

LMS 채널에서 DVB-S2 시스템의 성능 분석

*한재신 **조순기 ***서종수

연세대학교

*hjs4015@yonsei.ac.kr

Performance of DVB-S2 system in LMS Channel

*Han, Jae-Shin **Jo, Soonki ***Seo, Jong-Soo

Yonsei University

요약

DVB-S2 표준안에서는 다양한 부호화율과 그에 따른 변조 방식을 제공한다. 그리고 비선형 영역에서 동작하기 위하여 특정 성상도를 갖는 고차 변조 방식을 사용한다. 본 논문은 LMS (Land-Mobile-Satellite) 채널 환경에서 DVB-S2 시스템의 수신 성능을 분석한다. 또한 비선형 HPA (Non-linear High Power Amplifier) 모델을 적용하여 수신 성능도 제시한다. LMS 채널 모델로는 Log-normal, Rician, Rayleigh 등 단일 채널 모델이 합성된 Hybrid 채널을 사용한다. 비선형 HPA 모델은 Saleh 모델을 사용한다. 그리고 각각의 채널 환경에서 8PSK, 16APSK, 32APSK 변조 방식에 따른 BER을 제시하고 그 성능을 제시한다.

1. 서론

HDTV와 대용량 멀티미디어 통신과 같은 고 품질 방송 서비스를 위성 방송에서도 제공하기 위해, 기존 위성 방송 시스템은 성능 개선이 요구되었다. 이에 따라 세계적으로 기존 위성 방송에서 사용된 DVB-S (Digital Video Broadcasting - Satellite) 시스템을 기반으로 시스템 확장에 대한 연구를 활발히 진행하였다 [1]. 이때 채널 부호화 (Channel Coding) 기술이 발전하여 링크마진이 확대되었고, HPA(High Power Amplifier)에 대한 연구가 발전하여 비선형성에 강한 APSK (Amplitude Phase Shift Keying) 계열의 고차 변조기법이 제안되었다. 그 연구 결과 Echostar사는 기존 DVB-S 시스템 보다 약 40%의 용량 증가를 달성한 DVB-S2 시스템을 만들었다. 미국은 Echostar사의 시스템을 채택하여 DVB-S2 표준화를 제정하였으며 현재 광대역 위성 통신 서비스를 제공하고 있다 [2]. 이후 DVB-S2 시스템을 광대역 위성 통신 뿐 아니라 이동 위성 서비스 (Mobile Satellite Services)에도 적용하기 위한 연구가 되고 있으며 이는 서비스 사업자 및 장비 제조업자들에게도 중요한 관심사가 되고 있다 [3]. 이에 따라 LMS (Land-Mobile- Satellite) 채널에 대한 많은 연구가 시작되었고 이동 환경에 적합한 위성 채널 모델들이 제시되었다 [4]. 하지만 이동 위성 서비스를 위하여 현재까지 제안된 LMS 모델들의 성능을 함께 비교한 연구가 부족하다. 또한 비선형 고차원 증폭기에 강한 APSK 계열의 변조 기술을 LMS 채널에 적용한 경우 성능 변화에 대한 연구가 부족한 상황이다. 따라서 본 논문은 비선형 HPA 모델이 적용된 DVB-S2 시스템을 이용하여 LMS 채널에서의 수신 성능을 비교하고 분석한다. 또한 비선형성이 적용되지 않은 시스템의 수신 성능까지 제시 하여 이후 다양한 환경에서 이용 가능한 객관적인 지표를 제시한

다.

2. 페이딩 채널 모델 (Fading Channel Model)

페이딩 채널은 화이트 가우시안 랜덤 프로세스 (White Gaussian Random Process)로 표현이 가능하며 가우시안 랜덤 프로세스 $a(t)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다 [5].

$$a(t) = Re[a_c(t) + ja_s(t)] \exp[j2\pi f_c t] \tag{1}$$

식 (1)에서 f_c 는 반송 주파수 (Carrier frequency)를 나타내고 $Re[\bullet]$ 은 동위상 (In-phase) 채널에 전송되는 신호를 나타낸다. 신호의 크기 함수는 $a_c(t)$ 와 $a_s(t)$ 로 구성되어 있으며 N 개의 신호가 존재 하면 그 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_c(t) = Re \left[\sum_{k=-N/2}^{N/2} V_k \exp[j(2\pi k f_0 t + \lambda_k)] \right] \tag{2}$$

$$a_s(t) = Im \left[\sum_{k=-N/2}^{N/2} V_k \exp[j(2\pi k f_0 t + \lambda_k)] \right] \tag{3}$$

식 (3)에서 $Im[\bullet]$ 은 직교위상 (Quadrature) 채널에 전송되는 신호를 나타낸다. 식 (2),(3)에서 f_0 는 신호의 기본주파수를 나타내고, λ_k 는 위상이 0부터 2π 사이에서 균일하게 분포하는 (Uniformly distributed) 랜덤 값이다. V_k 는 신호의 크기를 나타내며 식 (4)와 같이 다중경로 크

기 (Multipath power) b_0 로 표현된다.

$$b_0 = \sum_{k=1}^N V_k^2 / 2. \quad (4)$$

2.1 Rayleigh 페이딩 채널과 Rician 페이딩 채널

Rayleigh 페이딩 채널은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_{ray}(t) = Re^{j\theta} = \sqrt{a_c^2(t) + a_s^2(t)} \exp[\tan^{-1}(a_s(t)/a_c(t))] \quad (5)$$

식 (5)에서 R 은 Rayleigh 분포를 따르고 위상 θ 은 0부터 2π 사이에서 균일하게 분포하는 랜덤 값이다. 만약 페이딩 프로세스가 LOS (Line-Of-Sight) 성분인 A_c 를 가지고 있다면 그 프로세스는 Rician 분포를 따르며 Rician 프로세스 C 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$a_{ri}(t) = Re[A_c + a_c(t) + ja_s(t)] \exp[j2\pi f_c t] = Ce^{j\theta} \quad (6)$$

$$C = \sqrt{[A_c + a_c^2(t)] + a_s^2(t)} \quad (7)$$

$$\theta = \tan^{-1}(a_s(t)/[A_c + a_c(t)]). \quad (8)$$

2.2 Log-normal 페이딩 채널 (슬로우 페이딩)

셀룰러 (Cellular) 이동 채널에서 섀도우잉 (Shadowing)에 의해 발생하는 모델은 Log-normal 프로세스로 표현이 가능하다 [5]. 슬로우 페이딩을 위한 Log-normal 프로세스는 균일 분포의 비선형 변환으로 모델링 할 수 있으며 [6] 그 식은 다음과 같다.

$$x_p = \sqrt{-2 \ln u} \cos(2\pi v) \quad (9)$$

식 (9)에서 u 와 v 는 0과 1사이에서 발생하는 균일 확률 분포이며, x_p 는 평균 0, 분산이 1인 가우시안 프로세스이다. 이 변량을 실제 평균과 분산으로 변환하기 위해 다음과 같은 변형이 필요하다.

$$x = \sqrt{d_0} x_p + \mu \quad (10)$$

식 (10)에서 μ 와 d_0 는 평균과 분산을 나타내며 이 값에 따라 강한 (Heavy) 섀도우잉과 약한 (Light) 섀도우잉이 결정된다. 슬로우 페이딩 Log-normal 프로세스는 식 (10)에서 지수 (Exponential) 함수를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Se^{j\theta} = \exp[x]. \quad (11)$$

2.3 Loo 채널 모델 (Rayleigh/Log-normal)

Loo [5]가 제시한 채널 모델은 LOS의 섀도우잉 성분들이 슬로우

페이딩 Log-normal 분포를 따르고 다중경로 효과(Multipath effect)는 Rayleigh 분포를 따른다. Loo가 제시한 채널 모델은 이후 Corazza-Vatalaro가 제시한 모델과 함께 LMS채널의 대표적인 모델이 된다 [4]. 앞 절에서 설명한 채널 모델들을 기초로 Loo가 제시한 모델은 다음과 같다.

$$a(t) = Re[y_c(t) + a_c(t) + j(y_s(t) + a_s(t))] \exp[j2\pi f_c t] \quad (12)$$

식 (12)에서 $a_c(t)$ 와 $a_s(t)$ 는 가우시안 랜덤 프로세스이고 $y_c(t)$ 와 $y_s(t)$ 는 슬로우 Log-normal 프로세스이다.

2.4 Corazza 채널 모델 (Rician/Log-normal)

Corazza [7]가 제시한 확률 모델은 Rician과 Log-normal 분포의 곱으로 구성되어 있다. Corazza가 제시한 모델의 페이딩 현상은 LOS 성분과 다중경로 모두에게 영향을 준다. 따라서 Corazza가 제시한 모델은 산란 (Scattering) 성분을 중심으로 모델링 되었으며 그 식을 표현하면 다음과 같이 나타낸다.

$$re^{j\theta} = (A_c + Re^{j\theta}) Se^{j\phi}. \quad (13)$$

3. HPA 비선형 왜곡 모델

HPA (High Power Amplifier)에서 입력신호의 진폭과 위상의 비선형 왜곡 현상은 AM/AM (Amplitude modulation/Amplitude modulation)과 AM/PM (Amplitude modulation/Phase modulation)으로 구분하여 모델링한다 [8]. 비선형 증폭기의 대표적 모델은 메모리를 고려하지 않은 모델 (Saleh)이 있다.

3.1 Saleh 모델

Saleh가 제시한 비선형 증폭기 모델의 출력신호 $z(k)$ 는 식 (14)과 같이 표현할 수 있다.

$$z(t) = A[x(k)] \exp[j(\phi(k) + \Phi[x(k)])] \quad (14)$$

식 (14)에서 $x(k)$ 는 입력신호를 나타내고 $\phi(k)$ 는 입력신호의 위상을 나타낸다. $A(\rho)$ 와 $\Phi(\rho)$ 는 AM/AM, AM/PM 비선형 왜곡을 나타낸다. AM/AM, AM/PM 포락선 특성은 식은 두 개의 일반적인 함수로 정의할 수 있고 그 식은 다음과 같다.

$$A[\rho(t)] = \frac{\alpha_A |x(k)|}{1 + \beta_A |x(k)|^2} \quad (15)$$

$$\Phi[\rho(t)] = \frac{\alpha_\phi |x(k)|^2}{1 + \beta_\phi |x(k)|^2} \quad (16)$$

식 (15),(16)에서 $\alpha_A, \beta_A, \alpha_\phi, \beta_\phi$ 는 증폭기 특성을 나타낸 상수 파라미

터 값이고 기본적으로 입력 포화 전압(Input Saturation Voltage)의 역수를 사용한다. 이 계수들은 필드 특성에 따라 임의로 조절 할 수 있다.

4. 모의실험 결과

모의실험의 시스템은 DVB-S2 표준에 맞추어 구성하였고 오류부호화를 사용하지 않았다. 성능 분석을 위해 사용한 변조 방식은 8PSK, 16APSK, 32APSK이다. LMS 채널은 Loo와 Corazza모형을 이용하였고 비선형 전치 모델은 Saleh 모델을 사용하였다. 모의실험에 사용된 파라미터들은 표 1,2에서 나타난 값을 사용하였다.

표 1. 채널 모델 시뮬레이션 파라미터

Shadowing			Fading
Loo's	$\sqrt{d_0}$	μ	b_0
Light	0.115	0.115	0.158
Heavy	0.806	-0.91	0.0631
Corazza's	$h\sigma$	μ	K
Light	0.1151	0.13	4.0
Heavy	0.2878	-1.08	0.6

표 2. 전치 왜곡 모델 시뮬레이션 파라미터

Saleh's model	
Linear gain	100
α_A	1
β_A	0.3
α_ϕ	0.012
β_ϕ	0.13

그림 1,2,3은 8PSK, 16APSK, 32APSK를 사용하고 약한 선택우잉 현상과 강한 선택우잉 현상을 각각 Loo와 Corazza모형에 적용한 결과이다. 또한 전치 왜곡은 Saleh 모델을 사용하여 그 결과를 나타낸다. 산란성분이 큰 강한 선택우잉이 채널에 영향을 주는 경우 약한 선택우잉 현상보다 약 20dB의 성능 열화를 일으킨다. 또한 Corazza채널 모델은 변조 방식에 상관없이 약 20dB에서 포화 영역에 도달한다. 만약 전치 왜곡현상이 발생한 경우 선형적 채널을 거친 것보다 약 5dB의 성능 열화가 발생한다.

5. 결론

본 논문은 각 채널 환경에 따라 DVB-S2시스템에서 사용하는 3개의 변조 방식의 BER 성능을 얻어낸다. Loo 채널 환경에서의 성능이 Corazza 채널 환경에서의 성능 보다 뛰어난 것을 알 수 있다. 또한 선택우잉 현상이 강하고 비선형 전치 왜곡이 발생하였을 때 고차원 변조방식인 16APSK와 32APSK의 성능 열화가 너무 심하여 전치 왜곡을 보상하는 기술을 사용해야 한다.

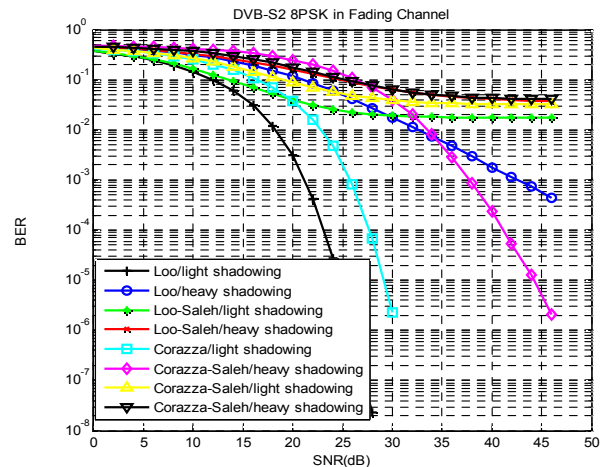


그림 1. 8PSK 변조 방식을 사용한 경우

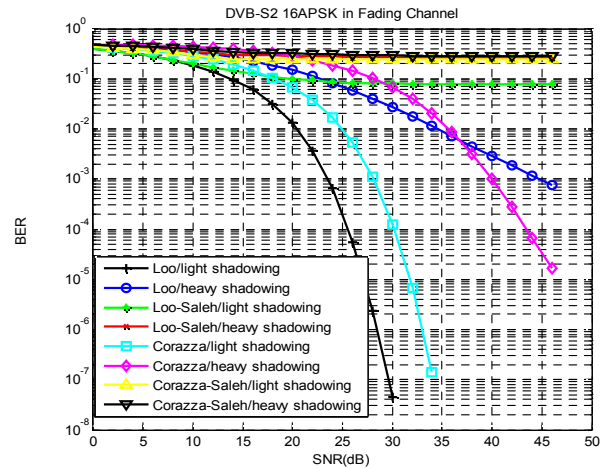


그림 2. 16APSK 변조 방식을 사용한 경우

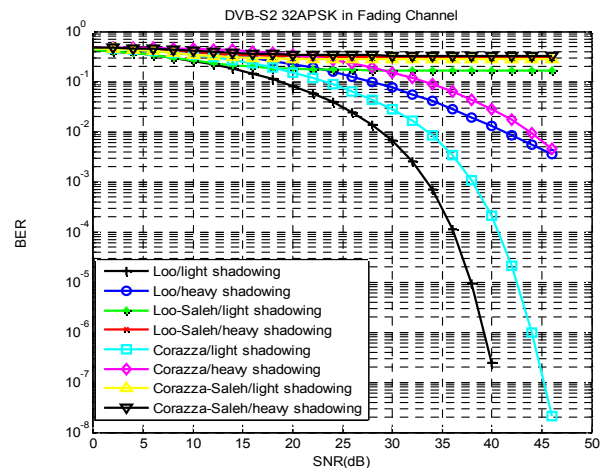


그림 3. 32APSK 변조 방식을 사용한 경우

Acknowledgement

"본 연구는 방송통신위원회의 방송통신정책연구센터운영지원사업의 연구결과로 수행되었음"(KCA-2011-0902-1)

6. 참고문헌

- [1] 장대익, 오덕길, 이호진, "채널 적응형 위성방송을 위한 DVB-S2 기술동향," 정보통신산업진흥원2003.
- [2] DVB-S2 standard. ETSI EN 203-307. August 2009.
- [3] S. Cioni, *et al.*, "Antenna diversity for DVB S2 mobile services in railway environments," *International Journal of Satellite Communications and Networking*, vol. 25, pp. 443-458, 2007.
- [4] A. Abdi, *et al.*, "A new simple model for land mobile satellite channels: first-and second-order statistics," *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, vol. 2, pp. 519-528, 2003.
- [5] C. Loo and N. Secord, "Computer models for fading channels with applications to digital transmission," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 40, pp. 700-707, 1991.
- [6] G. Dillard, "Generating random numbers having probability distributions occurring in signal detection problems (Corresp.)," *Information Theory, IEEE Transactions on*, vol. 13, pp. 616-617, 1967.
- [7] G. E. Corazza and F. Vatalaro, "A statistical model for land mobile satellite channels and its application to nongeostationary orbit systems," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 43, pp. 738-742, 1994.
- [8] A. Saleh and J. Salz, "Adaptive Linearization of Power Amplification in Digital Radio Systems," *Bell System Technical Journal*, vol. 62, no. 4, Apr. 1983.