

적용 노치필터를 이용한 NTSC 동일 채널 간섭제거 시스템

正會員 梁 倫 機* 正會員 李 宗 烈* 正會員 李 商 郁* 正會員 趙 南 習**

On the NTSC Cochannel Interference Rejection System Using Adaptive Notch Filter

Yoon Gi Yang* Jong Youl Lee* Sang Uk Lee* Nam Ik Cho**

要 約

최근 HDTV의 지상방송에 대한 관심이 고조되고 있다. HDTV의 지상방송중 동시방송방식(Simulcast)에서는 NTSC 신호와 HDTV 신호간의 간섭현상이 발생한다. 이러한 동일채널 간섭 현상을 제거하기 위해 최근 GA(Grand Alliance)에서는 comb 필터를 사용한 간섭제거 시스템을 제시하였다. 그러나, 이 방식은 NTSC 반송파의 주파수 변이에 약한 성능을 보이는 단점이 있다[7]. 따라서, 본 논문에서는 NTSC 반송파의 주파수 변이에 강인하게 동작하는 동일채널 간섭제거 시스템을 제시한다. 제안하는 간섭제거 시스템은 적응노치필터를 적응 등화기와 함께 사용하는 방식이다. 본 논문에서는 NTSC 간섭모델을 이용한 간섭제거기의 성능분석도 다루었다. 모의실험 결과 NTSC 반송파의 주파수 변이가 존재하는 대부분의 경우 제안하는 간섭제거기는 기존의 제거기보다 전체적인 비트오율(BER) 면에서 약 $10^{-0.5}$ 정도의 개선이 이루어짐을 확인할 수 있었다.

Abstract

Recently, there has been much interest in the terrestrial broadcasting of the HDTV signal. However, in the Simulcast where the NTSC and HDTV signal are transmitted using the same channel, the cochannel interference occurs which degrade the transmission performance. Recently, the GA(Grand Alliance) proposed the cochannel interference rejection system which use comb filter. However, this method shows poor performance for the NTSC carrier variation [7]. In this paper we propose a novel NTSC cochannel interference rejection system which shows improved performance for the NTSC carrier variation. In the proposed scheme, the adaptive notch filter is employed along with adaptive channel equalizer. In this paper, we also present some analytical results on the NTSC rejection performance of the GA and proposed scheme. Computer simulation results reveal that the proposed scheme outperforms order of $10^{-0.5}$ in the BER(bit error rate) sense for the normal condition.

* 서울대학교 制御計測工學科
Seoul National University Signal Processing Lab. Dept. of Control and Instrumentation

** 서울市立大學校 制御計測工學科
Seoul City University Dept. of Control and Instrumentation

論文番號 : 94212
接受日字 : 1994年 8月 2日

1 서 론

최근에 보다 다양한 정보, 고품질의 정보를 공급할 수 있는 HDTV에 대한 관심이 고조되고 있다. 현재 개발되고 있는 유망한 HDTV 시스템으로서 미국의 업체가 제안한 완전 디지털 방식으로 General Instrument 사의 DigiCipher [1], Zenith 사의 DSC(Digital spectrum compatible) HDTV [4], ATRC(Advanced television research institute)의 ADTV [5], MIT의 CCIX(channel compatible DigiCipher) [6] 등이 있다. HDTV의 영상 부호화 방식은 최근 Grand Alliance 등에서 규격이 거의 완성되는 단계에 있으나, HDTV의 디지털 전송은 아직 많은 연구가 필요한 분야로 남아 있다. 그런데, HDTV 방송이 개시되더라도 영상 기준의 NTSC방송을 중단할 수 없는 현실적인 문제가 있다. 따라서, 영상분은 NTSC신호와 HDTV신호를 함께 방송하여야 하는데 이를 동시방송방식(Simulcast)이라고 한다. FCC는 HDTV 지상방송에 할당하는 TV band를 그대로 이용한 동시방송을 계획하고 있으며, 그에 따라 HDTV는 현재 taboo 채널이라고 알려진 부분을 채널로 사용할 수가 있다. 이러한 상황에서, HDTV 신호와 NTSC 신호간에 필연적으로 동일채널 간섭 및 인접채널 간섭이 발생하게 된다. 하지만, 실제로 HDTV 신호는 백색 가우시안 잡음과 같은 성질을 띠고 있으며, 또한 NTSC 신호보다 12~15 dB 낮은 전력으로 전송되기 때문에 NTSC 신호에 미치는 영향은 아주 작다고 할 수 있다. 따라서, 고려되어야 할 문제는 HDTV 신호의 전송에 미치는 NTSC 동일채널 간섭신호의 영향이다. DSC HDTV에서는 동시방송의 상황에서 필연적으로 존재하게 되는 NTSC 동일채널 간섭신호의 제거 시스템으로 pre coder와 post comb filter를 이용하는 방식을 제안하고 있다 [4], [7]. 그러나, 이 방식은 comb 필터의 노치주파수가 고정되어있어 NTSC의 방송파의 주파수가 변할때 성능이 저하된다는 단점과 함께 잡음에 약하다고 알려져 있다 [7]. 한편 MIT시스템에서는 NTSC의 간섭을 ISI(inter symbol interference)로 간주하여 수신단에서 DFE(decision feedback equalizer) [7]를 사용하고 있다. 이것은 DFE가 선형동화기에 미쳐서 채널의 spectral null에 보다 강한 성질을 이용하여 NTSC의 방송파 성분을 제거하는 것이라 할 수 있다. 그러나, NTSC방송파의 대역폭은 DFE가 제거하기에는 너무 작다. 또한, DFE는 NTSC의 방송파 성분만을 제거하는 것이 아니라, 더경로 전

송에 의한 ISI를 함께 제거하여야 하기때문에 이러한 두가지의 역할을 동시에 충분히 수행하기에는 문제가 있다. 따라서, 본 논문에서는 NTSC의 동일채널 간섭현상 중에서 HDTV전송에 악 영향을 주지 않는 NTSC의 방송파 성분만을 효과적으로 제거할 수 있는 새로운 간섭제거 시스템을 제안한다. 제안하는 간섭제거 시스템은 적응동화기의 진단에 적응 노치필터(ANF - Adaptive Notch Filter)를 삽입하여 NTSC의 방송파 성분만을 효과적으로 제거하고, 적응동화기에서는 다경로 전송으로 인한 ISI를 효과적으로 제거할 수 있게 하여 전체적으로 시스템의 성능을 향상시키는 구조이다. 모의실험 결과 제안하는 시스템은 기존의 DSC HDTV, MIT, CCIX의 간섭제거 시스템보다 NTSC 방송파를 제거하는데 기존의 간섭제거 시스템보다 입력 SNR이 25dB 전송에서 BER(bit error rate)받에서 약 10^{-3} 정도의 에러율이 감소하는 것을 실험적으로 확인할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 간섭제거 시스템을 간단히 살펴본다. 3장에서는 제안하는 간섭제거 시스템에 대해서 기술하고, 4장에서는 모의실험 결과를 5장에서는 제안한 구조의 성능 분석을 그리고 6장에서는 결론을 제시한다.

II. 기존의 NTSC 간섭제거 시스템

HDTV 전송에서 NTSC 간섭신호 제거 시스템으로 유망한 방식으로는 DSC HDTV와 MIT방식을 들 수 있다. 먼저 DSC HDTV에서 제시한 방식을 살펴보면 그림 1에서 보는 바와 같이 post comb filter의 주파수 응답(frequency response)에 생기는 null이 NTSC의 제가지 방송파에 거의 정확하게 일치하게 함으로써, NTSC 신호에서 상당한 에너지를 차지하는 방송파 성분을 제거하는데 목적을 두고 있다. 수신 가장 기본적인 comb filter를 구현할 수 있는 transparent 시스템은 그림 2에 나와있는 바와 같이 송신부의 입력이 수신부의 출력으로 그대로 나오는 구조를 가진다. 이 시스템은 간단히 구현될 수는 있지만 두가지의 문제점을 안고 있다. 첫번째 문제점은 송신부의 뒤먹임 시스템이 불안정하다는 것이다. 그 이유는 수신부의 주파수 응답에 null이 생기게 되는데, 이 때문에 송신부에서는 상당히 큰 피크가 생기게 되기 때문이다. 결국 이러한 부분은 전체 시스템을 불안정하게 만드는 요인이 된다.

두번째의 문제점은 송신부의 출력 레벨이 입력 레벨에 비해 증가하게 되는데, 예를 들어 N개의 디지털 신호가 입력으로 들어오면 출력은 2N-1개가 된다. 출력 레벨의 증가는 수신단에서 신호를 검출할 때, 잡음의 여분(noise margin)을 줄이는 문제점을 발생시킨다. 따라서, 이와 같은 문제점을 해결할 수 있도록 새롭게 제안되고 있는 시스템은 그림 3에서 보는 바와 같이 modulo reduction과 pre-coder를 결합하는 방식이다. 송신부의 modulo reduction에 대응할 수 있도록 수신부에서도 post-comb filter 뒤에 modulo interpreter를 사용한다. Modulo reduction은 modulo 덧셈 연산자를 사용함으로써 구현할 수 있는데, 실제로 DSC HDTV에서 제안되고 있는 방식은 modulo 4 연산자를 사용하고 있으며, 시간지연은 12 심볼이다. 그러나, 이와같은 방식은 일반적인 잡음에 약한편을 보이게 되는데, 사용하지 않는 경우에 비해 약 3dB 정도의 SNR의 손실이 있다고 알려져 있다 [4]. 따라서, 만일 동일채널 간섭이 존재하지 않는 경우에도 이와같은 방식을 사용하면 시스템의 성능저하를 불러 일으키는 모순점을 안게된다. 그러한 이유로 그림 4에 제시된 바와 같이 post comb filter와 post-coder를 전제적으로 사용할 수 있게 하는 방식이 제안되고 있다 [4]. Post coder를 사용하면 NTSC 간섭신호를 제거할 수있지만 post comb filter를 사용할 때보다 잡음에 강한 시스템은 구성할 수 있다. 한편, MIT 방식에서는 그림 5와 같이 DFE를 사용하는 간섭제거-ISI보상 시스템을 제시하고 있다. 이것은 NTSC의 반송파 성분을 제거하기 위해서 적응동화기가 자동적으로 노치필터를 근사화할 수 있는데에서 착안한 것이다. 그런데, NTSC의 반송파에 의한 간섭은 마치 채널의 spectral null과 같은 역할을 하므로, 기존의 선형동화기를 사용할 경우, noise enhancement현상이 발생되게 된다. 그러나, DFE는 이 경우에도 어느 정도 동작하기 때문에 NTSC 간섭현상을 어느 정도 제거할 수 있다. 그러나, NTSC 반송파의 대역폭이 충분히 작으므로 DFE 자체가 노치필터역할을 충분히 하지 못하면 반송파를 효과적으로 제거할 수 없다. 또한, DFE는 반송파 제거뿐 아니라 다경로 전송으로 인한 심볼간의 간섭(ISI)도 함께 보상하여야 하는데, 이러한 두가지 역할을 DFE만 사용하여 효과적으로 구현하기는 쉽지 않다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 두가지의 역할을 간단한 적응 노치필터와 적응동화기가 서로 분담함으로써 전체적인 성능을 향상시키는 새로운 시스템을 제안한다.

III. 적응 노치필터를 이용한 NTSC 동일채널 간섭제거 시스템

본 논문에서는 일반적인 변복조 기법이 적용된 신호에 대한 모델을 사용한다. 즉, 복조 기지대역에서의 신호 $u(t)$ 는

$$u(t) = \sum_k A_k g(t - kT) \tag{1}$$

로 표시될 수 있는데, 여기서 A_k 는 M-ary신호의 데이터 심볼이고, T는 신호의 주기, $g(t)$ 는 전송펄스이다. 신호 $u(t)$ 는 대역폭이 제한된 가우시안 채널 $h(t)$ 를 통과한다. 수신단에서 수신된 신호 $r(t)$ 는

$$r(t) = H(t)*u(t) + n(t) + i(t) \tag{2}$$

와 같이 표시될 수 있는데, 여기서 $n(t)$ 는 가우시안 잡음이고, $i(t)$ 는 간섭신호이다. 본 논문에서는 [7]에서 제시된 NTSC간섭모델을 사용하였다. 즉, IF 단에서 수신된 NTSC 간섭신호 $i(t)$ 는

$$i(t) = A[1 + x(t)] \cos(2\pi f_c t) + A\gamma(t) \sin(2\pi f_c t) \tag{3}$$

와 같은데, 여기서 $x(t)$ 는 맵기신호, f_c 는 맵기신호의 반송파 주파수이고 $\gamma(t)$ 는 VSB(Vestigial Sideband) 변조기법에 필요한 항이다. NTSC 신호는 그림 6에서 보는 바와 같이 맵기, 영상, 음성의 3부분의 반송파 성분이 있는데, (3)은 편위상 신호의 전력이 가장 큰 맵기신호의 간섭현상을 고려한 것이다. 수신단에서 주기 T로 표본화된 NTSC 간섭신호는

$$I_k \approx A[1 + x'(kT) - j\gamma'(kT)] e^{j2\pi(f_{cv} - f_c)kT} \tag{4}$$

인데, f_{cv} 는 RF 반송파 주파수이다. 여기서, 영상의 맵기신호 $x(t)$ 는 일반적으로 상관성이 높은 AR신호로 근사화 될 수 있다.

그림 7에서는 본 논문에서 제안하는 NTSC 동일채널 간섭모델이 고려된 HDTV 수신기가 제시되어 있다. 동일채널 NTSC 간섭은 수신된 HDTV신호에 가산잡음의 형태로 입력된다. 제안하는 간섭 제거기에서는

NTSC만송과 성분음 제거하기 위해 기존 수신기의 적용동화기 앞에 적용 노치필터를 부착한다. 본 연구에서 사용된 적용 노치필터는 구조가 간단한 뿐 아니라, 값음에 강인하고, 안정성이 보장되는 격자형 IIR 적용 노치필터이다 [2], [3]. 그림 8에 [2], [3]에서 제안된 격자형 IIR 적용 노치필터의 구조가 제시되어 있다. 이와 같은 2차의 적용 노치필터의 전달함수 $H(z)$ 는

$$H(z) = \frac{1+k_0(1+k_1)z^{-1}+k_1z^{-2}}{1+a_0(1+a_1)z^{-1}+a_1z^{-2}} \quad (5)$$

와 같이 여기서

$$k_1 = 1, \quad (6)$$

$$a_1 = \alpha k_1, \quad (7)$$

$$a_0 = k_0, \quad (8)$$

주어지며, 이는 영점(zero)이 단위원 상에 고정되어 있다는 것을 의미하며, 영점과 극점의 위치가 가까운 곳에 있도록 제약되어 있다. 여기에서 노치필터의 성질을 결정하는 변수로는 α 와 k_0 가 있다. 먼저 α 는 노치의 대역폭을 결정하는 값으로 대략 0.9에서 0.99의 값을 취하는데, 1.0으로 근접할수록 노치의 대역폭이 좁아진다. 한편 k_0 는 노치주파수를 결정하는 값으로서 노치의 주파수를 θ 이라고 할때 $k_0 = \cos(\theta)$ 와 관계가 성립된다. 적용 노치필터는 주어진 입력신호의 주파수를 추정하는데, 노치필터의 대역폭을 고정하였을 경우 노치주파수 추정에 필요한 변수 k_0 만을 적용하게 된다. 본 논문에서의 적용 알고리즘은

$$D(n) = \lambda D(n-1) + (1-\lambda)2x(n-1)^2 \quad (9)$$

$$C(n) = \lambda(n-1) + (1-\lambda)x(n-1) [x(n)+x(n-2)] \quad (10)$$

$$k_0 = \frac{C(n)}{D(n)} \quad (11)$$

$$k_0(n) = \begin{cases} k_0(n), & \text{if } -1 \leq k_0(n) \leq 1 \\ 1, & \text{if } k_0(n) > 1 \\ -1, & \text{if } k_0(n) < -1 \end{cases} \quad (12)$$

$$\tilde{k}_0(n) = \gamma k_0(n) + (1-\gamma) \tilde{k}_0(n) \quad (13)$$

와 같은 [3]에서 제시된 "Lattice Algorithm"을 사용

하였다. 즉, 이와 같은 알고리즘과 격자구조를 갖는 적용 노치필터를 그림 7에서 보는 바와 같이 적용동화기 앞에 사용하여 간섭신호를 제거하도록 하였으며, 적용동화기의 구조로는 선형동화기, DFT를 모두 고려하였다. 그리고 NTSC의 만송파는 3개가 존재하므로 적용 노치필터를 3개를 직렬 연결한 필요가 있다. 그림 8에 제시된 2차의 노치필터 3개를 직렬로 연결하면 3개의 만송파 성분을 독립적으로 제거할 수 있다 [2], [3]. 이때, 각 만송파 성분의 주파수는 예측이 가능하므로 이를 이용하여 각 적용 노치필터의 초기조건을 주면, 더욱 효율적으로 간섭신호를 제거할 수 있다.

IV. 제안한 구조와 DSC-Comb 필터의 성능분석

DSC 가 제시한 comb 필터는 비직용방식으로 NTSC 만송파 주파수가 변할때 만송파 제거성능이 저하된 것으로 예상된다 [17]. 이러한 만송파의 주파수 변이가 존재할때의 적용 노치필터와 Comb필터의 만송파 제거성능을 비교하기 위해서 그림 9와 같이 임, 출력을 정의하고, 다음의 신호에 적용미를

$$SNR_{comb} = \frac{E\{s^2(n)\}}{E\{(s(n) - \hat{s}(n))^2\}} \quad (14)$$

와 같이 정의하면 [2], SNR_{comb} 이 감소할수록 만송파성능은 좋지않다고 평가할 수 있음을 의미한다. 분석의 편의를 위해서 [2]에서와 같이 입력신호 $x(n)$ 이 정현파 성분 $s(n)$ 과 잡음 $v(n)$ 의 합으로 구성되어 있다고 가정하자. 이러한 가정은 동일채널 간섭화에서 HDIV의 스펙트럼이 거의 백색잡음과 유사하고, NTSC의 만송파의 진폭이 상대적으로 커서 각이 정현파의 성분으로 간주할 수 있다는 사실로 인해 상당한 타당성을 갖는 모델이라고 할 수 있다. 이제 $x(n)$ 은

$$x(n) = A\cos(2\pi fn) + v(n) \quad (15)$$

이라 하고, 잡음의 진폭을 σ^2 이라 하자. 먼저, 적용 노치필터의 경우 만송파의 주파수 변이가 존재하여도 적용적으로 주파수 추정을 통하여 만송파성분을 제거하므로, 동일채널에서 [2]에서 분석한 것과 같이

$$SNR_{out}^{ANF} = 10 \log_{10} \frac{A^2}{2\sigma^2} - 10 \log_{10} \frac{2-\lambda-\alpha}{1+\alpha} \quad (16)$$

와 같은 성능을 보인다. 입력신호의 SNR에 비해서 상대적으로 개선된 SNR인 SNR_{imp} 는

$$SNR_{imp}^{ANF} = 10 \log_{10} \frac{1+\alpha}{2-\lambda-\alpha} \quad (17)$$

과 같이된다 [2]. Comb 필터에 대해서도 유사한 분석을 위하여, 그림 9과 같은 모델을 고려하자. 여기서 출력 $y(n)$ 은 그림 4에서 보듯이

$$y(n) = x(n) - x(n-12) \quad (18)$$

과 같다. 그러나, $\check{s}(n) = x(n) - y(n)$ 이므로

$$\check{s}(n) = x(n-12) \quad (19)$$

와 같이 된다. 따라서

$$\begin{aligned} E\{(s(n) - \check{s}(n))^2\} \\ = E\{(A \cos(2\pi fn) - A \cos(2\pi f(n-12)) \\ - v(n-12))^2\} \end{aligned} \quad (20)$$

와 같다. 여기서 $v(n)$ 과 $A \cos(2\pi fn)$ 이 서로 독립적이고 $v(n)$ 이 평균이 0인 가산잡음위를 고려하면

$$E\{(s(n) - \check{s}(n))^2\} = A^2\{1 - \cos(24f\pi)\} + \sigma^2 \quad (21)$$

이 되고, comb 필터의 SNR_{out} 은

$$SNR_{out}^{comb} = \frac{\frac{A^2}{2}}{A^2\{1 - \cos(24f\pi)\} + \sigma^2} \quad (22)$$

이 된다. 따라서, comb 필터의 SNR_{imp} 는

$$SNR_{imp}^{comb} = 10 \log_{10} \frac{\sigma^2}{A^2\{1 - \cos(24f\pi)\} + \sigma^2} \quad (23)$$

과 같다. 여기서 주목할 결과는 comb 필터의 성능은 반송파의 주파수 f 에 크게 의존한다는 점이다.

위와같은 Comb filter에 대한 해석결과를 확인하기 위해서 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 입력신호의 SNR을 16dB, 23dB로 하였을 때, 입력정현파의 주파수가 변화할때의 해석결과와 실험결과가 그림 10에 제시되어 있다. 그림에서 알 수 있듯이 반송파의 주파수가 정확히 1/12 인때 가장 우수한 성능을 보임을 알 수 있고 주파수 변이에 따라 성능이 저하됨을 알 수 있다. 또한, 위와같은 해석결과와 실험결과가 상당히 근사함을 그림 10에서 확인할 수 있다.

V. 적응 노치필터를 사용한 등화기의 NTSC 간섭제거 모의실험

전송한 동일채널 NTSC 간섭모델에서 송신단에서 전송된 심볼은 다성로 전송으로 인한 ISI의 영향을 받는다. 모의실험에서 사용한 채널의 등가모델을 $H(z)$ 라고 하면 대부분의 채널이

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h_k z^{-k} \quad (24)$$

와 같이 MA(moving average)모델로 표시될 수 있다. 실험에서 사용된 전송채널 모델은 [10]에서 사용된 것으로서 $N=11$ 이고, 변조기법이 PAM인 경우 임펄스 응답 h_i 가

$$(h_0, h_1, \dots, h_{N-1}) = (0.0, 0.0485, 0.0573, 0.0786, 0.0874, 0.09222, 0.1427, 0.0835, 0.0621, 0.0359, 0.0214) \quad (25)$$

이고, QAM의 경우 복소 등가채널의 충격응답은

$$(h_R, h_I, \dots, h_{N-1}) = (0.0, 0.0485, 0.0573, 0.0786, 0.0874, 0.09222, 0.1427, 0.0835, 0.0621, 0.0359, 0.0214)$$

$$(h_{Q0}, h_{Q1}, \dots, h_{Q(N-1)}) = (0.0, 0.0194, 0.0253, 0.0282, 0.0447, 0.3031, 0.0349, 0.0157, 0.0078, 0.0049, 0.0019) \quad (26)$$

이다. 본 연구에서는 위와같은 가정하에 그림 7에서의 적응등화기를 선형등화기, DFE를 사용하는 각각의

경우에 대해서 기존의 NTSC 간섭제거 시스템과 제안된 방법의 성능을 비교하였다.

그림 11에는 실험에 사용된 NTSC 신호의 스펙트럼이 제시되어 있다. 3개의 반송파 성분중 가장 낮은 주파수 영역에 있는 맑기 신호를 전달하는 부분의 반송파의 전력이 가장 큰 것을 알 수 있다. 먼저, 위와같은 NTSC신호가 제안된 간섭제거 시스템의 한 단의 적응도지필터를 통과하였을때의 스펙트럼을 보면 그림 12과 같다. 이 경우 적응도지필터의 파라미터는 $\alpha=0.9$, $\lambda=0.99$, $k_0(0)=0.2$ 로 하였다. 이 경우 NTSC의 맑기 신호의 반송파성분이 약 20dB정도 작아진것을 알 수 있다. 나머지 2개의 반송파 성분을 제거하기 위해서는 적응도지필터를 직렬로 연결하면 되는데, 두단의 지필터를 통과한 NTSC의 spectrum을 그림 13과 같다. 이때의 두번째의 적응도지필터의 파라미터는 $\alpha=0.9$, $\lambda=0.99$, $k_0(0)=0.2$ 로 하였다. 그림 12과 그림 13을 비교하여 보면, 두단의 적응도지필터를 사용한 경우 두번째의 반송파 부분의 전력이 약 5 dB 정도 작아진 것을 알 수 있다. 위와같이 적응도지필터부에서 대부분의 반송파의 전력이 제거되었으므로, 상대적으로 기존의 등화기만을 사용하는 경우보다 전체적인 수신기의 BER(bit error rate)성능이 향상된 수 있음을 기대할 수 있다.

그 결과를 기존의 방법과 비교하기 위해서 우선 실험등화기를 적응등화기로 사용할때, 적응도지필터를 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우의 최종 BER을 그림 14에 나타내었다. 그림 14는 NTSC 간섭신호의 크기를 바꾸어 가며 실험하였는데 NTSC 간섭신호의 크기를 정의하기 위하여, HDTV신호와 NTSC신호 사이의 전력의 비율 SIR(signal to interference ratio)라고 정의하면

$$SIR = 10 \log_{10} \frac{\text{Signal power of HDTV}}{\text{Signal power of NTSC}} \quad (27)$$

와 같다. 그림 14에는 SIR=14 dB, 0.4 dB인 경우에 대해서 단순히 실험등화기만 사용한 경우와, 제안한 방식의 BER(bit error rate) 성능이 제시되어 있다. BER 성능면에서 제안한 방식이 신호의 SNR이 25~28 dB 정도에서 약 1/10정도 작아진것을 알 수 있다.

다음은 PAM 신호에 대한 성능평가를 시도하였다. 그림 15에는 4 PAM 신호에 대한 성능비교가 제시되어 있다. PAM 신호에 대해서도 SIR이 14 dB, 0.4 dB

의 두가지 경우에 대해 실험하였는데 SIR이 0.4 dB인 경우 기존의 방식과 유사한 성능을 보인 반면, SIR이 14 dB인 경우 SNR이 14-18 dB 정도에서 제안한 방식이 BER 면에서 약 1/10정도 줄어든 것을 알 수 있다. 위와같은 결과를 고찰하여 볼 때, 예상한 대로 실험등화기에서는 적응등화기만 사용한 경우 보다 적응도지필터를 함께 사용한 경우가 더 우수한 NTSC 간섭제거 성능을 보임을 알 수 있다.

다음은, 제안의 spectrum null에 대해 상대적으로 강한 DFE를 적응 등화기로 사용할 때의 성능을 비교하여 본다. 그림 16에서는 4 PAM 신호에 대해 DFE를 사용한 경우의 성능비교가 제시되어 있다. SIR이 0.4 dB인 경우 SNR이 15 dB 정도에서 제안한 방식이 BER 면에서 약 1/10정도 줄어든 반면, SIR이 0.4 dB인 경우, 제안한 방식은 DFE만 사용한 방식과 유사한 성능을 보이고 있다. 결과적으로 실험등화기 보다는 효과가 뚜렷하지는 못하다. 전체적으로 BER성능이 DFE의 경우에도 적응도지필터를 사용할 때 향상됨을 알 수 있다.

다음은 기존의 DSC HDTV의 간섭제거 시스템과의 성능을 비교하였다. DSC HDTV에서 제안하는 방식대로 12 심분의 시간지연을 두어 실제로 6 MHz 대역에 comb filter의 8개의 null이 놓이게 하는 모형을 모델로 하여 필터를 취하였다. 그에 반해 ANF방식은 제개의 반송파를 제거할 수 있도록 전체의 주파수 응답은 모두 3개의 null을 갖는 모형을 취하였다. 모의 실험은 NTSC 신호의 반송파 주파수를 변동시키면서 C/I가 20dB, 15dB 두가지 경우에 대해 수행되었다. 그림 17과 그림 18은 NTSC 반송파의 주파수 편이가 전혀 없을 때의 C/I가 각각 20 dB, 15 dB인 경우, DSC 방식과 제안한 방식과의 BER이다. 그림에서 "No IC"라고 표지된 것은 간섭제거기가 전혀 사용하지 않은 경우이다. 그림 19과 그림 20은 NTSC 반송파의 주파수 편이가 375 KHz일때의 C/I가 각각 20 dB, 15 dB인 경우, DSC 방식과 제안한 방식과의 BER이다. 반송파의 주파수가 null에 정확히 일치하거나 약간의 오프셋을 가지며 불일치하는 경우에는 comb filter의 성능이 약간 크러 크래 나타나지 않았지만, 그에 반해 NTSC 신호의 반송파 주파수가 상당히 많이 변하여 comb filter의 주파수 응답의 가장 큰손이 큰 부분 근처로 갈 경우에는 상당한 성능 저하를 보임을 알 수 있었다. 물론 ANF 방식은 그러한 경우에도 어떠한 성능의 저하를 보이지 않고 있다. NTSC 신호의 반송파 주파수가 정상적으로

전송되는 경우에도, 실험 결과를 분석해 보면 ANF 방식이 comb filter 방식에 비해서, 약 2 dB 정도의 이득이 있음을 알 수가 있었다. 반송파 주파수 변이에 따른 DSC-HDTV의 성능저하에 대한 예측은 [7]에서도 지적된 바 있고, 4장의 해석결과에서도 반송파 주파수 변이에 따른 DSC 방식의 성능저하가 정량적으로 분석되었다. 이러한 결과는 모의실험결과를 통해서도 상당부분 확인할 수 있었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 HDTV 방송시 NTSC 동일채널 간섭을 제거하기 위하여 ANF(adaptive notch filter)를 사용하는 방법을 제시하였다. 제시된 방법은 모의실험을 통하여 확인한 바와 같이 기존의 채널동화기를 이용한 방법 및 DSC-HDTV의 comb filter 사용기법보다 NTSC 반송파 제거면에서 더 좋은 성능을 갖는다. 특히, NTSC 반송파 주파수에 변화가 있을 때 제안된 방식은 이 변화에 따라 특성이 적응되므로 기존의 고정된 comb filter 방법보다 우수한 성능을 보인다. 이것은 모의실험 및 출력 SNR의 분석으로부터 확인할 수 있었다. 제시된 방법에서 사용된 ANF는 2차의 격자형 필터 세개를 직렬로 연결한 것으로서 각각이 독립적으로 적응되므로 복잡도는 비교적 낮은편이다. 따라서, 제안한 구조는 실제 하드웨어의 복잡성도 그리 크게 증가시키지 않으면서, NTSC 간섭 제거에는 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] General Instrument Corporation, DigiCipher HDTV System Descripton, Aug. 1991.
 [2] N.I.Cho, C.H.Choi, and S.U.Lee, "Adaptive Line Enhancement by Using Lattice Notch Filter," IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Proc., vol. 37, no. 4, pp. 585-589, Apr. 1989.
 [3] N.I.Cho, and S.U.Lee, "On the Adaptive Lattice Notch Filter for the Detection of Sinusoids," IEEE Trans. Circuits and Systems, vol. 40, no. 7, pp. 405-416, Jul. 1993.
 [4] Zenith and AT & T, Digital Spectrum Compatible- Technical Details, Sep. 1991.
 [5] Advanced Television Research Consortium, Advanced

Digital Television:Prototype Hardware Description, May. 1992.
 [6] Messachusetts Institute of Technology, Channel Compatible DigiCipher HDTV System, May. 1992.
 [7] J. J. Nicolas, Equalization and Interference Rejection for the Terrestrial Broadcast of Digital HDTV, Proc. Internat. Conf. on Acoust. Speech, and Signal Proc., 93, pp. IV-176-IV-179, 1993.
 [8] C. Eilers and P. Fockens, "The DSC-HDTV interference rejection systemm" IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 38, pp. 101-107, Jun. 1992.
 [9] K. Zhou et. al., "Decision-Feedback Equalization of Time-dispersive Channels with Coded Modulation," IEEE Trans. on Commun., vol. 38, No. 1, pp. 18-24, Jun. 1990.
 [10] L. N. Wong et. al., "Performance of Trellis Codes for a Class of Equalized ISI Channles," IEEE Trans. on Commun., vol. 36, No. 12, pp. 1330-1336, Dec. 1988.
 [11] M. V. Eyuboglu, "Detection of Coded Modulation Signals on Linear, Severly Ditrorted Channels Using Decision-Feedback Noise Prediction with Interleaving," IEEE Trans. on Commun., vol. 36, No. 4, pp. 401-409, Apr. 1988.

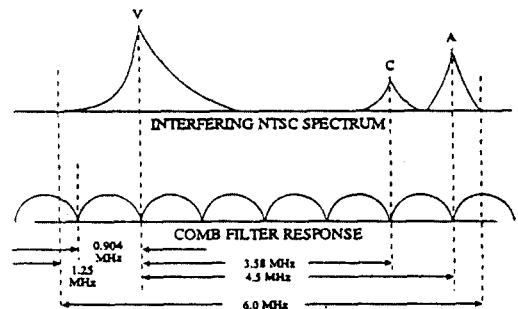


그림 1. DSC-HDTV의 NTSC간섭제거 방식

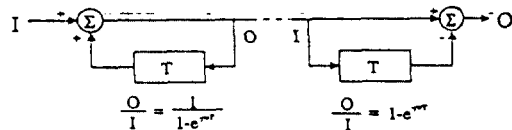


그림 2. Transparent Network

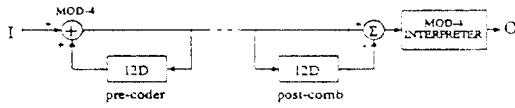


그림 3. Transparent Pre and Post Processing

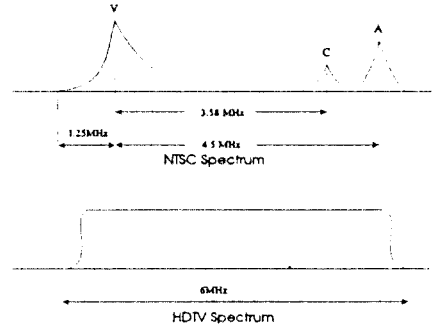


그림 6. NTSC 5MHz채널 간섭모형

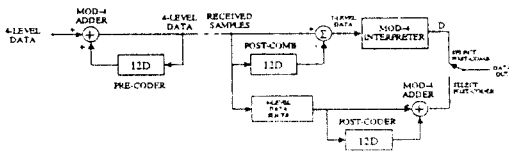


그림 4. Post-Comb Post-Coder Modes

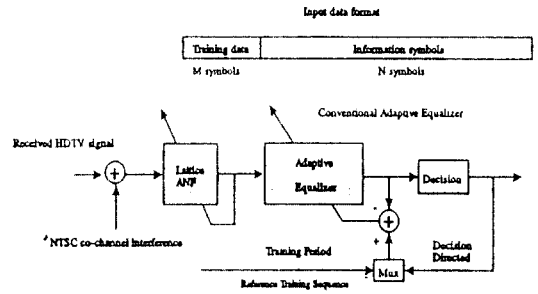


그림 7. 적응 도지필터를 사용한 NTSC 동원채널 간섭제거 시스템

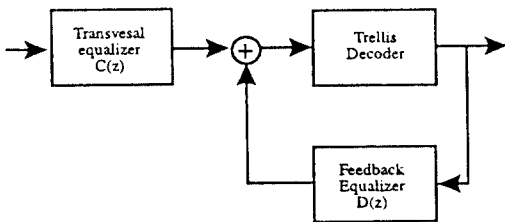


그림 5. MIT의 NTSC 간섭제거 시스템

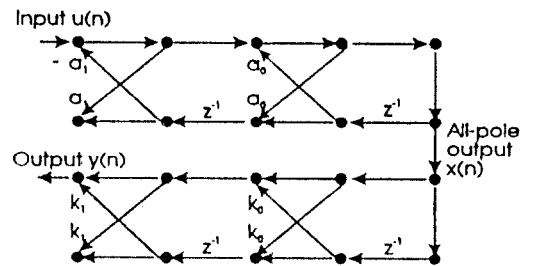


그림 8. 적응적사항 도지필터

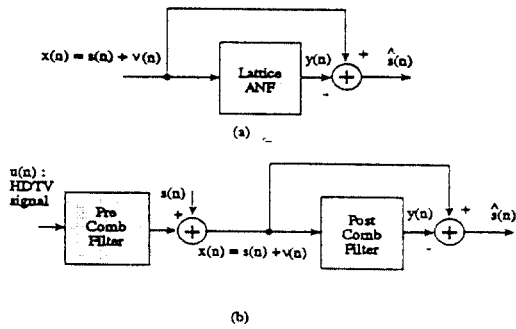


그림 9. 반송과 세기상승 분석을 위한 개요도

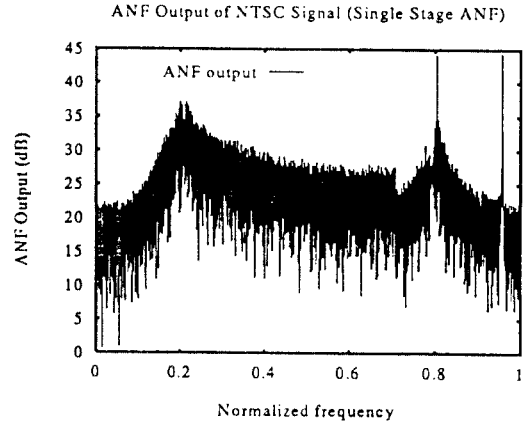


그림 12. 한단의 노치필터를 통과한 NTSC spectrum

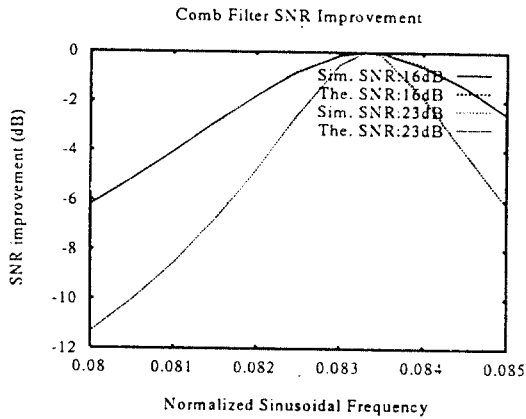


그림 10. Comb 필터의 SNRimp(Sim:Simulation, The: Theory)

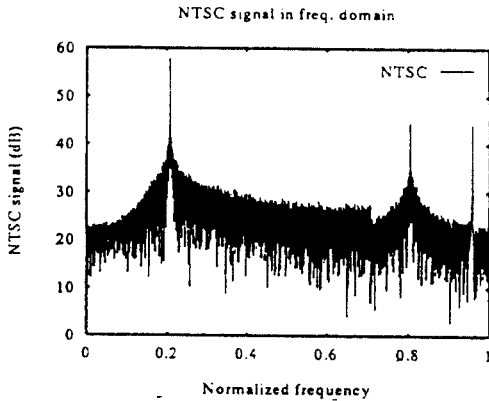


그림 11. NTSC 신호의 spectrum

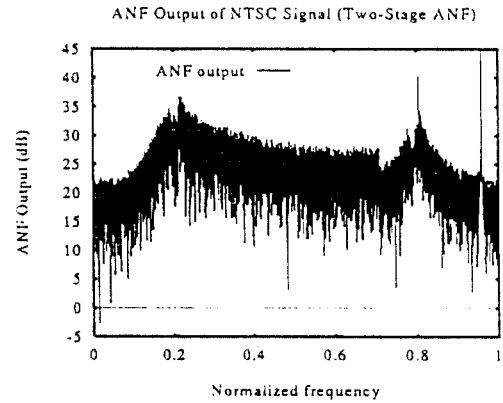


그림 13. 두단의 노치필터를 통과한 NTSC spectrum
BER of QAM equalizer W or W/O ANF for NTSC interference

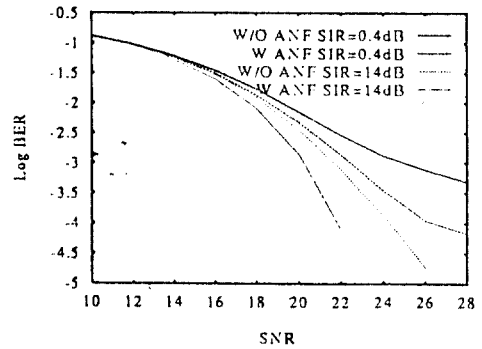


그림 14. QAM 선형동화기에서 ANF를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 BER
W/O ANF:ANF를 사용하지 않은 경우,
W ANF:ANF를 사용한 경우

BER of SRE W or W/O ANF for NTSC interference (4 PAM)

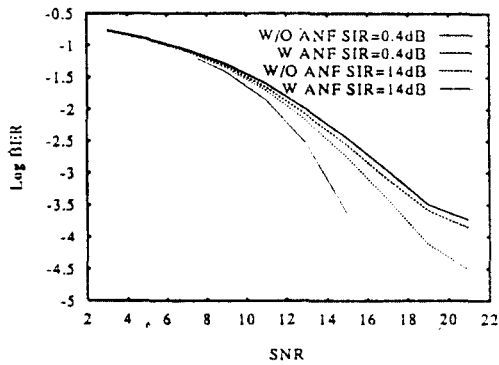


그림 15. PAM 선형등화기에서 ANF를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 BER
W/O ANF:ANF를 사용하지 않은 경우,
W ANF:ANF를 사용한 경우

BER of DFE W or W/O ANF for NTSC interference (4 PAM)

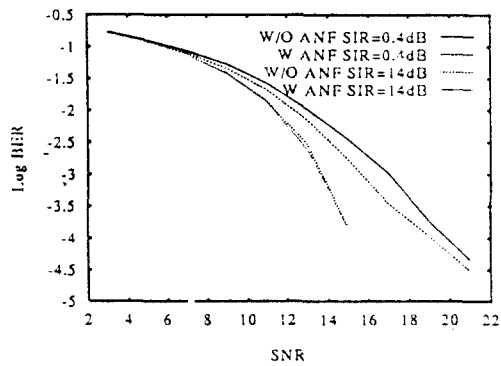


그림 16. PAM DFE에서 적응 노지점터에 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 BER
W/O ANF:ANF를 사용하지 않은 경우,
W ANF:ANF를 사용한 경우

BER of DSC-HDTV and Proposed Interference Canceller(C/I=20dB)

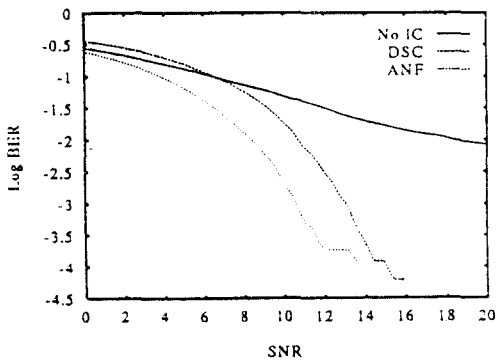


그림 17. 반송파의 주파수변이가 없음에 DSC-HDTV와 제안한 방식과의 BER 성능비교(C/I=20dB)

BER of DSC-HDTV and Proposed Interference Canceller(C/I=15dB)

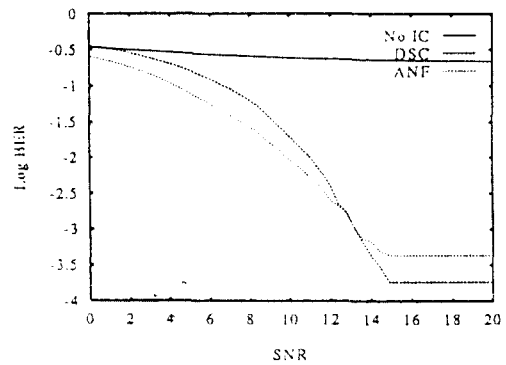


그림 18. 반송파의 주파수변이가 없음에 DSC-HDTV와 제안한 방식과의 BER 성능비교(C/I=15dB)

BER of DSC-HDTV and Proposed Interference Canceller(C/I=20dB)

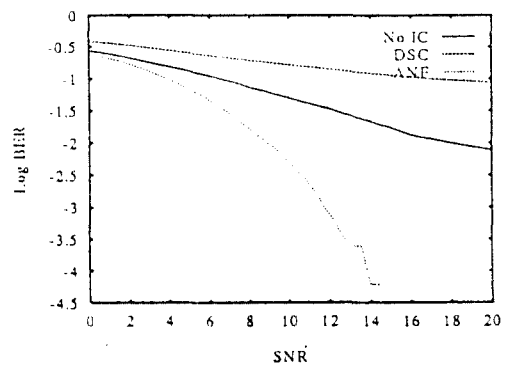


그림 19. 반송파의 주파수변이가 있을때의 성능비교(C/I=20dB, 주파수변이 375 KHz)

BER of DSC-HDTV and Proposed Interference Canceller(C/I=15dB)

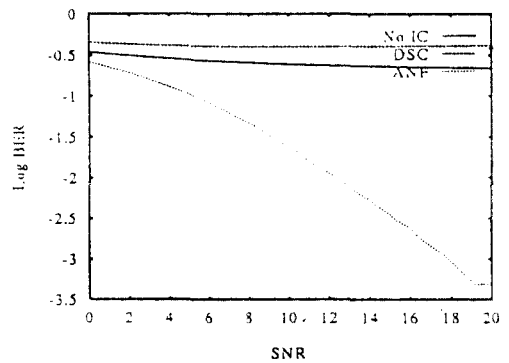


그림 20. 반송파의 주파수변이가 있을때의 성능비교(C/I=15dB, 주파수변이 375 KHz)



梁鎭機(Yoon Gi Yang) 정위원
1985年 3月 ~ 1989年 2月 : 서울
대학교 制御計測
工學科(工學士)
1989年 3月 ~ 1991年 2月 : 서울
대학교 大學院 制
御計測工學科(工
學碩士)

1991年 3月 ~ 現在 : 서울대학교 大學院 制御計測工學
科 (工学博士過程)



李宗烈(Jong Youl Lee) 정위원
1989年 3月 ~ 1993年 2月 : 서울
대학교 制御計測
工學科 (工學士)
1993年 3月 ~ 現在 : 서울대학교
大學院 制御計測
工學科 (工学碩士
過程)

李商郁 (Sang Uk Lee) 정위원
同會誌 vol. 19, no. 6,
pp. 1064-1074, 1994년 6월 參照

趙南翌(Nam Ik Cho) 정회원
1982年 3月 ~ 1986年 2月 : 서울대학교 制御計測工學科
(工學士)
1986年 3月 ~ 1988年 2月 : 서울대학교 大學院 制御計
測工學科 (工学碩士)
1988年 3月 ~ 1992年 8月 : 서울대학교 大學院 制御計
測工學科 (工学博士)
1991年 3月 ~ 1994年 2月 : 서울대학교 制御計測 新技
術 研究센터 研究員
1994年 3月 ~ 現在 : 서울市立대학교 制御計測工學科
專任講師