

궤환신호 제거기를 가지는 ATSC 지상파 DTV 등화형 디지털 동일채널 중계기

이영준*, 서기환*, 박성익**, 음호민**, 김흥묵**, 김형남*

*부산대학교 전자전기공학과, **한국전자통신연구원 지상파전송기술연구팀

Equalization Digital On-Channel Repeater with a feedback canceller for ATSC Terrestrial DTV System

Young-Jun Lee*, Ki-Hwan Suh*, Sung Ik Park**, Homin Eum**, Heung Mook Kim**, and Hyoung-Nam Kim*

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

**Digital Broadcasting Research Division, ETRI

hnkim@pusan.ac.kr

Abstract: 본 논문에서는 ATSC 지상파 디지털 방송 영역 확장을 위한 궤환신호 제거기(Feedback Canceller: FC)를 가지는 등화형 디지털 동일채널 중계기 (Equalization Digital On-Channel Repeater: EDOCR) 구조를 제안하고 다양한 환경의 모의실험을 통해 성능을 검증한다. EDOCR 은 내부 등화기를 이용하여 주 송신기와 EDOCR 사이의 다중경로 및 잡음에 의한 신호왜곡을 보상하여 기존의 디지털 동일채널 중계기(Digital On-Channel Repeater: DOCR)보다 우수한 품질의 신호를 재전송할 수 있다. 하지만 주 전송신호 보다 큰 전력을 가지는 궤환신호를 제거하지 못해 송/수신 안테나간의 이격수준 이하로 송신출력이 제한되어 넓은 방송 영역 확장을 이룰 수 없다. 따라서 디지털 신호처리 기반의 여러 FC 중 구조가 간단한 IF 형 FC 를 기존의 EDOCR 에 적용함으로써, 이러한 송신전력 제한문제를 해결한다. 모의실험 결과에 의하면, 제안된 FC 를 가지는 EDOCR 은 주 전송신호 전력보다 큰 궤환신호를 효과적으로 제거할 뿐만 아니라 기존 DOCR 에 비해 우수한 품질의 신호를 재전송한다.

Keywords: ATSC, Terrestrial DTV, EDOCR, 궤환신호 제거기

I. 서론

21세기에 이르러 정부를 중심으로 한 지상파 방송 사들은 2012년을 목표로 기존의 아날로그 방송 서비스를 종료하고, 이를 시청자들의 다양한 욕구를 충족시킬 수 있는 고품격 디지털 방송 서비스로 전환하고 있다. 이러한 전환의 이유에는 디지털 방송 자체가 가지는 여러 가지 장점들과 함께, 디지털 신호처리 기반의 단일 주파수 망(Single Frequency Network: SFN) 구축이 가

능한 것에 있다. 기존의 아날로그 방송망에서는 중계기의 송/수신 안테나간의 궤환신호로 인한 신호 간섭 현상을 최소화하기 위해, 중계기 송신전력을 매우 낮추거나 중계기마다 각각 다른 주파수를 할당하였다. 따라서 각 중계기의 방송 확장 가능 영역은 매우 제한적이며 주파수 자원을 비효율적으로 사용해왔다. 이에 반해, 디지털 방송망은 디지털 동일채널 중계기(Digital On-Channel Repeater: DOCR)를 바탕으로 모든 중계기가 동일한 주파수를 사용할 수 있으므로 주파수 이용 효율이 높고 방송 구역 내에 안정적인 전파 세기를 보장한다. 그러나 여전히 제한된 DOCR의 송신전력으로 인해 넓은 영역에 방송 서비스를 제공할 수 없고 재전송신호의 품질이 떨어진다는 단점이 있다 [1].

기존의 DOCR이 가지는 문제들을 해결하기 위해 등화형 디지털 동일채널 중계기(Equalization DOCR: EDOCR) 및 DOCR을 위한 궤환신호 제거기(Feedback Canceller: FC)에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다 [1]-[3]. EDOCR은 기존의 DOCR에 판정궤환 등화기(Decision Feedback Equalizer: DFE)를 적용한 것으로 주 송신기와 EDOCR 사이의 다중경로 및 잡음으로 인한 신호 왜곡을 보상하고 주 전송신호보다 작은 전력을 가지는 궤환신호를 효과적으로 제거할 수 있다. 그러나 주 전송신호 보다 큰 전력을 가지는 궤환신호는 제거할 수 없으므로, EDOCR의 송신전력 또한 송/수신 안테나간의 이격수준 이하로 엄격하게 제한된다. FC 는 디지털 신호처리를 바탕으로 이러한 큰 전력의 궤환신호를 EDOCR 내부의 등화기가 제거할 수 있는 전력 수준으로 억압한다. 따라서 EDOCR에 FC를 적용한다면, 기존의 DOCR에 비해 우수한 품질의 출력신호를 가질 뿐만 아니라 매우 높은 송신전력을 가지므로 넓은 방송 영역 확장을 이룰 수 있다. 본 논문에서는 이러한 FC를 가지는 EDOCR 구조를 제안하고, 다양한 설계 환경에 대한 FC의 궤환신호 제거 성능 및 내부 DFE의 등화 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 기존의 EDOCR의 구조 및 특징에 대해 알아보고 III장을 통해

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2009-S-015, 지상파 DTV 전송효율고도화 기술개발]

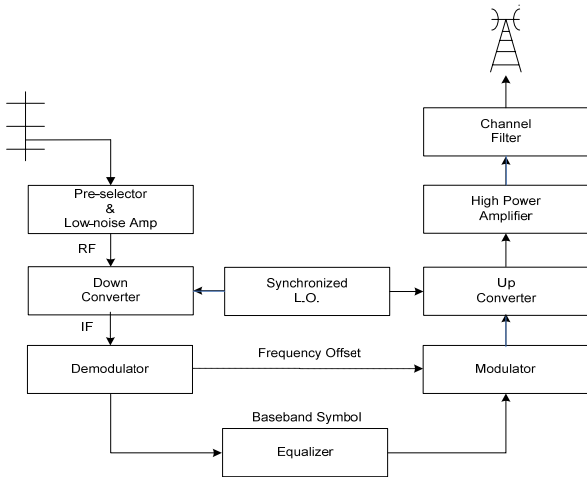


그림 1. 기존 EDOCR 의 구조.

IF형 FC를 살펴본다. IV장에서는 본 논문에서 제안하는 FC를 가지는 EDOCR 의 구조에 대해 살펴보고 제안된 중계기의 요구사항에 대해 살펴본다. V장의 모의실험을 통해 다양한 실제 환경하에서 제안된 중계기의 성능을 분석하고 VI장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 등화형 디지털 동일채널 중계기

기존 등화형 디지털 동일채널 중계기(Equalization Digital On-Channel Repeater: EDOCR)는 그림 1과 같이. 수신 안테나, 프리실렉터, LNA, 주파수 하향 변환기, 복조기, 등화기, 변조기, 주파수 상향변환기, HPA, 채널 필터 및 송신 안테나로 구성된다. EDOCR 내부의 신호 처리 과정을 살펴보면, 수신 안테나를 통해 수신된 RF 신호는 프리실렉터와 LNA를 통해 인접채널 제거 및 증폭되고 주파수 하향 변환기를 통해 IF 대역 신호로 변환된다. 이후 복조기를 통해 기저대역 심볼로 변환되어 등화기를 통해 주 전송채널과 잡음에 의한 신호 왜곡 및 작은 전력의 왜환신호가 제거된다. 등화기를 통해 복원된 신호는 변조기와 주파수 상향 변환기를 통해 RF 신호로 변조되고 증폭기와 신호 마스크를 위한 채널 필터를 거쳐 송신 안테나를 통해 재전송된다.

DOCR과 구분되는 EDOCR은 특징은 다음과 같다 [1]. 첫째, EDOCR은 FEC 부호화부를 사용하지 않기 때문에 DOCR의 입력 신호와 출력 신호가 다른 모호성 문제를 가지지 않는다. 둘째, EDOCR은 TBD(Trace Back Depth: TBD) 1인 Intelligent 양자화기를 가지는 판정왜환 등화기를 사용하여 주 송신기와 EDOCR 사이의 다중경로 및 잡음으로 인한 신호 왜곡을 보상하여 DOCR에 비해 우수한 품질의 출력 신호를 가진다. 뿐만 아니라 주 전송신호 보다 낮은 전력을 가지는 왜환신호를 제거할 수 있어, DOCR에 비해 다소 높은 송신출력을 가진다. 셋째, EDOCR은 상대적으로 간단한 구조를 가지며 이로 인해 낮은 시스템 지연을 가진다. 또한, 복조기를 사용함으로써 수신 신호에 대한 신호 선택성이 DCOR에 비해 우수하다.

그러나 EDOCR은 주 전송신호 보다 큰 전력을 가지는 왜환신호를 제거하지 못하므로 EDOCR의 송신전력은 송/수신 안테나 사이의 이격수준 이하로 엄격히

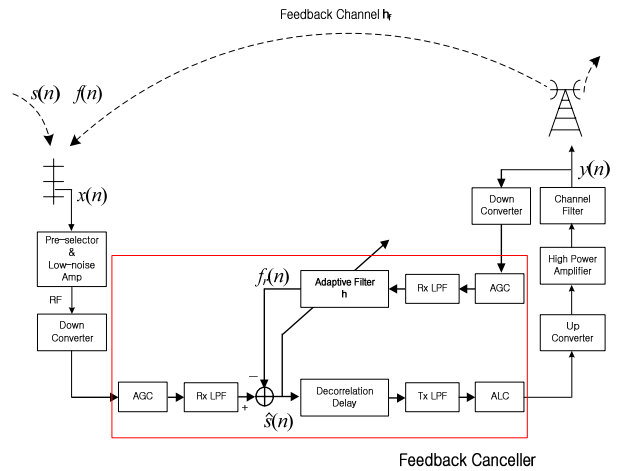


그림 2. 기존 IF 형 FC 의 구조.

제한된다. 따라서 EDOCR은 위에서 언급한 바와 같이, DOCR에 비해 여러 우수한 특징을 가지나 방송 확장 가능 영역은 크게 개선하지 못한다. 광범위의 방송 영역 확장을 위해서는 별도의 왜환신호 제거기를 통해 주 전송신호보다 큰 전력을 가지는 왜환신호를 EDOCR의 내부 등화기가 제거할 수 있는 전력수준 이하로 억압해 주어야 한다.

III. IF 형 왜환신호 제거기

디지털 신호처리 기반 왜환신호 제거기(Feedback Canceller: FC)는 크게 IF형 FC와 복조형 FC로 나뉘어진다 [2]-[3]. IF형 FC는 중계기의 출력신호를 기준신호로 사용하여 왜환되어 들어오는 신호와의 상관관계를 통해 송/수신 안테나 사이에 형성되는 왜환채널을 추정하고, 이를 바탕으로 왜환되는 신호를 제거한다. 복조형 FC는 왜환되는 신호를 복조한 후 주 전송신호에 포함되어 있는 파일럿 신호를 통해 등화기법으로 왜환채널을 추정하고, 이를 바탕으로 왜환신호를 제거한다. 일반적으로 IF형 FC는 간단한 구조를 가지고 신호가 가지는 전력에 상관없이 왜환신호를 제거할 수 있으나, 기준신호의 자기상관관계가 떨어지는 경우 왜환신호 제거 성능이 매우 열화된다. 반면, 복조형 FC는 IF형 FC에 비해 뛰어난 왜환신호 제거 성능을 가지나 EDOCR과 같이 주 전송신호 보다 큰 전력의 왜환신호를 제거할 수 없다. EDOCR을 위한 FC는 우수한 왜환신호 제거 성능 보다는 간단한 구조와 큰 전력의 왜환신호를 억압할 수 있는 능력을 요구하므로, 본 논문에서는 IF형 FC만을 고려한다.

IF형 FC는 그림 2와 같은 구조를 가지며 다음과 같은 과정을 통해 왜환신호를 제거한다. 주 전송신호를 $s(n)$, 중계기 재전송신호를 $y(n)$, 왜환신호를 $f(n)$ 이라 하면, 입력신호 $x(n)$ 은 다음과 같이 정의된다.

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

여기서 \mathbf{h}_f 는 송/수신 안테나 사이에 형성되는 실제 왜

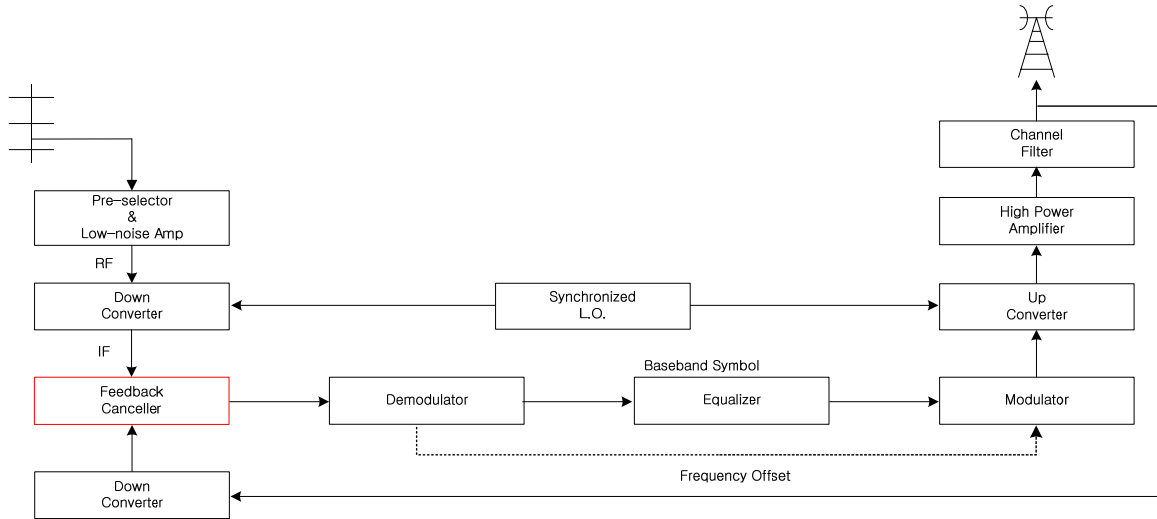


그림 3. 궤환신호 제거기를 가지는 등화형 디지털 동일채널 중계기의 구조.

환채널을, \mathbf{y}_n 은 적응필터의 길이를 가지는 $y(n)$ 벡터를 나타낸다. IF형 FC는 적응필터 계수 \mathbf{h} 와 \mathbf{y}_n 을 이용하여 식(2)와 같이 궤환신호의 레플리카 신호를 형성하고, 이를 입력신호 $x(n)$ 에서 감산함으로써 식(3)과 같이 궤환신호를 제거한다.

$$f_r(n) = \mathbf{h}^T \mathbf{y}_n \quad (2)$$

$$\hat{s}(n) = x(n) - \mathbf{h}^T \mathbf{y}_n \quad (3)$$

이후, 복원된 신호 $\hat{s}(n)$ 과 \mathbf{y}_n 의 상호상관관계를 통해 남아있는 궤환채널에 대한 정보를 추정하고, 이를 LMS 알고리즘을 이용하여 다음과 같이 적응필터의 계수에 반영한다.

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

여기서 μ 는 스텝사이드로 FC의 수렴속도 및 수렴 후 성능을 결정짓는 요인이다.

IF형 FC에서 발생하는 시스템 지연은 수신 LPF, 송신 LPF의 차수 및 시간지연기(Decorrelation Delay: DD)의 길이에 의해서 결정된다. 우수한 궤환신호 제거 성능을 얻기 위해서는 수신 LPF의 주파수 응답 특성이 좋아야 하므로 큰 차수를 가져야 하며, 긴 DD를 이용하여 주 전송신호 $s(n)$ 과 재전송신호 $y(n)$ 의 상관관계를 최대한 줄여야 한다 [2]. 그러나 큰 차수의 LPF와 긴 DD 는 중계기의 시스템 지연을 전체적으로 증가시키므로 수신 LPF의 차수와 DD의 길이는 해당 중계기가 허용하는 총 시스템 지연에 따라 엄격하게 제한된다.

IV. 제안하는 궤환신호 제거기를 가지는 등화형 디지털 동일채널 중계기

그림 3은 본 논문에서 제안하는 궤환신호 제거기를

표 1. 제안된 중계기의 주요 요구성능

주요사항	요구성능
제거가능 궤환신호 전력	+ 20dB 이상 (주 전송신호 전력대비)
궤환신호 억압 수준	-4dB 이하 (주 전송신호 전력대비)
궤환신호 제거범위	4.0 μ s 이하
등화 성능 열화 허용범위	2dB이하
시스템 지연	1.0 μ s 이하

가지는 등화형 디지털 동일채널 중계기의 구조를 나타낸다. 기존의 EDOCR과 IF형 FC를 결합한 구조로서, FC의 DD의 역할을 EDOCR의 등화기, 복조기 내부의 PSF (Pulse Shaping Filter) 및 채널필터등이 대체한다. FC는 EDOCR 내부 등화기의 정상적인 동작을 위해 복조기 이전에 위치한다. 즉, 주 전송신호보다 큰 전력의 궤환신호는 FC에 의해 EDOCR의 내부 등화기가 제거할 수 있는 전력수준 이하로 억압되고, 내부 등화기는 주 송신기와 EDOCR 사이의 다중경로 및 잡음으로 인한 신호 왜곡과 앞서 억압된 궤환신호를 효과적으로 제거한다. 따라서 기존의 DOCR에 비해 매우 넓은 영역의 방송 서비스를 제공할 수 있으며 재전송되는 신호의 품질이 또한 DOCR에 비해 우수하다.

제안된 중계기의 성능을 살펴보기에 앞서, 제안된 중계기가 가져야 하는 요구성능에 대해 살펴본다. 첫째, 제안된 중계기는 넓은 방송 영역 확장을 위해 주 전송신호 전력대비 최소 +20dB이상의 송신출력을 가져야 한다. 둘째, FC는 기존 EDOCR의 내부 등화기의 안정적인 성능을 보장하기 위해 궤환신호의 전력을 주 전송신호 전력 대비 -4dB이하로 억압하여야 한다. [1]에 따르면, 기존 EDOCR의 내부 등화기는 주 전송신호 전력 대비 -4dB의 궤환신호에도 강건한 성능을 보인다. 셋째, FC와 EDOCR의 결합으로 인해 발생하는 EDOCR의 성능 열화가 Intelligent 양자화기 후의 SER에 영향을 미치지 않아야 한다. EDOCR입장에서는 FC 또한 시변(Time-varying)채널로서 이로 인한 내부 등화기의 성능 열화가 불가피하다. 5장의 모의실험 결과에 따르면, 약 2dB이하의 등화 성능 열화는 Intelligent 양자화

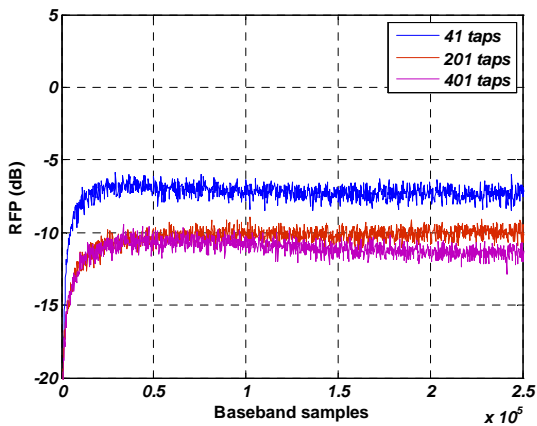


그림 4. 제안된 중계기의 왜관신호 제거 성능.

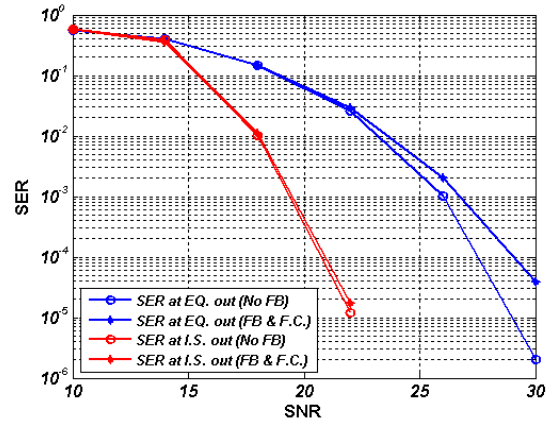


그림 5. 제안된 중계기의 등화 성능.

표 2. 모의실험 환경

파라미터	특성
주 전송채널	Brazil Channel A
등화기 필터길이	FF필터/ FB필터/Center Tap: 40/192/5,
왜관채널	3 path 채널 (1 st : 0.45 μ s, 2 nd : 1.85 μ s, 3 rd : 2.32 μ s)
왜관신호 전력 (주 전송신호 대비)	1 st : +20dB, 2 nd : +5dB, 3 rd : -10dB
송신전력 증가율	+20dB까지 0.0929초 (선형증가)
FC의 수신 LPF 길이	41탭 / 201탭 / 401탭 / 601탭
스텝사이즈 μ	0.00001

기의 출력에 거의 영향을 미치지 않는다. 마지막으로, FC의 추가로 인해 발생하는 시스템 지연이 최소화되어야 하며 최대한 간단한 구조를 가져야 한다. 이상 제안된 중계기가 가져야 할 요구성능을 표 1에 정리하였다.

V. 모의실험 분석

본 논문에서 제안된 FC를 가지는 EDOCR의 성능을 분석하기 위해 표 2와 같은 다양한 설계 환경에서 모의실험을 수행하였다. 왜관신호 제거 성능 지표로는 아래와 같은 RFP(Residual Feedback Power)를 사용하였다.

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

여기서 $e(n)$ 은 왜관신호가 제거되어 복원된 신호 $\hat{s}(n)$ 과 주 전송신호 $s(n)$ 의 차이 신호를 나타낸다. EDOCR 내부 등화기의 성능 지표로는 SER(Symbol Error Rate)을 사용하였다.

그림 4는 제안된 FC를 가지는 EDOCR에서 FC의 왜관신호 제거성능을 나타낸다. 앞서 언급한 바와 같이, FC의 수신 LPF의 길이가 늘어남에 따라 우수한 왜관신호 제거성능을 보임을 확인할 수 있다. 모든 탭의 LPF가 FC 요구사항인 -4dB 이하의 RFP를 만족시키며, 41탭의 LPF를 사용함으로써 추가되는 시스템 지연을 최소화할 수 있다. 그림 5는 EDOCR 내부 등화기를 통

과한 신호와 Intelligent 양자화기를 통과한 신호의 SER를 각각 나타낸다. 4장에서 언급한 바와 같이, FC의 적용으로 내부 등화기의 성능이 다소 열화되나, 이러한 열화가 Intelligent 양자화기의 출력에 미치는 영향을 매우 미미함을 알 수 있다. 따라서 제안된 FC를 가지는 EDOCR은 주 전송신호 전력보다 20dB 큰 왜관신호를 효과적으로 제거할 뿐 아니라 주 전송채널 및 잡음에 의한 신호 왜곡도 보상하여 우수한 품질의 신호를 재전송한다.

VI. 결론

본 논문에서는 ATSC 지상파 DTV 시스템을 위한 왜관신호 제거기를 가지는 등화형 디지털 동일채널 중계기 구조를 제안하고 다양한 모의실험을 통하여 그 성능을 분석하였다. 본 논문에서 제안된 중계기는 기존의 DOCR이 가지는 제한된 송신전력의 한계를 극복하고 우수한 재전송신호 품질을 확보할 수 있어, ATSC 지상파 DTV 방송 서비스 영역을 확장하고 음영지역을 해소하는 데 크게 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] 박성익, 음호민, 이용태, 김홍목, 서재현, 김형남, 김승원, "ATSC 지상파 디지털 TV 방송의 단일 주파수 망 구성을 위한 등화형 디지털 동일채널 중계기," 방송공학회논문지 2004년 제9권 제4호 pp. 371-384.

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

[3] 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.