

육상이동 위성채널에서 다이버시티와 채널 부호를 적용한 DS / CDMA 성능 분석

Performance Analysis of DS/CDMA with Diversity and Channel Coding in a Land-Mobile Satellite Channel

김 홍 칠 · 김 남

Hong Chil Kim · Nam Kim

요 약

직접경로 신호성분이 존재하는 위성채널을 섀도우드(shadowed) 라이시안 페이딩 채널로 모델링하였으며 다중경로 억제능력과 용량증가의 특성을 갖는 DS / CDMA에 대한 성능분석을 하였다. 성능에 중요한 영향을 주는 요인인 브랜치(branch)수, 다중사용자수, 확산코드길이 등의 변화에 따른 비트에러율에 의하여 성능평가하였다. 성능개선을 위한 방법으로는 선택 합성법의 다이버시티와 채널부호로 해밍 부호, BCH 부호와 길쌈 부호를 적용하였다. 성능분석 결과, 다중사용자수가 감소하고 다이버시티 합성 브랜치수가 증가함에 따라, 그리고 칩주기가 일정할 때 확산코드 길이가 증가함에 따라 성능이 개선되었다. 다이버시티와 채널 부호화를 동시에 적용한 경우가 성능면에서 더 효과적이었고, 해밍 부호보다는 BCH 부호나 길쌈 부호를 적용한 성능이 우수하였다. 전반적으로 심한(heavy) 섀도우잉의 경우 직접경로 신호성분이 아주 작아지기 때문에 약한(light) 경우나 중간(average) 경우에 비하여 성능이 저조하였다.

Abstract

The satellite channel with a line-of-sight signal component is modeled by a shadowed Rician fading channel. We adopt a direct-sequence /code division multiple access (DS /CDMA), which has the advantage to suppress the multipath effect and increase the user capacity. The performance which is evaluated by bit error probability is subjected to the influence of branch number, multi-user number, and spreading code-length. As the result of the analysis, performance advance is achieved with multi-user number decreasing, number of branches increasing, and spreading code-length increasing as chip duration is constant. To use both of diversity combining scheme and channel coding is more efficient for performance improvement than the case using diversity combining scheme only. The use of BCH coding and convolutional coding shows better consequence than Hamming coding. Totally, the performance degradation for heavy shadowing is much larger than that for light and average shadowing as heavy shadowing decreases LOS signal.

I. 서 론

최근 급성장하고 있는 무선통신의 발전은 위성통신까지 그 범주를 확장해가고 있으며 정보화에 대한 관심과 진전으로 이미 지상 셀룰러 통신에서 용량증가와 다중경로 억제능력을 갖춘 직접시퀀스/코드분할 다중방식(direct sequence/code division multiple access)을 채택하였다. 또한, 경제발전과 인간활동 범위의 확대에 따라 항공기, 선박, 자동차와 사람을 포함하는 통신의 광역화와 다양화 추세가 정보화 요구의 중요한 요소가 되고 있다. 이에 따라 선진 각국은 물론 우리나라에서의 무선통신에 대한 발전방향은 지상통신과 위성통신을 포괄하는 글로벌 개인이동통신(global mobile personal communication by satellite)으로 옮겨가고 있는 실정이다^[1]. 위성을 이용한 이동위성 통신서비스는 지상 이동통신망에 비하여 서비스의 광역성, 회선설정의 유연성, 내재해성, 동보성 등의 위성통신 고유의 특성을 갖는다. 상용화를 위해 연구·개발하고 있는 위성통신은 과거 정지궤도(stationary orbit)를 이용하던 것과는 달리, 저궤도 위성(low earth orbit)에 의한 이동통신 시스템으로 이는 시간지연의 감소, 단말기의 소형·경량화, 저출력화가 가능하고 주파수 재사용을 통하여 수용용량을 증가시킬 수 있다^{[1][2]}.

지상통신과 마찬가지로 위성통신에서도 채널모델링과 분석은 시스템 성능분석상 중요한 것이다. 육상이동 위성채널(land-mobile satellite channel)의 채널특성은 수신신호의 분포에 따른 확률밀도함수로서 나타낼 수 있으며, 보통 직접경로(line-of-sight)가 존재하는 시골이나 교외 환경에서는 새도우드 라이시안 페이딩(shadowed Rician fading) 모델을 나타낸다^[3]. 이때, 직접경로 신호는 새도우잉 효과(shadowing effect)에 의하여 로그노말 분포(log-normal distribution)를 나타내며, 다중경로(multipath)에 의한 합성신호는 레일리 분포(Rayleigh distribution)를 따른다.

본 논문에서는 육상이동 위성채널을 새도우드 라이시안 페이딩 채널로 모델링하고 다중경로 억제효과와 용량증가의 특성이 있는 DS/CDMA 시스템에 대한 성능분석을 한다. 페이딩과 새도우잉으로 인한 성능저하를 개선하기 위한 대응책으로 다이버시티 기법과 채널 부호화를 고려한다. 다이버시티 합성기법으로는 선택 합성법을 고려하고, 채널부호화 방법으로는 해밍 부호(Hamming code), BCH 부호(Bose-Chudhuri-Hocquenghem code)와 길쌈 부호(convolutional code)를 적용한 성능을 구하여 성능개선의 정도를 분석하고자 한다.

II. 육상이동 위성시스템 모델

2-1 채널 모델

육상이동 위성채널은 새도우드 라이시안 채널로 모델링하는데, 직접경로 신호성분은 새도우잉 효과에 의하여 로그노말 분포를 하고 다중경로 합성신호는 레일리 분포를 한다. 따라서, 직접경로 신호성분과 다중경로 성분의 합성신호로 구성되는 육상이동 위성채널의 수신신호 포락선 r 의 확률밀도함수(probability density function)는 다음과 같다^[4].

$$p_{\beta}(r) = \frac{r}{b_0 \sqrt{2\pi d_0}} \int_0^x \frac{1}{z} \exp \left[-\frac{(\ln z - \mu_0)^2}{2d_0} - \frac{(r^2 + z^2)}{2d_0} \right] \times I_0(rz/b_0) dz \quad (1)$$

여기서, $I_0(\cdot)$ 는 1종 0차 수정 베셀함수(modified Bessel function of 1st kind and 0th order), b_0 는 다중경로 전력(multipath power), 그리고 μ_0 와 d_0 는 새도우잉 효과에 의한 평균과 분산이다.

위에서 설명한 위성채널 모델은 협대역 시스템(narrowband system)에서 이용할 수 있다. 그러나, 확산대역 변조(spread-spectrum modulation)를 적용하여 채널의 지연확산(delay spread)보

표 1. 채널 파라미터

Table 1. Channel parameter.

파라미터 \ 새로운	새도우잉	약한 새도우잉 (Light shadowing)	중간 새도우잉 (Average shadowing)	심한 새도우잉 (Heavy shadowing)
b_0		0.023	0.018	0.009
μ_0		0.115	-0.115	-3.91
$\sqrt{d_0}$		0.115	0.61	0.806

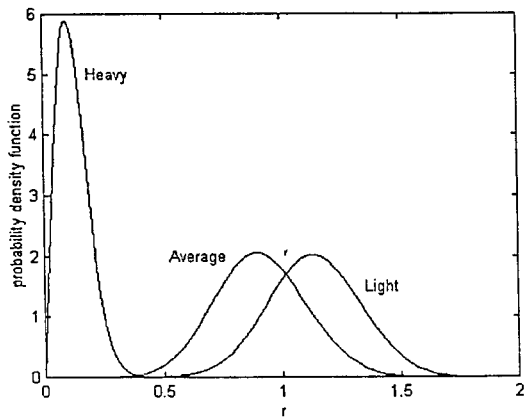


그림 1. 새도우드 라이시안 확률밀도함수

Fig. 1. Shadowed Rician probability density function.

다 칩주기(chip duration)가 더 작아진다면, 다중 경로 전력은 수신기의 상관연산(correlation operation)에 의하여 부분적으로 감소하게 된다^[4]. 따라서, 확산대역 변조를 이용한 시스템의 수신신호 포락선 확률밀도함수는 협대역 시스템과 동일하지만 다중경로 전력 b_0 는 감소하게 된다. 본 논문에서 이용한 채널 파라미터는 표 1에 나타내었으며, 이 값을 이용하여 구한 새도우드 라이시안 확률분포는 그림 1과 같다^{[4],[5]}.

2-2 수신기 모델

수신기는 총 L 개의 브랜치(branch)를 갖는 다이버시티 합성시스템을 가정하며 확산대역 변조를 이용하는 것으로 그림 2에 나타내었다. BPSK 변조를 이용하는 DS/CDMA 시스템에서 임의의 한 브랜치 $l(l=1,2, \dots, L)$ 의 수신신호는 다음과 같다^[5].

$$r_l(t) = \sum_{k=1}^K A\beta_{l,k}a_k(t-\tau_{l,k})b_k(t-\tau_{l,k})\cos(\omega_c t + \phi_{l,k}) + n_l(t) \quad (2)$$

여기서, K 는 사용자수, A 는 송신신호 진폭으로 모든 사용자에게 동일하다는 가정을 하며, $\beta_{l,k}$ 는 식 1의 분포특성을 갖는 페이딩 포락선이다. 사용자 k 에 대하여, $\{a_k\}$ 는 확산대역 코드(spread-spectrum code), $\{b_k\}$ 는 데이터 시퀀스, $\tau_{l,k}$ 는 시간지연(time delay), $\phi_{l,k}$ 는 위상, ω_c 는 캐리어 주파수, 그리고 $n_l(t)$ 는 $N_0/2$ 의 전력스펙트럼밀도(power spectral density)를 갖는 부가성 백색 가우시안 잡음(AWGN:additive white Gaussian noise)이다.

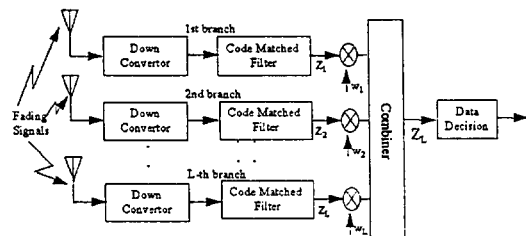


그림 2. 수신기 블럭도

Fig. 2. Block diagram of the receiver.

수신신호가 브랜치 l 에서 사용자 1의 데이터 시퀀스 $\{b_l\}$ 에 일치하는 상관수신기(correlation receiver)의 출력은 다음과 같다.

$$z_l = A\beta_{l,1}T_b b_l^0 + \sum_{k=2}^K A(b_k^{-1} X_{l,k} + b_k^0 \hat{X}_{l,k}) + \eta_l \quad (3)$$

여기서, T_b 는 데이터 비트의 주기이며 사용자 1에 대하여 시간지연 $\tau_{l,1} = 0$ 으로 가정한다. 그리고, $k=2, 3, \dots, K$ 인 경우

$$X_{l,k} = R_{1k}(\tau_{l,k})\beta_{l,k}\cos(\phi_{l,k}) \quad (4)$$

$$\hat{X}_{l,k} = \hat{R}_{1k}(\tau_{l,k})\beta_{l,k}\cos(\phi_{l,k}) \quad (5)$$

$$R_{1k}(\tau_{l,k}) = \int_0^{\tau_{l,k}} a_k(t - \tau_{l,k})a_1(t)dt \quad (6)$$

$$\hat{R}_{1k}(\tau_{l,k}) = \int_{\tau_{l,k}}^{T_b} a_k(t - \tau_{l,k})a_1(t)dt \quad (7)$$

이다. 식 (4)에서 η_l 은 평균이 0이고 분산이 N_0T_b 인 가우시안 랜덤변수이고 b_k^{-1} 과 b_k^0 는 각각 $\{b_k\}$ 의 과거와 현재 데이터 비트이다. 식 (6)과 식 (7)은 사용자 1의 확산코드와 다른 사용자 확산코드 사이의 부분상호상관함수(partial cross-correlation function)이다. 본 논문에서는 브랜치 l 의 수신기가 원하는 신호의 위상에 동기를 이룬다고 가정하여 사용자의 확산코드와 캐리어 위상에 대한 추적에러(tracking error)를 무시한다. 따라서, 페이딩 환경에서의 성능분석에 새도우드 라이시안 포락선 페이딩만을 적용한다.

수신신호에 영향을 주는 잡음은 다중사용자 간섭과 백색 가우시안 잡음의 합으로 나타낼 수 있으며, 다중사용자 간섭은 가우시안 근사화를 가정하여 평균이 0이고 분산이 σ_i^2 이다. 이때, z_l 의 두번째 항은 다중사용자 간섭(I_l)을 나타내며 이의 분산 σ_i^2 은 아래와 같이 주어진다^[5].

$$\sigma_i^2 = \frac{2A^2T_b^2}{3N_c} (K-1) \left(b_0 + \frac{1}{2} \exp(2d_0 + 2\mu_0) \right) \quad (8)$$

결과적으로, 다중사용자 간섭을 포함한 전체잡음($I_l + \eta_l$)의 분산은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sigma_i^2 &= N_0T_b + \sigma_i^2 \\ &= N_0T_b + \frac{2A^2T_b^2}{3N_c} (K-1) \left(b_0 + \frac{1}{2} \exp(2d_0 + 2\mu_0) \right) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, N_c 는 대역확산 코드의 길이로서 Gold 코드로 가정한다.

III. 새도우드 라이시안 페이딩에서의 DS/CDMA 시스템 성능 분석

본 논문에서는 새도우드 라이시안 페이딩 채널에서의 성능개선 방법으로 다이버시티 합성기법과 채널부호화를 고려하여 성능분석을 하였다.

3-1 페이딩의 영향을 받은 비트에러율

식 (3)의 상관출력신호 z 에서 첫 항이 원하는 신호라고 할 때, 식 (9)의 전체잡음을 이용하면 브랜치 l 의 신호대 잡음비는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} SNR_l &= \frac{A^2T_b^2\beta_{l,1}^2}{2\sigma_i^2} \\ &= \gamma \cdot \beta_{l,1}^2 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{단, } \gamma = \frac{3N_cE_b}{3N_cN_0 + 2(K-1)[2b_0 + \exp(2d_0 + 2\mu_0)]} \quad (11)$$

여기서, $E_b = A^2 T_b / 2$ 이다.

페이딩 채널의 영향을 고려한 평균 비트에러율은 위 식 (10)에서 구한 신호대 잡음비를 적용한 BP-SK 신호 비트에러율과 페이딩 확률밀도함수를 곱하여 적분을 취하면 얻을 수 있다^[6].

$$P_e = \int_{-\infty}^{\infty} p_e(x)p_\beta(x)dx \quad (12)$$

$$\text{단, } p_e(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{SNR_t})$$

여기서, $\operatorname{erfc}(\cdot)$ 는 에러 보함수(complementary error function)이고 p_β 는 새도우드 라이시안 페이딩 특성을 나타내는 확률밀도함수이다.

3-2 위성채널에서의 다이버시티 합성기법

본 논문에서는 선택 합성법(selection combining)의 다이버시티를 적용한다. 선택 합성법은 선형 다이버시티 합성기법의 하나로 브랜치 l 의 수신 신호가 z_l 이고 각 브랜치($l=1, 2, \dots, L$)에서의 가중치 계수(weighting coefficient)가 w_l 이라고 할 때, 선형결합된 수신신호 Z_L 은 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} Z_L &= \sum_{l=1}^L w_l z_l \\ &= \sum_{l=1}^L w_l \beta_{l,1} \cos \phi_{l,1} z_l \end{aligned} \quad (13)$$

선택 합성법은 가장 간단한 다이버시티 합성기법으로서 최대 신호대 잡음비를 갖는 브랜치의 z_m 에 대응하는 계수 w_m 은 1로 하고 다른 계수들 $w_j(j \neq m)$ 는 모두 0으로 한다. 이러한 경우, Z_L 은 $\beta_{m,1} \cos \phi_{m,1} z_m$ 이 되고, 모든 브랜치의 페이딩 특성이 동일하다고 가정할 때 채널 확률밀도함수는 식 (14)와 같고 이러한 채널 페이딩의 영향을 조건으로 하는 평균 비트에러율은 식 (15)와 같다^[5].

$$p_{\beta_l}(x) = L p_\beta(x) \left(\int_0^x p_\beta(y) dy \right)^{L-1} \quad (14)$$

$$P_e = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{SNR_t}) \cdot L p_\beta(x) \left(\int_0^x p_\beta(y) dy \right)^{L-1} dx \quad (15)$$

3-3 위성채널에서의 채널부호화 기법

수신신호는 페이딩과 새도우잉에 의한 성능 저하를 개선하기 위한 부호화 기법으로는 크게 선형 블럭부호화와 컨벌루션 부호화가 있다. 본 논문에서는 이들 기법 중에서 해밍 부호, BCH 부호와 길쌈 부호를 고려한다^{[7],[8]}.

3-3-1 해밍 부호화

해밍 부호는 구성과 처리 속도면에서 우수하며 단일비트 에러정정($t=1$)에 쓰인다. 정보비트 k 가 4이고 전송비트 n 이 7인 해밍(7,4) 부호를 사용할 때, BPSK 변조($M=2$)를 이용한 복호화된 신호의 비트에러율은 다음과 같다^{[7],[8]}.

$$\begin{aligned} P_{ec} &= \frac{M}{2(M-1)} \sum_{i=t+1}^n \binom{n}{i} P_e^i (1-P_e)^{n-i} \\ &= \sum_{i=2}^n \binom{n}{i} P_e^i (1-P_e)^{n-i} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\text{단, } \binom{n}{i} = {}_n C_i = \frac{n!}{(n-i)!i!}$$

여기서, P_e 는 페이딩 채널에서의 평균 비트에러율이다.

3-3-2 BCH 부호화

선형 부호 중에서 가장 중요한 부호로 순회 부호가 있는데 이 중에서 가장 중요한 부호로 BCH 부

호가 있다. BCH 부호는 넓은 범위의 부호장과 뛰어난 에러정정 능력을 가지고 있다. 부호화된 블록의 길이가 n 이고 t 개의 오류를 정정할 수 있는 채널 부호화에 대한 비트에러율은 다음과 같다^{[8],[9]}.

$$P_{ec} = \frac{M}{2(M-1)n} \sum_{i=t+1}^n i \binom{n}{i} P_e^i (1-P_e)^{n-i} \quad (17)$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^n i \binom{n}{i} P_e^i (1-P_e)^{n-i}$$

단, $t = (d_{min} - 1) / 2$: 채널의 비트 오류수
 d_{min} : 부호의 최소거리

본 논문에서는 BPSK 변조를 가정하였으므로 $M=2$ 를 적용하며, 부호화된 블록의 길이 n 은 15이고 정보비트 k 가 7인 BCH(15,7) 부호를 사용하여 2 비트에러 정정($t=2$)에 대한 성능분석을 한다.

3-3-3 길쌈 부호화

길쌈 부호는 우수한 에러정정능력을 가지고 있기 때문에 위성통신과 디지털 셀룰러 시스템에서 널리 이용하고 있다. Hard decision을 가정할 때, 길쌈 부호화된 변조신호의 비트에러율 상한은 다음과 같다^[10].

$$P_{ec} < \frac{1}{k_s} \frac{dT(D, N)}{dN} \Big|_{N=1, D=2\sqrt{P_e(1-P_e)}} \quad (18)$$

$$= \frac{1}{k_s} \sum_{d=d_{min}}^{\infty} W_d [4P_e(1-P_e)]^{d/2}$$

여기서, k_s 는 심볼 비트수, d_{min} 은 최소 자유거리 (free distance), 그리고 $\{W_d\}$ 는 $N=1$ 일 때 길쌈 부호기의 전달함수 $T(D, N)$ 을 미분하여 얻은 계수이다^[11]. P_e 는 페이딩 채널에서의 평균 비트에러율이며, 본 논문에서는 부호율이 1/2, 구속장이 9인 길쌈 부호를 이용한 시스템 성능분석을 한다.

IV. 다이버시티와 채널 부호를 적용한 성능 시뮬레이션 및 고찰

다중사용자 간섭과 채널페이딩 특성을 고려한 수신신호의 비트에러율을 확산코드 길이(N_c), 다이버시티 브랜치수(L), 다중사용자수(K), 그리고 E_b/N_0 를 함수로 하여 시뮬레이션하였다. 또한, LOS 신호성분에 대한 섀도우잉 효과의 정도에 따라 약한(light) 경우, 중간(average) 경우, 심한(heavy) 경우로 나누어 성능을 분석하고 비교하였다. 분석에 사용한 다중경로 전력(b_0), 섀도우잉 효과의 평균(μ_0)과 분산(d_0)에 대한 채널 파라미터는 표 1과 같다.

그림 3은 확산코드로 이용한 확산코드길이를 변수로 하여 비트에러율을 계산한 결과이다. 이때 브랜치수 L 은 4이고 사용자수 K 는 500을 조건으로 하며, 확산코드길이 N_c 가 2047, 4095, 그리고 8191인 경우에 대하여 비교하였다. 칩주기($T_c = T_b / N_c$)가 일정하다고 가정할 때, 확산코드길이와 E_b

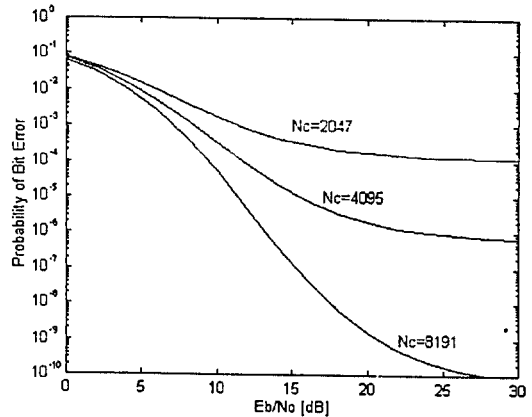


그림 3. 중간 섀도우잉에서 선택 합성법을 사용할 때 확산코드길이 변화에 대한 비트에러율($K=500, L=4$)

Fig. 3. Bit error probability as to code-length variations for using selection combining in average shadowing ($K=500, L=4$).

$1/N_o$ 가 증가함에 따라 성능개선을 보였다. 그 이유로는 식 (9)의 다중사용자 간섭은 확산코드길이에 반비례하기 때문이다.

그림 4는 다이버시티 브랜치수의 변화에 대한 비트에러율 결과로서, 선택도우잉 정도에 따라 비교한 결과이다. 여기서, 사용자수 K 는 500, E_b/N_o 는 25 dB이며 확산코드길이 N_c 는 4095이다. 직접경로에 대한 선택도우잉 효과가 약한 경우나 중간인 경우, 브랜치수의 증가에 따른 성능개선이 두 경우 사이에 거의 유사한 결과를 보인 반면, 심한 경우는 약한 경우나 중간 경우의 선택도우잉일 때와 큰 차이를 보였다. 다이버시티 브랜치수가 4일 경우, 비트에러율을 비교해 보면 약한 경우는 0.4×10^{-6} 이고 중간 경우는 0.1×10^{-5} 으로 약한 경우가 비트에러율이 0.4배 작았으며, 심한 선택도우잉에서는 이보다 아주 큰 비트에러율 0.026×10^{-2} 을 나타내었다.

그림 5는 사용자수와 비트에러율 사이의 결과이다. 여기서, 브랜치수 L 은 4, E_b/N_o 는 25 dB, 확산코드길이 N_c 는 4095으로 가정하였다. 사용자수가

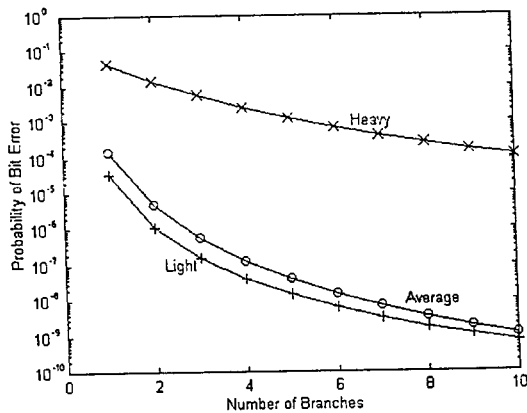


그림 4. 위성채널에서 선택 합성법을 사용할 때 브랜치수에 대한 비트에러율 ($K=500$, $N_c=4,095$, $E_b/N_o=25$ dB)

Fig. 4. Bit error probability vs. number of branch for using selection combining in satellite channel ($K=500$, $N_c=4,095$, $E_b/N_o=25$ dB).

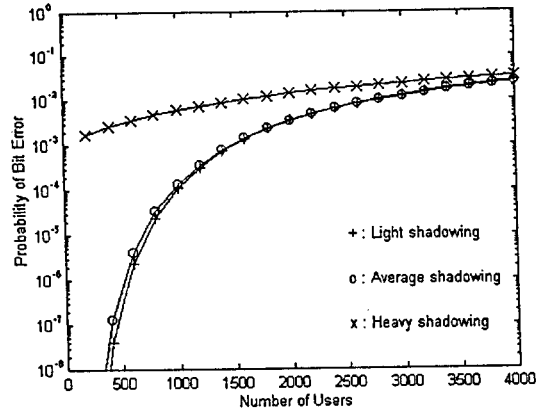


그림 5. 위성채널에서 선택 합성법을 사용할 때 사용자수에 대한 비트에러율 ($L=4$, $N_c=4,095$, $E_b/N_o=25$ dB)

Fig. 5. Bit error probability vs. number of users for using selection combining in satellite channel ($L=4$, $N_c=4,095$, $E_b/N_o=25$ dB).

증가할수록 성능이 저하됨을 알 수 있으며, 일례로 사용자수가 1,000인 경우에 심한 선택도우잉에서의 비트에러율은 0.6×10^{-2} 인데 비하여 약한 경우나 중간 경우는 0.1×10^{-3} 으로 1/60배 작은 비트에러율로서 성능 차이를 확인할 수 있었다.

그림 6 ~ 그림 8은 직접경로 신호가 약한 경우, 중간 경우, 심한 경우의 선택도우잉에 대하여 E_b/N_o 의 변화에 따른 비트에러율의 결과이다. 여기서, 브랜치수 $L=4$, 사용자수 $K=500$, 확산코드길이는 $N_c=4,095$ 을 가정하였다. 채널부호로 해밍(7,4) 부호, BCH(15,7) 부호, 그리고 구속장이 9이고 부호율이 1/2인 길쌈(2,1,9) 부호를 적용한 결과를 비교하였으며, 전체적으로 E_b/N_o 가 증가함에 따라 성능이 개선됨을 알 수 있었고 해밍 부호보다는 BCH 부호나 길쌈 부호의 성능이 우수하였다. 그림 6은 약한 선택도우잉에서의 결과로서 비트에러율이 10^{-6} 일 때를 비교하여 보면, 채널부호를 사용하지 않은 경우 E_b/N_o 가 약 19 dB가 필요한 데 비하여 해밍

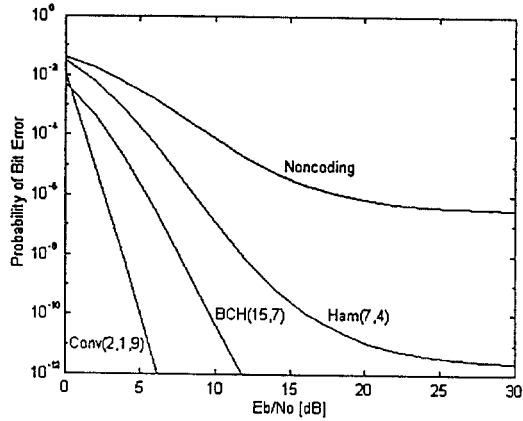


그림 6. 약한 새도우잉이 있는 위성채널에서 선택 합성 방법을 사용할 때 채널 부호화에 의한 비트에러율 ($K=500, L=4, N_c=4,095$)

Fig. 6. Bit error probability employing channel coding for using selection combining in satellite channel with light shadowing ($K=500, L=4, N_c=4,095$).

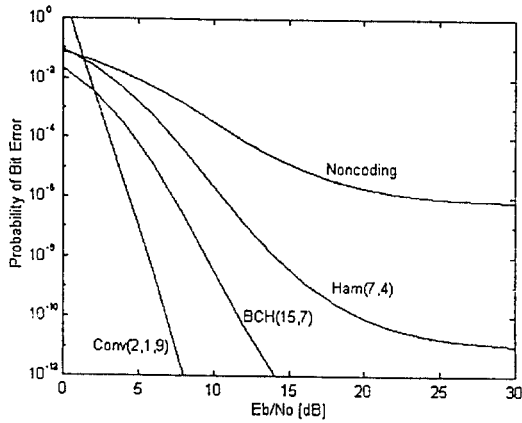


그림 7. 중간 새도우잉이 있는 위성채널에서 선택 합성 방법을 사용할 때 채널 부호화에 의한 비트에러율 ($K=500, L=4, N_c=4,095$)

Fig. 7. Bit error probability employing channel coding for using selection combining in satellite channel with average shadowing ($K=500, L=4, N_c=4,095$).

(7,4) 부호를 적용하면 약 9 dB로 10 dB의 성능이득을 보이고, BCH(15,7) 부호에서는 약 6 dB로 해밍 부호보다도 4 dB 이득을 나타내었다. 길쌈(2, 1,9) 부호에서는 성능개선 효과가 다른 두 채널부호보다 우수하여 E_b/N_o 가 약 2.5 dB를 가지고 동일한 성능을 나타내었다.

그림 7은 중간 새도우잉의 결과로 비트에러율이 10⁻¹²일 때를 비교하여 보면, 채널부호를 적용하지 않은 경우보다 해밍(7,4) 부호를 적용하면 E_b/N_o 가 약 11 dB가 필요하여 14 dB 정도의 성능이득을 보이고, BCH(15,7) 부호는 약 8 dB가 필요하여 해밍 부호보다 3 dB 정도의 성능이득을 나타내었다. 길쌈 부호의 경우 BCH 부호보다도 성능개선이 더 우수하여 약 4 dB의 E_b/N_o 로서 동일한 성능을 나타내었다.

그림 8은 심한 새도우잉에서의 결과로 약한 경우나 중간 경우 새도우잉의 결과에 비해 상당한 성능저하를 보이며, 이는 새도우잉 효과가 심하여 직접 경로 신호성분이 아주 작아지기 때문이다. 또한,

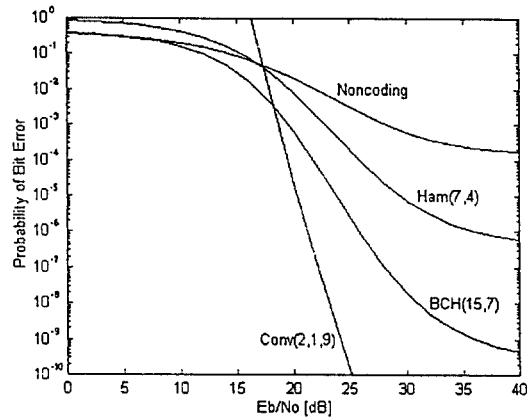


그림 8. 심한 새도우잉이 있는 위성채널에서 선택 합성 방법을 사용할 때 채널 부호화에 의한 비트에러율 ($K=500, L=4, N_c=4,095$)

Fig. 8. Bit error probability employing channel coding for using selection combining in satellite channel with heavy shadowing ($K=500, L=4, N_c=4,095$).

E_b/N_0 가 증가할수록 약한 경우나 중간 경우와 비슷한 성능개선 양상을 보이고 페이딩과 새도우잉에 의한 성능저하는 채널부호를 적용하여 개선할 수 있음을 확인할 수 있었다. 비트에러율이 10^{-6} 일 때, 중간 경우와 심한 경우의 결과를 비교하여 보면, 해밍(7,4) 부호의 경우 E_b/N_0 가 약 11 dB가 필요한 반면 심한 경우는 약 36 dB가 필요하여 중간 경우가 25 dB의 성능이득을 보이고, BCH(15,7) 부호의 경우 중간 경우가 심한 경우보다 약 18 dB, 길쌈(2,1,9) 부호에서는 중간 경우가 약 17 dB의 성능이득을 나타내었다.

V. 결 론

확산대역 변조를 이용한 위성채널에서의 페이딩 특성을 고려한 DS/CDMA 시스템 성능분석을 하였다. 성능에 영향을 주는 요인으로는 브랜치수, 다중사용자수, 확산코드의 길이 등이 있으며, 직접경로 신호성분에 대한 새도우잉 정도인 약한 경우, 중간 경우, 심한 경우에 대하여 성능비교를 하였다. 페이딩과 새도우잉에 의한 성능저하를 개선하기 위한 방법으로는 선택 합성법과 채널부호로 해밍 부호, BCH 부호와 길쌈 부호를 적용하였으며 E_b/N_0 를 함수로 하여 시뮬레이션하였다.

성능분석 결과로 볼 때, 다중사용자수가 증가하고 다이버시티 합성 브랜치수가 감소함에 따라, 칩주기가 일정할 때 확산코드길이가 감소함에 따라 성능이 저하됨을 확인하였다. 그러나 성능개선을 하기 위하여 칩주기를 감소함으로써 대역폭이 증가하고, 반면 다이버시티 브랜치수를 증가함에 따라 시스템 구성의 복잡성이 증가하게 된다. 따라서, 대역폭과 시스템 복잡도면에서의 선택을 해야할 필요가 있다. 직접경로 신호에 대한 새도우잉 효과의 관점에서 보면, 약한 경우나 중간 경우의 성능은 유사한 양상을 나타내었으며, 새도우잉이 심하여 직접경로 성분이 다중경로 전력보다 작은 심한 경우는 약한 경우나 중간 경우보다 다이버시티 브랜치수에서는 0.26×10^6 배, 사용자수에서는 60배 정도 성능

면에서 저조하다는 것을 알 수 있었다. 한편, 새도우잉 정도에 관계없이 선택 합성법과 채널 부호화를 동시에 적용한 경우의 성능이 다이버시티만을 적용한 성능보다 더 우수한 개선효과를 나타내었다. 비트에러율 10^{-6} 을 비교조건으로할 때 중간 새도우잉의 결과에서 보면, 채널 부호를 적용하지 않은 경우보다 해밍 부호에서는 E_b/N_0 측면에서 약 14 dB, BCH 부호에서는 약 17 dB, 길쌈 부호에서는 약 21 dB의 성능개선 효과를 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 최문일, "글로벌 개인휴대통신(GMPCS)의 사업현황 및 추진과제", 통신개발연구원 통신정책 ISSUE, 제 8권 제 3호, July 1996.
- [2] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, and L. A. Weaver, "Increased Capacity Using CDMA for Mobile Satellite Communication," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 8, no. 4, pp. 503-514, May 1990.
- [3] B. Vucetic and J. Du, "Channel Modeling and Simulation in Satellite Mobile Communication Systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 10, no. 8, pp. 1209-1218, Oct. 1992.
- [4] R. D. J. van Nee, H. S. Misser, and R. Prasad, "Direct-Sequence Spread Spectrum in a Shadowed Rician Fading Land-Mobile Satellite Channel," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 10, no. 2, pp. 350-357, Feb. 1992.
- [5] Y. A. Chau and J. T. Sun, "Diversity with Distributed Decisions Combining for Direct-Sequence CDMA in a Shadowed Rician-Fading Land-Mobile Satellite Channel," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 45, no. 2, pp. 237-247, May 1996.

- [6] R. D. J. van Nee and R. Prasad, "Spread-Spectrum Path Diversity in a Shadowed Rician Fading Land-Mobile Satellite Channel," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 42, no. 2, pp. 131-136, May 1993.
- [7] A. J. Viterbi and J. K. Okumura, *Principles of Digital Communication and Coding*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1979.
- [8] 이문승, 심수보, "간섭과 페이딩 환경에서 다이버시티와 부호화 기법을 이용하는 FH / MFSK 신호의 오율 특성", *한국통신학회 논문지*, 제 17권 제 11호, pp. 1311-1319, Nov. 1992.
- [9] T. S. Rappaport, *Wireless Communications*, IEEE Press, New Jersey, 1996
- [10] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1989.
- [11] J. Conan, "The Weight Spectra of Some Short Low-Rate Convolutional Codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, no. 9, pp. 1050-1053, Sep. 1984.

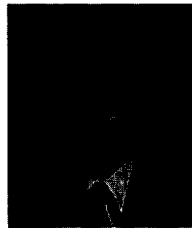
김 홍 칠



1995년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
 1995년 3월~1997년 2월 : 충북대학교 대학원 정보통신공학과(공학석사)
 1997년 1월~현재 : 현대전자

[주관심분야] 디지털 이동통신, 위성통신, 무선통신 시스템

김 남



1981년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1983년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1988년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1992년 8월~1993년 8월 : 미 Stanford대학 방문교수
 1989년 2월~현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수
 [주관심분야] 위성통신, 전자파 해석, 전파전파, 적응배열 안테나, EMI / EMC