

페이딩 환경에서 IS-95 순방향 트래픽 채널의 효율적인 성능평가 기법

정희원 이상규*, 김홍열*, 황인관*

Efficient Performance Evaluation Method for IS-95 forward link traffic channels in Rayleigh Fading Environment

Sang-Kyu Lee*, Hong-Youl Kim*, and In-Kwan Hwang* *Regular Members*

요약

본 논문에서는 백색잡음과 페이딩 환경하의 통신시스템의 성능평가지 백색잡음에 대해서만 모멘트 기법을 이용 조건부 오류확률을 구하고 페이딩에 대해서는 해석적 접근방식을 취함으로써 전체적인 컴퓨터 수행시간을 획기적으로 개선시킬 수 있는 기법을 제안하고, 제안된 기법의 효율성을 컴퓨터 시뮬레이션 수행시간 비교를 통해 입증하였다. 현재 널리 사용되는 Monte Carlo 시뮬레이션 기법은 IS-95 순방향 채널과 같이 많은 샘플수를 필요로 하는 시스템에서 상당한 시뮬레이션 수행시간을 요구하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 제안된 방식에서는 백색잡음하의 수신신호의 N차 모멘트를 측정하여 이산확률밀도함수를 구함으로써 수신신호의 확률적 특성을 모사하고, 이로부터 내삽법과 외삽법을 적용하여 조건부 누적확률분포함수를 산출함으로써 채널오류율을 구하게 된다. 그리고 페이딩 성능평가지 조건부 채널오류율을 이용하여 산출된 조건부 누적확률분포함수를 환경조건에 맞춘 후에 페이딩의 확률밀도함수와 수치 해석적으로 간단히 적분하여 성능평가를 함으로써 수행시간의 줄임과 동시에 정확한 채널오류율을 구하게 된다.

ABSTRACT

Furthermore, when performance for Rayleigh fading channel is evaluated, conditional cumulative probability distribution can be estimated for the fixed value of Rayleigh fading. So this conditional cumulative probability distribution is integrated with probability density function of Rayleigh fading. Therefore, the channel performance evaluation time can be drastically reduced. In this paper, in order to evaluate the performance of communication systems in white gaussian noise and Rayleigh fading environment, we estimate the conditional cumulative probability distribution using central moment method, for white gaussian noise, and for fading simulation we suggest the epochal proposal to improve computer run-time through a numerical approach method. Its efficiency is verified in terms of computer run time. Monte Carlo (MC) simulation is the most popular simulation technique, but MC is not efficient for communication systems such as IS-95 system, because the large resulting bandwidth also requires a large number of samples that leads to longer simulation run time. With the discrete probability mass function obtained from the less number of received signal samples than those required in MC, continuous cumulative probability distribution functions can be accurately estimated by using interpolation and extrapolation techniques.

* 충북대학교 전자공학과 위성통신시스템 연구실(ikhwang@trut.chungbuk.ac.kr)
논문번호: K01072-0216, 접수일자: 2001년 2월 16일

I. 서론

IS-95 시스템의 성능평가에서 확산과 이동 통신 환경에서 겪게 되는 페이딩 등의 여러 요인들은 비트 오류율을 통한 IS-95 시스템의 성능평가를 복잡하게 한다. 이러한 이유로 통신시스템의 실질적인 설계는 해석적인 접근방법이라기보다는 궁극적으로 컴퓨터 시뮬레이션에 의존할 수밖에 없게 되며, 시뮬레이션의 중요성은 제 4 세대 시스템의 개발을 목전에 두고 있는 상황에서 날로 증가하고 있다.

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

컴퓨터 수행시간의 문제는 특히 광대역 시스템에서 보다 심각해지는데, 대역폭의 증가에 따라 비례적으로 시스템의 샘플링 횟수가 증가하게 되고, 이 경우 MC 방식은 신뢰성 있는 결과치를 얻기 위한 컴퓨터 수행시간의 한계 때문에 시뮬레이션이 곤란해지고 이를 극복하기 위한 노력인 IS 방식도 비선형성, 채널 메모리 특성, 페이딩 및 다중 경로 환경 하에서는 최적의 파라미터 값을 찾는 데 어려움을 겪고, 설사 최적의 파라미터 값을 찾는다 하더라도 여전히 컴퓨터 수행시간의 한계에 부딪치게 된다.

'70년대 중반이후 컴퓨터 수행시간의 한계는 21세기 통신 기술 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. 그 결과로 IEEE Transaction on Communication 등에 주로 IS기법에 기초한 수많은 논문들이 발표되고 있으며 1984년, 1988년, 1993년, 1997년도에도 Journal on Selected Areas in Communications에 특집으로 논문들이 발표되었지만^{[3]-[6]}, 근본적인 문제점들은 해결되지 않았다. 그러나 1998년도에 들어 컴퓨터 수행시간의 한계는 CMT (Central Moment Technique)라는 새로운 접근방식의 시뮬레이션에 의해 극복하였다. 그리고 제

안방식을 이용하여 QPSK 위성채널^[1]과 CDMA 통신 시스템에 성능평가를 함으로써 제안방식의 효율성을 입증하였다.

본 논문에서는 새로운 접근방식으로서 수신 신호의 센트랄 모멘트를 이용한 이산 확률 밀집함수를 도입, 적용하여 기존의 IS기법이 갖는 문제점들의 해결 가능성을 제시하고, 페이딩 환경하의 통신시스템의 성능평가시 백색잡음에 대해서만 모멘트 기법을 이용 조건부 오류확률을 구하고 페이딩에 대해서는 해석적 접근방식을 취함으로써 전체적인 컴퓨터 수행시간을 획기적으로 개선시킬 수 있는 기법의 효율성을 기존의 방식과의 비교를 통해 입증하고자 한다.

II. 센트랄 모멘트를 이용하는 새로운 채널 성능평가 방법

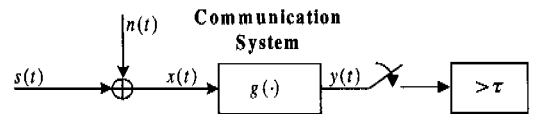


그림 1. 기저대역 단순 모델

그림 1은 기존의 연구들에 의해 해결되지 못했던 근본적인 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 가능함을 입증하기 위한 단순 모델이다.

그림 1에서와 같이 송신 신호 $s(t)$ 와 가우시안 잡음 $n(t)$ 이 결합하여 $x(t)$ 가 수신된다. 따라서,

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

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, $n(t)$ 은 양쪽의 전력 밀도 함수가 $N_0/2$ 이고 평균이 0인 가우시안 잡음이다.

기존의 연구결과들이 해결하지 못했던 한계를 극복하기 위하여, 본 연구에서는 새로운 접근방식으로

서 여러 가지측면에서 매우 유리한 장점을 갖는 이산 PMF(probability Mass Function)를 도입 사용한다.

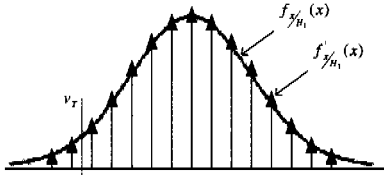


그림 2. 연속 PDF 및 이산 PMF

$P(H_0)$ 와 $P(H_1)$ 를 각각 0.5로 가정하고 편의상 $f_{d/H_1}(x)$ 을 $f(x)$ 로 표기하면, 그림 2에서와 같이 연속 PDF(Probability Density Function)와 이산 PMF의 센트랄 모멘트가 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 특성을 갖는다. 여기서 $f(x)$ 는 잡음의 연속확률밀도함수이고, $f(x)$ 는 이산밀집함수이며, N 은 모멘트의 차수, v 는 이산밀집함수의 포인트의 개수, w_i 은 1 번째 이산밀집함수 포인트의 가중치, v_i 는 오류 임계치를 나타낸다.

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

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

$$p_e = E\{H[g(x)]\} = \int H[g(x)]f(x) dx \cong \sum_{i=1}^v H[g(x_i)]w_i \quad (5)$$

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

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

기존의 IS 기법은 기본적으로 작은 오류영역에 대하여 관심을 가지고 그 영역 내에서 오류의 발생을 증가시키고 그 효과를 수신단에서 보상하는 방

법이다. 그리하여 최적의 biasing parameter를 구해야 하는 번거로움이 발생하게 되고, 채널 연접오류에 대한 모델링이 불가능해지며, 또한 M차의 메모리 시스템에서의 수행속도도 급격히 감소하게 되는 문제점을 피할 수가 없게 된다. 잡음을 biasing시키지 아니하고 수신단에서의 신호와 잡음의 수신 상태를 오류영역을 포함한 전체 영역에서 있는 그대로 관측하여 확률적인 특성을 추출할 수 있다면 경제값 이하에서의 오류는 쉽게 구할 수 있게 된다.

이 개념을 확장하여, 수신신호의 샘플로부터 식 (7)을 이용하여 n차의 센트랄 모멘트를 측정하고 이를 이용하여 CMT 알고리즘^[8]에 적용하여 이산 PMF를 구하면, 채널 오류율은 간단히 식(8)과 같이 수신신호에 대한 weighting의 합, 즉 discrete probability mass의 합으로 쉽게 구할 수 있게 된다.

$$E\{(y - m_y)^n\} \cong \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (y_i - m_y)^n \quad (7)$$

$$p_e = E\{H(y)\} \cong \sum_{i=1}^v w_i' \quad (8)$$

이산 PMF를 이용하여 오류율을 구하기 위해서는 기본적으로 충분한 차수의 센트랄 모멘트를 구해야 하며, 고차의 센트랄 모멘트를 정확히 예측하기 위해서는 샘플수의 증가가 요구된다. 즉, 오류영역의 작은 probability mass를 정확히 추측하기 위해서는 그에 상응하는 만큼 충분히 많은 수의 샘플을 취해야 오차 없는 BER 추측이 가능하다는 논리가 성립하게 되며, 이는 제안하고 있는 접근방식이 sample saving factor의 개선 측면에서 모순이 된다는 논리가 되기도 할 것이다. 그러나, 센트랄 모멘트의 특성을 정확히 분석하면 이러한 문제점은 간단히 해결될 수가 있게 된다.

BER을 정확히 하면서 sample saving 효과를 극대화하기 위한 방법으로

- 이산 PMF의 weighting point 수의 증가
- 수신신호의 좌표 변환
- 이산 CPD를 이용한 내삽법 및 외삽법의 적용방법을 들 수가 있다.

특히 비선형 특성을 갖는 위성통신 채널에서 상호링크의 가우시안 잡음이 하향 링크에서 non-gaussian으로 변형되고, 이러한 채널에 의한 연접오류 요인을 쉽게 모델링하기 위해서는 이산 CPD(Cumulative Probability Density)를 이용한 내삽법

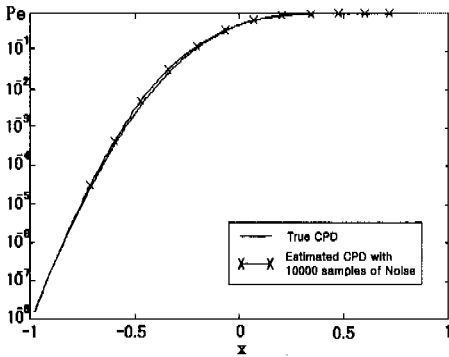


그림 3. 가우시안 잡음의 CPD

및 외삽법을 적용하여 연속 CPD를 구함으로써 sampling saving factor가 극대화되도록 한다. 그리하여 적은 차수의 센트랄 모멘트, 즉 적은 수의 샘플수로서도 충분히 정확한 채널 오류율의 추측이 가능해지며, 이때 산출된 연속 CPD는 채널 오류 요인 특성을 포함하게 된다.

그림 3은 10,000개의 샘플로서 가우시안 잡음의 센트랄 모멘트를 측정하고 이를 이용하여 이산 CPD 및 연속 CPD를 구하여 이론치와 비교하고 있으며, 단순 BPSK 시스템 모델의 경우 경계값을 '-1'로 환산하여 해석하면, 10⁻⁸의 BER이 정확히 추측되는 결과를 보여주고 있다. 이는 개략 10⁵배 정도의 수행속도 개선효과를 예시하고 있으며, 또한 이는 10⁴개의 샘플수로서 10⁻¹¹정도의 BER도 정확하게 추측할 수 있는 즉, 10⁷배의 수행속도 개선 가능성을 예시하고 있다.

III. 수신 신호의 좌표변환 기법

BPSK 시스템에서 H₀과 H₁의 신호가 전송됐을 때 신호의 크기를 각각 A, -A라고 하고, 오류가 발생될 영역을 R₁, R₀이라고 하여 이들 영역으로부터 모멘트를 측정함으로써 확률적 분포, 즉 이산 PMF를 구한다. H₀와 H₁이 전송되었을 경우의 확률밀도함수가 아래와 같이 나타내어진다.

$$f(r|H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(r-A)^2}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

$$f(r|H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(r+A)^2}{2\sigma^2}} \quad (10)$$

BPSK시스템의 전체 오류율 P_e는 각 심볼이 전

송될 조건부 확률의 평균으로 구하게 된다.

$$P_e = P(H_0, sent) \int_{R_1} f(r|H_0) dr + P(H_1, sent) \int_{R_0} f(r|H_1) dr$$

$$= \frac{1}{2} (P_{e|H_0} + P_{e|H_1}) \quad (11)$$

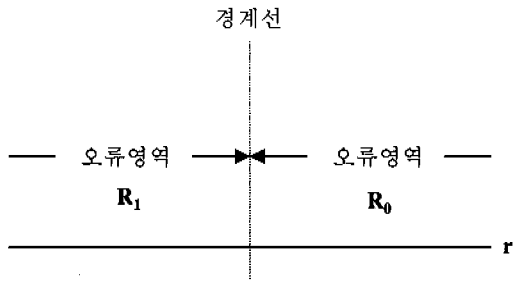


그림 4. BPSK 심볼영역 구분

이때 P_{e|H₀}는 BPSK 심볼 H₀이 전송되었을 경우 R₁ 내에 존재할 확률을 P_{e|H₁}은 심볼 H₁이 전송되었을 경우 R₀ 내에 존재할 확률을 나타낸다. 즉, 오류가 발생될 확률을 나타내며 연속적인 PDF의 오류영역에 대한 적분을 통해 오류율을 계산한다. 오류율은 그림 5에서 빗금 친 부분의 넓이와 같다.

$$P_e = \frac{1}{2} \left(\int_{R_1} f(r|H_0) dr + \int_{R_0} f(r|H_1) dr \right) \quad (12)$$

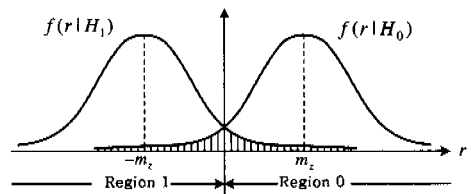


그림 5. BPSK 확률밀도 함수

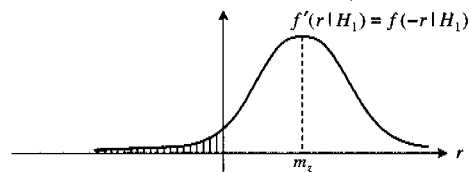


그림 6. PDF의 대칭이동

그림 6과 같이 심볼 H₁이 전송된 경우 수신 신호

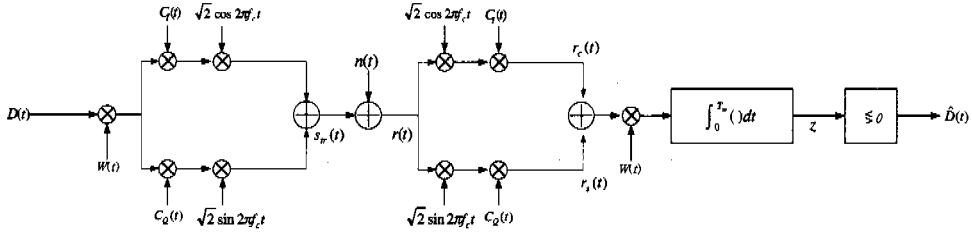


그림 7. IS-95 순방향 트래픽 채널 모델

에 대한 PDF는 수직 축에 대한 대칭 이동을 통해 동일한 오류영역 R_0 로 좌표 변환이 가능하다. 좌표 변환 신호에 대한 연속 PDF를 $f'(r/H_1)$ 이라고 하면 전체 오류율은 식 (13)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_e &= \frac{1}{2} \left(\int_{R_1} f(r|H_0)dr + \int_{R_1} f'(r|H_1)dr \right) \\
 &= \frac{1}{2} \left(\int_{R_1} [f(r|H_0) + f'(r|H_1)]dr \right) \\
 &= \int_{R_1} f(r)dr \tag{13}
 \end{aligned}$$

이때 $f(r)$ 은 식(14)와 같이 정의한다.

$$f(r) = \frac{1}{2} (f(r|H_0) + f'(r|H_1)) \tag{14}$$

전체 PDF $f(r)$ 로부터 모멘트를 구하면 식(15)과 같다.

$$m_n = \frac{1}{(M_0 + M_1)} \left[\sum_{i=1}^{M_0} (r_i|H_0)^n + \sum_{i=1}^{M_1} (r_i|H_1)^n \right] \tag{15}$$

M_0 와 M_1 은 수신된 신호의 -1과 +1에 대한 샘플 수를 나타낸다. 그리하여 식(15)와 같이 분리된 두 신호에 대한 하나의 모멘트를 구하게 된다.

식 (15)에 의해서 수신된 신호로부터 모멘트를 측정하는데 심볼 H_1 의 신호는 수신 신호에 -1을 곱해서 수직 축에 대해 대칭이동 시키고, 모든 신호의 영역을 하나로 묶어서 모멘트를 측정한다. 이 모멘트로부터 이산 PMF를 구하고 내삽법과 외삽법을 이용하여 에러 확률을 예측한다.

IV. IS-95 시스템의 순방향 채널 모델

그림 7은 IS-95 시스템의 순방향 트래픽 채널의 송수신단 모델을 보여준다. 데이터 심볼 $D(t)$ 는 64 개의 직교 코드로 이루어진 Walsh 함수에 의해 변조되고 I, Q채널로 나누어 각각 짧은 PN코드로 확산된 후 송신된다. 송신 신호는 기저대역 신호이며 식(16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = I(t) + jQ(t) \tag{16}$$

여기서, $I(t)$ 와 $Q(t)$ 는 식(17)과 (18)로 정의한다.

$$I(t) = AC_I(t)D(t)W(t) \tag{17}$$

$$Q(t) = AC_Q(t)D(t)W(t) \tag{18}$$

채널을 거쳐 수신단에서 수신된 신호는 식(19)로 표현될 수 있고 수신된 신호는 다시 나뉘어져 PN코드를 곱하게 되면 식 (20)과 (21)로 나타낼 수 있다.

$$r(t) = s(t) + n(t), 0 \leq t \leq T_w \tag{19}$$

$$r_c(t) = AD(t)W(t) + n_1(t) \tag{20}$$

$$r_s(t) = AD(t)W(t) + n_2(t) \tag{21}$$

여기서 $n_1(t) \cong n(t)C_I(t)$ 와 $n_2(t) \cong n(t)C_Q(t)$ 로 정의된다. 이 신호가 Walsh 코드와 곱해지고 정합 여파기를 통과하면 식 (22)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 z &= \int_0^{T_w} [r_c(t) + r_s(t)] \times W(t)dt \\
 &= AD(t)T_w + \eta \tag{22}
 \end{aligned}$$

정합여파기를 통과한 신호는 검출기를 거쳐 원래의 신호로 복원된다. 식(22)에서 $D(t)$ 는 원래의 신호이고 η 는 잡음의 형태를 나타낸다. η 를 자세히 쓰면 식 (23)과 같다.

$$\eta \equiv \int_0^{T_c} [n_r(t) + n_o(t)]W(t)dt$$

$$= \int_0^{T_c} [n_c(t)C_r(t) + n_s(t)C_o(t)]W(t)dt \quad (23)$$

검출기에서 신호를 결정하는 변수는 원래의 데이터에 더해진 잡음의 크기이다. 여기서 본 논문에서 제안한 방식을 적용하기 위해서는 검출되기 전의 신호를 좌표변환하여 센트랄 모멘트를 측정하고, 제안방식을 사용하여 이산 PDF를 구한 다음, 이산 PDF로부터 얻어진 조건부 누적확률밀도함수 CPD(z)(Cumulative Probability Density)로 식(25)와 같이 시스템의 조건부 CPD(-m_z)를 측정하여 오류율을 구하게 된다.

V. 페이딩 환경하의 채널 성능평가

페이딩환경의 IS-95 시스템을 성능평가시 기존의 시뮬레이션 방식은 시스템에 페이딩채널을 삽입하여 시스템을 복잡하게 만들게되고 컴퓨터 수행시간을 증가시키게 된다. 본논문에서는 기존의 복잡한 컴퓨터 시뮬레이션과는 달리 새로운 접근방법으로 오류율을 예측하여 전체적인 컴퓨터 수행시간을 획기적으로 개선시키는데 목적이 있다.

페이딩 환경이 아닌 백색 잡음만 있는 IS-95 시스템에서 수신신호의 N차 센트랄 모멘트를 측정하여 이산확률밀도함수로부터 조건부오류확률을 CPD로 구할 때 페이딩이 고려되어 조건부 오류확률을 CPD(-α m_z)로 표시한다. 이산적인 CPD(-α m_z)를 interpolation 및 extrapolation 기법을 적용하여 그림 8의 연속 CPD(-α m_z)를 구함으로써 sampling saving factor가 극대화되도록 하고, 산출된 연속 CPD(-α m_z)를 식(24)의 Rayleigh PDF를 사용하여 식(25)과 같은 오류율을 예측해낸다.

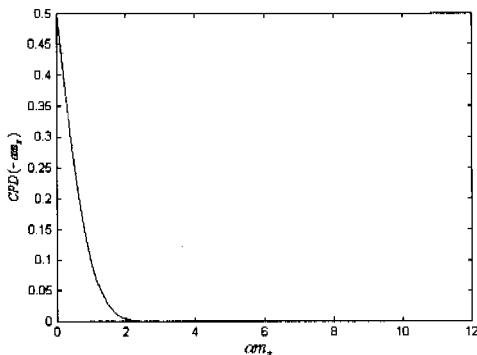


그림 8. IS-95 순방향 채널의 CPD(-α m_z)

$$f(\alpha) = \frac{2\alpha}{b} e^{-\alpha^2/b}, \quad \alpha \geq 0 \quad (24)$$

$$P_s = \sum_{i=0}^{\infty} CPD(-\alpha_i m_z) f(\alpha_i) \Delta \alpha_i \quad (25)$$

그림 9는 CPD(-α m_z)와 Rayleigh PDF를 사용하여 오류율을 구한 그림이다.

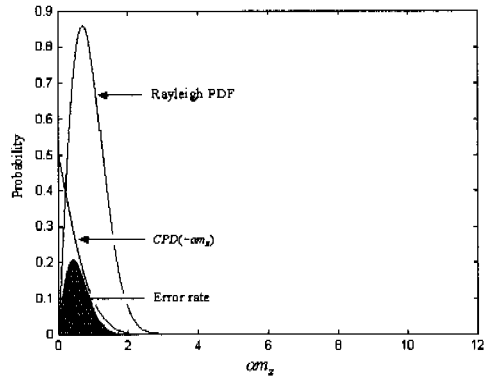


그림 9. IS-95 순방향 트래픽 채널 오류율

VI. 시뮬레이션 결과

그림 10은 백색잡음과 페이딩 환경하의 IS-95 시스템에 조건부확률을 이용한 CMT와 MC를 이용하여 시뮬레이션한 오류율을 보여주고 있다.

표 1과 2는 SPW를 이용하여 SUN W/S ultra 20에서 실시한 MC방식과 CMT방식에 의해 오류율과 시뮬레이션에 필요한 샘플의 수와 컴퓨터 수행시간을 보여주고 있다. 이 때 표 1에서의 백색잡음만 있는 시스템의 오류율은 MC의 경우 100/P_e개, 표 2에서의 페이딩 환경하의 시스템의 오류율은 MC의 경우 1000/P_e개의 샘플로부터 얻어진 값이고, 좌표변환 기법을 사용한 CMT의 경우와 2개의 분리된 영역으로 CMT에 적용한 방법에는 효율성을 최대한으로 얻을 수 있는 샘플로 성능평가를 하였다. 그림 10과 같이 2개의 분리된 영역을 CMT로 성능평가를 했을 때 E_b/N₀가 35dB와 40dB에서 수렴이 안되던 부분이 좌표변환 기법을 이용 CMT로 성능평가했을 때 E_b/N₀의 모든 영역에서 수렴이 되었다.

시뮬레이션 결과는 제안된 CMT방식을 사용함으로써 MC방식과 거의 비슷한 오류율을 보이면서도 상당한 시간 절약 효과를 보여주고 있다. 제안된 방

식은 E_b/N_0 가 큰 영역, 낮은 오류 영역에서 더욱 효율적인 성능을 보여준다. E_b/N_0 가 40 dB인 경우 MC는 8340분 대략 6일의 시뮬레이션 시간이 소요 되는 반면 CMT는 약 4분의 시간이 소요되었다.

VII. 결론

본 논문에서는 IS-95 시스템의 순방향 트래픽 채널에 MC 방식과 제안된 알고리즘(CMT)을 적용하여 성능을 비교 평가하여 정확성을 확인함으로써 일반적인 채널로의 적용 가능성을 제시하였다. 표 1, 2에서처럼 제안 방식은 적은 오류율 부분에서 컴퓨터 수행시간의 획기적인 단축 효과로 장시간 소요되는 컴퓨터 수행시간 때문에 불가능에 가까웠던 시뮬레이션 프로그램의 디버깅 및 개발을 단시간에 가능케 할 수 있음을 보여주고 있다. 또한 BPSK 변조에 따른 2개의 심볼을 하나의 영역으로 좌표변환하여 하나의 영역에서 모멘트를 구하는 방법은 2개의 분리된 영역으로부터 계산되는 오류율보다 월등한 신뢰성을 확보할 수 있었으며 이는 CMT 기법 자체보다 추가적인 시간절약 효과를 가져온다. 특히 새로운 페이딩 시뮬레이션방법은 기존의 시뮬레이션방식보다 상당한 시간 절약 효과를 보여주고 있다. 본 논문에서는 수렴구간만을 확인하여 단순한 결과만을 제시하였으나 제안방식에 대한 효율성을 입증하기에 충분한 것으로 사료된다. 시간 절약 효과에 대하여 보다 정확히 평가하기 위해서는 MC 방식에 의한 신뢰구간과 CMT 방식에 의한 신뢰구간에 대한 분석이 전제되어야하나 이는 추후보다 상세히 분석할 예정이다.

본 논문은 복잡하게 변하고 있는 통신 시스템의 상세 설계 시 충분한 활용 가능성을 제시한데 의의가 크고 앞으로의 복잡한 차세대 통신 시스템의 상세 설계를 가능하게 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] J.M. Kim, C.B. Jung, H.W. Park, and I.K. Hwang, "Efficient Performance Evaluation Technique for Digital Satellite Communication Channels", IEEE VTC 50th Vehicular Technology Conference, vol 5, pp. 2740-2743, September 1999.
- [2] Jhong Dam Lee, Leonard E. Miller, *CDMA systems and Engineering handbook*, Artech House Publishers, 1998
- [3] P. J. Smith, M. Shafi, and H. Gao, "Quick Simulation: A Review of Importance Sampling Techniques in Communication Systems", "On

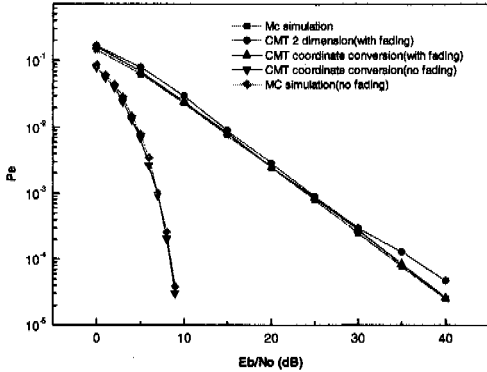


그림 10. IS-95 순방향 채널의 오류율

표 1. MC와 CMT 수행시간 비교(no fading)

E_b/N_0 (dB)	오류율		수행시간		sample 수	
	MC	CMT	MC	CMT	MC	CMT
0	8.2e-2	8.8e-2	1	1	1300	100
1	5.84e-2	6.2e-2	2	1	1800	100
2	4.0e-2	4.5e-2	2.5	1.5	2500	200
3	2.48e-2	2.9e-2	3	2	4100	400
4	1.3e-2	1.5e-2	5	2	7700	400
5	6.93e-3	8e-3	15	2.5	15000	500
6	2.74e-3	3.5e-3	24	2.5	69500	500
7	9.8e-4	1.2e-3	40	3	103000	800
8	2.23e-4	2.6e-4	110	3	450000	800
9	3.2e-5	3.9e-5	440	3	3125000	800

표 2. MC와 CMT 수행시간 비교(with fading)

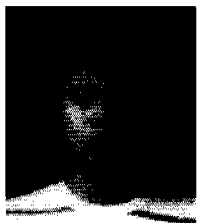
E_b/N_0 (dB)	오류율		수행시간		sample 수	
	MC	CMT	MC	CMT	MC	CMT
0	1.48e-1	1.62e-1	4	1	6500	100
5	6.5e-2	7.0e-1	15	1	15500	100
10	2.42e-2	2.45e-2	22	3	41700	800
15	8.1e-3	8.3e-3	40	3	124000	800
20	2.52e-3	2.5e-3	150	3.5	400000	900
25	8.3e-4	8.6e-4	196	3.5	1205000	900
30	2.53e-4	2.817e-4	500	4	3952600	1000
35	8.6e-5	8.6e-5	2440	4	12e06	1000
40	2.5e-5	2.621e-5	8340	4	4e07	1000

Importance Sampling in Digital Communications: Part I: Fundamentals,: IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.15, No.4, pp. 597-613, May 1997.

- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Nevio Benvenuto, Antonio Salloum, and Luciano Tomba, "Performance of digital radio links based on semi-analytic method", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 15, no. 4, pp. 667-676, May 1997
- [7] Narayan B. Mandayam, and Behnaam Aazhang, "Gradient estimation for stochastic optimization of optical CDMA system", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 15, no. 4, pp. 735-750, May 1997.
- [8] In-kwan Hwang and Ludwik Kurz, "Digital data Transmission over Nonlinear Satellite Channel", IEEE Transactions on Communications, vol. 41. no. 11, pp. 1694-1702, November 1993.
- [9] Andrew J. Viterbi, *Pinciples of Spread Spectrum Communication*, Addison Wesley, April 1995
- [10] Theodore S. Rappaport, *Wireless communications*, Prentice Hall, 1996

이 상 규(Sang-Kyu Lee)

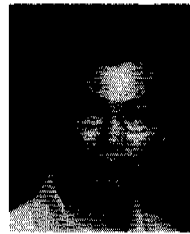
준회원



2001년 2월 : 충북대학교
전파공학과 졸업
2001년 2월~현재 : 충북대학교
전파공학과
석사과정
<주관심 분야> 이동통신,
위성통신 디지털통신

김 홍 열(Hong-Yeol Kim)

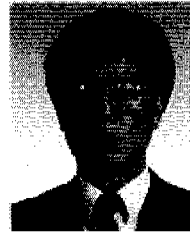
준회원



2001년 2월 : 충북대학교
전파공학과 졸업
2001년 2월~현재 : 충북대학교
전파공학과
석사과정
<주관심 분야> 이동통신,
위성통신, 디지털통신

황 인 관(In-Kwan Hwang)

정회원



1975년 : 아주대학교
전자공학과졸업
1987년 : Polytechnic University
공학석사
1990년 : Polytechnic University
공학박사

1982년~1997년 2월 : 한국전자 통신연구원위성망
연구실
1997년 3월~현재 : 충북대학교 전기전자공학부
부교수
<주관심 분야> 이동통신, 위성통신, 디지털통신