

DVB-S2 전송 시스템의 Ku/Ka 대역 위성 방송서비스 적용방안에 관한 연구

김시영 손 원

경희대학교 전파공학과 멀티미디어전송연구실

f0915@hanmail.net

Studies on the Application Schemes of DVB-S2 Transmission System on Ku/Ka Band Satellite Broadcasting Service

Siyoung Kim Won Sohn

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

이 연구는 DVB-S2 전송시스템을 Ku/Ka대역 위성방송서비스에 적용하는 방안을 제안하였다. 이를 위하여 DVB-S2 전송시스템의 수신성능을 변조방식 및 LDPC 부호 율에 따라 S/W 모의실험을 통하여 분석하였으며, 우리나라가 속한 K지역에서 시간 율에 따른 강우감쇠 정도를 Ku 및 Ka대역에서 분석하였다. 수신성능 분석결과와 시간 율에 따른 강우감쇠 정도를 이용하여, Ku 및 Ka대역에서 특정 시간 율을 만족하는 위성방송서비스를 제공하기 위한 DVB-S2 전송시스템의 변조방식 및 LDPC 부호 율을 제안하였다.

1. 서론

최근 위성 방송기술은 기존의 전송방식에서 발전하여 고선명, 고음질을 실현하고 다양한 부가서비스를 제공하는 고기능의 디지털 전송방식으로 교체되는 추세에 있다. 이러한 위성방송의 수요 확대에 따라 기존의 위성방송 시스템인 DVB-S 시스템에서 고속데이터 전송 및 고품질의 영상을 전송할 수 있는 DVB-S2 시스템에 대한 연구가 활발히 진행중이다.

현재 까지 연구되어진 분야는 ACM방식 적용을 위한 고차변조 방식 성능분석[1]과 변조방식에 따른 LDPC 복호화기의 성능평가[2] 그리고 DVB-S2 시스템 성능평가[3]등이 연구되어 졌다. 이 논문에서는 채널 부호화와 적응 변복조 방식을 적용하여 Ka/Ku대역의 강우감쇠를 효과적으로 보상하는 방안에 대해 논한다. 위성 방송 시스템에서 강우로 인한 신호 감쇠는 링크 성능 저하의 가장 큰 요인 중의 하나라고 할 수 있다. 이런 강우감쇠는 시스템의 사용 주파수 대역이 높아짐에 따라 시스템 성능에 미치는 영향이 점점 더 증가하게 된다. 최근 위성방송 시스템이 고주파수 대역을 활용하는 추세를 보이고 있음을 고려해 볼 때, 강우감쇠를 보상하는 기술은 매우 중요하다고 할 수 있을 것이다. 방송 서비스는 프로그램 채널에 대해 고정된 채널 대역폭을 사용하기 때문에, 날씨 상황에 따라 채널 대역폭을 조정하기가 까다롭다. 그렇지만 채널 부호화로 소스 부호화율을 조정함으로써 이와 같은 문제를 해결할 수 있다.

지구국에서 위성으로의 상향 링크에서의 강우감쇠는 전력제어나 지역 다이버시티로 해결할 수 있으므로 여기서는 위성에서

지구국으로의 하향 링크에서의 강우감쇠 보상을 고려한다.

II장에서는 DVB-S2 전송시스템에 관하여 소개하였고, III장에서는 우리나라에서 Ku/Ka 대역의 강우감쇠를 고려한 채널 모델링에 대해 논한다. IV장에서는 DVB-S2 시스템의 규격을 구현한 S/W 모의실험 장치를 사용하여 수신 성능을 분석하였고, V장에서는 모의실험 결과를 토대로 위성방송 서비스 적용방안에 대하여 제시하는 것으로 결론을 맺는다.

2. DVB-S2 시스템 기술분석

가. DVB-S2 시스템의 개요

DVB-S2 시스템은 최대 155Mbps의 전송속도와 80MHz의 대역폭을 가진다. DVB-S2의 핵심 요소를 아래에 요약했다.

- 16APSK, 32APSK와 같은 고차원 변조기술[1] 사용
- 연결 부호화 : 외부부호화 : BCH(T=12), 내부부호화 : LDPC (1/4~9/10)
- Pulse Shaping Filter($\alpha=0.20, 0.25, 0.35$)
- Ka대역의 강우감쇠에 대한 영향에 대비하여 ACM (Adaptive Coding and Modulation)기법을 사용

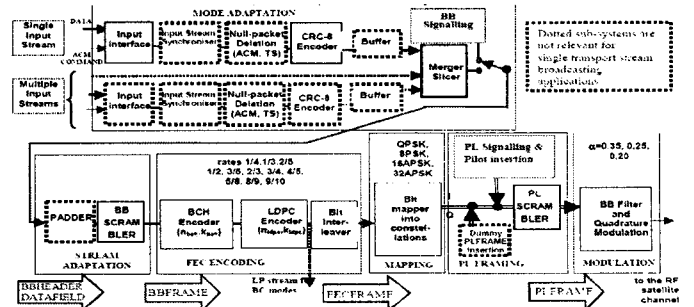


그림1. DVB-S2 시스템의 기능적 블록 다이어그램

나. 시스템 구조

1) 모드 및 스트림 적용부

모드 적용부는 입력 데이터의 형태에 따라 각 하부시스템이 종속적으로 동작하게 되어있는 부분으로, 구성은 Input stream interface, Input stream synchronization (optional), Null-packet deletion(ACM과 TS 입력 형태일 때만 동작), CRC-8 coding(packetized input streams일 때만 동작), merging(입력 데이터가 다중 입력일때만 동작) 및 slicing로 구분된다. 스트림 적용부는 BB프레임의 Payload 데이터 영역에 MPEG TS 패킷을 넣고 패킷이 완전하지 않을 경우 임의의 데이터를 삽입하는 BBFRAME Padding, 그리고 BBFRAME 유효 데이터에 대하여 Scrambling을 하는 부분으로 구성된다. 이때 Scrambling을 위한 다항식은 $1 + X^{14} + X^{15}$ 이다

2) 채널 부호화부

FEC 프레임은 BB프레임과 parity 부분으로 나뉘며, BB프레임은 BB 헤더와data 부분으로 구성된다. FEC 부분은 Systematic 코드인 BCH 외부 코드와 LDPC[4] 내부 코드 (rates 1/4~9/10)를 연결하여 BBFRAME을 코딩하는 단계로 응용분야에 따라 FEC 코드블록의 길이는 $n_{ldpc} = 64,800$ 개 또는 $n_{ldpc} = 16,200$ 가 된다. 채널 부호화 부에서 VCM (Variable rate coding and modulation)과 ACM이 사용될 경우 부호화율과 변조방식은 동일 프레임 내에서는 변경이 불가능 하지만 다른 프레임 상에서 변경될 수 있다. Bit interleaver는 FEC 코딩후 8PSK, 16APSK, 32APSK에만 적용된다.

3) Mapping

응용영역에 따라 QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK 성상도에 사상되어지는 단계로 I,Q 시퀀스가 생성된다. Gray code 성상도는 QPSK, 8PSK에만 적용된다. QPSK와 8PSK의 경우 Gray-coded QPSK 변조를 사용하고 차분부호화가 아닌 절대 코딩 방식을 사용한다. 16APSK는 그림2a와 같이 두 개의 동일한 중심을 가진 원으로 구성되어 있는데, R_1 의 반경을 갖는 4-PSK(inner ring)와 R_2 의 반경을 갖는 12-PSK(outer ring)가 있다.

32APSK는 세 개의 동일한 중심을 가진 원으로 구성되는데 각 원은 균등한 공간을 갖는 4, 12, 16 PSK 포인트로 되어있다. 내부 원의 반경은 R_1 , 중간 원의 반경은 R_2 , 외부 원의 반경은 R_3 가 되는데 (표 1)는 $\gamma = R_2/R_1$, $\gamma = R_3/R_1$ 에 대한 값을 나타낸다.

Code rate	Modulation/coding spectral efficiency	γ_1	γ_2
3/4	3.74	2.84	5.27
4/5	3.99	2.72	4.87
5/6	4.15	2.64	4.64
8/9	4.43	2.54	4.33
9/10	4.49	2.53	4.30

표 1. optimum constellation radius ratio and (liner channel) for 32APSK

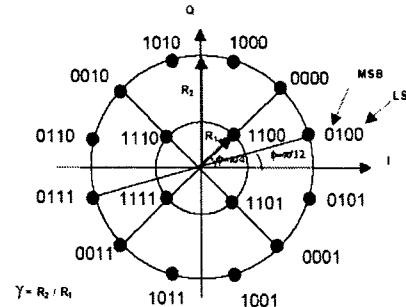


그림 2a. Bit mapping into 16APSK constellation

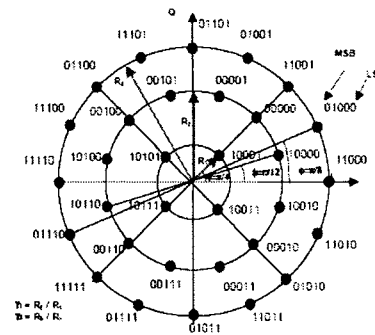


그림 2b. Bit mapping into 32APSK constellation

4) PL signaling 및 pilot 삽입부

PL signaling 부분에서는 SOF, MODCOD, TYPE, HPROT 등으로 구성되며 SOF는 프레임의 길이를 구분하며, MODCOD는 변조의 종류와 코드율에 대한 정보를 담게된다. TYPE는 FEC블록의 크기와 pilot의 존재여부를 담고, HPROT 영역은 MODCOD와 TYPE 부분에 대한 보호영역으로써 $d_{min} = 34$ 인 Reed-Muller code를 사용한다.

3. Ku/Ka 대역 강우감쇠

우리나라(K지역)의 강우감쇠를 Rec. ITU-R PN 837 모델을 이용하여 계산한다. 비에 의한 감쇠정도(A_{RAIN})는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$A_{RAIN}(p) = A_{RAIN}(p = 0.01) \times 0.12p^{-(0.546 + 0.043 \log p)} \quad (1)$$

우리나라(K지역)의 강우량에 따른 감쇠정도(A_{RAIN})를 구하기 위해서는 표2에서 주어진 값을 이용하는데, 지구국이 위치한 곳의 강우강도가 0.001%에서 1%일 경우의 값이 나와 있다.

		Rain (Ultimate Zone)															
		A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	
Change Percentage of Time	1	0.1	0.5	1	2.1	0.6	2	3	2	8	1.5	2	4	5	12	24	
	0.3	0.8	2	3	4.5	2.4	5	7	4	13	4.2	7	11	15	34	49	
	0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	64	72	
	0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115	

표2. rainrall intensity exceeded(mm/h)

A_{RAIN} 을 계산하기 위해서는 우선 연평균 0.01%를 넘어서는 강우율에 의한 감쇠의 값($A_{RAIN}(p = 0.01)$)을 구해야 하는데 $A_{RAIN}(p = 0.01)$ 는 식(2)과 같이 특성감쇠(Specific attenuation) γ_R (dB/km)와 비가 내릴 때 전파의 유효 경로길이 L_e (km)의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$A_{RAIN}(p = 0.01) = \gamma_R L_e \text{ (dB)} \quad (2)$$

감쇠특성 γ_R 의 값은 주파수와 비의 강우율 R_p (mm/h)에 의해 결정된다. γ_R 을 구하기 위해서는 주파수에 따라 변하는 변수 k 와 α 의 값을 계산해야 하는데 이는 식(3)에 나타내었다.

$$\gamma_R = k(R_{0.01})^\alpha \text{ (dB/km)} \quad (3)$$

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 E \cos 2\tau] / 2$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 E \cos (2\tau)] / 2k$$

여기서, k_H , k_V , α_H , α_V 등은 참고문헌[5]의 표 2.2에서 주어진다. E 는 고도각, 그리고 τ 는 편파의 경사각으로 지상국의 수평평면에 대하여 구한 각도이다. (만약 원형편파일 경우는 $\tau = 45^\circ$ 를 사용한다.)

다음으로 비가 내릴 때 전파의 유효 경로길이 L_e (km)의 값을 구해야 한다. 이는 비가 올 때 기울어진 경로길이 L_s (slanted path length)와 비의 이질성을 고려한 0.01%의 시간에 대한 감소율 $r_{0.01}$ 의 곱으로 나타내고 식(4)과 같다.

$$L_e = L_s r_{0.01} \quad (4)$$

L_s 의 값은 지상국의 평균 해발 높이(h_s (km))와 비의 높이(h_R (km))로 표현된다.

$$L_s = (h_R - h_s) / \sin E \quad (\text{고도각 } E > 5^\circ \text{ 일때 유효}) \quad (5)$$

$$- h_R \text{ (km)} = 4 - 0.075(\text{위도} - 36) \quad \text{if 위도} \geq 36^\circ$$

비의 이질성을 고려한 0.01%의 시간에 대한 감소율 $r_{0.01}$ 은 식(6)과 같다.

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + \left(\frac{L_s}{L_0}\right) \cos E} \quad (6)$$

$$- L_0 \text{ (km)} = 35 \exp(-0.015 R_{0.01})$$

(그림3)는 우리나라(K지역)에서의 연평균 전체 시간의 링크 감쇠를 보여준다. 그림에서 보여지는바와 같이 사용하는 주파수 대역이 증가할수록 강우감쇠의 정도는 더욱 더 심각해짐을 볼 수 있다. 즉, 시간이 1%일때는 Ku대역과 Ka대역의 강우감쇠

정도가 약 1dB 정도 차이남에 비해 0.01%일때는 Ku 대역과 Ka 대역의 강우감쇠 정도는 약 10dB 이상이 차이 남을 볼 수 있다.

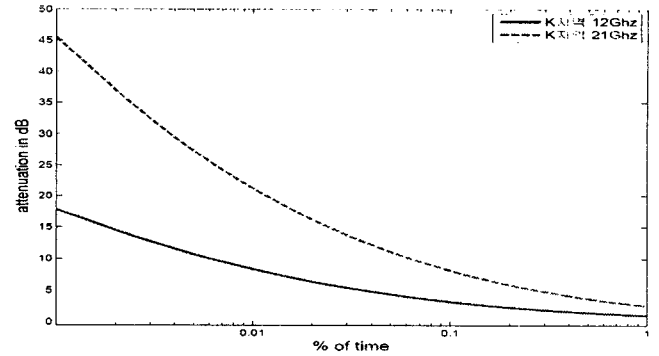


그림3. K지역 21Ghz, 12Ghz에서의 연평균 전체시간의 링크감쇠

4. DVB-S2 전송시스템 수신성능

가. AWGN 채널에서의 모의실험

논문에서 구현한 DVB-S2 시스템의 구조는 (그림4)와 같다. 시스템 성능을 측정하기 위하여 Matlab을 이용하여 프로그램 하였고 AWGN 환경에서 실시하였다. 각 변조별 코딩율($r=1/2 \sim 9/10$)을 변화시켜 성능을 측정하였으며, 패킷의 길이는 64,800을 기준으로 하였다.

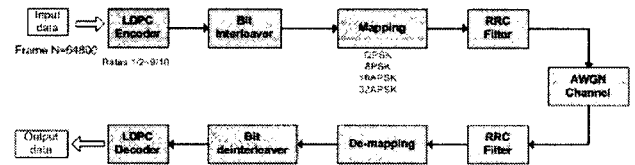


그림4. 시뮬레이션 모델

나. 모의실험 결과

(그림5a, b, c, d)는 AWGN 채널에서 각 변조방식에 다른 BER 결과를 보여주고 있다. QPSK변조와 1/2채널 부호화를 사용할 때와 32APSK변조와 9/10채널 부호화를 사용할 때의 부호화 이득은 약 19dB임을 알 수 있다.

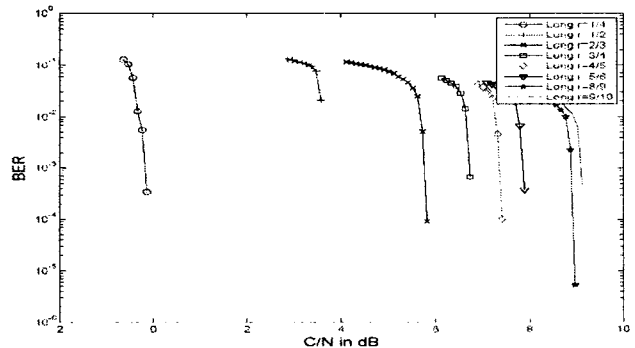


그림5a. QPSK변조시 부호율에 따른 BER 곡선

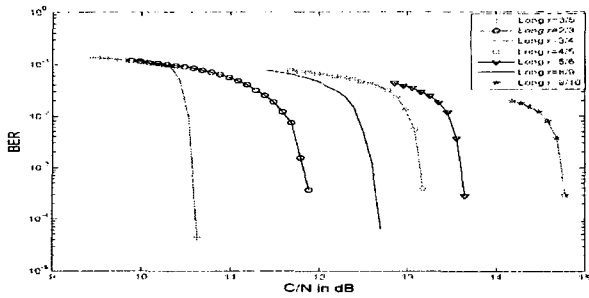


그림 5b. 8PSK 변조시 부호율에 따른 BER 곡선

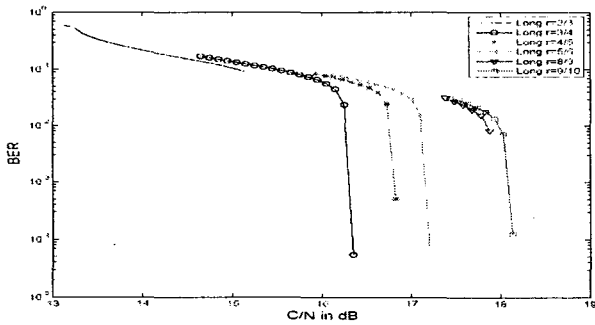


그림 5c. 16APSK 변조시 부호율에 따른 BER 곡선

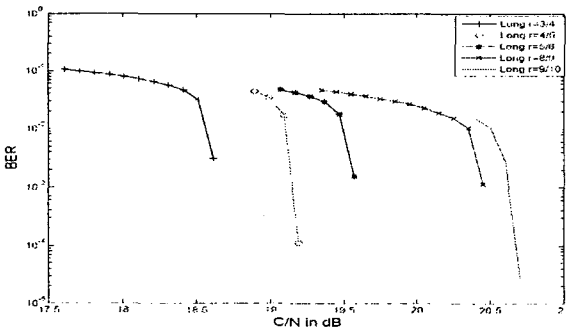


그림 5a. 32APSK 변조시 부호율에 따른 BER 곡선

5. 위성방송 서비스 적용방안

그림 6은 Ka 대역과 Ku대역별로 적용 가능한 변조 방식의 범위와 각 변조와 부호화 방식에 따라 극복 가능한 강우감쇠의 범위에 대한 결과이다.

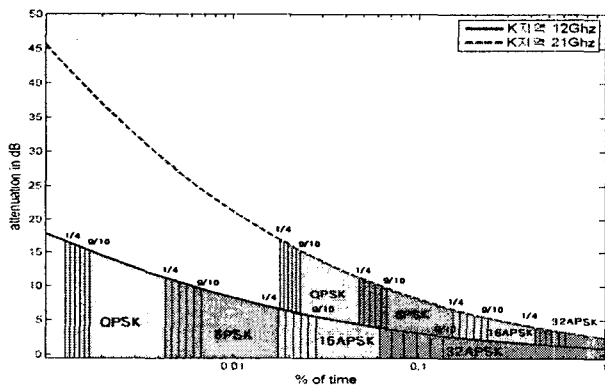


그림 6. Available Modulation Methode in each band and Attenuation coverage of each modulation and coding

그림 6의 결과와 같이 강우감쇠 보상기법을 적용 후 Ku대역에서 맑은 날씨에 32APSK의 변조방식과 9/10 부호화율을 사용하여 강우감쇠를 보상한다고 할 경우 99%의 링크 가용도에서는 32APSK 변조방식과 각 부호화율을 적용하고

99.8%에서는 16APSK 변조방식과 각 부호화율 그리고 99.9%의 링크 가용도를 얻기 위해서는 8PSK 변조방식과 각 부호화율을 사용하는 것이 가장 적합하다. 강우 감쇠가 아주 심해질 경우 시스템은 QPSK 변조방식과 1/4의 채널 부호화율을 사용하는 것이 강우 감쇠를 효과적으로 경감시키는 방법임을 알 수 있다. Ka대역의 경우 QPSK 변조에 1/4 채널 부호화율을 적용할 때 99.8% 정도의 링크 가용도를 보장한다. 위와 같은 결과로 볼 때 DVB-S2 시스템은 강우감쇠의 정도에 따라 변조방식과 부호화 방식을 다르게 적용함으로써 고용량의 데이터와 고해상도, 고음질의 영상서비스를 안정적으로 제공할 수 있음을 알 수 있다.

6. 결론

이 논문에서는 DVB-S2 시스템의 성능을 분석하였고 위성 통신 시스템에서 링크 성능 저하의 가장 큰 요인인 강우감쇠의 효과적 보상방법으로 변조방법과 채널 부호화율을 증가시키거나 감소시키는 방법을 제시하였다. DVB-S2 시스템은 기존의 위성방송 시스템인 DVB-S 시스템보다 더 좋은 링크 가용도를 제공하는데 DVB-S 시스템의 경우 Ku대역에서 QPSK 변조와 1/2 채널 부호화율을 사용하여도 최고 10dB의 강우감쇠를 보상할 수 있는 반면 DVB-S2 시스템은 QPSK 변조와 1/4 채널 부호화율을 사용할 경우 16dB 정도의 강우감쇠를 보상할 수 있다. 이런 고성능의 DVB-S2 시스템은 특정 지역의 강우로 인한 성능저하를 ACM기술을 사용하여 적절히 대응할 수 있다.

참고문헌

- [1] Craig, J.W, "A new, simple and exact result for calculating the probability of error for two-dimensional signal constellations" IEEE Military Communications Conf.(MILCOM '91), p571-575, Oct. 1991
- [2] M. Yang, W. Ryan, Y. Li, " Design of Efficiently Encodable Moderate-Length High-Rate Irregular LDPC Codes," IEEE Trans. Comm. Vol. 52, pp. 564-571, Apr 2004.
- [3] Albertazzi, G.; Cioni, S.; Corazza, G.E.; Neri, M.; Pedone, R.; Salmi, P.; Vanelli-Coralli, A.; Villanti, M. "On the adaptive DVB-S2 physical layer: design and performance" Wireless Communications, IEEE Volume 12, Issue 6, Dec. 2005 Page(s):62 - 68
- [4] M. Yang, W.E. Ryan, and Y. Li, "Design of efficiently encodable moderate-length high-rate irregular LDPC codes," IEEE Trans. Commun., vol. 52, Apr. 2004.
- [5] G. Maral, M. Bousquet, "Satellite Communications Systems," JOHN WILEY & SONS, Inc, 1998, pp.47-55.
- [6] ETSI EN 302 307 "Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting. Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications"
- [7] R. de Gaudenzi, A. Guillen i Fabregas, and A. Martinez, "Turbo-coded APSK modulations for satellite broadband communications - Part I: Coded modulation design."