가변 확산이득 구조의 멀티미디어 멀티레이트 DS/CDMA 시스템에서 PN 시퀀스 위상에 따른 성능 영향 분석

정회원 이 연 우*, 차 균 현*

Effects of PN Sequence Phase on Performance of Variable Spreading Gain (VSG) Multi-media Multi-Rate DS/CDMA Systems

Yeonwoo Lee*, Kyun Hyon Tchah* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 가변 확산이득 (VSG)구조를 갖는 멀티미디어 멀티레이트 DS/CDMA 시스템에서 PN 시퀀스의 위상에 따른 다중 접속 간섭을 분석하였고, 결정적인(deterministic) 시퀀스에 의한 비트 오율 성능분석을 수행하기 위해서 다른 확산 이득과 다른 송신 전력을 갖는 다중 접속 간섭 사용자에 대해서 비트 오율 식을 유도하였다. 다른 확산 이득과 다른 송신 전력을 갖는 다중 접속 간섭 사용자에 대해서 비트 오율 성능을 구한 결과, 기준 사용자의 데이터 전송률에 따라 다중 접속 간섭을 결정하는 요소가 달라짐을 보였다. 또한, 신호대 잡음비 E_b/N_0가 10dB이하인 경우에는 AWGN이 성능을 결정하는 지배적인 요소로 작용하기 때문에 시퀀스의 초기 위상에 의한 이득을 거의 기대할 수 없지만, E_b/N_0가 증가할 수록 MSQCC/CO와 CO/MSQCC 기준에 의한 시퀀스 초기 위상의 선택기준이 성능을 가장 향상시킬 수 있는 최적의 선택기준이라는 결론을 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we analyze the effects of PN sequence phase on the multiple access interference (MAI) of multi-media multi-rate DS/CDMA system with variable spreading gain (VSG) scheme, and furthermore derive the bit error rate (BER) equation for MAI users with different powers and spreading gains. In the sequel, we verify the influences of deterministic sequences on the bit error rate performance. As the results of the bit error rate of a desired user against interfering users with different spreading gains and different transmit powers, it is shown that the domain factor to determine the MAI component could be different according to the data transmission rate of a desired user. We also show that any kind of PN sequence phase does not yield considerable advantage, unless E_b/N_0 is considerably greater than 10dB, since below that value AWGN dominates. However, when the higher E_b/N_0, the performance of both MSQCC/CO and CO/MSQCC criterion give the better results.

* 고려대학교 전자공학과 통신연구실(yeou@popeyes.korea.ac.kr)
논문번호 : 99242-0614, 접수일자:1999년 6월 14일

Ⅰ. 서 론

차세대 무선 통신 시스템의 특징은 음성을 비롯한 저속 데이터 서비스부터 이미지와 같은 고속 데이터 서비스에 이르기 까지 다양한 서비스를 하나의 전송 구조에 유연성과 신뢰성 있게 제공할 수 있다는 것이다. 특히, 이러한 다양한 종류의 데이터 서비스들을 시스템에 통합할 수 있는 시스템으로 DS/CDMA 시스템은 타 시스템에 비해 특유의 유연성과 능력을 인정 받아 멀티레이트(multi-rate) 서비스를 수용하기 위해 적합한 시스템의 유력한 후보 중 하나로 제안 되었다.[1] 참고 문헌 [1]에 제시된 시스템 중에서 고정된 칩율(chip rate) 또는 확산 대역폭(spreading bandwidth)내에서 데이터 전송률에 따른 확산 이득(spreading gain)만을 변화시켜 단순히 멀티레이트 서비스를 실현 시킬 수 있는 가변 확산이득(variable spreading gain : VSG) 구조는 단순한 구조면에서 매우 선호되는 시스템이다. 본 논문에서는 고속 데이터 서비스에 작은 확산 이득을 부여하고, 반대로 저속 데이터 서비스에 큰 확산 이득을 제공하는 VSG-DS/CDMA 시스템을 근간으로 하여 멀티미디어 멀티레이트 서비스를 제공하는 시스템을 고려하였다.

이러한 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템에 대한 성능분석에 대한 연구는 극히 적은 편으로, 참고 문헌 [1]에서는 랜덤 시퀀스(random sequence)를 가정한 비동기식(asynchronous) 시스템에 대한 성능을 분석하였고, 참고 문헌 [2]에서는 동기식(synchronous) VSG-SSMA 시스템에 대해서 고려하였다. 특히, 참고 문헌 [1]에서는 간섭으로 작용하는 사용자의 수가 매우 많거나 확산이득이 매우 크다고 가정하여 다중 접속 간섭(multiple access interference : MAI)을 가우시안(Gaussian) 잡음으로 가정하거나, 확산 시퀀스를 랜덤 시퀀스로 가정하였다. 그렇지만, VSG-DS/CDMA 시스템의 경우에는 고속 데이터 서비스를 제공 받는 사용자에 의한 전력은 저속 데이터 사용자의 전력에 비해 상대적으로 크기 때문에 MAI의 지배적인 요인으로 작용할 수 있으므로 이러한 가정이 항상 성립하는 것은 아니다. 따라서, VSG-DS/CDMA 구조의 멀티레이트 시스템은 기존 시스템과 달리 확산이득과 PN 시퀀스의 길이가 동일하지 않아서 기존의 분석과는 달리 확산 이득과 할당 전력 및 시퀀스 선택에 따른 MAI를 분석해야 한다. 또한, 확산 이득이 작고, 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio : SNR)가 높은 경우에는 이나 선택된 시퀀스의 위상(sequence phase)에 따라 성능이 달라질 수 있으므로 이에 대한 성능 영향 분석이 요구된다.

본 논문에서는 비동기식 VSG-DS/CDMA 시스템을 모델로 하여, AO/LSE (auto-optimal/least sidelobe energy) 및 LSE/AO(least sidelobe energy /auto-optimal)[3], MSE/AO (maximum sidelobe energy/auto-optimal) [4], CO/MSQCC(cross-optimal /mean square cross correlation) 및 MSQCC/CO (mean square cross correlation/cross-optimal)[5] 등과 같은 시퀀스 선택기준(selection criteria)을 바탕으로 선택된 m-시퀀스 및 Gold 시퀀스와 선택기준을 적용하지 않은 랜덤 시퀀스를 성능 분석에 사용하였다. 성능 분석의 척도는 MAI 분석을 통해 구한 비트 오율을 바탕으로 하였고, 확산 이득과 할당 전력 및 선택 시퀀스와 위상에 따라서 성능분석을 수행하였다. 또한, 본 논문에서 구한 비트 오율 식은 기존의 단일 데이터 전송률 시스템에 대해서 분석한 비트 오율식과 유사한 형태로서 부분 CCF를 사용하여 다른 데이터율 사용자에 의한 간섭 파라미터를 평균 간섭 파라미터 항으로 근사화 및 단순화 시켰다.

성능 분석 결과, 기준 사용자의 데이터 전송률에 따라 다른 데이터율에 의한 MAI를 결정하는 요소가 달라짐을 알 수 있었다. 즉, 기준 사용자가 저속 데이터율을 사용하는 경우에는 확산 이득비와 간섭 사용자의 확산 이득 및 전력비가 주된 파라미터인 반면, 기준 사용자가 고속 데이터 사용자의 경우에는 간섭 사용자와의 확산이득과는 상관없이 기준 사용자에 대해서 간섭 사용자의 확산 이득이 큰 경우 비트 오율이 감소한다. 또한, 신호 대 잡음비 (E_b/N_0)가 10dB이하인 경우에는 AWGN이 성능을 결정하는 지배적인 요소로 작용하기 때문에 시퀀스의 초기 위상에 의한 영향을 거의 받지 않지만, E_b/N_0가 증가할 수록 MSQCC/CO와 CO/MSQCC 기준에 의한 시퀀스 초기 위상의 선택기준이 성능을 가장 향상시킬 수 있는 최적의 선택기준이라는 결론을 얻을 수 있었다.

본 논문의 2장에서는 PN 시퀀스 상관 파라미터에

대하여 기술하며, 3장에서는 멀티레이트 VSG DS/CDMA 시스템 모델과 해석적인 분석방법을 제시하며, 4장에서는 제시된 해석적인 방법을 통해 얻어진 성능분석 결과에 대해서 설명한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. PN 시퀀스 상관 파라미터

일반적으로 비동기식 DS-CDMA 시스템의 성능에 있어서 PN 시퀀스의 위상의 선택은 성능을 결정하는 요소로 작용하기 때문에 매우 중요하다. 특히, even 주기(periodic) 상관함수는 시퀀스의 위상과는 독립적이라고 할 수 있지만, odd 주기 상관함수는 시퀀스의 위상에 의해 결정되므로 시퀀스의 위상은 시스템의 성능에 영향을 미친다. 일반적으로 많이 사용되는 시퀀스의 선택 기준(criteria)은 AO/LSE, LSE/AO, MSE/AO, CO/MSQCC 및 CO/MSQCC 등이다.

먼저, 동일한 시퀀스 주기 N을 갖는 시퀀스 $x=a^{(k)}$와 $y=a^{(i)}$에 대한 비주기(aperiodic) 상호상관함수(cross correlation function : CCF) 는 식 (1)과 같이 정의된다 [3].

$$C_{x,y}(l)=\begin{cases}\sum_{j=0}^{N-1-l} x_j y_{j+l}, & 0\le l\le N-1\\ \sum_{j=0}^{N-1+l} x_{j-l} y_j, & 1-N\le l\le 0\\ 0, & |l|\ge N\end{cases} \quad (1)$$

여기서, $\{a^{(k)}:1\le k\le K\}$은 K 이진(binary) 시퀀스의 집합을 의미한다. 주기 even 및 odd 상호상관과 비주기 CCF와의 관계는 식 (2), (3)과 같다.

$$\theta_{x,y}(l)=C_{x,y}(l)+C_{x,y}(l-N), \quad 0\le l\le N-1, \quad (2)$$

$$\hat{\theta}_{x,y}(l)=C_{x,y}(l)-C_{x,y}(l-N), \quad 0\le l\le N-1. \quad (3)$$

또한, 식 (2)와 (3)으로 부터 주기 CCF를 식 (4)와 같이 정의할 수 있다.

$$\theta_{x,y}(l)=\sum_{j=0}^{N-1} x_j y_{j+l} \quad (4)$$

위와 같은 시퀀스 선택기준들을 바탕으로 비동기식 DS/CDMA 시스템의 성능을 분석하고자 할 때에 가장 많이 사용하는 성능분석의 척도는 식 (5)와 같은 평균 신호 대 간섭비 (signal to interference ratio : SIR)이다 [3].

$$SIR_i=\left\{\left[\frac{1}{6N^3}\sum_{x=1,x\neq y}^{K} r_{x,y}\right]+\left(\frac{N_0}{2E_b}\right)\right\}^{-1/2} \quad (5)$$

여기서, K는 사용자의 수이고, $r_{k,i}$ 항은 MAI를 결정하는 평균 간섭 파라미터(average interference parameter : AIP)를 의미하는 것으로 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} r_{x,y} &= 2\mu_{x,y}(0)+\mu_{x,y}(1)\\ &= \sum_{l=1-N}^{N-1}\left\{2C_{x,y}{}^2(l)+C_{x,y}(l)C_{x,y}(l+1)\right\}\end{aligned} \quad (6)$$

여기서,

$$\mu_{x,y}(k)=\sum_{l=1-N}^{N-1} C_{x,y}(l)C_{x,y}(l+k) \quad (7)$$

이다. 또한, 계산량을 줄이기 위해서 식 (6)은 이 비주기 자기상관함수(auocorrelation function: ACF)를 사용하여 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{x,y}=2N^2+4\sum_{l=1}^{N-1} C_x(l)C_y(l)+\sum_{l=1-N}^{N-1} C_x(l)C_y(l+1) \quad (8)$$

본 논문에서는 고려한 시스템 모델은 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템에서는 다중 데이터를 전송할 경우에 다른 길이의 시퀀스간의 상호 상관값이 기존의 단일 전송 시스템에서 유도되었던 식들과는 다르고, 또한, 시퀀스 위상에 따른 영향도 다르다. 특히, 고속 데이터 사용자의 전송 전력이나 할당된 확산이득에 따라서 성능에 영향을 미치므로 시퀀스의 선택에 따른 정확한 MAI의 분석이 요구된다. 참고 문헌 [1]에서는 확산 시퀀스를 랜덤한 시퀀스로 가정하여 MAI에 대한 분석을 가우시안 근사화시켰다. 그렇지만, 시퀀스 선택에 따른 정확한 영향을 분석하기 위해서는 식 (5)와 같이 시퀀스의 CCF와 ACF를 반영할 수 있는 AIP에 관한 식이 요구된다. 본 논문의 3장에서는 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템 모델을 기반으로하여 시퀀스 위상을 반영할 수 있는 MAI를 분석하였다.

Ⅲ. 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템 모델 및 성능 분석

본 논문에서 고려한 멀티레이트 VSG-DS/CDA 시스템은 기본적으로 BPSK 변조방식을 고려하였다. 시

스템이 제공할 수 있는 데이터 전송률의 수는 n개이고, 이 중에서 R_i의 전송률을 사용하는 사용자들의 그룹을 R_i 부시스템(subsystem)이라고 가정한다. 또한, 고정된 칩율(chip rate) W 내에서 데이터 전송률이 변하므로 데이터 전송률이 R_i인 부시스템에서 얻을 수 있는 확산이득은 $L_i = W/R_i$이다. 이때, k번째 사용자의 전송신호는

$$s_k^{(i)}(t) = \sqrt{2P_i}\, b_k^{(i)}(t) c_k^{(i)}(t) \cos(\omega_c t + \theta_k^{(i)}) \tag{9}$$

와 같다. 여기서, ω_c는 반송파 주파수이고, $\theta_k^{(i)}$는 R_i 부시스템의 k번째 사용자의 초기 위상 오프셋(phase offset)으로 $[0,2\pi]$ 범위에서 균일하게 분포되어 있는 랜덤 변수로 가정한다. $b_k^{(i)}(t)$는 R_i 부시스템의 k번째 사용자의 데이터 비트로 {-1,1}의 값을 갖는 랜덤 변수로서 독립적이고 동일확률을 갖는다. $c_k^{(i)}(t)$는{-1,1}의 값을 갖는 k번째 사용자의 확산 시퀀스로서, 시퀀스의 주기는 N_i라고 가정한다. 또한, $P_i = E_b/T_i$는 데이터 전송률이 $R_i = 1/T_i$에 해당하는 평균전력이다. 이와 같은 전송신호를 평균이 0인 AWGN 채널환경에서 수신한 신호는

$$r(t) = n(t) + \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{K_i} s_k^{(i)}(t - \tau_k^{(i)}) \tag{10}$$

과 같다. 여기서, K_i는 데이터 전송률이 R_i인 동시 사용자의 수이고, $\tau_k^{(i)}$는 R_i 부시스템의 k번째 사용자의 상대적인 지연시간으로 $[0,T_i]$의 범위에서 균일하게 분포되어 있는 독립적인 변수라고 가정한다. 또한, $n(t)$는 채널 잡음으로 평균이 0인 AWGN으로 가정한다. 이때, R_i 부시스템의 l번째 사용자에 대한 상관기의 출력은 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Z_l^{(i)} &= \int_0^{T_i} r(t) c_l^{(i)}(t) \cos(\omega_c t)\, dt \\ &= \sqrt{P_i/2}\left\{ b_{l,0}^{(i)} T_i + \sum_{k=1,k\neq l}^{K_i} I_{k,l}^{(i)} + \sum_{j=1,j\neq i}^{n}\sum_{k=1}^{K_j} \sqrt{\frac{P_j}{P_i}} I_{k,l}^{(i)} \cos\phi_k^{(j)} \right\} + \eta_i \end{aligned} \tag{11}$$

여기서, T_i는 원하는 사용자 신호의 비트 지속시간(duration)이고, $c_l^{(i)}(t)$는 R_i 부시스템의 l번째 사용자의 확산 신호이며, $\phi_k^{(j)} = \theta_k^{(j)} - \omega_c \tau_k^{(j)}$이다. 식 (11)의 두번째 항과 세번째 항은 다중 접속 간섭(MAI)를 의미하는 것으로 두번째항은 동일 데이터율을 사용하는 다른 사용자들에 의한 간섭은 나타낸 것으로 참고문헌 [1]의 분석방법과 동일하지만, 세번째 항은 다른 데이터율을 사용하는 사용자들에 의한 간섭으로 다음과 같이 간섭에 대한 분산을 구할 수 있다. 식 (11)에서 세번째 항에 대한분산은 식 (12)와 같이 쓸 수 있다. 여기서, 위상 오프셋과 지연은 각각 상호 독립적인 랜덤 변수로 모델링되었고, 초기 위상 오프셋에 대해서 평균을 취한다고 가정하였다.

$$\text{Var[interf erence]} = \sum_{j=1,j\neq i}^{n}\sum_{k=1,k\neq l}^{K_j} \frac{P_j}{2P_i} E_{c,b_k^{(j)},\tau_k^{(j)}}[J_k^{(j)2}] \tag{12}$$

식 (12)에서 상호 상관 함수는

$$J_k^{(j)} = \int_0^{T_i} b_k^{(j)}(t-\tau_k^{(j)}) c_k^{(j)}(t-\tau_k^{(j)}) c_l^{(i)}(t)\, dt \tag{13}$$

와 같이 정의 할 수 있다. 식 (13)에서 적분의 범위는 기준 데이터 비트의 주기 $[0,T_i)$이지만, R_j부시스템을 사용하는 간섭 사용자들을 분석하기 위해서는 간섭 신호의 데이터 주기 T_j에 대해서 고려해야 한다. 일반적으로 $T_i = T_j$와 $T_i > T_j$ 및 $T_i < T_j$의 경우를 고려하는데, 첫번째의 경우는 기존의 단일 데이터 전송시스템과 동일하므로 본 논문 나머지 두가지의 경우에 대해서 고려하였다.

3.1 결정적인(deterministic) 시퀀스에 대한 다중 사용자 간섭 분석

3.1.1 Case I : $T_i > T_j$

첫 번째 경우로 원하는 사용자의 데이터 비트 주기가 간섭 사용자의 데이터 비트 주기보다 긴 경우를 고려한다. 이러한 경우, 식 (12)의 상호 상관함수의 제곱 평균값은 식 (14)와 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} E[J_k^{(j)2}] &= E[b_{k,-1}^{(j)2}] E[R_{k,l}^{(j,j)2}(0,\tau_k^{(j)})] \\ &+ \sum_{s=0}^{M-2} E[b_{k,s}^{(j)2}] E[R_{k,l}^{(j,j)2}(\tau_k^{(j)} + sT_j, \tau_k^{(j)} + (s+1)T_j)] \\ &+ E[b_{k,M-1}^{(j)2}] E[R_{k,l}^{(j,j)2}(\tau_k^{(j)} + (M-1)T_j, MT_j)] \end{aligned} \tag{14}$$

여기서, $T_i = MT_j$라고 가정하였고,

$R_{k,l}^{(j,j)}(t_1,t_2) = \int_{t_1}^{t_2} c_k^{(j)}(t-\tau_k^{(j)}) c_l^{(j)}(t)\, dt$이고, M은 시퀀스의 주기와 확산 이득의 비로 $M = N_i/N_j = L_i/L_j$라고 할

수 있다. 또한, $0 < pT_c \le \tau \le (p+1)T_c \le T_j$ 이라고 가정하면 식 (14)는 다음과 같이 세 가지 CCF를 사용하여 나타낼 수 있다.

$$E[J_k^{(j)2}] = E[b_{k,-1}^{(j)\,2}]E[R_1^2(\tau)] + \sum_{s=0}^{M-2} E[b_{k,s}^{(j)2}]E[R_2^2(\tau)] + E[b_{k,M-1}^{(j)\,2}]E[R_3^2(\tau)] \quad (15)$$

식 (15)의 세 가지 CCF는 각 구간별로 정의된 CCF로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$R_1(\tau) = \int_{\tau_k^{(j)}}^{\tau_k^{(j)}+pT_c} c_k^{(j)}(t-\tau_k^{(j)})c_l^{(i)}(t)dt = [\tau_k^{(j)} - pT_c]C_{k,l}(p+1-N_j) + [pT_c + T_c - \tau_k^{(j)}]C_{k,l}(p-N_j)$$

$$R_2(\tau) = \int_{\tau_k^{(j)}+pT_c}^{\tau_k^{(j)}+(p+1)T_j} c_k^{(j)}(t-\tau_k^{(j)})c_l^{(i)}(t)dt = [\tau_k^{(j)} - pT_c]\hat{C}_{k,l}(p+1) + [pT_c + T_c - \tau_k^{(j)}]\hat{C}_{k,l}(p)$$

$$R_3(\tau) = \int_{\tau_k^{(j)}+(M-1)T_j}^{MT_j} c_k^{(j)}(t-\tau_k^{(j)})c_l^{(i)}(t)dt = [\tau_k^{(j)} - pT_c]C_{k,l}(p+1) + [pT_c + T_c - \tau_k^{(j)}]C_{k,l}(p) \quad (16)$$

여기서, 비주기 CCF는 $C_{k,l}(p) = \frac{1}{M}\sum_{q=0}^{M-1} C_{k,l}^{(q)}(p)$ 와 $\hat{C}_{k,l}(p) = \frac{1}{M}\sum_{q=0}^{M-1} \hat{C}_{k,l}^{(q)}(p)$ 와 같이 장주기 시퀀스의 부분(partial) 비주기 CCF의 평균으로 정의할 수 있다. 그 이유는 기존의 참고문헌 [3]에서 정의한 동일 시퀀스 길이를 갖는 시퀀스에 대한 비주기 CCF의 정의는 본 논문에서 고려하고 있는 멀티레이트 시스템의 경우에 수정되어야 하기 때문이다. 즉, 각각 단주기 시퀀스에 의해 영향을 받는 부분을 장주기 시퀀스 모든 부분에 대해서 고루 영향을 분석하기 위해서는 본 논문에서 적용한 비주기 CCF는 장주기 시퀀스 벡터 $\mathbf{c}_l^{(i)} = [c_{l,0}^{(i)}, c_{l,1}^{(i)}, \ldots, c_{l,N_j-1}^{(i)}]$ 를 $(\mathbf{c}_l^{(i)})^{(q)} = [c_{l,qN_j}^{(i)}, c_{l,qN_j}^{(i)}, \ldots, c_{l,(q+1)N_j-1}^{(i)}]$ 와 같은 단주기의 부분 시퀀스 벡터들 M 개의 합으로 가정하여 각 부분의 CCF에 대한 평균을 취한 형태이다. 이때, 각 부분 비주기 CCF는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$C_{k,l}^{(q)}(p) = \begin{cases} \sum_{m=0}^{N_j-1-p} c_m^{(k)}(c_{m+p}^{(l)})^{(q)}, & 0 \le p \le N_j-1 \\ \sum_{m=0}^{N_j-1+p} c_{m-p}^{(k)}(c_m^{(l)})^{(q)}, & 1-N_j \le p < 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\hat{C}_{k,l}^{(q)}(p) = \begin{cases} \sum_{m=0}^{N_j-1} c_m^{(k)}(c_{m+p}^{(l)})^{(q)}, & 0 \le p \le N_j-1 \end{cases} \quad (17)$$

또한, 식 (15)의 두번째 항에서 데이터 비트가 독립적이고 +1과 1이 동일확률로 발생하는 랜덤 변수라고 가정하면, $E[b_{k,s}^{(j)2}]=1$ 이므로 $\sum_{s=0}^{M-2} E[b_{k,s}^{(j)2}] = (M-1)$ 라고 할 수 있다. 식 (15)에 식 (16)과 (17)을 대입하여 약간의 수학적인 계산과정을 거치면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E[J_k^{(j)2}] = \left(\frac{T_c^2}{3N_j}\right)\cdot \hat{r}_{k,l}^{(j)} \quad (18)$$

여기서, 다른 부시스템 사용자의 간섭 파라미터는

$$\hat{r}_{k,l}^{(j)} = \frac{1}{M}\sum_{q=0}^{M-1}\sum_{p=0}^{N_j-1}\Big[C_{k,l^{(q)}}^2(p+1-N_j) + C_{k,l^{(q)}}(p+1-N_j)C_{k,l^{(q)}}(p-N_j) + C_{k,l^{(q)}}^2(p-N_j) + (M-1)\big(\hat{C}_{k,l^{(q)}}^2(p) + C_{k,l^{(q)}}(p)\hat{C}_{k,l^{(q)}}(p+1) + \hat{C}_{k,l^{(q)}}^2(p+1)\big) + C_{k,l^{(q)}}^2(p) + C_{k,l^{(q)}}(p)C_{k,l^{(q)}}(p+1) + C_{k,l^{(q)}}^2(p+1)\Big] \quad (19)$$

와 같이 정의할 수 있다. 여기서, 식 (19)는 식 (17)의 부분 CCF중 $\hat{C}_{k,l}^{(q)}(p)$ 는 식 (2)와 (3)에서 정의한 주기 CCF와 형태가 동일하므로, p 가 $[0, N_j-1]$ 의 범위에서 even인 경우에는 $\hat{C}_{k,l}^{(q)}(p) = C_{k,l}^{(q)}(p) + C_{k,l}^{(q)}(p-N_j)$ 와 같이 쓸 수 있고, odd인 경우에는 $\hat{C}_{k,l}^{(q)}(p) = C_{k,l}^{(q)}(p) - C_{k,l}^{(q)}(p-N_j)$ 와 같이 정의 할 수 있다. 이 두 경우를 평균적으로 동일 확률로 발생한다고 가정하여 평균을 취한 후 식 (19)에 대입하여 정리하면, 근사적으로 식 (19)의 두 번째 항은 큰 괄호 안의 첫 번째 항과 세 번째 항의 합과 같다. 그리고, M 으로 나누게 되면 다음 식과 같이 근사화 나타낼 수 있다.

$$r_{k,l}^{(j)} = \sum_{q=0}^{M-1}\sum_{p=0}^{N_j-1}\Big[C_{k,l^{(q)}}^2(p+1-N_j) + C_{k,l^{(q)}}(p+1-N_j)C_{k,l^{(q)}}(p-N_j) + C_{k,l^{(q)}}^2(p-N_j) + C_{k,l^{(q)}}^2(p) + C_{k,l^{(q)}}(p)C_{k,l^{(q)}}(p+1) + C_{k,l^{(q)}}^2(p+1)\Big] \quad (20)$$

또한, 참고 문헌[6]과 [7]의 정의에 따라 식 (21)과 같이 간략화할 수 있다.

$$r_{k,l}^{(j)} = \sum_{q=0}^{M-1} \sum_{p=1-N_j}^{N_j-1} \left[2C_{k,l^{(q)}}^{2}(p) + C_{k,l^{(q)}}(p) C_{k,l^{(q)}}(p+1) \right]$$
$$= \sum_{q=0}^{M-1} \left[2\mu_{k,l^{(q)}}(0) + \mu_{k,l^{(q)}}(1) \right] \quad (21)$$

여기서, 식 (7)과 유사하게 $\mu_{k,l}^{(q)}(p) = \sum_{l=1-N_i}^{N_i-1} C_{k,l}^{(q)}(l) [C_{k,l}^{(q)}(l+p)]^*$ 와 같이 정의할 수 있다. 결국 식 (21)에서 알 수 있듯이 R_j 부시스템의 단주기 시퀀스 사용자 (즉, 고속 데이터 사용자)에 의한 간섭의 양은 기준 R_i 부시스템 사용자 1 사이의 부분 비주기 CCF의 합 또는, 부분 $MSC = 2\mu_{k,l}^{(q)}(0)$ 의 평균에 의해 결정된다. 즉, 단일 시스템의 경우와 유사하지만, Case I의 경우에는 장주기 시퀀스의 부분 비주기 CCF가 고려되어야 한다는 점은 주의할 사항이다. 따라서, 멀티레이트 시스템에서 성능을 향상 시키기 위해서는 식 (6)과 식 (21)의 간섭 파라미터를 동시에 최소화 할 수 있는 시퀀스와 선택된 시퀀스의 위상의 최적화가 요구된다. 따라서, 식 (11)과 (13)으로 부터 상관기 출력에 대한 분산은

$$Var(Z_i) = \frac{1}{4} N_0 T_i + \frac{P_i T_i^2}{12 N_i^3} \sum_{k=1,k\neq l}^{K_i} r_{k,l} + \sum_{j=1,j\neq i}^{n} \left(\frac{P_j T_j^2}{12 N_j^3} \right) \sum_{k=1}^{K_j} \hat{r}_{k,l}^{(j)} \quad (22)$$

와 같이 쓸 수 있다. 수신기의 출력 비트오율은 $p_b^{(i)} = Q(SNR)$ 이고, SNR은 $\sqrt{P_i / 2T_i}$ 을 식 (22)의 제곱근으로 나누어서 구하여 대입하면

$$p_b^{(i)} = Q\left(\left[\frac{N_0}{2E_b^{(i)}} + \frac{1}{6N_i^3} \sum_{k=1,k\neq l}^{K_i} r_{k,l} + \sum_{j=1;j\neq i}^{n} \frac{1}{6M^2 N_j^3} \left(\frac{P_j}{P_i} \right) \sum_{k=1}^{K_j} \hat{r}_{k,l} \right]^{-1/2} \right) \quad (23)$$

와 같다. 여기서, $M = N_i / N_j$ 이고, 동일 부시스템 사용자에 의한 간섭($r_{k,l}$)은 참고 문헌[6]에서 정의한 것과 동일하다.

3.1.2 Case II : $T_i < T_j$

Case II의 경우에는 Case I의 경우와 마찬가지로 분석방법을 유사하게 접근할 수 있다. Case II의 경우에는 기준 신호 데이터의 한 비트 내에서 간섭 신호의 데이터 비트가 변화하는 경우와 그렇지 않은 경우를 모두 고려해야 하므로, 식 (25)와 같이 $J_k^{(j)}$의 분산은 랜덤 지연 $\tau_k^{(j)}$ 변수에 의존하여 두 가지 영역에 대한 평균을 취한 형태로 나타낼 수 있다.

$$E_{c,b_k^{(j)},\tau_k^{(j)}}[J_k^{(j)^2}] = \frac{1}{T_j} \int_0^{T_j} E_{c,b_k^{(j)}}[J_k^{(j)^2}] d\tau_k^{(j)} =$$
$$= \frac{1}{T_j} \int_0^{T_i} \left(E[b_{k,-1}^{(j)^2}] E[R_{k,l}^{(j,i)^2}(0,\tau_k^{(j)})] + E[b_{k,0}^{(j)^2}] E[R_{k,l}^{(j,i)^2}(\tau_k^{(j)},T_i)] \right) d\tau_k^{(j)} +$$
$$+ \frac{1}{T_j} \int_{T_i}^{T_j} \left(E[b_{k,-1}^{(j)^2}] E[R_{k,l}^{(j,i)^2}(0,T_i)] \right) d\tau_k^{(j)} \quad (24)$$

식 (16)의 정의에 따라 식 (24)은 다음과 같이 간략화 시킬 수 있다.

$$E[J_k^{(j)^2}] = \frac{1}{T_j} \int_0^{T_i} \left(E[b_{k,-1}^{(j)^2}] E[R_i^2(\tau)] + E[b_{k,s}^{(j)^2}] E[R_3^2(\tau)] \right) d\tau_k^{(j)}$$
$$+ \frac{1}{T_j} \int_{T_i}^{T_j} \left(E[b_{k,-1}^{(j)^2}] E[R_2^2(\tau)] \right) d\tau_k^{(j)} \quad (25)$$

또한, 간섭 파라미터를 정리하면 $E[J_k^{(j)^2}]$은 식 (26)과 같다.

$$E[J_k^{(j)^2}] = \left(\frac{T_i^2}{3N_i} \right) \cdot \hat{r}_{k,l}^{(j)} \quad (26)$$

여기서, 다른 부 시스템 사용자의 간섭 파라미터는

$$r_{k,l}^{(j)} =$$
$$\frac{1}{(1/M)} \sum_{q=0}^{(1/M)-1} \sum_{p=0}^{N_j-1} \left\{ \left(\frac{T_i}{T_j} \right) \left[C_{k^{(q)},l}^2(p+1-N_i) + C_{k^{(q)},l}(p+1-N_i) C_{k^{(q)},l}(p-N_i) \right.\right.$$
$$\left. + C_{k^{(q)},l}^2(p-N_i) + C_{k^{(q)},l}^2(p) + C_{k^{(q)},l}(p) C_{k^{(q)},l}(p+1) + C_{k^{(q)},l}^2(p+1) \right]$$
$$\left. + \left(\frac{T_j - T_i}{T_j} \right) \left[\hat{C}_{k^{(q)},l}^2(p) + \hat{C}_{k^{(q)},l}(p) \hat{C}_{k^{(q)},l}(p+1) + \hat{C}_{k^{(q)},l}^2(p+1) \right] \right\} \quad (27)$$

이다. 또한, 여기서, 부분 비주기 CCF는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$C_{k,l}^{(q)}(p) = \begin{cases} \sum_{m=0}^{N_j-1-p} (c_m^{(k)})^{(q)} \cdot c_{m+p}^{(l)}, & 0 \le p \le N_i - 1 \\ \sum_{m=0}^{N_j-1+p} (c_{m-p}^{(k)})^{(q)} \cdot c_m^{(l)}, & 1 - N_i \le p < 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\hat{C}_{k,l}^{(q)}(p) = \begin{cases} \sum_{m=0}^{N_i-1} (c_m^{(k)})^{(q)} \cdot c_{m+p}^{(l)}, & 0 \le p \le N_i - 1 \end{cases} \quad (28)$$

여기서, 비주기 CCF는 R_j부 시스템의 k번째 간섭

사용자의 시퀀스 벡터인 장주기 시퀀스 벡터 $\mathbf{c}_k^{(j)} = [c_{k,0}^{(j)}, c_{k,1}^{(j)}, ..., c_{k,N_j-1}^{(j)}]$를 단주기 부분 시퀀스 벡터들 M 개의 세그먼트의 합으로 정의된 $(\mathbf{c}_k^{(j)})^{(q)} = [c_{k,qN_j}^{(j)}, c_{k,qN_j+1}^{(j)}, c_{k,qN_j+2}^{(j)}, ..., c_{k,(q+1)N_j-1}^{(j)}]$ 벡터로 고려하여, 단주기 기준 시퀀스 벡터 $\mathbf{c}_l^{(i)} = [c_{l,0}^{(i)}, c_{l,1}^{(i)}, ..., c_{l,N_i-1}^{(i)}]$에 대해서 각 부분에 대한 부분 비주기 CCF를 구한 후 평균을 취한 형태이다.

식 (27)에서 $T_i/T_j = N_iT_c/N_jT_c$ 이고, $(T_j - T_i)/T_j = [(N_j - N_i)T_c]/(N_jT_c)$ 임을 이용하고, 식 (20)에서와 같이 $\hat{C}_{k,l}^{(q)}(p)$의 even과 odd의 형태의 두 경우가 평균적으로 동일 확률로 발생한다고 가정하여 평균을 취한 후 식 (27)에 대입하여 정리하면, 근사적으로 식 (27)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{k,l}^{(i)} = \frac{1}{(1/M)} \sum_{q=0}^{(1:M)-1} \sum_{p=0}^{N_j-1} \left[C_{k^{(q)},j}^2(p+1-N_i) + C_{k^{(q)},j}(p+1-N_i) C_{k^{(q)},j}(p-N_i) + C_{k^{(q)},j}^2(p-N_i) + C_{k^{(q)},j}^2(p) + C_{k^{(q)},j}(p) C_{k^{(q)},j}(p+1) + C_{k^{(q)},j}^2(p+1) \right] \quad (29)$$

식 (29)는

$$r_{k,l}^{(i)} = \frac{1}{(1/M)} \sum_{q=0}^{(1:M)-1} \sum_{p=1-N_i}^{N_i-1} \left[2C_{k^{(q)},j}^2(p) + C_{k^{(q)},j}(p) C_{k^{(q)},j}(p+1) \right] = \frac{1}{(1/M)} \sum_{q=0}^{(1:M)-1} \left[2\mu_{k^{(q)},j}(0) + \mu_{k^{(q)},j}(1) \right] \quad (30)$$

와 같이 정리할 수 있다. 여기서, k-시퀀스는 간섭으로 작용하는 장 주기 시퀀스이고, l-시퀀스 단 주기 시퀀스로 기준이 되는 고속 데이터 사용자용 시퀀스이다. 식 (11)과 (13)으로 부터 상관기 출력에 대한 분산은

$$Var(Z_l) = \frac{1}{4} N_0 T_i + \frac{P_i T_i^2}{12 N_i^3} \sum_{k=1,k\neq l}^{K_i} r_{k,l} + \sum_{j=1,j\neq i}^{n} \left(\frac{P_j T_i^2}{12 N_i^3} \right) \sum_{k=1}^{K_j} \hat{r}_{k,l}^{(j)} \quad (31)$$

와 같고, 수신기의 출력 비트오율은 식 (23)과 마찬가지로 $p_b^{(i)} = Q(SNR)$ 이고, SNR은 $\sqrt{P_i/2T_i}$을 식 (31)의 제곱근으로 나누어서 구하여 대입하면

$$p_b^{(i)} = Q\left(\left[\frac{N_0}{2E_b^{(i)}} + \frac{1}{6N_i^3} \sum_{k=1,k\neq l}^{K_i} r_{k,l} + \frac{1}{6N_i^3} \left(\frac{P_j}{P_i} \right) \sum_{k=1}^{K_j} \hat{r}_{k,l} \right]^{-1/2} \right) \quad (32)$$

와 같다.

3.2 랜덤(random) 시퀀스에 대한 다중 사용자 간섭 분석

참고 문헌 [1]과 같이 시퀀스를 +1과 1의 발생할 확률이 동일한 랜덤변수로 가정하면, 참고문헌 [9]에서와 같이 비주기 CCF에 대해서 근사화가 가능하다. 따라서, Case I의 경우 식 (20)과 Case II의 경우 식 (29)은 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$\hat{r}_{k,l\ \mathrm{random}}^{(j)} = \begin{cases} 2N_i^2, \text{ or } 2N_j^2 & T_i = T_j \\ 2MN_j^2, & T_i > T_j \\ 2N_i^2, & T_i < T_j \end{cases} \quad (33)$$

식 (33)의 간섭 파라미터를 각 경우의 비트오율 식에 대입하여 정리하면

$$p_b^{(i)} = Q\left(\left[\frac{N_0}{2E_b^{(i)}} + \frac{1}{3N_i} \left(\sum_{j=1}^{n} \frac{P_j}{P_i} \cdot K_j - 1 \right) \right]^{-1/2} \right) \quad (34)$$

와 같고, 이 식은 참고문헌 [1]에서 정의한 식과 일치한다.

Ⅳ. 성능분석 결과

이 장에서는 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템에 대해서 각 시퀀스별로 시퀀스 위상에 따른 성능분석을 비트 오율을 척도로하여 수행하였다. 선택된 시퀀스로는 m-시퀀스와 Gold 시퀀스에 대해서 살펴보았고, 성능분석에 사용된 비트오율은 저속 데이터 전송률 사용자가 기준이 되는 경우에는 식 (23)을, 고속 데이터 전송률 사용자가 기준이 되는 경우에는 식 (32)를 사용하였다. 앞서 언급한 바와 같이 PN 시퀀스 칩율은 고정되어 있어서, 사용자에게 보장되는 확산 이득은 사용자의 데이터 전송률이 증가할 수록 감소한다.

본 논문에서는 기준 사용자와 간섭 사용자 신호간의 전력레벨에 따른 성능변화를 살펴보기 위해서 기준 사용자와 간섭 사용자사이의 송신 전력이 동일한 ($P_1 = P_2$) 동일 전송 전력 법칙(equal transmit power rule: ETP rule)에 대해서 고려하였다. 이 경우에는 다른 전송률을 사용하는 사용자에 대해서 동일한 비트당 에너지(energy per bit)를 보장할 수 없다. 즉, $E_b^{(1)} \neq E_b^{(2)}$ 이다. 반면에, $E_b^{(1)} = P_1T_1 = E_b^{(2)} = P_2T_2$가 수신단에서 보장되는 경우에는 송신 전력이 전송 데이터

율에 따라 다르게 적용된다. 이러한 경우를 동일 비트 에너지 법칙(equal bit-energy rule : EBE rule)이라고 하는데 이 경우 역시 본 논문에서 고려하였다.

먼저 동일 데이터율을 사용자의 수(K_1)와 다른 데이터율을 사용하는 간섭 사용자의 수(K_2)를 $(K_1,K_2)=(3,3)$로 고정하였고, 확산이득은 $(N_1,N_2)=(127,31)$인 저속 데이터율 기준과 $(N_1,N_2)=(31,127)$와 같은 고속 데이터율 사용자 기준을 고려하였다. 각 신호의 전송 전력은 ETP 법칙의 경우에는 $P_1=P_2=1$로 가정하였으며, EBE 법칙의 경우에는 $P_1=1$, $P_2=(N_2P_2/N_1)$로 하여 분석하였다. 또한, 본 논문에서 분석에 적용한 시퀀스는 m 시퀀스와 Gold 시퀀스 및 랜덤 시퀀스를 고려하였으며, 각각의 시퀀스 생성 다항식은 표 1에 보였다.

표 1. 시퀀스 생성 다항식

시퀀스	시퀀스 길이	확산이득	다항식(polynomial)
m	31	31	45, 75, 67
	63	63	103, 147, 155
	127	127	211, 217, 235
Gold	31	31	다항식1: 45
			다항식2: 75
	63	63	다항식1: 103
			다항식2: 147
	127	127	다항식1: 211
			다항식2: 217

그림 1과 3은 네 가지의 확산이득의 경우에 대해서 m-시퀀스의 초기 시퀀스 위상별로 기준 사용자의 E_b/N_0에 따른 비트 오율을 보인 것이다. 또한, Gold 시퀀스에 대해서는 그림 2와 4에 보였다. 그림 1과 2에서 알 수 있듯이 E_b/N_0가 10dB이하인 경우에는 시퀀스의 초기 위상에 의한 영향을 거의 받지 않는다. 이것은 E_b/N_0가 10dB이하 에서는 AWGN이 성능을 결정하는 지배적인 요소로 작용하기 때문이다. 시퀀스의 위상에 따른 변화를 보이는 것은 10dB이상이고, E_b/N_0가 증가할 수록 그 차이는 증가한다. 또한, ETP 법칙에 의한 성능보다 EBE 법칙에 의한 성능이 열화 됨을 알 수 있는데, 이것은 간섭으로 작용하는 사용자의 전송 전력이 EBE 법칙에 따라 증가하기 때문으로 해석된다. Gold 시퀀스의 경우(그림 2)와 비교해 볼 때, m 시퀀스와의 성능차이는 크지않음을 알 수 있었고, 두 경우 모두 AO/LSE나 LSE/AO에 비해 MSQCC/CO와 CO/MSQCC에 의한 시퀀스 위상 선택이 가장 성능을 향상 시킬 수 있다는 결론을 얻었다. 이러한 결과는 멀티레이트 시스템의 경우 다른 데이터율을 사용하는 사용자간의 상호 상관이 중요한 파라미터로 작용한다는 것을 의미한다.

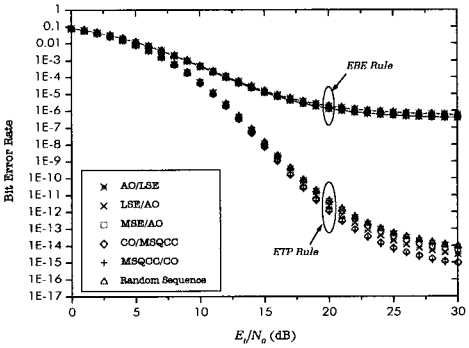


그림 1. $(N_1,N_2)=(127,31)$, $(K_1,K_2)=(3,3)$일 때 m 시퀀스 위상에 따른 영향

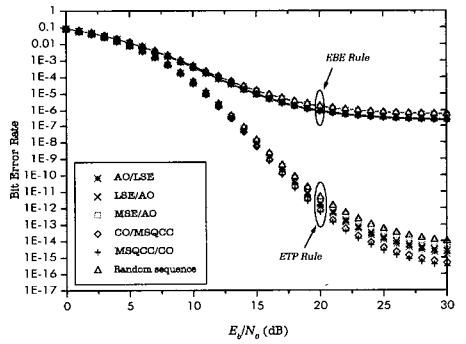


그림 2. $(N_1,N_2)=(127,31)$, $(K_1,K_2)=(3,3)$일 때 Gold 시퀀스 위상에 따른 영향

그림 3과 4는 $(N_1,N_2)=(31,127)$의 경우에 대해서 E_b/N_0에 따른 비트 오율을 살펴본 것으로 기준 사용자가 간섭 사용자들 보다 확산 이득이 작은 경우이다. 식 (32)에서 정의한 비트 오율 식에서 알 수 있듯이 다른 전송률을 사용하는 사용자에 의한 MAI는 기준 사용자의 확산 이득과 전력비 및 평균 간섭 파라미터에 의해서 결정된다. ETP 법칙의 경우에는 간섭 사용자와 동일 전력으로 송신하므로 확산 이득이 큰 간섭 사용자에 의해 비트 오율이 증가하지만, EBE 법칙의 경우에는 기준 사용자에게 충분한 전력이 보장되므로 전력비 만큼 MAI가 감소하므로 성능

은 향상된다. 성능 분석 결과, 최적의 시퀀스 선택은 MSQCC/CO와 CO/MSQCC 기준에 의한 것이고, Gold 시퀀스에 의한 성능이 m 시퀀스에 의한 성능보다 우수하였다.

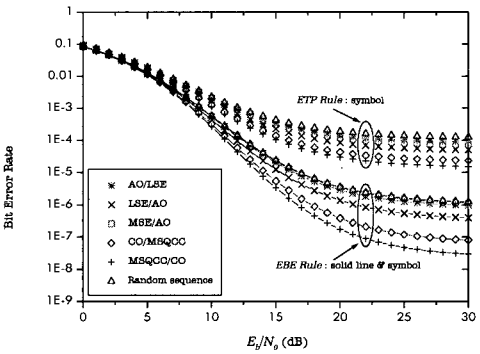


그림 3. $(N_1,N_2)=(31,127),(K_1,K_2)=(3,3)$일때 m 시퀀스 위상에 따른 영향

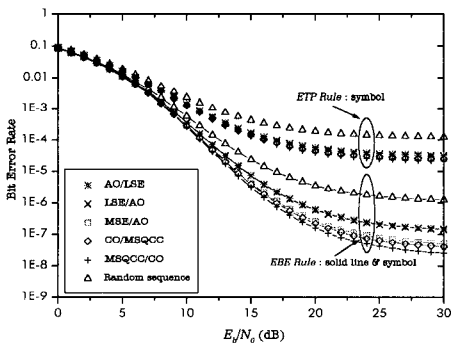


그림 4. $(N_1,N_2)=(31,127),(K_1,K_2)=(3,3)$일때 Gold 시퀀스 위상에 따른 영향

결과를 종합하면, 기준 사용자가 저속 데이터율을 사용하는 경우에는 다른 데이터율을 사용하는 MAI를 결정하는 요소는 주로 확산 이득비(M)와 간섭 사용자의 확산 이득 및 전력비를 들 수 있다. 즉, 이러한 경우에 비트 오율은 간섭 사용자가 기준 사용자에 대해서 어떠한 확산이득과 전력비를 갖느냐가 중요하다. 반면, 기준 사용자가 고속 데이터 사용자의 경우에는 MAI를 결정하는 주된 파라미터가 앞의 경우와는 달리 기준 사용자의 확산 이득과 전력비에 의해서 결정되므로 비트 오율을 결정하는 것은 기준 사용자의 확산이득이라고 할 수 있다. 그렇지만, 이러한 결론은 간섭 사용자의 수가 적은 경우에 해당되는 것으로 사용자의 수가 매우 증가하는 경우에는 평균 간섭 파라미터의 양에 의해서 주로 결정될 것이다.

그림 5와 6은 기준 신호와 간섭 신호와의 전력비에 따른 비트오율 성능을 평가한 것으로 각 경우와 MSQCC/CO 최적화 기준으로 선택된 m 시퀀스와 Gold 시퀀스에 대해서 분석한 결과이다. 그림 5에서 왼쪽에 보인 비트 오율 그래프들은 기준 사용자의 확산 이득이 N_1(31과 63)이고, 오른쪽에 도시한 그래프들은 기준 사용자의 확산 이득이 N_2(127과 63)인 경우이다. 그림 5와 6은 각각 E_b/N_0가 10dB이고, $(K_1,K_2)=(3,3)$를 가정하였다. 그림 5와 6에서 알 수 있듯이 기준 사용자의 확산 이득이 작은 경우에는 간섭 사용자와의 확산이득과는 상관없이 기준 사용자의 확산이득이 클 수록 비트 오율이 낮아지고 기준 사용자의 확산이득이 동일한 경우((31,127)과 (31,63)의 경우)에는 간섭 사용자의 확산 이득이 큰 경우 비트 오율이 낮아진다. 또한, 엄밀히 말하면 EBE 법칙과 같이 고속 데이터 사용자에게 큰 전력을 할당하거나 그 이상의 전력을 할당하는 법칙이 적용되는 경우에는 (31, 127)의 경우가 (31, 63)의 경우보다 비트 오율이 훨씬 낮아지는 것을 예상할 수 있다.

반면에, 기준 사용자의 확산 이득이 큰 경우에는 기준 사용자의 확산 이득과 간섭 사용자의 확산 이득과의 비(M)가 커질 수록 비트 오율이 감소하고, 동일 확산 이득비의 경우(즉, (127,63)과 (63,31)의 경우 $M=2$)에는 간섭 사용자의 확산이득이 클 수록 MAI를 감소시킬 수 있으므로 비트 오율이 감소한다.

즉, 이러한 결과들을 종합해 볼 때, 간섭 사용자의 확산 이득이 클 수록 할당되는 전력이 낮다는 가정하에서는 비트 오율을 낮출 수가 있고, 기준 사용자의 확산 이득측면에서는 고속 데이터 사용자의 경우 확산이득이 클 수록 저속 데이터 사용자의 경우에는 간섭 사용자와의 확산 이득의 비가 클 수록 비트 오율을 낮출 수가 있다는 결론을 얻을 수 있다.

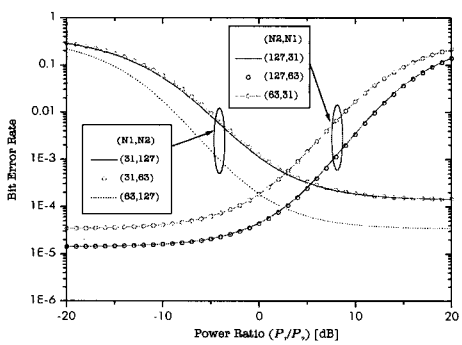


그림 5. m-시퀀스의 신호의 전력비에 따른 비트오율 성능 영향($E_b/N_0=10$dB, $(K_1,K_2)=(3,3)$)

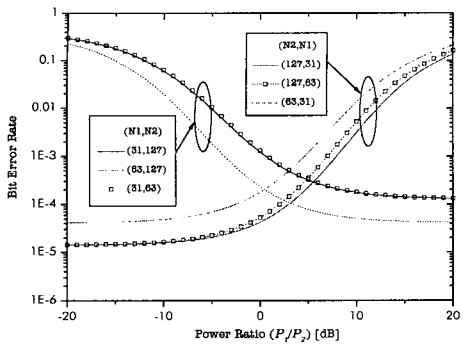


그림 6. Gold-시퀀스의 신호의 전력비에 따른 비트오율 성능영향($E_b/N_0=10$dB, $(K_1,K_2)=(3,3)$)

V. 결 론

본 논문에서는 가변 확산이득 (VSG)구조를 갖는 멀티미디어 멀티레이트 DS/CDMA 시스템에서 PN 시퀀스의 위상에 따른 다중 접속 간섭을 분석하였고, 결정적인(deterministic) 시퀀스에 의한 비트 오율 성능 분석을 수행하기 위해서 다른 확산 이득과 다른 송신 전력을 갖는 다중 접속 간섭 사용자에 대해서 비트 오율 식을 유도하였다. 또한, 본 논문에서 구한 비트 오율 식은 기존의 단일 데이터 전송률 시스템에 대해서 분석한 비트 오율식과 유사한 형태로서 부분 CCF를 사용하여 다른 데이터율 사용자에 의한 간섭 파라미터($\hat{r}_{kj}^{(j)}$)를 식 (25)와 (34)와 같이 평균 간섭 파라미터(AIP) 항으로 근사화 및 단순화 시켰다. 또한, 랜덤 시퀀스로 가정하여 AIP를 수정하면 참고문헌 [1]과 동일한 수식을 얻을 수 있음을 보였다.

비트 오율 식을 분석한 결과, 기준 사용자의 데이터 전송률에 따라 MAI를 결정하는 요소가 달라짐을 알 수 있었다. 즉, 기준 사용자가 저속 데이터율을 사용하는 경우에는 다른 데이터율에 의한 MAI를 결정하는 요소는 확산 이득비(M)와 간섭 사용자의 확산 이득 및 전력비를 들 수 있다. 이러한 경우에 비트 오율은 간섭 사용자의 확산이득비가 크거나 간섭 사용자의 확산이득이 클 수록 감소한다. 반면에, 기준 사용자가 고속 데이터 사용자의 경우에는 간섭 사용자와의 확산이득과는 상관없이 기준 사용자의 확산이득이 크거나 기준 사용자의 확산이득이 동일한 경우에는 간섭 사용자의 확산 이득이 큰 경우 비트 오율이 감소한다.

또한, 성능 평가 결과를 종합해 볼 때, 신호 대 잡음비 E_b/N_0가 10dB이하인 경우에는 AWGN이 성능을 결정하는 지배적인 요소로 작용하기 때문에 시퀀스의 초기 위상에 의한 영향을 거의 받지 않지만, E_b/N_0가 증가할 수록 그 차이는 증가한다. 즉, E_b/N_0가 증가할 수록 MSQCC/CO와 CO/MSQCC 기준에 의한 시퀀스 초기 위상의 선택기준은 성능을 가장 향상시킬 수 있는 최적의 선택기준이라는 결론을 얻을 수 있었다. 또한, Gold 시퀀스가 m 시퀀스보다 같은 시퀀스 위상 선택기준에서 성능이 우수함을 알 수 있었는데, $(N_1,N_2)=(127,63)$와 $(N_1,N_2)=(63,127)$의 경우에는 이러한 결론이 성립되지 않았는데, 이러한 결과는 본 논문에서 적용된 선택기준 이외의 다른 최적화 기준이 멀티레이트 시스템에서 존재함을 암시해 주고 있다. 여기에 대한 최적화 연구는 다음 연구과제로 남겨두고자 한다.

참 고 문 헌

[1] T. Ottosson and A. Svensson, Multi-Rate Schemes in DS/CDMA systems, *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference*, Chicago, USA, pp.1006-1010, July 1995.

[2] M. Ichiba, M. Katayama, T. Yamazato, and A. Ogawa, Effects of Multiple Access Interference in a Multi-Rate SSMA System, *IEICE Transaction On Communications*, Vol. E79-B, No. 9, pp.1333-1338, Sep. 1996.

[3] M. B. Pursley, and H. F. A. Roefs, Numerical Evaluation of Correlation Parameters for Optimal Phases of Binary Shift-Register Sequences, *IEEE Transaction On Communications*, Vol. 27, No. 10, pp.1597-1604, Oct. 1979.

[4] T. OFarrell, New Signature Code Sequence Design Techniques for CDMA Systems, IEE Elecronics Letteres, Vol. 27, No. 4, pp.371-373, Feb. 1991.

[5] K. H. A. Kärikkäinen and P. A. Leppänen, Influence of Various PN Sequence Phase Optimization Criteria on the Performance of an Asynchronous DS-CDMA System, *Proceedings of IEEE Military Communications Conference*, San Diego, USA, pp. 641-646, Nov. 1995.

[6] M. B. Pursley, Performance Evaluation for Phase-Coded Spread-Spectrum Multiple-Access Communication-Part I: System Analysis, *IEEE*

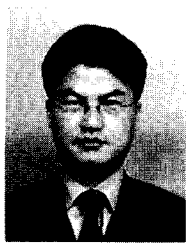
Transaction On Communications, Vol. COM-25, No. 8, pp.795-799, Aug. 1977.

[7] M. B. Pursley and D. V. Sarwate, Performance Evaluation for Phase-Coded Spread-Spectrum Multiple-Access Communication-Part II: Code Sequence Analysis, *IEEE Transaction On Communications*, Vol. COM-25, No. 8, pp.800-803, Aug. 1977.

[8] D. V. Sarwarte, M. B. Pursley, and T. U. Basar, Partial Correlation Effects in Direct-Sequence Spread-Spectrum Multiple-Access Communication Systems, *IEEE Transaction On Communications*, Vol. COM-32, No. 5, pp.567-573, May 1977.

[9] J. M. Holtzman, A Simple, Accurate Method to Calculate Spread-Spectrum Multiple-Access Error Probabilities, *IEEE Transaction On Communications*, Vol. COM-40, No. 3, pp.461-464, March 1992.

이 연 우(Yeonwoo Lee) 정회원



1992년 2월: 고려대학교 전자공학과 학사
1994년 2월: 고려대학교 전자공학과 석사
1998년 2월: 고려대학교 전자공학과 박사과정 수료
1999년 8월~현재 :고려대학교 정보통신기술공동연구소 연구원
<주관심 분야> Spread Spectrum 시스템, 멀티미디어 CDMA 시스템, 차세대 이동 통신 시스템 및 위성 이동통신 시스템

차 균 현(Kyun Hyon Tchah) 정회원

1965년 2월 : 서울대학교 전기공학과 학사
1967년 6월 : 미국 일리노이 공과대학 석사
1976년 6월 : 서울대학교 전자공학과 박사
1977년 3월~현재 : 고려대학교 전자공학과 전자공학과 교수
1998년 1월~1998년 12월: 한국통신학회 회장
1998년 4월~현재:한국전자통신연구원 부이사장
<주관심 분야> 통신 이론, 이동 통신, 위성 통신, 이동 멀티미디어 시스템