

직접 위성 방송 채널 성능평가를 위한 시뮬레이터 개발

정지원, 정상우, 김재범
한국해양대학교 전파공학과
부산광역시 영도구 동삼동 1번지
jwjung@hanara.kmaritime.ac.kr.

A Development of Simulator for Performance Evaluation in Direct Broadcasting Satellite Channel

Ji-Won Jung, Sang-woo Jung, Gae-Bum Kim
Korea Maritime University Radio Sciences of Engineering
#1 Dongsam-Dong Yeongdo-Ku Pusan 606-791
jwjung@hanara.kmaritime.ac.kr

요약

본 논문에서는 위성통신 채널을 성능평가하기 위한 시뮬레이션 방법 연구 및 그에대한 오류율을 산정하였다. 시뮬레이션 기법에는 크게 MC기법과 QA기법이 있으며, 이 두 방법으로 가우시안 잡음 및 비선형 위성 채널에서 (2,1,7), (3,2,7), (4,3,7), (8,7,7) Convolutional Coding에 대한 성능 분석을 하였다.

로 하게 된다. 특히 위성 통신의 경우 실제 동작을 체크하기에는 경비(cost)면에서 사실상 불가능하기 때문에 경제적이고 신뢰성이 있는 다른 Tool이 필요하게 되었다. 이러한 상황에서 시뮬레이션 기법은 그 질문에 만족할만한 적절한 도구로서 사용될 수 있기 때문에 Link 설계, Network 분석, Link 성능 분석 등과 같은 시스템 엔지니어링(System Engineering) 기술의 중요성도 결코 간과할 수 없다.^[1]

위성통신채널의 성능을 평가하는 시뮬레이션 방법을 대표하는 두가지 기법으로 MC(Monte-Carlo)와 QA(Quasi Analytic)가 있다. MC기법은 무수히 많은 비트를 시뮬레이션하여 하나하나의 입력과 출력 비트를 비교해서 error를 산출하고 BER(Bit Error Rate)를 구하는 반면에, QA는 한정된 비트를 가지고 잡음이 없는 상태에서 시뮬레이션하여 마지막에 잡음전력을 고려하여 BER을 산정하는 기법이다. MC기법이 정확한 시뮬레이션결과를 제공한다는 장점이 있지만, 입력 비트수가 한정되어 있는 QA기법보다는 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다. 반면에 QA기법은 시뮬레이션 소요시간이 거의 없고, 비교적으로 만족할만한 결과도 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 MC, QA기법을 이용하여 위성통신채널 성능평가를 위한 시뮬레이션 모델을 제시하였다. 본 논문의 구성은 서론에 이어 제 II장에서는 MC/QA 기법에 대한 시뮬레이션 모델을 나타내었고, III장에서는 위성통신시스템 모델요소인 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) Modulation, Baseband Filter, TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier), Channel Filter, Interference(ACI:Adjacent Channel Interference, CCI:Co-Channel Interference)의 내용과 그에 대한 각 단계에서 시뮬레이션 결과를 나타내었고, IV장에서는 MC/QA 기법에 의한 BER curve를 산출하여 위성 통신 채널 성능 분석을 하였고, 마지막으로 V장 결론 순으로 논문을 구성하였다.

I. 서론

1995년 무궁화 1호의 발사로 우리나라에서도 위성 방송 통신 시대가 도래되었다. 2년이 지난 지금 위성을 이용한 통신은 SNG(Satellite News Gathering), VAST(Very Small Aperture Terminal)등에 이용되고 있고, 위성 방송은 1996년 7월 KBS에서 처음 시작된 이후로 현재는 KBS1, KBS2, EBS1, EBS2의 4개의 채널을 통해 방송되고 있다. 무궁화 위성은 방송용으로 디지털 전송 방식을 채택하고 있어 채널 수가 많고, 깨끗한 화면, 고음질의 서비스를 제공하고 있다.

무궁화 위성은 통신/방송 서비스를 담당하는 통신용 중계기와 방송용 중계기가 탑재되어 있다. 통신용으로 상향 링크 14.0GHz~14.5GHz, 하향 링크 12.25GHz~12.75GHz 대역을 사용하고 있고, 12개의 중계기와 3개의 예비 중계기를 탑재하고 있다. 방송용으로는 상향 링크 14.5GHz~14.8GHz, 하향 링크 11.7GHz~12.0GHz 대역을 사용하고 있고, 3개의 중계기와 3개의 예비 중계기를 탑재하고 있다.^[6]

위성을 이용한 통신은 구미 선진국에서는 이미 30여년의 역사를 가지고 발전해 왔으며 기술적인 면에서는 완숙기에 도달하여 있다. 이러한 기술은 위성체나 발사체, 지구국 등과 같은 관련 하드웨어의 제작이 주류를 이루고 있다. 하지만 현대의 디지털 통신에서는 신호가 목적지까지 가기전에 신호 처리, 필터링, 비선형 증폭, 간섭 등과 같은 많은 복잡한 과정을 거치기 때문에 수학을 사용한 분석적 방법으로는 도저히 표현할 길이 없다. 또 시스템 설계자의 경우, 시스템 제작에 앞서서 시스템의 성능을 예측할 수 있는 수단을 필요

II. 시뮬레이션 모델

2.1 QA 시뮬레이션

QA기법을 사용하여 시뮬레이션한 시스템의 전체 블록도는 그림 2.1과 같다.

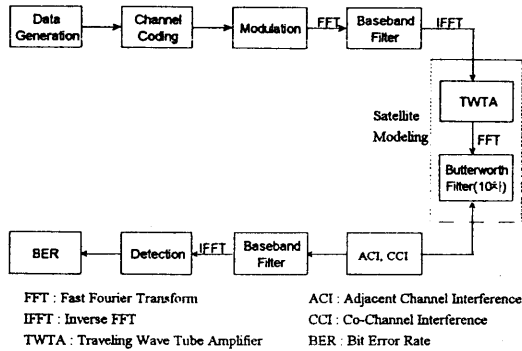


그림 2.1 QA 시뮬레이션 블록도

QA기법에서는 주로 시간영역과 주파수영역 사이의 상호변환을 이용하여 신호를 처리한다. MC(Monte-Carlo), IS(Importance Sampling)기법에서는 검파시 전체의 파형(시스템의 특성에 따라 왜곡되어 수신된 신호 + 잡음신호)을 근거로 하여 BER을 산정하는데 반하여, QA기법에서는 잡음이 없는 상태에서 신호만을 시스템의 특성에 따라 왜곡시킨 뒤, 검파직전에 잡음전력을 따로 계산하여 BER을 산정하는 기법이다. 식(2.1)은 QA 기법으로 오류율을 공식이다.

$$Pe = 1/Nb \left\{ \sum_{i=1}^{Nb} 0.5(\operatorname{erfc}(\sqrt{V_i}/\sigma^2)) \right\} \quad (2.1)$$

여기서 Nb는 비트수, $\sigma^2 = 10^{-(Eb/No)/10}$ 이다. V_i 는 왜곡된 신호의 최적의 샘플링 지점을 말하는 것으로 그림 2.2에서 나타내었다.

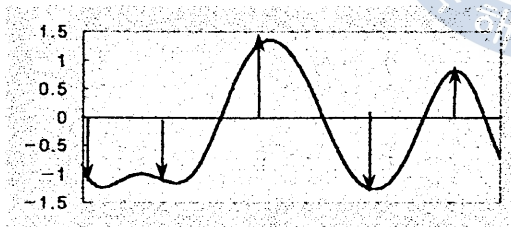


그림 2.2 수신된 신호의 최적 샘플링 과정

QA기법은 채널 코딩과 Viterbi decoding을 행하지 않고 Uncoded BER을 구하여 coding 효과를 위해 다음과 같은 표 2.1 공식에 의해 Coded BER을 구한다.

표 2.1 Coding Gain을 이용한 BER curve 산정

(2,1,7)	$Pe = 8.8368 + 7.9380Pce + 0.56933Pce^2$
(4,3,7)	$Pe = 6.9629 + 5.8372Pce + 0.31666Pce^2$
(8,7,7)	$Pe = 4.6616 + 3.7761Pce + 0.12238Pce^2$

Pce : channel error (Uncoded BER)
Pe : coded BER

QA 시뮬레이션하기 위한 파라미터는 다음 8가지로

나타낸다.

- (1) Data Generation: 각 비트당 32개의 샘플수를 주어서 64비트를 생성하였다.
- (2) Channel Coding : (2,1,7), (4,3,7), (8,7,7) convolutional coder를 사용하였다.
- (3) Modulation : QPSK 변조를 사용하였다.
- (4) Baseband Filter : Nyquist 필터를 사용하였으며 roll off α 의 값은 0.35로 하였다.
- (5) Satellite Modeling : TWTA와 Channel Filter로 구성되어 있으며 채널 필터는 Butterworth 10차 필터를 사용하였다.
- (6) ACI, CCI : 간섭량으로는 인접채널간의 간섭(ACI)과 채널내의 간섭(CCI)을 주었다.
- (7) Detection : 최적의 샘플링 지점을 구하였다.
- (8) BER : QA 시뮬레이션 기법을 사용하여 Coding Gain을 처리함으로써 나타내었다.

2.2 MC 시뮬레이션

MC기법을 위한 시뮬레이션 모델은 그림 2.3과 같다.

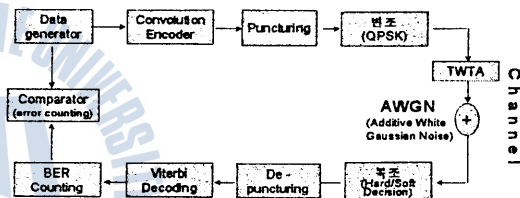


그림 2.3 MC 시뮬레이션 블록도

QA기법은 몇 개의 샘플비트를 인가하고 최종 출력비트의 파형을 분석하고 관계식에 의하여 신호대잡음비(SNR)에 따른 Error Performance를 구하는 반면에, Monte-Carlo기법은 직접 무수히 많은 비트를 통과시켜 하나하나의 입력비트와 출력비트를 비교하여 error를 count해서 Error Performance를 구한다.

입력 비트수가 한정되어 있는 QA기법보다는 MC기법이 많은 처리시간을 요구한다는 단점이 있지만 QA보다 비교적 정확한 시뮬레이션 결과를 제공한다는 장점을 가지고 있다. MC 시뮬레이션 기법의 정확도는 입력데이터의 10^{-1} 이다. 예를 들어 어떤 시스템의 구하고자 하는 error rate가 10^{-5} 즉, 10^5 개의 정보비트당 1개의 error가 존재하는 성능을 MC시뮬레이션에서 평가하고자 할 때 그보다 10배 많은 10^6 개의 데이터를 처리해야 결과가 신뢰성을 가진다고 말할 수 있다.

MC기법에 따라 Data generator에서 10^6 개의 비트를 랜덤하게 발생시켜 각각의 모델을 통과시키고 Comparator에서 출력과 입력을 비교하여 error를 하나씩 count 했다. 따라서 출력되는 BER은 입력비트수에 한정되어 있으며 BER식은 식(2.2)와 같다.

$$Pe = (1/N) \sum_{i=1}^N e_i \quad (2.2)$$

여기서 N : Total Event의 수이고, e_i : Single Event(입력비트와 검출된 비트가 다를때는 1이고, 같을때는 0)이다. MC기법에서의 성능평가 핵심은 채널코딩을 어떻게

계 구현하느냐에 있다. 본 논문에서는 convolutional coding의 (2,1,7)시스템을 punctured 시켜 전송속도를 증가시키는 punctured code를 적용하였다. punctured 부호는 대역폭 확장을 초래하는 convolution 부호의 낮은 부호화율을 보완하기 위한 부호화 기법으로서 convolution 부호기의 출력비트를 주기적으로 제거함으로써 대역폭을 감소하고 복호기에서 제거된 비트를 중간값으로 보상하여 복호한다.

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad P_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

P_1 은 coding rate=2/3이고, P_2 는 coding rate=3/4인 punctured code의 perforation matrix이다. '0'로 표시한 부분은 제거되는 출력비트를 나타낸다. 본 논문에서는 MC기법의 시간 소요로 인해 10^5 개 정도의 데이터를 처리하였고 (2,1,7), (3,2,7), (4,3,7) punctured coding을 가우시안 잡음 및 위성채널 backoff 0dB에서 성능분석하였다.

III 위성통신시스템 모델요소 분석 및 시뮬레이션 결과

3.1 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) Modulation

Data Generation에서 생성된 데이터를 위성으로 보내기 위하여는 변조를 하여야 한다. 디지털 변조로는 크게 ASK(Amplitude Shift Keying), FSK(Frequency Shift Keying), PSK(Phase Shift Keying)으로 나눌 수 있다. 그런데 디지털 변조 방식을 선택할 때에 고려해야 할 사항으로는 잡음과 간섭 특성, 주파수 효율, 전력 효율 등이 있다. 그리고 위성을 이용한 전송 방식에서는 위성체의 특성이 추가로 고려되어야 하고 위성체는 송신 전력이 제한된 시스템이므로 전력 효율이 높은 방식이 선택되어야 한다. 게다가 위성체의 TWTA는 비선형 특성을 지니므로 심각한 신호 왜곡이 발생하여 전체 전송 특성에 큰 영향을 주므로 변조 방식 선택시에 반드시 고려되어야 한다. 그러므로 위성을 이용한 디지털 변조 방식으로는 진폭이 동일하고 위상만이 변하는 PSK방식이 많이 사용된다. 본 논문에서는 현재 무궁화 위성에서 사용되고 있는 QPSK 변조를 사용하였다. QPSK 변조란 들어오는 신호를 두비트씩 묶어서 첫 번째 비트는 Inphase인 cos성분으로 보내고 두 번째 들어오는 비트는 Quadrature인 sin성분으로 보내어 두 신호의 합을 반송파에 실어서 전송하는 기법이다.

식(3.1)은 각 비트들이 QPSK 송신기를 거쳐서 나온 변조된 신호 $S(t)$ 이다.

$$S(t) = d_I(t) \cos \omega_c t - d_Q(t) \sin \omega_c t \quad (3.1)$$

이러한 신호 $S(t)$ 는 네 개의 위상을 가지고 전송되게 된다. 그리고 각 비트들의 변조된 신호가 어떻게 네가지의 각기 다른 위상을 가지는가를 알아보기 위해서 이를 등가기저대역에서 해석하였는데, 이것은 그림 3.1에 나타내었다. 이렇게 QPSK 송신기를 거쳐 변조된 신호를 표 3.1에 정리하였다.

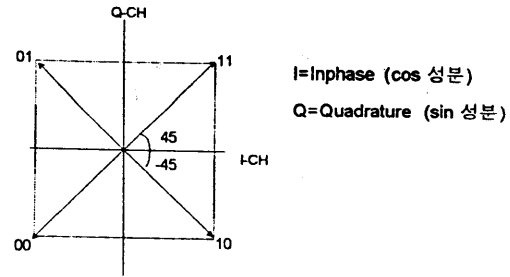


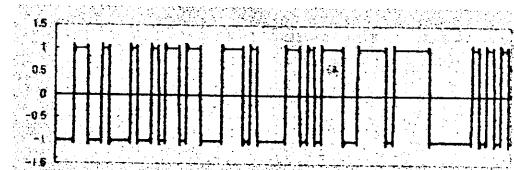
그림 3.1 등가기저대역 해석 모델

이 해석 모델에서는 처음 들어오는 신호가 1이고 두 번째 들어오는 신호가 1이면 좌표평면의 원점에서 (1,1)지점까지 선을 그어시 진폭이 $\sqrt{2}$ 이고 위상이 45° 인 신호를 가지는 것으로 해석하였고, 1과 0신호가 들어오면 원점에서 (1, -1)까지 선을 그어시 $\sqrt{2}$ 와 -45° 인 신호로, 0과 1이면 $\sqrt{2}$ 와 135° 인 신호로, 0과 0인 경우에는 $\sqrt{2}$ 와 225° 인 신호로 변조된 것으로 해석하였다.

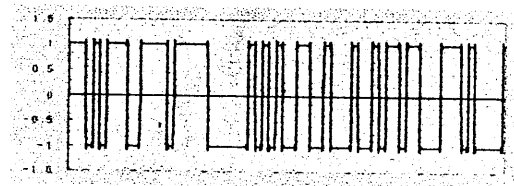
표3.1 QPSK 변조된 전송 신호

$d_I(t)$	$d_Q(t)$	$S_I(t)$
+1	+1	$\cos_c t - \sin \omega_c t = \cos(\omega_c t + 45^\circ)$
+1	-1	$\cos_c t + \sin \omega_c t = \cos(\omega_c t - 45^\circ)$
-1	+1	$-\cos_c t - \sin \omega_c t = \cos(\omega_c t + 135^\circ)$
-1	-1	$-\cos_c t + \sin \omega_c t = \cos(\omega_c t + 225^\circ)$

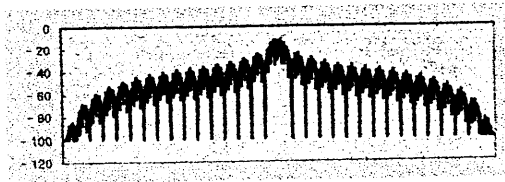
이렇게 Data Generation에서 들어온 신호를 I, Q channel으로 나눈 신호와 FFT(Fast Fourier Transform) 알고리즘을 통하여 주파수 영역에서의 전력 스펙트럼을 그림 3.2에 나타내었다.



(a) QPSK 변조된 신호의 I Channel



(b) QPSK 변조된 신호의 Q Channel



(c) QPSK 변조된 신호의 전력 스펙트럼

그림 3.2 QPSK 변조된 신호

3.2 Baseband Filter

Baseband Filter로는 Nyquist Filter를 사용하였다. 이 필터의 전달함수는 식(3.2)와 같다.

$$H(f) = \begin{cases} 1, & |f| < f_N - f_a \\ \frac{1}{2} \left[1 - \sin \frac{\pi}{2\alpha} \left\{ \frac{f}{f_N} - (1-\alpha) \right\} \right], & f_N - f_a < |f| < f_N + f_a \\ 0, & |f| < f_N + f_a \end{cases} \quad (3.2)$$

식(3.2)를 이용한 Nyquist Filter의 전달 특성을 그림 3.3에 나타내었다.

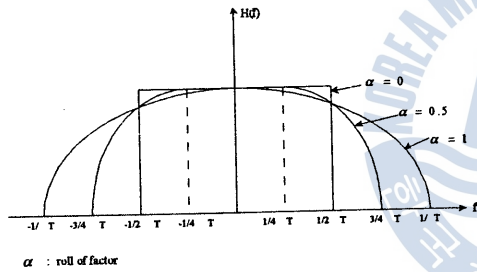
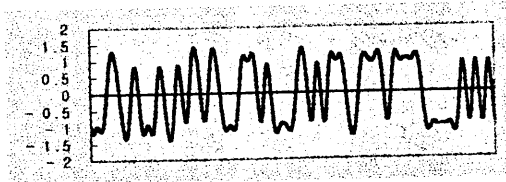
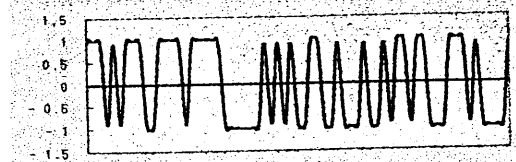


그림 3.3 Nyquist Filter의 전달 특성

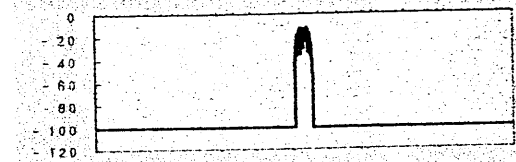
본 논문에서는 α 를 0.35로 고정시켰으며 그에 대한 시간 영역 및 주파수 영역의 신호는 그림 3.4와 같다. 아래의 그림을 보면 I, Q channel의 고주파 성분인 양모서리 부분이 깎여진 것을 볼 수 있고, 각각의 전력 스펙트럼에서는 양쪽의 Sidelobe가 Filtering된 것을 볼 수 있다.



(a) I Channel 신호



(b) Q Channel 신호



(c) 전력 스펙트럼

그림 3.4 $\alpha=0.35$ 일 때 Nyquist Filtering된 신호

3.3 비선형 위성 모델링

위성체 모델은 변조되고 Filtering되어 들어오는 신호를 다시 Filtering하는 IMUX(Input MUX)와 이를 다시 증폭하는 TWTA와 증폭된 신호를 재차 Filtering하는 OMUX(Output MUX)로 구성되어 있다.

3.3.1 TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)

위성통신에서는 대역제한성과 전력제한성이 부과되어 있으므로 송신단, 수신단의 지구국과 위성중계기에서는 고전력증폭기를 사용할 수밖에 없다. 비선형적인 특성을 가지는 고전력증폭기의 입력신호 $E_i(t)$ 를 식(3.3)이라 하면

$$E_i(t) = A \cdot e^{j(\omega t + \theta)} \quad A: \text{신호의 진폭} \quad (3.3)$$

비선형소자의 출력신호 $E_o(t)$ 는 식(3.4)와 같다.

$$E_o(t) = G(A) \cdot e^{j(\omega t + \theta + F(A))} = G(A) / A \cdot e^{jF(A)} \cdot E_i(t) \quad (3.4)$$

여기서 $F(A)$ 와 $G(A)$ 는 출력신호의 진폭과 위상을 결정하는 함수로서 각각 AM/AM, AM/PM이라 알려져 있다.

TWTA의 특성은 그림 3.5과 같이 Quadrature Model로 근사화할 수 있으며, 동위상 성분인 $Z_p(\cdot)$ 와 직교위상 성분인 $Z_q(\cdot)$ 수식으로 나타내면 식(3.5)와 같다.

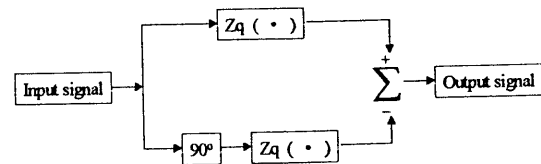
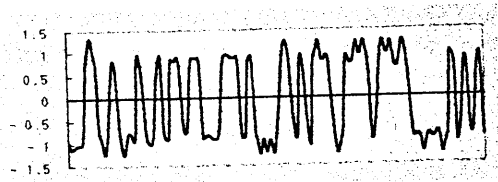


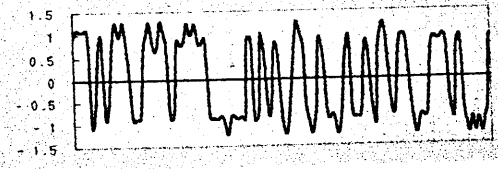
그림 3.5 TWTA의 Quadrature 모델

$$\begin{aligned} Z_p(R) &= C_1 \cdot R \cdot e^{-(C_2 \cdot R)} \cdot I_0(C_2 \cdot R^2) \\ Z_q(R) &= S_1 \cdot R \cdot e^{-(S_2 \cdot R)} \cdot I_1(S_2 \cdot R^2) \end{aligned} \quad (3.5)$$

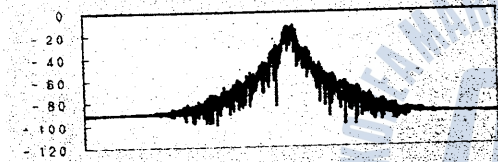
비선형 AM/AM, AM/PM 효과를 얻기 위해 본 논문에서는 $C_1=1.61245$, $C_2=0.053557$, $S_1=1.71850$, $S_2=0.242218$ 로 정하고 이러한 모델링 결과로서 TWTA의 동작점에 따른 I, Q Channel과 전력스펙트럼의 비선형증폭효과를 그림 3.6, 그림 3.7에 나타내었다.



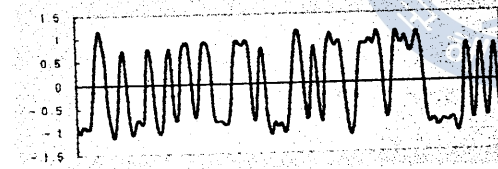
(a) TWTA 증폭후의 I Channel



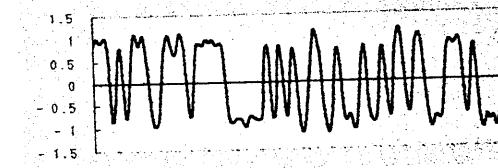
(b) TWTA 증폭후의 Q Channel



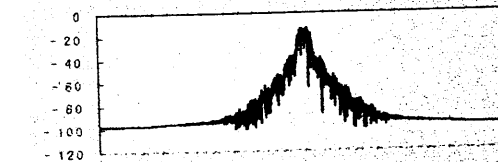
(c) TWTA 증폭후의 전력스펙트럼
그림 3.6 TWTA 증폭된 신호(Backoff=0dB)



(a) TWTA 증폭후의 I Channel



(b) TWTA 증폭후의 Q Channel



(c) TWTA 증폭후의 전력스펙트럼

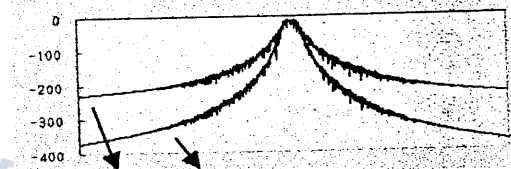
그림 3.7 TWTA 증폭된 신호(Backoff=5dB)

그림 3.6, 3.7의 (c)그림에서 볼수 있듯이 Backoff가 클수록 선형적으로 증폭되어 증폭효과가 작아짐을 알 수 있다.

3.3.2 IMUX/OMUX

위성중계기로 전송된 신호나 TWTA 증폭된 신호의 대역을 제한하기 위해서 IMUX/OMUX로는 Butterworth Filter를 사용하였다. Butterworth Filter는 주파수 영역에서 신호를 차단하는 Analog필터로 구현하였으며 IMUX의 차수는 10차로 하였으며 OMUX의 차수는 5차로 하였다.

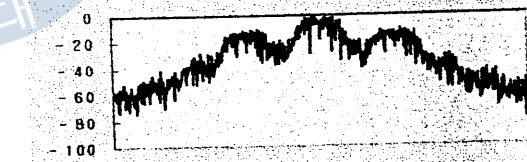
그림 3.8는 TWTA에서 들어오는 신호를 주파수 영역으로 변환하여 나타낸 Butterworth Filter의 전력스펙트럼이다.



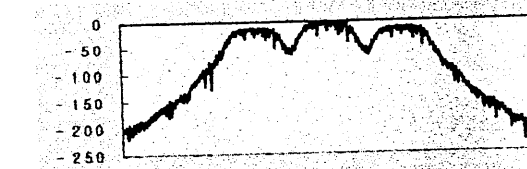
5차 10차
그림 3.8 IMUX/OMUX 전력스펙트럼
(Butterworth Filter 5, 10차)

3.4 간섭 모델

인접채널간의 간섭(ACI ; Adjacent Channel Interference)은 대역 통과 필터에 의해 감쇠되었던 신호가 지구국 혹은 위성중계기에서 비선형 증폭되면서 Sidelobe가 발생되면서 발생하게 되는데, 이는 다른 Channel에 간섭을 주게 되어 심각한 영향을 주게 된다.



(a) Backoff가 0일때 전력스펙트럼



(b) Backoff=0, Butterworth filter(10차)

그림 3.9 간섭량이 -10dB일때의 전력스펙트럼

그리고 채널내 간섭(CCI ; Co-Channel Interference)은 수직·수평편파의 불충분한 구분과 안테나 Sidelobe의 방사(radiation), microwave 시스템의 방사 등으로 인하여 발생한다. 이러한 간섭은 여러 가지 복합적인 요소들에 의하여 기인되기 때문에 정확한 간섭량을 계산할

수 있는 tool이 필요하다. 그리하여 본 논문에서는 두 가지 간섭량을 계산할 수 있는 간섭을 모델링하여 시스템의 성능저하를 예상할 수 있게 하였다. 그림 3.9에서는 인접채널간의 간섭을 전력스펙트럼으로 나타내었다.

IV 위성통신채널 성능 분석

채널성능평가를 위한 MC기법의 파라미터는 (2,1,7)convolutional code를 punctured시켜 (3,2,7), (4,3,7)puctured code에 수신단에서는 3bit soft decision Viterbi decoding 하여 가우시안 및 비선형 위성채널에서 성능분석 하였다. QA기법은 앞에서 설명한바와 같이 uncoded BER은 수신된 신호의 진폭을 error function 함수에 대입하여 구하였으며, (2,17), (3,2,7), (4,3,7), (8,7,7)convolutional coding의 성능은 coding gain을 이용하여 나타내었다.

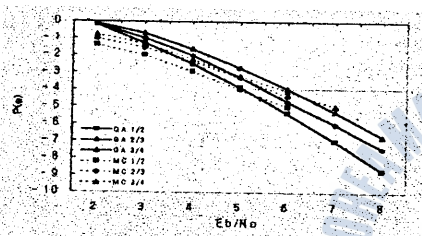


그림 4.1 BER (only Gaussian noise)

그림 4.1은 TWTA없이 가우시안 잡음일때만 QA, MC 기법을 이용하여 성능분석 하였다. 실선부분은 QA기법을 이용한 성능 분석이고, 점선은 MC기법을 이용한 성능분석이다. MC기법에서 10^5 개의 데이터를 처리하므로 10^{-4} 부근에서 거의 일치함을 보인다.

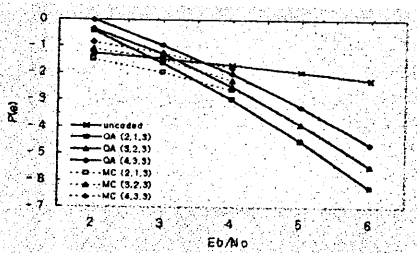


그림 4.2 BER (Backoff = 10dB)

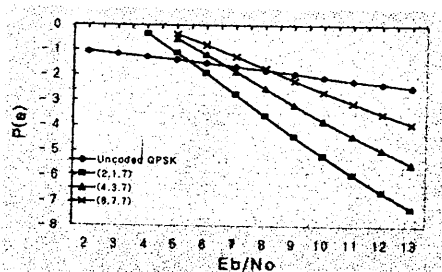


그림 4.3 BER(Backoff=0, ACI/CCI=-10dB)

그림 4.2는 TWTA와 가우시안 잡음이 존재할 때의 성능이며 TWTA backoff가 10dB일때 QA와 MC는 $10^{-1.5}$ 에서 10^{-2} 부근에서 정확성을 보이나 이외의 구간에서는 부정확하다는 것을 알 수 있다. 이는 입력된 데이터의 수와 밀접한 관계가 있다. 그림 4.3은 ACI=CCI=-10dB 일때 QA시뮬레이션을 이용한 성능분석이다. 그림 4.2와 4.3을 비교하여 볼 때 간섭량이 -10dB일때 10-5에서 약 3.5dB의 차이가 남을 알 수 있다.

V 결론 및 고찰

본 논문에서는 MC기법과 QA 기법을 이용하여 간섭량이 존재하는 비선형 위성채널에서 성능평가하였다. 성능평가 비교결과 가우시안 잡음일때는 두기법 모두 거의 근접함을 알 수 있으나, TWTA통과 후의 성능평가는 정확성이 떨어진다. MC가 QA에 근접하기 위해서는 입력되는 비트의 수, Viterbi decoding시 path memory의 크기, TWTA통과후의 정확한 신호세기 및 잡음(E_b/N_0)의 측정등이 필요함을 알 수 있으며, 이분야는 효율적인 위성통신채널 성능평가를 위해 계속 연구 진행분야라 사료된다.

참고문헌

- [1] R.W.Duesing, "Software Model for Intelsat System," The Computer Journal, 1983
- [2] T.Muratani, Y.ITO, "Study of Interference Models for Equitable and Efficient Use of Geostationary Orbit," Space Communication and Broadcasting, Vol, 1984.
- [3] T.Mizyike and Y.Ito, "Optimization of Frequency Assigment," IEEE Trans. Comm., Vol. COM-37, N0.10, 1989.
- [4] CCIR Handbook, Satellite Communication, ITU
- [5] MPR Titech Ltd. "DBS Development and Febrication Agreement," Dec, 1993.
- [6] 무궁화호 송수신기 정합 규격, 한국전자통신 연구소
- [7] 디지털 위성방송 종합운용시험평가보고서, 한국통신
- [8] 디지털 위성방송과 핵심부품설계 워크숍, 한국통신학회
- [9] 디지털위성방송시스템 개발, 한국통신 보고서