SS 전송 시스템을 이용한 T-DMB 부가서비스의 성능 평가

*서강운 **임보미 **이용태 *윤석현
* 단국대학교, ** 한국전자통신연구원
*ddangkong777@dankook.ac.kr

Performance Evaluation of T-DMB system with SS transmission system

*Seo, Kangwoon **Lim, Bo-mi **Lee, Yong-Tae *Yoon, Seokhyun
* Dankook University, ** ETRI

요약

최근 지진, 폭우, 해일 등의 갑작스런 재난으로 인하여 세계 많은 곳에서 피해를 받고 있다. 하지만 우리나라의 경우 각종 재난이 발생하였을 때 이를 효과적으로 알리기 위한 시스템이 존재 하지 않는 실정이다. 본 논문에서는 갑작스런 재난이 발생하였을 때 이를 효과적으로 알리기 위한 시스템으로 추가적인 주파수를 필요로 하지 않는 Water-marking 기법을 이용하여 기존의 T-DMB 대역폭에 재난 안전 방송을 추가하여 필요시 재난 상황을 알리는 시스템을 제안하고자 한다.

Water-marking 기법의 경우 추가적인 대역폭을 요구하지 않으면서 기존 시스템의 성능 열화를 최소화 하는 방법으로 추가적인 통신 서비스를 가능하게 해 주는 시스템이다. 이를 위해서는 적절한 SS 송수신기 설계와 기존 시스템의 성능열화 범위를 계측할 필요가 있다. 본 논문은 기존의 T-DMB 시스템에 SS 송신기를 추가함으로써 T-DMB의 성능열화는 최소화 하는 동시에 재난안전 방송을 위한 통신 시스템을 구축하고 이에 대한 성능평가를 실시하였다.

1. 서론

최근 지진, 폭우, 해일 등 갑작스런 재난 현상으로 인하여 세계 많은 곳에서 피해를 받고 있다. 우리나라는 2세대 통신 규격인 CDMA가 사용될 때 통신 규격에서 기본적으로 지원했던 재난안전 메시지 서비스를 사용하다 최근 3세대 및 4세대 통신 규격으로 발전해가며 종전에 서비스 되었던 재난 안전 메시지 서비스가 중단되게 되었다. 최근 갑작스런 재난 현상이 증가함에 따라 재난 알림 방송 서비스에 대한 필요성이 대두되고 있는 실정인데, 서비스를 하기 위한 시스템 연구는 미흡한 실정이다.

재난 안전 방송 서비스를 받기위한 최적의 도구는 언제, 어디서나 사용자가 갑작스런 재난에 대해 알림 서비스를 받기 위하여 사용자가 거의 소지하고 다니며, 기본적인 통신서비스가 가능하다는 점 때문에 핸드폰이 최적이라고 판단된다. 하지만 3세대 및 4세대 무선 통신 규격의 경우 재난 안전 서비스를 위한 추가적인 채널할당이 정의되어 있지 않아 추가적인 시스템 설계가 필요한 실정이다. 재난 안전 방송 서비스를 위한 추가적인 주파수 할당은 되어 있지 않은 상황에서, 추가적인 주파수 할당은 비용적 측면에서 적절치 않으며, 최근 몇몇 연구에서 고려되고 있는 사항으로 기존 사용하는 주파수 대역을 공유하여 사용하는 방법들이 대두되고 있다. 비슷한 예로서 참고문헌 [1]-[3]의 경우 기존의 cellular 대역에 broadcast 서비스를 [4], [5]에서 제안된 super position 기법을 이용하여 중첩하여 전송하는 기법이 제안되었었다. 중첩하여 서로 다른 두 개의 서비스를 같은 주파수 대역에 전송하는 경우 가장 큰 문제는 간섭문제인데, 이 경우 SIC (Successive Interference Cellation) 기법이 가장 중요한 이슈가 된다. 또다른 기법으로서, [6-12]에서는 중첩 코딩 기법을 사용하지 않고 기존 사용하는 TV방송에 사용되는 주파수 대역폭에 Water-marking 신호를 더하는 기법이 제안되었다. 이 기법의 경우 기존에 사용되던 DVB[13] 와 ATSC(Advanced Television System Committe) 대역폭에 추가적으로 Water-mark 신호를 추가하여 전송하는 기법으로 이를 이용할 시 super position 기법에서 필요했던 SIC 과정을 위한 추가적인 설계가 필요 없다는 장점이 있다.

본 논문은 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서 제안하는 시스템의 구조에 대하여 설명하고, 무선 채널 환경 하에서의 신호 흐름을 설명한다. 3장에서는 제안된 시스템과 기존 DMB 시스템에 대한 성능평가를 실시하여 제안된 시스템의 유용성을 증명하며 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

"본 연구는 방송통신위원회의 방송통신미디어원천기술개발사업의 연구결과로 수행되었음"(KCA-2011-11912-02002)

2. 시스템 모델

가. 시스템 정의

그림 1 논문에서 제안된 시스템 구조

그림 1은 본 논문에서 제안하는 시스템 구조를 간단하게 보여준다. 전송단은 DMB 송신기와 SS(Spread Spectrum) 송신기에서 나온 신호를 더하여 전송하게 되고 더해진 신호는 채널을 통과한 후 각각 DMB 수신기와 SS 수신기로 들어가 분리하게 된다. SS 신호의 경우 적은 주파수 대역을 갖는 신호를 특정 Spread Code를 이용하여 주파수 대역에 넓게 퍼뜨린 후 전송하고, 수신단에서 이를 다시 원래 대역폭으로 좁히는 작업을 통해 간섭 및 잡음으로부터 강한 면역력을 얻을 수 있는 통신 방법이다. SS 기법의 가장 큰 특징은 확산 지수

(Spreading Factor)를 적절히 조절하여 전송되는 심볼당 전력을 쉽게 가변할 수 있다는 데 있다. 송신단에서 두 신호를 단순히 합하여 전송하게 되는데 이 경우 서로간에 간섭이 발생하게 된다. 식 (1)과 (2)는 두 신호 사이의 관계를 정의하기 위한 파라메터로서 는 DMB 송신 신호와 SS 송신 신호의 비를 나타내고, F은 확산지수(Spreading Facfor)를 나타낸다.

$$\alpha = SIR = \frac{P_{DMB}}{P_S} \quad (1)$$

$$SF = \frac{R}{R_{SS}} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서 P_{DMB}와 P_{SS}는 각각 DMB 송신 신호 전력과 SS 송신 신호 전력을 나타내고, R_c는 SS 신호의 chip rate, R_{SS}는 SS 신호의 데이터 심볼율을 나타낸다. P_{SS}의 경우 실제 송신 신호 전력은 변경하지 않고, SF값을 변경함에 따라 송신 신호 전력 P_{SS}가 변하게 된다. 각 송신 신호의 정규화된 대역폭을 정의하면 식 (3), (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$w_{DMB} = \frac{W_{DMB}}{R_S} = \frac{N_{used}}{N_{FFT}} \quad (3)$$

$$w_{SS} = \frac{R_C}{R_S} \quad (4)$$

여기서 R_S는 DMB 신호와 SS신호의 Sampling rate이고, $_{MB}$는 실제 차지하는 대역폭을 나타내며, N_{FFT}와 N_{used}는 각각 FFT 크기와 실제 사용하는 부 반송파 개수를 나타낸다. SS 송신 신호가 Raised Cosine Filter를 사용한다고 가정하면, W_{DMB}값은 식 (5)와 같은 값을 갖게 된다.

$$W_{DMB} \geq (1+\beta) R_c \quad (5)$$

식 (5)에서 β는 필터의 roll-off factor 값을 의미한다. 시스템 설계시 좀더 간단히 설계하기 위하여 m이 정수값이라고 할 때 $R_s = mR_c$라고 두면, DMB 수신기와 SS 수신기가 ADC(Analog to Digital Converter)를 공유하여 사용할 수 있게 된다. 그림 2는 R_s값이 2.048Msps 이고, m값이 2일 때의 제안하는 시스템의 PSD(Power Spectral Density)를 보여준다.

그림 2. DMB 신호와 SS신호의 PSD

그림 2와 같은 경우 R_C는 1.024Msps 이고 W_{DMB} 는 1.536MHz 이며 roll-off factor β=0.5값일 때이다.

나. 전송 채널 모델

채널을 설명하기 위해서는 무선 환경이라는 가정 하에 다중경로 전송과 수신기의 이동속도를 고려하여야 한다. 이러한 경우 전송 채널의 경우 채널 임펄스 응답 h_k로 표현할 수 있으며, 여기서 k는 수신기가 받는 다중경로 채널의 길이로 $k = 0,1,...,L$과 같다. 각각의 채널 임펄스 응답 h_k의 경우 레일리안 분포를 갖으며 평균 채널 gain 값은 식 (6)와 같이 1을 갖게 된다.

$$\sum_{l=0}^{L-1} |h_l|^2 = 1 \quad (6)$$

결국 수신 신호 y_k는 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$y_k = h_k^* (x_{DMB,k} + x_{SS,k}) + n_k \quad (7)$$

식 (7)에서 $x_{DMB,k}$와 $x_{SS,k}$는 각각 DMB와 SS 송신신호를 나타내며, n_k는 수신단 안테나에서 발생하는 잡음으로서 평균 0, 분산 σ^2인 가우시안 분포를 따르고 DMB와 SS 각 전송 신호 전력의 경우 식 (8), 식 (9)과 같이 정의된다.

$$P_{DMB} = E|x_{DMB,k}|^2 \quad (8)$$

$$P_{SS} = E|x_{SS,k}|^2 \quad (9)$$

본 논문에서 제안하는 시스템의 경우 DMB 신호와 SS 신호의 경우 하나의 송신기에서 더해져서 전송되기 때문에 두 신호 전력의 합은 1이 되어야 한다.

$$P_{DMB} + P_{SS} = 1 \quad (10)$$

식 (1)에서 DMB 신호와 SS 신호 전력비를 α로 정의하였고, 식 (10)에서 두 신호 전력의 합은 1이라고 하였으므로 DMB 신호의 SS 신호의 각 신호 전력을 식 (11), 식 (12)과 같이 α로 나타낼 수 있다.

$$P_{DMB} = \frac{\alpha}{1+\alpha} \quad (11)$$

$$P_{SS} = \frac{1}{1+\alpha} \quad (12)$$

두 전송 신호 $x_{DMB,k}$와 x_{SS}에 대한 각각의 수신 신호를 각각 $t_{DMB,k} = h_k^* x_{DMB,k}$와 $t_{SS_k} = h_k^* x_{SS,k}$로 정의해 놓게 되면 수신 신호의 SNR은 식 (13)와 같이 정의할 수 있다.

$$SNR = \frac{E\ |t_{DMB,k}|^2 + E|t_{SS,k}|^2}{\sigma^2} \quad (13)$$

여기서 $E|t_{DMB,k}|^2$ 값과 $E|t_{SS,k}|^2$값은 식 (14), 식 (15)와 같이 계산할 수 있다.

$$E|t_{DMB,k}|^2 = (\sum_{l=0}^{L-1} |h_l|^2) \cdot P_{DMB} = P_{DMB} \quad (14)$$

$$E|t_{SS,k}|^2 = (\sum_{l=0}^{L-1} |h_l|^2) \cdot P_{SS} = P_{SS} \quad (15)$$

두 신호 전력의 합 $P_{DMB} + P_{SS} = 1$이므로, 결국 식 (13)의 수신 신호 SNR은 식 (16)와 같이 표현 가능하다.

$$SNR = \frac{1}{\sigma^2} \quad (16)$$

3. 모의실험 및 성능 평가

가. 모의실험 환경

모의실험을 하기 위해서는 기존 T-DMB 방송 시스템의 설계 및 추가적인 Water-Marking 시스템의 송수신기 설계가 필요하다. T-DMB 시스템의 경우 한 채널이 차지하는 대역폭이 1.536MHz이고, OFDM 변조 기법을 사용한다. 본 논문은 기존의 T-DMB 시스템을 그대로 사용하였고, T-DMB 시스템의 송신기 구조는 규격문서 [14]에서 제시한 시스템을 그대로 사용하였다.

T-DMB의 채널 당 대역폭이 1.536MHz이기 때문에 SS 신호 또한 이에 맞도록 설계할 필요가 있다. 본 논문의 모의실험에서 사용한 SS 송신기의 구조는 그림 3과 같다. 데이터 신호의 경우 Convolutional Encoder를 거쳐 Coded Bit를 만들어 주게 되고, 이때

부호율은 1 을 사용하였다. 인터리버는 랜덤 인터리버를 사용하였으며 4-QAM 변조를 한 후 특정 스프레딩 시퀀스를 각 심볼마다 곱해주어 SS 심볼을 만들어 주게 된다. 모의실험에서 사용한 스프레딩 시퀀스의 경우 임의로 랜덤하게 생성하였으며, Chip rate는 1.024Mcps로 설정하였다. 이때 송신단의 roll-off factor는 0.5로 하여 최종적으로 전송되는 신호의 대역폭은 T-DMB와 동일하게 1.536MHz가 되게 설계하였다.

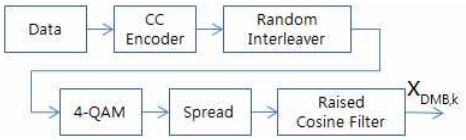


그림 3. SS 시스템의 송신기 구조

그림 4는 송신시 각 전송 신호의 스펙트럼을 보여준다. 그림 4.(a)의 경우 기존의 T-DMB 송신 신호의 스펙트럼을 보여주며, 그림 4.(b)는 SS 전송 신호의 스펙트럼을, 그림 4.(c)는 T-DMB 신호와 SS 신호가 더해져 최종적으로 채널로 전송되게 되는 전송 신호의 스펙트럼을 보여준다. 스펙트럼을 살펴보면 기존의 T-DMB 전송 스펙트럼과 설계된 T-DMB 신호와 SS신호를 더하여 전송하게 되는 전송 스펙트럼이 거의 유사한 것을 알 수 있다. 이는 SS 신호가 스프레딩 과정을 통하여 전송시키기 때문에 SS 신호의 경우 매우 미약한 신호전력을 갖고 전송시키기 때문이다. 결국 T-DMB 입장에서 보면 송신단에 SS 송신단을 추가함으로서 약간의 AWGN(Additive White Gaussian Noise)잡음이 증가한 것과 같은 효과를 얻게 되는 것을 알 수 있다. SS 신호 입장에서는 채널에서 SS 신호 대비 굉장이 큰 크기의 T-DMB 신호가 간섭으로 들어오게 되나 수신기에서 디-스프레딩 과정을 통하여 전송 신호 전력을 SF배만큼 증가시키기 때문에 복조가 가능해 지게 된다.

SS 시스템의 수신기의 경우 기본적으로 SS 송신기 구조와 흡사하나, MRC 기법을 수행하기 위하여 3개의 finger를 사용하였다.

나. 성능 평가

모의실험을 하기 SS송신 신호의 경우 심볼당 파워를 T-DMB 성능에 의존하여 쉽게 변경할 수 있으나 T-DMB 성능 향상을 위해 SS 송신 신호의 심볼당 전력을 줄이기 위해서는 SF값을 올려야만 하고, 그로 인하여 SS 송신 신호의 데이터 전송률이 떨어지게 된다. 그러므로 모의실험을 통한 성능 평가를 수행하기 전에 이론적으로 대략적인 SS 송신신호 전력을 계산하였다.

일반적으로 T-DMB 신호의 경우 10^{-4} BER을 만족시켜야 하고, SS 신호의 경우 데이터 전송이기 때문에 10^{-6} BER을 만족시켜야만 한다. 10^{-4} BER을 기준으로 T-DMB의 경우 요구 SNR이 6dB 로 알려져 있다. 본 논문에서 제안하는 송신기 구조를 적용하게 되면 수신 SNR의 경우 식 (13)와 같이 표현 가능하나, T-DMB의 입장에서 보는 SNR의 경우 SS 수신 신호 전력이 간섭으로 작용하여 잡음과 같은 효과를 적용하므로 식 (17)과 같이 표현된다.

$$NR_{MB} = \frac{E|t_{DMB,k}|^2}{\sigma + E|t_{SS,k}|^2} \qquad (17)$$

결국 식 (17)의 SNR_{DMB}값이 6dB를 만족시켜야만 제안된 시스템의 T-DMB시스템이 10^{-4} BER을 만족할 수 있게 된다.

SS 송신기를 추가함에 따라 T-DMB 수신기가 1dB 성능열화를 허용한다고 가정하면 식 (18)과 같이 SS 송신 신호 전력을 계산할 수 있다.

$$\frac{E|t_{DMB,k}|^2}{\sigma^2} = \frac{1}{10^{-0.6} - \frac{E|t_{SS,k}|^2}{E|t_{DMB,k}|^2}} \leq 10^{0.7} \qquad (18)$$

$$\frac{E|t_{SS,k}|^2}{E|t_{DMB,k}|^2} \leq (10^{-0.6} - 10^{-0.7})$$

$$\rightarrow \frac{E|t_{SS,k}|^2}{E|t_{DMB,k}|^2} \leq -13[dB]$$

식 (18)의 결과를 보면 T-DMB 신호의 성능 열화를 1dB 허용한다고 가정할 시 DMB 신호와 SS 신호의 신호 비는 -13dB 이하여야 한다는 결론을 얻게 된다. 모의실험에서 사용한 두 신호전력 비율은 식 (18)을 통해 얻은 신호 비 값에 1dB의 마진을 주어 -14dB로 정하였다.

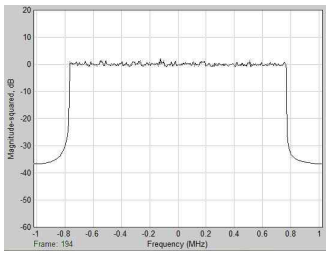
두 번째로 SS 신호가 10^{-6} BER을 만족하기 위하여 xdB SNR을 요구한다고 가정하면 식 (19)과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$\frac{E|t_{DMB,k}|^2 + E|t_{SS,k}|^2}{\sigma^2} = x[dB] \rightarrow \qquad (19)$$

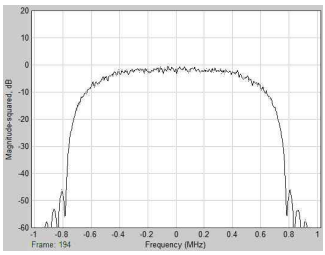
$$\frac{E|t_{DMB,k}|^2 + E|t_{SS,k}|^2}{\sigma^2} \simeq \frac{E|t_{DMB,k}|^2}{\sigma^2}$$

$$\simeq 10^{\frac{x}{10}}$$

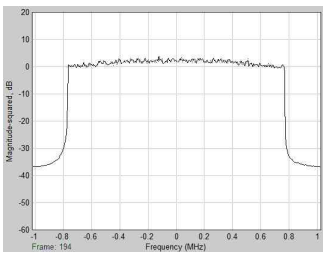
4-QAM 변조를 사용하고 $\frac{1}{2}$ 콘볼루션 채널 코딩을 사용한다고 가정할 시 10^{-6} BER을 얻기 위해서는 5dB가 필요하므로 전송되는 SS 신호의 경우 신호전력이 SF배만큼 커지게 된다는 점을 이용하면 식 (20)와 같이 대략적인 SF 값을 계산할 수 있다.



(a) T-DMB 신호 스펙트럼



(b) SS 신호 스펙트럼



(c) T-DMB + SS 신호 스펙트럼

그림 4. 송신 신호 스펙트럼

$$F \frac{E|t_{SS}|^2}{E|t_{MB\,k}|^2+\sigma^2} > 5[dB] \rightarrow \quad (20)$$

$$SF \cdot \frac{E|t_{SS_k}|^2}{E|t_{DMB,k}|^2+\sigma^2} > 3.16 \rightarrow$$

$$SF > \frac{3.16(E|t_{DMB,k}|^2+\sigma^2)}{E|t_{SS_k}|^2}$$

모의실험에서 사용한 시스템의 잡음 대역폭은 2MHz이고, T-DMB 신호의 대역폭은 1.536MHz이다. SS 신호의 대역폭은 1MHz인데 실제 잡음의 경우 $\frac{N}{2}$ 가 되고 DMB신호의 전송 전력의 경우 $\frac{2}{3}$ 이 되게 된다. 결국 이와 식 (19)를 이용하여 계산하면 SS 신호가 SNR 7dB에서 10^{-6} BER을 얻기 위해서는 SF 값이 60이상이 되어야 하고, SNR 1dB에서 10^{-6} BER을 얻기 위해서는 84 이상의 SF값이 필요하게 된다.

모의실험에서는 임의로 총 3개의 패스가 있는 무선환경을 가정하였고, 이때의 도플러 주파수는 60km/h의 속도를 가정하여 계산 된 값 11.1Hz로 하였으며 수신단에서는 완벽하게 채널을 알고 있다고 가정하였다. 표 1은 모의실험에서 사용한 채널 모델을 보여준다. 그림 5은 AWGN 환경 하에서의 T-DMB + SS 신호를 전송하였을 때의 BER 성능을 보여준다. T-DMB만 전송할 때 대비 SS 신호를 추가하여 전송하게 되면 10^{-4} BER기준으로 T-DMB 입장에서는 0.75dB ~ 1.5dB 가량의 성능열화를 겪는 것을 볼 수 있다. 이 성능열화 정도는 SS 신호의 SF값을 변경함으로써 좀 더 좋은 결과를 얻을 수 있으나 SS 신호의 데이터 전송율이 떨어진다는 단점이 존재한다.

그림 6은 Fading 채널 환경 하에서의 동일 SS 신호파워를 사용면서 SF 값을 변경해가며 T-DMB + SS 신호를 전송하였을 때의 DMB 수신기의 BER 성능을 보여준다. SS 신호를 추가하지 않은 신호의 요구 SNR이 10^{-4} BER를 기준으로 10.75dB인데 반하여 SS 신호를 추가한 후 전송했을 때의 요구 SNR은 12dB, 12.4dB, 13dB로 1.3dB~2.6dB 가량의 성능 열화가 나타나는 것을 볼 수 있다.

Path No.	Delay [chip]	Power [dB]
1	0	0
2	2	-3
3	4	-6

표 1. 모의실험에서 사용한 채널 모델

4. 결론

본 논문을 통하여 재난 안전 방송을 위한 통신 시스템으로서 기존의 T-DMB 시스템에 SS 전송 시스템을 추가하여 추가적인 주파수 할당없이 재난 안전 방송을 가능하게 할 수 있음을 보였다. SS 신호를 추가하게 되더라도 SF 값의 변경을 통하여 T-DMB의 수신 성능 열화를 조절할 수 있으며, 이를 통하여 적절한 송신기 설계가 가능함을 보였다. 하지만 T-DMB 수신 성능 열화를 줄이기 위해서는 SF값을 키워야만 하는데, 그 경우 SS신호의 데이터 전송율이 낮아지게 되는 단점이 있다.

5. 참고 문헌

[1] F. Khan, "Broadcast Overlay on Unicast via Superposition Coding and Interference Cancellation," *Proc. VTC*2006Fall, Vol.2, pp.836-841, Montreal,Canada,Sept.2006

[2] D. Kim, F. Khan, C.V. Rensburg, S. Yoon and Z. Pi, "Superposition of Broadcast and Unicast in Wireless Cellular Systems", *IEEECommunicationsMagazine*, Vol.46,No.7, pp. 110-117, July,2008

[3] S. Yoon and D. Kim, "Performance of Superposition Coded Broadcast/Unicast Service Overlay System", *IEICETrans.onComm.*, Vol.91B, No.9, Sep.2008

[4] T.M. Cover and J.A Thomas, *ElementsofInformationTheory*, WileyInterscience, 1991

[5] T.M. Cover, "Broadcast channels", *IEEETrans.onInformationtheory*, Vol-18, No.1, pp.2-14, Jan.1972

[6] S. Gadkari and K. Rose, "Time division vs. superposition-codedmodulationschemesforunequalerrorprotection,"*IEEETrans.onComm.*,vol.47,pp.370 - 379,Mar.1999

[7] X. Wang, Y. Wu and B. Caron, "Transmitter identification using embedded pseudo random sequences " IEEE Transactions on Broadcasting," Vol.50 , No.3, pp.244 - 252, 2004

[8] X. Wang, Y. Wu and J.-Y. Chouinard, "Robust data transmission using the transmitter identification sequences in ATSC DTV signals," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.51 , No.1, pp.41 - 47, 2005

[9] F. Yang, L. N. Hu, L. Gui, Z. Wang and W.J. Zhang, "Transmitter Identification With Watermark Signal in DVB-H Signal Frequency Network," IEEE Transactions on Broadcasting, Vol.55 , No.3, pp.663 - 667, 2009

[10] S. I. Park, J.-Y. Lee, H. M. Kim and W Oh, "Transmitter Identification Signal Analyzer for Single Frequency Network ," IEEE Transactions on Broadcasting, Vol.54 , No.3 , Part: 1, pp.383 - 393, 2008

[11] S. I. Park, J. Kim, D. Choi, H. M. Kim and W. Oh, "RF Watermark Backward Compatibility Tests for the ATSC Terrestrial DTV Receivers," IEEE Transactions on Broadcasting, Vol.57 , No.2 , Part: 1, pp.246 - 252, 2011

[12] S. I. Park, H. M. Kim and W. Oh, "Reception Power Estimation Using Transmitter Identification Signal for Single Frequency Network," IEEE Transactions on Broadcasting, Vol.55 , No.3, pp.652 - 655, 2009

[13] "Digital Video Broadcasting (DVB): Transmission System for Handheld Terminals", ETSI, EN 302 304 v1.1.1, Nov. 2004

[14] "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding andmodulation for digital terrestrial television", ETSI EN 300 744

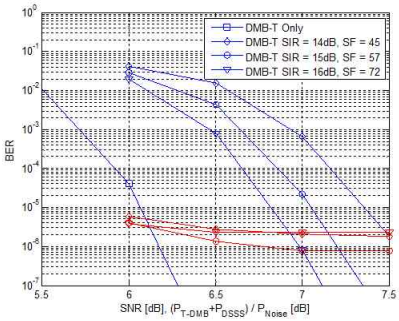


그림 5. AWGN 환경 하에서의 T-DMB 및 SS 신호 BER 성능

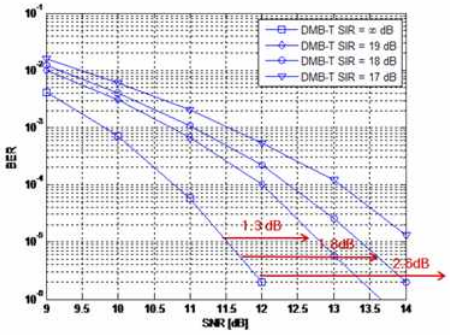


그림 6. Fading 환경 하에서의 T-DMB 신호의 BER 성능