q진 LCZ 수열군의 일반화된 확장 생성 방법

정회원 정 정 수*, 김 영 식**, 장 지 웅***, 종신회원 노 종 선*, 정 하 봉****

Generalized Extending Method for q-ary LCZ Sequence Sets

Jung-Soo Chung*, Young-Sik Kim**, Ji-Woong Jang*** ***Regular Members***,
Jong-Seon No*, Ha-Bong Chung**** ***Lifelong Members***

요 약

[1]에서 LCZ 수열군의 2배 확장을 제안하였다. 본 논문에서는 [1]에서의 2배 확장방법을 일반화하는 새로운 확장방법을 제안한다. 이 생성방법을 사용하면 인수가 (N,M,L,ϵ)인 q진 LCZ 수열군은 인수가 $(pN,pM,p\lfloor(L+1)/p\rfloor-1,p\epsilon)$인 q진 LCZ 수열군이 된다. 이 때, p는 소수이고 p는 q의 약수다. 특히 $L\equiv p-1 \bmod p$ 일 때, 확장된 q진 LCZ 수열군의 인수는 $(pN,pM,L,p\epsilon)$이 된다.

Key Words : Correlation, low correlation zone (LCZ), quasi-synchronous code division multiple access(QS-CDMA) system, sequence

ABSTRACT

In this paper, a new extending method of q-ary low correlation zone(LCZ) sequence sets is proposed, which is a generalization of binary LCZ sequence set by Kim, Jang, No, and Chung. Using this method, q-ary LCZ sequence set with parameters (N,M,L,ϵ) is extended as a q-ary LCZ sequence set with parameters $(pN,pM,p\lfloor(L+1)/p\rfloor-1,p\epsilon)$, where p is prime and $p|q$.

Ⅰ. 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 [2]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 구간(low correlation zone, LCZ)이 얼마나 크게 존재하느냐에 관한 것이다. 이런 QS-CDMA 시스템에서 낮은 상관 구간을 가지는 수열(LCZ sequences)은 기존의 최적의 상관 특성을 가진 것으로 알려진 수열군보다 원점 주변의 낮은 상관 구간에서 더 좋은 성능을 보인다[3].

Kim, Jang, No, Chung [4]와 Jang, No, Chung, Tang [5]를 포함해서 LCZ 수열군에 대한 많은 연

※ 본 논문은 교육과학기술부, 지식경제부, 노동부의 출연금으로 수행한 최우수실험실 지원 사업과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발사업[2008-F-007-01, 3차원 환경에서의 지능형 무선 통신 시스템]에 의한 연구 결과입니다.
※ 본 논문은 JCCI 우수 논문으로 추천되었습니다
* 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 및 뉴미디어통신공동연구소(integer@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr), ** 성전자(kingsi@ccl.snu.ac.kr)
*** UCSD **** 홍익대학교 전자전기공학부(habchung@hongik.ac.kr)
논문번호 : KICS2008-05-241, 접수일자 : 2008년 5월 23일, 최종논문접수일자 : 2008년 10월 6일

구 결과가 있었다. 최근, Kim, Jang, No, Chung가 [1]에서 LCZ 수열군의 2배 확장을 제안하였다. 본 논문에서는 [1]에서의 2배 확장방법을 일반화하는 새로운 확장방법을 제안한다. 이 생성방법을 사용하면 인수가 (N,M,L,ϵ)인 q진 LCZ 수열군은 인수가 $(pN,pM,p\lfloor (L+1)/p \rfloor -1,p\epsilon)$인 q진 LCZ 수열군이 된다. 이 때, p는 소수이고 p는 q 의 약수다. 특히 $L\equiv p-1 \bmod p$일 때, 확장된 q진 LCZ 수열군의 인수는 $(pN,pM,L,p\epsilon)$이다.

Ⅱ. q진 LCZ 수열군을 확장하는 방법

주기가 N인 두 함수 $s_u(t)$와 $s_v(t)$의 상관 함수 $R_{u,v}(\tau)$는 다음과 같다. 이 때, $u=v$이면 $R_{u,v}(\tau)$는 자기 상관 함수이고 그렇지 않으면 상호 상관 함수이다. ω는 1의 복수 q승근이고, $\omega=e^{2\pi/q}$이다.

$$R_{u,v}(\tau)=\sum_{t=0}^{N-1}\omega^{s_u(t)-s_v(t+\tau)} \tag{1}$$

여기서 $0\le\tau\le N-1$이다.

인수가 (N,M,L,ϵ)인 q진 LCZ 수열군 S는 다음과 같다.

$$S=\{f_u(t)\mid 0\le u\le M-1,\ 0\le t\le N-1\}.$$

여기서 $L=\max\ \{T:|R_{u,v}(\tau)|\le\epsilon,\ (|\tau|<T$ 이고 $u\ne v)$ 또는 $(0<|\tau|<T$이고 $u=v)\}$이다.

p는 소수이고 g는 유한체 F_p의 생성자라 하자. $p\times p$인 행렬 $\boldsymbol{D}$는 다음과 같다.

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

여기서 $0\le i,j\le p-1$이다.

인수가 (N,M,L,ϵ)인 q진 LCZ 수열군을 이용해서 생성되는 확장된 q진 LCZ 수열군은 다음과 같다.

정리 1. p는 소수이고 q의 약수이다. LCZ 수열군 T는 다음과 같다.

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

$$\begin{aligned} s_u(t)&=s_u(pi+j)\\ &=f_{u-kM}\left(i+j\left\lfloor \frac{L+1}{p}\right\rfloor\right)+\frac{q}{p}d_{kj},\\ &\qquad kM\le u\le(k+1)M-1. \end{aligned}$$

여기서, $0\le i,j\le N-1$ 이다. $\lfloor a\rfloor$는 a보다 작거나 같은 최대 정수이다. 그러면 T는 인수가 $(pN,pM,p\lfloor (L+1)/p\rfloor -1,p\epsilon)$인 q진 LCZ 수열군이다.

증명: 정의에서 주기는 pN이고 수열군 크기는 pM임을 쉽게 알 수 있다. 따라서, $R_{u,v}(\tau)$이 $p\epsilon$보다 작거나 같은 값을 가지는 낮은 상관 구간이 $p\lfloor (L+1)/p\rfloor -1$임을 보이면 된다.

$L+1=pa+b$라 하자. 여기서, a는 0보다 큰 정수이고, $0\le b\le a-1$이다. 즉, $\lfloor \frac{(L+1)}{p}\rfloor=a$이다. S의 크기 M과 행렬 $\boldsymbol{D}$의 크기에 의해 다음 6가지 경우로 나눌 수 있다.

경우 1) $0\le u,v\le M-1$이고 $\tau=pk'$;

$R_{u,v}(\tau)$을 다시 써보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_{u,v}(\tau)&=\sum_{j=0}^{p-1}\sum_{i=0}^{N-1}\omega^{f_u(i+aj)-f_v(i+aj+\frac{\tau}{p})}\\ &=\sum_{i=0}^{N-1}\omega^{f_{u(i)-f_{v(i+}}frac\tau p)}\\ &\quad+\sum_{i=0}^{N-1}\omega^{f_u(i+a)-f_{v(}i+a+\frac{\tau}{p})}+\cdots\\ &\quad+\sum_{i=0}^{N-1}\omega^{f_u(i+(p-1)a)-f_v(i+(p-1)a+\frac{\tau}{p})}. \end{aligned} \tag{2}$$

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 $|R_{u,v}(\tau)|\le p\epsilon$ 이다.

경우 2) $0\le u,v\le M-1$이고 $\tau=pk'+k''$(단, $1\le k''\le p-1$);

$R_{u,v}(\tau)$을 다시 쓰면

$$\begin{aligned} R_{u,v}(\tau)&=\sum_{j=0}^{p-1}\sum_{i=0}^{N-1}\omega^{f_u(i+aj)}\\ &\quad\times\omega^{-f_v(i+\lfloor\frac{j+k''}{p}\rfloor+(j\oplus k'')a+\frac{\tau-k''}{p})}. \end{aligned} \tag{3}$$

여기서 $\oplus$는 모듈러 p 덧셈이다.

식 (3)에서 k''가 1이라 하면

$$\begin{aligned} R_{u,v}(\tau)&=\sum_{i=0}^{N-1}\omega^{f_u(i)-f_v(i+a+\frac{\tau-1}{p})}\\ &\quad+\sum_{i=0}^{N-1}\omega^{f_u(i+a)-f_v(i+2a+\frac{\tau-1}{p})}\\ &\quad+\cdots+\sum_{i=0}^{N-1}\omega^{f_u(i+(p-1)a)-f_v(i+1+\frac{\tau-1}{p})}. \end{aligned} \tag{4}$$

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. 식 (4)의 첫 번째 부분 합부터 $(p-1)$번째 부분 합의 구간 경우는 다음과 같다.

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

식 (4)의 p번째 부분합의 구간은

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

이고

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

이다.

그러므로, $k''=1$인 경우 $|R_{u,v}(\tau)| \le p\epsilon$인 구간은 $-L-(p-1)b < \tau < L+(p-1)b$이다.

이를 $1 \le k'' \le p-1$에 대해서 일반화하면

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

$$-L < \frac{\tau-k''}{p} + 1 - (p-k'')a < 0$$

이거나

$$-L < k''a + \frac{\tau-k''}{p} < L0 < \frac{\tau-k''}{p} + 1 - (p-k'')a < L.$$

그러므로, $-k''L-(p-k'')b < \tau < \min((L-b)(p-k''),(p-k'')L+k''b)$로 정리할 수 있고, 결국 $|\tau| < \min(|k''L+(p-k'')b|, |(L-b)(p-k'')|, |(p-k'')L+k''b|)$로 표현될 수 있다.

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

경우 3) $0 \le u \le M-1,\ kM \le v \le (k+1)M-1,\ 1 \le k \le (p-1)$ (혹은 $kM \le u \le (k+1)M-1,\ 0 \le v \le M-1$), $\tau = pk'$;

$R_{u,v}(\tau)$은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &R_{u,v}(\tau) \\ &= \sum_{j=0}^{p-1}\sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_u(i+aj) - f_{v-kM}(i+aj+\frac{\tau}{p}) - \frac{q}{p}d_{kj}} \\ &= \sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_u(i) - f_{v-kM}(i+\frac{\tau}{p}) - \frac{q}{p}d_{k0}} \\ &+ \sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_u(i+a) - f_{v-kM}(i+a+\frac{\tau}{p}) - \frac{q}{p}d_{k1}} + \cdots \\ &+ \sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_u(i+(p-1)a) - f_{v-kM}(i+(p-1)a+\frac{\tau}{p}) - \frac{q}{p}d_{k(p-1)}} \\ &= \sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_u(i) - f_{v-kM}(i+\frac{\tau}{p})} + \sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_u(i+a) - f_{v-kM}(i+a+\frac{\tau}{p}) - \frac{q}{p}g} \\ &+ \cdots + \sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_u(i+(p-1)a) - f_{v-kM}(i+(p-1)a+\frac{\tau}{p}) - \frac{q}{p}g(p-1)} \\ &= \sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_u(i) - f_{v-kM}(i+\frac{\tau}{p})} \\ &+ \omega^{-fracqpg} \sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_u(i+a) - f_{v-kM}(i+a+\frac{\tau}{p})} + \cdots \\ &+ \omega^{-\frac{q}{p}g(p-1)} \sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_u(i+(p-1)a) - f_{v-kM}(i+(p-1)a+\frac{\tau}{p})}. \end{aligned}$$

이 경우는 경우 1)과 비슷하게 정리하면, $-pL < \tau < pL$일 때 $R_{u,v}(\tau)| \le p\epsilon$이다.

경우 4) $0 \le u \le M-1,\ kM \le v \le (k+1)M-1,\ 1 \le k \le (p-1)$ (혹은 $kM \le u \le (k+1)M-1,\ 0 \le v \le M-1$), $\tau = pk' + k''(1 \le k'' \le p-1)$;

$$\begin{aligned} R_{u,v}(\tau) &= \sum_{j=0}^{p-1} \omega^{-\frac{q}{p}d_{k(j\oplus k'')}} \\ &\times \sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_u(i+aj) - f_{v-kM}(i + \lfloor \frac{j+k''}{p} \rfloor + (j\oplus k'')a + \frac{\tau-k''}{p})}. \end{aligned}$$

이 경우는 경우 2)와 비슷하며, $|R_{u,v}(\tau)| \le p\epsilon$인 구간은 $-(L-b) < \tau < L-b$이다.

경우 5) $k_1M \le u \le (k_1+1)M-1,\ k_2M \le v \le (k_2+1)M-1,\ 1 \le k_1, k_2 \le (p-1),\ \tau = pk'$;

$$\begin{aligned} &R_{u,v}(\tau) \\ &= \sum_{j=0}^{p-1}\sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_{u-k_{1M}}(i+aj) + \frac{q}{p}d_{k_1j} - f_{v-k_{2M}}(i+aj+\frac{\tau}{p}) - \frac{q}{p}d_{k_2j}} \\ &= \sum_{j=0}^{p-1} \omega^{\frac{q}{p}(d_{k_1j} - d_{k_2j})} \sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_{u-k_{1M}}(i+aj) - f_{v-k_{2M}}(i+aj+\frac{\tau}{p})}. \end{aligned}$$

역시 이 경우도 경우 1)과 비슷하며 $|R_{u,v}(\tau)| \le p\epsilon$인 구간은 $-pL < \tau < pL$이다.

경우 6) $k_1M \le u \le (k_1+1)M-1,\ k_2M \le v \le (k_2+1)M-1,\ 1 \le k_1, k_2 \le (p-1),\ \tau = pk' + k''(1 \le k'' \le p-1)$;

$$\begin{aligned} R_{u,v}(\tau) &= \sum_{j=0}^{p-1} \omega^{\frac{q}{p}(d_{k_1j} - d_{k_2(j\oplus k'')})} \\ &\times \sum_{i=0}^{N-1} \omega^{f_{u-k_{1M}}(i+aj) - f_{v-k_{2M}}(i + \lfloor \frac{j+k''}{p} \rfloor + (j\oplus k'')a + \frac{\tau-k''}{p})}. \end{aligned}$$

또한 이 경우도 경우 2)와 비슷하며, $-(L-b) < \tau < L-b$에서 $|R_{u,v}(\tau)| \le p\epsilon$이다.

위 6가지 경우로부터, LCZ 수열군 T의 인수는 $(pN, pM, p\lfloor \frac{L+1}{p} \rfloor - 1, p\epsilon)$이다. □

Ⅲ. 제안한 LCZ 수열군의 최적성

[6]에서 Tang등은 LCZ 수열군의 하한을 제안하

였다.

정리 2. (Tang, Fan, and Matsufuji [6]) S는 인수가 (N,M,L,ϵ)인 LCZ 수열군이라고 하자. 인수들 사이의 관계는 다음과 같다.

$$ML-1 \le \frac{N-1}{1-\epsilon^2/N}. \qquad (5)$$

정리 3. q진 LCZ 수열군의 인수 (N,M,L,ϵ)가 Tang, Fan, Matsufuji의 경계에서 최적이라고 하자. 정리 1에서 확장된 LCZ 수열군도 Tang, Fan, Matsufuji의 경계에서 $L \equiv p-1 \bmod p$일 때 낮은 상관 구간은 변하지 않고 이외의 경우 낮은 상관 구간은 L 보다 작다.

증명: 정리 2로부터,

$$L \le \left\lfloor \frac{1}{M}\frac{N^2-\epsilon^2}{N-\epsilon^2} \right\rfloor.$$

그러면

$$L' = p\lfloor (L+1)/p \rfloor -1 \le L.$$

$L \equiv p-1 \bmod p$일 때 $L'=L$이다. 자명하게 이외의 경우 LCZ 구간은 L보다 작다. □

Ⅳ. LCZ 수열군의 확장

이 장에서는, 합성수에 대한 확장방법을 제시한다.

q진 LCZ 수열군 S의 인수가 (N,M,L,ϵ)라 하자. 정리 1을 이용하여, T_{p_1}와 T_{p_2}는 다음과 같다.

$$T_{p_1} = \{g_u(t) | 0 \le u \le p_1M-1, 0 \le t \le p_1N-1\}$$
$$T_{p_3} = \{h_u(t) | 0 \le u \le p_1M-1, 0 \le t \le p_1N-1\}$$

여기서

$$\begin{aligned} g_u(t) &= g_u(p_1 i+j) \\ &= f_{u-kM}\left(i+j\left\lfloor \frac{L+1}{p_1}\right\rfloor\right) + \frac{q}{p_1}[\boldsymbol{D}_{p_1}]_{kj}, \\ &\quad kM \le u \le (k+1)M-1 \end{aligned}$$

이고

$$\begin{aligned} h_u(t) &= h_u(p_2 i+j) \\ &= f_{u-kM}\left(i+j\left\lfloor \frac{L+1}{p_2}\right\rfloor\right) + \frac{q}{p_2}[\boldsymbol{D}_{p_2}]_{kj}, \\ &\quad kM \le u \le (k+1)M-1 \end{aligned}$$

이다.

q진 LCZ 수열군 T_{p_1}의 인수는 $(p_1N, p_1M, L_{p_1}(=p_1\lfloor \frac{L+1}{p_1} \rfloor -1), p_1\epsilon)$이고 q진 수열군 T_{p_2}의 인수는 $(p_2N, p_2M, L_{p_2}(=p_2\lfloor \frac{L+1}{p_2} \rfloor -1), p_2\epsilon)$이다.

정리 3. p_1와 p_2는 소수이고 각각 q의 약수이다. q진 수열군 T_{p_1}를 p_2배 확장한 수열군을 T_{p_3}라 하면 다음과 같다.

$$T_{p_3} = \{s_u(t) | 0 \le u \le p_1p_2M-1, \; 0 \le t \le p_1p_2N-1\}. \qquad (6)$$

여기서

$$\begin{aligned} s_u(t) &= s_u(p_2 i+j) \\ &= g_{u-kp_1M}\left(i+j\left\lfloor \frac{L_{p_1}+1}{p_2}\right\rfloor\right) + \frac{q}{p_2}[\boldsymbol{D}_{p_2}]_{kj}, \\ &\quad kM \le u \le (k+1)M-1, \; g_u(\cdot) \in T_{p_1}. \end{aligned}$$

q진 LCZ 수열군 T_{p_3}의 인수는 $(p_1p_2N, p_1p_2M, p_2\lfloor \frac{L_{p_1}+1}{p_2} \rfloor -1, p_1p_2\epsilon)$이다. □

정리 1의 증명과 비슷하기 때문에 생략한다.

합성수 p_1p_2에 대해서, 확장하는 방법은 아래와 같다.

정의 1. $k \times n$인 행렬 $E=(e_{ij})$는 다음과 같이 정의하자.

$$E = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

□

정의 2. $A=(a_{ij})$는 $l \times m$인 행렬이고 $B=(b_{ij})$는 $k \times n$인 행렬이라고 하자. $A \odot B$는 다음과 같다.

$$A \odot B = \begin{bmatrix} a_{11}E+B & a_{12}E+B & \cdots & a_{1m}E+B \\ a_{21}E+B & a_{22}E+B & \cdots & a_{2m}E+B \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{l1}E+B & a_{l2}E+B & \cdots & a_{lm}E+B \end{bmatrix}$$

□

$A \odot B$를 이용하여, 다음 정의에서 p'배만큼 확장된 LCZ 수열군을 생성할 수 있다.

정리 5. q진 LCZ 수열군의 인수는 (N,M,L,ϵ)라 하자. p_1와 p_2는 소수이다. $p'=p_1p_2$이고 q의 약수이다.

$$\boldsymbol{D}_{p'} = p_2\boldsymbol{D}_{p_1} \odot p_1\boldsymbol{D}_{p_2}.$$

인수 $(p'N, p'M, p'\lfloor \frac{L+1}{p'} \rfloor -1, p'\epsilon)$인 확장된 q진 LCZ 수열군은 다음과 같다.

$$T_{p'} = \{s_u(t) \mid 0 \le u \le p'M-1, \; 0 \le t \le p'N-1\}. \qquad (7)$$

여기서

$$s_u(t) = s_u(p'i+j)$$
$$= f_{u-kM}\left(i + j \lfloor \frac{L+1}{p'} \rfloor\right) + \frac{q}{p'}[\boldsymbol{D}_{p'}]_{kj},$$
$$\text{for} \quad kM \le u \le (k+1)M-1$$

이다. □

정리 1의 증명과 비슷하므로 생략한다.

정리 6. S는 인수가 (N,M,L,ϵ)인 q진 LCZ 수열군이라 하자. p_1와 p_2는 소수이다. $p' = p_1p_2$이고 q의 약수이다.

식 (6)에서 T_{p_3}의 낮은 상관 구간은

$$p_2 \lfloor \frac{p_1}{p_2} \lfloor \frac{L+1}{p_1} \rfloor \rfloor - 1$$

이고 식 (5)에서 $T_{p'}$의 낮은 상관 구간은

$$p' \lfloor \frac{L+1}{p'} \rfloor - 1$$

이다. T_{p_3}의 낮은 상관 구간이 $T_{p'}$의 낮은 상관 구간보다 크거나 같다.

증명: $L = xp' + y$라 하자. y는 $0 \le y \le p'-1$이기 때문에 두 경우로 나눌 수 있다.

경우 1) $y = p'-1$;

$$p' \lfloor \frac{xp'+p'}{p'} \rfloor - 1 = xp' + p' - 1$$
$$p_2 \lfloor \frac{p_1}{p_2} \lfloor \frac{xp'+p'}{p_1} \rfloor \rfloor - 1 = xp' + p' - 1.$$

경우 2) $y \ne p'-1$;

$$p' \lfloor \frac{xp'+y+1}{p'} \rfloor - 1 = xp' - 1$$
$$p_2 \lfloor \frac{p_1}{p_2} \lfloor \frac{xp'+y+1}{p_1} \rfloor \rfloor - 1$$
$$= xp' + p_2 \lfloor \frac{p_1}{p_2} \lfloor \frac{y+1}{p_1} \rfloor \rfloor - 1$$
$$\ge xp' - 1.$$

□

표 1은 서로 다른 방법으로 확장된 LCZ 수열군의 낮은 상관 구간을 비교한 것이다.

표 1. 확장된 LCZ 수열군의 낮은 상관 구간 비교

p \ L	100	101	102	103	104	105
$p_1=3$, $p_2=5$	94	99	99	99	104	104
$p_1=5$, $p_2=3$	98	98	98	98	104	104
$p_1=15$	89	89	89	89	104	104

V. 결 론

본 논문에서는 [1]에서의 2배 확장방법을 일반화하는 새로운 확장방법을 제안하였다. 이 생성방법을 사용하면 인수가 (N,M,L,ϵ)인 q진 LCZ 수열군은 인수가 $(pN,pM,p\lfloor (L+1)/p \rfloor -1,p\epsilon)$인 q진 LCZ 수열군이 된다. 같은 크기만큼 확장을 하더라도 확장을 적용하는 순서에 따라 낮은 상관 구간을 보다 더 크게 할 수 있다.

참 고 문 헌

〔1〕 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.

〔2〕 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.

〔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. Inf. Theory*, Vol.51, No.4, pp.1469-1477, Apr. 2005.

〔5〕 J.-W. Jang, J.-S. No, H. Chung, and X. Tang, "New sets of optimal *p*-ary low correlation zone sequences," *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.53, No.2, pp.815-821, February 2007.

〔6〕 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.

정 정 수 (Jung-Soo Chung) 정회원

2003년 2월 서울대학교 전기공학부 공학사

2003년 3월~현재 서울대학교 대학원 전기·컴퓨터공학부 석·박사 통합과정

<관심분야> 시퀀스, 오류정정부호, 디지털통신

김 영 식 (Young-Sik Kim) 정회원

2001년 2월 서울대학교 전기공학부 공학사

2003년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사

2007년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사

2007년 3월~현재 삼성전자

<관심분야> 시퀀스, 오류정정부호, 디지털통신, 암호학

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 삼성전자

2008년 8월~현재 UCSD(postdoc)

<관심분야> 시퀀스, 오류정정부호, 디지털통신

노 종 선 (Jong-Seon No) 종신회원

1981년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사

1984년 2월 서울대학교 대학원 전자공학과 공학석사

1988년 5월 Univ. of Southern California, 전기공학과 공학박사

1988년 2월~1990년 7월 Hughes Network Systems, Senior MTS

1990년 9월~1999년 7월 건국대학교 전자공학과 부교수

1999년 8월~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수

<관심분야> 시퀀스, 시공간부호, LDPC 부호, OFDM, 이동통신, 암호학

정 하 봉 (Ha-Bong Chung) 종신회원

1981년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업 공학학사

1985년 미국 University of Southern California, 전기공학과 공학석사

1988년 미국 University of Southern California, 전기공학과 공학박사

1988년~1991년 미국 뉴욕주립대 전기공학과 조교수

1991년~현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수

<관심분야> 부호 이론, 조합수학, 시퀀스 설계