

효율적인 디지털 위성방송채널 성능 평가 기법

정희원 정창봉*, 김준명*, 김용섭*, 황인관*

Efficient Performance Evaluation Method for Digital Satellite Broadcasting Channels

Chang-Bong Jung*, Jun-Myung Kim*, Yong-Seb Kim*, In-Kwan Hwang* *Regular Members*

요약

본 논문에서는 디지털 통신시스템의 성능 평가를 위한 효율적인 새로운 성능 평가 기법을 제안하고, 디지털 위성방송 채널에서의 수행시간의 획기적인 개선 효과를 제시하고 있다. 제안 알고리즘에서는 기존의 Importance Sampling 기법이 안고 있는 근본적인 문제점을 해결하기 위하여, 센트랄 모우먼트 기법을 도입 사용하였다. 즉, 채널 부복호기를 제외한 내부채널의 수신단에서 잡음이 혼합된 수신신호의 센트랄 모우먼트를 측정하여 수신신호의 확실적인 특성, 즉 누적확률분포함수를 구하고 이를 이용하여 채널 부복호기의 성능을 평가함으로써, 채널 전체의 성능을 단시간에 완료할 수 있다. 또, 디지털 위성방송 채널을 이용한 시뮬레이션 결과를 토대로 시뮬레이션 시간 측면에서 알고리즘의 효율을 보이고 있으며, 부호화기를 포함한 비선형 위성 채널과 M-dimensional memory에서의 Importance Sampling 기법이 갖고 있는 문제점을 제안된 알고리즘을 이용해 해결했음을 보여주고 있다.

ABSTRACT

In this paper, the efficient new performance evaluation method for digital communication channels is suggested and verified its efficiency in terms of simulation run-time for the digital satellite broadcasting satellite TV channel. In order to solve the difficulties of the existing Importance Sampling (IS) Technics, we adopted the discrete probability mass function (PMF) in the new method for estimating the statistical characteristics of received signals from the measured Nth order central moments. From the discrete probability mass function obtained with less number of the received signal samples than the one required in the IS technic, continuous cumulative probability function and its inverse function are exactly estimated by using interpolation and extrapolation technic. And the overall channel is simplified with encoding block, inner channel performance degradation modeling block which is modeled with the Uniform Random Number Generator (URNG) and concatenated Inverse Cumulative Probability Distribution function, and decoding block. With the simplified channel model, the overall channel performance evaluation can be done within a drastically reduced time. The simulation results applied to the nonlinear digital satellite broadcasting TV channel showed the great efficiency of the algorithm in the sense of computer run time, and demonstrated that the existing problems of IS for the nonlinear satellite channels with coding and M-dimensional memory can be completely solved.

I. 서론

주파수 자원의 고갈 현상과 멀티미디어 서비스를

수용하기 위해 새로이 제안되고 있는 통신방식은 신호처리 기술이 복잡되어 주파수 대역을 가변적으로 할당 사용하는 복잡한 첨단 통신방식으로 급

* 충북대학교 전자공학과 위성통신시스템 연구실
논문번호 : 99353-0830, 접수일자 : 1999년 8월 30일

변하고 있다. 따라서 이러한 통신시스템의 실질적인 설계는 해석적인 접근방법이라기보다는 궁극적으로 컴퓨터 시뮬레이션에 의존할 수 밖에 없게 되어, 그 중요성은 날로 증가하고 있다.

이와 같이 해석적인 접근이 불가능하여 일반적으로 사용되고 있는 상용 시뮬레이터는 해석적인 접근방식의 한계를 극복하고 사용자에게 편의 및 융통성을 제공하기 위하여, 기본적으로 Monte Carlo (이하:MC)방식을 채용하고 있다. 그리하여 다양한 기능을 갖는 고가의 상용 시뮬레이터는 컴퓨터 수행시간의 치명적인 한계를 갖게 되어 실질적인 통신시스템의 설계에 활용되지 못하고 link budget을 확인하는 정도에 머무르고 있는 실정에 있다.

'70년대 중반이후 컴퓨터 수행시간의 한계는 21세기 통신기술 발전의 장애로 인식되기 시작하여 현재에 이르기까지, 경쟁력을 갖는 통신 시스템 개발의 관건이 될 수 있는 컴퓨터의 수행시간을 단축하기 위한 연구노력들이 국제적으로 매우 활발하게 진행되어 왔다. 그의 결과로서 IEEE Transaction on Communication등에 수많은 논문들이 발표되고 있으며 1984년,1988년,1993년,1997년도에는 Journal on Selected Areas in Communications에 특집으로 논문들이 발표되었다^[1-8].

그러나 대부분의 연구 결과는 단순한 특정 시스템 모델에 국한되거나 개발 알고리즘이 매우 복잡하여 실질적으로 상용화되기에는 아직도 해결해야 하는 많은 문제점을 안고 있다. 즉 이들 연구의 모든 접근방식은 기본적으로 Importance Sampling 기법(이하:IS)을 채용하고 있어 비선형 증폭기 또는 30차 이상의 메모리를 갖는 실질적인 통신시스템에서는 최적의 biasing parameter를 구하기가 복잡하고, 설령 구한다 하더라도 컴퓨터 수행시간의 단축 효과가 급격히 떨어지는 문제점을 피할 수가 없게 된다. 또한 채널 성능열화에 대한 모델링이 안되기 때문에 부/복호기가 포함된 전체 채널에 대한 IS기법에 의한 정확한 성능평가가 불가능하여 단순화기법을 채용해야 하는 등의 근본적인 문제점들이 해결되지 못하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 새로운 접근방식으로서 수신 신호의 센트랄 모우먼트를(이하:CMT)^[1] 이용한 discrete probability mass function을 도입, 적용하여 기존의 IS기법이 갖는 문제점들의 해결 가능성을 제시하고, 근본적인 모든 요인을 포함하고 있는 디지털 위성 방송 채널에 대해 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 그 효율성을 입증하고자 한다.

II. 센트랄 모우먼트를 이용하는 새로운 채널 성능 평가 방법

그림1.은 기존의 연구들에 의해 해결되지 못했던 근본적 요인, 즉 비선형성과 메모리를 포함하고, 시스템 응답이 $g(\cdot)$ 인 기저대역에서의 BPSK 채널 모델이다. 이 단순 시스템 모델에 새로운 알고리즘이 적용될 수 있으면 보다 복잡한 실질적인 디지털 통신 시스템으로도 적용 가능성을 입증하기 위한 단순 모델이다. 그림에서와 같이 송신 신호 $s(t)$ 와 가우시안 잡음 $n(t)$ 가 결합하여 $x(t)$ 가 수신된다. 따라서,

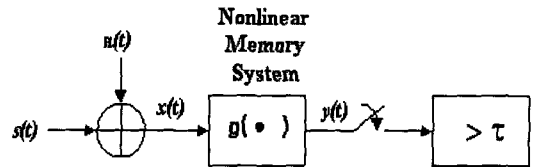


그림 1. 단순 등가 기저대역 통신시스템 구성도

$$s(t) = \sum_i a_i p(t - iT) \tag{1}$$

이때 수신신호 $x(t)$ 는

$$x(t) = \sum_i a_i p(t - iT) + n(t) \tag{2}$$

가 된다. 여기서 a_i 는 같은 확률을 갖는 A 나 $-A$ 이고, $p(t)$ 는 $[0, T]$ 에서만 값을 갖고 나머지 구간에서는 0인 구형파이며, $n(t)$ 는 양쪽의 전력 밀도 함수가 $N_0/2$ 이고 평균이 0인 가우시안 잡음이다^[6].

기존의 연구결과들이 해결하지 못했던 한계를 극복하기 위하여, 본 연구에서는 새로운 접근방식으로 여러 가지 측면에서 매우 유리한 장점을 갖는 이산 PMF를 도입 사용한다.

그림 2.에서와 같이 연속 PDF와 이산 PMF의 센트랄 모우먼트가 충분히 큰 차수 N 에 대하여 식 (3)과 같이 동일한 값을 갖으면, 식 (4)처럼 두 랜덤변수는 확률적으로 동일한 것으로 볼 수 있다. 그리하여 복잡한 시스템 함수에 대한 기대값은 식 (5)와 같이 간단한 합으로 얻어지는 특징을 갖는다.

$$E\{x^n\} = \begin{cases} \int x^n f(x) dx & \text{for } \begin{cases} n=1 \sim N \\ N=2v-1 \end{cases} \end{cases} \tag{3}$$

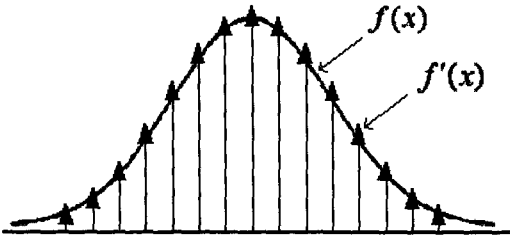


그림 2. 연속 PDF 및 이산 PMF

$$f(x) \cong f'(x) = \sum_{i=1}^N w_i \delta(x - x_i) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} P_e &= E\{H[g(x)]\} \\ &= \int H[g(x)]f(x)dx \\ &\cong \sum_{i=1}^N H[g(x_i)]w_i \end{aligned} \quad (5)$$

단, $H(y)$ 는 D_0 를 오류영역이라 할 때 다음과 같이 정의된다.

$$H(y) = \begin{cases} 1 & y \in D_0 \\ 0 & y \notin D_0 \end{cases} \quad (6)$$

기존의 IS 기법은 기본적으로 작은 오류영역에 대하여 관심을 가지고 그 영역 내에서 오류의 발생을 증가시키고 그 효과를 수신단에서 보상하는 방법이다. 그리하여 최적의 biasing parameter를 구해야 하는 번거로움이 발생하게 되고, 채널 연접 오류에 대한 모델링이 불가능해지며, 또한 M차의 메모리 시스템에서의 수행속도도 급격히 감소하게 되는 문제점을 피할 수가 없게 된다. 잡음을 biasing 시키지 아니하고 수신단에서의 신호와 잡음의 수신 상태를 오류영역을 포함한 전체 영역에서 있는 그대로 관측하여 확실적인 특성을 추출할 수 있다면 경계값 이하에서의 오류는 쉽게 구할 수 있게 된다.

이 개념을 확장하여, 수신신호 $y(t)$ 의 샘플로부터 N차의 센트랄 모우멘트를 측정하고 이를 이용하여 이산 PMF를 구하면^[10] 채널오류율은 간단히 식 (7)과 같이 weighting의 합, 즉 이산 확률의 합으로 쉽게 구할 수 있게 된다.

$$P_e \cong E\{H(y)\} \cong \sum_{i=1}^N w'_i \quad (7)$$

이산 PMF를 이용하여 오류율을 구하기 위하여

기본적으로 충분한 차수의 센트랄 모우멘트를 구해야 하며, 고차의 센트랄 모우멘트를 정확히 예측하기 위해서는 샘플 수의 증가가 요구된다. 즉, 오류 영역의 작은 probability mass를 정확히 추측하기 위해서는 그에 상응하는 만큼 충분히 많은 수의 샘플을 취해야 오차 없는 BER 추측이 가능하다는 논리가 성립하게 되나, 센트랄 모우멘트의 특성을 정확히 분석하면 이러한 문제점은 간단히 해결될 수가 있게 된다.

BER을 정확히 하면서 sample saving 효과를 극대화하기 위한 방법으로서 :

- 이산 PMF의 weighting point수의 증가
- biasing PMF의 도입
- 이산 Cumulative Probability Density (이하:CPD)를 이용한 interpolation 및 extrapolation 기법을 들 수가 있다.

비메모리 시스템의 경우 그림 3.에서와 같이 평균과 분산을 biasing시켜 적은 수의 샘플만으로도 정확하게 채널 오류율을 산출할 수 있게 된다. 그러나, 거의 대부분의 통신시스템은 30차 이상의 메모리를 포함하고 있어 biased PMF를 도입하면 overbiasing 및 underbiasing은 필연적이며, sample saving factor의 감소 현상은 피할 수가 없게 된다.

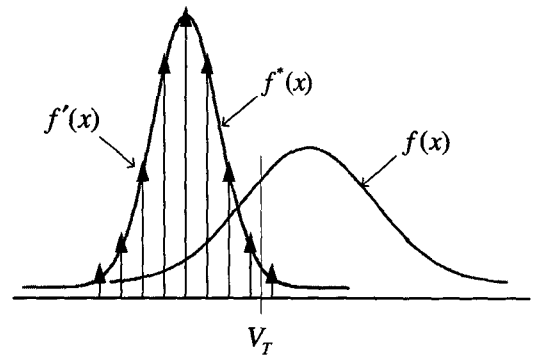


그림 3. Biased discrete PDF

$$P_e \cong E\{H[g(x)]\} = \int H[g(x)]f'(x)dx \quad (8)$$

$$\cong \sum_{i=1}^N g(x_i)w_i \frac{f(x_i)}{f^*(x_i)} \quad (9)$$

$$P_e = E\left\{H[y(x)]\frac{f(x)}{f^*(x)}\right\} \cong \sum_{i=1}^N w'_i W_i \quad (10)$$

특히 비선형 특성을 갖는 위성통신 채널에서 상

항링크의 가우시안 잡음이 하항링크에서 non-gaussian으로 변형되고, 이러한 채널에 의한 연접 오류 요인을 쉽게 모델링하기 위해서는 이산 CPD를 이용한 interpolation 및 extrapolation 기법을 적용하여 연속 CPD를 구함으로써 sampling saving factor가 극대화되도록 한다. 그리하여 적은 차수의 센트랄 모우먼트, 즉 적은 수의 샘플수로서도 충분히 정확한 채널 오류율의 추측이 가능해지며, 이때 산출된 연속 CPD는 채널 오류 요인 특성을 포함하게 된다.

위에서 산출된 연속 CPD특성을 갖는 랜덤변수는 interpolated 혹은 extrapolated 연속 CPD의 역함수와 균일 랜덤변수 발생기를 이용하여 쉽게 발생시킬 수가 있으며, 그렇게 함으로서 쉽게 비선형성에 의한 채널 열화요인의 모델링이 가능하게 된다. 이를 이용해 내부 채널이 배제된 길쌈 부복호기사에 삽입하면 채널의 비선형성은 잡음요인으로 흡수되고, 길쌈 부복호기는 메모리 특성을 갖는 선형시스템으로 남게 된다. 그리하여, 부복호기의 사이에서는 파형 모델링이 불필요하게 되어 신호 비트당 한 샘플로 '0'과 '1'의 state로 모델링하면 약 8배의 추가 속도 개선도 가능해질뿐만 아니라 IS 기법 또한 쉽게 적용할 수 있게 된다.

전체적으로, 채널 부복호기를 채널로부터 분리하여 내부 채널에 대한 sampling saving을 극대화하

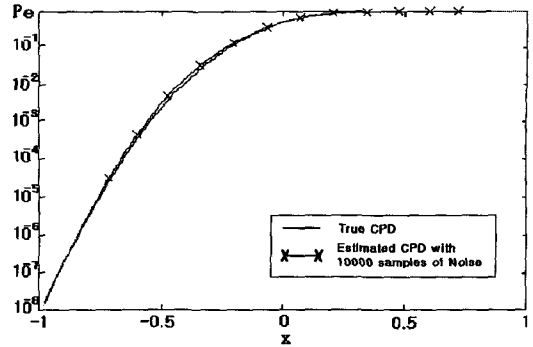


그림 4. 가우시안 잡음의 CPD

고, 채널 부호기에 대한 IS 기법 및 state 모델링으로서 컴퓨터 수행시간을 최소화할 수가 있게 된다.

그림 4.는 10^4 개의 샘플수로서 가우시안 잡음의 센트랄 모우먼트를 측정하고 이를 이용하여 이산 CPD 및 연속 CPD를 구하여 이론치와 비교하고 있으며, 단순 BPSK 시스템 모델의 경우 경제값을 '-1'로 환산하여 해석하면, 10^{-8} 의 BER이 정확히 추측되는 결과를 보여주고 있다. 이는 개략 10^5 배 정도의 수행속도 개선 효과를 예시하고 있으며, 또한 이는 10^4 개의 샘플수로서 10^{-11} 정도의 BER도 정확하게 추측할 수 있는 즉, 10^7 배의 수행속도 개선 가능성을 예시하고 있다.

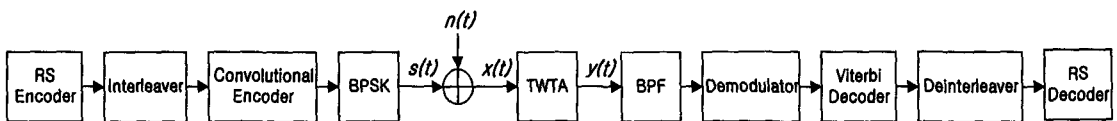


그림 5. 위성방송 채널 모델

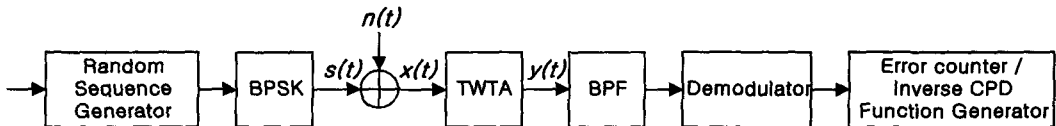


그림 6. 내부 채널 성능 평가 및 연속 CPD 역함수 산출 모델

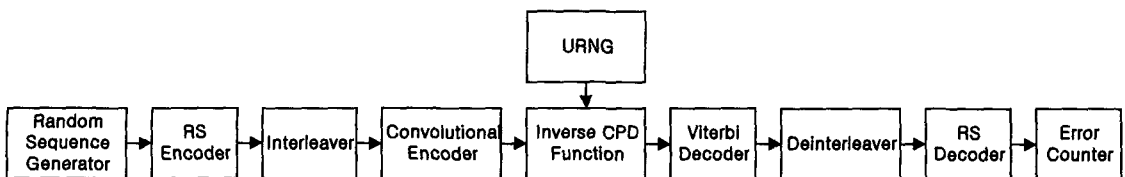


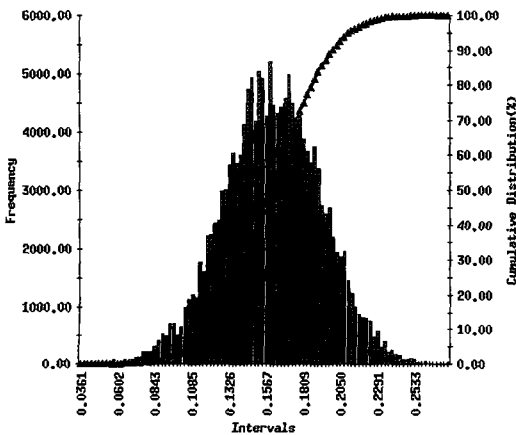
그림 7. 부복호기를 포함한 채널 성능 평가 모델

Ⅲ . 디지털 위성방송 채널의 성능 평가

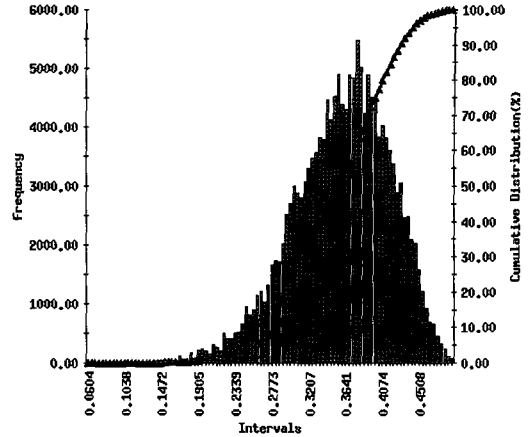
그림 5.는 상향 링크의 가우시안 잡음이 비선형 위성 증폭기를 거친 후 non-gaussian 잡음이 되어 그에 대한 해석이 복잡해지는 문제점을 제안 방식으로 쉽게 극복할 수 있음을 설명하기 위한 모델로서, 제안된 방식을 적용하기 위해서는 그림 6. 및 그림 7.에서와 같이 부복호기를 배제하고 내부채널을 구성하여 다음과 같이 순차적으로 전체 채널의 성능을 평가한다.

- 수신신호의 센트랄 모우멘트를 측정하고,
- 알고리즘으로부터 이산 PDF를 구한후,
- 이산 PDF를 이용하여 이산 CPD를 구한다.^[10]
- 이산 CPD를 이용하여 interpolation 및 extrapolation 기법을 적용하여 연속 CPD를 산출한다. 이때 수신 신호의 오류검출 임계치를 대입하면 내부 채널의 성능이 구해진다.
- 산출된 연속 CPD의 역함수를 산출하여 출력한다.
- 출력된 연속 CPD 역함수를 그림 7. 과 같이 균일 랜덤 변수 발생기를 이용하여 내부 채널의 확률적 특성을 이용^[9], 복호된 신호의 오류율을 판정 및 계수하여 전체 채널의 성능을 평가한다.

그림 7.에서 CPD의 역함수는 연접 부호기의 출력값에 따라 두 가지의 CPD 함수를 가진다. 연접 부호기의 출력값이 1이면 1인 경우의 CPD 역함수를 출력값이 0이면 -1인 경우의 CPD 역함수를 가진다. 따라서, 연접 부호기의 출력값이 CPD 역함수를 통과 노이즈 및 비선형 특성을 지닌 내부 채널의 확률적 특성을 가지고 나온다.



(a) input back-off가 -14dB일 때

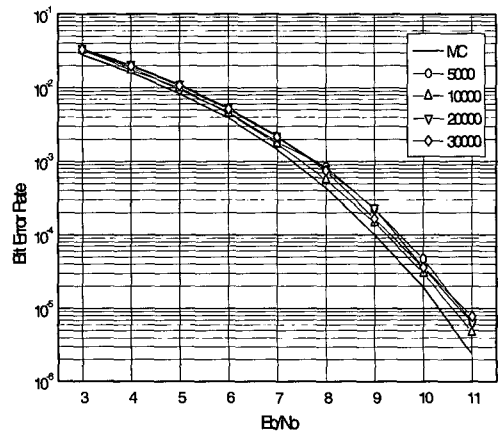


(b) input back-off가 -1dB일 때

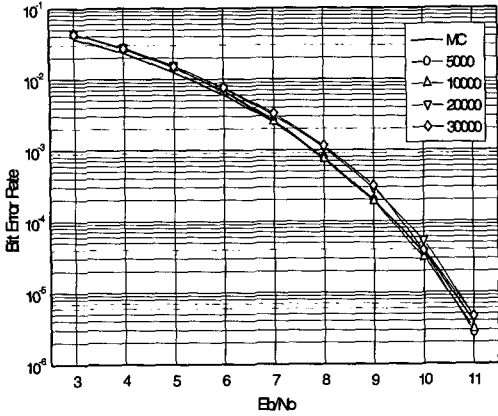
그림 8. 비선형 증폭기 출력 신호의 PDF

그림 8.에서는 Hughes사의 TWTA, TWT275HG가 input back-off -14dB인 선형영역과 -1dB의 비선형 영역에서 동작되는 경우, 그림 6. 의 채널성능 평가 모델에서 수신신호의 가우시안 PDF가 non-gaussian 잡음으로 변형되어진 형태를 CMT를 이용하여 간단히 추측할 수 있음을 보여주고 있으며, 이는 비선형 동작특성을 선형적으로 단순화하여 해석할 경우 발생하는 채널성능의 오차를, 정성적 또는 정량적으로 평가할 수 있는 근거가 될 수 있을 것이다.

그림 9.는 TWTA의 input back-off가 -14dB인 선형 영역과 -1dB인 비선형 영역에서 동작하는 경우 내부채널의 BER 성능과 컴퓨터 수행시간의 개선효과를, 그리고 표 1.은 MC방식과 제안 방식을 사용하여 성능평가를 실시할 때 소요된 실제시간의 측정결과를 각각 예시하고 있다.



(a) TWTA의 input back-off가 -14dB일 때



(b) TWTA의 input back-off가 -1dB일 때

그림 9. 내부채널의 BER 성능

표 1. MC방식과 제안 방식의 수행시간

E_b/N_0 (dB)	Estimation of P_e (10logPe) BO=-14dB		Run Time (min)		Estimation of P_e (10logPe) Bo=-1dB		Run Time (min)	
	MC	CMT	MC	CMT	MC	CMT	MC	CMT
3	-15.5	-14.8	2	10	-14.3	-13.65	2	10
4	-17.9	-17.01	2	10	-16.3	-15.7	2	10
5	-20.8	-19.71	3	10	-19.0	-18.15	3	10
6	-24.1	-22.89	4	10	-22.2	-21.15	4	10
7	-28.4	-26.69	5	10	-26.1	-24.85	5	10
8	-33.6	-31.24	35	10	-31.2	-29.39	28	10
9	-40.0	-37.8	65	10	-37.1	-34.97	45	10
10	-47.1	-44.45	540	10	-44.3	-44.1	360	10
11	-56.19	-51.1	2200	10	-54.16	-53.38	2000	10

MC방식을 적용 성능 평가시 사용된 샘플은 1000/Pe로 충분히 수렴한 값을 측정하였다. E_b/N_0 가 클수록, 즉 low error rate 영역에서 제안방식 효율은 매우 급격히 증가하는 경향을 보이고 있으며, 제안 알고리즘은 이동 위성통신 채널 및 위성 ATM 전송 채널의 경우에 매우 효율적인 설계 도구로 사용될 수 있을 것이다.

그림 10.에서는 기존의 방식이 내부채널의 수행속도를 개선시키고자 하는 경우 부/복호기의 성능평가 시 채널의 성능열화 요인을 반영시키지 못하는 한계를 갖으나, 본 논문에서는 그림 7.의 모델을 사용하여, 그림 5.의 채널모델에 대하여 MC 방식을 적용한 것을 보여주고 있다.

표 2.는 위성방송 시스템 모델과 부/복호기를 포함하는 채널 모델의 성능을 평가했을 때 소요된 실행시간의 측정 결과를 각각 예시하고 있다.

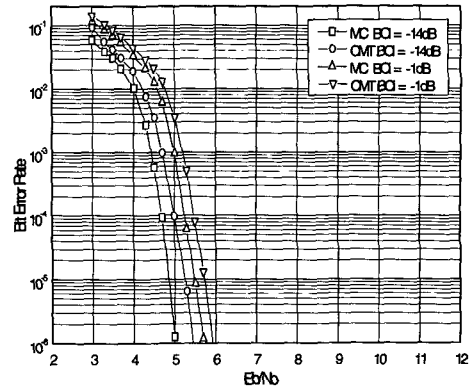


그림 10. 위성방송 시스템 모델과 부/복호기를 포함하는 채널 모델의 성능 평가 그래프

표 2. 위성방송 시스템 모델과 부/복호기를 포함한 채널의 성능 평가와 수행시간

E_b/N_0 (dB)	Estimation of P_e (10logPe) BO=-14dB		Run Time (min)		Estimation of P_e (10logPe) Bo=-1dB		Run Time (min)	
	MC	CMT	MC	CMT	MC	CMT	MC	CMT
3.0	-12.31	-10.8	7	3	-9.35	-8.47	5	3
3.3	-14.1	-12.56	7	3	-10.69	-9.73	5	3
3.5	-15.15	-13.78	7	6	-11.67	-10.7	7	3
3.7	-16.85	-15.17	15	6	-12.75	-11.78	7	3
4.0	-19.91	-17.24	15	6	-14.75	-13.51	7	6
4.3	-25.67	-21.24	32	8	-16.8	-15.37	15	6
4.5	-32.41	-24.56	45	9	-18.99	-16.69	15	6
4.7	-40.34	-30.14	150	45	-22.22	-18.85	28	8
5.0	-58.99	-40.09	740	170	-30.14	-24.51	40	9
5.3	-71.3	-51.9	12300	280	-42.15	-32.92	210	53

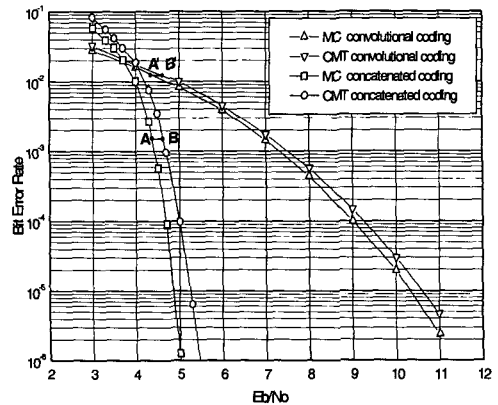


그림 11. 위성방송 시스템 모델과 부/복호기를 포함하는 채널 모델의 성능 평가시 오차 보상

그림 11.은 위성방송 시스템 모델과 부/복호기를 포함하는 채널 모델의 성능을 평가했을 때 오차요인에 대해 설명하고 있고 있다. 이 오차요인은 내부채널의 성능평가시 생긴 매우 적은 오차가 부/복호기를 포함한 채널 성능평가에 그대로 반영되어 나타나는 것으로 내부채널 평가시에 나타난 오차인 A-B 만큼 부/복호기를 포함한 채널 성능평가시 A-B 만큼 보상을 해주면 MC 방식을 적용한 것과 거의 오차없이 정확하게 채널의 성능을 평가할 수 있게 된다.

IV. 결론

본 논문에서는 제안 알고리즘을 설명하기 위한 단순 시스템 모델을 이용하고 있으나 모든 일반적인 시스템으로의 적용 가능성을 제시하고 있다. 제안방식은 컴퓨터 수행시간의 획기적인 단축효과로 인하여 장시간 소용되는 컴퓨터 수행시간 때문에 불가능에 가까웠던 시뮬레이션 프로그램의 디버깅 및 개발을 단시간에 가능케 할 수 있음을 보여주고 있다. 복잡하게 급변하고 있는 통신시스템의 국내 개발시 국제적인 경쟁력제고를 위한 상세 설계에 충분히 활용될 수 있을 것을 기대한다.

부 록 A. URNG 를 이용한 새로운 랜덤 변수의 발생기법

구간 (0,1)에서 균일한 분포를 갖는 랜덤 변수 u 가 주어진 경우, 새로운 랜덤 변수 $x (=g(u))$ 의 확률적 특성이 누적 확률 분포함수 $F_x(x)$ 가 되도록 하기 위한 $g(u)$ 는 $F_x(x)$ 의 역함수, 즉 $x=g(u)=F_x^{-1}(u)$ 가 된다. 임의의 변수 x 가 $x=F_x^{-1}(u)$ 를 만족한다면, $F_x(x)$ 의 단조증가 특성으로부터 $\{x \leq x\}$ 는 $\{u \leq u\}$ 와 대응된다고 할 수 있다. 즉,

$$F_x(x) = P\{x \leq x\} = P\{u \leq u\} = u \quad (A.1)$$

따라서 $F_x(x)=u$ 를 만족시키는 새로운 랜덤 변수 x 는 URNG 와 역함수 블록 $F_x^{-1}(u)$ 를 그림 A-1. 과 같이 직렬로 연결하여 간단히 발생시킬 수 있게 된다.

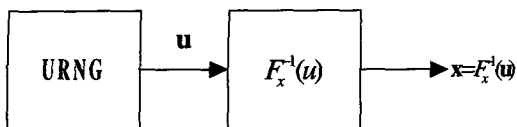


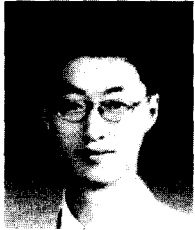
그림 A-1. URNG와 역함수 $F_x^{-1}(u)$ 의 블록

참 고 문 헌

- [1] P. J. Smith, M. Shafi, and H. Gao, "Quick Simulation: A Review of Importance Sampling Techniques in Communication Systems", "On Importance Sampling in Digital Communications : Part I: Fundamentals : " *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 4, pp. 597-613, May 1997.
- [2] Narayan B. Mandayam, and Behnaam Aazhang, "Gradient estimation for stochastic optimization of optical CDMA systems", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 4, pp. 735-750, May 1997.
- [3] J. C. Chen, D. Lu, J. S. Sadowsky, and K. Yao, "On Importance Sampling in Digital Communications : Part I : Fundamentals", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 11, No. 3, pp. 289-299, September 1993.
- [4] J. C. Chen and J. S. Sadowsky, "On Importance Sampling in Digital Communications : Part 2 : Trellis-coded Modulation", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 11, No. 3, pp. 300-308, September 1993.
- [5] Wael A. Al-Qaq, and J. Keith Townsend, "A stochastic importance sampling methodology for the efficient simulation of adaptive systems in frequency nonselective Rayleigh fading channels", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 4, pp. 614-625, May 1997.
- [6] Dingqing Lu and Kung Yao, "Improved Importance Sampling Technique for Efficient Simulation of Digital Communication Systems", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.6, No.1, pp. 67-75, January 1988.
- [7] Michel C. Jeruchim, "Techniques for Estimating the Bit Error Rate in the Simulation of Digital Communication Systems", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. SAC-2, No.1, pp. 153-170, January 1984.

- [8] Nevio Benvenuto, Antonio Salloum, and Luciano Tomba, "Performance of digital radio links based on semianalytic method", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 4, pp. 667-676, May 1997.
- [9] Athanasios Papoulis, Probability Random Variables, and Stochastic Processes, 3rd ed. *Mc-Graw-Hill*, pp. 68-69, 101-102, 1991.
- [10] In-kwan Hwang and Ludwik Kurz, "Digital data Transmission over Nonlinear Satellite Channel", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 41, No. 11, pp. 1694-1702, Nov. 1993.
- [11] I.-K. Hwang, J.-M. Kim, C.-B. Jung, "Efficient Performance Evaluation Technique for Digital Satellite Communication Channels", *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol. 5, pp. 2740-2743, Sept. 1999.

정 창 봉(Chang-Bong Jung) 정회원



1998년 2월: 충북대학교
전파공학과 졸업
2000년 2월: 충북대학교
전파공학과 석사
2000년 3월~현재: (주) 다음
통신기술연구원

<주관심 분야> 이동통신, 위성통신, IMT-2000

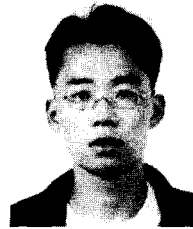
김 준 명(Jun-Myung Kim) 정회원



1998년 2월: 충북대학교
전파공학과 졸업
2000년 2월: 충북대학교
전파공학과 석사
2000년 3월~현재: (주) 디지털
연구원

<주관심 분야> 위성통신시스템, 이동통신시스템설계, IMT-2000

김 옹 섭(Yong-Seb Kim) 정회원



1998년 2월: 대전산업대학교
정보통신공학과 졸업
2000년 2월: 충북대학교
전파공학과 대학원 수료
2000년 3월~현재: (주) 다음
통신기술연구원

<주관심 분야> 이동통신시스템, IMT-2000, MC-CDMA

황 인 관(In-Kwan Hwang) 정회원

1979년 2월: 아주대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1987년 2월: Polytechnic University (공학석사)
1990년 2월: Polytechnic University (공학박사)
(위성통신 이론 및 위성통신 시스템)
1982년~1997년: 한국 전자통신연구원 위성망 연구
실장, 책임연구원

1997년~현재: 충북대학교 전파공학과 조교수
<주관심 분야> 위성통신 시스템 설계, 이동통신 시스템 설계, 신경망을 이용한 Multiuser Detection IMT-2000 Space Segment