조형 FIC는 IF형 FIC에 비해 궤환신호 제거성능이 우수하지만 궤환채널을 추정하기 위해 파일럿 신호를 추출해야 하기 때문에 복잡한 구조를 가진다. EDOCR을 위해 적합한 FIC는 현재 설치되어 운용 중인 EDOCR과 결합 가능해야 하므로 본 논문에서는 IF형 FIC만을 고려한다.

그림 4는 IF형 FIC를 가지는 DOCR의 구조를 보여주고

있다. IF형 FIC를 가지는 DOCR의 신호처리 과정을 살펴보면, 수신안테나를 통해 수신된 RF 신호는 프리선택터와 LNA를 통과한 후 주파수 하향 변환기를 통해 IF 대역의 신호로 변환된다. 이후 인접채널 및 잡음에 의한 왜곡을 최소화하기 위한 수신 LPF (Low Pass Filter)를 통과하고 다운-샘플링된 후 감산기에 의해 궤환신호가 억압된다. 감산기에 의해 궤환신호가 억압된 신호는 비상관 지연기(decorrelation-delay)를 통해 일정시간 지연되며, 업-샘플링된 후 송신 LPF를 통과한다. 이후 주파수 상향 변환기를 통해 RF 신호로 재변환되고, HPA 및 채널필터를 거쳐 송신 안테나를 통해 재전송 된다. IF형 FIC는 궤환채널 추정기, 복소 FIR 필터, 감산기, 그리고 비상관 지연기로 구성

그림 4. 기존 IF형 FIC를 가지는 DOCR의 구성도

Fig. 4. Structure of the DOCR with the CC-type FIC

되며, 각 구성 요소의 역할은 다음과 같다.

- ① 궤환채널 추정기는 감산기의 출력신호와 하향변환된 기준신호를 이용하여 중계기 송/수신 안테나의 층분치 못한 분리도로 인하여 야기된 궤환신호의 채널, 즉 궤환채널을 추정한다.
- ② 복소 FIR 필터는 추정된 궤환채널 정보를 이용하여 하향 변환된 기준신호를 필터링함으로써 궤환신호의 레플리카를 생성한다.
- ③ 감산기는 중계기의 수신신호에서 궤환신호 레플리카를 감산함으로써 궤환신호를 억압한다.
- ④ 비상관 지연기는 중계기 입력신호와 출력신호 간의 상관관계를 최소화하기 위해, 즉 궤환채널 추정기가 궤환채널을 정확히 추정하도록 감산기 출력신호를 일정시간 지연시킨다.

시간 인덱스 n 에서 송신기로부터 전송되는 신호를 $s(n)$, 중계기 출력신호를 $y(n)$, 궤환신호를 $f(n)$, 감산기 출력신호를 $\hat{s}(n)$, 하향변환된 기준신호 벡터를 $y(n) =$, 실제 궤환채널을 $\mathbf{h}_f(n) =$, 복소 FIR 필터의 탭 계수벡터를 $\mathbf{h}_{\text{FIR}}(n) = [h_{\text{FIR},0}(n), h_{\text{FIR},1}(n), \dots, h_{\text{FIR},K-1}(n)]^T$ 라 두면, 중계기 입력신호 $x(n)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$x(n) = s(n) + f(n) = s(n) + \mathbf{h}_f^*(n)\mathbf{y}(n) \quad (1)$$

여기서 *는 복소켄레(Complex conjugate) 연산을 나타낸다. IF형 FIC는 복소 FIR 필터의 탭 계수벡터 $\mathbf{h}_{\text{FIR}}(n)$ 와 하향 변환된 기준신호 벡터 $\mathbf{y}(n)$ 를 이용하여 식 (2)와 같이 궤환신호의 레플리카 $f_r(n)$ 를 생성한다.

$$f_r(n) = \mathbf{h}_{\text{FIR}}^*(n)\mathbf{y}(n) \quad (2)$$

감산기는 식 (2)에서 생성된 궤환신호 레플리카를 중계기 입력신호에서 감산함으로써 궤환신호를 제거한다.

$$\hat{s}(n) = x(n) - f_r(n) \quad (3)$$

시간 인덱스 $n+1$ 에서의 탭 계수벡터 $\mathbf{h}_{\text{FIR}}(n+1) =$ 은 시간 인덱스 n 에서의 감산기 출력 신호 및 하향 변환된 기준신호 벡터를 사용하여 식 (4)와 같이 LMS (Least Mean Square) 알고리즘을 통해 갱신된다.

$$\mathbf{h}_{\text{FIR}}(n+1) = \mathbf{h}_{\text{FIR}}(n) + \mu \hat{s}(n)^* \mathbf{y}(n) \quad (4)$$

여기서 μ 는 적응 필터의 스텝 사이즈로서, FIC의 수렴속도 및 수렴 후 성능을 결정한다.

IF형 FIC에서 발생하는 시스템 지연은 송/수신 LPF 및 비상관 지연기의 길이에 의해서 결정된다. 궤환채널 추정기가 중계기 송수신 안테나 간의 궤환채널을 정확하게 추정하기 위해서는 중계기 입력신호와 중계기 출력신호의 상관관계가 존재하지 않아야 하므로, 송/수신 LPF 및 비상관 지연기는 가능한 긴 시간지연을 가져야 한다^[8]. 그러나 이는 중계기의 총 시스템 지연을 증가시키므로, 일반적으로 송/수신 LPF 및 비상관 지연기의 길이는 해당 중계기가 허용하는 총 시스템 지연에 따라 엄격하게 제한된다.

IV. 궤환간섭 제거기(FIC)를 가지는 EDOCR

본 논문에서 제안하는 FIC를 가지는 EDOCR은 그림 5처럼 기존의 EDOCR과 IF형 FIC를 결합한 구조이다. 기존 EDOCR의 내부 등화기가 정상적으로 동작하기 위해서는 VSB (Vestigial Side Band) 복조가 선행되어야 하며, 이를 위해 주파수 및 타이밍 오프셋 (carrier & timing offset) 복원 관련 동기(synchronization) 회로가 정상적으로 동작해야 한다. 그러나, 송신기로부터 전송되는 신호보다 높은 전력을 가지는 궤환신호가 존재하면 복조기 및 등화기가 정상적으로 동작하지 못하므로 FIC는 EDOCR의 복조기 이전에 위치하여 궤환신호의 전력을 VSB 복조 및 등화가 가능

그림 5. 제안하는 FIC를 가지는 EDOCR의 구성도

Fig. 5. Structure of the proposed EDOCR with a CC-type FIC

한 수준 이하로 억압해야 한다. 참고문헌 [5], [6]에 따르면, 기존 EDOCR의 등화기가 정상적인 동작을 수행하기 위해서는 퀘환신호의 전력이 송신기로부터 전송되는 신호 대비 최소 -4dB 이하의 전력을 가져야 함을 알 수 있다.

일반적으로 ATSC 지상파 DTV를 위한 DOCR은 긴 시간지연을 가지는 프리고스트(pre-ghost)의 생성을 막기 위해 시스템 지연이 가능한 한 짧아야 하며, 수신기들의 등화능력을 고려했을 때 10 us 이내이어야 한다^[5-7]. 기존 EDOCR의 시스템 지연이 약 5.5 us 이기 때문에, FIC에 의해 야기되는 시스템 지연은 4.5 us 이하가 되어야 한다. FIC의 시스템 지연을 줄이기 위해 FIC에서 가장 긴 시간지연을 가지는 비상관 지연기는 기존 EDOCR의 내부 복/변조 필터 및 등화기 등으로 대체된다. 따라서, FIC의 시스템 지

연은 FIC 내부 송/수신 LPF의 탭 수에 의해 결정되며, 송/수신 LPF는 FIC에 허용된 시간지연 (4.5 us 이하) 이내에서 그 성능을 고려하여 설계되어야 한다. 송신 LPF는 업-샘플링 수행 후 생겨나는 미러(mirror) 이미지를 제거하기 위해 사용되므로 적은 수의 필터 탭으로 구현 가능하다. 하지만, 수신 LPF는 IF 신호에 잔존하는 인접채널 및 잡음에 의한 영향을 최소화하기 위해 우수한 스펙트럼 선택 특성을 가지는 필터, 즉 탭 수가 긴 필터를 사용해야 한다.

EDOCR 등화기 측면에서의 FIC는 매 샘플마다 퀘환채널을 추정하여 퀘환신호를 제거하기 때문에, 송신기와 중계기 사이의 다중경로 채널과는 다른 별도의 시변(time-varying) 채널을 발생시킨다. 이러한 시변채널은 등화기의 수렴성능을 열화시키기 때문에, FIC의 추가로 인해 발생하

는 등화기의 성능열화는 최소화되어야 한다.

지금까지 살펴본 제안된 중계기를 설계할 때 고려해야 할 사항들을 정리하면 다음과 같다.

- ① 제안된 중계기의 FIC는 EDOCR 복조기와 등화기의 안정적인 동작을 위해 복조기 이전에 위치해야 하며, 현재 설치되어 운용중인 EDOCR과 결합 가능해야 할 뿐만 아니라 최대한 간단한 구조를 가져야 한다.
- ② 제안된 중계기의 FIC는 높은 송신출력 확보를 위해 송신기로부터 전송되는 신호의 전력보다 최소 +30 dB 이상 큰 궤환신호를 기존 EDOCR의 복조기 및 등화기의 안정적인 동작을 위해 -4 dB 이하로 억압해야 한다.
- ③ 제안된 중계기의 총 시스템 지연은 10.0 us 이내로 제한되어야 하며, FIC에 의해 야기되는 시간지연은 4.5 us 이하가 되어야 한다.
- ④ 제안된 중계기는 FIC의 추가로 인해 발생할 수 있는 등화기의 성능열화를 최소화해야 한다.

V. 전산실험

본 절에서는 제안된 FIC를 가지는 EDOCR의 성능을 평가하기 위해 그림 6과 같은 시뮬레이터를 구축하여 전산실험을 수행한 결과를 제시한다. 일반적으로 OCR이 설치되는 지역의 주 전송채널은 30 dB 이상의 CNR (Carrier to Noise Ratio)과 송신기로부터 LOS (Line of Sight)가 확보되는 지점이다. 이러한 지역은 일반적으로 정적(static) 채널을 가지며 유효 다중경로의 최대 시간지연이 7 us 이내이므로 브라질 실험실 테스트에서 사용된 브라질 채널 A로 가정할 수 있다^[11]. 브라질 채널 A의 채널 프로파일은 표 1과 같다. 중계기 송/수신 안테나 사이의 궤환채널은 0.5 us 시간지연과 송신기로부터 전송되는 신호대비 30 dB 큰 전력의 주 궤환경로만을 갖는 1 경로 채널과 최대 3.0 us의 시간지연과 도플러 효과를 가지며 주 전송신호 전력 대비 +30 dB, +20 dB, 그리고 +10 dB의 전력을 갖는 3 경로 채널로 각각 가정하였다. 여기서, 궤환신호가 송신기로부터 전송되는 신호의 전력보다 +30 dB까지 증가하는데 36ms의 시간이 소요된다고 가정하였다. 전산실험을 위해

그림 6. 전산실험을 위한 구성도

Fig. 6. Block diagram for computer simulation

중계기 송수신 IF 중심 주파수는 13.45 MHz로 설정하였으며, FIC 및 등화기 필터의 탭 수와 그 외 주요 파라미터들을 표 2에 나타내었다.

표 1. Brazil A 채널의 다중경로 프로파일
Table 1. Channel profile of Brazil channel A

	Delay [us]	Amplitude [dB]	Phase [degree]
Main Signal	0.0	0.0	0
Post-Ghost #1	0.15	-13.8	0
Post-Ghost #2	0.22	-16.2	0
Post-Ghost #3	3.05	-14.9	0
Post-Ghost #4	5.86	-13.6	0
Post-Ghost #5	5.93	-16.4	0

1. 스펙트럼 분석

제안된 중계기의 성능을 평가하기에 앞서, 각 주요 지점에서의 신호 스펙트럼을 분석함으로써 FIC 및 EDOCR의 신호처리 과정을 살펴보자. 그림 7 (a)와 (b)는 30 dB CNR을 가지는 Brazil A 채널에 의해 왜곡된 신호의 스펙트럼과 송신기로부터 전송되는 신호보다 30 dB 큰 전력을 가지는 왜곡신호의 스펙트럼을 각각 나타낸다. 송신기로부터 전송되는 신호는 자신보다 30 dB 큰 전력을 가지는 왜곡신호와 결합되어 수신 안테나를 통해 FIC로 입력된다. FIC는 상관관계 제거기법을 바탕으로 왜곡신호를 그림 7(c)와 같이 성공적으로 제거하지만, FIC의 출력신호에는 여전히 Brazil A 채널에 의한 왜곡 및 잔류 왜곡신호가 존재한다. EDOCR은 왜곡신호가 1차 제거된 FIC 출력신호를 복조한 후 등화기를 통해 잔류 왜곡신호 및 전송채널에 의한 왜곡

표 2. 전산실험파라미터
Table 2. Simulation parameters

파라미터	특성
IF 중심 주파수	13.45 MHz
주 전송채널 및 CNR	Brazil Channel A / 30 dB
왜곡채널	1 경로 지연 채널 (온화한 채널 환경) 3 경로 지연 채널 (열악한 채널 환경)
왜곡신호 전력 (주 전송신호 전력대비)	주 왜곡경로 : + 30 dB 제1부 왜곡경로 : +20 dB (2 Hz 도플러 효과) 제2부 왜곡경로 : +10 dB (10 Hz 도플러 효과)
왜곡신호 지연	주 왜곡경로 : 0.5 us 제 1 부왜곡경로 : 1.5 us 제 2 부 왜곡경로 : 3.0 us
왜곡신호의 전력 증가속도	+30 dB 까지 약 36ms
FIC 수신 LPF 탭 수	301 (지연 : 3.5 us)
FIC 송신 LPF 탭 수	41 (지연 : 0.5 us)
FIC 적응필터 탭 수	50 (왜곡신호제거범위 : 4. 65 us)
FIC 스텝사이즈	0.00001
등화부 FFF 탭수	40 (센터 탭: 5)
등화부 FBF 탭수	192
시스템 지연	FIC : 4.0 us EDOCR : 3.5 us (프리실렉터, 저잡음 증폭기, 고출력 증폭기등의 아날로그 부분 및 A/D, D/A, 전처등화기 등은제외)

그림 7. 제안된 시스템의 스펙트럼 분석
Fig. 7. Spectrum analysis of the proposed system

을 보상하고 변조기를 통해 재변조함으로써 그림 7(d)와 같이 송신기로부터 전송된 신호의 왜곡을 깨끗하게 복원한다.

2. FIC의 성능

제안된 중계기의 궤환간섭 제거성능을 분석하기 위해 송신기로부터 전송되는 신호의 전력 대비 남아있는 궤환신호

전력을 의미하는 RFP (Residual Feedback Power)를 성능 지표로 사용하며, 다음과 같이 정의한다.

$$RFP = 10 \log_{10} \left(\frac{E[e(n)e^*(n)]}{E[s(n)s^*(n)]} \right) \quad (5)$$

여기서 $e(n)$ 은 궤환신호가 제거되어 복원된 신호 $\hat{s}(n)$ 과 송신기에서 전송된 신호 $s(n)$ 과의 차이를 나타내며,

EDOCR의 등화기가 안정적으로 작동하기 위해서는 RFP가 -4dB 이하이어야 한다. 전산실험에 사용된 1 경로 채널은 중계기 출력 신호가 짧은 시간 이내에 바로 수신되는 온화한 궤환채널 환경을, 3 경로 채널은 오랜 시간에 걸쳐 도

플러 효과에 의해 왜곡된 신호들이 수신되는 매우 열악한 궤환채널을 각각 나타낸다. 그림 8은 각 궤환채널 환경에 대한 FIC의 RFP 성능을 나타낸다. 궤환채널이 도플러 효과에 의해 유동적으로 변화함에 따라 FIC의 수렴 성능이 다

그림 8. 제안된 중계기의 궤환신호 제거성능

Fig. 8. RFP curves according to the feedback channels

그림 9. 궤환신호전력 크기에 따른 제안된 중계기의 궤환신호 제거 성능

Fig. 9. RFP curves according to the feedback powers

소 열화되지만, 앞서 살펴본 제안된 중계기의 최소 요구사항인 -4 dB의 RFP 성능을 만족하는 것을 확인할 수 있다.

제안된 중계기가 제거할 수 있는 최대 궤환신호 전력을 알아보기 위해, 1 경로 채널환경하에서 궤환신호 전력을 증가시켜가며 수렴 후 RFP 성능을 측정하였다. 궤환신호 제거 성능을 제한하는 다른 요소들(아날로그 소자의 분해능(resolution) 및 디지털 장비들의 용량(capacity)등)은 고려되지 않은 이상적인 경우를 가정하여 전산실험을 수행하였다. 그림 9는 궤환신호 전력이 주 전송신호 전력 대비 30 dB 이상인 경우, 제안된 중계기의 수렴 RFP 성능을 나타낸

다. 궤환신호 전력이 증가함에 따라 수렴 RFP 성능이 점점 열화되어, 궤환신호 전력이 44 dB 이상이 되는 경우에는 시스템 최소 요구사항인 -4 dB의 RFP 성능을 만족하지 못하였다. 따라서 제안된 중계기는 주 전송신호 전력대비 최대 44 dB의 전력을 가지는 궤환신호를 효과적으로 억압할 수 있음을 알 수 있다.

3. 등화기의 성능

IV 장에서 살펴본 바와 같이, EDOCR 측면에서의 FIC는

그림 10. 기존의 EDOCR 및 제안된 시스템의 등화 성능. (a) 기존 EDOCR의 등화 후 심볼성상. (b) 제안된 시스템의 등화 후 심볼성상. (c) 기존 EDOCR의 등화 후 MSE 곡선. (d) 제안된 시스템의 등화 후 MSE 곡선

Fig. 10. Equalizer performance of the conventional EDOCR and proposed EDOCR with an FIC. (a) Symbol scatter diagram of the conventional EDOCR. (b) Symbol scatter diagram of the proposed EDOCR with an FIC. (c) MSE curve of the conventional EDOCR. (d) MSE curve of the proposed EDOCR with a FIC.

그림 11. 기존의 EDOCR 및 제안된 중계기의 SER 성능 (지능형 양자화기 전과 후)

Fig. 11. SER performance of the conventional EDOCR and proposed EDOCR with an FIC before and after the use of an intelligent slicer

매 샘플마다 궤환신호를 추정 및 제거하여 추가적인 시변 (time-varying) 채널을 발생시키기 때문에, FIC의 적용은 EDOCR의 기존 등화기 성능에 열화를 초래할 수 있다. 그림 10과 11은 궤환신호가 존재하지 않는 경우에서의 기존 EDOCR의 등화성능과 궤환신호가 존재할 경우에서의 제안된 FIC를 가지는 EDOCR의 등화성능을 각각 MSE (Mean Square Error)와 SER (Symbol Error Ratio) 성능 측면에서 나타낸 것이다. 그림 10(c)와 (d)에 의하면, 제안된 중계기의 등화 후 MSE성능은 기존 EDOCR의 MSE 성능에 비해 약 3dB 정도 열화되었다. 이러한 MSE 성능 열화를 SER 측면에서 살펴보면, 그림 11의 오른쪽 두 개의 곡선과 같이 10^{-4} SER 성능 기준, 약 2 dB 정도의 큰 CNR 성능 열화가 발생하였다. 그러나 EDOCR 내부의 등화기는 오류 정정 능력이 있는 지능형 양자화기 (Intelligent Slicer)를 사용하여 열악한 MSE 성능으로 인한 에러 전파를 최소화하기 때문에^[10], 실제 등화 성능의 열화는 그림 11의 왼쪽 두 개의 곡선과 같이 10^{-4} SER 성능 기준, 약 0.1 dB 정도의

매우 미미한 성능 열화가 발생하였다. 따라서, 제안된 FIC를 가지는 EDOCR은 기존 등화기의 성능열화 없이, 주 전송신호보다 약 30dB 큰 전력을 가지는 궤환신호를 효과적으로 제거할 뿐 아니라 주 다중경로 및 잡음에 의한 신호 왜곡을 보상하여 우수한 품질의 신호를 재전송한다.

VI. 결 론

본 논문에서는 ATSC 지상파 DTV 시스템을 위한 중계기로서 FIC를 가지는 EDOCR을 제안하고 전산실험을 통하여 그 성능을 분석하였다. 제안된 중계기는 중계기 송수신 안테나의 낮은 분리도로 인해 야기된 궤환신호를 FIC를 통해 EDOCR 내부의 등화기가 제거할 수 있는 수준으로 억압함으로써 송신출력을 높일 수 있을 뿐만 아니라, 등화기를 통하여 송신기와 중계기 간 잡음 및 다중경로 신호와 잔존하는 궤환신호를 동시에 제거하여 우수한 출력신호 품질을 보장

할 수 있다. 전산실험 결과에 의하면, 제안된 중계기는 송신 기로부터 전송되는 신호보다 약 30 dB 큰 전력을 가지는 궤환신호를 효과적으로 제거하였을 뿐만 아니라 Brazil A 채널과 같은 다중경로에 의한 신호 왜곡도 동시에 보상하였다.

본 논문에서 제안된 중계기는 기존 DOCR이 가지는 송신출력의 한계를 극복하고 우수한 재전송신호의 품질을 확보할 수 있어, 주파수의 추가 할당 없이 ATSC 지상파 DTV 방송 영역을 확장하고 음영지역을 해소하는 데 크게 기여할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] A. Mattsson, "Single Frequency Networks in DTV," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 51, no. 4, pp. 413-422, Dec. 2005.
- [2] K. Salehian, M. Guillet, B. Carson, and A. Kennedy, "On-channel repeater for digital television broadcasting service," IEEE Trans. Broadcasting, vol. 48, no. 2, pp. 97 - 102, June 2002.
- [3] ATSC, "Standard A/110: Synchronization Standard for Distributed Transmission," Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., July 2004.
- [4] ATSC, "Recommended Practice A/111: Design of Synchronized Multiple Transmitter Networks," Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C., Sept. 2004.
- [5] S. W. Kim, Y.-T. Lee, S. I. Park, H.M. Eum, J. H. Seo, and H. M. Kim, "Equalization Digital On-Channel Repeater in Single Frequency Networks," IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 52, no. 2, pp. 137-146, June 2006.
- [6] Y.-T. Lee, S. I. Park, H. M. Eum, J. H. Seo, H. M. Kim, S. W. Kim, and J. S. Seo, "A Design of Equalization Digital On-Channel Repeater for Single Frequency Network ATSC System," IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 53, no. 1, pp. 23-37, Mar. 2007.
- [7] H. M. Kim, S. I. Park, J. H. Seo, H. Eum, Y.-T. Lee, S. I. Lee, and H. Lee, "Modulation and Pre-equalization Method to minimize time delay in Equalization Digital On-Channel Repeater," IEEE Trans. Broadcasting, vol. 54, no. 2, pp. 249-256, June. 2008.
- [8] A. Wiewiorka and P. N. Moss, "Digital on-channel repeater for DAB," BBC R&D White Paper WHP120, BBC, Sept. 2005.
- [9] K. Imamura, "Verification of Performance of Coupling Loop Interference Canceller for On-Air Relay in an SFN On-Channel Repeater for ISDB-T," in Proceedings of the 56th Annual IEEE Broadcast Symposium (BTS 2006), Washington DC, USA, Sept. 2006.
- [10] H.-N. Kim, S. I. Park, and S. W. Kim, "Performance analysis of error-propagation effects in the DFE for ATSC DTV receivers," IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 49, no. 3, pp. 249 - 257, Sept. 2003.
- [11] Mackenzie, ABERT, and SET, "General description of laboratory tests," DTV Field Test Report in Brazil, July 2000.

저 자 소 개

박 성 익

- 1996년 3월 ~ 2000년 2월 : 한양대학교 전자전기공학부 (공학사)
- 2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 선임연구원
- 주관심분야 : 오류정정부호, 디지털 방송시스템, 디지털 신호처리

이 영 준

- 2006년 2월 : 부산대학교 전자전기공학부 (공학사)
- 2008년 2월 : 부산대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 전자전기공학과 박사과정
- 주관심분야 : 디지털 방송시스템, 디지털 신호처리, 적응신호처리, 부채널 공격

저 자 소 개

서 기 환

- 2006년 2월 : 부산대학교 전자전기공학부 (공학사)
- 2008년 2월 : 부산대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 전자전기공학과 박사과정
- 주관심분야 : 디지털 방송시스템, 적응신호처리, 디지털 신호처리

음 호 민

- 1992년 3월 ~ 1998년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학사)
- 1998년 3월 ~ 2000년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2000년 5월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 선임연구원
- 주관심분야 : 영상 신호처리, DTV 전송시스템

서 재 현

- 1993년 3월 ~ 1999년 2월 : 경북대학교 전파공학과 (공학사)
- 1999년 3월 ~ 2001년 2월 : 경북대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2001년 1월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 선임연구원
- 주관심분야 : 디지털 방송시스템, 디지털 신호처리

김 흥 목

- 1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
- 1993년 2월 ~ 1995년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 1995년 3월 ~ 2001년 12월 : 포스코 기술연구소 연구원
- 2002년 1월 ~ 2003년 10월 : (주)맥스웨이브 연구개발팀 팀장
- 2004년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 팀장
- 주관심분야 : RF 신호처리, 디지털 신호처리, DTV 전송시스템

김 형 남

- 1993년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 2003년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2003년 3월 ~ 2007년 2월 : 부산대학교 전자전기통신공학부 조교수
- 2007년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 전자전기통신공학부 부교수
- 주관심분야 : 적응신호처리, 레이더 신호처리, 디지털 방송신호처리, BCI