

논문 2017-54-2-19

T-DMB 시스템 대역외 방사 저감기법 고찰

(A Study on reduction of out-of-band radiation in T-DMB)

방극준*

(Keukjoon Bang[Ⓒ])

요약

OFDM 시스템 앙상블의 대역외 방사는 인접 앙상블의 수신 성능에 영향을 주기 때문에 대역외 방사 완화 기법의 적용은 매우 중요한 기술에 해당한다. 본 논문에서는 DAB 계열 OFDM 시스템 스펙트럼의 대역외 방사 완화 기법과 관련하여 시간영역 윈도우링 방식을 적용한 대역외 방사 완화 기법 적용을 고찰하여 보았으며, 해당 기법을 T-DMB (DAB 모드-1) 및 AT-DMB 향상계층 B-모드 및 Q-모드에 대하여 적용한 결과 약 3dB 정도의 대역외 방사 완화 이득을 얻었다. 또한 BER 성능 측정에서도 해당 기법을 적용함에 따른 성능 저하가 매우 미미함을 확인하였다.

Abstract

In OFDM system, the out-of-band radiation of ensemble interferes with the adjacent ensemble and result in the reduction of receiving performance. So the reduction scheme of out-of-band radiation is very important. In this paper, a time-domain windowing method to reduce the out-of-band radiation is considered to DAB systems. We adopt the considered method to T-DMB(DAB mode-1) and AT-DMB Systems, and we get about 3-dB gains of out-of-band radiation. And also we show that the considered method doesn't reduce the BER performance.

Keywords : out-of-band radiation, T-DMB, OFDM

I. 서론

현재 디지털라디오방송 표준은 세계적으로 미국의 HD-Radio, 유럽의 DAB/DAB+, DRM/DRM+ 등 세 가지 방식이 표준으로 인정되고 있으며 그 중 우리나라에서는 유럽의 DAB+ 방식이 향후 우리나라 디지털라디오방송의 표준으로 채택될 확률이 매우 높은 것으로 알려져 있다^[1]. 또한 현재 방송 시행중인 이동멀티미디어 방송인 T-DMB 역시 DAB와 같은 신호체계를 사용한다^[2]. 특히 T-DMB와 관련하여 이미 AT-DMB 시스템이 개발 완료된 상태에 있으며 최근에는 HD-DMB라 불리는 T-DMB 3.0이 MPEG-H의 HEVC 코덱을 적용

하여 기존 전송용량을 그대로 유지하고서도 해상도를 획기적으로 개선할 수 있게 되어 펌웨어의 업그레이드만으로 화질개선이 달성됨에 따라 T-DMB의 관심도가 대폭 상승되는 효과를 얻기도 하였다.

이렇듯 T-DMB를 포함한 DAB 계열의 시스템이 다양하게 적용되는 상황에서 본 논문에서는 DAB 계열 OFDM 시스템 스펙트럼의 대역외 방사와 관련하여 일반적으로는 필터의 적용과 관련된 내용^[3] 등의 연구가 거의 대부분인 상황인데 반하여 본 논문에서는 시간영역 윈도우링 방식을 적용한 대역외 방사 완화 기법^[4]을 T-DMB 및 AT-DMB의 여러 모드에 대하여 적용한 후 결과를 분석, 정리해 보고자 한다.

본 논문은 2장에서 기존 표준에서 제안하는 DAB 시스템 스펙트럼의 대역외 방사 기준을 먼저 살펴본 다음 본 논문에서 검토해 보고자 하는 OFDM 앙상블에 대한 시간영역 윈도우링 기법에 대하여 정리하고 3장에서는 2장에서 정리한 각 기법들에 대하여 정해진 환경에서의 모의실험 결과를 정리한 후 4장에서 결론을 맺고자 한다.

* 정회원, 인덕대학교 방송영상미디어학과 교수
(Dept. of Broadcasting & Visual Media, Induk University)

Ⓒ Corresponding Author (E-mail : kjbang@induk.ac.kr)

※ 본 논문은 인덕대학교 2014년 학술연구비 지원에 의한 연구 결과임.

Received ; December 15, 2016 Revised ; January 9, 2017

Accepted ; January 24, 2017

II. DAB 스펙트럼

1. OFDM 전송신호 스펙트럼^[5~6]

T-DMB 또는 DAB/DAB+ 시스템의 전송신호는 OFDM 변조신호로서 신호 스펙트럼은 다음과 같이 부반송파의 병렬 전송신호로 볼 수 있다.

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} C_{n,k} \Psi_{n,k}(t) \quad (1)$$

여기에서 $s(t)$ 는 등가 OFDM 신호이며, $C_{n,k}$ 는 n 번째 OFDM심볼의 k 번째 부반송파에 실려지는 실제 정보신호이고, $\Psi_{n,k}$ 는 부반송파 신호로 다음과 같다.

$$\Psi_{n,k}(t) = g_k(t - nT_s) \quad (2)$$

$$g_k(t) = \begin{cases} e^{j2\pi f_k t} & 0 \leq t \leq T_s \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

한편 $g_k(t)$ 는 각 부반송파간에 직교성을 유지해야 하며 그림 1에서와 같이 스펙트럼 상에서 상호 중첩되며 주어진 대역폭 외의 영역으로 스펙트럼이 방사되게 된다.

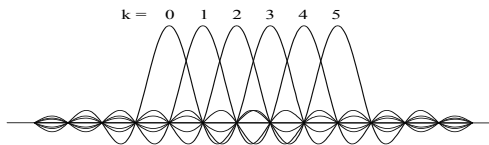


그림 1. OFDM 부반송파 스펙트럼 $g_k(t)$ 분포
Fig. 1. OFDM subcarrier spectrum $g_k(t)$.

일반적으로 수백개에서 수천개에 이르는 OFDM 부반송파가 합해지면 그림 2 및 그림 3과 같은 스펙트럼 분포를 얻게 된다.

그림 2 및 그림 3은 각각 DAB 시스템 모드-I(부반송파 2048) 및 모드-III(부반송파 256)에 대한 부반송파 누적 스펙트럼을 보인 것으로 DAB 표준안 ETSI EN 300-401표준에 포함된 내용을 캡처하여 보인다^[7].

그림 2 및 그림 3에서 볼 수 있는 사항은 부반송파의 개수 즉 누적부반송파의 개수가 많을수록 대역외 방사의 양이 줄어든다는 것으로 DAB시스템 모드-1과 모드-3를 비교해 보면 부반송파의 개수가 256개인 경우에 비하여 부반송파의 개수가 2048인 경우 약 10dB 이상 차이가 남을 볼 수 있다.

또한 그림 4는 T-DMB 시스템의 송신단 전송 스펙트럼의 인접 주파수 대역 확산을 방지하기 위한 스펙트럼 마스크를 보여준다.

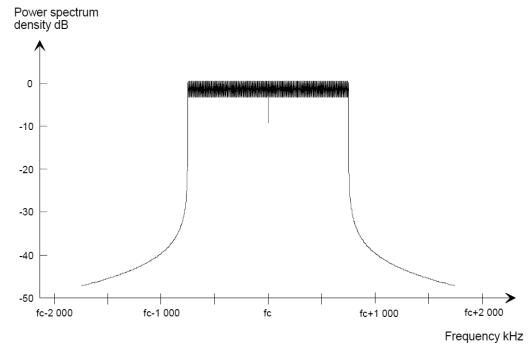


Figure 103: Theoretical DAB transmission signal spectrum for transmission mode I

그림 2. DAB 모드-1 스펙트럼^[7]
Fig. 2. Spectrum of DAB mode- I .

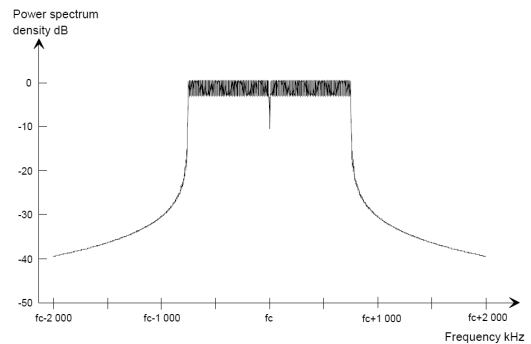


Figure 105: Theoretical DAB transmission signal spectrum for transmission mode III

그림 3. DAB 모드-3 스펙트럼^[7]
Fig. 3. Spectrum of DAB mode-III.

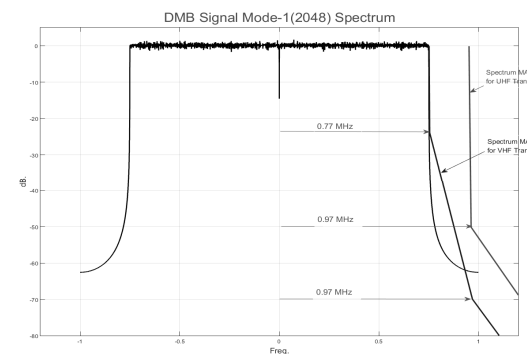


그림 4. DAB 스펙트럼 마스크^[7]
Fig. 4. Spectrum Mask of DAB system.

즉, UHF 대역 및 VHF 대역으로 구분하여 전송스펙트럼의대역 확산을 방지하기 위한 스펙트럼 마스크를 반드시 적용하여 송출해야만 한다.

또한, 그림 5는 DSB Handbook에서 제시한 DAB 양상블간 간섭영향을 주파수 대역 대비 간섭의 크기(간섭 마스크)를 보여준다.

즉, 그림 5에서는 좌측의 대상 DAB 양상블에 대하여 우측의 스펙트럼 간섭 마스크를 고려해야 한다는 것으

로, 양상블간 보호대역을 200kHz 두었을 때의 이웃 양상블에 의한 대상 양상블의 간섭 정도를 보여준다.

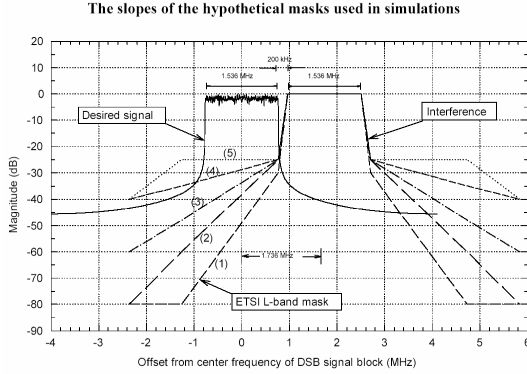


그림 5. DAB 양상블간 간섭마스킹^[8]
Fig. 5. Interference Mask of DAB ensemble.

또한 그림 6은 현재 우리나라에서 적용하는 T-DMB 시스템에서 TV채널 1개당 양상블 3개가 배치되는 상황을 보여준다. 즉, 양상블 3개의 좌우에 각각 512kHz 및 496kHz의 전체 보호대역 및 양상블간 192kHz의 양상블간 보호대역이 주어지고 있음을 확인할 수 있다.

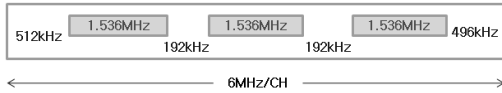


그림 6. TV채널 내에서의 T-DMB 양상블 배치^[2]
Fig. 6. Arrangement of T-DMB Ensembles in TV-channel.

이와 같이 DAB 양상블의 대역외 방사는 인접 양상블의 수신성능에 영향을 주기 때문에 대역외 방사 완화 기법의 적용은 매우 중요한 기술에 해당한다.

2. OFDM 전송신호 시간영역 윈도우

OFDM 전송신호에 대한 시간영역 윈도우는 전송신호의 대역외 방사 완화를 위하여 사용되는 기법으로 이미 '2.3GHz 휴대인터넷 시스템' 즉, 와이브로 시스템에서 표준으로 적용된 기법이다^[9].

시간영역 윈도우의 적용 방법은 OFDM 전송흐름 중 IFFT 후 보호구간까지 삽입된 상태의 시간영역 OFDM 신호에 대하여 적용한다. 그림 7은 하나의 OFDM 심볼에 대한 시간영역 윈도우를 적용하기 위한 방법을 보여주는 적용 개념도이다.

그림 7과 같이 하나의 OFDM 심볼 구간이 T_s 인 신호에 대하여 심볼전치(prefix)의 반과 심볼후치(postfix)의 반을 덧붙여 전체 심볼구간이 기본 심볼구간 T_s 보

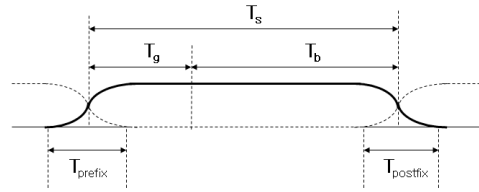


그림 7. 시간영역 윈도우 적용 개념도
Fig. 7. Concept map of time-domain windowing in OFDM symbol.

다 길게 되어 인접 심볼구간까지 확장되어 실제 전송되는 경우 심볼과 심볼의 인접구간에서는 심볼전치 및 심볼후치의 겹쳐지는 구간동안 두 심볼이 동시에 전송되는 현상을 유발하게 된다. 단 이렇게 겹쳐지는 구간에서 각 심볼들은 그림 7에서 보는 바와 같이 신호가 특정 함수를 사용하여 점차 강해지거나 점차 약해지는 신호 강도조절이 행해지며 그림 7의 굵은 선으로 표시된 신호가 한 심볼의 전체 신호강도를 표시하고 있다. 이와같이 신호강도를 조절하는 함수로 일반적으로 사용되는 함수가 Raised-Cosine 함수이며, 관계식은 다음과 같다.

$$s(n) = w(n) \cdot \sum_{k=N_{used}/2, k \neq 0}^{N_{used}/2} b_{kexp((j2\pi k\Delta f)(n-N_g))} \quad (4)$$

$$n = -m, -m+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, N_{s+m}$$

여기에서 $s(n)$ 은 시간영역 윈도우 기법이 적용된 OFDM 시간영역 전송신호이며, 식(4)의 우측 합의 공식은 일반적인 OFDM 전송신호이고 $w(n)$ 은 윈도우 함수로서 다음과 같이 주어진다.

$$w(n) = \begin{cases} 0.5 \left(1 + \cos \left(\pi \left(1 + \frac{n+m}{2m} \right) \right) \right) & \text{for } -m \leq n \leq m \\ 1 & \text{for } m < n \leq (N_s - m) \\ 0.5 \left(1 + \cos \left(\pi \left(\frac{n - (N_s - m)}{2m} \right) \right) \right) & \text{for } (N_s - m) < n \leq (N_s + m) \end{cases} \quad (5)$$

여기에서 m 은 raised-cosine 함수의 roll-off 인자와 관계되는 값으로 다시 다음과 같이 정의된다.

$$roll-off = \frac{m \times 2}{T_s} \quad (6)$$

즉, roll-off 값이 크면 심볼전치 및 심볼후치의 길이가 길어지며 그 결과 대역외 방사의 양이 변하게 된다.

III. 모의 실험

본 논문에서는 앞에서 설명한 시간영역 윈도잉 기법을 DAB/T-DMB 신호 및 AT-DMB 신호에 적용할 경우 각각 대역외 방사 완화 정도가 어느 정도인지와, 그 경우 윈도잉 기법을 적용하지 않았을 경우 대비 수신신호의 BER율의 변화를 확인해 보았다.

먼저 모의실험 환경은 T-DMB 2048부반송파 환경 즉, DAB 시스템 모드-1 환경에 식(5)의 시간영역 윈도잉 함수를 적용하되 식(6)의 Roll-Off 인자를 각각 0.01, 0.05, 0.1의 세가지 경우를 주었을 때 스펙트럼의 대역외 방사 완화 정도 및 각각의 경우에 수신신호 BER의 변화 정도를 확인해 보았다.

모의실험 결과는 그림 8과 같다.

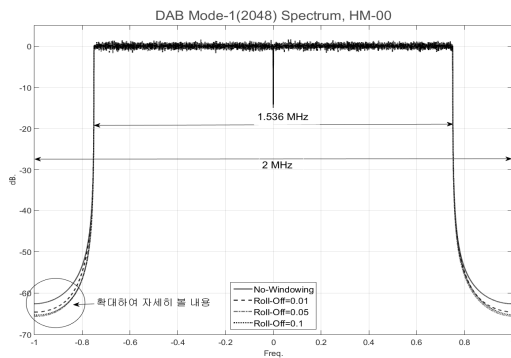


그림 8. T-DMB 대상 윈도잉 적용결과 스펙트럼
Fig. 8. Spectrum of simulation result for T-DMB.

그림 8의 좌하귀부분만 확대하여 자세히 보인 결과가 그림 9이다. 그림 9에서 보는 바와 같이 시간영역 윈도잉을 적용하지 않은 경우 대비 Roll-Off = 0.05를 적용한 경우 약 3.1dB 이득을 얻었다.

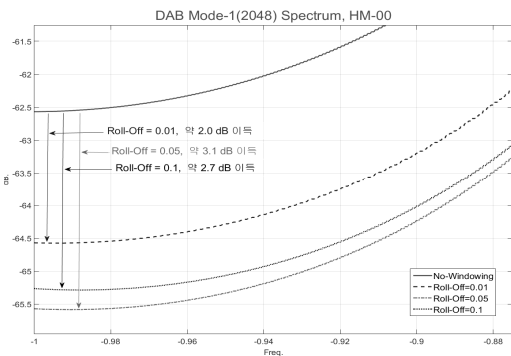


그림 9. 그림 8 좌하귀 확대 스펙트럼
Fig. 9. Enlarged spectrum graph of fig. 8.

계속해서 그림 10 및 그림 11은 각각 AT-DMB의 항상계층 모드 두가지인 항상계층 B-모드 및 Q-모드에 대하여 각각 시간영역 윈도잉을 적용한 경우로, 스펙트럼의 대역외 방사 완화가 앞서 설명한 정도인 약 3dB 개선효과가 있음을 확인하였다. 단 AT-DMB에 적용한 모의실험은 Roll-Off 값의 변화에 대하여 앞선 실험과 성질이 다른 스펙트럼 대역외 방사완화 정도를 얻었기 때문에 이에 대하여는 각 조건에서 최대 이득을 얻을 수 있는 Roll-off값 추정을 실행하면 해결될 것으로 보인다.

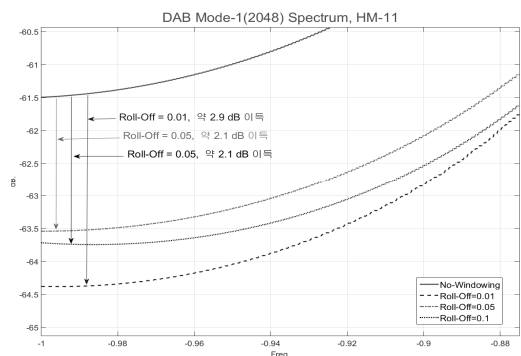


그림 10. AT-DMB 항상계층 B-모드 대상 모의실험 결과 영역 확대 그래프
Fig. 10. Enlarged spectrum of simulation result for B-mode AT-DMB.

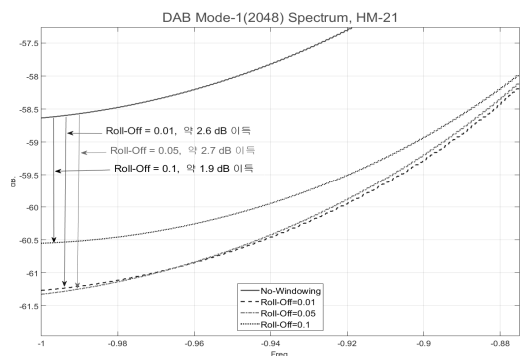


그림 11. AT-DMB 항상계층 Q-모드 대상 모의실험 결과 영역 확대 그래프
Fig. 11. Enlarged spectrum of simulation result for Q-mode AT-DMB.

마지막으로 그림 12는 그림 9의 스펙트럼 이득 3dB를 얻을 때의 BER 성능을 확인 한 결과이다. 그림 12에서 보는 바와 같이 BER=10⁻⁴기준 시간영역 윈도잉을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우 모두 거의 비슷한 수준의 BER 성능을 보였다.

따라서 시간영역 윈도잉은 원 신호에 대하여 약간의

변형을 가하는 신호왜곡을 적용하지만 그 결과는 대역외 방사의 완화 정도가 약 3dB 정도로 작지 않은 결과를 얻을 뿐만 아니라 BER성능에서의 성능 저하가 거의 없음을 확인할 수 있었다.

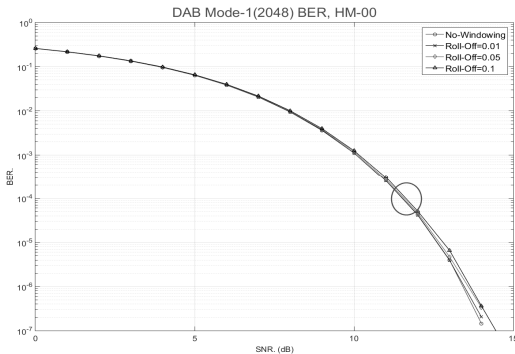


그림 12. T-DMB 대상 모의실험 결과 BER 그래프
 Fig. 12. BER graph of simulation result for T-DMB.

IV. 결 론

본 논문에서는 DAB 계열 OFDM시스템 스펙트럼의 대역외 방사와 관련하여 시간영역 윈도우링 방식을 적용한 대역외 방사 완화 기법을 T-DMB (DAB 모드-1) 및 AT-DMB 향상계층 B-모드 및 Q-모드에 대하여 적용한 결과 대역외 방사 완화 정도는 약 3dB 정도의 이득을 얻을 수 있음을 확인하였으며, 방사완화기법 적용 전후의 BER 성능을 확인한 결과 BER=10⁻⁴기준으로 볼 때 수신성능 악화가 거의 발생하지 않음도 확인하였다. 이는 시간영역 윈도우링 기법이 T-DMB 및 AT-DMB 시스템에 대역외 방사 완화기법으로 좋은 방법이 될 수 있음을 확인한 결과이다.

따라서 본 논문에서 고찰한 방식은 T-DMB 시스템의 대역외 방사를 송출 전에 사전 처리기 방식으로 처리함에 따라 필터에서의 신호 왜곡을 감소시킬 수 있는 하나의 방법으로 기대할 수 있겠다.

REFERENCES

[1] Lee, "A Study on Digital Radion Standard", TTAJournal, Vol.109, pp. 71-76, 2007.
 [2] TTAKKO-07.0024/R2, "Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting (DMB) System", TTA, 2009.6.
 [3] Her et al., "Out-of-Band Emission Mask Analysis of Terrestrial Low Power DMB Repeater", KICS Journal, Vol.35, No.8, pp. 1188-1196, 2010.8.
 [4] TTAKKO-07.0070, "Specification of the Advanced

Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting (AT-DMB) to mobile, portable, and fixed receivers", TTA, 2009.6.

[5] M. Alard and R. Lassalle, "Principles of modulation and channel coding for digital broadcasting for mobile receivers," EBU Review-Technical, Vol. 224, pp.168-190, Aug. 1987.
 [6] J.-J. van de Beek, M. Sandell, M. Isaksson and P. O. Borjesson, "Low-complex frame synchronization in OFDM systems," in Proc. ICUPC'95, pp. 982-986, Nov. 1995.
 [7] ETS 300 401, "Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting to mobile portable and fixed receivers", v.1.3.3, ETSI, May 2001.
 [8] DSB Handbook 2002-Edition.
 [9] TTAS.KO-06.00xx, "Specifications for 2.3GHz band Portable Internet Service", TT, 2005

저 자 소 개



방 극 준(정회원)

1985년 연세대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1995년 연세대학교 산업대학원 전자공학과 석사 졸업.
 1999년 연세대학교 전자공학과 박사 졸업.

2000~현재 인덕대학교 방송영상미디어학과 교수
 <주관심분야: 디지털방송시스템 및 방통융합>