
MC기법과 QA기법을 이용한 직접위성방송채널 성능평가

정지원*, 조형래*, 고성찬**

Performance Evaluation of Direct Broadcasting Satellite Channel using a MC and QA Method

Ji-Won Jung, Hyoung-Rae Cho, Sung-Chan Ko

요 약

본 논문에서는 MC 시뮬레이션 기법과 QA 시뮬레이션 기법을 이용하여 인접채널간섭, 동위상간섭, 가우시안 잡음이 존재하는 직접위성방송 채널을 성능 평가 하였다. 시뮬레이션을 하기 위한 시스템 파라미터들은 현재 무궁화호 위성에서 사용하고 있는 파라미터 및 링크 설계를 기초로하여 설정하였으며, 두 가지 기법 모두 성능이 수학적 이론 성능에 근접함을 알 수 있었다.

Abstract

This paper presents the performance evaluation of direct broadcasting satellite by monte-carlo(MC) and quasi-analytic(QA) simulation method in the existence of uplink/downlink adjacent channel interference(ACI), co-channel interference(CCI), and gaussian noise. Korea's satellite system parameters and link design are used at the simulation.

MC and QA simulation methods are a valuable adjunct to analytical performance.

* 한국해양대학교 전파공학과

** 안동대학교 전자정보산업학부

접수일자 : 1999년 11월 18일

I. 서론

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 신호처리, 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 필요로 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 Analitic)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 QA기법 보다는 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다. 반면에 QA기법은 시뮬레이션 소요시간이 거의 없고, 비

교적으로 만족할만한 결과도 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 MC, QA기법을 이용하여 위성통신 채널 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.

II. 시뮬레이션 모델

2.1 QA 시뮬레이션

QA기법을 사용하여 시뮬레이션한 시스템의 전체 블록도는 그림 1과 같다.

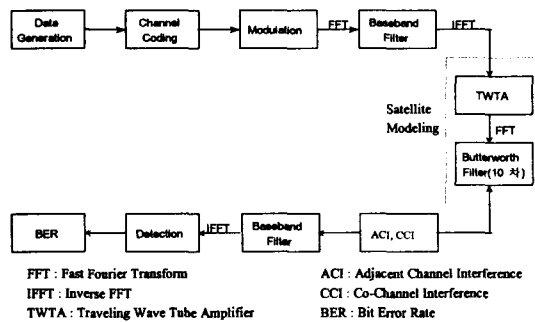


그림 1. QA 시뮬레이션 모델 블록도
Fig.1 Block diagram of QA simulation model

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 왜곡시

킨 뒤, 검파직전에 잡음전력을 따로 계산하여 BER을 산정하는 기법이다. 식(1)은 QA 기법으로 오류율을 공식이다.

$$Pe = 1/Nb \left(\sum_{i=0}^{Nb} 0.5(\operatorname{erfc}\sqrt{V_i/\sigma^2}) \right) \dots\dots\dots(1)$$

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

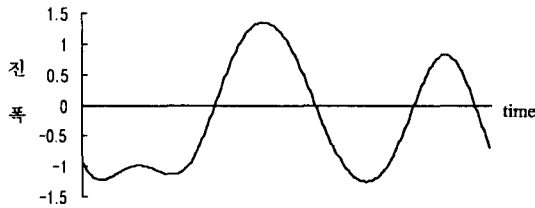


그림 2. 수신된 신호의 최적 샘플링 지점
Fig. 2 A optimal sampling points of received signal

QA기법은 채널 코딩과 Viterbi decoding을 행하지 않고 Uncoded BER을 구하여 coding 효과를 위해 다음과 같은 표 1 공식에 의해 Coded BER을 구한다.

표 1. Coding Gain을 이용한 부호화된 오류율 산정
Table 1 Evaluation of coded bit error performance using the coding gain

(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 나타내며 현재 무궁화호 위성 방송 시스템에서 적용되고 있는 파라미터들이다.

- (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 필터로는 Butterworth 10차 Filter를 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 3과 같다.

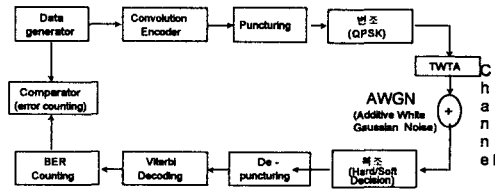


그림 3. MC 시뮬레이션 모델 블록도
Fig. 3 Block diagram of MC simulation model

QA기법은 몇 개의 샘플비트를 인가하고 최종 출력비트의 파형을 분석하고 관계식에 의하여 신호대잡음비(SNR)에 따른 오류율을 산정하는 반면, Monte-Carlo기법은 직접 무수히 많은 비트를 통과시켜 하나하나의 입력비트와 출력비트를 비교하여 error를 count해서 오류율을 산정한다.

입력 비트수가 한정되어 있는 QA기법보다는 MC기법이 많은 처리시간을 요구한다는 단점이 있지만 QA보다 비교적 정확한 시뮬레이션 결과를 제공한다는 장점을 가지고 있다. MC 시뮬레이션 기법의 정확도는 입력데이터 수의 1/10이다. 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 에서 신뢰성을 가진다고 말할 수 있다.

MC기법에 따라 Data generator에서 10^6 개의 비트를 랜덤하게 발생시켜 그림 3의 모델 블록도에 따라 시뮬레이션 하여 최종적으로 Comparator에서 출력과 입력을 비교하여 error를 하나씩 count 한다. 따라서 출력되는 BER은 입력비트수에 한정되어 있으며 BER식은 식(2)와 같다.

$$Pe = (1/N) \sum_{i=1}^N e_i \dots\dots\dots (2)$$

여기서 N : Total Event의 수이고, e_i 는 error event(입력 비트와 검출된 비트가 다를때는 1이고, 같을때는 0)이다. MC기법에서의 성능은 채널코딩의 부호화율(coding rate)에 의존한다. 본 논문에서는 위성방송에서 적용되고 있는 (2,1,7) convolutional coding을 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.

식 (3)에 출력 비트를 제거하는 perforation matrix를 보였다.

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad P_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

p_1 은 coding rate=2/3이고, p_2 는 coding rate=3/4인 punctured code의 perforation matrix이다. '0'으로 표시한 부분은 제거되는 출력비트를 나타낸다. 본 논문에서는 MC기법의 시간 소요로 인해 10^6 개 정도의 데이터를 처리하였고 (2,1,7), (3,2,7), (4,3,7) punctured coding을 가우시안 잡음 및 비선형 위성채널에서 성능분석 하였다.

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 변조

로는 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 사항들로는 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 선택 되어야한다. 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 변조방식을 적용하였다. 식(4)는 각 비트들이 QPSK 송신기를 거쳐서 나온 변조된 신호 S(t)이다.

$$S(t) = d_1(t) \cos \omega_c t - d_0(t) \sin \omega_c t \dots\dots\dots (4)$$

이러한 신호 S(t)는 네 개의 위상을 가지고 전송 되게 된다. 그리고 각 비트들의 변조된 신호를 시뮬레이션하기 위해서는 등가기저대역에서 해석하여야 하며, 이는 그림 4에 나타내었다.

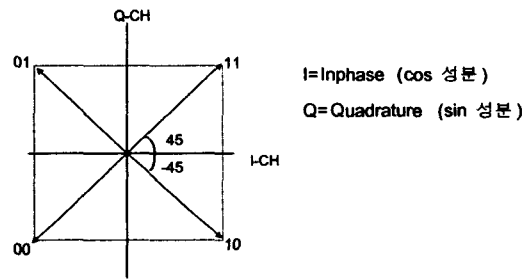
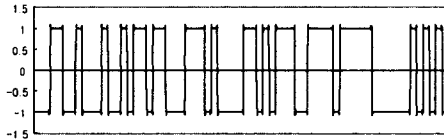


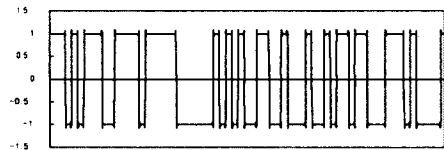
그림 4. 등가기저대역 해석 모델
Fig. 4 Analytic model in a equivalent baseband

등가기저대역에서 해석 모델은 I 채널 신호가 1이고 Q 채널 신호가 1이면 좌표평면의 원점에서 (1,1)지점까지 진폭이 이고 위상이 45°인 신호를 가지는 것으로 해석하였고, I 채널과 Q 채널 신호가 1,0 이면 (1, -1)위치를 의미하며, 진폭이 $\sqrt{2}$ 이며 위상이 -45°인 변조 신호로 해석한다.

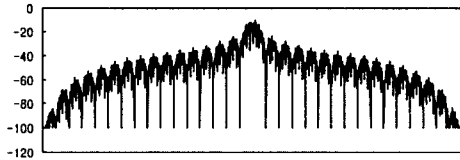
등가기저대역에서 해석된 변조신호의 I,Q 채널의 시간 영역과 FFT(Fast Fourier Transform) 알고리즘을 통한 주파수 영역에서의 전력 스펙트럼을 그림 5에 나타내었다.



(a) QPSK 변조된 신호의 I Channel



(b) QPSK 변조된 신호의 Q Channel



(c) QPSK 변조된 신호의 전력 스펙트럼

그림 5. 시간영역과 주파수영역에서 QPSK 변조된 신호

Fig. 5 QPSK modulated signal in time and frequency domain

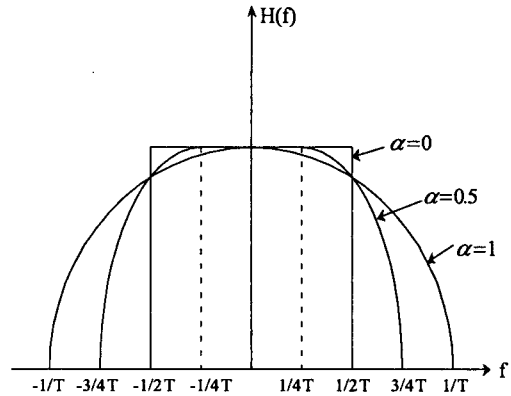
3.2 Baseband Filter

Baseband Filter로는 Nyquist Filter를 사용하였으며, 이는 roll-off factor를 가지는 SRRC(Square Root Raised Cosine) 필터이다. 이 필터의 전달함수는 식(5)와 같다.

$$\begin{aligned}
 H(f) &= 1, & |f| < f_N - f_a \\
 &= \frac{1}{2} \left[1 - \sin \frac{\pi}{2\alpha} \left\{ \frac{f}{f_N} - (1-\alpha) \right\} \right], & f_N - f_a < |f| < f_N + f_a \\
 &= 0, & |f| < f_N + f_a
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

식(5)를 이용한 nyquist filter의 전달 특성을 그

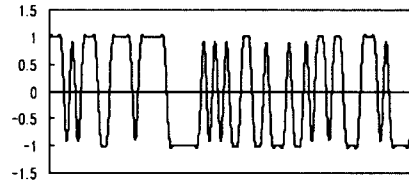
림 6에 나타내었다.



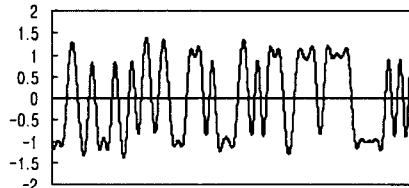
α : roll of factor

그림 6. Nyquist Filter의 전달 특성

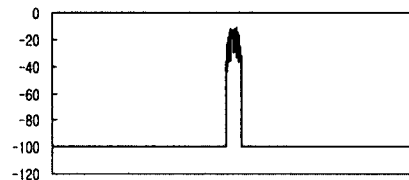
Fig. 6 Transfer characteristic of nyquist filter



(a) I Channel 신호



(b) Q Channel 신호



(c) 전력 스펙트럼

그림 7. $\alpha=0.35$ 일 때 Nyquist Filtering 된 신호

Fig. 7 Nyquist filtering signal when α is 0.35

본 논문에서는 를 현재 위성방송시스템에서 적용되고 있는 0.35로 고정시켰으며 그에 대한 시간 영역(그림 7(a),(b)) 및 주파수 영역(그림 7 (c))의 신호는 그림 7과 같으며 필터링됨을 확인할 수 있다.

3.3 비선형 위성 모델링

위성체 모델은 위성으로 입력된 신호를 다시 Filtering하는 IMUX(Input MUX)와 이를 다시 증폭하는 TWTA와 증폭된 신호의 sidelobe를 filtering하는 OMUX(Output MUX)로 구성되어 있다.

3.3.1 TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)

위성통신에서는 대역제한성과 전력제한성이 부과되어 있으므로 송신단, 수신단의 지구국과 위성 중계기에서는 고전력증폭기를 사용할 수밖에 없다. 비선형적인 특성을 가지는 고전력증폭기의 입력신호 $E_i(t)$ 를 식(6)이라 하면

$$E_i(t) = A \cdot e^{j\omega t + \theta} \quad A: \text{신호의 진폭} \dots\dots\dots (6)$$

비선형소자의 출력신호 $E_o(t)$ 는 식(7)과 같다.

$$E_o(t) = G(A) \cdot e^{j\omega t + \theta + F(A)} \dots\dots\dots (7)$$

$$= G(A)/A \cdot e^{j\omega t + \theta} \cdot E_i(t)$$

여기서 $F(A)$ 와 $G(A)$ 는 출력신호의 진폭과 위상을 결정하는 함수로서 각각 AM/AM, AM/PM 변환을 나타낸다. TWTA의 특성은 그림 8과 같이 Quadrature Model로 근사화할 수 있으며, 동위상 성분인 $Z_p(\cdot)$ 와 직교위상 성분인 $Z_q(\cdot)$ 수식으로 나타내면 식(8)과 같다.

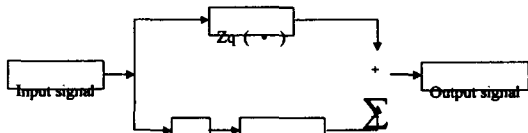
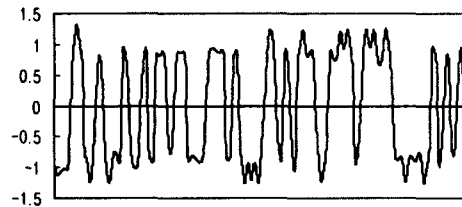


그림 8. TWTA의 Quadrature 모델

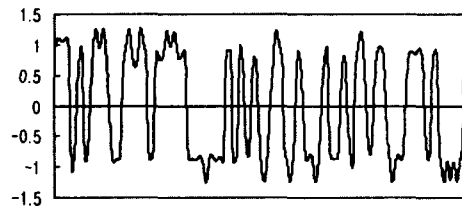
$$Z_p(R) = C_1 \cdot R \cdot e^{(-C_2 \cdot R) \cdot I_0(C_2 \cdot R^2)} \dots\dots\dots (8)$$

$$Z_q(R) = S_1 \cdot R \cdot e^{(-S_2 \cdot R) \cdot I_1(S_2 \cdot R^2)}$$

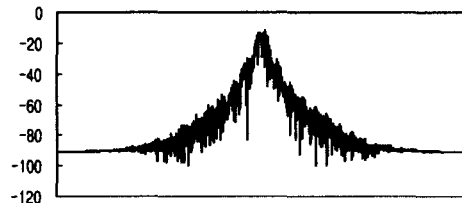
비선형 AM/AM, AM/PM 효과를 얻기위해 본 논문에서는 $C_1=1.61245$, $C_2=0.053557$, $S_1=1.71850$, $S_2=0.242218$ 로 정하고 이러한 모델링 결과로서 TWTA의 동작점에 따른 I, Q Channel과 전력스펙트럼의 비선형증폭 효과를 그림 9, 그림 10에 나타내었다.



(a) TWTA 증폭후의 I Channel



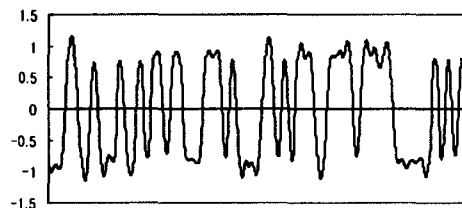
(b) TWTA 증폭후의 Q Channel



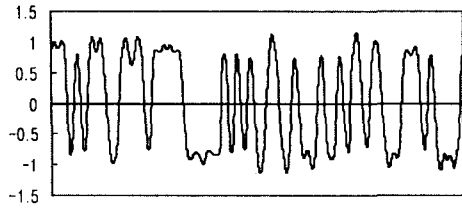
(c) TWTA 증폭후의 전력스펙트럼

그림 9. TWTA 증폭된 신호(Backoff=0dB)

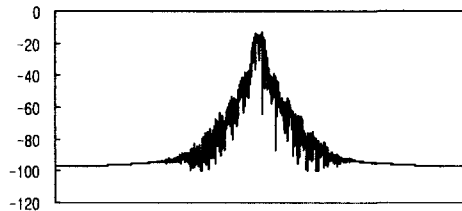
Fig. 9 TWTA amplified signals (backoff = 0 dB)



(a) TWTA 증폭후의 I Channel



(b) TWTA 증폭후의 Q Channel



(c) TWTA 증폭후의 전력스펙트럼

그림 10. TWTA 증폭된 신호(Backoff=5dB)
Fig. 10 TWTA amplified signals (backoff = 5 dB)

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 위한 IMUX/OMUX로는 Butterworth Filter를 사용하였다. Butterworth Filter는 주파수 영역에서 신호를 차단하는 Analog필터로 구현하였으며 IMUX의 차수는 10차로 하였으며 OMUX의 차수는 5차로 하였다.

그림 11은 TWTA에서 들어오는 신호를 주파수

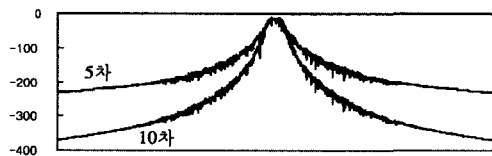


그림 11. IMUX/OMUX 전력스펙트럼 (butterworth Filter 5, 10차)

Fig. 11 Power spectrum of IMUX/OMUX (butterworth filter with 5.10 order)

영역으로 변환하여 나타낸 Butterworth Filter의 전력스펙트럼이다.

3.4 간섭 모델

인접채널간의 간섭(ACI ; Adjacent Channel Interference)은 대역 통과 필터에 의해 감쇠되었던 신호가 지구국 혹은 위성중계기에서 비선형 증폭되어 Sidelobe가 재생하면서 다른 인접채널에 간섭을 주는 현상으로 위성통신채널 성능에 심각한 영향을 주게 된다.

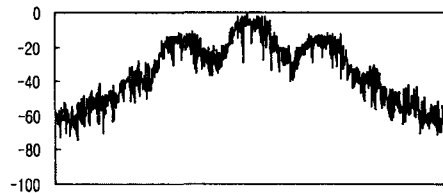


그림 12. 인접채널 간섭량이 -10dBc 일때의 전력스펙트럼

Fig. 12 Power spectrum with adjacent channel interference of 10dBc

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 두가지 간섭량을 계산할 수 있는 간섭을 모델링하여 시스템의 성능저하를 예상할 수 있게 하였다. 그림 12에서는 10dBc인 인접채널간과 희망채널간의 간섭을 전력스펙트럼으로 나타내었다.

IV. 위성통신채널 성능 분석

채널성능평가를 위한 MC기법의 파라미터는 (2,1,7)convolutional code를 punctured시켜 (3,2,7), (4,3,7)punctured code에 수신단에서는 3bit soft decision Viterbi decoding 하여 가우시안 및 비선

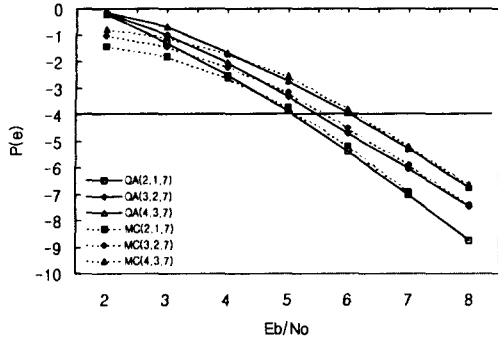


그림 13. 가우시안 잡음 채널일 때 BER 성능 비교
Fig. 13 Comparison of BER performance in gaussian noise channel

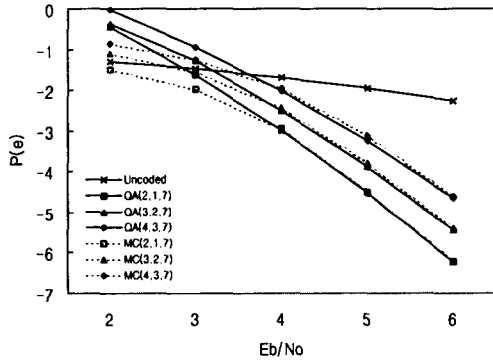


그림 14. TWTA backoff가 10dB일 때 BER 성능 비교
Fig. 14 Comparison of BER performance when TWAT backoff is 10dB

형 위성채널에서 성능분석 하였다. QA기법은 앞에서 설명한바와 같이 uncoded BER은 수신된 신호의 진폭을 error function함수에 대입하여 구하였으며, (2,17), (3,2,7), (4,3,7)convolutional coding의 성능은 표 1과 같이 coding gain을 이용하여 나타내었다. 그림 13은 TWTA없이 가우시안 잡음일때만 QA, MC기법을 이용하여 성능분석 하였다. 실선부분은 QA기법을 이용한 성능 분석이고, 점선은 MC기법을 이용한 성능분석이다. MC기법에서 5×10^6 개의 데이터를 처리하므로 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 근처까

지 일치함을 보인다.

그림 14는 TWTA와 가우시안 잡음이 존재할 때의 성능이며 TWTA backoff가 10dB일때 QA와 MC는 10^{-4} 에서 10^{-6} 부근에서 정확성을 보인다.

그림 15는 ACI=CCI=-10dB일때 QA시뮬레이션을 이용한 성능분석이다. 그림 13과 비교하여 볼때 간섭량이 10dB일때 10^{-5} 에서 약 3.5dB의 차이가 남을 알수 있다

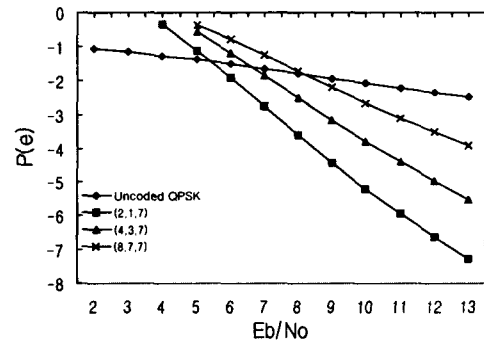


그림 15. TWTA backoff=0, ACI/CCI=-10dB일 때 BER 성능
Fig. 15 BER performance in the condition of TWTA backoff=0 and ACI/CCI=-10dB

V. 결론 및 고찰

위성통신채널을 성능평가하기 위한 시뮬레이션 기법에는 QA기법과 MC기법이 있다. MC기법은 정확성은 있으나, 무수히 많은 비트의 입력으로 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 의 오류율을 산출하기 때문에 수행시간이 많이 소요되므로 정확성을 가지면서 짧은 수행시간을 요하는 시뮬레이션기법 연구가 절실히 요구된다. 따라서 본 논문에서는 64비트로 짧은 수행시간을 갖는 QA 기법을 이용하여 비선형 위성채널에서 위성방송채널의 성능을 MC기법과 비교하였다. 성능평가 비교결과 두 기법 모두 성능이 거의 근접함을 알 수 있다. 따라서 향후 QA 시뮬레이션 기법이 향후 이동통신 및 위성통신채널 성능 평가에 유용하게 적용되리라 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 Assignment," IEEE Trans. Comm., Vol. COM-37, NO.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



정지원(Ji-Won Jung)

1989년 2월 : 성균관대학교 전자공학 학사
 1991년 2월 : 성균관대학교 전자공학 석사
 1995년 2월 : 성균관대학교 전자공학 박사

1991년 1월 ~ 1992년 2월 : LG 정보통신연구소 연구원
 1995년 9월 ~ 1996년 8월 : 한국통신 위성통신연구실 선임연구원
 1997년 3월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 초빙 연구원
 1998년 9월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학과 조교수
 *관심분야 : 위성통신, 이동통신, 변.복조기술, 채널코딩, FPGA 기술 등



조형래(Hyoung-Rae Cho)

1982년 광운대학교 응용전자공학과 졸업(공학사)
 1984년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1993년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1984년 ~ 1990년 6월 (주)LG전자연구소 선임연구원
 1996년 3월 ~ 현재 한국해양대학교 전파공학과 전임강사
 * 주관심분야 : 대역확산통신, 해상이동통신



고성찬(Sung-Chan Ko)

1987년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 학사
 1989년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 석사
 1993년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 박사

1993년 3월 ~ 1996년 2월 : 한국전자통신연구소 위성통신연구단 선임연구원
 1996년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 전자정보산업학부 조교수
 1997년 2월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 초빙 연구원
 *관심분야 : 위성통신, 이동통신, 변.복조기술, 채널코딩, VHDL 등