LCZ 수열군의 확장된 생성 방법

정 정 수, 김 영 식, 장 지 웅, 노 종 선
서울대학교 전기 · 컴퓨터공학부

Generalized Extending Method for Construction of LCZ Sequence Set

Jung-Soo Chung, Young-Sik Kim, Ji-Woong Jang, Jong-Seon No
School of Electrical Engineering and Computer Sciences
Seoul National University

요 약

서로 다른 사용자 간의 및 칩의 시간 지연을 허용하는 준동기 부호분할다중접속 시스템에서는 원점주변에서 상관특성이 좋은 LCZ 수열군이 기존의 다른 수열군보다 더 좋은 성능을 보인다. 본 논문에서는 인수 (N,M,L,ϵ)인 p진 LCZ 수열군을 확장하여 인수 $(pN,pM,p\lfloor \frac{L}{p} \rfloor -1,p\epsilon)$를 가지는 p진 LCZ 수열군의 생성방법을 제안한다. 이미 알려진 최적의 p진 LCZ 수열군을 제안한 방법으로 확장하면 최적에 가까운 확장된 LCZ 수열군이 생성된다.

1. 서 론

부호분할다중접속(code-division multiple access, CDMA) 시스템에서는 Gold 수열군과 같은 좋은 상관 특성을 가지는 의사잡음 수열을 사용한다. 이런 좋은 상관 특성을 가지는 수열군을 사용하더라도 상당한 양의 다중 접속 간섭이 발생한다. Gaudenzi 등은 [1]에서 준동기(quasi-synchronous, QS) CDMA 방식을 제안하였다. 이 시스템은 서로 다른 사용자 간의 시간 지연을 기존 시스템보다 몇 칩 더 허용하여 무선 통신 시스템에서 다중 접속 간섭에 대한 처리에 효과적이다. QS-CDMA 시스템에 사용할 수열에서 중요하게 고려하는 것은 전체 주기에서의 최대 상관값이 얼마나 크냐는 것에 관한 아니라 원점 주변에서 낮은 상관 구역(low correlation zone, LCZ)이 얼마나 크게 존재하느냐에 관한 것이다. 이런 QS-CDMA 시스템에서 낮은 상관 구역을 가지는 수열(LCZ sequences)은 기존의 최적의 상관 특성을 가진 것으로 알려진 수열군보다 원점 주변의 낮은 상관 구역에서 더 좋은 성능을 보인다[3].

주기가 N인 M개의 수열 집합을 S라 하자. S에 속한 임의의 두 수열 사이에서의 상관값의 크기는 구간 $-L<\tau<L$에서 ϵ보다 작거나 같은 값을 가진다. 이런 S를 인수 (N,M,L,ϵ)를 가지는 LCZ 수열군이라고 한다. Long 등은 [2]에서 GMW 수열을 이용한 이진 LCZ 수열을 제안하였다. 소수 p에 대해서 Tang등은 [3]에서 [2]의 결과를 p진으로 확장한 p진 LCZ 수열을 제안하였다. [4]에서는 최적의 4진 LCZ 수열군을 제안하였다. [5]에서는 최적의 p진 LCZ 수열군을 생성하는 새로운 방법을 제안하였다. 최근 [6]에서 기존의 (N,M,L,ϵ)를 가지는 q진 LCZ 수열군을 이용하여 인수 $(2N,2M,L,2\epsilon)$나 $(2N,2M,L-1,2\epsilon)$를 가지는 확장된 LCZ 수열군 생성하는 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 수열의 길이와 수열군의 크기 모두를 확장한다. 즉, 인수 (N,M,L,ϵ)인 p진 LCZ 수열군을 확장하여 인수 $(pN,pM,p\lfloor \frac{L}{p} \rfloor -1,p\epsilon)$를 가지는 p진 LCZ 수열군을 제안한다. 이미 알려진 최적의 p진 LCZ 수열군을 제안한 방법으로 확장하면 최적에 가까운 LCZ 수열군이 생성된다.

2. LCZ 수열군의 확장 방법

주기가 N인 두 함수 $s_i(t)$와 $s_j(t)$의 상관 함수 $R_{i,j}(\tau)$는 다음과 같다. 이 때, $i=j$이면 $R_{i,j}(\tau)$는 자기 상관 함수이고 $i\neq j$이면 상호 상관 함수이다.

$$R_{i,j}(\tau)=\sum_{t=0}^{N-1}\omega_p^{s_i(t)-s_j(t+\tau)} \qquad (1)$$

여기서, $\omega_p=e^{j2\pi/p}$이다.

인수가 (N,M,L,ϵ)인 p진 LCZ 수열군 S는 다음과 같이 정의된다.

$$S=\{v_i(t)\mid 0\le i\le M-1,\ 0\le t\le N-1\}$$

g는 유한체 F_p의 생성자라 하자. $p\times p$의 행렬 D는 다음과 같다.

$$D=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & g & 2g & \cdots & (p-1)g \\ 0 & g^2 & 2g^2 & \cdots & (p-1)g^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & g^{p-1} & 2g^{p-1} & \cdots & (p-1)g^{p-1} \end{bmatrix}=[d_{ij}]$$

여기서 $0 \le i,j \le p-1$이다.

정의 1: S를 확장하여 새롭게 생성되는 LCZ 수열군 T는 다음과 같다.

$$T=\{s_i(t) \mid 0 \le i \le pM-1,\ 0 \le t \le pN-1\}$$

여기서 $s_i(t)$, $t=px+y$는 다음과 같이 정의된다.

$$s_i(px+y)=v_{i-kM}\left(t+y\left\lfloor \frac{L}{p} \right\rfloor\right)+d_{ky},$$
$$\text{for } kM \le i \le (k+1)M-1$$

$\lfloor a \rfloor$는 a보다 크지 않은 최대 정수이다.

□

위의 정의로 만들어진 LCZ 수열군은 다음의 인수를 가진다.

정리 2: LCZ 수열군 T는 $(pN,pM,p\lfloor \frac{L}{p} \rfloor -1,p\epsilon)$의 인수를 가진다.

증명: $s_i(t)$와 $s_j(t)$의 상관 함수 $R_{i,j}(\tau)$이다. 정의에서 주기는 pN이고 수열군은 크기는 pM임을 쉽게 알 수 있다. 따라서 $R_{i,j}(\tau)$이 $p\epsilon$보다 작거나 같은 값을 가지는 낮은 상관 구역이 $p\lfloor \frac{L}{p} \rfloor -1$임을 보이면 된다.

$L=pa+b$라 하자. 여기서 a는 0보다 큰 정수이고, $0 \le b \le a-1$이다. 그러면 $\lfloor \frac{L}{p} \rfloor = a$이다. S의 크기 M과 행렬 D의 크기 때문에 다음 6가지 경우로 나눌 수 있다.

경우 1) $0 \le i,j \le M-1$이고 $\tau=pk'$
식 (1)의 $R_{i,j}(\tau)$를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_{i,j}(\tau) &= \sum_{y=0}^{p-1}\sum_{x=0}^{N-1} \omega^{v_i(x+ay)-v_j(x+ay+\frac{\tau}{p})} \\ &= \sum_{x=0}^{N-1} \omega^{v_i(x)-v_j(x+\frac{\tau}{p})} \\ &+ \sum_{x=0}^{N-1} \omega^{v_i(x+a)-v_j(x+a+\frac{\tau}{p})} + \cdots \\ &+ \sum_{x=0}^{N-1} \omega^{v_i(x+(p-1)a)-v_j(x+(p-1)a+\frac{\tau}{p})} \end{aligned} \tag{2}$$

인수 (N,M,L,ϵ)인 LCZ 수열군의 성질로부터 식 (2)의 각 부분 합의 크기는 구간 $-pL<\tau<pL$에서 ϵ보다 작거나 같다. 그러므로, $-pL<\tau<pL$일 때 $|R_{i,j}(\tau)| \le p\epsilon$이다.

경우 2) $0 \le i,j \le M-1$이고 $\tau=pk'+k''$(단, $1 \le k'' \le k'-1$)
식 (1)의 $R_{i,j}(\tau)$를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_{i,j}(\tau) &= \sum_{y=0}^{p-1}\sum_{x=0}^{N-1} \omega^A, \\ A &= v_i(x+ay) \\ &- v_j(x+\left\lfloor \frac{y+k''}{p} \right\rfloor + (y \oplus k'')a + \frac{\tau-k''}{p}) \end{aligned} \tag{3}$$

여기서 $\oplus$는 모듈로 p 덧셈이다.
식 (3)에서 k''이 1라 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_{i,j}(\tau) &= \sum_{x=0}^{N-1} \omega^{v_i(x)-v_j(x+a+\frac{\tau-1}{p})} \\ &+ \sum_{x=0}^{N-1} \omega^{v_i(x+a)-v_j(x+2a+\frac{\tau-1}{p})} + \cdots \\ &+ \sum_{x=0}^{N-1} \omega^{v_i(x+(p-1)a)-v_j(x+1+\frac{\tau-1}{p})} \end{aligned} \tag{4}$$

인수 (N,M,L,ϵ)인 LCZ 수열군의 성질과 위상이 일치할 때 자기 상관 함수 값으로부터, 식 (4)에서 각 부분 합의 크기는 다음의 구간에서 ϵ보다 작거나 같다.
(4)의 첫 번째 부분 합부터 $(p-1)$번째 부분 합의 경우 구간은 다음과 같다.

$$-L < a+\frac{\tau-1}{p} < L$$

(4)의 p번째 부분 합의 구간은

$$-L < \frac{\tau-1}{p}+1-(p-1)a < L$$

이고

$$\frac{\tau-1}{p}+1 < (p-1)a$$

이다.
그러므로, 각 부분 합이 ϵ보다 작거나 같게 되는 구간은 다음과 같다.

$$-L-(p-1)(b+1) < \tau < (p-1)(L-b-1)$$

따라서, $k''=1$인 경우 $|R_{i,j}(\tau)| \le p\epsilon$인 구간은
$|\tau| < \min(L+(p-1)(b+1),(p-1)(L-b-1))$이다.
위의 방식을 일반화하면 $1 \le k'' \le p-1$에 대해서 구간은 다음과 같다.

$$-L < k''a+\frac{\tau-k''}{p} < L$$
$$-L < \frac{\tau-k''}{p}+1-(p-k'')a < L$$
$$\frac{\tau-k''}{p}+1 < (p-k'')a$$

이를 정리하면

$$-k''L-(p-k'')(b+1) < \tau < \min((L-b-1)(p-k''), (p-k'')L+k''(b+1))$$

따라서, 구간 τ는 다음과 같다.

$$|\tau| < \min(|k''L+(p-k'')(b+1)|, |(L-b-1)(p-k'')|, |(p-k'')L+k''(b+1)|)$$

$k''=p-1$일 때 τ의 구간이 가장 좁다. 그러므로, $-(L-b-1)<\tau<L-b-1$에서 $|R_{i,j}(\tau)| \le p\epsilon$이다.

경우 3) $0 \le i \le M-1$, $kM \le j \le (k+1)M-1$,

$1 \le k \le (p-1)$, $\tau = pk'$
(혹은 $kM \le i \le (k+1)M - 1$ $0 \le j \le M-1$
$1 \le k \le (p-1)$, $\tau = pk'$)

식 (1)의 $R_{i,j}(\tau)$를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$
\begin{aligned}
R_{i,j}(\tau) &= \sum_{y=0}^{p-1}\sum_{x=0}^{N-1}\omega^{v_i(x+ay)-v_j(x+ay+\frac{\tau}{p})-d_{ky}} \\
&= \sum_{x=0}^{N-1}\omega^{v_i(x)-v_j(x+\frac{\tau}{p})-d_{k0}} \\
&+ \sum_{x=0}^{N-1}\omega^{v_i(x+a)-v_j(x+a+\frac{\tau}{p})-d_{k1}} + \cdots \\
&+ \sum_{x=0}^{N-1}\omega^{v_i(x+(p-1)a)-v_j(x+(p-1)a+\frac{\tau}{p})-d_{k(p-1)}} \\
&= \sum_{x=0}^{N-1}\omega^{v_i(x)-v_j(x+\frac{\tau}{p})} \\
&+ \sum_{x=0}^{N-1}\omega^{v_i(x+a)-v_j(x+a+\frac{\tau}{p})-g} + \cdots \\
&+ \sum_{x=0}^{N-1}\omega^{v_i(x+(p-1)a)-v_j(x+(p-1)a+\frac{\tau}{p})-g(p-1)} \\
&= \sum_{x=0}^{N-1}\omega^{v_i(x)-v_j(x+\frac{\tau}{p})} \\
&+ \omega^{-g}\sum_{x=0}^{N-1}\omega^{v_i(x+a)-v_j(t+a+\frac{\tau}{p})} + \cdots \\
&+ \omega^{-g(p-1)}\sum_{x=0}^{N-1}\omega^{v_i(x+(p-1)a)-v_j(x+(p-1)a+\frac{\tau}{p})}
\end{aligned}
$$

1)의 경우와 비슷하게 정리를 하면, $-pL < \tau < pL$일 때 $|R_{i,j}(\tau)| \le p\epsilon$이다.

경우 4) $0 \le i \le M-1$, $kM \le j \le (k+1)M-1$
$1 \le k \le (p-1)$, $\tau = pk' + k''$, $1 \le k'' \le k'-1$
(혹은 $kM \le i \le (k+1)M-1$, $0 \le j \le M-1$
$1 \le k \le (p-1)$, $\tau = pk' + k''$, $1 \le k'' \le k'-1$)
$R_{i,j}(\tau)$를 정리하면

$$
\begin{aligned}
R_{i,j}(\tau) &= \sum_{y=0}^{p-1}\sum_{x=0}^{N-1}\omega^{B_1} \\
&= \sum_{y=0}^{p-1}\omega^{-d_{ky}}\sum_{x=0}^{N-1}\omega^{B_2}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
B_1 &= v_i(x+ay) \\
&- v_j\left(x + \left\lfloor \frac{y+k''}{p} \right\rfloor + (y \oplus k'')a + \frac{\tau - k''}{p}\right) \\
&- d_{ky} \\
B_2 &= v_i(x+ay) \\
&- v_j\left(x + \left\lfloor \frac{y+k''}{p} \right\rfloor + (y \oplus k'')a + \frac{\tau - k''}{p}\right)
\end{aligned}
$$

2)의 경우와 비슷한 구조이다. 그러므로 $|R_{i,j}(\tau)| \le p\epsilon$인 구간은 $-(L-b-1) < \tau < L-b-1$이다.

경우 5) $k_1 M \le i \le (k_1+1)M-1$,
$k_2 M \le j \le (k_2+1)M-1$, $1 \le k_1, k_2 \le (p-1)$,
$\tau = pk'$
$R_{i,j}(\tau)$를 정리하면

$$
\begin{aligned}
R_{i,j}(\tau) & \\
&= \sum_{y=0}^{p-1}\sum_{x=0}^{N-1}\omega^{v_i(x+ay)+d_{k_1 y}-v_j(x+ay+\frac{\tau}{p})-d_{k_2 y}} \\
&= \sum_{y=0}^{p-1}\omega^{d_{k_1 y}-d_{k_2 y}}\sum_{x=0}^{N-1}\omega^{v_i(x+ay)-v_j(x+ay+\frac{\tau}{p})}
\end{aligned}
$$

1), 3)의 경우와 비슷하다. 그러므로 $-pL < \tau < pL$에서 $|R_{i,j}(\tau)| \le p\epsilon$이다.

경우 6) $k_1 M \le i \le (k_1+1)M-1$
$k_2 M \le j \le (k_2+1)M-1$, $1 \le k_1, k_2 \le (p-1)$
$\tau = pk' + k''$, $1 \le k'' \le k'-1$
$R_{i,j}(\tau)$를 정리하면

$$
\begin{aligned}
R_{i,j}(\tau) &= \sum_{y=0}^{p-1}\sum_{x=0}^{N-1}\omega^{C_1} \\
&= \sum_{y=0}^{p-1}\omega^{d_{k_1 y}-d_{k_2 y}}\sum_{x=0}^{N-1}\omega^{C_2}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
C_1 &= v_i(x+ay) + d_{k_1 y} \\
&- v_j\left(x + \left\lfloor \frac{y+k''}{p} \right\rfloor + (y \oplus k'')a + \frac{\tau - k''}{p}\right) - d_{k_2 y} \\
C_2 &= v_i(x+ay) \\
&- v_j\left(x + \left\lfloor \frac{y+k''}{p} \right\rfloor + (y \oplus k'')a + \frac{\tau - k''}{p}\right)
\end{aligned}
$$

2), 4)와 비슷하게, $-(L-b-1) < \tau < L-b-1$에서 $|R_{i,j}(\tau)| \le p\epsilon$이다.

위의 6가지 경우를 종합하면, LCZ 수열군 T의 인수는 $(pN, pM, p\left\lfloor \frac{L}{p} \right\rfloor - 1, p\epsilon)$(혹은 $(pN, pM, L-b-1, p\epsilon)$ 이다.)

□

3. 제안한 LCZ 수열군의 최적성과 예제

이번 장에서는 제안한 LCZ 수열군의 최적성에 대해서 살펴보고 기존의 LCZ 수열군을 이용하여 제안한 LCZ 수열군을 생성한다.

정리 3: [7] S를 인수 (N, M, L, ϵ)를 가지는 LCZ 수열군이라고 하자. 그러면 인수들 사이의 관계는 다음과 같다.

$$ML - 1 \le \frac{N-1}{1-\epsilon^2/N} \tag{5}$$

□

식 (5)에서 $\epsilon = 1$이면, $L \le \dfrac{N+1}{M}$이다.

정리 4: $N = p^{n-1}$, $M = p^{m-1}$, $\epsilon = 1$인 인수 $(N, M, L, 1)$를 가지는 최적의 LCZ 수열군을 확장한 새로운 LCZ 수열군 T는 Tang과 Fan, Matsufuji의 경계에 대해서 최적에 가깝다(sub-optimal).

증명: $(N,M,L,1)$를 p배 만큼 확장하면 $(pN,pM,L',p\epsilon)$이다. 이를 Tang과 Fan, Matsufuji의 경계를 적용하면 다음과 같다. 최적의 L'은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$pML'-1 \le \frac{pN-1}{1-\frac{p^2}{pN}}$$

다시 정리하면

$$pML'-1 \le \frac{pN-1}{1-p/N}$$

이고,

$$L' \le \frac{N+1}{M}\frac{N-1}{N-p}$$

이다.

$$L' \le L+\frac{N+1}{M}\frac{p-1}{N-p}$$

T의 $p\lfloor \frac{L}{p} \rfloor -1$은 L보다 작으므로 L'보다도 작다. 즉 sub-optimal하다. □

예제 5: 인수 $(N,M,L,1)$를 가지는 최적의 LCZ 수열군은 다음과 같다. $N=80(=3^4-1)$, $M=8(=3^2-1)$, $L=10(=3^2+1)$, $\epsilon=1$이라 하자. $v_i(t)=tr_1^4(\alpha^{t+10i})$이라 하자. 함수 $tr_1^4(\cdots)$는 F_{3^4}에서 F_3으로의 함수이다. 새로운 LCZ 수열군 T는 다음과 같다. 생성자 $g=2$라 하면,

$$D=\begin{bmatrix}0&0&0\\0&2&1\\0&1&2\end{bmatrix}$$

이다.

$$s_i(3x+y)=v_{i-8k}(x+3y+d_{ky}),\quad \text{for } 8k \le i \le 8(k+1)-1$$

일 때,

$T=\{s_i(t)|0 \le i \le 23, 0 \le t \le 239\}$이다.

$v_i(t)$는 다음과 같을 때,

$v_0(t)$=10001001101211002102012210101111222011212000200220212200120102112020222211102212

$v_1(t)$=12110021020122101011112220112120002002202122001201021120202222111022121000100110

$v_2(t)$=01221010111122201121200020022021220012010211202022221110221210001001101211002102

$v_3(t)$=11222011212000200220212200120102112020222211102212100010011012110021020122101011

$v_4(t)$=20002002202122001201021120202222111022121000100110121100210201221010111122201121

$v_5(t)$=21220012010211202022221110221210001001101211002102012210101111222011212000200220

$v_6(t)$=02112020222211102212100010011012110021020122101011112220112120002002202122001201

$v_7(t)$=22111022121000100110121100210201221010111122201121200020022021220012010211202022

LCZ 수열군 T은 다음과 같다.

$s_0(t)$=100011001000111012001111200101122011001220100012221020112200211102012111010111120121121201211212022112120201101202021002000220020
0022202100222221002022110220021102000211120102211001222010212220202222102122121021221210112212101022021010120

$s_1(t)$=112201100122010001222102011220021110201211101011112012112120121121202211212020110120202100200022002000222021002222210020221102200211020002111201022110012220102122202022221021221210212212101122121010220210101200100011001000111012001111120010

$s_2(t)$=021110201211101011112012112120121121202211212020110120202100200220020002220210022222100202211022002110200021112010221100122201021222020222210212212102122121011221210102202101012001000110010001110120011111200101122011001220100012221020112200

$s_3(t)$=121121202211212020110120202100200022002000222021002222210020221102200211020002111201022110012220102122202022221021221210212212101122121010220210101200100011001000111012001111120010112201100122010001222102011220021110201211101011112012112120

$s_4(t)$=200022002000222021002222210020221102200211020002111201022110012220102122202022221021221210212212101122121010220210101200100011001000111012001111120010112201100122010001222102011220021110201211101011112012112120121121202211212020110120202100

$s_5(t)$=221102200211020002111201022110012220102122202022221021221210212212101122121010220210101200100011001000111012001111120010112201100122010001222102011220021110201211101011112012112120121121202211212020110120202100200022002000222021002222210020

$s_6(t)$=012220102122202022221021221210212212101122121010220210101200100011001000111012001111120010112201100122010001222102011220021110201211101011112012112120121121202211212020110120202100200022002000222021002222210020221102200211020002111201022110

$s_7(t)$=212221210112212101022021010120010001100100011101200111112001011220110012201000122210201122002111020121110101111201211212012112120221121202011012020210020002200200022202100222221002022110220021102000211120102211001222010212220202222102122121 0

$s_8(t)$=121002022021102000022102111001100222121110001022210120002211012101222202122002100000100111112112220202200011101111220121221010020021210012020210201011212120221202011020102222010101000211120110220010212012212201200200122110112001211201122221

$s_9(t)$=100222121110001022210120002211012101222202122002100000100111112112220202200011101111220121221010020021210012020210201011212120221202011020102222010101000211120110220010212012212201200200122110112001211201122221121002022021102000022102111001

$s_{10}(t)$=012101222202122002100000100111112112220202200011101111220121221010020021210012020210201011212120221202011020102222010101000211120110220010212012212201200200122110112001211201122221121002022021102000022102111001100222121110001022210120002211

$s_{11}(t)$=112112220202200011101111220121221010020021210012020210201011212120221202011020102222010101000211120110220010212012212201200200122110112001211201122221121002022021102000022102111001100222121110001022210120002211012101222202122002100000100111

$s_{12}(t)$=221010020021210012020210201011212120221202011020102222010101000211120110220010212012212201200200122110112001211201122221121002022021102000022102111001100222121110001022210120002211012101222202122002100000100111112112220202200011101111220121

$s_{13}(t)$=212120221202011020102222010101000211120110220010212012212201200200122110112001211201122221121002022021102000022102111001100222121110001022210120002211012101222202122002100000100111112112220202200011101111220121221010020021210012020210201011

$s_{14}(t)$=000211120110220010212012212201200200122110112001211201122221121002022021102000022102111001100222121110001022210120002211012101222202122002100000100111112112220202200011101111220121221010020021210012020210201011212120221202011020102222010101

$s_{15}(t)$=200200122110112001211201122221121002022021102000022102111001100222121110001022210120002211012101222202122002100000100111112112220202200011101111220121221010020021210012020210201011212120221202011020102222010101000211120110220010212012212201

$s_{16}(t)$=112020010012120021010120102022121210112101022010201111020202000122210220110020121021121102100100211220221002122102211112212001011012201000011201222002200111212220002011120210001122021202111101211001200000200222222122111010110002220222110212

$s_{17}(t)$=121210112101022010201111020202000122210220110020121021121102100100211220221002122102211112212001011012201000011201222002200111212220002011120210001122021202111101211001200000200222222122111010110002220222110212112020010012120021010120102022

$s_{18}(t)$-00012221022011002012102112110210010021122022100212210221111
22120010110122010000112012220022001112122200020111202100011220212021
11101211001200000200222221221110101100022202222110212112020010012120
021010120102022121210112101022010201111020202
$s_{19}(t)$-10010021122022100212210221111221200101101220100001120122200
22001112122200020111202100011220212021111012110012000002002222212211
10101100022202222110212112020010012120021010120102022121210112101022
010201111020202000122210220110020121021121102
$s_{20}(t)$-21200101101220100001120122200220011121222000201112021000112
20212021111012110012000002002222212211101011000222022221102121120200
10012120021010120102022121210112101022010201111020202000122210220110
020121021121102100100211220221002122102211112
$s_{21}(t)$-20011121222000201112021000112202120211110121100120000020022
22212211101011000222022221102121120200100121200210101201020221212101
12101022010201111020202000122210220110020121021121102100100211220221
002122102211112212001011012201000011201222002
$s_{22}(t)$-02120211110121100120000020022222122111010110002220222211021
21120200100121200210101201020221212101121010220102011110202020001222
10220110020121021121102100100211220221002122102211112212001011012201
000011201222002200111212220002011120210001122
$s_{23}(t)$-22122111010110002220222211021211202001001212002101012010202
21212101121010220102011110202020001222102201100201210211211021001002
11220221002122102211112212001011012201000011201222002200111212220002
011120210001122021202111101211001200000200222

□

4. 감사의 글

본 연구는 정보통신부의 출연금으로 수행하고 있는 ITRC 과제와 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 최우수실험실 지원사업에 의한 연구 결과입니다.

참고문헌

[1] R. De Gaudenzi, C. Elia, and R. Viola, "Bandlimited quasi-synchronous CDMA: A novel satellite access technique for mobile and personal communication systems," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 10, no. 2, pp. 328 - 343, Feb. 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, pp. 1268 - 1275, Nov. 1998.

[3] X. H. Tang and P. Z. Fan, "A class of pseudonoise sequences over GF(p) with low correlation zone," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 47, no. 4, pp. 1644 - 1649, May 2001.

[4] Sang-Hyo Kim, Ji-Woong Jang, Jong-Seon No, and Habong Chung, "New constructions of quaternary low correlation zone sequences," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 51, no. 4, Apr. 2005.

[5] Ji-Woong Jang, Jong-Seon No, Habong Chung, and X. Tang, "New sets of optimal p-ary low correlation zone sequences," *IEEE Trans. Inf. Theory*, Mar. 2005, to be published, Sep. 2006.

[6] Young-Sik Kim, Ji-Woong Jang, Jong-Seon No, and Habong Chung "New design of low correlation zone sequence sets," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 52, no. 10, pp. 4607-4616, Oct. 2006.

[7] X. H. Tang, P. Z. 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, Mar. 2000.