

# 멀티레이트 서비스를 지원하는 VSG-DS/CDMA 시스템에서의 PN 시퀀스 상관 파라미터 특성과 최적화

정희원 이연우\*, 김용배\*\*, 차균현\*

## The Correlation Parameters and the Optimization of a PN Sequence Phase for Variable Spreading Gain (VSG) Multi-Rate DS/CDMA Systems

Yeonwoo Lee\*, Eung-Bae Kim\*\*, Kyun Hyon Tchah\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 가변 확산이득 (VSG) 구조를 갖는 멀티미디어 멀티레이트 DS/CDMA 시스템에서 PN 시퀀스의 위상에 따른 상관 특성을 보였고, 시퀀스 위상을 최적화 하였다. 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템의 경우에 시퀀스의 최적화는 동일 길이의 시퀀스들과는 물론, 다른 확산 이득을 갖는 다른 시퀀스들에 대해서 동시에 이루어져야 하므로 시퀀스의 최적화가 쉽지않다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 멀티레이트 시스템에서의 시퀀스 상관 특성을 살펴보고, 이를 통해서 비트 오류율을 최소화 시킬 수 있는 시퀀스 선택기준으로 MIN-AIP를 제시하였다. m-시퀀스와 Gold 시퀀스에 대한 성능분석 결과, MIN-AIP 기준에 의한 시퀀스 초기 위상의 선택기준이 성능을 가장 향상시킬 수 있는 최적의 선택기준이라는 결론을 얻을 수 있었다.

### ABSTRACT

In this paper, we evaluate the correlation properties and the optimization of PN sequence phase for multi-media multi-rate DS/CDMA system with variable spreading gain (VSG) scheme. In multi-media multi-rate DS/CDMA systems, the optimization of PN sequence phase is not a tractable problem, since the sequences should be optimized against both sequences of the same length and other sequences with different lengths. Hence, we verify the correlation properties of PN sequence phase in multi-rate system environment and furthermore, we propose the new phase criterion, MIN-AIP (minimum-average interference parameter), to minimize the bit error rate (BER). As the results of performance evaluations, it is shown that the performance of MIN-AIP criteria gives the best results.

### I. 서 론

차세대 개인 이동 통신 시스템은 기존의 음성 서비스는 물론 화상 및 데이터 전송 등 다양한 멀티

미디어 서비스가 요구되고 있는 실정이다. 또한, 이러한 멀티미디어 멀티레이트(multi-rate) 트래픽(traffic)을 단일 시스템에 통합하기 위한 시도는 최근의 주요 논의 사항으로 대두되고 있다. 특히, 이러한 다양한 종류의 데이터 서비스들을 시스템에

\* 고려대학교 전자공학과 통신연구실(yeou@kuccnx.korea.ac.kr)

\*\* 한국전자통신연구원 무선방송연구소 광대역 이동 멀티미디어팀 (cbkim@etri.re.kr)

논문번호 : 99355-0830, 접수일자: 1999년 8월 30일

※ 본 연구는 한국전자통신연구원에서 지원하는 위탁과제에 의해서 수행되었습니다.

통합할 수 있는 시스템으로 DS/CDMA 시스템은 타 시스템에 비해 특유의 유연성과 능력울 인정 받아 멀티레이트(multi-rate) 서비스를 수용하기 위해 적합한 시스템의 유력한 후보 중 하나로 제안 되었다<sup>[1]</sup>. 특히, 참고 문헌 [1]에 제시된 시스템 중에서 고정된 칩율(chip rate)에 대해서 데이터 전송률에 따른 확산 이득(spreading gain)만을 변화시켜 단순히 멀티레이트 서비스를 실현시킬 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 참고 문헌 [1]에서 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 확산 시퀀스를 랜덤 시퀀스로 가정하였지만, VSG-DS/CDMA 구조의 멀티레이트 시스템에서 길이가 다른 시퀀스간의 상호적인 영향을 정확히 알아보기 위해서는 결정적인(deterministic) 시퀀스에 대한 분석이 요구된다. 또한, 확산 이득이 작고, 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio : SNR)가 높은 경우에는 선택된 시퀀스의 위상(sequence phase)에 따라 성능이 달라질 수 있으므로 이에 대한 최적화가 필요하다. 그렇지만, 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템의 경우에 시퀀스의 최적화는 동일 길이의 시퀀스들과는 물론이고, 다른 확산 이득을 갖는 다른 시퀀스들에 대해서 이루어져야 하므로 시퀀스의 최적화가 쉽지않다. 따라서, 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템에서의 시퀀스의 최적화는 기존의 시스템의 분석과는 달리 각 기준 신호나 간섭 신호의 확산 이득의 비나 시퀀스의 길이와 비에 따른 영향을 고려해야 한다.

본 논문에서 적용한 비트 오류율은 결정적인 시퀀스의 영향을 살펴보기 위해서 평균 간섭 파라미터(AIP : average interference parameter) 향으로 근사화된 식이다. 이 식을 바탕으로 하여 가장 비트 오류율을 최소화 할 수 있는 시퀀스 위상으로 본 논문에서는 MIN-AIP(minimum-average interference parameter) 기준을 제시하였고, 이 파라미터를 토대

로 하여 m-시퀀스와 Gold 시퀀스에 대해서 컴퓨터 탐색을 통한 시퀀스 위상의 최적화를 시도하였다. 따라서, 본 논문에서는 기존에 제안되었던 AO/LSE (auto-optimal/least sidelobe energy) 및 LSE/AO<sup>[3]</sup>, MSE/AO (maximum sidelobe energy/auto-optimal)<sup>[4]</sup>, CO/MSQCC (cross-optimal/mean square cross correlation) 및 MSQCC/CO<sup>[5]</sup> 등과 같은 시퀀스 선택기준(selection criteria)과 비교하여, 본 논문에서 제시한 MIN-AIP 기준에 대한 상관 파라미터 비교 분석을 수행하였다. m-시퀀스와 Gold 시퀀스에 대한 성능분석 결과, 본 논문에서 제시한 MIN-AIP 선택 기준에 의한 시퀀스가 비트오율 측면에서 기존의 시퀀스 선택 기준들에 비해 상당한 성능향상을 얻을 수 있었다.

또한, 다른 시퀀스 선택 기준들은 기존의 단일 데이터 전송률 DS/CDMA 시스템에서 보였던 시퀀스의 특성들이 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 환경에서는 극히 다르다는 것을 보였고, 비트오율에 직접 연관되는 평균 간섭 파라미터 측면에서는 본 논문에서 제시한 MIN-AIP 선택 기준에 의한 시퀀스가 평균 간섭 파라미터의 양을 가장 최소화시킬 수 있어 비트 오류율 최소화시킬 수 있음을 보였다. 따라서, 멀티레이트 VSG-CDMA 시스템에서는 MIN-AIP 기준에 의한 시퀀스 초기 위상의 선택기준이 성능을 가장 향상시킬 수 있는 최적의 선택기준이라는 결론을 얻을 수 있었다.

## II. 기존의 DS/CDMA 시스템에서 PN 시퀀스 상관 파라미터

비동기식 DS-CDMA 시스템의 성능에 있어서 PN 시퀀스의 위상의 선택은 성능을 결정하는 요소로 작용하기 때문에 매우 중요하다. 동일한 시퀀스 주기  $N$ 을 갖는 시퀀스  $x = a^{(k)}$ 와  $y = a^{(l)}$ 에 대한 비주기(aperiodic) 상호상관함수(cross correlation function : CCF)는 식 (1)과 같이 정의된다<sup>[3]</sup>.

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

여기서,  $\{a^{(k)} : 1 \leq k \leq K\}$ 은  $K$  이진(binary) 시퀀스의

집합을 의미한다. 주기 even 및 odd 상호상관과 비 주기 CCF와의 관계는  $\theta_{x,y}(l) = C_{x,y}(l) + C_{x,y}(l-N)$ ,  $0 \leq l \leq N-1$  과  $\hat{\theta}_{x,y}(l) = C_{x,y}(l) - C_{x,y}(l-N)$ ,  $0 \leq l \leq N-1$  으로 정의된다. DS/CDMA 시스템의 설계에 있어서 시퀀스들간에는 서로 위상 천이(phase shift)를 갖기 때문에 반드시 CCF는 최적화가 되어야 하고, 자기상관함수(auto correlation function: ACF)의 최적화도 동시에 요구된다. 또한, 참고문헌 [3]에서 정의한  $S_x = \sum_{l=1}^{N-1} C_x^2(l)$  과  $S_y = \sum_{l=1}^{N-1} C_y^2(l)$  은 시퀀스  $x$ 와  $y$ 의 ACF의 sidelobe energy (SE)로서 ACF의 out of phase경우의 분산값을 의미하는 것이다. AO/LSE와 LSE/AO 선택기준은 이러한 ACF의 SE 값을 최소화시키는 시퀀스 선택 기준이고, AO는 최대(peak) out of phase odd ACF를 최소화하는 시퀀스 위상을 의미한다<sup>[3]</sup>. 참고 문헌 [4]의 O'Farrell은 이것이 항상 성능을 향상시키는 것은 아님을 보여주고, MSE/AO라는 선택 기준을 제시하였다. 또한, Karikkäinen<sup>[5]</sup>에 의하면 CO/MSQCC와 MSQCC/CO는 CCF의 최대(peak)값의 발생 횟수가 가장 작은 경우의 시퀀스 위상들을 CO라고 정의하고, 식 (2)와 같은 MSQCC를 최소화시키는 시퀀스의 위상들을 찾는 시퀀스 최적화 기준을 제시하였다.

$$MSQCC = \sum_{l=1}^{N-1} C_{x,y}^2(l) \quad (2)$$

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

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

여기서,  $K$ 는 사용자의 수이고,  $(r_{k,j})$ 항은 MAI (multiple access interference)를 결정하는 AIP를 의미하는 것으로  $r_{x,y} = 2\mu_{x,y}(0) + \mu_{x,y}(1)$  으로 정의된다. 이진 시퀀스에 대해서  $(\mu_{x,y})$ 항은 다음과 같다.

$$\mu_{x,y}(k) = \sum_{l=1}^{N-1} C_{x,y}(l)C_{x,y}(l+k) \quad (4)$$

참고 문헌 [1]에서는 확산 시퀀스를 랜덤한 시퀀스로 가정하여 MAI에 대한 분석을 가우시안 근사화 시켰지만, 본 논문에서 고려한 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템에서는 다중 데이터를 전송할 경우에 다른 길이의 시퀀스간의 상호 상관값이 기존의 단일 전송 시스템에서 정의되었던 PN 시퀀스 상관 파라미터들과는 상당히 다르고, 시퀀스 위상이 시스템의 성능에 미치는 영향도 다르기 때문에 식 (3)과는 다른 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템에 적합한 SIR의 분석을 적용하였다.

### III. 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템에서 PN 시퀀스 상관파라미터

본 논문에서 고려한 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템은 기본적으로 BPSK 변조방식을 고려하였다. 시스템이 제공할 수 있는 데이터 전송률의 수는  $n$  개이고, 이 중에서  $R_i$ 의 전송률을 사용하는 사용자들의 그룹을  $R_i$  부시스템(subsystem)이라고 가정한다. 또한, 고정된 칩률(chip rate)  $W$  내에서 데이터 전송률이 변하므로 데이터 전송률이  $R_i$ 인 부시스템에서 얻을 수 있는 확산이득은  $L_i = WR_i$ 이다. 본 논문에서는 shot code CDMA 시스템을 가정하였으므로  $R_i$  부시스템의 확산이득( $L_i$ )과 확산 시퀀스의 길이( $N_i$ )가 동일하다. 이때, 원하는 사용자의 데이터 비트 주기가 간섭 사용자의 데이터 비트 주기보다 긴 경우 ( $T_i > T_j$ : Low Rate) 와 그 반대의 경우 ( $T_i < T_j$ : High Rate)에 대해서  $R_i$  부시스템 사용자에 대한 근사화된 평균 SIR 식은 각각 식 (5), (6) 과 같다<sup>[6]</sup>.

$$SIR_{LR}^{(i)} = \left[ \frac{N_0}{2E_b^{(i)}} + \frac{1}{6N_i^3} \sum_{k=1, k \neq i}^{K_i} r_{k,i} + \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{1}{6M^2 N_j^3} \left( \frac{P_j}{P_i} \right) \sum_{k=1}^{K_j} \hat{r}_{k,j} \right]^{-1/2} \quad (5)$$

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

여기서,  $M = N_i / N_j$ 이고, 동일 부시스템 사용자에 의한 간섭( $r_{k,i}$ )은 참고 문헌 [7]에서 정의한 것과 동일하다. 또한, 다른 부시스템 사용자에 대한 AIP

$(\hat{r}_{k,l}^{(j)})$  항들은 참고 문헌 [1]과 유사한 전개방식을 사용하고, 식 (7), (8)과 같이 근사화 시킬 수 있다. 식 (5), (6)에 대한 자세한 유도는 참고문헌 [6]에 보였다.

$$\hat{r}_{k,l}^{(j)} \approx \sum_{q=0}^{M-1} [2\mu_{k,l}^{(q)}(0) + \mu_{k,l}^{(q)}(1)], \quad T_l > T_j \quad (7)$$

$$\hat{r}_{k,l}^{(j)} \approx \left(\frac{1}{M}\right) \sum_{q=0}^{M-1} [2\mu_{k,l}^{(q)}(0) + \mu_{k,l}^{(q)}(1)], \quad T_l < T_j \quad (8)$$

여기서,  $\mu_{k,l}^{(q)}(p) = \sum_{l=1-N_j}^{N_j-1} C_{k,l}^{(q)}(l)[C_{k,l}^{(q)}(l+p)]^*$  와 같이 정의할 수 있고, 부분 mean-square cross-correlation (MSC)를  $MSC = 2\mu_{k,l}^{(q)}(0)$ 라고 정의한다.

또한, 여기서  $C_{k,l}^{(q)}(l)$ 은 부분(partial) 비주기 CCF로서, 식 (7)에서 기준사용자의 장주기 시퀀스 벡터  $c_l^{(j)} = [c_{l,0}^{(j)}, c_{l,1}^{(j)}, \dots, c_{l,N_j-1}^{(j)}]$ 를  $(c_l^{(j)})^{(q)} = [c_{l,qN_j}^{(j)}, \dots, c_{l,(q+1)N_j-1}^{(j)}]$ 와 같은 단주기의 부분 시퀀스 벡터들  $M$ 개의 합으로 가정하여 각 부분에 대해서 간접 시퀀스와의 CCF를 구한 후 합을 취한 형태이다. 이때, 각 부분 비주기 CCF는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$C_{k,l}^{(q)}(p) = \begin{cases} \sum_{m=0}^{N_j-1-p} c_m^{(k)}(c_{m+p}^{(l)})^{(q)}, & 0 \leq p \leq N_j-1 \\ \sum_{m=0}^{N_j-1+p} c_m^{(k)}(c_{m-p}^{(l)})^{(q)}, & 1-N_j \leq p < 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

이와 반대로, 식 (8)에서는 비주기 CCF를  $R_j$  부시스템의  $k$ 번째 간접 사용자와 시퀀스 벡터인 장주기 시퀀스 벡터  $c_k^{(j)} = [c_{k,0}^{(j)}, c_{k,1}^{(j)}, \dots, c_{k,N_j-1}^{(j)}]$ 를 단주기 부분 시퀀스 벡터들  $M$ 개의 세그먼트의 합으로 정의된  $(c_k^{(j)})^{(q)} = [c_{k,qN_j}^{(j)}, c_{k,qN_j+1}^{(j)}, \dots, c_{k,(q+1)N_j-1}^{(j)}]$  벡터로 고려하여, 단주기 기준 시퀀스 벡터  $c_l^{(j)} = [c_{l,0}^{(j)}, c_{l,1}^{(j)}, \dots, c_{l,N_j-1}^{(j)}]$ 에 대해서 각 부분에 대한 부분 비주기 CCF를 구한 후 평균을 취한 형태로 볼 수 있다. 이때, 각 부분 비주기 CCF는 식 (10)과 같이 정의할 수 있다.

식 (7)과 (8)에서 알 수 있듯이  $R_j$  부시스템의 사용자에 의한 간섭의 양은 기준  $R_j$  부시스템 사용자  $l$  사이의 부분 비주기 CCF의 합이나 부분  $MSC = 2\mu_{k,l}^{(q)}(0)$ 의 평균에 의해 결정된다.

$$C_{k,l}^{(q)}(p) = \begin{cases} \sum_{m=0}^{N_j-1-p} (c_m^{(k)})^{(q)} \cdot c_{m+p}^{(l)}, & 0 \leq p \leq N_j-1 \\ \sum_{m=0}^{N_j-1+p} (c_m^{(k)})^{(q)} \cdot c_m^{(l)}, & 1-N_j \leq p < 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

즉, 단일 시스템의 경우와 유사하지만, 부분 비주기 CCF가 고려되어야 한다. 따라서, 멀티레이트 시스템에서 성능을 향상 시키기 위해서는 식 (3)의 동일 전송률 AIP와 식 (7)과 (8)의 다른 전송률 AIP를 동시에 최소화 할 수 있는 시퀀스와 시퀀스 위상의 최적화가 요구된다. 이러한 최적 기준을 본 논문에서는 MIN-AIP라 정의 하였고, 기준에 제시된 최적화 기준과 비교하여 성능분석을 수행하였다.

● MIN-AIP (minimum-average interference parameter) 정의 : 동일 전송률을 갖는 다른 사용자와의 AIP와 다른 전송률을 갖는 다른 사용자의 AIP를 최소화 시키는 PN 시퀀스의 위상

#### IV. 성능분석 결과

앞에서 설명한 바와 같이 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템에 대해서는 기존의 단일 전송률 시스템과는 다른 교차상관 파라미터 특성을 갖게 된다. 표 1에서는 성능분석에 사용된 m-시퀀스와 Gold 시퀀스의 다항식과 갯수를 보인 것으로 참고 문헌 [3]에서 제시되었던 다항식을 토대로 한 것이다.

표 1. 시퀀스 생성 다항식

시퀀스	시퀀스 길이	확산이득	다항식(polynomial)
m	32	32	45, 75, 67
	64	64	103, 147, 155
	128	128	211, 217, 235
Gold	32	32	다항식1: 45 다항식2: 75
	64	64	다항식1: 103 다항식2: 147
	128	128	다항식1: 211 다항식2: 217

본 논문에서 성능분석에 적용한 시퀀스는 길이는 32, 64, 1278로 참고 문헌 [3]에 제시된 시퀀스에 1이 첨가된 확장형(extended) 시퀀스로서 그것들의 상관특성은 기존의 시퀀스와 거의 동일한 것으로

표 2. 기준 시퀀스의 길이가 128인 m-시퀀스의 상관 파라미터 ( $T_i > T_j$  경우)

간섭 시퀀스의 길이	최적화 기준	$\theta_c$	$\hat{\theta}_c$	$\hat{r}_{k,l}^{(j)}$	$\sum_{q=0}^{M-1} 2\mu_{k,l}^{(q)}(0)$	$\sum_{q=0}^{M-1} \mu_{k,l}^{(q)}(1)$	$2MN_f^2$	$\frac{ \mu_{k,l}(1) }{\hat{r}_{k,l}^{(j)}}$	$\frac{ \hat{r}_{k,l}^{(j)} - 2MN_f^2 }{\hat{r}_{k,l}^{(j)}}$
128 (M=1)	AO/LSE	18	29	32738	32872	-134	32258	0.4 %	1.5 %
	LSE/AO	18	30	32769	32913	-144	32258	0.4 %	1.6 %
	MSE/AO	18	29	33230	33359	-129	32258	0.4 %	2.9 %
	CO/MSQCC	18	29	32524	32739	-215	32258	0.7 %	0.8 %
	MSQCC/CO	18	30	33376	33493	-117	32258	0.3 %	3.4 %
	MIN-AIP	18	29	32190	32328	-138	32258	0.4 %	0.2 %
64 (M=2)	AO/LSE	26	26	16379	16537	-158	15876	1.0 %	3.1 %
	LSE/AO	27	27	16137	16462	-325	15876	2.0 %	1.6 %
	MSE/AO	28	27	16506	16634	-128	15876	0.78 %	1.6 %
	CO/MSQCC	28	28	16235	16526	-292	15876	1.8 %	3.8 %
	MSQCC/CO	27	27	16277	16449	-172	15876	1.1 %	2.5 %
	MIN-AIP	27	27	16098	16359	-261	15876	1.6 %	1.4 %
32 (M=4)	AO/LSE	24	23	8157	8311	-154	7688	1.9 %	5.7 %
	LSE/AO	24	23	7997	8224	-227	7688	2.8 %	3.9 %
	MSE/AO	25	24	8029	8282	-253	7688	3.2 %	4.2 %
	CO/MSQCC	23	23	8099	8274	-175	7688	2.2 %	5.1 %
	MSQCC/CO	25	25	8050	8251	-201	7688	2.5 %	4.5 %
	MIN-AIP	23	24	7872	8176	-304	7688	2.3 %	3.9 %

표 3. 기준 시퀀스의 길이가 32인 m-시퀀스의 상관 파라미터 ( $T_i < T_j$  외 경우)

간섭 시퀀스의 길이	최적화 기준	$\theta_c$	$\hat{\theta}_c$	$\hat{r}_{k,l}^{(j)}$	$\sum_{q=0}^{M-1} 2\mu_{k,l}^{(q)}(0)$	$\sum_{q=0}^{M-1} \mu_{k,l}^{(q)}(1)$	$2N_f^2$	$\frac{ \mu_{k,l}(1) }{\hat{r}_{k,l}^{(j)}}$	$\frac{ \hat{r}_{k,l}^{(j)} - 2N_f^2 }{\hat{r}_{k,l}^{(j)}}$
32 (M=1)	AO/LSE	8	13	1993	2068	-75	1922	4.1 %	5.5 %
	LSE/AO	8	12	1920	1993	-73	1922	4.0 %	7.1 %
	MSE/AO	8	12	2034	2102	-68	1922	4.6 %	12.3 %
	CO/MSQCC	8	11	1830	1892	-62	1922	4.0 %	12.4 %
	MSQCC/CO	8	11	1887	1940	-53	1922	3.9 %	15.6 %
	MIN-AIP	8	11	1876	1941	-65	1922	4.1 %	8.2 %
64 (M=1/2)	AO/LSE	8	8	2060	2106	-46	1922	2.2 %	6.7 %
	LSE/AO	8	8	2009	2093	-84	1922	4.2 %	4.3 %
	MSE/AO	8	8	1999	2078	-79	1922	4.0 %	3.8 %
	CO/MSQCC	8	8	2011	2078	-67	1922	3.3 %	4.4 %
	MSQCC/CO	8	8	1974	2040	-66	1922	3.3 %	2.7 %
	MIN-AIP	8	8	1991	2069	-78	1922	3.9 %	3.5 %
128 (M=1/4)	AO/LSE	6	6	2039	2078	-39	1922	1.9 %	5.8 %
	LSE/AO	6	6	1999	2078	-39	1922	1.9 %	3.9 %
	MSE/AO	6	6	2007	2070	-63	1922	3.2 %	4.3 %
	CO/MSQCC	6	6	2025	2069	-44	1922	2.2 %	5.1 %
	MSQCC/CO	6	6	2012	2062	-50	1922	2.5 %	4.5 %
	MIN-AIP	6	6	1968	2044	-76	1922	3.9 %	2.3 %

알려져 있다. 또한, 성능분석에 사용된 시퀀스의 종류는 m-시퀀스의 경우, 길이가 32, 64인 경우에는 6가지, 길이가 128인 경우에는 18가지를 사용하였고, Gold 시퀀스의 경우에는 각각 33, 65, 129가지를 사용하였다. 표 2,3,4 및 5에 보인 성능분석 결과 값들은 이러한 시퀀스들에 대해서 평균을 취한

값들이다.

표 2와 4에서는 각각 기준 시퀀스로 m-시퀀스와 Gold 시퀀스를 가정하였고, 시퀀스 길이(또는, 확산이득)가 128인 경우에 간섭 시퀀스의 길이가 각각 64, 32인 경우에 대해서 각 최적화 기준에 따른 상관 파라미터들의 평균 특성을 보였다. 또한, 표 3과 5에서는

표 4. 기준 시퀀스의 길이가 128인 Gold 시퀀스의 상관 파라미터표 ( $T_i > T_j$ 의 경우)

간섭 시퀀스의 길이	최적화 기준	$\theta_c$	$\hat{\theta}_c$	$\hat{r}_{k,l}^{(j)}$	$\sum_{q=0}^{M-1} 2\mu_{k,l}^{(q)}(0)$	$\sum_{q=0}^{M-1} \mu_{k,l}^{(q)}(1)$	$2MN_j^2$	$\frac{ \mu_{k,l}(1) }{\hat{r}_{k,l}^{(j)}}$	$\frac{ \hat{r}_{k,l}^{(j)} - 2MN_j^2 }{\hat{r}_{k,l}^{(j)}}$
128 ( $M=1$ )	AO/LSE	15	28	32100	32104	-4	32258	0.01 %	0.5 %
	LSE/AO	15	28	32107	32109	-2	32258	0.01 %	0.5 %
	MSE/AO	15	28	32071	32040	31	32258	0.09 %	0.6 %
	CO/MSQCC	15	28	32265	32257	8	32258	0.02 %	0.02 %
	MSQCC/CO	15	29	32734	32715	19	32258	0.06 %	1.5 %
	MIN-AIP	15	28	31881	31896	-15	32258	0.05 %	1.2 %
64 ( $M=2$ )	AO/LSE	26	26	16363	16384	-21	15876	0.1 %	3.0 %
	LSE/AO	26	26	16385	16387	-2	15876	0.02 %	3.1 %
	MSE/AO	26	26	16358	16375	-17	15876	0.1 %	3.0 %
	CO/MSQCC	26	26	16385	16382	3	15876	0.02 %	3.1 %
	MSQCC/CO	26	26	16416	16421	-5	15876	0.03 %	3.3 %
	MIN-AIP	26	26	16303	16416	-113	15876	0.7 %	2.6 %
32 ( $M=4$ )	AO/LSE	23	23	8142	8195	-53	7688	0.7 %	5.6 %
	LSE/AO	23	23	8155	8194	-39	7688	0.5 %	5.7 %
	MSE/AO	22	23	8196	8200	-4	7688	0.05 %	6.2 %
	CO/MSQCC	23	23	8167	8194	-27	7688	0.3 %	5.9 %
	MSQCC/CO	23	23	8231	8199	32	7688	0.4 %	6.6 %
	MIN-AIP	22	22	7962	8209	-247	7688	3.1 %	3.5 %

표 5. 기준 시퀀스의 길이가 32인 Gold 시퀀스의 상관 파라미터 ( $T_i < T_j$ 의 경우)

간섭 시퀀스의 길이	최적화 기준	$\theta_c$	$\hat{\theta}_c$	$\hat{r}_{k,l}^{(j)}$	$\sum_{q=0}^{M-1} 2\mu_{k,l}^{(q)}(0)$	$\sum_{q=0}^{M-1} \mu_{k,l}^{(q)}(1)$	$2N_i^2$	$\frac{ \mu_{k,l}(1) }{\hat{r}_{k,l}^{(j)}}$	$\frac{ \hat{r}_{k,l}^{(j)} - 2N_i^2 }{\hat{r}_{k,l}^{(j)}}$
32 ( $M=1$ )	AO/LSE	7	11	1883	1892	-9	1922	0.5 %	2.1 %
	LSE/AO	7	11	1882	1891	-9	1922	0.5 %	2.1 %
	MSE/AO	7	10	1867	1881	-14	1922	0.8 %	3.0 %
	CO/MSQCC	7	11	1924	1937	-13	1922	0.7 %	0.1 %
	MSQCC/CO	7	12	1953	1983	-30	1922	1.5 %	1.7 %
	MIN-AIP	7	11	1762	1856	-94	1922	5.3 %	9.1 %
64 ( $M=1/2$ )	AO/LSE	8	8	2036	2048	-12	1922	0.6 %	5.6 %
	LSE/AO	8	8	2037	2048	-11	1922	0.5 %	5.6 %
	MSE/AO	8	8	2046	2048	-2	1922	0.1 %	6.1 %
	CO/MSQCC	8	8	2044	2055	-11	1922	0.5 %	6.0 %
	MSQCC/CO	8	8	2068	2066	2	1922	0.08 %	7.0 %
	MIN-AIP	8	8	1981	2076	-95	1922	4.8 %	3.0 %
128 ( $M=1/4$ )	AO/LSE	6	6	2036	2049	-13	1922	0.6 %	5.6 %
	LSE/AO	6	6	2039	2049	-10	1922	0.5 %	5.7 %
	MSE/AO	6	6	2049	2050	-1	1922	0.05 %	6.2 %
	CO/MSQCC	6	6	2042	2049	-7	1922	0.3 %	5.9 %
	MSQCC/CO	6	6	2058	2050	8	1922	0.4 %	6.6 %
	MIN-AIP	6	6	1991	2052	-61	1922	3.1 %	3.5 %

기준 시퀀스 길이가 32인 경우에 간섭 시퀀스의 길이가 각각 64, 128일때의 최적화 기준에 따른 상관 파라미터들의 평균 특성을 보였다. 비교 분석에 사용된 파라미터들은 먼저 최대 even CCF( $\theta_c$ )와 odd CCF( $\hat{\theta}_c$ )이고, 다른 부시스템에 대한 평균 간섭 파라미터( $\hat{r}_{k,l}^{(j)}$ )와 MSC 파라미터 값들이 비교되었다. 표 2와 4에서 보인 바와 같이 기준 시퀀스에 대해서 간섭 시퀀스의 길이가 짧아질수록 AIP는 감소함을 알 수 있다.

즉, 간섭으로 작용하는 시퀀스의 확산 이득이 낮아짐으로써 확산 이득이 큰 기준 시퀀스 사용자에게 미치는 간섭의 양이 절대적으로 감소함을 확인 할 수 있다. 그렇지만, 일반적인 VSG-DS/CDMA 시스템에서 적용되는 전력 할당 법칙은 데이터 전송률에 무관하게 모든 사용자에게 동일 비트 에너지(equal bit-energy : EBE) 법칙을 적용하므로(즉,  $E_{b1} = P_1 T_1 = \dots = E_{bN} = P_N T_N$ 의 관계가 성립) 표 2에 제시된 AIP의

$M^2$ 배 정도의 간섭을 미치게 된다. 또한, 표 2, 3, 4 및 5에서 AIP의 근사화식 ( $\gamma_{k,l} \approx 2\mu_{k,l}(0)$ )의 관계는  $|\mu_{k,l}(1)|/\hat{\gamma}_{k,l}^{(j)}(\%)$  파라미터로 표시하였는데, 표에서 간섭 시퀀스의 길이가 작아 질수록 정확도가 감소함을 알 수 있다. 이것은 단일 전송률 시스템에 대한 상관 파라미터의 특성을 분석한 참고문헌 [7]에서 제시한 결과와 유사하게 시퀀스의 길이가 질수록 근사화식의 정확도가 증가함을 보였다. 이는 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템에서도 AIP 근사화식은 비교되는 시퀀스의 길이가 길어질수록 근사화가 가능하다는 중요한 결론을 얻을 수 있다.

표 3과 5에서는 이와 반대로 확산 이득이 낮은 32을 기준으로 하였을 때의 AIP는 간섭 시퀀스의 확산이득의 변화에 상관없이 거의 일정함을 알 수 있다. 이러한 경우, EBE 법칙이 적용된다면, 낮은 전력의 128 시퀀스의 AIP는 상대적으로 감소됨을 확인할 수 있다. 또한, 랜덤 시퀀스로 가정할 경우, 식 (7)과 (8)은  $2MN^2$ 와  $2N^2$ 로 근사화 될 수 있는데, 표 2과 3 및 4와 5 모두에서 보였듯이 간섭 시퀀스의 길이가 길어질수록 랜덤 시퀀스의 근사화에 접근함을 알 수 있다. 시퀀스 종류별 비교는 대체로 m-시퀀스가 Gold 시퀀스보다 미미한 성능 이득이 있었지만, 이것은 Gold 시퀀스 개수가 월등히 많아서 평균 AIP값이 약간 크지만 Gold 시퀀스의 경우 극히 큰 AIP 값을 갖는 시퀀스를 배제하면 m-시퀀스보다 낮은 AIP 값을 기대할 수 있다. 마지막으로 시퀀스의 위상 최적화에 따른 성능 비교결과, 본 논문에서 제시한 MIN-AIP가 멀티레이트 환경을 고려한 시스템에서는 최적의 결과를 보였다. 즉, 이러한 결과는 멀티레이트 CDMA 시스템의 경우에는 기존의 최적화 기준에 의한 시퀀스의 선택이 최적이지 아니라는 것을 의미한다. 그렇지만, 표 3에서 간섭 시퀀스 32, 64에 대해서는 완벽한 최적화가 이루어지지 않았지만, 모든 경우를 고려해 볼 때 가장 최적이라는 결론을 얻을 수 있다. 즉, 기존의 시퀀스 최적화 기준은 멀티레이트 환경에서 직접 적용되기는 쉽지않고, 본 논문에서 제시한 최적화 기준이나 상관 파라미터들의 특성을 고려하여야 할 것이며, 향후에 멀티레이트 교유의 상관 특성들을 고려한 시퀀스의 적용이 연구되어야 한다.

### V. 결론

본 논문에서는 가변 확산이득 (VSG)구조를 갖는

멀티미디어 멀티레이트 DS/CDMA 시스템에서 PN 시퀀스의 위상에 따른 상관 특성과 시퀀스 위상을 최적화 하였다. 멀티레이트 VSG-DS/CDMA 시스템에서의 시퀀스의 최적화는 기존의 시스템의 분석과는 달리 각 기준 신호나 간섭 신호의 확산 이득의 비나 시퀀스의 길이의 비에 따른 영향을 고려해야 한다. 시퀀스 최적화 기준으로 본 논문에서는 MIN-AIP 파라미터를 제시하였고, 이 파라미터를 토대로 하여 m-시퀀스와 Gold 시퀀스에 대해서 컴퓨터 탐색을 통한 시퀀스 위상의 최적화 및 상관 파라미터 성능분석 결과, MIN-AIP 기준에 의한 시퀀스 초기 위상의 선택기준이 성능을 가장 향상시킬 수 있는 최적의 선택기준이라는 결론을 얻을 수 있었다. 지면의 제한상 비트오율에 대한 성능 비교 결과는 생략하였지만, Eb/No가 10dB이하인 경우에는 AWGN이 지배적인 요소로 작용하여 특별히 어느 최적 위상이 우위를 점할 수 없는 반면에 10dB이상에서는 최적화 기준에 따라 시스템 용량과 성능이 차이가 남을 확인하였다. 특히 본 논문에서 제시한 MIN-AIP 기준에 의한 시퀀스는 다른 최적화 기준에 비해서 성능 향상을 얻을 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] T. Ottosson and A. Svensson, "Multi-Rate Schemes in DS/CDMA systems," *Proceedings of IEEE VTC'95*, 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 Trans. On Commun.*, 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 Trans. On Commun.*, Vol. 27, No. 10, pp.1597-1604, Oct. 1979.
- [4] T. O'Farrell, "New Signature Code Sequence Design Techniques for CDMA Systems," *IEE Electronics Letteres*, Vol. 27, No. 4, pp.371-373, Feb. 1991.
- [5] K. H. A. Kärrikäinen and P. A. Leppänen, "Influence of Various PN Sequence Phase Optimization Criteria on the Performance of an

Asynchronous DS-CDMA System," *Proceedings of IEEE MilCom'95, USA*, pp. 641-646, Nov. 1995.

- [6] 이연우, 차균현, "가변 확산이득 구조의 멀티미디어 멀티레이트 DS/CDMA 시스템에서 PN 시퀀스 위상에 따른 성능영향 분석," *한국통신학회논문지*, Vol. 24, No. 11, 1999.
- [7] K. H. A. Kärrikäinen, "Meaning of Maximum and Mean-Square Cross-Correlation as a Performance Measure for CDMA Code Families and Their Influence on System Capacity," *IEICE Trans. Commun.*, Vol. E76B, No. 8, pp. 848-854, Aug. 1993.

차 균 현(Kyun Hyon Tchah) 정회원



1965년 2월: 서울대학교  
전기공학과 학사  
1967년 6월: 미국 일리노이  
공과대학 석사  
1976년 6월: 서울대학교  
전기공학과 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

이 연 우(Yeonwoo Lee) 정회원



1992년 2월: 고려대학교  
전자공학과 학사  
1994년 2월: 고려대학교  
전자공학과 석사  
1998년 2월: 고려대학교 전자공  
학과 박사과정 수료

1999년 8월~현재: 고려대학교 정보통신기술공동연구  
구소 연구원  
<주관심 분야> Spread Spectrum 시스템, 멀티미디어  
CDMA 시스템, 차세대 이동 통신 시스  
템 및 위성 이동통신 시스템

김 용 배(Eung-Bae Kim) 정회원

1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 학사  
1983년 2월: 고려대학교 전자공학과 석사  
1999년 2월: 고려대학교 전자공학과 박사  
1983년 2월~1988년 3월: 금성전기 연구소 연구원  
1988년 3월~1989년 11월: 한국통신진흥(주) 과장  
1989년 11월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송연  
구소 책임연구원

<주관심 분야> 광대역 이동 멀티미디어 시스템, 차  
세대 이동 통신 시스템, 대역확산 통신,  
B-WLL, IMT-2000