

# 비선형 위성 방송채널에서 DS-CDM-SQAM의 성능 연구

김선준, 이영진, 서종수  
연세대학교 전기전자공학과  
e-mail : [julyous@yonsei.ac.kr](mailto:julyous@yonsei.ac.kr)

## A Study on the Performance of DS-CDM-SQAM in Nonlinear Satellite Broadcasting Channel

Sun-Jun Kim, Young-Jin Lee, Jong-Soo Seo  
Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Yonsei University

### 요 약

본 논문에서는 DS-CDM-QPSK 방식 위성 DAB 시스템(ITU-R BO. 1130-4 시스템 E)의 위성 증폭기 고출력 증폭기(HPA) 비선형 특성으로 인한 전력효율 저하를 개선하기 위해 QPSK 변조기법 대신 부드러운 위상천이와 진폭변이가 적은 SQAM 변조기법을 적용한 DS-CDM-SQAM (Superposed Quadrature Amplitude Modulation) 방식을 제안하고 성능을 분석하였다. 비선형 다중경로 이동수신 환경에서 전산모의 실험 결과, 제안하는 DS-CDM-SQAM 방식은 기존의 DS-CDM-QPSK 방식보다  $BER=1 \times 10^{-3}$ 에서  $E_b/N_0 = 1.7\text{dB}$  성능 향상됨을 확인할 수 있었다. 따라서 DS-CDM-SQAM 시스템은 비선형 육상 이동 위성 DAB 환경에서 전력효율을 크게 향상할 수 있다.

### 1. 서론

최근 CD, DVD 등 뛰어난 음질의 디지털 오디오 기기가 급격히 보급되면서 고급 음질 및 화질을 제공하는 디지털 방송에 대한 사용자의 요구가 날로 증가하고 있다. 이에 따라 유럽, 미국, 캐나다 등지에서 디지털 오디오 방송(DAB : Digital Audio Broadcasting)을 현재 시행중에 있으며, 국내에서도 지상파 및 위성 DAB 서비스를 위한 ITU-R 국제 표준 분석 및 방송 방식 연구가 활발히 진행 중이다.

위성 DAB는 위성을 통해 고정, 이동, 휴대용 수신기에 오디오 및 부가 데이터 서비스를 제공함으로써 다양한 멀티미디어 서비스를 실시할 수 있고, 지상파 DAB에 비하여 경제적으로 넓은 지역을 커버할 수 있다. ITU-R BO.1130-4에서 권고한 위성 DAB 시스템 E는 DS-CDM-QPSK 방식으로, 방송 콘텐츠를 위성중계기를 통하여 지상으로 송신하고, 수신환경이 열악한 도심지에는 지상중계기(Gap-filler)를 통하여 다채널 고품질의 서비스를 제공한다<sup>[1]</sup>. 그러나 지구국, 지상중계

기 그리고 위성중계기에서 사용하는 고출력 증폭기는 전력 효율적인 영역에서 동작할 때 비선형 특성인 AM/AM 및 AM/PM 변환으로 인하여 인접 심볼 간섭(ISI)이 발생하고, 스펙트럼 재확산으로 인하여 인접 채널 간섭(ICI)이 초래된다<sup>[6]</sup>.

본 논문에서는 비선형 증폭된 위성채널에서 QPSK 방식 위성 DAB 시스템의 성능 열화를 개선하기 위하여, 부드러운 위상천이와 진폭 변이가 거의 일정하여 고출력 증폭기의 전력 효율적인 영역에서 동작시에도 인접 심볼 간섭(ISI)의 정도가 적은 SQAM (Superposed Quadrature Amplitude Modulation) 변조기법<sup>[2]</sup>을 사용한 DS-CDM-SQAM 방식을 제안하고 선형 또는 비선형 AWGN 채널과 비선형 다중경로 이동수신 환경에서 기존의 DS-CDM-QPSK 방식과 성능을 비교 분석하였다.

### 2. DS-CDM-QPSK 방식 위성 DAB

ITU-R BO.1130-4에서 권고한 위성 DAB 시스템 E (DS-CDM-QPSK 방식)의 송수신기 동작 구성도는 그림

1 과 같다<sup>[1]</sup>. 송신기는 I, Q 채널 신호 각각 1 비트당 64 개의 월쉬코드로 확산하고 12 단 피드백 쉬프트 레지스터에 의하여 발생된 4095 길이의 PN 부호중 2048 길이만 사용하여, 확산된 칩과 PN 부호간에 모듈로-2 연산을 한다. 코드확산 후 롤-오프 계수가 0.22 인 SRRC(Square Root Raised Cosine) 필터를 통과시키고 상호간 직교성을 지닌 64 개의 월쉬코드로 채널이 구분된 다른 방송데이터와 다중화(multiplex) 시킨 후 송신한다. 전송채널은 위성의 고출력 증계기(HPA)를 통과 후 위성에서 직접 수신한 경우와 도심지 음영지역에서 지상 증계기(Gap-filler)의 신호를 수신한 경우로 구분한다. 수신기 역시 롤-오프 계수가 0.22 인 SRRC 필터를 통과 후 지상 증계기 수신시 발생하는 다중경로 페이딩을 보상하기 위하여 2 개 안테나와 6 RAKE 다이버시티 수신기를 사용하고 PN 부호와 64 월쉬코드로 역확산 후 최대비율 컴바이닝(Maximal Ratio Combining, MRC)을 시킨다<sup>[1]</sup>.

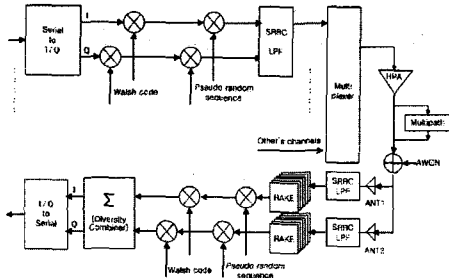


그림 1. DS-SSM-QPSK 방식 위성 DAB 시스템 동작 구성도

3. 제안한 DS-SSM-SQAM 시스템

DS-SSM-SQAM 시스템은 기존의 DS-SSM-QPSK 시스템의 QPSK 대신 SQAM 변조기법을 사용한다. SQAM의 임펄스 응답  $s(t)$ 는 식(1)과 같이 정의되고, Q 채널 신호는 I 채널에 비하여  $T_s/2$ 의 offset 을 가진다<sup>[2]</sup>.

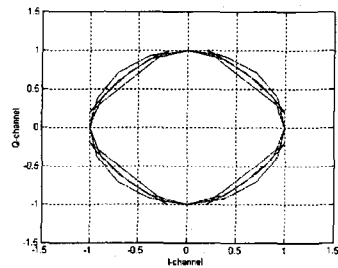
$$s(t) = \frac{1}{2} \left( 1 + \cos \frac{\pi t}{T_s} \right) - \frac{1-A}{2} \left( 1 - \cos \frac{2\pi t}{T_s} \right) \quad (1)$$

$$-T_s \leq t \leq T_s, \quad 0.5 \leq A \leq 1.0$$

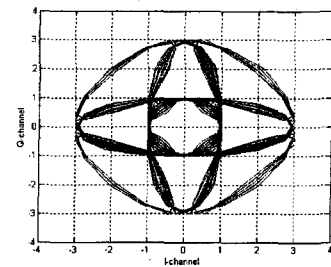
여기서,  $T_s$  는 심볼 주기이고  $A$  는 SQAM 신호의 진폭 파라미터로서 대역폭 및 오류확률을 조절할 수 있다. 임펄스 응답이 심볼 주기의 두 배를 차지하므로, SQAM 신호는 연속적으로 입력되는 두개의 비트  $a_n$  과  $a_{n+1}$  의 함수이며,  $s(t-nT_s)$  와  $s(t-(n+1)T_s)$  를 중첩시켜 얻은 기저 대역 신호의 합성된 파형은 식(2)와 같이 표현된다<sup>[4]</sup>.

그림 2 는 방송 채널수 증가에 따른 DS-SSM-SQAM 시스템의 송신단 성상도를 보여준다. 방송 채널수 증가할 때 SQAM 신호는 부드러운 위상천이와 진폭변이가 거의 일정하다. 따라서, 고출력 증폭기 통과시에 SQAM 신호가 QPSK 신호에 비하여 AM/AM 및 AM/PM 의 비선형 특성에 적은 영향을 받아 수신 BER 성능이 좋아진다.

$$\begin{aligned}
 s_1(t) &= -s_5(t) \\
 &= \begin{cases} \sin\left(\frac{\pi t}{T_s}\right) & \text{for } 0 \leq t \leq \frac{T_s}{2} \\ A - (1-A) \cos\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right) & \text{for } \frac{T_s}{2} \leq t \leq T_s \end{cases} \\
 s_2(t) &= -s_6(t) \\
 &= \begin{cases} A - (1-A) \cos\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right) & \text{for } 0 \leq t \leq \frac{T_s}{2} \\ \sin\left(\frac{\pi t}{T_s}\right) & \text{for } \frac{T_s}{2} \leq t \leq T_s \end{cases} \quad (2) \\
 s_3(t) &= -s_7(t) \\
 &= A - (1-A) \cos\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right) \quad \text{for } 0 \leq t \leq T_s \\
 s_4(t) &= -s_8(t) = \sin\left(\frac{\pi t}{T_s}\right) \quad \text{for } 0 \leq t \leq T_s
 \end{aligned}$$



(A=0.6, 1 개 채널)



(A=0.6, 3 개 채널)

그림 2. 채널수 증가에 따른 DS-SSM-SQAM 의 성상도

DS-SSM-SQAM 시스템의 수신기는 이상적인 성능을 갖지만 하드웨어 구현이 복잡한 최적 상관 수신기를 사용하지 않고, 하나의 펄스만을 사용하는 구조가 간단한 준최적 수신기를 사용하였으며 동작 구성도는 그림 3 과 같다.

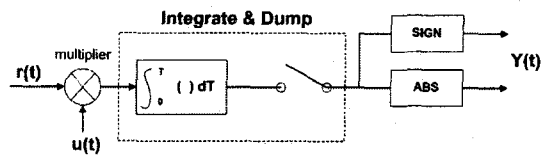


그림 3. SQAM 준최적 수신기 동작 구성도

여기서,  $r(t)$ 는 수신신호 이고  $u(t)$ 는 준최적 수신기 상관필스로서 식(3)과 같으며  $Y(t)$ 는 준최적 수신기 출력신호 이다<sup>[4]</sup>.

$$u_+(t) = B - (1 - B) \cos\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right) \quad \text{for } a_n = 1$$

$$u_-(t) = u_+(t) \quad \text{for } a_n = -1 \quad (3)$$

for  $0 \leq t \leq T_s, 0.5 \leq B \leq 1.0$

여기서,  $B$ 는 진폭 파라미터이며  $a_n$ 는 수신 입력비트로서 수신신호의 극성(1 또는 -1)에 따라 상관필스  $u(t)$ 의 극성이 변하게 된다<sup>[4]</sup>.

#### 4. 위성 DAB 시스템 채널 모델링

본 논문에서는 비선형 채널 모델을 위해 그림 4의 AM/AM 및 AM/PM 특성을 가지는 Hughes 사의 TWT275H의 실제 측정값을 이용한 A. Saleh의 모델을 사용한다<sup>[3]</sup>.

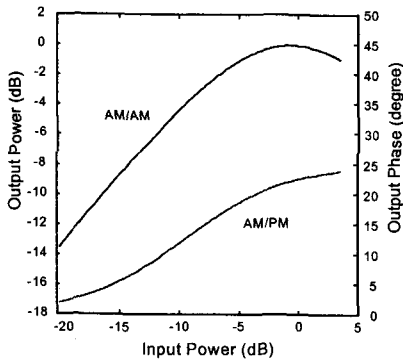


그림 4. TWTA 비선형 특성곡선

TWTA 입력신호의 크기  $r$ 에 대한 출력신호의 진폭  $A(r)$ 과 위상  $\Phi(r)$ 은 식 (4)와 같이 표현된다<sup>[3]</sup>.

$$A(r) = \alpha_A r / (1 + \beta_A r^2) \quad (4)$$

$$\Phi(r) = \alpha_\Phi r^2 / (1 + \beta_\Phi r^2)$$

여기서,  $\alpha_A, \alpha_\Phi, \beta_A$ , 그리고  $\beta_\Phi$ 는 TWTA 특성 파라미터이며, 본 논문에서 적용한 최적 추정 파라미터 값은 표 1과 같다.

표 1. TWTA 특성곡선에 대한 최적 추정 파라미터

합수	$A(r)$	$\Phi(r)$
$\alpha$	2.1587	4.0033
$\beta$	1.1517	9.1040

위성으로부터 직접 수신하는 환경은 비선형 증폭된 Line-of-Sight(LOS) AWGN 채널로 모델링하며, 도심지에서 위성중계기 신호의 전파 음영지역을 커버하기 위한 지상 중계기(Gap-filler)로부터 수신하는 환경은 비선형 증폭된 다중경로 이동수신 채널로 모델링하였다. 다중경로 이동수신 환경은 IMT-2000 차량용 수

신 채널로 그림 5와 같다<sup>[5]</sup>.

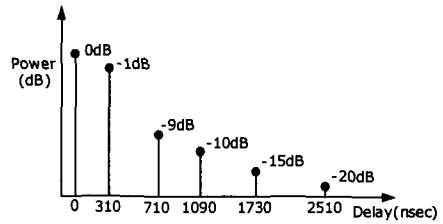


그림 5. IMT-2000 차량용 수신 채널

#### 5. 전산모의 실험 및 결과 분석

SQAM 변조방식은 송수신 펄스의 진폭 파라미터 A, B에 따라 다른 성능을 보이므로 최적의 BER 성능을 나타내는 파라미터를 구하기 위해 선형 AWGN 채널과  $E_b/N_0=7\text{dB}$  조건에서 진폭 파라미터 A, B에 변화에 따른 DS-CDM-SQAM 시스템의 BER 성능을 구하였다. 그림 6에서 송신 파라미터  $A=0.6$ , 수신 파라미터  $B=0.6$  일때 최적의 BER 성능을 보인다.

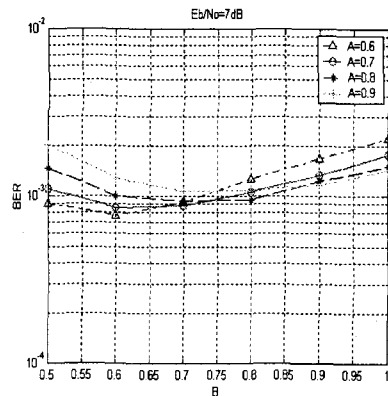


그림 6. AWGN 채널에서 송수신 파라미터 변화에 따른 DS-CDM-SQAM의 BER 성능( $E_b/N_0=7\text{dB}$ )

제안한 DS-CDM-QPSK와 DS-CDM-SQAM의 BER 성능을 전산모의 실험하기 위한 위성 DAB 시스템 파라미터는 표 2와 같다.

표 2. 전산모의 실험에 사용한 DS-CDM 방식 위성 DAB 시스템 파라미터

변수	QPSK	SQAM
송수신필터 계수	0.22	A=0.6, B=0.6
반송파 주파수	2642.5 MHz	
대역폭	25 MHz	
칩률	16.384 MChip/sec	
IMT-2000 채널 차량속도	50 km/hr	

선형 AWGN 채널에서 DS-CDM-QPSK 방식과 DS-

CDM-SQAM 방식의 수신 BER 성능은 그림 7 과 같으며 DS-CDM-SQAM 의 BER 성능은 이론적인 QPSK 및 DS-CDM-QPSK 방식과 거의 동일한 성능을 보인다.

그림 8 은 위성 신호를 직접 수신을 가정한 비선형 AWGN 채널에서 시스템별 수신 BER 성능을 비교한 것이다. BER= $1 \times 10^{-3}$  에서 제안한 DS-CDM-SQAM 방식이 기존의 DS-CDM-QPSK 방식보다 Eb/No 가 약 1.6dB 개선되었다.

그림 9 는 도심지에서 차량속도를 50km/hr 로 이동하며 지상중계기(Gap-filler)의 신호를 수신을 가정한 비선형 다중경로 이동수신 환경에서 DS-CDM-QPSK 방식과 SQAM 방식의 BER 을 비교한 것이다. BER= $1 \times 10^{-3}$  에서 SQAM 방식이 QPSK 방식보다 Eb/No 가 약 1.7dB 향상됨을 알 수 있다.

그림 7, 8 그리고 9 로부터 DS-CDM-SQAM 방식은 선형 AWGN 채널에서는 이론적인 QPSK 및 기존의 DS-CDM-QPSK 방식과 거의 동일한 성능을 보이나, 비선형 증폭된 채널환경에서는 SQAM 방식의 연속적이고 완만한 위상 천이 특성으로 인하여 QPSK 방식보다 성능열화에 더 강함을 알 수 있다.

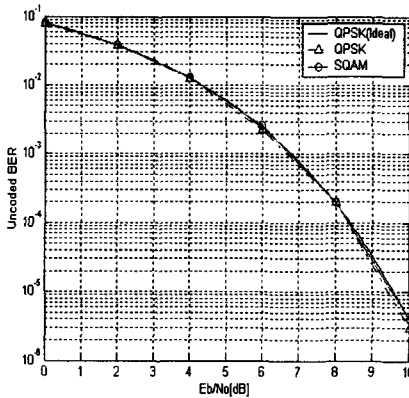


그림 7. 선형 AWGN 채널에서 DS-CDM-QPSK 와 DS-CDM-SQAM 의 BER 성능

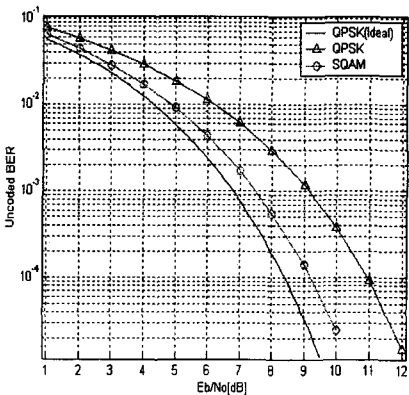


그림 8. 비선형 AWGN 채널에서 DS-CDM-QPSK 와 DS-CDM-SQAM 의 BER 성능

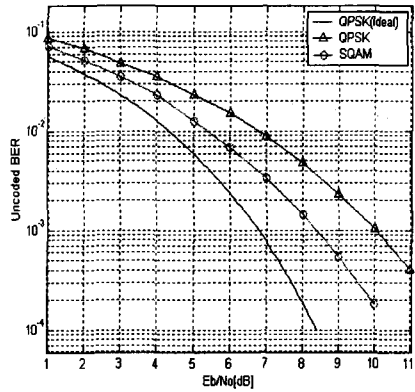


그림 9. 비선형 다중경로 이동수신 환경에서 DS-CDM-QPSK 와 SQAM 의 BER 성능(V=50km/hr)

## 6. 결론

본 논문은 ITU-R BO.1130-4 시스템 E 가 채택하고 있는 DS-CDM-QPSK 방식 위성 DAB 시스템이 위성 중계기의 비선형 특성으로 수신 BER 성능의 열화가 발생하는 현상을 개선하기 위하여 위상천이가 부드럽고 Quasi-constant Envelope 특성을 갖는 DS-CDM-SQAM 방식을 제안하고 비선형 육상 이동 방송환경에서 전산모의 실험을 통해 그 성능을 비교 분석하였다.

DS-CDM-SQAM 방식은 선형 AWGN 채널에서 DS-CDM-QPSK 방식과 동등한 BER 성능을 보였으나, 비선형 AWGN 채널에서 BER= $1 \times 10^{-3}$  일때 Eb/No 가 약 1.6dB 향상되었고 비선형 다중경로 이동수신 환경에서는 BER= $1 \times 10^{-3}$  일때 Eb/No 가 약 1.7dB 개선되었다. 따라서, DS-CDM-SQAM 방식이 비선형 육상 이동 방송환경에서 기존의 DS-CDM-QPSK 방식보다 전력 효율적임을 알 수 있다.

## 참고문헌

- [1] Recommendation ITU-R BO. 1130-4, Systems for digital satellite broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers in the bands allocated to BSS(sound) in the frequency range 1400-2700MHz
- [2] J.S. Seo, K. Feher, "SQAM : A New superposed QAM modem technique," *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. COM-33, pp.298-300, Mar. 1985.
- [3] A.M. Saleh "Frequency-Independent and Frequency-Dependent Nonlinear Models of TWT Amplifiers" *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. COM-29, No.11. pp.1715-1720, Nov. 1981.
- [4] J.S. Seo, Il-Keun Park, "Low complexity receiver for rate variable SQAM modem," *IEE Electronics Letters*, Vol. 33, No.22, pp. 1844-1846, Oct. 1997.
- [5] ITU-R M.1225, Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000, 1997.
- [6] K. Feher, *Digital Communications Satellite/Earth Station Engineering*, Prentice-Hall, 1981.