

이진 낮은 상관 구역 수열군을 이용한 새로운 4진 낮은 상관 수열군의 생성법

정회원 장 지 응*, 종신회원 김 상 효**, 정회원 임 대 운***°

A New Construction of Quaternary LCZ Sequence Set Using Binary LCZ Sequence Set

Ji-Woong Jang* *Regular Member*, Sang-Hyo Kim** *Lifelong Member*,
Dae-Woon Lim***° *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 매개 변수가 $(N, M, L, 1)$ 인 특정 성질을 가진 이진 낮은 상관 구역 수열군(LCZ sequence)를 이용하여 매개 변수가 $(2N, 2M, L, 2)$ 인 4진 낮은 상관 수열군을 생성하는 방법을 제시한다. 본 논문에서 이용하는 이진 낮은 상관 수열군은 balance property를 가지고 있어야 하며, 주기 N 이 $N \equiv 3 \pmod{4}$ 이어야 하고, 특정한 상관 특성을 가져야 한다. 새로 제안된 생성법은 특정 성질을 가진 이진 낮은 상관 수열군을 이용하여 이진 낮은 상관 수열군을 생성한 Kim, Jang, No, and Chung의 생성법을 응용한 것이다.

Key Words : 다원접속 시스템, 시퀀스, LCZ, QS-CDMA, 자기상관 특성

ABSTRACT

In this paper, using the binary $(N, M, L, 1)$ low correlation zone(LCZ) sequence set with specific property, we propose the construction method of a quaternary LCZ sequence set with parameters $(2N, 2M, L, 2)$. The binary LCZ sequence using this method must have period $N \equiv 3 \pmod{4}$, balance property, and specific correlation property. The proposed method is modified from the construction method of binary LCZ sequence set by using binary LCZ sequence with specific condition proposed by Kim, Jang, No, and Chung[4].

I. 서 론

고속 통신을 위하여 현대의 무선 통신은 점차 고주파 대역을 이용하는 방향으로 나아가고 있으며, 고주파 대역의 특성상 셀의 크기는 점점 작아져 microcellular 환경이 되고 있다. 이와 같은 microcellular 환경에서는 상향 링크에서 신호의 지연을 반송파의 수 광장내로 유지하는 것이 가능하다. 최근 이러한 환경에 적합한 부호 분할 다원 접속(CDMA) 시스템으로 링크상에서의 지연 수 칩

내로 제한한 준동기 부호 분할 다원 접속(Quasi Synchronous CDMA : QS-CDMA) 시스템이 제안되었다¹⁾. 이러한 준동기 부호 분할 다원 접속 시스템이 효율적인 성능을 내기 위해서는 낮은 상관 구역 수열군(Low Correlation Zone Sequence Set: LCZ Sequence Set)의 사용이 필수적이다. 낮은 상관 수열군은 기존에 사용되던 일반적인 상관 특성이 좋은 것으로 알려진 수열군들에 비하여 상향 링크에서 사용자들 간의 간섭을 효과적으로 줄여서 준동기 부호 분할 다원 접속 시스템의 성능을 크게

* UCSD 전기컴퓨터공학부(stasera.jang@gmail.com), ** 성균관대학교 정보통신공학부 (iamshkim@skku.edu)

*** 동국대학교 IT학부 정보통신공학전공 (daewoonlim@gmail.com)(° : 교신저자)

논문번호 : KICS2008-09-386, 접수일자 : 2008년 9월 3일, 최종논문접수일자 : 2008년 11월 25일

개선시켜 준다¹¹⁻¹³.

최초의 낮은 상관 수열군은 GMW 수열을 이용하여 이진¹²과 p진¹⁴ 수열의 생성법이 제안되었다. Kim 등은 이상적인 자기상관 특성을 갖는 이진 수열을 이용하여 4진 낮은 상관 수열군의 생성법을 제안하였으며⁵ 이는 Tang-Fan-Matsufuji의 한계⁶를 만족하는 최초의 낮은 상관 수열군이다. 또한 Jang 등은 최적의 p진 낮은 상관 구역 수열군을 제안하였다⁷.

Kim 등은 이상적인 자기 상관 특성을 갖는 이진 수열을 이용하여 유연한 매개 변수를 갖는 낮은 상관 수열군의 생성법을 제안하였다⁸. 동일한 논문에서 Kim 등은 특정 성질을 갖는 이진 낮은 상관 수열군의 새로운 확장법 또한 제시하였다.

낮은 상관 구역 수열의 특수한 경우인 영상관 구역 수열의 연구에 있어, Cha는 이진 및 3진 영상관 구역 수열을 세계 최초로 제안하였고^{9,10} 이를 확장 다중 위상을 갖는 영상관 구역 수열에 대한 연구 결과를 발표하였다^{11,12}.

본 논문에서는 매개 변수가 $(N, M, L, 1)$ 이고 주기 N 이 $N \equiv 3 \pmod{4}$ 이며 특정 성질을 갖는 이진 낮은 상관 수열군을 이용하여 매개 변수가 $(2N, 2M, L, 2)$ 인 4진 낮은 상관 수열군을 생성하는 방법을 제안한다.

양의 정수 q 에 대해 $a(t)$ 와 $b(t)$ 가 주기가 N 인 q 진 수열이라 하자. 이 때, $a(t)$ 와 $b(t)$ 간의 상관 함수 $R_{a,b}(\tau)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$R_{a,b}(\tau) = \sum_{t=0}^{N-1} \omega_q^{a(t)-b(t+\tau)}$$

단, τ 는 $0 \leq \tau \leq N-1$ 인 정수이며, ω_q 는 q 차 복소 원시근이다. $a(t)=b(t)$ 인 경우 $R_{a,a}(\tau)$ 를 $a(t)$ 의 자기 상관 함수라 하고, $a(t) \neq b(t)$ 인 경우 $R_{a,b}(\tau)$ 를 $a(t)$ 와 $b(t)$ 간의 상호 상관 함수라 한다.

양의 정수 n 과 $N=2 \times (2^n - 1)$ 에 대해 Z_N 을 N 미만인 양의 정수의 집합 $Z_N = \{0, 1, \dots, N-1\}$ 으로 정의 하자. 또한, $s_i(t)$ 를 주기가 $2^n - 1$ 인 balance 성질을 가진 이진 수열로 정의하고 D_u^i 를 다음과 같이 정의되는 $s_i(t)$ 의 특성 집합이라 하자.

$$\begin{aligned} D_u^i &= \{t | s_i(t-u) = 1, 0 \leq t \leq 2^n - 2\} \\ &= D_u^0 + u \end{aligned}$$

단, $u \in Z_{2^n-1}$ 이며 $D_u^0 + u = \{d+u | d \in D_u^0\}$, $+$ 는 modulo $2^n - 1$ 상의 덧셈을 의미한다. 이 때,

$\overline{D_u^i} = Z_{2^n-1} \setminus D_u^i$ 라 하면 $s_i(t)$ 의 balance 특성으로부터 다음이 성립한다.

$$|D_u^i| = 2^{n-1}, \quad |\overline{D_u^i}| = 2^{n-1} - 1.$$

양의 정수 u, v 에 대해 $s_i(t-u)$ 와 $s_j(t-v)$ 간의 상관 함수 값이 -1 이라 하면 다음이 성립한다.

$$\begin{aligned} |D_u^i \cap D_v^j| &= 2^{n-2} \\ |D_u^i \cap \overline{D_v^j}| &= 2^{n-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |\overline{D_u^i} \cap D_v^j| &= 2^{n-2} \\ |\overline{D_u^i} \cap \overline{D_v^j}| &= 2^{n-2} - 1. \end{aligned}$$

$u=v$ 이고 $i=j$ 인 경우 다음이 성립한다.

$$\begin{aligned} |D_u^i \cap D_v^j| &= 2^{n-1} \\ |D_u^i \cap \overline{D_v^j}| &= 0 \\ |\overline{D_u^i} \cap D_v^j| &= 0 \\ |\overline{D_u^i} \cap \overline{D_v^j}| &= 2^{n-1} - 1. \end{aligned}$$

중국인의 나머지 정리에 의해 $\phi: \zeta \mapsto \mapsto (\zeta \pmod{2}, \zeta \pmod{2^n - 1})$ 의 isomorphism 하에 Z_N 을 $Z_n \cong Z_2 \otimes Z_{2^n-1}$ 로 나타낼 수 있다. 단, \otimes 는 direct product이다. 편의상 이후 본 논문에서는 $\zeta \in Z_N$ 과 $(\zeta \pmod{2}, \zeta \pmod{2^n - 1})$ 을 혼용하여 사용한다.

II. 특정 성질을 가진 이진 낮은 상관 수열군에서 생성되는 4진 낮은 상관 수열군

본 장에서는 특정한 성질을 가진 매개 변수가 $(N, M, L, 1)$ 인 이진 낮은 상관 구역 수열군을 이용하여 매개 변수가 $(2N, 2M, L, 2)$ 인 4진 낮은 상관 구역 수열군의 생성법을 제안한다.

$N \equiv 3 \pmod{4}$ 인 양의 정수 N 과 $L | N$ 인 정수 L 에 대해 \mathcal{J} 는 매개 변수가 $(N, M, L, 1)$ 인 이진 낮은 상관 수열군이라 하자. 또한, $\tau \neq 0 \pmod{L}$ 인 모든 τ 에 대해 \mathcal{J} 의 임의의 두 수열 $v_i(t)$ 와 $v_j(t)$ 간의 상관 함수 $R_{i,j}(\tau)$ 가 -1 이고 \mathcal{J} 의 모든 수열은 balance하다 가정하자.

D_i 가 \mathcal{J} 의 원소인 수열 $v_i(t)$ 의 특성 집합이라 하면, 다음과 같이 4진 낮은 상관 구역 수열군을 생성할 수 있다.

정리 1. $A_0^i \in \{D_0^i + L, \overline{D_0^i} + L\}$ 에 대해 다음과 같이 4진 수열을 정의하자.

$$s_i(t) = \begin{cases} 0, & \text{if } t \in \{0\} \otimes \overline{D_0^i} \\ 1, & \text{if } t \in \{1\} \otimes \overline{A_0^i} \\ 2, & \text{if } t \in \{0\} \otimes D_0^i \\ 3, & \text{if } t \in \{1\} \otimes A_0^i. \end{cases}$$

U_1 과 U_2 가 각각 $A_0^i = D_0^i + L$ 과 $A_0^i = \overline{D_0^i} + L$ 사상
에 의한 수열군이라 하면, $Q = \{s_i(t)\} = U_1 \cap U_2$ 는
매개 변수가 $(2N, 2M, L, 2)$ 인 낮은 상관 구역 수열군
이 된다.

증명 $s_i(t)$ 는 다음과 같이 다시 정의할 수 있다.

$$s_i(t) = \begin{cases} 2v_i(t), & \text{if } t \equiv 0 \pmod 2 \\ \text{and} & 0 \leq t < 2^n \\ 2v_i(t - 2^{n-1}), & \text{if } t \equiv 0 \pmod 2 \\ \text{and} & 2^{n-1} \leq t < 2^n \\ 2u_i(t) + 1, & \text{if } t \equiv 1 \pmod 2 \\ \text{and} & 0 \leq t < 2^n \\ 2u_i(t - 2^{n-1}) + 1, & \text{if } t \equiv 1 \pmod 2 \\ \text{and} & 2^{n-1} \leq t < 2^n \end{cases} \quad (1)$$

단, $u_i(t)$ 는 $s_i(t) \in U_1$ 인 경우 $v_i(t+L)$, $s_i(t) \in U_2$
인 경우 $v_i(t+L) \oplus 1$ 이다.

이제 수열군 Q 의 임의의 두 수열을 각각 $s_i(t)$,
 $s_j(t)$ 라 하면 상관 함수 $R_{i,j}(\tau)$ 는 다음과 같이 정리
할 수 있다.

$$\begin{aligned} R_{i,j}(\tau) &= \sum_{t=0}^{N-1} \omega_4^{s_i(t) - s_j(t+\tau)} \\ &= \sum_{t=0}^{2^{n-1}-1} \omega_4^{s_i(2t) - s_j(2t+\tau)} \\ &\quad + \sum_{t=0}^{2^{n-1}-1} \omega_4^{s_i(2t+1) - s_j(2t+1+\tau)}. \end{aligned} \quad (2)$$

이제 다음의 6가지 경우에 대하여 증명을 하여야
한다.

case 1) $s_i(t), s_j(t) \in U_1, \tau \equiv 0 \pmod 2$

$\tau \equiv 0 \pmod 2$ 이므로 $s_i(t)$ 의 짝수 번째 값과 $s_j(t)$ 의
짝수 번째 값이, $s_i(t)$ 의 홀수 번째 값과 $s_j(t)$ 의 홀수
번째 값이 동일 위상에 놓이게 된다. 그러므로 (1)을
(2)에 대입하면 $R_{i,j}(\tau)$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} R_{i,j}(\tau) &= \sum_{t=0}^{2^{n-1}-1} \omega_4^{2v_i(2t) - 2v_j(2t+\tau)} \\ &\quad + \sum_{t=2^{n-1}}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(2t - N_v) - 2v_j(2t + \tau - N_v)} \\ &\quad + \sum_{t=0}^{2^{n-1}-1} \omega_4^{2v_i(2t+L) + 1 - \{2v_j(2t+L+\tau) + 1\}} \\ &\quad + \sum_{t=2^{n-1}}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(2t+L - N_v) + 1 - \{2v_j(2t+L+\tau - N_v) + 1\}} \end{aligned}$$

단, $N_v = 2^n - 1$ 이고, $v_i(\cdot), v_j(\cdot)$ 내의 연산은
 $\text{mod } 2^n - 1$ 연산이다. 위 식에서 v_i 와 v_j 는 주기가
 $2^n - 1$ 인 수열이므로 위 식은 다음과 같이 다시 쓸
수 있다.

$$\begin{aligned} R_{i,j}(\tau) &= \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t) - 2v_j(t+\tau)} \\ &\quad + \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t+L) - 2v_j(t+L+\tau)}. \end{aligned}$$

v_i 와 v_j 는 매개 변수가 $(N, M, L, 1)$ 인 낮은 상관
구역 수열군의 원소이므로 낮은 상관 수열군의 특
성상 $i=j$ 이고 $\tau=0$ 인 경우를 제외하면 $|t| < L$ 에 대
해 $|R_{i,j}(\tau)| \leq 2$ 가 성립한다.

case 2) $s_i(t), s_j(t) \in U_1, \tau \equiv 1 \pmod 2$

$\tau \equiv 1 \pmod 2$ 이므로 $s_i(t)$ 의 짝수 번째 값과 $s_j(t)$ 의
홀수 번째 값이, $s_i(t)$ 의 홀수 번째 값과 $s_j(t)$ 의 짝수
번째 값이 동일 위상에 놓이게 된다. 그러므로 (1)을
(2)에 대입하면 $R_{i,j}(\tau)$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} R_{i,j}(\tau) &= \sum_{t=0}^{2^{n-1}-1} \omega_4^{2v_i(2t) - 2v_j(2t+L+\tau) - 1} \\ &\quad + \sum_{t=2^{n-1}}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(2t - N_v) - 2v_j(2t+L+\tau - N_v) - 1} \\ &\quad + \sum_{t=0}^{2^{n-1}-1} \omega_4^{2v_i(2t+L) + 1 - 2v_j(2t+\tau)} \\ &\quad + \sum_{t=2^{n-1}}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(2t+L - N_v) + 1 - 2v_j(2t+\tau - N_v)} \end{aligned}$$

단, $N_v = 2^n - 1$ 이고, $v_i(\cdot), v_j(\cdot)$ 내의 연산은
 $\text{mod } 2^n - 1$ 연산이다. 위 식에서 v_i 와 v_j 는 주기가
 $2^n - 1$ 인 수열이므로 위 식은 다음과 같이 정리 할
수 있다.

$$\begin{aligned} R_{i,j}(\tau) &= \omega_4^{-1} \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t) - 2v_j(t+L+\tau)} \\ &\quad + \omega_4 \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t+L) - 2v_j(t+\tau)}. \end{aligned}$$

v_i 와 v_j 는 매개 변수가 $(N, M, L, 1)$ 인 낮은 상관
구역 수열군의 원소이며, **balance** 성질과 위상차이
가 L 의 배수가 아닌 경우 항상 상관 값이 1이므로
 $|t| < L$ 에 대해 $|R_{i,j}(\tau)| \leq 2$ 가 성립한다.

case 3) $s_i(t), s_j(t) \in U_2, \tau \equiv 0 \pmod 2$

case 1)과 유사한 과정을 거쳐 다음을 얻을 수
있다.

$$\begin{aligned}
 R_{i,j}(\tau) &= \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t)-2v_j(t+\tau)} \\
 &\quad + \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t+L)-2v_j(t+L+\tau)} \\
 &= \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t)-2v_j(t+\tau)} \\
 &\quad + \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t+L)-2v_j(t+L+\tau)}
 \end{aligned}$$

단, $\overline{v_i(\cdot)}$ 는 $v_i(\cdot) \oplus 1$ 이다.

v_i 와 v_j 는 매개 변수가 $(N, M, L, 1)$ 인 낮은 상관 구역 수열군의 원소이므로 낮은 상관 수열군의 특성상 $i=j$ 이고 $\tau=0$ 인 경우를 제외하면 $|r| < L$ 에 대해 $|R_{i,j}(\tau)| \leq 2$ 가 성립한다.

case 4) $s_i(t), s_j(t) \in U_2, \tau \equiv 1 \pmod 2$

case 2)와 유사한 과정을 거쳐 다음을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R_{i,j}(\tau) &= \omega_4^{-1} \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t)-2v_j(t+L+\tau)} \\
 &\quad + \omega_4 \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t+L)-2v_j(t+\tau)} \\
 &= \omega_4^{-1} \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t)-2v_j(t+L+\tau)} \\
 &\quad + \omega_4 \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t+L)-2v_j(t+\tau)}
 \end{aligned}$$

단, $\overline{v_i(\cdot)}$ 는 $v_i(\cdot) \oplus 1$ 이다.

v_i 와 v_j 는 매개 변수가 $(N, M, L, 1)$ 인 낮은 상관 구역 수열군의 원소이며, balance 성질과 위상차이가 L 의 배수가 아닌 경우 항상 상관 값이 1이므로 $|r| < L$ 에 대해 $|R_{i,j}(\tau)| \leq 2$ 가 성립한다.

case 5) $s_i(t) \in U_1, s_j(t) \in U_2, \tau \equiv 0 \pmod 2$

case 1)과 유사한 과정을 거쳐 (3)의 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R_{i,j}(\tau) &= \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t)-2v_j(t+\tau)} + \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t+L)-2v_j(t+L+\tau)} \\
 &= \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t)-2v_j(t+\tau)} - \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t+L)-2v_j(t+L+\tau)}
 \end{aligned} \tag{3}$$

단, $\overline{v_i(\cdot)}$ 는 $v_i(\cdot) \oplus 1$ 이다.

v_i 와 v_j 는 매개 변수가 $(N, M, L, 1)$ 인 낮은 상관 구역 수열군의 원소이므로 낮은 상관 수열군의 특성상 $i=j$ 이고 $\tau=0$ 인 경우를 제외하면 $|r| < L$ 에 대

해 $|R_{i,j}(\tau)| \leq 2$ 가 성립한다. $i=j$ 이고 $\tau=0$ 인 경우 (3)의 두 합이 크기가 같아지므로 상관 값이 0이 되어 낮은 상관 구역의 특성을 만족하게 된다.

case 6) $s_i(t) \in U_1, s_j(t) \in U_2, \tau \equiv 1 \pmod 2$

case 2)와 유사한 과정을 거쳐 다음을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R_{i,j}(\tau) &= \omega_4^{-1} \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t)-2v_j(t+L+\tau)} \\
 &\quad + \omega_4 \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t+L)-2v_j(t+\tau)} \\
 &= \omega_4^{-1} \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t)-2v_j(t+L+\tau)} \\
 &\quad + \omega_4^3 \sum_{t=0}^{2^n-1} \omega_4^{2v_i(t+L)-2v_j(t+\tau)}
 \end{aligned}$$

단, $\overline{v_i(\cdot)}$ 는 $v_i(\cdot) \oplus 1$ 이다.

v_i 와 v_j 는 매개 변수가 $(N, M, L, 1)$ 인 낮은 상관 구역 수열군의 원소이며, balance 성질과 위상차이가 L 의 배수가 아닌 경우 항상 상관 값이 1이므로 $|r| < L$ 에 대해 $|R_{i,j}(\tau)| \leq 2$ 가 성립한다.

case 1) ~ case 6)에 의해 Q 가 낮은 상관 구역 수열군임은 자명하다. □

III. 결 론

본 논문에서는 매개 변수가 $(N, M, L, 1)$ 인 특정 성질을 가진 이진 낮은 상관 구역 수열군(LCZ sequence)를 이용하여 매개 변수가 $(2N, 2M, L, 2)$ 인 4진 낮은 상관 수열군을 생성하는 방법을 제시한다. 본 논문에서 이용하는 이진 낮은 상관 수열군은 balance property를 가지고 있어야 하며, 주기 N 이 $N \equiv 3 \pmod 4$ 이어야 하고, 특정한 상관 특성을 가져야 한다. 새로 제안된 수열은 특정 성질을 가진 이진 낮은 상관 수열군을 이용하여 이진 낮은 상관 수열군을 생성한 Kim, Jang, No, and Chung의 생성법^[4]을 응용한 것으로 4진 수열이기 때문에 QPSK나 QAM등에 별도의 변형 없이 바로 적용이 가능하여 변형에 의한 성능의 열화 없이 시스템에 적용이 가능하다는 장점이 있다.

참 고 문 헌

[1] R. De Gaudenzi, C. Elia, and R. Viola, "Band limited quasi-synchronous CDMA : A novel

- satellite access technique for mobile and personal communication systems,” IEEE J. Select.Areas Commun., Vol.10, No.2, pp.328-343, 1992.
- [2] B. Long, P. Zhang, and J. Hu, “A generalized QS-CDMA system and the design of new spreading codes,” IEEE Trans. Veh. Technol., Vol.47, No.4, pp.1268-1275, 1998.
- [3] 노종선, 장지웅, “새로운 LCZ 수열군을 이용한 준동기 부호분할 다원접속 시스템의 성능분석,” Telecommunications Review, 제15권 3호, 2005년 6월.
- [4] X. Tang and P. Fan, “A class of pseudonoise sequences over $GF(p)$ with low correlation zone,” IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.47, No.4, pp.1644-1649, 2001.
- [5] S. Kim, J. Jang, J. No, and H. Chung, “New Constructions of Quaternary Low Correlation Zone Sequences,” IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.51, No.4, pp.1469-1477, 2005.
- [6] X. Tang, P. Fan, and S. Matsufuji, “Lower bounds on correlation of spreading sequence set with low or zero correlation zone,” Electron. Lett., Vol.36, No.6, pp.551-552, 2000.
- [7] J. Jang, J. No, H. Chung, and X. Tang, “New sets of optimal p -ary low-correlation zone sequences,” IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.53, No.2, pp.815-821, 2007.
- [8] Y. Kim, J. Jang, J. No, and H. Chung, “New design of low correlation zone sequence sets,” IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.52, No.10, pp.4607-4616, 2006.
- [9] J. S. Cha, S. Kameda, K. Takahashi, M. Yokoyama, N. Suehiro, K. Masu, K. Tsubouchi, “Proposal and Implementation of Approximately synchronized CDMA system using novel biphasic sequences” Proc. IEICE ITC-CSCC 99, Sado Island Japan, Vol.1, pp.56-59, July. 1999
- [10] J. S. Cha, S. Kameda, M. Yokoyama, H. Nakase, K. Masu and K. Tsubouchi, “New binary sequences with zero-correlation duration for approximately synchronised CDMA” Electronics Letters, Vol.36, Issue 11, pp.991-993, 2000
- [11] J. S. Cha, “Class of ternary spreading sequences with zero correlation duration” Electronics Letters, Vol.37, Issue.10, pp.636-637, 2001
- [12] S.-Y. Lee, J. S. Cha, J.-W. Seo, E.-Y. Ko, and M.-C. Shin, “A class of multi-phase ZCD sequences for MAI-Cancelled DS-SS Systems” Proc. ICIS, Seoul, Korea, Vol.1, pp.817-820, 2002

장 지 웅 (Ji-Woong Jang)

정회원



2000년 2월 서울대학교 전기공학부 공학사

2002년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사

2006년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사

2006년 3월~2008년 6월 삼성

전자 책임연구원

2008년 8월~현재 UCSD(postdoc)

<관심분야> 시퀀스, 오류정정부호, 디지털통신, cross-layer coding

김 상 호 (Sang-Hyo Kim)

종신회원



1998년 2월 서울대학교 전기공학부 공학사

2000년 2월 서울대학교 전기공학부 공학석사

2004년 2월 서울대학교 전기공학부 공학박사

2004년 3월~2006년 7월 삼성

전자, 선임연구원

2006년 8월~2007년 8월 박사후 연구원(USC)

2007년 9월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 조교수

<관심분야> 오류정정부호, 다중 안테나 시스템, 시퀀스, 협력 통신

임 대 운 (Dae-Woon Lim)

정회원



1994년 2월 한국과학기술원 전
기및전자공학과 학사

1997년 2월 한국과학기술원 전
기및전자공학과 석사

2006년 8월 서울대학교 전기·
컴퓨터공학부 박사

1995년 9월~2002년 8월 LS산

전(주) 중앙 연구소 선임 연구원

2006년 9월~현재 동국대학교 IT학부 조교수

<관심분야> OFDM, 부호 이론, 시공간 부호