

FM In-Band On-Channel DAB 시스템의 성능 개선방안 연구

정희원 김 병 길*, 오 길 남**, 서 종 수***

On The Performance Improvement of FM In-Band On-Channel DAB System

Byoung-Gill Kim*, Gil-Nam Oh*, Jong-Soo Seo*** *Regular Members*

요 약

본 논문은 다중경로 전파환경에서 FM In-Band On-Channel DAB(디지털 오디오 방송) 시스템의 수신성능을 전산모의실험하고, 그 성능 개선방안으로 Complementary Pair Convolutional (CPC) Code와 FM 간섭제거 알고리즘을 적용하여 수신 BER 성능의 개선 정도를 분석 연구하였다.

전산모의실험 결과 지상파 DAB에 대한 EIA(Electronic Industries Alliance)의 도심지 전송채널 모델과 USADR사의 3-Path 전송채널 모델에서 CPC Code를 적용한 경우 E_b/N_0 가 각각 11dB, 14dB 일 때 CD급 음질의 성능 기준인 1×10^{-5} 의 BER을 얻을 수 있었다. 또한 FM 간섭제거 알고리즘을 적용할 경우 $BER=1 \times 10^{-5}$ 에서 각각 약 1dB의 E_b/N_0 이득을 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, the performance of FM In-Band On-Channel (IBOC) Digital Audio Broadcasting (DAB) system in the multipath propagation environment was analyzed via computer simulation, and Complementary Pair Convolutional (CPC) code and FM interference cancellation algorithm were applied to improve the BER performance of IBOC DAB system.

Our simulation results show that CPC coding achieves CD quality sound, that is, BER of 1×10^{-5} at the E_b/N_0 of 11dB in the EIA's urban area transmission channel and 14dB in the USADR's 3-path transmission channel, respectively. It is also found that FM interference cancellation algorithm achieves an additional 1dB gain of E_b/N_0 in both cases.

I. 서 론

디지털 오디오 방송(DAB)은 기존의 아날로그 및 AM, FM 방송의 단점을 해결하고 고품질과 새로운 형태의 고부가 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 차세대 방송방식으로 아날로그방송에서 문제시되는 잡음과 간섭에 의한 수신음질의 열화를 최소화

할 수 있고 CD급 음질을 제공할 수 있으며, OFDM과 같은 다중반송파 디지털 전송방식을 사용하므로 다중경로 전파환경에 강하고 이동 수신음질이 우수하다.^[1]

DAB는 사용 주파수 대역에 따라 Out-of-band 또는 New-band 방식 DAB와 AM 또는 FM In-band 방식 DAB로 분류할 수 있다. 유럽의 Eureka-147 DAB는 기존 아날로그 방송대역과 다른 새로운 주

* 연세대학교 대학원 전기·컴퓨터 공학과

** 한국전자통신연구원 DAB 시스템연구팀

*** 연세대학교 기계·전자 공학부

논문번호: 99291-0723, 접수일자: 1999년 7월 23일

파수 대역을 사용하는 Out-of-band 방식 DAB이며 미국 USADR사의 In-band on-channel (IBOC) 또는 adjacent-channel (IBAC) DAB는 기존의 아날로그 AM, FM 방송 주파수 대역을 사용하는 In-band 방식 DAB이다.

국내 지상파 디지털 방송은 기존의 아날로그 FM 방송 주파수대역 내에서 전환할 예정으로 FM In-band DAB 방식으로 신호를 전송하고 이를 이동체에서 수신할 경우 주파수 선택적 페이딩과 도플러 확산 등에 의한 다중반송파 신호의 직교성 상실과 동일채널 FM 신호에 의한 간섭이 DAB 신호의 가장 큰 성능열화 요인으로 작용한다. 따라서 본 논문에서는 FM IBOC DAB 신호에 대한 성능개선 방안으로 Complementary pair convolutional (CPC) Code와 FM 간섭제거 기법을 적용하여 IBOC DAB의 수신성능을 전산모의실험하고 그 성능개선 정도를 알아본다.

II. FM 신호 및 DAB 신호 모델링

1. FM 신호 모델링

본 논문에서 적용한 FM 신호는 표 1과 같이 국내 FM 스테레오 방송 규격을 가진다. 스테레오 FM 신호는 기저대역에서 좌측 음성신호(L)과 우측 음성신호(R)을 (L+R)과 (L-R)의 성분으로 만든 다음, pilot tone 신호와 합하고 이를 FM 변조한다. 기저대역의 FM 신호는 다음과 같다.^[2]

표 1. FM 방송 신호의 사양

구분	규격
음성 대역폭	15 kHz
첨두 주파수 편이	75 kHz
송신 전력	10 kW(= 40 dBW)
차지 대역폭	200 kHz

$$m(t) = a_1[L(t) + R(t)] + a_2 \cos(4\pi f_p t) * [L(t) - R(t)] + a_3 \cos(2\pi f_p t) \quad (1)$$

여기서 pilot tone의 주파수는 $f_p = 19 \text{ kHz}$ 이고, a_1, a_2, a_3 는 비례 상수이다. 식 (1)의 세 번째 항은 pilot tone 신호로써 FM 수신기에서 DSB-SC 신호 $L(t) - R(t)$ 를 복조하는데 사용된다. 기저대역 FM 스테레오 신호 $m(t)$ 의 스펙트럼은 그림 1과 같다. FM 변조된 반송파 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$x_{FM}(t) = \cos\left(2\pi f_c t + 2\pi f_a \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau\right) \quad (2)$$

여기서 f_c 는 반송파 주파수이며 f_a 는 최대 주파수 편이이다. FM 스테레오 송신기의 블록도는 그림 2와 같다.

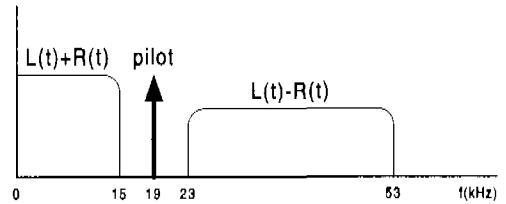


그림 1. 기저대역 FM 스테레오 신호의 스펙트럼

2. DAB 신호 모델링

본 논문에서는 USADR사의 FM IBOC DAB 시스템의 규격에 따라 DAB 신호를 모델링하였다. USADR사의 IBOC DAB 시스템 사양은 표 2와 같다. QPSK 변조기의 등가 기저대역 출력 신호는 다음과 같이 복소 형태로 표현된다.

$$d_n(t) = d_{ni}(t) + jd_{nq}(t) \quad (3)$$

표 2. USADR사의 FM IBOC DAB 시스템 사양

변조 방식	OFDM-QPSK
반송파 개수	각 채널당 95개
반송파 index	<ul style="list-style-type: none"> • 중심주파수가 0 Hz 일 때 각 200 kHz의 양의 주파수와 음의 주파수 대역폭을 각각 275개의 부채널로 분할 • 제일 바깥쪽 부반송파의 주파수 : 중심주파수 + 199.128 kHz • 제일 안쪽 부반송파의 주파수 : 중심주파수 + 130.087 kHz
보호 구간	사용하지 않음
접유 대역폭	각 채널당 70 kHz

여기서 $d_{ni}(t)$ 와 $d_{nq}(t)$ 는 각각 동위상(In-phase)과 직교위상(Quadri-phase) 채널 신호로써 ± 1 중 하나의 값을 갖는다. OFDM 시스템에서 부채널의 개수를 $2N$ 이라 하면 변조기는 다음과 같이 $2N$ 의 크기를 갖는 IFFT를 수행한다.

$$s_m = \sum_{n=0}^{2N-1} d_n \exp\left(\frac{j2\pi nm}{2N}\right) = \sum_{n=0}^{2N-1} d_n \exp(j2\pi f_n t_m) \quad (4)$$

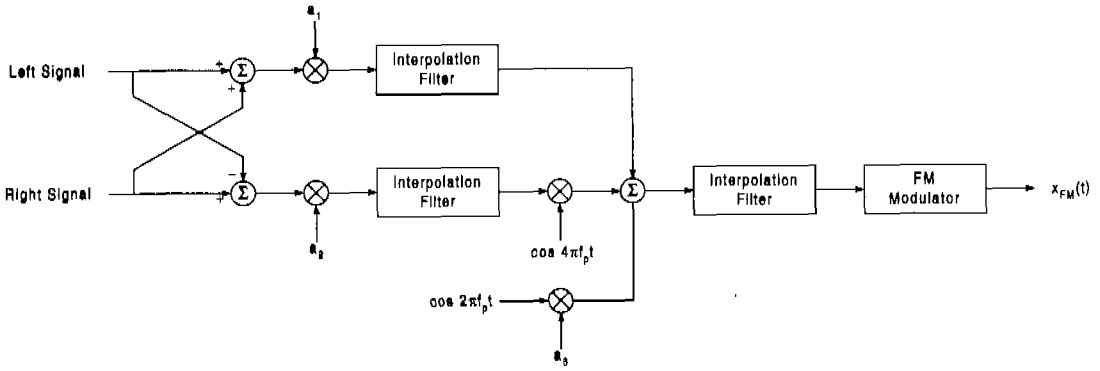


그림 2. FM 스테레오 송신기의 블록도

여기서, $f_n = \frac{n}{T}$, $t_m = \frac{T}{2N} m = \Delta t \cdot m$
 T : subchannel의 심볼 주기
 m : 0, 1, 2, ..., 2N-1
 $\Delta t = \frac{T}{2N}$

$$s(t) = 2 \sum_{n=0}^{N-1} (d_{nI} \cos(2\pi f_n t) - d_{nQ} \sin(2\pi f_n t)) \quad (6)$$

$$0 \leq t \leq T$$

그림 3은 OFDM-QPSK 변복조기의 동작구성도를 보인다.

위의 이산신호(discrete signal)를 아날로그 변환한 연속신호(continuous signal)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \sum_{n=0}^{2N-1} d_n \exp(j2\pi f_n t) \quad (5)$$

$$= \sum_{n=0}^{2N-1} [(d_{nI} \cos(2\pi f_n t) - d_{nQ} \sin(2\pi f_n t)) + j(d_{nI} \sin(2\pi f_n t) + d_{nQ} \cos(2\pi f_n t))], \quad 0 \leq t \leq T$$

Hermitian symmetry를 만족하도록 $d_k = d_{2N-1-k}^*$ 인 데이터를 입력하면 다음과 같은 실수의 OFDM 신호가 얻어진다.

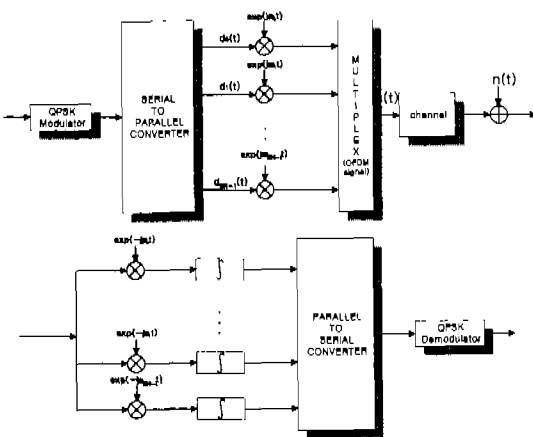


그림 3. OFDM-QPSK 변복조기 동작구성도

III. Complementary Pair Convolutional (CPC) Code

USADR사의 FM In-Band On-Channel DAB 신호의 스펙트럼은 host FM 신호를 중심으로 상측파대와 하측파대로 배치되어 있다. 이러한 스펙트럼의 구조 때문에 USADR Hybrid IBOC DAB가 갖는 특성은 다음과 같다.

- 1) 대역 바깥쪽 서브캐리어가 간섭에 보다 취약하다.
- 2) 서로 떨어진 두 측파대로 구성되므로, 상하 측파대에 대한 간섭은 독립적이다.

이상의 특성 때문에 한쪽 측파대가 간섭에 의해 심하게 손상된 경우 다른 한쪽 측파대의 정보로 손상된 정보를 보완하여 수신성능을 개선할 수 있다.^[3]

이상의 특성을 이용할 수 있는 coding 기법으로 Complementary Pair Convolutional (CPC) Code가 있다. CPC Code는 punctured code의 일종으로 하나의 original low rate code로부터 유도된 punctured convolutional code들이 free distance가 같고, 각각의 punctured code들을 더했을 때 original low rate code가 되면 이 punctured code들은 complementary하다고 한다.^[4] 이처럼 punctured code들이

complementary 조건을 만족하면 모든 punctured code를 조합해서 원래의 low rate code를 복원하여 더 높은 coding gain을 얻을 수 있다.

USADR사에서 제시한 CPC Code는 original low rate code의 code rate $R = 1/3$, constraint length $K = 7$ 이며 free distance는 14이다. CPC Code를 발생하기 위하여 이상의 original code를 다음의 두 puncturing map으로 puncturing 한다.

$$PPU = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad PPL = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서 PPU는 상측파대로 전송되는 coded bit들의 puncturing map이고 PPL은 하측파대로 전송되는 coded bit들의 puncturing map이다. Information bit가 4 bit일 때 PPU와 PPL은 각각 12개의 coded bit 중 7 bit를 puncturing하고 5 bit를 남긴다. 그 결과 얻어지는 punctured code는 free distance가 4 이고 code rate은 4/5가 된다.

수신단에서 DAB 신호의 상측파대와 하측파대가 모두 손상이 심하지 않고 사용 가능하면 상측파대와 하측파대의 두 punctured code를 조합해서 code rate이 낮고 성능이 좋은 새로운 code를 얻을 수 있다. 수신단에서 PPU 또는 PPL에 의해 puncturing된 code를 조합한 code의 puncturing map은 다음과 같다.

$$PPL + PPU = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

이 puncturing map에 따라 original code를 puncturing하면 12개의 coded bit 중 2 bit가 puncturing되고 10 bit가 남으므로 code rate은 $4 / (12-2) = 2/5$ 가 되며 이 code의 free distance는 11 이 된다.

Punctured code의 장점 중 하나는 puncturing되지 않은 같은 code rate을 갖는 code와 비교했을 때 decoder의 구조가 더 간단하다는 것이다. 즉 puncturing된 code는 decoding시 같은 code rate의 다른 code의 decoder보다 구조가 더 간단한 원래의 original code의 decoder를 사용할 수 있다.^[5]

IV. FM 신호 간섭제거 기법

FM In-band on-channel DAB 시스템에서는 FM 방송 신호가 200kHz 대역 내에서 송신되며 동시에

같은 주파수 대역 내에서 DAB 신호를 송신하게 된다. FM IBOC DAB 시스템의 요구조건은 아날로그 FM 신호와 디지털 신호를 동시에 전송할 때 기존의 FM 수신기가 유질의 저하가 없이 잘 작동해야 하며 따라서 DAB 신호가 host FM 대역에 삽입될 때 DAB 신호의 전력은 FM 수신기에 미치는 동일 채널 간섭이 무시될 수 있을 정도로 충분히 낮아야 한다. 또한 우수한 DAB 신호의 수신율 위해서는 미약한 디지털 신호에 대한 아날로그 FM 신호의 간섭 영향을 최소화시킬 수 있는 신호처리 과정이 필요하다. Haralabos와 Sundburg가 제안한 Precanceling 알고리즘^[2]은 host 아날로그 FM 신호가 디지털 수신기에서 수신되었을 때의 응답을 송신단에서 미리 계산하여 DAB 신호를 송신하기 전에 FM 신호의 영향을 precanceling 해주는 방식으로 그 결과 디지털 신호는 background 잡음의 영향만을 받게 된다.

200 kHz의 대역에서 N개의 톤이 전송된다고 가정하고, n번째 톤의 펄스 성형 필터를 $h_n(t)$ 라고 가정한다. 시간축을 M개의 심벌로 구성된 프레임으로 나누고 각 프레임마다 이상의 알고리즘을 적용하며 각 프레임에서는 전체 톤 중에서 host FM 신호에 가장 영향을 적게 주는 것들로 선택한다. n번째 톤만이 사용된다고 가정하고 $I_n[0], \dots, I_n[M-1]$ 이 어떤 특정 프레임에서 n번째 반송파로 전송될 M개의 심벌 시퀀스라면 송신될 DAB 신호는 다음과 같다.

$$d_n(t) = \sum_{k=0}^{M-1} I_n[k] h_n(t - kT) \quad (9)$$

만일 $d_n(t)$ 가 전송되는 유일한 신호라면 시간 및 반송파 동기가 완벽하며 심벌간 간섭 및 다른 성능 저하 요인이 없다고 가정할 때 n번째 DAB 수신신호(정합 필터)의 출력은 다음 식과 같다.

$$\hat{I}_n[k] = y(t) * h_n^*(-t) \Big|_{t=kT} \quad (10)$$

여기서 $y(t)$ 는 n번째 대역에서 수신된 신호이고, "*"는 컨벌루션을 나타낸다. 또한 위치자 "*"는 펄레 복소수 연산을 나타낸다.

FM 신호는 DAB 신호와 같은 대역에서 전송되므로 정합필터 $h_n^*(t)$ 의 출력에 FM 신호 $x_{FM}(t)$ 의 성분이 나타나게 된다. 이 성분을 $c_n[k]$ 라 하면 다음과 같이 표현된다.

$$c_n[k] = x_{FM}(t) * h_n^*(-t) \Big|_{t=kT} \quad (11)$$

따라서 수신된 신호가

$$y(t) = x_{FM}(t) + d_n(t) + w(t) \quad (12)$$

라면, 수신기 출력은 다음과 같다.

$$\hat{I}_n[k] = I_n[k] + c_n[k] + z_n[k] \quad (13)$$

여기서 $w(t)$ 는 FM 간섭 외의 잡음원이고, $z_n[k]$ 는 수신기 출력에서의 잡음성분으로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$z_n[k] \doteq w(t) * h_n^*(-t) |_{t=kT} \quad (14)$$

여기서 DAB 신호와 아날로그 FM 신호는 같은 방송국에서 송신하기 때문에 송신기에서 $c_n[k]$ 를 미리 계산할 수 있다. 이 때 약간의 시간지연이 발생하며 n 번째 DAB 수신신호에 대한 $x_{FM}(t)$ 의 영향은 원래의 송신신호에 적절히 설계된 신호를 더해줌으로써 상세할 수 있다. 이상을 고려한 FM IBOC DAB 송신신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = x_{FM}(t) + d_n(t) + a_n(t) \quad (15)$$

여기서,

$$a_n(t) = \sum_{k=0}^{M-1} -c_n[k] h_n(t - kT) \quad (16)$$

식 (15)는 다시 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = x_{FM}(t) + \tilde{d}_n(t) \quad (17)$$

여기서,

$$\tilde{d}_n(t) = \sum_{k=0}^{M-1} (I_n[k] - c_n[k]) h_n(t - kT) \quad (18)$$

만일 $y(t) = x(t) + w(t)$ 라면 추정된 심벌은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{I}_n[k] &= I_n[k] + z_n[k] \\ &= c_n[k] + (I_n[k] - c_n[k]) + z_n[k] \end{aligned} \quad (19)$$

위의 식에서 볼 수 있듯이 FM 신호 precancellation 알고리즘을 적용함으로써 DAB 수신신호에서 FM 간섭 성분은 제거되고 잡음성분만 남게 된다.

V. 시뮬레이션 채널 모델

이동 수신 환경에서 전송 채널은 그림 4와 같이 일정한 시간 지연과 전력 감쇠를 갖는 다중 경로의 Rayleigh 페이딩과 AWGN의 합으로 구성될 수 있다. 본 논문에서는 FM IBOC DAB 신호의 이동 수신 성능을 전산모의실험하기 위하여 EIA의 9-Path 도심지 전송 채널모델과 USADR사에서 사용한 3-Path 전송 채널모델을 사용하였다.^{[3][6]} 여기서 채널 환경은 시간에 따라 그 통계적 특성이 변하지 않고 다중경로의 수가 변하지 않는다고 가정하였다. 또한 수신기의 이동 속도는 차량의 경우로 가정하여 60km/h, 반송파 주파수는 VHF FM 대역의 94.1 MHz이며 이때 최대 도플러 천이는 5.23 Hz로 가정한다. 그림 5와 그림 6은 각 전송 채널모델의 Power Delay Profile을 나타낸다.

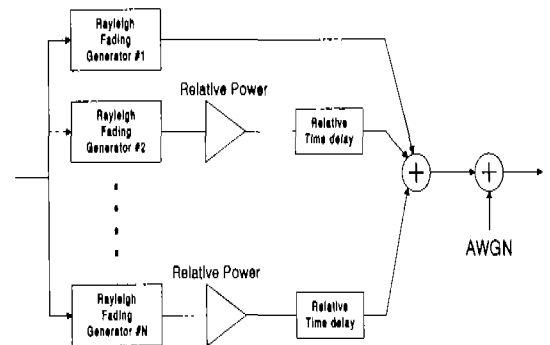


그림 4. 다중경로 전송 채널 모델

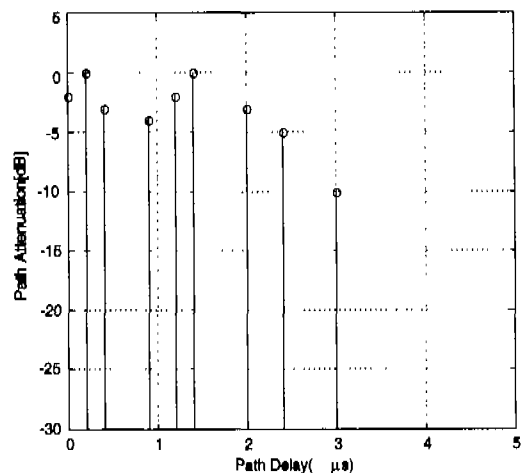


그림 5. EIA의 도심지 전송채널의 Power Delay Profile

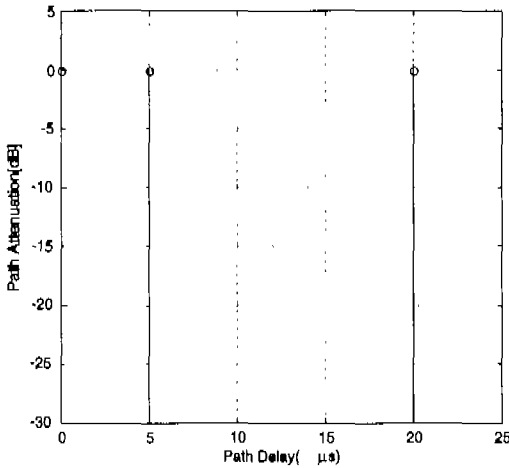


그림 6. USADR사 3-Path 전송채널의 Power Delay Profile

VI. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 논문에서는 다중경로 전파환경에서 FM In-band on-channel DAB 시스템의 수신성능을 SPW 톨 사용하여 전산모의실험하고 그 성능을 개선하는 방법으로 CPC Code와 FM 간섭제거 기법을 적용해 보았다.

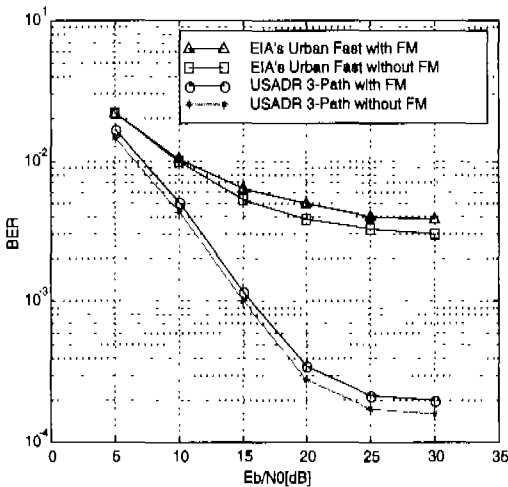


그림 7. EIA의 도심지 및 USADR 3-Path 전송채널에서 FM IBOC 방식 DAB 신호의 BER 성능(with & without FM)

그림 7은 FM 간섭원이 있을 경우와 없을 경우에 대하여, EIA의 도심지와 USADR사의 3-Path 전송 환경에서 DAB 신호의 수신 BER 성능을 나타낸다. 그림 7에서 EIA의 도심지 전송 환경에서 DAB 신호의 BER 성능이 크게 저하됨을 볼 수 있다. 그림

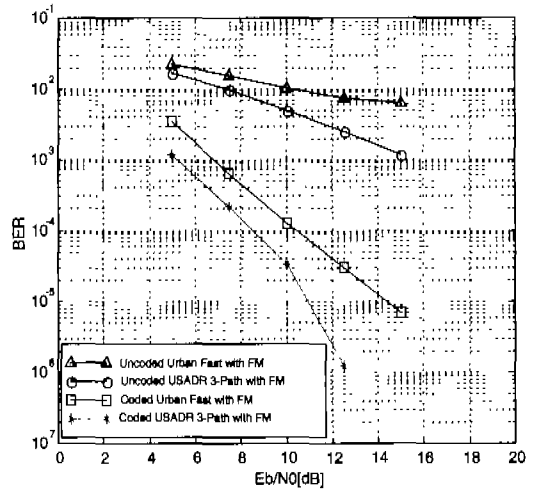


그림 8. EIA의 도심지 및 USADR 3-Path 전송채널에서 CPC 부호화된 FM IBOC DAB 신호의 BER 성능

8은 EIA 도심지 및 USADR 3-Path 전송채널에서 Uncoded 및 Coded FM IBOC DAB 신호의 BER 성능을 보인다. BER을 기준으로 할 때 일반적으로 1×10^{-5} 을 CD 수준의 음질을 수신하기 위한 기준으로 잡고 있으며, 1×10^{-4} 을 음질의 저하를 세감할 수 있는 점이라고 하며, 1×10^{-3} 을 전송 에러의 경계로 잡고 있다. E_b/N_0 가 EIA 도심지 전송환경에서는 약 11dB, USADR 3-Path 전송환경에서는 약 14dB일 때 CD급 음질의 성능 기준인 1×10^{-5} 의 BER을 얻을 수 있었다. 그림 9는 EIA 도심지 및 USADR 3-Path 전송환경에서 Coded FM IBOC DAB 신호 및 FM Canceller를 사용한 Coded Hybrid IBOC DAB 신호의 BER 성능을 보인다. FM Canceller를 사용할 경우 $BER=1 \times 10^{-5}$ 에서 각각 약 1dB의 이득을 얻을 수 있었다.

VI. 결론

본 논문에서는 지상파 다중경로 전파환경에서 FM IBOC 방식 DAB 신호의 수신 BER 성능을 전산모의실험하고 다중경로 페이딩 및 도플러 쉼에 의한 성능 열화를 개선하는 방법으로 CPC Code와 FM 간섭제거 알고리즘을 적용하였다. 그 결과 CPC Code를 적용했을 경우 E_b/N_0 가 EIA의 도심지 전송 환경에서는 약 11dB, USADR사의 3-Path 전송 환경에서는 약 14dB일 때 CD급 음질의 성능 기준인 1×10^{-5} 의 BER을 얻을 수 있었다. 또한 FM 간섭제거 알고리즘을 적용할 경우 $BER=1 \times 10^{-5}$ 에서 각각 약 1dB의 이득을 얻을 수 있었다.

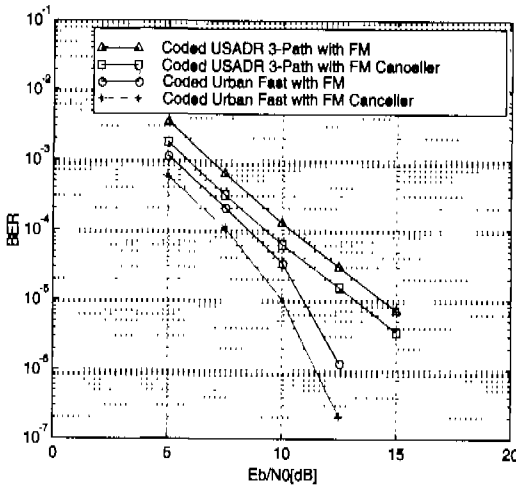


그림 9. EIA의 도심지 및 USADR 3-Path 전송채널에서 FM canceller를 사용한 CPC 부호화 된 FM IBOC DAB 신호의 BER 성능

따라서 본 연구의 결과는 기존의 아날로그 FM 방송 대역 내에서 디지털 방송 서비스를 제공할 경우 기존의 FM 방송 수신 음질을 유지하면서 DAB에서 CD급 수신 음질을 보장할 수 있는 전송방법을 제시하고 있으며 향후 국내에서 FM IBOC DAB 시스템을 구현할 경우 활용할 수 있다.

참고 문헌

[1] S.B. Weinstein and Paul M. Ebert, "Data Transmission by Frequency Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform", *IEEE Transactions on Commun. Tech*, Vol. COM-19, No.5, p.p. 628~634, October 1971.

[2] Haralabos C. Papadopoulos and Carl-Erik W. Sundberg, "Simultaneous Broadcasting of Analog FM and Digital Audio Signals by Means of Adaptive Precanceling Techniques", *IEEE Transactions on Commun. Tech*, Vol.46, No.9, p.p. 1233~1242, September 1998

[3] Brian W. Kroeger, Denise Cammarata, "Robust Modem and Coding Techniques for FM Hybrid IBOC DAB", *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol.43, No.3, p.p. 412~420, December 1997

[4] Samir Kallel, "Complementary Punctured Convolutional(CPC) Codes and Their Applications", *IEEE Transactions on Communications*, Vol.43, No.6, p.p. 2005~2009, June 1995

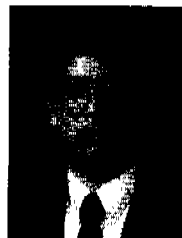
[5] Robert J. McEliece, "The Algebraic Theory of Convolutional Codes", *California Institute of Technology*, p.p. 54~63, 1996

[6] Louis Thibault, Gilbert Souldre and Theodore Grusec, "EIA/NRSC DAR Systems Subjective Tests Part II : Transmission Impairments", *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol.43, No.4, p.p. 353~365, December 1997

김 병 길(Byoung-Gill Kim) 정회원
 1998년 2월 : 연세대학교 전과 공학과 졸업(공학사)
 1998년 3월~현재 : 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 재학중 (석사과정)
 <주관심 분야> 방송시스템, 디지털 전송방식, 변복조/부호화 기술

오 길 남(Kil-Nam Oh) 정회원
 1982년 2월 : 경희대학교 전자공학과 졸업 (학사)
 1984년 2월 : 경희대학교 전자공학과 졸업 (석사)
 1996년 2월 : 경희대학교 전자공학과 졸업 (박사)
 1996년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 DAB시스템연구팀 팀장, 책임연구원
 <주관심 분야> 디지털 통신 및 신호처리, 저용동화 기법, 디지털 방송기술

서 종 수(Jong-Soo Seo) 정회원



1975년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1983년 12월 : Univ. of Ottawa, Canada, 전기공학과 졸업 (공학석사)
 1988년 6월 : Univ. of Ottawa, Canada, 전기공학과 졸업(공학박사)

1975년 4월~1981년 12월 : LG정밀 중앙연구소
 1982년 1월~1987년 7월 : Univ. of Ottawa, 디지털 통신연구실
 1987년 7월~1989년 12월 : IDC, Canada
 1990년 1월~1992년 3월 : 삼성 종합기술원 정보시스템 연구소
 1992년 4월~1995년 2월 : CAL, Canada
 1995년 3월~현재 : 연세대학교 공과대학 기계·전자 공학부, 교수
 <주관심 분야> 위성통신, 방송시스템, 디지털 전송 방식