라이시안 페이딩 환경에서 BCH 부호화된 DS-CDMA 16 QAM 신호의 선택합성 다이버시티 수신시의 오율 성능

오성진* · 김언곤**
*국립한밭대학교 정보통신전문 대학원 정보통신공학과
**국립한밭대학교 정보통신·컴퓨터 공학부

Error Rate Performance of BCH Coded DS-CDMA 16 QAM Signal in Selective Combining Diversity Reception in Rician Fading Environments

Sung-jin Oh* · Eon-gon Kim**
*Dept. of Inform. & Comm. Eng.,Graduate School of Inform. & Comm.,
HANBAT National University
**School of Inform. & Comm. · Computer Eng., HANBAT National University
E-mail : cowvoy@empal.com

요 약

본 논문에서는 Rician Fading 환경에서의 BCH부호화 된 DS-CDMA 16 QAM 신호의 선택합성 (SC : Selective Combining) 다이버시티 수신시의 오율 성능을 해석하였다. 첫 번째로 라이시안 페이딩 환경에서의 성능을 해석하고, 두 번째로 선택합성 다이버시티 수신기법을 채용한 경우, 세 번째로 다이버시티와 BCH부호화를 함께 채용하는 경우 성능을 해석하였다. 수치해석 결과 다이버시티와 부호화기법을 함께 채용함으로서 이동 무선데이터 통신채널 환경을 극복할 수 있는 현저한 성능 개선을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, Error rate performance of BCH coded DS-CDMA 16 QAM signal is analyzed using selective combining Diversity reception techniques in the environments of Rician fading. First in the performance of DS-CDMA 16 QAM signal in Rician fading channel, Second using SC diversity recepting techniques, and third using both diversity and BCH coding error rate performance is evaluated. From the results of Numerical analyzed it is found that a synergistic performance improvement is shown due to both diversity reception and coding techniques overcoming mobile wireless data communication channel environments.

키워드
Selective Combining, Rician Fading, Direct Sequence CDMA, AWGN

Ⅰ. 서 론

인터넷과 무선 기술이 발전하고 정보화 사회가 가속화됨에 따라 무선 채널을 통한 고속 및 양질의 음성, 데이터, 영상을 동시에 주고받는 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 급속히 확대되어가고 있다. 기존 유선전화 사업 위주의 통신사업 판도를 무선 멀티미디어 서비스 위주의 정보통신 사업으로 급속하게 변화시켜가고 있으며 사람들이 생활 방식까지도 달라질 수밖에 없도록 하고 있는 것이다. 이에 따라 이용자의 정보 요구에 대한 마인드도 급속도로 변화하고, 휴대용 컴퓨터 또는 PDA(Personal Digital Assistant), 이동 전화의 보급이 증가

하면서 장소에 상관없이 무선으로 기반 통신망에 접속시키는 수단으로 무선 LAN 또는 이동 전화의 무선 데이터 서비스 대한 관심이 고조되고 있다. [1]

시간이 지날수록 이동 전화의 사용자 수가 늘어나면서 주파수 자원의 한계가 발생하자 이를 해결하기 위한 방법으로 광대역 CDMA(B-CDMA : Broadband CDMA)변조 방식과 고효율 변조 방식인 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)방식을 채택한 시스템을 연구중에 있다. 기존의 QPSK (Quaternary Phase Shift Keying) 신호방식을 이용하는 경우보다 채널용량과 주파수 효율면에서 우수한 QAM신호 방식을 이용하면 여러 가지 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 QAM 신호 방식을 이용하는 DS- CDMA(Direct Sequence CDMA) 시스템의 성능을 알아 보려고 한다.

본 논문에서는 라이시안 페이딩 채널환경에서 오율성능을 이론적으로 유도하고 성능을 해석한다. 또한 잡음과 페이딩에 의해 열화된 DS-CDMA 16 QAM 신호의 성능을 개선시키기 위하여 선택합성 다이버시티(SC : Selective Comb -ining) 수신기법과 BCH 부호화 기법을 이용하여 성능을 해석한다.

II. 해석 모델

본 논문에서 해석 모델은 그림 1과 같다.

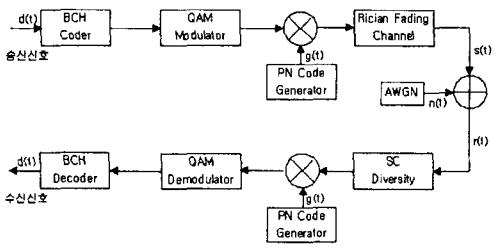

그림 1 해석 모델

1. DS-CDMA 16 QAM

DS-CDMA 16 QAM 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s(t) = \sum_{i=1}^{K} \sqrt{2P_i} g_i(t)(d_1^i(t)\cos w_c t + d_2^i(t)\sin w_c t) + n(t) \quad (1)$$

여기서, p_i는 각 사용자에 대한 평균 신호 전력이면, d_1^k와 d_2^k는 ±1, ±3을 갖는 각 사용자들에 대한 정보 데이터이다. n(t)는 중심 주파수 w_c인 대역 통과 필터를 통과한 평균치가 0인 협대역 가우스 잡음이다. 그림 1의 해석 모델에서 DS-CDMA 16 QAM 신호는 서로 직교하는 반송파 주파수를 각각 디지털 변조신호로 반송파 억압 양측대파 진폭변조(DSB-SC)시킨 2개의 반송파를 합성한 것으로 기존의 디지털 변조 방식에 비해 2배의 정보량을 전송할 수 있는 효율적인 변조 방식이다. 16QAM 변조기 출력 신호는 확산신호 $g(t)$에 의해 직접 확산 되고, 확산된 신호 $s(t)$가 채널로 송신된다.

무선 채널에서는 가우스 잡음(AWGN)과 라이시안 페이딩의 영향을 받는다. 채널을 통과한 수신신호 $r(t)$는 역확산 신호에 의해 확산전의 신호로 복원된다. [2]

2. 라이시안 페이딩 환경

라이시안 분포는 직접파와 같은 하나의 강한 정상 성분에, 다중파가 중첩된 경우의 포락선 변동에 적용되는데, 교외를 포함하는 육상 이동 무선의 순시 변동, 마이크로파의 해상 회선에 있어서 직접파와 해면 반사파의 위상 변화가 거의 문제가 되지 않는 짧은 주기의 변동을 근사한다. 또 반사체로서 달의 표면을 이용한 레이다 신호의 실측예도 라이시안 페이딩 통신로를 나타내고 있다.

$$p_R(R) = \frac{R}{\sigma_\gamma^2}\exp\left\{-\frac{R^2+A^2}{2\sigma_\gamma^2}\right\} I_0\left(\frac{RA}{\sigma_\gamma^2}\right) \quad (2)$$

단, σ_γ^2 : 반사파 전력

$A^2/2$: 직접파 전력

$I_0(\cdot)$: 0차의 제1종 변형 베셀 함수

3. 선택합성 다이버시티 수신기법에 의한 성능 개선

선택합성 다이버시티 수신 기법으로 서로 무상관에 가까운 페이딩 수신파로부터 페이딩의 영향을 적게 받은 수신파를 선택하는 방법이다. 따라서 위상 검출기가 필요 없으며 동일한 신호를 2개 이상의 가지(branch)로 수신하였을 때 주기적으로 각 가지의 입력 순시 신호 전력 대 잡음 전력비를 비교하여 페이딩의 영향을 적게 받은 신호를 선택하는 검파 후 합성 다이버시티 기법으로 수신 구조가 다른 기법에 비해 간단하다는 장점이 있다. 라이시안 페이딩 환경하에서 선택합성 다이버시티 수신시 출력 순시 CNR의 확률밀도함수는 다음과 같이 구할 수 있다. [3]

$$p_{SC}(\gamma) = L\left(\frac{K+1}{\Gamma_i}\right)\exp\left(-K-\frac{(K+1)\gamma}{\Gamma_i}\right) \cdot I_0\left(2\sqrt{\frac{K(K+1)\gamma}{\Gamma_i}}\right) \cdot \left\{1-\exp(-K)\sum_{n=0}^{\infty}\frac{K^n}{n!} \cdot \frac{\Gamma\left(n+1,\frac{(K+1)\gamma}{\Gamma_i}\right)}{\Gamma(n+1)}\right\}^{L-1} \quad (3)$$

단, Γ_i : 다이버시티 입력 평균 신호대 잡음 전력비

$\Gamma(\cdot,\cdot)$: 불완전 감마함수

$\Gamma(\cdot)$: 감마함수

III. 오율 해석

1. 라이시안 페이딩 환경에서 DS-CDMA 16 QA -M 신호의 성능 해석

16 QAM 시스템은 전력과 주파수 효율면에서 우수한 반면, 심벌마다 다른 신호 레벨을 가지는 특성 때문에 페이딩 통신로에서의 오율 성능이 상당히 열화 된다. 라이시안 페이딩에 의해 열화 되고 잡음이 부가되어 수신된 16 QAM 신호의 I-채널과 Q-채널의 신호는 직접파 성분이 평균에 해당되는 가우스 분포를 한다. 즉, I-채널의 송신 신호가 d/2와 3d/2인 경우에 I-채널의 수신 신호의 확률밀도함수를 각각 $p_1(z)$와 $p_2(z)$라고 하면 이들은 다음과 같다.

$$p_1(z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_n^2+\sigma_1^2)}}\exp\cdot\left\{-\frac{(z-(A\cdot d/2))^2}{2(\sigma_n^2+\sigma_1^2)}\right\} \quad (4)$$

$$p_2(z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_n^2+\sigma_2^2)}}\exp\cdot\left\{-\frac{(z-(A\cdot 3d/2))^2}{2(\sigma_n^2+\sigma_2^2)}\right\} \quad (5)$$

결국 페이딩에 의하여 열화 되고 잡음이 부가되어 수신된 I-채널의 확률 밀도함수는 $p(z)=p(x+n_c)$인 가우스 분포를 따른다. 여기에서 감쇄 계수 A와 직접파 대 반사파 계수 K와의 관계는 다음과 같다.

$$A=\sqrt{\frac{K}{K+1}} \quad (6)$$

각각의 I-채널과 Q-채널의 신호 성분은 서로 독립적이다. 복호과정에서의 오율성능을 평가하는 신호레벨은 송신된 16 QAM 신호의 I-채널과 Q-채널에서 신호의 송신레벨이 d/2인 경우에 threshol -d 레벨이 각각 0과 D이고, 3d/2인 경우에는 thr -eshold 레벨이 D라고 하면 I-채널이나 Q-채널에서의 오율 해석은 동일하며 I-채널에서 에러가 발생할 수 있는 것은 모두 3가지 경우인데 이것은 다음 식 (7)~(9)과 같다. [4]

$$P_{IF1}=\int_{-\infty}^{0}p_1(z)dx=\frac{1}{2}\mathrm{erfc}\left(\sqrt{\frac{\Gamma K}{10(K+1)+\Gamma}}\right) \quad (7)$$

$$P_{IF2}=\int_{-\infty}^{d}p_2(z)dx=\frac{1}{2}\mathrm{erfc}\left(\sqrt{\frac{9\Gamma K}{10(K+1)+9\Gamma}}\right)-\left(\sqrt{\frac{4\Gamma(K+1)}{10(K+1)+9\Gamma}}\right) \quad (8)$$

$$P_{IF3}=\int_{d}^{-\infty}p_1(z)dx=\frac{1}{2}\mathrm{erfc}\left(\sqrt{\frac{4\Gamma(K+1)}{10(K+1)+\Gamma}}\right)-\left(\sqrt{\frac{\Gamma K}{10(K+1)+\Gamma}}\right) \quad (9)$$

단, $\Gamma=\left\{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)^{-1}+\frac{2(K_k-1)}{3N}\right\}^{-1}$

: 평균 신호 대 잡음 전력비

K_k : 사용자 수

N : PN 부호의 길이

$\frac{E_b}{N_0}$: 비트 에너지 대 잡음전력 비

K : 직접파대 반사파 전력비

그리고 Q-채널에서의 오율을 각각 P_{QF1}, P_{QF2}, P_{QF3}이라고 하면, I-채널과 Q-채널은 서로 독립이라고 앞에서 언급을 하였다. 그렇기 때문에 두 채널의 오율은 같고, 평균 오율값은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$P_{EF}=P_{IF1}+P_{IF2}+P_{IF3} \quad (10)$$

여기서 중복 에러를 빼주면 최종 오율식은 식 (11)과 같다.

$$P_{TF}=P_{EF}-\frac{1}{4}P_{EF}^2 \quad (11)$$

2. 선택합성 다이버시티 수신시의 DS-CDMA 16 QAM 신호의 성능 해석

선택합성 다이버시티 수신의 경우 수신 안테나는 반파장 ($\lambda/2$)의 정수배만큼 떨어져 각 가지의 수신 전력의 차가 크게 된다. 또한 이때 각각의 가지에 수신되는 신호는 서로 무상관이라고 가정한다. 이러한 라이시안 페이딩 채널에서 AWGN이 수신기에 부가될 때 출력 순시 신호대 잡음 전력비 γ_s에 대한 확률밀도함수는 식(3)과 같다.

$$P_{SC} = \sum_{n=1}^{3} \frac{1}{2} \int_0^{\infty} erfc\left(A_n \sqrt{\frac{\gamma_s}{10}} + B_n \sqrt{\frac{2\Gamma_o}{5}} \right) \cdot p_{SC}(\gamma_s) d\gamma_s \quad (12)$$

위의 식을 풀면

$$P_{SC} = \sum_{n=1}^{3} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{B_n^2 \Gamma_o}{5} \right) \cdot \left[\left\{ 1 - \mathrm{Lexp}(-K) \sum_{m=0}^{\infty} \frac{K^m}{m!} \right\} D_{-1}\left(\frac{4B_n^2 \Gamma_o}{5} \right) + \mathrm{Lexp}(-K) \sum_{m=0}^{\infty} \frac{K^m}{m! \Gamma(m+1)} \cdot \sum_{l=0}^{\infty} \frac{(-1)^l}{l!(m+l+1)} \left(\frac{K+1}{\Gamma_i} \right)^{m+l+1} \cdot \left(\frac{5}{A_n^2} \right)^{m+l+3/2} \Gamma(2m+2l+3) \cdot D_{-(2m+2l+3)}\left(\sqrt{\frac{4B_n^2 \Gamma_o}{5}} \right) \right] \quad (13)$$

단, Γ_o : 다이버시티 출력 평균 신호 대 잡음 전력비

$A_1 = B_2 = 1$, $A_2 = B_3 = -1$, $B_1 = 0$,

$A_3 = 3$

3. BCH 부호화 된 DS-CDMA 16 QAM 신호의 성능 해석

부호화 기법 중 순회부호로서 가장 많이 쓰이는 부호에 BCH 부호가 있는데 이는 통신로에서의 에러를 검출하여 정정 하기 위하여 사용한다. 블록부호 방식인 BCH 부호는 k개의 정보비트와 p개의 패리티 검사비트로 구성되므로 부호어의 비트 수는 n=k+p 가 되며 BCH(n, k, t)라고 나타낸다. 이때 부호 길이는 $n = 2^m - 1$인데 정정될 수 있는 에러, 즉 에러 정정능력은 다음과 같다. [5]

$$t = \lfloor p/m \rfloor$$

BCH 부호간의 최소거리 d_{min}과 에러정정능력(t)는 $2t+1 \le d_{min}$인 관계가 있다.

따라서, BCH 부호화 했을 때의 오율식은 다음과 같다.

$$P_{BCH} = \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^{n} i \binom{n}{i} P_{EF}^i (1 - P_{EF})^{n-i} \quad (14)$$

여기서 P_{EF}는 채널 오율값이다.

IV. 수치해석 및 결과

본 논문에서는 개인통신 채널환경을 라이시안 페이딩으로 모델링하여 DS-CDMA 16 QAM 신호의 오율식을 유도하고 해석하였으며, 이를 해석한 결과를 그림 2~5에 나타내었다. 파라미터로는 SNR[dB], 사용자 수(User), 직접파 대 반사파 전력비(K[dB]), PN부호의 길이(N: 처리 이득), 에러 정정능력(t)을 취했다.

그림 2는 라이시안 페이딩 환경에서 User=8, K=13[dB] 일 때 처리이득(N)에 따른 영향을 나타내는데 처리이득이 커도 음성통신에 필요한 오율(10^{-3})에 도달하지 못함을 알 수 있다. 하지만 처리이득이 증가 할수록 성능이 향상됨을 알 수 있다.

그림 3은 라이시안 페이딩 환경에서 BCH 부호화를 채용한 경우User=8,K=13[dB] 일 때 에러 정정능력(t)에 따른 영향인데, 그림 2의 경우보다 조금 더 성능이 향상되었지만 무선 데이터 통신에서 요구하는 10^{-5}정도의 오율이 달성되지 않음을 알 수 있다.

그림 4는 라이시안 페이딩 환경에서 2-Branch 선택합성 다이버시티를 채용한 경우 N=192,K=13 [dB]일 때를 사용자 수에 따른 변화를 보여주고 있다. 사용자 수가 5일 때는 무선 데이터 통신에서 요구하는 오율을 달성함을 보였다.

그림 5는 2-Branch 선택합성 다이버시티와 BCH 부호화를 함께 채용하는 경우의 오율 성능인데 선택합성 다이버시티 수신기법만을 사용하는 경우는 약 29[dB]에서 음성통신에 필요한 오율(10^{-3})을 달성할 수 있었으나 다이버시티와 부호화 기법을 함께 채용한 경우에서는 에러정정능력(t)이 1, 2, 3, 4일 때 각각 22.5[dB], 20[dB], 18[dB], 17[dB]에서 무선 데이터 통신에 필요한 오율(10^{-5})을 얻을 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 라이시안 페이딩 환경에서 DS-CDMA 16 QAM 신호에 BCH 부호화 기법과 선택합성 다이버시티 수신기법을 사용했을 때의 오율 성능을 해석하였다. 해석의 결과로서 개인 휴대통신 채널 환경에서 부호화 기법과 다이버시티 기법을 함께 사용함으로써 더 큰 성능 개선을 얻을 수 있었다. 또한 사용자 수에 따른 변화에서는 사용자수가 적을 때는 성능이 아주 우수하지만 사용자 수가 증가할수록 성능 저하 현상이 있어 이에 따른 대책이 요구된다고 하겠다.

참고 문헌

[1] 강전섭 "실내 무선 환경하의 광대역 CDMA

시스템의 성능해석에 관한 연구" 한밭대학교 정보통신 대학원 석사학위 논문, p1, 2003.2
[2] R. De Gaudenzi and M. Luise, "Analysis and Design of an All Digital Demodulator for Trellis Coded 16-QAM Transmission Over Nonlinear Satellite Channel," IEEE Trans.Commun., Vol. COM-42, No. 2, Feb. 1995.
[3] 김언곤 " 개인 휴대통신에서 최적의 부호 매핑과 검파 기법을 채용하는 16 QAM 시스템의 성능 해석" 한국 항공대학교 박사 학위논 문,1995.2
[4] 김언곤, 주윤환, 조성준 "라이시안 페이딩 통신로에서 톤 간섭을 받지 않는 BCH 부호화 된 16 QAM 신호의 오율 해석" 한국 전자파 학회 종합 학술대회 발표회 논문집, pp237~242 1995
[5] J.G.Proakis, Digital Communcications McGrow Hill pp463~467, 2000

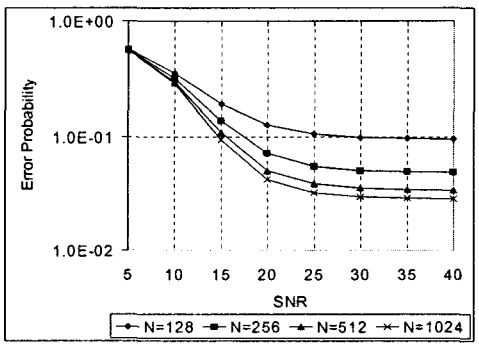

그림 2. 라이시안 페이딩 환경에서 N(처리이득)에 따른 DS-CDMA 16 QAM 신호의 오율(User=8,K=13[dB])

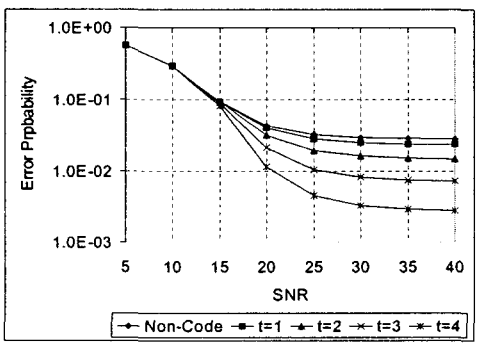

그림 3. 라이시안 페이딩 환경에서 에러정정능력(t)에 따른 DS-CDMA 16 QAM 신호의 오율(User=8,K=13[dB])

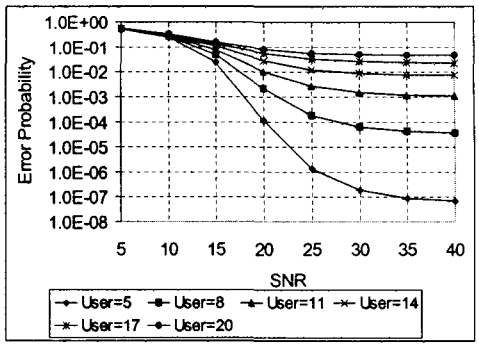

그림 4. 라이시안 페이딩 환경에서 선택합성 다이버시티 기법을 채용하는 DS-CDMA 16 QAM 신호의 오율(N=192,K=13[dB])

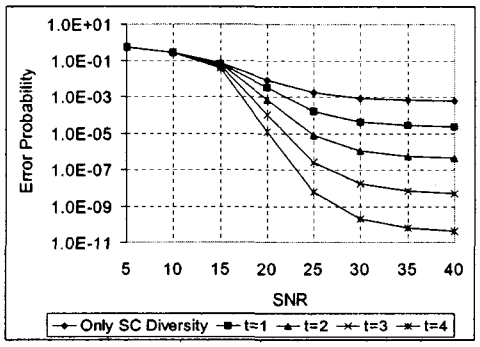

그림 5. 라이시안 페이딩 환경에서 BCH 부호화와 선택합성 다이버시티 기법을 채용하는 DS-CDMA 16 QAM 신호의 오율(N=192,K=13[dB],User=8)