

DVB-S2 BC 모드의 수신성능 분석

도근창*, 손원*, 김태훈**, 김내수**

*경희대학교 전파공학과 멀티미디어전송연구실, **한국전자통신연구원 통신위성연구그룹

E-mail: *ds2isf@empal.com

Analysis of Receiving Performance in DVB-S2 BC Mode

Gunchang Do*, Won Sohn*, Taehoon Kim**, Naesu Kim**

*Multimedia Transmission Lab. Radio Engineering Dept., Kyung Hee University

**Communications Satellite Research Group, ETRI

E-mail: *ds2isf@empal.com

요약

이 논문에서는 DVB-S2 BC(Backward Compatibility) 모드에서 복조방식에 따른 수신성능을 분석하였다. 송신기는 DVB-S(HP)와 DVB-S2(LP) 스트림을 계층적 비대칭 8-PSK로 변조시킨 신호를 전송하며, 수신기는 계층적 변조 신호를 복조하기 위하여 LSB에서 MSB 순으로 복조하는 방식과 사분면 추정지수와 LLR 계산기를 이용한 계층적 복조방식을 적용할 수 있다. 이 논문은 두 복조방식에 대한 성능분석을 AWGN 및 비선형 채널에서 통계적 분석과 모의실험을 통하여 수행하였다.

I. 서론

DVB-S[1]와 DVB-DSNG[2] 표준이 만들어진 이래로 디지털 변조와 채널부호화 기법에 대한 많은 발전이 있었다. 이러한 발전은 위성방송 서비스의 용량 증가와 전력효율 이익을 제공할 수 있으며, 이러한 요구에 DVB에서는 주어진 대역폭과 가용도 또는 서비스 영역에서 데이터 처리량 증가를 목적으로 하는 DVB-S2 시스템 표준화를 시작하였다.[3] 변조 방식으로는 기존의 QPSK 방식에 고차원 APSK 계열을 추가하였으며, 채널코딩 방식으로는 BCH 코드와 샤논 한계점으로부터 0.7~1.1dB 높은 값에서 QEF(Quasi Error Free)로 동작하는 LDPC 코드를 연결부호화 하여 고신뢰 전송을 가능하게 하였다. 이로 인하여 HDTV와 같은 광대역 신규 서비스 제공, 채널 적용형 기법에 의한 강우감쇠 대책 마련, 통신·방송 융합에 따른 양방향 방송 서비스 제공이 가능하게 되었다.

DVB-S2를 이용한 새로운 위성방송 서비스를 순조롭게 제공하기 위해서는 현재 서비스중인 많은 수의 DVB-S 수신기를 고려한 역방향 호환성이라는 문제를 해결해야 한다. 새로운 DVB-S2 송신기는 DVB-S 수신기가 서비스를 지속적으로 수신할 수 있는 역방향 호환 선택사항을 가져야 한다.

기존의 DVB-S 송신국에 DVB-S2 BC 모드를 적용하기 위한 방식으로는 계층적 변조방식과 layered 변조방식이 제안되고 있다.[3] 계층적 변조방식은 두 개의 전송 스트림의 동기를 맞추어 비대칭 8-PSK 성상도상에서 심볼 레벨로 합치는 방식이며, layered 변조방식

은 DVB-S와 DVB-S2 신호를 RF 주파수 상에서 비동기적으로 합치는 방식이다. 계층적 변조방식의 수신신호처리를 위한 복조방식으로는 일반적 복조기[5]와 계층적 복조기[3]가 있으며, layered 변조방식의 수신신호처리를 위한 복조방식으로는 재변조 상층신호를 이용하여 하층신호를 복조하는 layered 변조 수신방식이 있다.[3] 이 논문에서는 계층적 변조방식에 대하여 중점을 두었으며, 계층적 8-PSK 변조신호에 대한 수신신호처리를 중심으로 기술하였다. 두 방식의 통계적 분석 및 모의실험을 통하여 DVB-S2 BC 모드의 수신성능을 분석하였으며, 계층적 변조신호의 편각에 따른 수신성능을 분석 하였다.

II장에서는 계층적 변조방식을 소개하였고, III장에서는 DVB-S2 BC 모드 수신을 위한 일반적 복조기와 계층적 복조기에 대한 기술과 통계적 성능분석을 하였다. VI장에서는 두 복조방식에 대한 모의실험과 계층적 변조신호의 편각에 따른 모의실험 결과를 분석하였으며, 끝으로 V장에서는 모의실험 결과를 바탕으로 본문의 결론을 맺는다.

II. 계층적 8-PSK 변조방식

DVB-S2 BC 모드에서는 (그림 1)과 같이 두 가지의 전송스트림을 한 개의 위성채널로 보내는데, 첫 번째는 DVB-S와 DVB-S2 수신기를 위한 HP(High Priority) 스트림이고 다른 하나는 DVB-S2 수신기만을 위한 LP(Low Priority) 스트림이다. 기존의 DVB-S 송신국

에서 두 개의 스트림을 전송하는 BC 모드를 적용하기 위한 방식으로 계층적 변조방식이 제안되었다.[4]

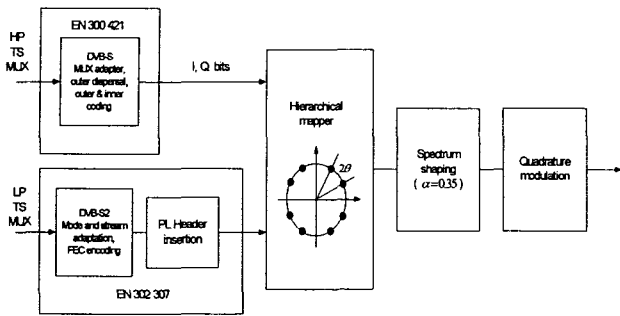


그림 1. 계층적 역방향 호환 DVB-S2 시스템의 기능적 블록도

계층적 변조방식은 잡음이나 간섭 및 여러 가지 수신 시나리오를 위해 서로 다른 오류 보호를 제공하며, DVB-T[6] 표준에서도 사용되고 있다. DVB-S2에 적용된 계층적 변조방식은 기존 수신기와 호환하는 스트림에 강한 오류보호를 적용하며, DVB-S2 수신기만이 수신할 수 있는 스트림에 낮은 오류보호를 적용하여 전송하는 방식이다. 전송시스템은 두 개의 가지로 구성되어 있는데, 첫 번째 가지는 수신 심볼의 사분면을 구별하는 I,Q 비트를 생성하는 HP 계층을 위하여, 이는 DVB-S 표준을 따른다. 두 번째 가지는 PSK 성상도의 차원을 증가시키는 비대칭 8PSK의 LP 계층을 위한 것이다. (그림 2)는 이러한 특성을 이용하여 만들어진 비대칭 8-PSK 성상도를 보여준다.

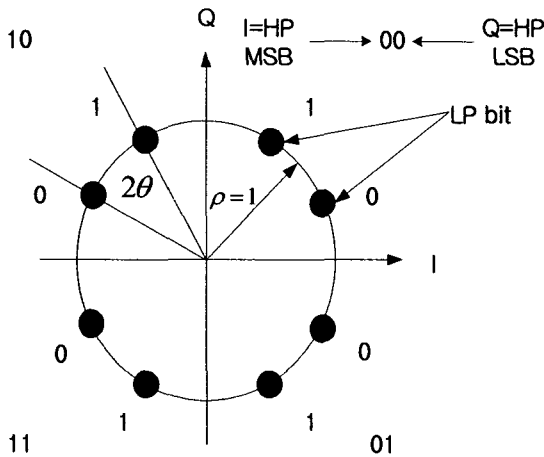


그림 2. 비대칭 8-PSK 성상도

LP TS MUX 신호는 DVB-S2 전송 체인으로 들어가며 전송 체인은 Mode and Stream Adaptation, FEC

encoding, PL Header insertion 기능으로 구성된다. 계층적 맵퍼는 (그림 2)와 같이 세 비트를 한 개의 심볼로 맵핑한다. 두 개의 비트는 DVB-S 블록으로부터 온 것이며 이는 사분면을 결정하고, DVB-S2 블록으로부터 온 하나의 비트는 사분면 안에서의 위치를 결정하는 역할을 한다.

III. DVB-S2 BC모드의 수신성능 분석

DVB-S2 BC 모드를 위한 비대칭 8-PSK 전송신호에 대한 복조방식으로는 LSB에서 MSB 순으로 복호하는 일반적인 방식과 사분면 추정지수와 LLR 계산기를 이용한 계층적 복조방식이 있다. 이 두 방식에 대한 LP 스트림의 통계적 성능을 분석하였다.

3.1 일반적 복조방식

이 방식은 계층적 8-PSK 변조신호를 LSB에서 MSB 순으로 복조한다. (그림 3)과 같이 송신된 심볼의 I/Q값의 크기를 비교하여 LSB를 복조하며, I/Q 값을 문턱값 0과 비교하여 각각 CSB와 MSB 순으로 복조를 수행하는 방식이다.[5]

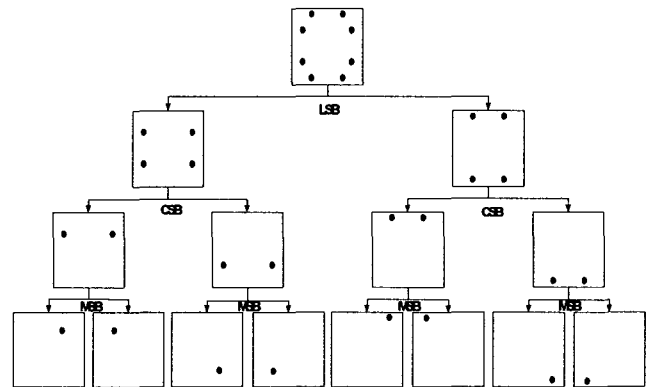


그림 3. 일반적 복조기

AWGN 환경에서 일반적 복조방식의 LP 스트림의 통계적 성능을 알아보기 위하여 위상의 확률밀도를 유도하였다. 신호와 잡음의 합에 대한 포락선과 위상을 $R(t)$ 와 $\Theta(t)$ 라 하면 랜덤 변수 R 과 Θ 의 결합 밀도는 식(1)과 같다.[7]

$$f_{R,\Theta}(r,\theta) = \frac{u(r)r}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}[r^2 - 2rA_0 \cos(\theta - \theta_0) + A_0^2]\right\} \quad (1)$$

위상 Θ 에 대한 확률밀도함수는 R 의 모든 값에 대하여 식(1)을 적분하여 유도할 수 있다.

$$f_{\Theta}(\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{R,\Theta}(r,\theta) dr = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-A_0^2/2\sigma^2} \int_{-\infty}^{\infty} u(r) r e^{-[r^2 - 2rA_0 \cos(\theta - \theta_0)]/2\sigma^2} dr \quad (2)$$

최종적으로 구하는 확률밀도 분포는 식(3)과 같다.

$$f_{\theta}(\theta) = \frac{1}{2\pi} \exp(-A_0^2/2\sigma^2) + \frac{A_0 \cos(\theta - \theta_0)}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(\frac{-A_0^2 \sin^2(\theta - \theta_0)}{2\sigma^2}\right) \left(1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}[A_0 \cos(\theta - \theta_0)/\sqrt{2}\sigma]\right) \quad (3)$$

일반적인 복조기에서 송신 신호가 1사분면의 편각 θ 를 갖는 신호일 때, 수신신호의 I/Q 값의 절대값을 비교하여 LP 스트림에 대한 오류영역 분포를 (그림 4)의 빗금친 부분과 같이 나타낼 수 있으며, 이에 대한 오류확률은 식(4)와 같다.

$$P_B = \int_{3\pi/4}^{\pi/4} f_{\theta}(\theta) d\theta + \int_{\pi/4}^{\pi/4} f_{\theta}(\theta) d\theta \quad (4)$$

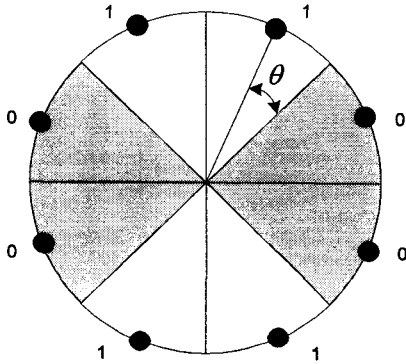


그림 4. 일반적인 복조기의 오류영역

3.2 계층적 복조방식

계층적 복조기[3]는 (그림 5)와 같이 수신신호를 상층에서 DVB-S 방식을 통해서 복조하고 복조된 신호는 상층 채널복호화기를 통하여 상층비트로 복호화된다. 하층에서는 상층의 복조/복호화된 신호에 재부호화/재맵핑을 적용하여 수신된 심볼의 사분면을 추정한다. 추정된 사분면 값에 기초하여, 전송된 심볼의 값이 두 가지 중에서 한가지로 결정된다. 상층 복조신호는 재부호화/재맵핑된 신호와의 정합을 위하여 지연된다. 하층에서는 지연된 상층복조신호가 BPSK 성상도에 기초하여 LLR 계산을 수행하여 복조된다.

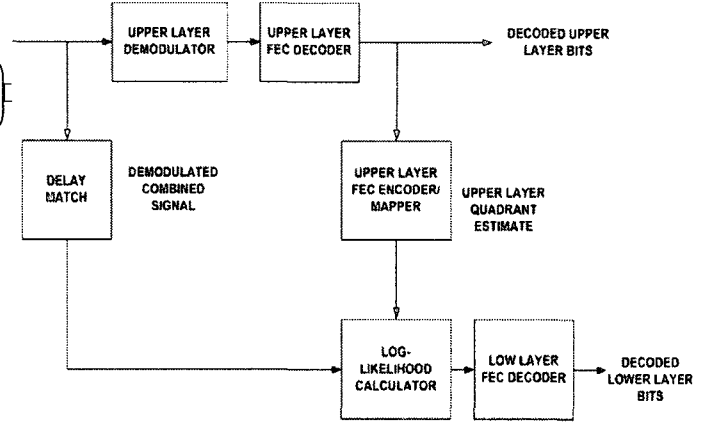


그림 5. 계층적 복조기

비대칭 8-PSK의 LSB 비트를 결정하기 위해서는 다음과 같이 LLR을 계산하여 문턱값과 비교하여야 한다. 8개의 성상도에 대한 수신된 심볼의 LLR 값은 식(5)와 같이 계산된다.[6]

$$LLR(I, Q) = \ln \left(\frac{\sum_{i=0, odd}^7 e^{-(Es/No)d_i^2}}{\sum_{i=0, even}^7 e^{-(Es/No)d_i^2}} \right) \quad (5)$$

d_i 는 성상도 상의 i 번째 심볼 (I, Q)포인트와 수신된 심볼 사이의 거리이며, E_s 는 수신된 신호의 심볼 에너지를 나타낸다. 그리고 N_o 는 잡음 전력밀도를 나타낸다. 상층 사분면 지수값을 추정할 수 있으므로 LLR 계산을 간단히 하면 식(6)과 같다.

$$LLR(I, Q) = \ln \left(\frac{e^{-(Es/No)d_{2i+1}^2}}{e^{-(Es/No)d_{2i}^2}} \right) = (E_s/N_o)(d_{2i}^2 - d_{2i+1}^2) \quad (6)$$

계층적 복조기에서 1사분면의 편각 θ 를 갖는 신호가 전송되었을 때, 사분면 추정 지수를 이용하여 수신신호와 거리를 비교함으로써 LP 스트림에 대한 오류 영역 분포를 (그림 6)의 빗금친 부분과 같이 나타낼 수 있으며, 이에 대한 오류확률은 식(7)과 같다.

$$P_B = \int_{3\pi/4}^{\pi/4} f_{\theta}(\theta) d\theta \quad (7)$$

VI. 모의실험 결과

4.1 AWGN 채널에서의 모의실험

일반적인 복조기와 계층적 복조기의 성능을 비교하기 위하여 *SystemView™* 를 이용하여 모의실험을 하였다. 모의실험은 AWGN 환경에서 이루어졌으며, 일반적 복조기와 계층적 복조기에서 LP 스트림의 성능을 비교하였다. 또한 계층적 복조기에서 편각(θ)에 따라 2×10^{-4} 의 BER을 만족하는 E_b/N_0 를 측정하기 위하여, HP 스트림에 Reed-Solomon과 길쌈 채널부호화를 적용하였으며, LP 스트림에 BCH와 LDPC 채널부호화 이득을 적용하였다.

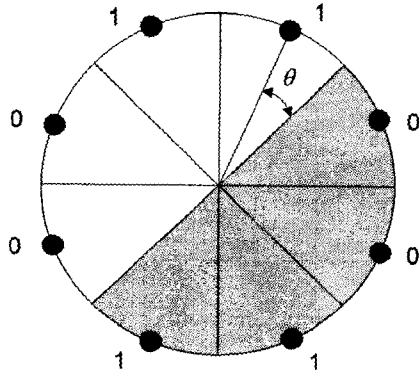


그림 6. 계층적 복조기의 오류영역

3.3 통계적인 분석에 의한 수신성능 분석

두 복조기에서 E_b/N_0 및 θ 에 따른 통계적 성능을 살펴 보면 (그림 7)과 같고, (그림 8)은 두 방식의 성능차를 보여주기 위하여 E_b/N_0 의 범위를 0~4dB로 한정하였다.

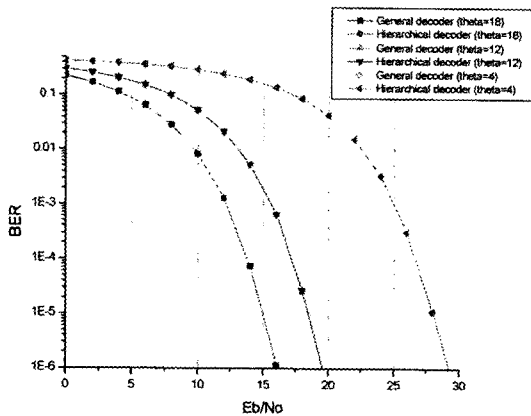


그림 7. LP 스트림의 통계적 성능

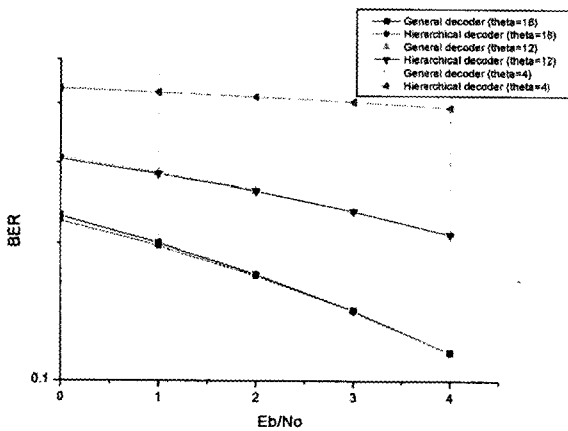


그림 8. LP 스트림의 통계적 성능(0~4dB)

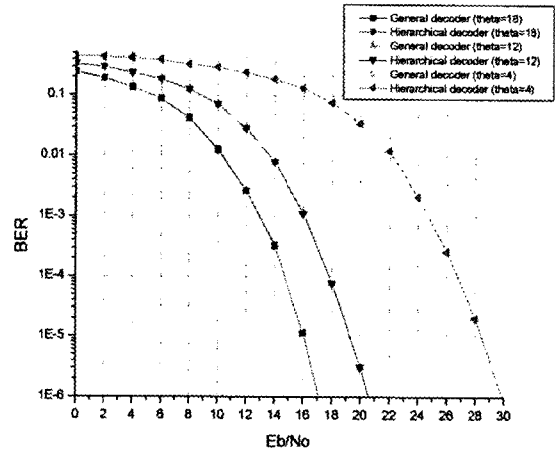


그림 9. 복조방식에 따른 LP 스트림 성능

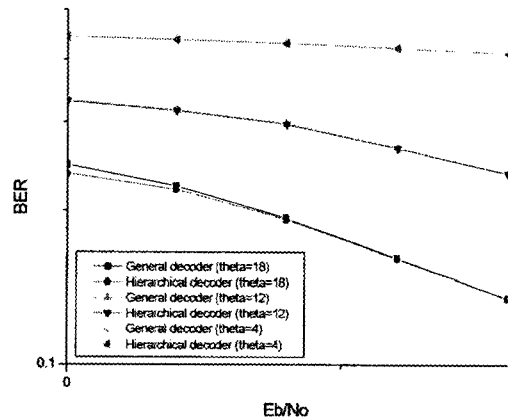


그림 10. 복조방식에 따른 LP 스트림 성능 (0~4dB)

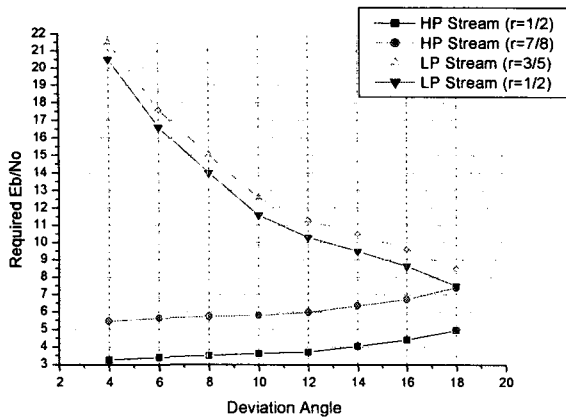


그림 11. 편각에 따른 required Eb/No

4.2 비선형 채널에서의 모의실험

위성의 탑재물 장비는 비선형 특성을 가진다. 위성통신에서는 전력 증폭기에 의한 비선형특성을 고려한 AWGN 채널로써 채널 모델링을 한다. 이론적인 증폭기의 입출력 특성은 거의 선형 계수를 가지지만 실제로는, 특히 고출력의 경우에 출력 전압이 입력 신호의 진폭에 비례하여 변화하지 않는다. 이는 신호의 위상에도 마찬가지로 비선형성을 볼 수 있다. 위성의 전력 증폭기로 들어오는 신호의 진폭과 위상을 비선형적으로 증폭시키는 특징은 일반적으로 AM/AM (amplitude to amplitude), AM/PM(amplitude to phase) 전달 특성이 있다. 전력 증폭기의 입력 신호를 식 (8)와 같다고 하면,

$$x(t) = r(t) \cos[\omega_0 t + \psi(t)] \quad (8)$$

여기서 ω_0 는 반송파 주파수, $r(t)$ 와 $\psi(t)$ 는 포락선과 위상을 나타낸다. 진폭-위상 모델에서, 입력 신호에 대한 출력은 식(9)과 같다.

$$y(t) = A[r(t)] \cos\{\omega_0 t + \psi(t) + \Phi[r(t)]\} \quad (9)$$

식(10)에서, $A(r)$ 은 r 의 우함수(AM/AM 변환), $\Phi(r)$ 는 r 의 기함수(AM/PM 변환)이다.

$$\begin{aligned} A(r) &= \alpha_a r / (1 + \beta_a r^2) \\ \Phi(r) &= \alpha_\phi r^2 / (1 + \beta_\phi r^2) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 각 방정식의 파라미터는 식(11)의 Berman과 Mahle의 파라미터를 사용했으며 특성은 (그림 12)과 같다.[8]

$$\begin{aligned} \alpha_a &= 1.9638 & \beta_a &= 0.9945 \\ \alpha_\phi &= 2.5293 & \beta_\phi &= 2.8168 \end{aligned} \quad (11)$$

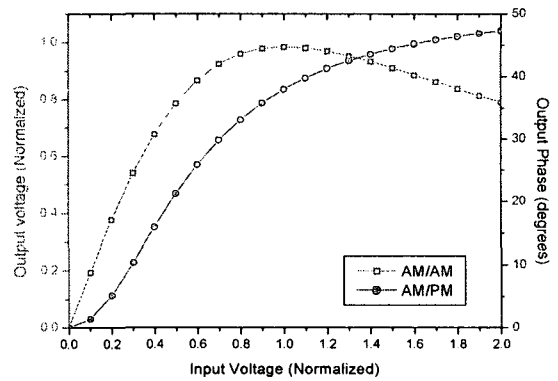


그림 12. TWTA AM/AM, AM/PM

(그림 13)은 편각(θ) = 12° 에서 두 복조방식의 모의 실험 결과를 나타낸다.

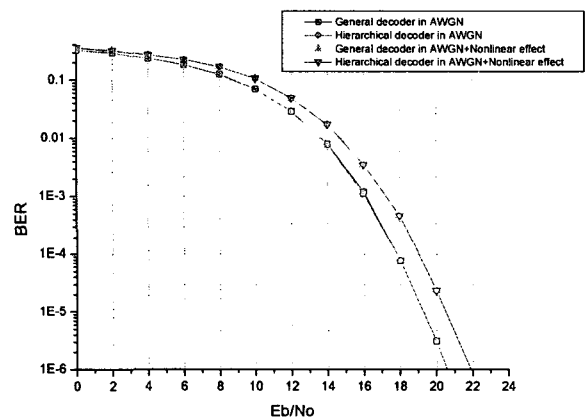


그림 13. 비선형 채널에서 LP 성능($\theta=12^\circ$)

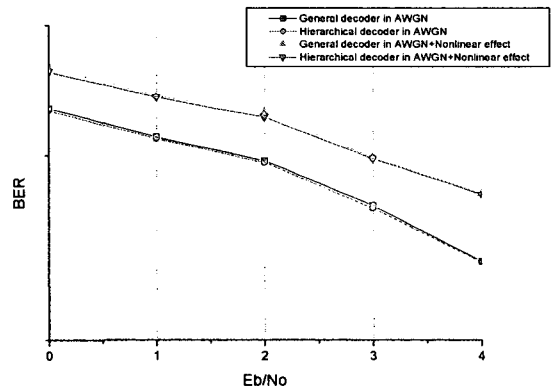


그림 14. 비선형 채널에서 LP 성능($\theta=12^\circ$, 0~4dB)

V. 결론

이 논문에서는 DVB-S2 BC 모드 수신을 위한 일반적 복조기와 계층적 복조기의 수신성능을 모의실험을 통하여 분석하였다. 분석결과에 의하면 AWGN 및 비선형 환경에서 계층적 복조기가 일반적 복조기에 비교하여 낮은 E_b/N_0 에서 다소 향상된 성능을 보였으나, 전체적인 성능차이는 미비하여 BC 모드 수신기에는 복잡성이 없는 일반적 복조기의 사용이 적절할 것으로 사료된다. 향후에는 위 결과를 바탕으로 DVB-S2 BC 모드 수신을 위한 수신신호처리를 연구할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] DVB, "Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services", EN 300 421 V1.1.2, August 1997.
- [2] DVB, "Framing structure, channel coding and modulation for Digital Satellite News Gathering (DSNG) and other contribution applications by satellite" EN 301 210 V1.1.1, March 1999.
- [3] Ernest Chen, Joshua L. Koslov, Vittoria Mignone, and Joseph Santoru, "DVB-S2 backward compatible modes: a bridge between the present and the future", INTERNATIONAL JOURNAL OF SATELLITE COMMUNICATIONS AND NETWORKING Int. J. Satell. Commun. Network. 2004; 22:341-365 (DOI:10.1002/sat.794).
- [4] DVB, "Second Generation framing structure, channel coding and modulation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications," ETSI DVBS2-74r13, Sept., 2003.
- [5] W.H.Thesling, F.Xing and M.J.Vanderaar, "Practical 8-PSK block-coded modulation with convolutional codes and soft decision block codes for packet networks", IEE Proc.-Comm., Vol. 145, No. 4, pp. 218-226, August 1998.
- [6] DVB, "Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", Final draft ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-06).
- [7] PEYTON Z.PEEBLES, JR, "Probability, Random Variable and Random Signal Principles", McGrawHil, pp. 398-401.
- [8] A. L. Bermon and C. H. Mahle, "Nonlinear phase shift in traveling-wave tubes as applied to multiple access communication satellites," IEEE Trans. Commun. technol., col. COM-18, pp. 37-48, FEB. 1970.
- [9] E. Casini, R. De Gaudenzi and A. Ginesi, "DVB-S2 modem algorithms design and performance over typical satellite channels", INTERNATIONAL JOURNAL OF SATELLITE COMMUNICATIONS AND NETWORKING Int. J. Satell. Commun. Network. 2004; 22:281-318 (DOI: 10.1002/sat.791).