

라이시안 페이딩 환경에서 터보 부호화 기법을 채용한 S/CDMA GMSK 변조의 성능 분석

강희조

Performance Analysis of DS/CDMA GMSK Modulation with Turbo Code Scheme in Rician Fading Environment

Heau-Jo Kang

요 약

본 논문에서는 라이시안 페이딩 환경에서 DS/CDMA GMSK 변조 시스템을 제안하고, 제안시스템의 성능을 해석하였다. 또한, 제안시스템의 성능개선 기법으로 터보 부호화 기법을 채용하여 음성, 데이터 통신뿐만 아니라 멀티미디어 통신에도 적용가능하리라 예상된다.

Abstract

In this paper, we analyzed performance of proposed system and DS/CDMA GMSK system in rician fading environment. Also, we expected that proposed system with turbo code scheme is applicable system for voice, data and multimedia communication.

Keyword

turbo code, Rician fading, DS/CDMA GMSK, Multimedia communication, MAI

1. 서 론

DS/SS (direct-sequence spread-spectrum) CDMA(Code-division multiple-access) 구성이 이동멀티미디어 통신에서 매력적인 특징 때문에 많은 관심을 끌고 있다. 주파수 확산 신호는 본래 넓은 대역폭과 작은 전력주파수밀도를 가지므로, 송신된 신호에서 대역제한의 효과는 종종 무시된다. 그러나, CDMA 시스템에서, 비록 개개의 방사는 매우 작은 전력이지만, 동시 간에 전송된 많은 신호들과 총 대역 외 방사전력은 매우 크게 된다. 그러므로, 신호들은 인접 주파수대역에서 다른 시스템과의 간섭을 피하기 위해 엄격하게 대역 제한되어야 한다.

한편, 이동통신에서, 각각의 이동 터미널의 송신

기는 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 대역폭인 제한된 일정한 포락선을 가지기 때문에 위의 두 가지 문제를 해결할 수 있는 변조방식으로 알려져 있다. GMSK를 DS/SS 방식에 적용할 때[1]-[3], 내부 심볼간(또는, 내부 칩간) 간섭(ISI 또는 ICI)에 기인한 성능 열화는 DS/SS방식에 대하여 매우 작으므로, 송신된 신호의 대역폭 상에서 더 큰 감소를 기대할 수 있다. 또한, 이동멀티미디어 통신에 있어서 신호의 성능에 큰 영향을 미치는 또 하나의 요소인 페이딩은 이동멀티미디어 통신에서 문제가 되는 레일리

(Rayleigh) 페이딩과는 달리 반사파 성분보다 직접 파 성분이 강한 라이시안(Rician) 페이딩의 양상을 보인다[4]-[6]. 고효율 변복조 방식으로서는 GMSK 방식이 있다. 이 방식은 베이스 밴드에서 저역필터로써 가우스 필터를 사용하고 고주파 성분을 제거함과 동시에 임펄스 응답의 오버슈트를 작게 하여 협대역화를 꾀한 방식인데 스펙트럼 효율이 좋고 다중경로 페이딩에도 강하므로 이동체 무선통신 시스템의 통신방식으로도 유용하다[7]-[10].

본 논문에서는 DS/CDMA GMSK 신호를 대상으로 하여 이동멀티미디어 통신로에서 발생하는 페이딩과 다중접속 간섭이 신호에 미치는 영향을 오울 특성 면에서 알아본다. 페이딩으로서는 직접파와 반사파의 관계를 잘 나타낼 수 있는 라이시안 페이딩 환경에서 다중접속 간섭, 페이딩 지수 값(K), 부호화 이득, 처리 이득 값에 따른 이동멀티미디어 통신 시스템의 성능을 분석한다.

II. 해석 모델

이동멀티미디어통신 시스템의 디지털 변복조 방식에서 요구되는 사항으로서 페이딩과 잡음 및 간섭신호에 대한 강인성, 스펙트럼의 고효율성, 저전력 소모, 제작의 용이성 등을 들 수 있는데 GMSK 방식은 정진폭 특성을 가지므로 비선형 증폭기의 사용이 가능하며 전력효율이 좋은 장점이 있다 [7],[8]. 일반적으로 고주파 대역에서 Side-lobe를 줄이기 위해서는 매우 높은 Q값을 가지는 필터의 설계가 요구되나, GMSK 방식은 베이스밴드 가우스형의 저역통과필터(LPF)를 사용하여 미리 Side-lobe를 제거함으로써 인접 채널에의 간섭을 줄일 수 있을 뿐 아니라 협대역화를 꾀하고 있으므로 스펙트럼 효율이 좋고 다중경로 페이딩에도 유리하다.

2.1 송·수신 및 채널 모델

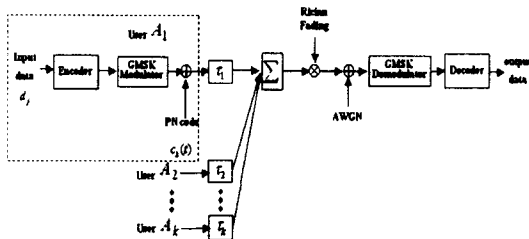


그림 1. DS/CDMA GMSK 시스템 모델
Fig 1. DS/CDMA GMSK system model

본 절에서는 가우스 잡음과 MAI 및 라이시안 페이딩 환경으로 모델링되는 무선 통신 채널을 고려하며, 그 해석 모델은 그림 1과 같다. 해석 모델에서 1차 변조된 GMSK 신호는 사용자 고유 PN 코드 $c_k(t)$ 에 의해 2차 변조 즉, 확산되어 라이시안 페이딩 통신로를 거쳐 전송되어 오고 이에 MAI와 가우스 잡음이 부가되어 수신된다. 수신단의 입력신호는 다시 PN 코드 $c_k(t)$ 에 의해 역확산된 후 GMSK 복조기에 의해 출력 데이터를 얻게 된다. 특정 사용자의 신호를 복조할 때 나머지 사용자의 신호는 단지 MAI로 작용하게 되며, PN 코드 길이 PN이 클 경우 이 MAI는 가우시안 랜덤 변수로 근사화 시킬 수 있다.

그림 1에서 수신된 DS/CDMA GMSK 신호 $s(t)$ 는 다음과 같이 나타내진다[11].

$$s(t) = \sqrt{2P_j} p_j d_j c_k(t) \cos \{ 2\pi f_c t + \theta(t) \}, \quad (1)$$

$$(j-1)T_s \leq t < jT_s.$$

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

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

$$c_k(t) = c_1 = \pm 1, \quad (2)$$

단, $(j-1)T_s + lT_c \leq t < (j-1)T_s + (l+1)T_c$. 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.

$$\Delta\theta = \theta(kT) - \theta((k-1)T) \quad (3)$$

$$= 2\pi f_d \int_{-\infty}^t \sum_n a_n \int_t^{t+T} h(t) dx dn,$$

f_d : 변조신호의 주파수 편이,

a_n : n 번째 기저 대역신호,

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

T_s 는 N 개의 칩을 가지는 심볼의 주기로서 $T_s = N \cdot T_c$ 로 표현된다. 역확산 후 상관 특성이 우수한 정합필터(matched filter)를 사용할 때 정합필터 출력단의 신호성분은 $d_j \rho \sqrt{E_{s_j}}$ 이며, $E_{s_j} = P_j \cdot T_s$ 로서 j 번째 심볼의 에너지이다[11].

2.2 다중사용자 간섭 모델

기준 사용자에게 대해 다른 사용자의 신호는 동일 채널 간섭 신호가 되는데 일반적으로 사용자 U 로부터 간섭을 받을 때 간섭신호는 다음과 같이 표현된다.

$$s_i(t) = \sqrt{2P_j} \rho d_i c_i(t) \cos(2\pi f_c t + \phi). \quad (4)$$

여기서 $c_i(t)$ 는 간섭신호 $s_i(t)$ 의 PN 코드이고 f_c 는 반송파 주파수로서 모든 사용자가 동일하며, ϕ 는 기준 사용자 신호에 대한 위상 차로서 $[0, 2\pi]$ 에서 일양 분포한다고 가정한다. 기지국이 동일 셀 내의 모든 사용자에게 같은 전력으로 신호를 송신한다면 간섭신호도 기준 신호와 똑같은 경로 손실을 갖는다고 간주할 수 있다. 이때 PSK 복조기내 정합필터 출력단에서의 하나의 간섭신호의 출력은 다음과 같다[11],[12].

$$\sigma_1^2 = \frac{E_b \cdot \rho^2}{3N}, \quad (5)$$

단, N : PN 코드의 길이.

기준 사용자 이외의 다른 사용자에게 의한 MAI는 가우시안 랜덤 변수로 간주할 수 있다. 따라서 간섭신호의 전력 스펙트럼 밀도를 N_1 라고 하면 $\sigma_1^2 = N_1/2$ 이므로 하나의 간섭신호가 MAI에 기여하는 정도는 다음과 같다.

$$MAI = N_1 = \frac{2}{3N} E_b \cdot \rho^2, \quad (6)$$

단, ρ : 송신 신호의 순시 진폭.

그러므로 모든 사용자의 간섭을 고려한 DS/CDMA 시스템의 신호 대 잡음비 ($\gamma_s = SNR$)

는 다음과 같다.

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

단, $N_o/2$: AWGN의 전력스펙트럼 밀도,
 U : 사용자수.

2.3 통신로 페이딩

위성과 항공기간, 위성과 지상 이동체간의 통신은 라이시안 페이딩 통신로를 모델링하여 많은 연구가 행해지고 있는데, 이 통신로를 통해 수신되는 신호는 가시거리 성분인 직접파 성분과 전송로에 인접한 물체로부터 반사되어, 시간지연의 갖고 도달하는 반사파 성분으로 구성된다. 본 논문에서는 직접파 성분은 이동체의 움직임에 의한 도플러 천이(Doppler shift)와 같은 형태를 지니지만 진폭은 레일리 분포를 하고 위상은 랜덤 분포를 한다. 이러한 직접파 성분과 레일리 분포하는 반사파 성분이 합해져서 수신신호를 형성하는데 이것은 라이시안 분포를 하여 라이시안 페이딩을 받은 꼴이 된다. 이때, 수신 신호 진폭을 실효치로 정규화시킨 진폭의 변동을 $\rho(=R/\sqrt{R^2})$ 라고 하면 ρ 에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다[4].

$$p(\rho) = \begin{cases} 2\rho(K+1) \cdot \exp[-K - \rho^2(K+1)] \\ \quad \cdot I_0[2\rho\sqrt{K(K+1)}] & : \rho \geq 0 \\ 0 & : \text{그외} \end{cases} \quad (8)$$

단, $I_0(\cdot)$ 는 0차의 변형 베셀함수이고 K 는 직접파 대 반사파의 전력비를 나타낸다. 특히 $K=0$ 인 경우는 직접파가 존재하지 않고 반사파만 존재하는 육상이동통신에서의 채널환경에 해당하는 레일리 페이딩 환경이며, $K=\infty$ 인 경우는 직접파 성분이 강한 통신로 환경을 나타낸다. K 값의 범위가 $0 < K < \infty$ 일 때 이동위성통신 시스템의 통신로 모델인 라이시안 페이딩 통신로를 나타낸다.

2.4 Turbo 부호화 기법

터부호는 두 개의 RSC(Recursive Systematic Convolutional)를 병렬로 연결하고, 두 부호기의 출력 시퀀스를 다르게 하기 위해서 두 부호기를 인터리버로 나누어 놓은 형태를 취하고 있다. 데이터

시퀀스가 프레임 단위로 전송된다면 터보 부호기 메모리가 v 인 두 개의 RSC로 이루어진 블록 코드로써 생각할 수 있다. 또한 RSC 부호기의 모든 상태를 0으로 만들기 위해서 v 개의 정보 비트를 한 프레임 끝에 붙인다. 따라서 두 개의 RSC 사이에 놓인 인터리버 n 은 데이터 프레임과 테일 비트 (tail bit) v 가 더해진 길이이다. 이 때, 터보 부호기에서는 시스템태틱 시퀀스(systematic sequence)와 패리티 시퀀스(parity sequence)로 구성된 부호 시퀀스로 부호화한다[13], [14].

터보 부호에 대하여 심볼당 에너지를 다음과 같이 비트당 에너지로 바꿀 수 있다.

$$E_s = E_b R_c \frac{n-v}{n} \quad (9)$$

여기서, R_c 는 부호율이고, $(n-v)/n$ 는 부호기를 종료시키기 위해서 v 개의 테일 비트를 사용한 것을 고려하기 위한 상수이다. 모두 0인 시퀀스가 보내지고 그 중 잘못된 부호어를 복호화할 때 최소한 2비트의 정보에 에러가 발생하게 된다.

III 라이시안 페이딩 환경에서의 DS/CDMA GMSK 신호의 오율성능 해석

라이시안 페이딩 환경에서의 GMSK 신호의 오율식은 잡음만의 오율식에 라이시안 페이딩의 확률밀도함수를 곱하여 적분을 하면 얻을 수 있다. 따라서 라이시안 페이딩 환경에서의 GMSK 신호의 오율식은 잡음만의 오율식에 라이시안 페이딩 확률밀도 함수를 곱하여 적분을 행하면 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$P_{eF} = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} p(\rho) \cdot \text{erfc}(\sqrt{\text{SNR}}) d\rho \quad (10)$$

IV. 계산결과 및 검토

본 논문에서는 이동체 무선전파 환경에서 발생하는 다중경로 라이시안 페이딩 채널에서 DS/CDMA GMSK 신호의 BER 성능을 수치적으로 계산한다. 식 (10)로부터 BER과 E_b/N_0 의 계산 결과가 그림 2와 그림 3에서 라이시안 페이딩 환경에서 처리이득이 511이고 다중 접속간섭이 존재할 때와 존재하지 않을 경우 K 값과 송신 가우시안 필터

의 대역폭 $B_b T=0.5$ 로 한 오율특성을 나타낸 것이다.

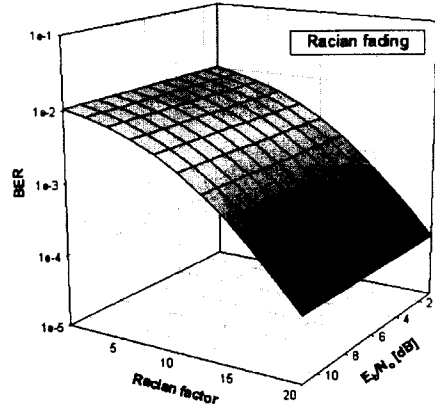


그림 2. 라이시안 페이딩 환경에서의 BER 성능
Fig 2. BER performance in rician fading environment

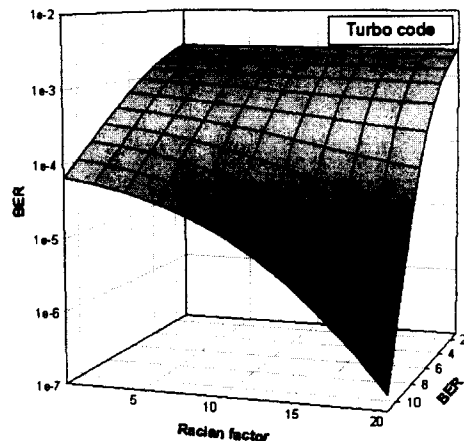


그림 3. 터보 부호에 의한 BER 성능
Fig 3. BER performance by turbo code technique

K 의 값이 0 일 때는 직접파가 존재하지 않는 경우로서 육상이동통신에서 자주 접하는 레일리 페이딩에 해당하며, K 의 값이 ∞ 일 경우는 직접파 성분이 지배적인 환경을 나타낸다. 채널이 페이딩에 의해서 훼손 되므로 성능은 더욱 열악하게 된다.

그림 4는 $K=12$ 이고 처리이득이 511일 때 다중접속 간섭수와 $B_b T$ 을 변수로 한 오율특성을 나타낸 것이다.

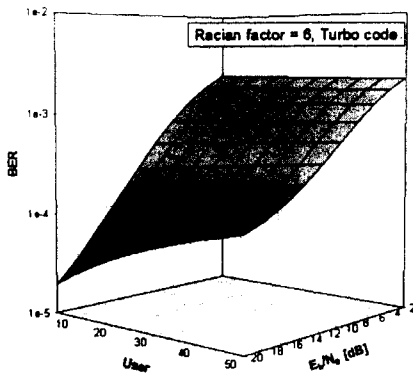


그림 4. 이동체 페이딩 환경에서 터보 부호에 의한 BER 성능

Fig 4. BER performance by turbo code technique in mobile fading environment

다중접속 간섭이 1, 10, 50 일 때 음성통신 시스템의 기준인 10^{-3} 을 만족하지 못함을 알았다. 이것은 다중접속 간섭의 영향이 크기 때문이다. 식 (10)의 SNR이 라이시안 페이딩, 다중접속 간섭에 의해서 매우 열화되므로, 그 차는 거의 분명하게 된다.

V. 결론

본 논문에서는 무선 전파통신 환경에서 발생하는 다중경로 라이시안 페이딩 채널에서의 시스템을 제안 하였으며, 제안 시스템의 BER 성능을 분석하였고, 성능개선 기법으로 터보 부호화를 적용하여 시스템의 성능을 개선하였다.

VI. 참고문헌

[1] A. Ogawa, M.Katyama, T. Yamazato, and T. Maebara, "Performance of CDMA with DS/SS/GMSK", in *Proceedings ISSSTA'94*, pp. 564-568, July 1994.
 [2] 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.
 [3] J. P. Aldis and S. K. Barton, "The Performance of GMSK as Modulation Scheme for Direct Sequence CDMA," *Proc. Int.*

ISSSTA'94, pp. 554-559, July 1994.
 [4] L. J. Mason, "Error probability evaluation for systems employing differential detection in a rician fast fading environment and gaussian noise," *IEEE Trans. commun.*, vol. COM-35, no.1, pp. 39-46, Jan. 1987.
 [5] R. Maciejko, "Digital modulation in Rayleigh fading in the presence of cochannel interference and noise," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-29, no.9, pp. 1379-1386, Sep. 1981.
 [6] J. R. Cruz, R. S. Simpson, "Cochannel and intersymbol interference in quadrature-carrier modulation system," *IEEE Trans. commun.*, vol. COM-29, no.3, pp. 285-297, March 1981.
 [7] I. Korn, "GMSK with differential phase detection in the satellite mobile channel," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-38, no.11, pp. 1980-1986, Nov. 1990.
 [8] K. Murota, K. Hirade, "GMSK modulation for digital mobile radio telephony," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-29, pp. 1044-1050, July 1981.
 [9] A. Youngacoglu, D. Makrakis, and K. Feher, "Differential detection of GMSK using detection feedback," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 36, pp. 641-649, June 1988.
 [10] S. M. Elnoubi, "Analysis of GMSK with discriminator detection mobile radio channel," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. VT-35, no.2, pp. 72-76, May 1986.
 [11] R. Kerr, Q. Wang, and V. K. Bhargava, "Capacity Analysis of Cellular CDMA", in *Proceedings ISSSTA'92*, pp. 235-238, Nov. 1992.
 [12] E. A. Geraniotis and M. B. Pursley, "Performance of noncoherent direct-sequence spread spectrum communications over specular multipath fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 34, no. 3, pp. 219-226, Mar. 1986.
 [13] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near shannon limit error-correcting coding and decoding : turbo code," in *proc. IEEE ICC 1993*, pp. 1064-1070, 1993.
 [14] W. J. Blackert, E. K. Hall, and S. G.

Wilson, "An upper bound on turbo code free distance," *IEEE ICC*, vol. 2, June. 1996.

저자 소개



강희조(Heau-Jo Kang)

1994년 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학박사)

1996년 8월~1997년 8월 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수

1990년 3월~2003년 2월 동신대학교 전자정보통신공학부 교수

2003년 3월~2005년 현재 목원대학교 컴퓨터멀티미디어콘텐츠공학부 조교수

※관심분야 : 무선통신, 유비쿼터스, RFID, 멀티미디어통신, 가시광통신, 이동통신 및 위성통신, 환경전자공학, 무선광통신, 디지털콘텐츠, 텔레매틱스 등