

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제21권 제2호, 2016년 3월 (JBE Vol. 21, No. 2, March 2016)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2016.21.2.261>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

귀환 채널 추정 및 RFP 성능을 개선한 간섭 제거 기반의 동일 채널 중계기

최수철^{a)}, 조기량^{b)†}

An Interference Canceller-based Digital On-Channel Repeater to Improve Feedback Channel Estimation and RFP Performance

Soocheol Choi^{a)} and Kiryang Cho^{b)†}

요약

본 논문에서는 타이밍 오프셋 보상을 위한 위상 전 왜곡 기법, 파일럿 성분 추정과 제거를 위한 직류 제거기, 송수신 신호 사이의 상관도를 기반으로 귀환 신호의 지연 시간을 추정하는 기법을 이용한 DAB(Digital Audio Broadcasting)용 간섭 제거 기반 동일 채널 중계기를 제안하고, 이를 ATSC(Advanced Television Systems Committee)시스템에 적용한다. 제안한 간섭 제거 기반의 동일 채널 중계기는 주송신 신호보다 간섭 신호가 더 큰 환경에서의 간섭 제거 능력이 확인되었으며, 이에 따라 중계기의 송출 능력의 개선, 짧은 처리 지연 시간과 더불어 양호한 신호 품질이 얻어짐을 시뮬레이션을 통하여 확인한다.

Abstract

In this paper, Method for the phase distortion compensation timing offset and DC eliminator for the pilot component estimation and removal, transmitted and received signal correlation in the delay scheme DAB interference cancellation based on the same channel for using for estimating the feedback signal based on a between for removal for the timing offset compensation It proposes a repeater. This was applied to the ATSC system. The on-channel repeater of the proposed interference cancellation based on the interference removing capability is improved in interference signal is 20dB greater than the primary transmission signal environment via the return channel estimation and improve performance RFP. Accordingly, it was confirmed by simulation that good signal is sent out with the improvement of the ability of the repeater.

Keywords : ATSC system, on-channel repeater, interference cancellation

a) 한국방송공사(KBS)

b) 전남대학교(Chonnam National University)

† Corresponding Author : 조기량(Kiryang Cho)

E-mail: krcho@jnu.ac.kr

Tel: +82-061-659-7236

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0072-7387>

· Manuscript received February 17, 2016; Revised March 7, 2016; Accepted March 7, 2016.

1. 서론

디지털 기술의 발달에 힘입어 세계 각국에서 지상파 DTV(Digital Television)방송망을 핵심 인프라로 활용하기 위한 노력이 지속되고 있다. 하지만 국내 지상파 DTV 표준으로 선정된 ATSC(Advanced Television Systems Committee) 방식은 단일 주파수망인 SFN(Single Frequency Network)의 구성이 어렵다고 하는 문제점을 가지고 있다^[1].

SFN의 구축은 방송 주파수의 이용 효율을 향상시킬 수 있고, 또한 방송 구역 내에서 안정적인 전파 세기를 보장할 수 있어서 방송 서비스 품질을 높일 수 있다^[2].

이와 같은 SFN의 여러 가지 장점을 확보하기 위하여 ATSC DTV 시스템을 위한 동일 채널 중계기인 DOCR(Digital On-Channel Repeater) 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다^[3~5].

초기에 제안된 DOCR에는 RF(Radio Frequency) processing DOCR, IF(intermediate frequency) processing DOCR, baseband decoding DOCR의 3가지 형태로 분류할 수 있다^[2].

이들 초기 DOCR은 신호 품질의 저하, 인접 채널 간섭, 귀환 신호에 의한 송출 능력의 제한, DOCR 내에서의 긴 처리 시간 등이 각각의 문제점으로 부각되었다^[2]. 한국전자통신연구원(ETRI)에서 제안된 등화형 동일 채널 중계기(EDOCR : Equalization DOCR)^[6]는 등화기를 이용하여 수신 신호에 포함된 귀환 신호 성분을 제거하고, 동시에 주송신 신호의 복원도 수행하여 초기 DOCR이 가지고 있던 문제점을 크게 향상시켰으나, 등화기를 통하여 귀환 신호 제거가 이루어지므로 귀환 신호의 전력이 주송신 신호보다 큰 경우에는 귀환 신호의 제거가 어렵다. 따라서 송수신 안테나 사이의 격리도(isolation)가 충분히 확보되어야 하며, 송출 전력에 제한을 받게 된다^[7].

한편, DAB(Digital Audio Broadcasting)용으로 고안된 간섭 제거 기반의 DOCR인 IC-DOCR(Interference Cancellation Digital On Channel Regenerative Repeater)^[7]은 등화기 대신에 적응형 FIR(Finite Impulse Response) 필터를 이용하여 귀환 신호를 제거함으로써 DOCR의 송출 능력을 높일 수 있다^[7~8].

본 논문에서는 DAB용 간섭 제거 기반의 동일 채널 중계

기를 제안하고, 이를 ATSC 시스템에 적용하였다. 제안한 중계기는 파일럿 성분을 효과적으로 추정하고 제거하기 위하여 이동 평균기(MAF : Moving Average Filter)를 이용한 직류 제거기를 포함하고, 타이밍 오프셋에 의한 위상 회전을 보상하기 위한 위상 전 왜곡(phase pre-distortion) 기법을 통해 보다 정확한 귀환 채널 추정이 이루어지도록 시스템을 설계하였다. 또한, 시스템 지연 시간을 줄이기 위하여 부분 갱신(partial update) 기법을 사용하는 IC-DOCR을 기반으로 시스템을 설계하고, 정확한 부분 갱신 및 위상 전 왜곡 기법을 위해 DOCR 송수신 신호 사이의 상관도를 이용한 귀환 신호 지연 시간 추정 기법을 적용하였다.

또한, 본 논문에서 제안한 ATSC용 IC-DOCR의 성능 평가를 위하여 주송신 신호보다 간섭 신호가 큰 환경에서 간섭 제거 능력에 대한 확인과 더불어 송출 능력의 개선, 짧은 처리 시간, 신호 품질에 대해 시뮬레이션을 통하여 고찰하였다.

II. 간섭 제거 기반의 동일 채널 중계기

그림 1은 IC-DOCR 시스템 구성도를 나타낸 것이다.

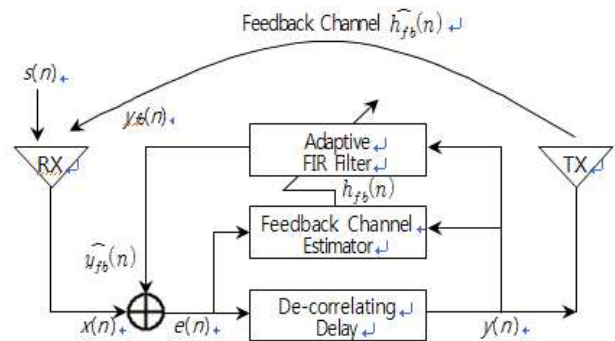


그림 1. 간섭 제거 기반의 동일 채널 중계기
Fig. 1. Interference Cancellation Digital On Channel Regenerative Repeater(IC-DOCR)

IC-DOCR에서는 수신 안테나로 유입되는 귀환 신호 성분 $y_{fb}(n)$ 을 제거하기 위하여 적응형 FIR 필터를 이용한 귀환 신호 성분에 대한 추정이 이루어진다. 적응형 FIR 필

터의 탭 갱신은 그 효율성과 단순성 때문에 일반적으로 LMS(Least Mean Square) 알고리즘이 이용된다⁹⁾.

그림 1에서 예러 신호 $e(n)$ 은 입력 신호 $x(n)$ 과 FIR 필터로부터 추정된 귀환 신호 $\hat{y}_{fb}(n)$ 과의 차, 즉

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

으로 정의된다. 여기에서, T 는 전치(transpose)를 의미한다. 식 (1)에서 오차 신호 $e(n)$ 은

$$e(n) = [e(n), e(n-1), \dots, e(n-K+1)]^T \quad (2)$$

이며, 추정 귀환 신호인 $\hat{y}_{fb}(n)$ 은 FIR(Finite Impulse Response) 필터의 탭 계수를 나타내는 벡터로서

$$\hat{h}_{fb}(n) = [\hat{h}_0(n), \hat{h}_1(n), \dots, \hat{h}_{n-1}(n)] \quad (3)$$

으로 나타낸다. 또한, DOCR 송출 신호 벡터인 $y(n)$ 은

$$y(n) = [y(n), y(n-1), \dots, y(n-K+1)] \quad (4)$$

이다. 여기에서, K 는 FIR 필터의 탭 수이다.

식 (1)에서 예러 신호 $e(n)$ 이 최소로 되기 위해서는 귀환 신호 성분인 $y_{fb}(n)$ 이 완벽하게 제거되어야 하고, 이를 위해서는 입력 신호 $x(n)$ 에 포함된 귀환 신호 $y_{fb}(n)$ 과 추정 귀환 신호 $\hat{y}_{fb}(n)$ 이 동일한 값을 갖도록 귀환 채널의 추정이 제대로 이루어져야 한다.

필터의 탭 계수 벡터 $\hat{h}_{fb}(n)$ 를 구하기 위한 목적 함수 F 는 식 (4)와 같이 정의된다.

$$F = E[|e(n)|^2] = E[|x(n) - \hat{h}_{fb}^T(n)y(n)|^2] \quad (5)$$

식 (5)의 목적 함수 F 가 최소(이상적으로는 0)로 된 때에 추정 귀환 신호는 송신 안테나로부터의 귀환 신호에 거의 근접하게 되며, 이때의 $\hat{h}_{fb}(n)$ 이 최적의 필터 탭 계수로 되는 것이다. LMS 알고리즘에서는 다음 식에 따라 필터의 탭 계수 $\hat{h}_{fb}(n)$ 을 갱신한다⁹⁾.

$$\hat{h}_{fb}(n+1) = \hat{h}_{fb}(n) + \mu e(n)y(n) \quad (6)$$

여기에서, μ 는 스텝 파라미터라고 하며, LMS 알고리즘을 이용한 반복 계산 과정에서 수렴성이나 안정성을 조절하기 위한 파라미터이다. 식 (6)에서 적응형 FIR 필터의 탭 계수의 갱신은 송출 신호 벡터 $y(n)$ 과 오차 신호 $e(n)$ 의 곱을 이용하여 이루어짐을 알 수 있다.

IC-DOCR에서 상관도 감소 지연(de-correlating delay)이 없을 경우에 예러 신호 $e(n)$ 은 곧 송출 신호 $y(n)$ 이 되고, 높은 상관도로 인해 귀환 채널 추정 성능이 제한을 받게 된다. 따라서 IC-DOCR에서는 송출 신호와 예러 신호 사이의 상관도를 낮추기 위해 식 (7)과 같이 상관도 감소 지연을 적용한다.

$$y(n) = e(n - \Delta) \quad (7)$$

IC-DOCR에서 상관도가 제거될 정도로 충분한 길이의 지연 시간이 보장되면 귀환 채널 추정 성능이 높아진다. 즉, 주송신 채널의 상태가 열약할수록 ISI(Inter Symbol Interference)에 의해 심벌 간 상관도가 높아지므로 Δ 도 증가되어야 한다. 그러나 상관도 감소 지연의 길이가 길어질수록 DOCR에서의 처리 시간도 함께 증가하게 되어 송출되는 신호의 전파 지연도 길어지게 된다. 이는 수신단 관점에서 긴 시간 지연을 갖는 다중 경로 신호로 간주되어 등화기에 부담이 되므로 수신기의 성능 열화 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 필터 탭을 부분 갱신하는 기법이 제안되었다⁷⁾.

본 논문에서는 긴 지연 시간으로 인한 성능 저하를 막기 위하여 부분 갱신 기법을 적용하였다.

III. 제안한 IC-DOCR

DAB 시스템을 위해 고안된 IC-DOCR을 ATSC DTV 시스템에 적용하기 위해서는 ATSC 규격을 고려한 시스템 설계가 필요하다. 이에 따라, 기존의 IC-DOCR을 ATSC DTV 시스템에 적용하기 위하여 다음과 같은 3가지 기법을 제안하였다.

1. 직류 제거기

그림 2는 본 논문에서 제안한 IC-DOCR 구성도이다. 파일럿 성분은 IF단까지 소멸되지 않고 잔류하게 되어 주파수 오차를 계산하는데 활용되므로 8-VSB(Vestigial Side Band) 시스템을 위한 IC-DOCR은 기저 대역에서 파일럿 성분을 제거하는 부분이 별도로 필요하다. 또한, 입력되는 직류 성분은 주송신 신호와 귀환 신호의 합성분이기 때문에 직류 성분도 귀환 신호의 전력에 따라 크기가 다르며, 직류 신호 크기에 대한 추정과 제거가 선행되어야 한다. 직류 성분이 제대로 제거되지 않는다면 간섭 제거 이후에도 에러 값으로 잔존하므로 귀환 신호 제거 성능이 떨어지게 된다. 따라서 제안하는 IC-DOCR은 MAF를 이용하여 입력 신호의 직류 성분을 순시적으로 추정하고, 귀환 신호 제거 전에 직류 성분을 제거한다. 직류 성분의 이동 평균 추정은 다음과 같이 이루어진다.

$$R_{n+1} = R_n + \frac{Re\{X_p(n)\} + R_n}{n+1}$$

$$I_{n+1} = I_n + \frac{Im\{X_p(n)\} + I_n}{n+1}$$
(8)

여기에서, $Re\{\cdot\}$ 는 실수부, $Im\{\cdot\}$ 은 허수부를 의미

한다. IC-DOCR 입력 신호는 추정된 R_{n+1} 과 I_{n+1} 에 의해 감산 연산이 이루어져 식 (9)와 같이 평균 전력 0을 갖는 $x(n)$ 을 출력한다.

$$x(n) = x_p(n) - \{R_{n+1} + jI_{n+1}\}$$
(9)

IC-DOCR 내에서의 기저 대역 연산이 종료되면 신호 송출 전 파일럿이 다시 추가된다.

2. 위상 전 왜곡 보상 기법

기존의 DOCR에서 사용되는 심벌 타이밍 동기는 가장 큰 전력을 갖는 신호에 맞추어 샘플링 연산이 동작된다. 하지만 더 큰 전력의 귀환 신호가 DOCR의 입력으로 유입되면 DOCR은 자동적으로 귀환 신호의 타이밍에 맞추어 심벌을 샘플링한다. 이 경우, DOCR의 8-VSB 변/복조 역시 귀환 신호가 입력되는 타이밍에 맞추어 이루어지므로 식 (10)과 같이 주송신 신호의 위상이 회전되는 왜곡이 발생한다.

$$\hat{y}(n) = y(n) \exp(-j2\pi(f_1 + f_2)\tau)$$
(10)

여기에서, τ 는 신호 간 불일치되는 동기 오차 심벌 개수,

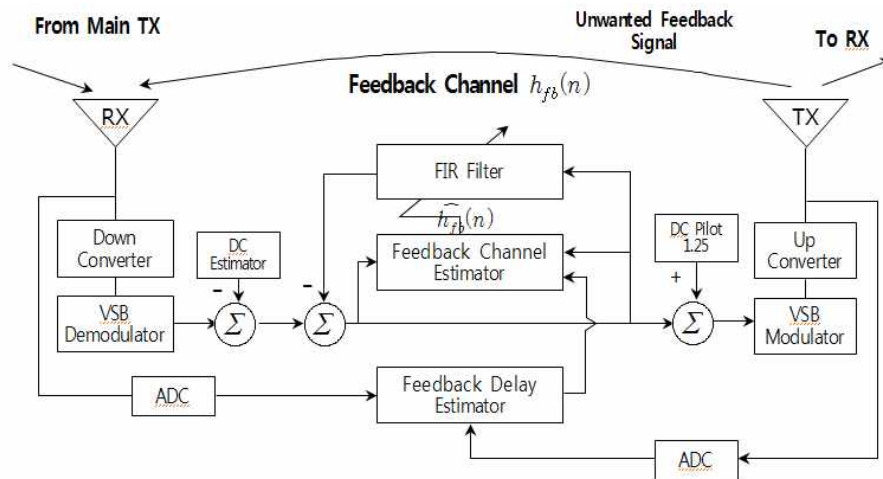


그림 2. 제안한 간섭 제거 기반의 동일 채널 중계기
Fig. 2. Proposed IC-DOCR

$y(n)$ 은 동기 일치 시의 DOCR 기준 신호, $\hat{y}(n)$ 은 동기 불일치 시의 DOCR 기준 신호를 나타낸다. 그리고 f_1, f_2 는 VSB 변조 주파수이다.

DOCR에서 송출될 심벌이 위상 회전된 상태에서 이를 보상해 주지 않으면 송신 신호가 다시 귀환 신호로 재입력되면서 왜곡이 누적된다.

제안하는 IC-DOCR은 식 (10)을 이용하여 신호 간 타이밍 오차를 이용해 왜곡되는 위상의 양을 계산하여 귀환 채널 추정기로 기준 신호 $y(n)$ 이 입력될 때에 위상이 회전되는 크기만큼 위상 전 왜곡을 수행한다. 이때에 위상 전 왜곡을 통해 제대로 된 성능 이득을 얻기 위해선 정확한 심벌 동기 오차를 계산하는 과정이 필수적이다.

3. 귀환 신호 지연 시간 추정 기법

부분 갱신 기법을 사용할 때에 귀환 신호의 지연 시간 τ 를 제대로 추정하지 못하여 지나치게 많은 구간 동안 필터 탭을 갱신하지 못하면 귀환 신호 제거 성능이 감소하게 된다. 또한, 위상 전 왜곡을 통해 귀환 채널 추정 성능 이득을 얻기 위해선 지연 시간에 대한 정보가 필수적이다.

제안한 DOCR에서는 송출 신호와 수신 신호 간의 상관도를 기반으로 귀환 신호 지연 시간을 추정한다. DOCR에서 송출되고 수신되는 신호는 그림 2에서와 같이 각각 ADC(Analog-to-Digital Conversion)되어 귀환 신호 지연 시간 추정기(feedback delay estimator)로 입력된다. 추정기에서는 샘플 단위로 입력되는 각 심벌 값을 버퍼에 저장하고, 각 버퍼에 저장된 심벌 벡터를 식 (11)과 같이 슬라이딩시키면서 두 벡터 사이의 상관도를 측정한다.

$$R_{xy}[m] = \sum_{n=0}^{\infty} y_{IF}[n]x_{IF}[n+m] \quad (11)$$

여기에서, $y_{IF}[n], x_{IF}[n]$ 은 각각 버퍼에 저장된 DOCR 송출 신호 벡터와 수신 신호 벡터를 나타낸다. $x_{IF}[n]$ 은 $m = \tau$ 에서 귀환 신호 $y_{IF}[n]$ 성분을 포함하고 있으므로 추정기는 최대값을 출력하게 되고, 해당 인덱스를 통해 귀환 신호의 지연 시간 τ 를 추정할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 제안된 IC-DOCR의 채널 추정 성능 및 귀환 신호 제거 성능을 평가하기 위해 수행되었다. 주 채널은 브라질 A채널로 모델링하였으며, 귀환 채널은 성긴(sparse) 특성을 가진다는 사실에 기반하여 단일 경로 임펄스 응답으로 모델링하였다. 그리고 귀환 채널 추정을 위한 FIR 필터 탭 갱신은 LMS 알고리즘을 적용하였다. 또한 주송신 신호보다 큰 귀환 신호에 대한 간섭 제거 능력을 보이기 위해 수신 안테나에서의 D/U비(Desired signal-to-Undesired signal ratio)는 평균적으로 -20dB라고 가정하였다. 시뮬레이션에 사용된 주요 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 환경
 Table. 1. Simulation circumstance

Parameter	Value
Main channel	Brazil A channel
Feedback delay time	5 μ s(rough)
FIR filter tap number	150
Adaptive algorithm	LMS
Step size	0.00001 / 0.000001
D/U ratio	-20dB

그림 3은 위상 전 왜곡 기법 적용 여부에 따른 귀환 채널 추정 성능을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 귀환

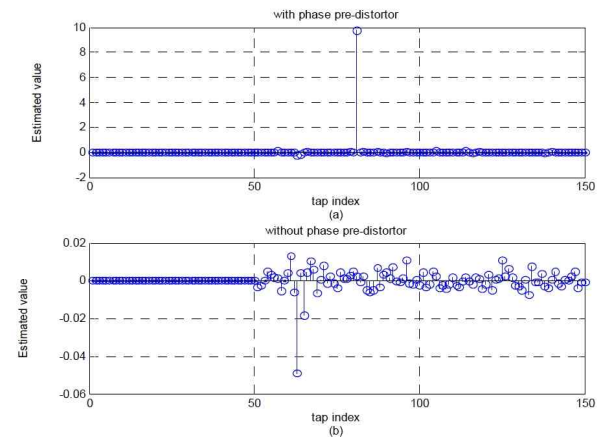


그림 3. 귀환 채널 추정 응답 (a) 위상 전 왜곡 적용 시 (b) 위상 전 왜곡 미적용 시
 Fig. 3. Feedback channel estimation response (a) In the case of with phase pre-distortion, (b) In the case of without phase pre-distortion

채널이 성긴 특성(sparse representation)을 갖더라도 동기가 일치하지 않으면 전혀 다른 임펄스 응답이 추정된다. 반면에 제안된 기법을 적용한 경우(그림 3(a))에는 귀환 채널 추정기의 입력 신호를 미리 위상 회전시켜 심벌 타이밍 오차로 인한 위상 회전을 보상함으로써 제대로 된 귀환 채널 추정 성능을 얻을 수 있다.

그림 4는 이동 평균기를 이용한 직류 제거기의 유/무에 따른 귀환 채널 추정 오차를 식 (12)로 정의되는 잔류 귀환 전력 RFP(Residual Feedback Power)의 형태로 나타낸 것이다.

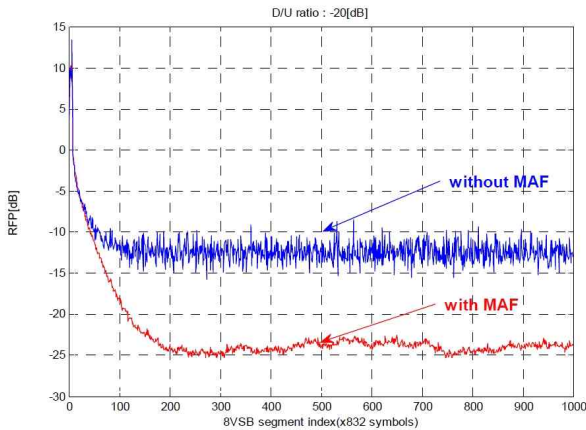


그림 4. 직류 제거기의 유/무에 따른 RFP 성능 비교
Fig. 4. RFP performance comparison according to with and without DC canceller

$$RFP = \frac{[\{\hat{s}(n) - s(n)\}^* \{\hat{s}(n) - s(n)\}]}{E\{s(n)^* s(n)\}} \quad (12)$$

여기에서, $s(n)$ 은 기저 대역 주송신 신호, $\hat{s}(n)$ 은 감산 연산 이후의 기저 대역 DOCR 신호를 나타낸다. 그림에서 직류 제거기를 적용함에 따라 RFP 성능이 약 10dB 개선됨을 확인할 수 있다.

한편, 부분 갱신 기법을 적용하였을 때에 귀환 신호 지연 시간보다 적은 수의 탭 길이만큼 갱신을 억제하게 되면 주어진 조건에서 최적의 간섭 제거 성능을 얻을 수 없다^[3]. 또한 지연 시간보다 많은 수의 탭 길이만큼 갱신을 억제하면 주경로 탭의 갱신도 억제됨에 따라 채널 추정이 이루어

지지 않는다.

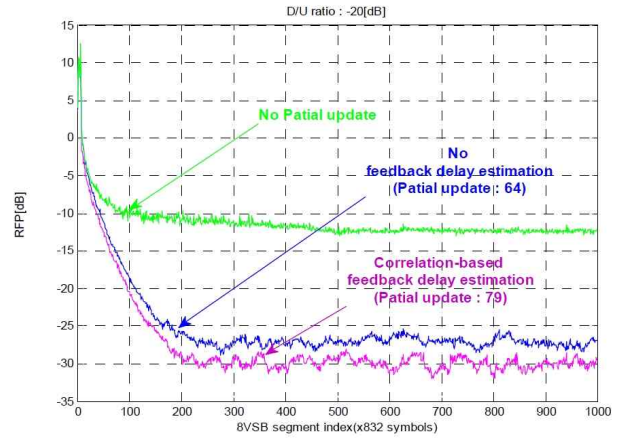


그림 5. 귀환 신호의 지연 시간 추정에 따른 RFP 성능
Fig. 5. RFP performance according to delay time estimation of feedback signal

그림 5는 부분 갱신 적용 여부와 제안한 귀환 신호 지연 시간 추정 여부에 따른 RFP 성능을 나타낸 것이다. 그림에서 귀환 신호 지연 시간 추정 정보를 이용해 필터 탭을 부분 갱신 한 경우, 그렇지 않은 경우와 대비하여 RFP 성능이 약 3dB 개선됨을 알 수 있다.

이상과 같이, 위상 전 왜곡 기법, 직류 제거기, 상관도 기반 귀환 신호 지연 시간 추정 기법의 적용을 통해 귀환 채널 추정 및 RFP 성능이 개선됨을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 타이밍 오차 보상을 위한 위상 전 왜곡 기법, 파일럿 성분 추정 및 제거를 위한 직류 제거기, 송수신 신호 사이의 상관도를 기반으로 귀환 신호의 지연 시간을 추정하는 기법을 이용한 DAB용 간섭 제거 기반 동일 채널 중계기를 제안하였다.

이를 ATSC 시스템에 적용하여 시뮬레이션한 결과,

1. 귀환 채널이 성긴 특성을 갖더라도 동기가 일치하지 않으면 전혀 다른 임펄스 응답이 추정되는 반면에 제

안된 위상 전 왜곡 기법을 적용한 경우에는 귀환 채널 추정기의 입력 신호를 미리 위상 회전시켜 심벌 타이밍 오차로 인한 위상 회전을 보상함으로써 확실한 귀환 채널 추정 성능을 얻을 수 있다.

2. 이동 평균기를 이용한 직류 제거기를 적용함에 따라 RFP 성능이 약 10dB 개선된다.
3. 귀환 신호 지연 시간 추정 정보를 이용해 필터 탭을 부분 갱신한 경우, 그렇지 않은 경우와 대비하여 RFP 성능이 약 3dB 개선되었다.
4. 또한, 주 송신 신호보다 20dB 큰 간섭 신호가 존재하는 환경에서 동일 채널 증계기의 간섭 제거 능력을 확인함으로써 동일 채널 증계기를 통해 지상파 DTV 방송망의 효율적인 운용 및 양질의 서비스가 제공 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌 (References)

[1] ATSC Recommended Practice : Design of Syn-chronized Multiple Transmitter Networks, Doc, A/111, 2004.

[2] W. Kim, Y. T. Lee, S. I. Park, H. M. Eum, J. H. Seo and H. M. Kim, "Equalization Digital On-Channel Repeater in the Single Frequency Network," IEEE Trans. Broadcast., Vol. 52, No. 2, pp. 181~184, 2005.

[3] J. Y. Choi, J. K. Hong, M. S. Hur, Y. W. Suh and J. S. Seo, "An Interference Cancellation Technique for Digital On-Channel Repeaters for T-DMB", pp. 107~113. 2009.

[4] Y. S. Kim, J. G. Ki and K. T. Lee, "Interference Cancellation On-Channel Regenerative Repeater for the Single Frequency Network of ATSC Terrestrial Broadcasting", The Journal of the Institute of Webcasting, Internet and Telecomm-unication, Vol. 11, No. 6, pp. 295~302, 2011.

[5] W. H. Kwon, "Low Power On-channel repeater for Terrestrial DTV Broadcasting Services(II) : Implementation and Field trials", IEEE Vol. 16. No. 3, pp. 251~257, 2012.

[6] Y. W. Suh, J. K. Lee, J. Y. Choi and J. S. Seo, "A novel data synchronization method for ATSC distributed translator", IEEE 20th International symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 2847~2850, 2009.

[7] J. K. Hong, J. Y. Choi, Y. W. Suh, J. K. Lee and J. S. Seo, "De-correlating Partial Update Technique for Feedback Channel Estimator in 8VSB DTV DOCR", ICCE 2010, 2010.

[8] A. Wiewiorka and P. N. Moss, "R&D White Paper WHP 120 : Digital On-Channel Repeaters for DAB", Research & Development, British Broadcasting Corporation, 2005.

[9] B. Widrow and S. D. Stearns, "Adaptive Signal Processing", Prentice-Hall, Inc. USA, 1985.

저 자 소 개



최 수 철

- 1995년 8월 : 여수수산대학교 산업대학원 졸업(공학석사)
- 2013년 8월 ~ 현재 : 전남대학교 공학대학 전자통신공학과 박사과정
- 1989년 2월 ~ 현재 : 한국방송공사
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-2869-8215>
- 주관심분야 : 방송제작 시스템 및 디지털방송 송신시스템



조 기 량

- 1982년 2월 : 광운대학교 통신공학과 졸업
- 1992년 8월 : 건국대학교 대학원 전자공학과 공학석사
- 2002년 3월 : 일본 오카야마대학 자연과학연구과 공학박사
- 현재 : 전남대학교 공학대학 전기·전자통신·컴퓨터공학부 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-0072-7387>
- 주관심분야 : 음성신호처리, 파동·압전 문제의 수치해석, 최적제어