

나카가미 페이딩 환경하에서 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 채용한 DS/CDMA 통신 시스템의 성능 분석

Performance Analysis of DS/CDMA Communication System with MRC Diversity and CCI Canceller in Nakagami Fading Environment

소준영 · 강희조

Jun-Young So · Heau-Jo Kang

요 약

본 논문에서는 무선 채널 환경에서 다중접속간섭(MUI : Multi-User Interference)과 나카가미 페이딩에 의한 DS/CDMA GMSK 시스템의 성능을 분석하였다. 고려되는 DS/CDMA GMSK 시스템은 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 최대비 합성(MRC) 다이버시티 수신법과 간섭제거기를 사용하였다. 유도한 오율식을 이용하여 DS/CDMA GMSK 시스템의 성능을 구하여, PN 코드 길이(N), 다중 사용자의 수(K), 다이버시티 가지의 수(L), 비트에너지 대 잡음전력비(E_b/N_0), 페이딩 지수(m)등을 함수로 하여 그래프로 나타내고 분석하였다.

분석결과에 의하면 MRC 다이버시티 기법이나 간섭제거 기법을 채용함으로써 큰 폭의 성능 개선을 얻을 수 있었다. 또한 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 직렬로 채용하면 더 큰 개선을 얻을 수 있었다. 결과적으로 제안된 시스템 구조는 나카가미 페이딩, 다중접속간섭, 다중경로 채널에서 음성 통신시스템으로서 적절하다고 예상된다.

Abstract

In this paper, error performance of DS/CDMA GMSK system has been analyzed in a radio channel which is characterized by multi-user interference(MUI) and Nakagami fading. The DS/CDMA GMSK system adopts Maximum Ratio Combining(MRC) diversity and co-channel interference (CCI) to enhance system performance. Using the derived error probability equation, the error performance of DS/CDMA GMSK system has been evaluated and shown in figures to discuss as a function of PN code length(N), number of multi-user(K), number of diversity branch(L), and bit energy per noise power ratio(E_b/N_0), fading index(m).

The results show that there is a substantial enhancement in performance by employing an MRC diversity or a CCI canceller. Additional improvement can be obtained when the MRC diversity and the CCI canceller are adopted in cascade form. Consequently, we expected that proposed system structure is reliable to the voice communication system in Nakagami fading, multi-user interferences and multipath channel.

동신대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.)

· 논문 번호 : 990208-011

· 수정완료일자 : 1999년 8월 10일

I. 서 론

무선을 이용한 이동통신은 급증하는 가입자의 수요를 만족하기 위하여 아날로그 시스템에서 디지털 시스템으로 전환되고 있으며 새로운 디지털 이동통신망을 위한 기술 표준에 대한 연구가 진행되어 왔으며 이동통신 서비스의 수용용량에 대한 문제가 제기되고 있다. 따라서 급증하는 이동통신에 대한 수용용량의 한계를 극복하기 위한 방안으로 가입자 수용용량이 큰 CDMA 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1]. CDMA 방식은 스펙트럼 확산 방식의 장점을 이용한 것으로 의사잡음 코드로 반송 주파수를 변조하는 직접 확산 방식과 정해진 도약 패턴에 따라 반송파 주파수를 변화시키는 주파수 도약 방식으로 크게 나눌 수 있다.

DS/CDMA 시스템은 수용용량이 큰 반면에 많은 사용자가 동시에 동일 주파수 대역을 사용함으로써 발생하는 다중접속간섭과 다중경로 전파에 의한 다중경로(Multi-Path) 페이딩에 의해 시스템의 성능이 크게 열화된다. 따라서 DS/CDMA 시스템에서는 이와 같은 다중접속간섭과 다중경로 페이딩의 영향을 경감시킴으로써 수용용량을 증가시킬 수 있다.

한편, 이동통신에서, 각각의 이동 터미널의 송신기는 충분한 전력공급 때문에 비선형 특성을 가지는 경향이 있다. 만약 출력신호가 요동치는 포락선을 가진다면, 이러한 비선형성이 불요 주파수 확산을 발생시킬 수 있다. GMSK(Gaussian-filtered minimum-shift keying)는 대역폭이 제한된 일정한 포락선을 가지기 때문에 위의 두 가지 문제를 해결할 수 있는 변조방식으로 알려져 있다. GMSK를 DS/SS 방식에 적용할 때^{[2]-[3]}, 내부 심불간(또는, 내부 칩간) 간섭(ISI 또는 ICI)에 기인한 성능 열화는 DS/SS방식에 비하여 매우 작으므로, 송신된 신호의 대역폭 상에서 더 큰 감소를 기대할 수 있다.

또한, 이동위성통신에 있어서 신호의 성능에 큰 영향을 미치는 또 하나의 요소인 페이딩은 기지국으

로부터 직접파나 강한 반사파가 존재하는 경우에는 라이시안 분포를 따르고, 가시선(Line of Sight)이 존재하지 않고 순수 산란파만이 이동국에 수신되는 일반적인 시가지 환경에서는 레일리 분포를 따르는 것으로 알려져 있다. 또한, 나카가미 분포는 무선 통신로에서 발생하는 여러 가지 포락선 변동을 나타내며, 레일리 분포와 라이시안 분포를 동시에 표현할 수 있는 편리성도 갖고 있어 무선통신 환경에 많이 이용되고 있다^{[4]-[6]}.

본 논문에서는 나카가미 페이딩과 다중접속간섭이 함께 존재하는 간섭 환경하에서의 DS/CDMA GMSK 변조신호를 사용자수(U), 다이버시티 가지수(L), 페이딩 지수(m), PN 코드 길이(N), 비트에 너지 대 잡음전력비(E_b/N_0) 등으로 오율 특성을 분석한다. 또한 다중접속간섭을 감소시키기 위한 기법으로 상관관계를 이용하여 동일채널 간섭을 제거하는 간섭제거기 기법을 도입하고, 다중경로 페이딩에 대한 보상 기법으로는 최대비 합성 다이버시티 기법을 도입하여 다중접속간섭과 다중경로 페이딩의 영향을 경감시킴으로써 오율특성의 개선폭을 알아보고자 한다. 특히 DS/CDMA GMSK의 오율 특성이 음성통신 기준오율을 만족하는지를 알아보고, 각 성능개선기법을 독립적으로 채용한 경우와 이들 기법을 동시에 채용한 경우를 분류하여 오율 특성을 비교·분석하였다.

II. 해석 모델

이동위성통신시스템의 디지털 변복조 방식에서 요구되는 사항으로서 페이딩과 잡음 및 간섭신호에 대한 강인성, 스펙트럼의 고효율성, 저전력 소모, 제작의 용이성 등을 들 수 있는데 유럽의 디지털 이동통신인 GSM(Global System for Mobile Communications)의 표준방식으로 선정된 GMSK 방식은 정진폭 특성을 가지므로 비선형 증폭기의 사용이 가능하며 전력효율이 좋은 장점이 있다^[8].

MSK(Minimum-Shift Keying)의 변형으로 협대

역화를 피한 GMSK 변조방식은 MSK가 위상만이 연속일 뿐 입력 데이터에 따라서 2개의 주파수 중 어느 하나를 선택하는데 있어서 GMSK는 주파수에 있어서도 2개의 주파수 사이를 연속적으로 변하고 있으므로 스펙트럼의 집중도가 우수하고 대역의 스펙트럼의 억압도도 높은 특징을 갖는다. 이 방식은 입력 디지털 신호를 가우시안 저역 통과 필터(Gaussian Low Pass Filter)에 의해서 적절히 대역제한 한 후 주파수 변조하는 것으로서 저역통과필터의 선정 조건으로 협대역 주파수 특성을, 날카로운 차단특성은 ACI를 최소화 할 수 있다. 또한 낮은 오버슈트를 갖는 임펄스 응답 특성은 과도한 순간 주파수 변이를 억제하여 FM(판별기) 복조가 가능하게 하여 인접 채널에의 간섭을 줄일 수 있을 뿐 아니라 협대역화를 피하고 있으므로 스펙트럼 효율이 좋고 다중경로 페이딩에도 유리하다.

2-1 송·수신 및 채널 모델

다중접속 사용자수는 K (사용자 A_1, A_2, \dots, A_K) 이고, PN 코드 길이는 N , 정보 비트 지속시간(time duration)은 T_s 이다. 각각의 사용자는 동일한 전력과 서로 다른 PN 코드가 할당된다. 해석 모델에서 1차

변조된 GMSK 신호는 사용자 고유의 PN 코드 $\alpha_k(t)$ 에 의해 2차 변조 즉, 확산되어 나카가미 페이딩 통신로를 거쳐 전송되어 오고 이에 MUI와 가우스 잡음이 부가되어 수신된다. 수신단의 입력신호는 다시 PN 코드 $\alpha_k(t)$ 에 의해 역확산된 후 GMSK 복조기에 의해 출력 데이터를 얻게 된다. 특정 사용자의 신호를 복조할 때 나머지 사용자의 신호는 단지 MUI로 작용하게 되며, PN코드 길이 N 이 클 경우 이 MUI는 가우시안 랜덤 변수로 근사화 시킬 수 있다.

그림 1에서 수신된 DS/CDMA GMSK 신호 $s(t)$ 는 다음과 같이 나타내진다.

$$s(t) = \sqrt{2P_j} p_d c_0(t) \cos\{2\pi f_c t + \theta(t)\}, \quad (j-1)T_s \leq t < jT_s \quad (1)$$

윗 식에서 p_j 는 j 번째 심볼의 송신 전력이고, $d_j = \pm 1$ 로서 j 번째 심볼 구간 동안 보내진 데이터 비트이며, f_c 는 반송파 주파수이다.

$\alpha_k(t)$ 는 k 번째 사용자에게 주어지는 고유한 PN 코드로서 다음과 같이 표현된다.

$$c_k(t) = c_l = \pm 1, \quad \text{단, } (j-1)T_s + lT_c \leq t < (j-1)T_s + (l+1)T_c \quad (2)$$

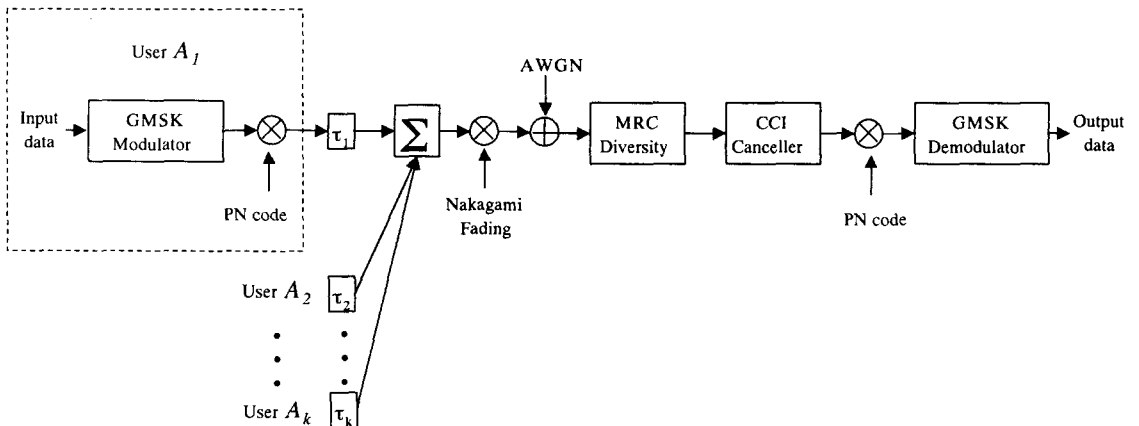


그림 1. 해석모델(MRC 다이버시티와 간섭제거기 적용시)
 Fig. 1. Analysis model(adopting MRC diversity and CCI canceller).

여기서 $l = 0, \dots, N-1$ 이고 T_c 는 칩 간격이다.

수신기에서의 수신 전력은 $\sqrt{2P_j} \cdot \rho$ 로 표현되며, 이때 ρ 는 순시 페이딩 진폭을 표시한다. 특히 단구간에서의 위상차 $\Delta\theta$ 는 다음 식과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \theta(kT) - \theta((k-1)T) \\ &= 2\pi f_d \int_{-\infty}^t \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_t^{t+T} h(t) dx dn, \quad (3) \end{aligned}$$

f_d : 변조신호의 주파수 편이

a_n : n 번째 기저 대역신호

$$h(t) = \sqrt{\frac{2\pi}{\ln 2}} B_b \exp\left(\frac{-2\pi^2 B_b^2 t^2}{\ln 2}\right)$$

: 임펄스 응답.

여기서 B_b 는 Baseband Gaussian Low Pass Filter의 3dB 대역폭을 나타낸다. 본 논문에서는 AWGN과 MUI 및 나카가미 페이딩이 혼재하는 무선채널을 고려한다. 수신단에서는 시스템의 성능개선을 위해 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 직렬로 채용하는 수신 시스템을 고려한다. 단, 이들의 실제 하드웨어 구현은 이상적이라 가정하며 구체적인 구현방안에 대해서는 언급하지 않는다^[7].

2-2 MUI 모델

기준 사용자를 제외한 다른 사용자의 신호는 동일 채널 간섭신호가 되는데, 일반적으로 한 사용자 k 로부터 간섭을 받을 때 간섭신호는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} s_k(t) &= \sqrt{2P_k} d_k(t - \tau_k) c_k(t - \tau_k) \\ &\cdot \cos(2\pi f_c t + \phi_k) \quad (4) \end{aligned}$$

여기서 $c_k(t)$ 는 간섭신호 $s_k(t)$ 의 PN 코드이고, f_c 는 반송파 주파수로서 모든 사용자가 동일하며, τ_k 와 ϕ_k 는 각각 기준 사용자 신호에 대한 시간차

와 위상차를 나타낸다. 기지국이 동일 셀 내의 모든 사용자에게 같은 전력으로 신호를 송신한다면 간섭신호도 기준 신호와 똑같은 경로 손실을 갖는다고 간주할 수 있다. 이때 복조기내 상관기 출력단에서 하나의 간섭신호 성분은 다음과 같이 구해진다.

$$\sigma_I^2 = \frac{E_b \cdot \rho^2}{3N}, \quad (5)$$

단, N : PN 코드의 길이.

기준 사용자 이외의 다른 사용자에 의한 MUI는 가우시안 랜덤 변수로 간주할 수 있다. 따라서 간섭신호의 전력 스펙트럼 밀도를 N_I 라고 하면 $\sigma_I^2 = N_I/2$ 이므로 하나의 간섭신호가 MUI에 기여하는 정도는 다음과 같다.

$$MUI = N_I = \frac{2}{3N} E_b \cdot \rho^2, \quad (6)$$

단, ρ : 송신 신호의 순시 진폭.

그러므로 모든 사용자의 간섭을 고려한 DS/CDMA 시스템의 신호 대 잡음비 ($\gamma_s = SNR_{DS}$)는 다음과 같다.

$$SNR_{DS} = \frac{E_b \cdot \rho^2}{\frac{2(K-1)}{3N} E_b \cdot \rho^2 + N_o}, \quad (7)$$

단, $N_o/2$: AWGN의 전력스펙트럼 밀도,

K : 사용자수

2-3 통신로 페이딩

본 논문에서는 m 의 값에 따라서 레일리 페이딩과 라이시안 페이딩을 포함할 수 있는 나카가미 페이딩을 다루기로 한다. 나카가미 페이딩은 심도지표라고 부르는 m 의 값에 의해 중단파로부터 마이크로파대에 이르는 무선통신로에서 발생하는 여러 가지 형태의 포락선 변동을 나타낼 수 있다.

나카가미 페이딩에서 m 은 페이딩의 심도를 나타

내는데 페이딩 지수라고도 하며, 이 값의 범위는 $1/2 \leq m \leq \infty$ 이다. 나카가미 페이딩에서 m 의 값이 1일 때를 레일리 페이딩이라 하고, $m > 1$ 일 때는 라이산 페이딩으로 나타내어지며, 나카가미 페이딩을 받는 수신신호의 순시 진폭 R 에 대한 확률 밀도 함수는 다음과 같이 나타내어진다^[8].

$$p(R) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^m} \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega}\right), \quad (8)$$

단, $\Gamma(\cdot)$: 감마 함수, $\Omega/2$: 수신 평균전력,
 $m(\geq 1/2)$: 페이딩지수

2-4 MRC 다이버시티 기법

다이버시티 수신 기법은 동일한 신호를 2개 이상의 가지(branch)로 수신하여 송신전력을 증가시키지 않으면서도 페이딩의 영향을 효과적으로 줄일 수 있다. 본 논문에서 고려한 MRC 다이버시티 기법은 다이버시티 가지 입력의 위상을 모두 동상이 되도록 조정함과 동시에 각각의 포락선에 비례하여 가중치를 가하여 SNR이 큰 신호일수록 합성 SNR에 크게 기여하는 방식으로서 여러 다이버시티 기법중 가장 효과적이다. 그림 2는 가지 수가 2인 MRC 다이버시티 구

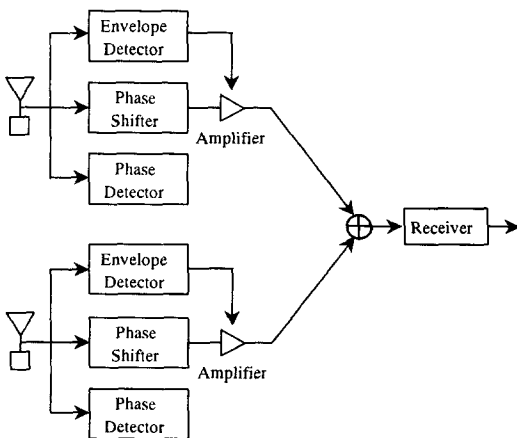


그림 2. MRC 다이버시티 구조
 Fig. 2. MRC diversity structure.

조를 나타낸다.

본 논문에서는 다이버시티 수신 기법중 개선 효과가 가장 우수한 MRC 다이버시티를 채용하여 페이딩에 의한 성능 저하를 보상한다. 가지의 수가 L 인 MRC 다이버시티 출력단의 SNR은 다음과 같다^[8].

$$\Gamma = \sum_{k=1}^L \Gamma_k \quad (9)$$

2-5 간섭제거(CCI cancellation) 기법

DS/CDMA 시스템의 용량(capacity)은 간섭에 의해 제한되기 때문에 DS/CDMA 시스템에서는 간섭을 줄여줌으로써 그만큼 용량을 증가시킬 수 있다. 이를 위해서는 2가지 문제점을 고려해야 한다. 첫째, 기존의 SS 정합필터 수신기는 다중접속간섭(MUI) 환경에서 최적 수신기로 동작할 수 없으며 둘째, 이들 수신기들은 원근(near-far) 효과에 매우 민감하다는 것이다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 최근 적응성 있는 SS 수신기들이 제안되고 있다. 기존의 수신기는 정합필터와 그 후단에 임계치 검파기로 구성되는 단일 사용자용 검파방식을 사용하여 신호를 복조하였기 때문에 희망하는 신호와 간섭신호 사이의 상호상관으로 인해 시스템의 성능에 치명적인 영향을 주었다. 따라서 이를 보상하기 위해 간섭 억압 혹은 간섭제거에 근간을 둔 몇 가지 multi-user용 수신기가 제안되고 있다^[9]. 그러나 최적의 multi-user 검파기는 기존의 검파기에 비해 훨씬 우수한 성능을 갖지만 사용자의 수에 따라 지수 함수적으로 시스템의 구조가 복잡해지는 단점을 갖는다. 따라서 최근에는 최적 multi-user 검파기의 복잡성을 개선하여 사용자 수에 따라 선형적 복잡성을 갖는 suboptimal 검파기가 제안되고 있다.

본 논문에서는 suboptimal multi-user 검파기의 한 예로서 다중접속간섭을 제거하기 위하여 수신단에 간섭제거 기법을 도입한다^{[10]-[11]}. 그림 3은 간섭제거기를 채용한 DS/CDMA 시스템의 수신 구조를 나타낸다.

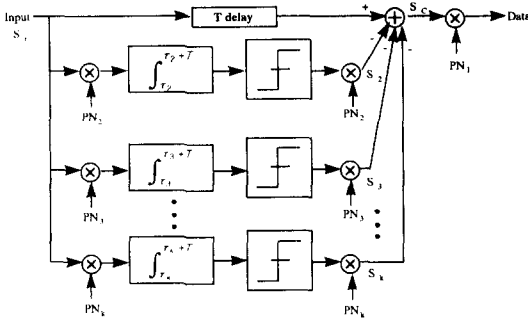


그림 3. 간섭제거기 구조
Fig. 3. CCI canceller structure.

수신시스템의 동기 및 각 사용자의 시간지연($T - \tau_i$)에 대한 조정은 완벽하다고 고려한다. 그림 3에서 기준 사용자 이외의 다른 사용자의 정보는 각 사용자에게 다르게 할당된 PN 코드(PN_2, \dots, PN_K)로 역확산하여 검파된 후 다시 동일한 PN 코드에 의해 확산된다. 이 확산된 다른 사용자의 신호(s_2, \dots, s_K)를 T 시간만큼 지연된 원래의 수신신호(s_r)에서 빼줌으로써 MUI가 제거된 s_c 를 얻게 된다. 이때 수신신호 s_r 을 구성하고 있는 신호 s_2, \dots, s_K 에 비트 에러가 발생하지 않았다면 다중접속간섭은 완벽하게 제거된다.

III. DS/CDMA GMSK 신호의 오율성능 해석

3-1 스펙트럼 특성

GMSK 신호의 스펙트럼 특성은 MSK 신호의 스펙트럼 특성에 사전 가우시안 저역 필터(Premodulation Gaussian Low-pass Filter)의 영향을 고려하게 된다. GMSK 신호의 스펙트럼 특성은 Gaussian LPF의 정규화된 3dB 감쇄 대역폭 $B_b T$ 에 따라서 특성이 결정된다. $B_b T$ 가 무한대로 갈수록 GMSK 신호의 전력 스펙트럼은 MSK 신호의 전력 스펙트럼과 동일해진다. $B_b T$ 가 증가할수록 전력 스펙트럼이 떨어지는 Rate 또한 커진다. Murota는 GMSK 셀룰

라 시스템에서 스펙트럼 효율을 최대화하는 최적의 조건은 $B_b T = 0.25$ 임을 보였다^[7]. 다음 절에서는 $B_b T = 0.25$ 의 조건하에서 여러 이동 통신 채널에서의 오율 특성을 구하였다.

3-2 AWGN과 MUI 환경에서의 오율 특성

GMSK와 MSK 변조 방식 모두 이진 디지털 변조로써 GMSK 변조는 MSK 변조의 변형된 식으로 나타내어질 수 있다. 높은 신호대 잡음 전력비와 AWGN 환경하에서의 오율식에 대한 연구결과는 이미 얻어졌으며 AWGN과 MUI 환경에서 DS/CDMA GMSK 시스템의 오율식은 다음과 같이 구해진다^[7].

$$P_{DS} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\beta \gamma_{DS}}) \quad (10)$$

$$\text{단, } \gamma_{DS} = \frac{E_b \cdot \rho^2}{\frac{2(K-1)}{3N} E_b \cdot \rho^2 + N_o}$$

여기서 γ 는 신호대 잡음 전력비를 의미하며 β 는 사전 가우시안 저역 필터에 따라서 변하는 파라메타를 나타낸다. 즉 β 는 파라메타 $B_b T$ 의 함수이다. 최적의 조건인 $B_b T = 0.25$ 일 경우, 파라메타 β 는 대략 0.68임이 알려져 있다.

3-3 나카가미 페이딩 환경하에서의 오율 특성

MUI와 나카가미 페이딩 환경하에서 DS/CDMA GMSK 신호의 오율식은 다음과 같이 구해진다.

$$P_F = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(m)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m}{\beta \gamma_{DS}}}} \cdot {}_2F_1\left(\frac{1}{2}, 1 - m; \frac{3}{2}; \frac{1}{1 + \frac{m}{\beta \gamma_{DS}}}\right) \quad (11)$$

단, m : 나카가미 페이딩의 심도지수

3-4 MRC 다이버시티를 채용한 경우의 성능 개선

MRC 다이버시티 기법은 다이버시티 가지 입력의 위상을 모두 동상이 되도록 조정함과 동시에 각각의 포락선에 비례하여 가중치를 가하여 SNR이 큰 신호일수록 합성 SNR에 크게 기여하는 방식으로서 여러 다이버시티 기법 중 가장 효과적이다.

MUI와 나카가미 페이딩 환경하에서 MRC 다이버시티를 채용한 경우 DS/CDMA GMSK 신호의 오율식은 다음과 같이 구해진다.

$$P_M = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\Gamma\left(mL + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(mL)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m}{\beta\gamma_{DS}}}} \cdot {}_2F_1\left(\frac{1}{2}, 1 - mL; \frac{3}{2}; \frac{1}{1 + \frac{m}{\beta\gamma_{DS}}}\right) \quad (12)$$

단, L : 다이버시티 가지수

3-5 간섭제거기를 채용한 경우의 성능 개선

수신단에서 MUI를 제거하기 위해 간섭제거기를 도입할 때 간섭제거기 입력단에서 기저대역 신호의 진폭이 ± 1 인 경우, 입력신호 s_r 의 신호대 잡음비 SNR_{DS} 는 다음과 같다.

$$SNR_{DS} = 1 / [(K - 1) \cdot 2/3N + (N_0/E_b)], \quad (13)$$

그림 3에서 수신신호 s_r 을 구성하고 있는 신호 s_2, \dots, s_K 에 비트 에러가 발생하지 않았다면 MUI는 완벽하게 제거되지만 수신신호 s_r 에서 i 번 ($i = 2, 3, \dots, K$)째 사용자의 수신신호에만 상관검과 과정에서 에러가 발생하였다면 PN_c 에 의해 확산되어 T 시간 지연된 s_r 신호에 더해지게 된다. 이때 에러가 발생한 i 번째 사용자의 신호는 수신신호 s_r 에 MUI로 더해지므로 신호 s_c 는 s_i 사용자에 의한 MUI의 2배의 전압(전력면에서는 4배)을 포함하게

된다. 결과적으로 신호 s_c 와 s_i 사용자의 수신신호 사이의 신호 대 잡음비 SNR_{CCI} 는 다음식과 같이 주어진다^[10].

$$SNR_{CCI} = [(A_V \cdot 2/3N) + (N_0/E_b)] = 1 / [(4(K - 1) \cdot P_{eb} \cdot 2/3N) + (N_0/E_b)], \quad (14)$$

단, $A_V = 4(K - 1) \cdot P_{eb}$

P_{eb} : SNR_{DS} 를 이용한 오율식

따라서 식 (11)과 식 (14)를 이용하면 MUI와 나카가미 페이딩 환경하에서 간섭제거기를 채용한 경우 DS/CDMA GMSK 신호의 오율식은 다음과 같이 구해진다.

$$P_{CCI} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(m)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m}{\beta\gamma_{CCI}}}} \cdot {}_2F_1\left(\frac{1}{2}, 1 - m; \frac{3}{2}; \frac{1}{1 + \frac{m}{\beta\gamma_{CCI}}}\right) \quad (15)$$

$$\text{단, } \gamma_{CCI} = \frac{E_b \cdot \rho^2}{4 \cdot P_{DS} \cdot \frac{2(K-1)}{3N} E_b \cdot \rho^2 + N_0}$$

3-6 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 직렬로 채용하는 경우의 성능 개선

MRC 다이버시티와 간섭제거기를 직렬로 채용한 구조에서 MRC 다이버시티는 다중경로 페이딩의 영향을 보상하고, 간섭제거기에서 다중접속간섭을 제거함으로써 보다 효과적으로 DS/CDMA GMSK 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

MUI와 나카가미 페이딩 환경하에서 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 직렬로 채용한 경우, DS/CDMA GMSK 신호의 오율식은 다음과 같이 구해진다.

나카가미 페이딩 환경하에서 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 채용한 DS/CDMA 통신 시스템의 성능 분석

$$P_{MRC-CCI} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(mL)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{mL}{\beta\gamma_{CCI}}}} \cdot {}_2F_1\left(\frac{1}{2}, 1-m; \frac{3}{2}; \frac{1}{1 + \frac{mL}{\beta\gamma_{CCI}}}\right) \quad (16)$$

$$\text{단, } \gamma_{CCI} = \frac{E_b \cdot \rho^2}{4 \cdot P_{DS} \cdot \frac{2(K-1)}{3N} E_b \cdot \rho^2 + N_o}$$

식 (16)은 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 직렬로 채용하는 경우의 이론적 오율식으로 이들의 실제 하드웨어 구현은 이상적이라 가정한다.

IV. 계산 결과 및 고찰

본 장에서는 가우스 잡음(AWGN)과 다중접속간섭(MUI) 및 나카가미 페이딩 환경하에서 DS/CDMA GMSK 통신 시스템의 성능과 성능개선기법으로서 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 채용한 경우의 성능 개선을 수치계산을 수행하여 비교·분석하였다.

PN 코드 길이(N), 다중 사용자의 수(K), 다이버시티 가지의 수(L), 비트에너지 대 잡음전력비(E_b/N_o), 페이딩 지수(m) 등을 함수로 하여 수치 계산한 결과를 그림 4~8에 나타내었다.

그림 4는 AWGN과 MUI 및 나카가미 페이딩 환경하에서 N 값의 변화에 따른 DS/CDMA GMSK 시스템의 오율 특성을 나타낸 것으로서, N 값이 증가함에 따라 시스템의 성능이 향상되는 것을 볼 수 있는데, 이것은 N 값이 증가할수록 시스템의 처리이득(Processing Gain: PG) 값이 커져 MUI와 다중경로 페이딩의 영향이 감소되기 때문이다.

그림 5는 AWGN과 MUI 및 나카가미 페이딩 환경하에서 K 값의 변화에 따른 DS/CDMA GMSK 시스템의 오율 특성을 나타낸 것으로서, K 값이 증가함에 따라 시스템의 성능이 저하되었다. $N=255$ 인 경우, E_b/N_o 가 30 dB에서 사용자가 20명일 때 약 3.5×10^{-1} 으로 음성통신 기준오율인 1×10^{-3} 과는 상당

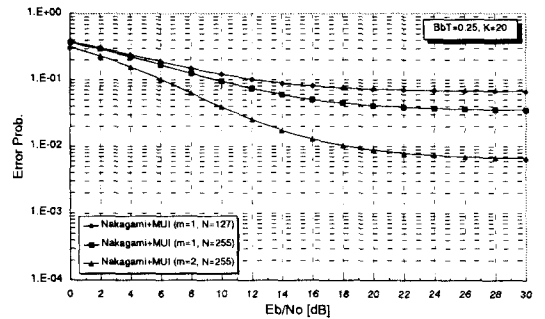


그림 4. AWGN과 MUI 및 나카가미 페이딩 환경에서 PN 코드 길이(N)에 따른 DS/CDMA GMSK 시스템의 오율 특성($B_bT=0.25, K=20$).

Fig. 4. Error performance of DS/CDMA GMSK system with the variation of N in AWGN and MUI and Nakagami fading environment ($B_bT=0.25, K=20$).

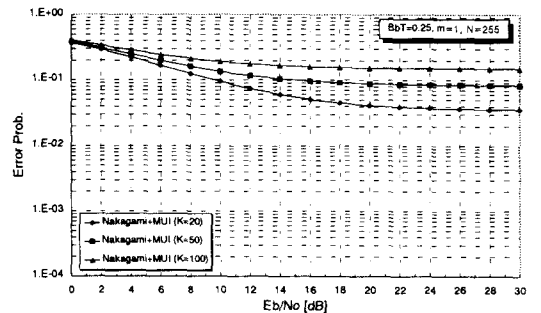


그림 5. AWGN과 MUI 및 나카가미 페이딩 환경에서 사용자수(K)에 따른 DS/CDMA GMSK 시스템의 오율 특성($B_bT=0.25, m=1, N=255$).

Fig. 5. Error performance of DS/CDMA GMSK system with the variation of K in AWGN and MUI and Nakagami fading environent ($B_bT=0.25, m=1, N=255$).

한 차이를 보였다. 때문에 고려되어진 시스템이 음성통신 기준오율을 만족하기 위해서 성능개선기법을 도입한 경우의 오율 특성을 그림 6~8에 나타내었다.

그림 6은 AWGN과 나카가미 페이딩 환경하에서 MRC 다이버시티를 채용한 경우의 DS/CDMA

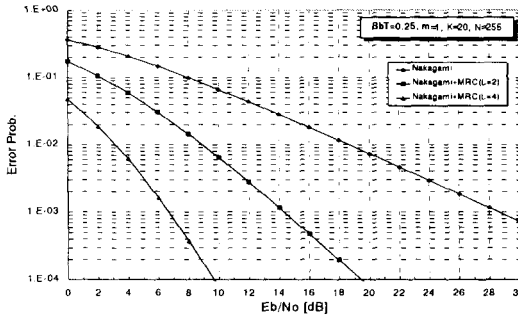


그림 6. AWGN과 나카가미 페이딩 환경에서 MRC 다이버시티를 채용한 경우 DS/CDMA GMSK 시스템의 오율 특성($B_bT=0.25, m=1, K=20, N=255$)

Fig. 6. Error performance of DS/CDMA GMSK system with MRC diversity in AWGN and Nakagami fading environment ($B_bT=0.25, m=1, K=20, N=255$).

GMSK 시스템의 오율 특성을 나타낸 것으로서, MRC 다이버시티의 가지수가 증가함에 따라 시스템 성능이 현저히 개선됨을 알 수 있다. 가지수가 2인 다이버시티를 채용했을 때 $E_b/N_0=14$ dB 이상에서 음성통신 기준오율인 1×10^{-3} 의 오율 특성을 얻을 수 있었다. 즉, 고려되어진 시스템에서 다중경로 페이딩에 대한 보상기법으로 MRC 다이버시티를 채용함이 효과적임을 알 수 있었다.

그림 7은 AWGN과 MUI 및 나카가미 페이딩 환경하에서 간섭제거기를 채용한 경우의 DS/CDMA GMSK 시스템의 오율 특성을 나타낸 것으로서, 만일, MUI가 간섭제거기로 모두 제거된다면 오율이 AWGN과 나카가미 페이딩 환경에서의 오율 특성에 접근해야 한다. 그림에서 $K=2$ 인 경우 간섭제거기를 채용하였을 때는 AWGN과 나카가미 페이딩 환경에서의 오율 특성과 거의 일치함을 알 수 있으며 $K=20, 50$ 로 증가함에 따라 시스템의 성능이 저하됨을 볼 수 있으며, 이것은 페이딩 환경하에는 간섭제거기의 상관과정에서 에러 발생율이 높기 때문이다. 또한 $K=2$ 인 경우, E_b/N_0 가 30 dB에서 1.2×10^{-2} 로

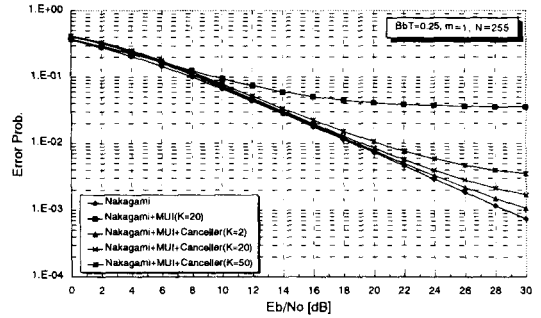


그림 7. AWGN과 MUI 및 나카가미 페이딩 환경에서 간섭제거기를 채용한 경우 DS/CDMA GMSK 시스템의 오율 특성($B_bT=0.25, m=1, N=255$)

Fig. 7. Error performance of DS/CDMA GMSK system with CCI canceller in AWGN and MUI and Nakagami fading environment ($B_bT=0.25, m=1, N=255$).

서 음성통신 기준오율인 1×10^{-3} 을 만족할 수 없음을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 페이딩 보상기법인 MRC 다이버시티 기법을 간섭제거기 앞단에 직렬로 채용한 구조를 제안하였고, 이 경우의 오율 특성을 그림 8에 나타내었다.

그림 8은 AWGN과 MUI 및 나카가미 페이딩 환경하에서 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 직렬로 채용한 경우와 독립적으로 채용한 경우의 DS/CDMA GMSK 시스템의 오율 특성을 나타낸 것으로서, $K=20$ 인 경우에는 $L=2$ 인 다이버시티를 채용한 시스템이 간섭제거기를 채용한 시스템보다 우수한 오율 특성을 보였으며, $K=50$ 인 경우에는 간섭제거기를 채용한 시스템이 $L=2$ 인 다이버시티를 채용한 시스템보다 우수한 오율 특성을 보였다. 이것은 고려되어진 채널 환경에서 사용자 수가 적을 때는 다중경로 페이딩이, 사용자 수가 많을 때는 다중접속간섭이 시스템의 성능열화 요인으로 강하게 나타나기 때문이다. 또한 각각의 성능 개선기법을 독립적으로 채용하였을 경우에는 음성통신 기준오율인 1×10^{-3} 을 만족할 수 없었으며, MRC 다이버시티와 간섭제거기를

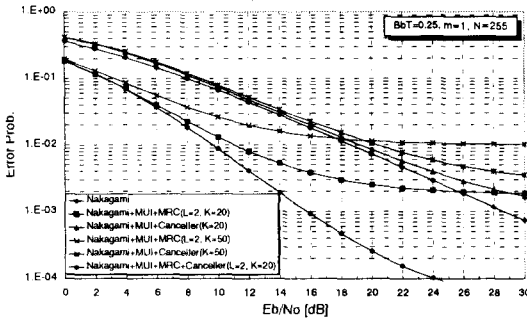


그림 8. AWGN과 MUI 및 나카가미 페이딩 환경에서 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 채용한 경우 DS/CDMA GMSK 시스템의 오율특성($B_bT=0.25, m=1, N=255$)

Fig. 8. Error performance of DS/CDMA GMSK system with MRC diversity and CCI canceller in AWGN and MUI and Nakagami fading environment ($B_bT=0.25, m=1, N=255$).

직렬로 채용하였을 경우에는 $E_b/N_0=14$ dB에서 음성통신 기준오율을 만족하고 있음을 보였다. 즉, MUI와 나카가미 페이딩($m=1$: 레일리 페이딩)이 동시에 존재하는 환경하에서 음성통신을 가능하게 하기 위해서는 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 동시에 채용하여야 함을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 가우스 잡음과 다중접속간섭 및 나카가미 페이딩 환경하에서 DS/CDMA GMSK 통신 시스템을 제안하였고, 제안된 시스템의 성능과 성능개선기법으로서 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 채용한 경우의 성능 개선을 수치해석에 의해 구하였다.

결과에 의하면 가우스 잡음과 다중접속간섭 및 나카가미 페이딩 환경하에서 DS/CDMA GMSK 통신 시스템은 PN 코드길이 N 이 증가함에 따라 시스템의 처리 이득(Processing Gain: PG)이 커져 성능이 향상되는 반면 사용자수가 늘어날수록 MUI의 영향

이 증가하여 시스템의 성능은 저하되었다.

성능개선기법으로 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 채용함으로써 큰 폭의 성능개선을 달성하였으며, 다중경로 페이딩에 의한 성능열화 요인에 대해서는 MRC 다이버시티가 효과적이었으며, 다중접속간섭에 의한 성능열화 요인에 대해서는 간섭제거기가 효과적임을 알 수 있었다. 또한 가우스 잡음과 다중접속간섭 및 나카가미 페이딩 환경하에서 DS/CDMA GMSK 시스템은 각각의 성능개선기법을 독립적으로 채용하였을 경우에는 음성통신 기준오율인 1×10^{-3} 을 만족할 수 없었으며 고려되어진 채널 환경에서 음성통신을 가능하게 하기 위해서는 MRC 다이버시티와 간섭제거기를 동시에 채용하여야 함을 알 수 있었다.

본 논문에서는 성능개선기법으로 MRC 다이버시티와 간섭제거기만을 채용하여 음성통신 기준오율만을 고려하였으나 음성뿐만 아니라 데이터 통신이 가능하게 하기 위해서는 페이딩의 영향을 더욱 효과적으로 제거하는 성능 개선 기법이 요구되어진다. 즉, 주파수 비선택성 페이딩을 보상하는 다이버시티 기법과 주파수 선택성 페이딩을 보상하는 RAKE 수신 기법을 동시에 채용함으로써 더 나은 성능개선을 가져올 수 있으며, 이들의 문제에 대해서는 현재 연구 중이다.

참 고 문 헌

- [1] 이혁재, "CDMA 이동통신 시스템의 연구개발 현황," 한국통신학회지, 제10권 제10호, 1993년 10월.
- [2] A. Ogawa, M. Katayama, T. Yamazato, and T. Maebara, "Performance of CDMA with DS/SS/GMSK", in *Proceedings ISSSTA '94.*, pp. 564-568, July, 1994.
- [3] I. Wakaki, T. Yamazato, M. Katayama, and A. Ogawa, "DS/SS/GMSK with Differential Multipath Rayleigh Fading Channels", in

Proceedings ISSSTA '96., pp. 399-403, Sep., 1996.

[4] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, Halsed Press, 1992.

[5] William C. Y. Lee, *Mobile Communications Fundamentals*, Wiley-Interscience, 1992.

[6] 성태경, 차근현, 셀룰라 이동전화시스템, 생능출판사, 1993.

[7] K. Murota, and K. Hirade, "GMSK modulation for digital mobile radio telephony," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-29, pp. 1044-1050, July, 1981.

[8] M. Nakagami, "The m-distribution A general Formular of intensity distribution of rapid fading." *In statistical methods of radio wave propogation*, W. C. Hoffman Ed. Elmsford, New York, Pergamon Press, pp. 3-36, 1960.

[9] D. S. Chen and S. Roy., "An adaptive multiuser receiver for CDMA system," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-12, pp. 88-816, June, 1994.

[10] S. Tachikawa, "Characteristics of M-ary/spread spectrum multiple access communication systems using co-channel interference cancellation techniques," *IEECE Trans. Comm.*, vol. E76-B, no. 8, pp. 941-946, Aug., 1993.

[11] Y. C. Yoon, R. Kohno, and H. Imai, "Cascaded co-channel interference cancelling and diversity combining for spread spectrum multiple access over multipath fading channels," *IEICE Trans. Comm.*, vol. E76-B, no. 2, pp. 163-168, Feb., 1993.

부 록 [1]

$$P_{eF-GMSK} = \int_0^{\infty} P_e \cdot p(R) dR$$

$$(1) P_{eG} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\beta\gamma})$$

: GMSK 신호의 AWGN에 의한 오율식
단, $\gamma = \frac{R^2}{2N}$ (순시 CNR)

$$(2) p(R) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^m} \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega}\right)$$

: m-분포 p.d.f(Envelope)
단, $\Omega = \overline{R^2}$

이므로,

$$P_{eF-GMSK} = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\beta\frac{R^2}{2N}}\right) \cdot \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^m} \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega}\right) dR \quad (1)$$

이 된다. 식 (1)에 다음의 공식

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erfc}(x)$$

을 이용하면,

$$P_{eF-GMSK} = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\beta\frac{R^2}{2N}}\right) \cdot \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^m} \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega}\right) dR$$

$$= \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^m} \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega}\right) dR$$

$$- \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\beta\frac{R^2}{2N}}\right) \cdot \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^m} \cdot \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega}\right) dR$$

윗식에서 $\int_0^{\infty} p.d.f = 1$ 이므로,

$$P_{eF-GMSK} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\beta\frac{R^2}{2N}}\right) \cdot \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^m} \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega}\right) dR \quad (2)$$

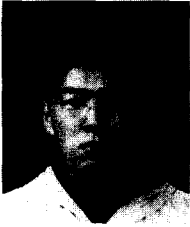
위와 같은 수식 전개과정으로 결과 식은 다음과

같다.

$$\begin{aligned}
 P_{eF-GMSK} &= \int_0^{\infty} P_e \cdot p(R) dR \\
 &= \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(m)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m}{\beta\gamma_{DS}}}} \\
 &\quad \cdot {}_2F_1\left(\frac{1}{2}, 1 - m; \frac{3}{2}; \frac{1}{1 + \frac{m}{\beta\gamma_{DS}}}\right)
 \end{aligned}$$

: 식 (11)

소 준 영



1974년 6월 14일생
 1999년 2월: 동신대학교 전기전자공학과(공학사)
 1999년 2월~현재: 동신대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 이동통신 및 위성통신, 무선통신, 밀리미터파 통신.

무선광통신

강 회 조



1986년 2월: 원광대학교 전자공학과(공학사)
 1988년 2월: 숭실대학교 반도체공학과(공학석사)
 1994년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과(공학박사)
 1994년 7월~1995년 12월: 전자통신연구원 위성망연구소 초빙연구원

1996년 8월~1997년 8월: 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수
 1998년 3월~현재: 한국전자과학회 호남지부 부지부장
 1998년 3월~1998년 8월: 전자통신연구원 무선이동통신통신시스템 연구소 초빙연구원
 1997년 10월~현재: 세종실업주식회사 기술고문
 1990년 3월~현재: 동신대학교 전기전자공학부 부교수
 [주 관심분야] 무선통신, 이동통신 및 위성통신, 환경전자공학, 무선광통신, 밀리미터파 통신, ITS 통신 시스템, 평판 디스플레이