

# 길이 64를 갖는 almost polyphase sequence의 다양한 설계 방법

이민형, 송홍엽

연세대학교 전기전자공학과

{mhlee95, hysong}@yonsei.ac.kr

## Constructions of the almost-polyphase sequences of length 64

Min Hyung Lee, Hong-Yeop Song

Yonsei Univ.

### 요약

본 논문은 4G의 PSS로 사용되고 있는 길이가 64인 유사 다상 수열의 주요 특성들을 동일하게 갖는 유사 다상 수열들의 생성법을 소개한 후 이들의 PSLR을 이용해 자기상관 특성을 비교한다. 비교 결과, 기존의 4G의 PSS로 쓰이는 유사 다상 수열보다 자기상관 특성이 더 우수한 유사 다상 수열들을 찾을 수 있었다.

### I. 서론

유사 다상수열(Almost-polyphase sequence)은 모든 원소가 복소평면상의 단위근(root-of-unity)이거나 0인 수열이다. 자기상관 특성이 좋은 유사 다상 수열은 통신 시스템에서 시간/주파수 동기를 맞추기 위해 사용되며 대표적인 예시는 4G의 Primary Synchronization Signal(PSS)이다.

4G의 PSS는 10ms마다 Base Station에서 User Equipment로 전송되어 시간/주파수 동기를 맞추기 위해 사용된다 [1]. 현재 4G의 PSS로 사용되는 수열은 길이가 63인 Zadoff-Chu 수열을 이용해 만든 유사 다상 수열이다. Zadoff-Chu 수열은 비주기 자기상관이 모두 0으로 자기상관 특성이 매우 우수하나, 4G의 PSS로 사용되기 위해 변형 후 사용되기 때문에 자기상관 특성의 열화가 일어난다 [2-3]. 동기를 맞추기 위한 신호는 자기상관의 특성이 좋을수록 성능이 좋기 때문에, 자기상관 특성의 열화는 성능의 열화를 야기한다.

본 논문은 길이가 다른 Zadoff-Chu 수열들을 이용하여 현재 사용되고 있는 4G의 PSS의 특성들이 유지되는 여러 유사 다상 수열의 설계 방법을 제안한 후, 이들의 Peak Sidelobe Ratio(PSLR)를 이용해 자기상관 특성을 비교한다.

### II. 본론

현재 4G의 PSS에 사용되는 길이가 63인 Zadoff-Chu 수열을 이용하여 만든 길이 64인 유사 다상 수열  $z_1$ 의 생성방법은 방법1과 같다.

#### 방법1.

$u = 29$ 일 때,

$$z_1(n) = \begin{cases} \exp\left(-j\frac{un(n+1)}{63}\right) & \text{if } 0 \leq n \leq 30 \\ 0 & \text{if } n = 31 \\ \exp\left(-j\frac{u(n+1)(n+2)}{63}\right) & \text{if } 32 \leq n \leq 62 \\ 0 & \text{if } n = 63 \end{cases}$$

4G의 PSS로서  $z_1$ 이 갖는 주요한 3가지 특성은 다음과 같다 [1-3].

I. 그림1. 과 같이 4G에서 DC subcarrier는 송신되지 않기 때문에 수열의 32번째에는 0이 들어간다.

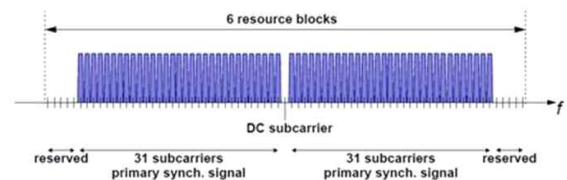


그림 1. DC subcarrier가 포함된  
4G의 PSS의 subcarriers

II. 64-FFT를 사용하기 때문에 수열의 길이는 64이다.

III. 빠른 Decoding을 위해 symmetric하다.

저자는 길이가 다른 Zadoff-Chu 수열들을 이용하여  $z_1$ 의 주요한 3가지 특성들을 동일하게 갖고 있는 유사 다상 수열  $z_2, z_3, z_4$ 를 설계하였다.

$z_2$ 는 길이 64인 Zadoff-Chu 수열에서 32번째와 64번째를 0으로 대체하여 생성하였으며 그 방법은 방법2와 같다.

#### 방법2.

$u = 29$ 일 때,

$$z_2(n) = \begin{cases} \exp\left(-j \frac{un(n+2)}{64}\right) & \text{if } 0 \leq n \leq 30 \\ 0 & \text{if } n = 31 \\ \exp\left(-j \frac{un(n+2)}{64}\right) & \text{if } 32 \leq n \leq 62 \\ 0 & \text{if } n = 63 \end{cases}$$

$z_3$ 은 길이 62인 Zadoff-Chu 수열에서 32번째와 64번째를 0을 추가하여 생성하였으며 그 방법은 방법3과 같다.

### 방법3..

$u = 29$ 일 때,

$$z_3(n) = \begin{cases} \exp\left(-j \frac{un(n+2)}{62}\right) & \text{if } 0 \leq n \leq 30 \\ 0 & \text{if } n = 31 \\ \exp\left(-j \frac{u(n+1)(n+3)}{62}\right) & \text{if } 32 \leq n \leq 62 \\ 0 & \text{if } n = 63 \end{cases}$$

$z_4$ 는 길이 31인 2개의 Zadoff-Chu 수열과 2개의 0을 연결하여 생성하였으며 그 방법은 방법4와 같다.

### 방법4.

$u = 29$ 일 때,

$$z_4(n) = \begin{cases} \exp\left(-j \frac{un(n+1)}{31}\right) & \text{if } 0 \leq n \leq 30 \\ 0 & \text{if } n = 31 \\ \exp\left(-j \frac{un(n+1)}{31}\right) & \text{if } 32 \leq n \leq 62 \\ 0 & \text{if } n = 63 \end{cases}$$

$z_1, z_2, z_3, z_4$ 의 PSLR을 비교한 결과는 아래의 표1. 과 같다.

유사 다상 수열	PSLR(dB)
$z_1$ (4G PSS)	-14.784
$z_2$	-23.806
$z_3$	-21.390
$z_4$	-11.423

표 1. 유사 다상 수열의 PSLR 비교

$z_4$ 의 경우 기존에 4G의 PSS로 사용되는  $z_1$ 에 비해 자기상관 특성이 좋지 않지만,  $z_2$ 와  $z_3$ 의 경우  $z_1$ 보다 자기 상관 특성이 더 좋을 수 있다.

## III. 결론

본 논문은 기존의 4G의 PSS로 사용되는  $z_1$ 의 3가지 특성을 유지하면서 길이가 각각 62, 64, 31인 Zadoff-Chu 수열을 이용해 생성한 길이가 64인 유사 다상 수열의 생성방법을 소개한 후 이들의 PSLR을 이용해 자기 상관 특성을 비교하였다.

비교 결과,  $z_2$ 와  $z_3$ 는 32번째에 0이 위치하며 길이가 64이고, symmetric 하여  $z_1$ 의 3가지 특성을 모두 갖고 있으며  $z_1$ 보다 자기 상관 특성이 더 좋은 유사 다상 수열로 기존의 4G의 PSS를  $z_2$ 나  $z_3$ 로 대체할 경우 성능

향상이 기대됨을 알 수 있었다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 (성과)는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2020R1A2C201196911).

## 참 고 문 헌

- [1] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Skold, 4G: LTE/LTE-advanced for mobile broadband. Academic press, 2013.
- [2] M. Hua, M. Wang, K. W. Yang, K. J. Zou, "Analysis of the frequency offset effect on Zadoff - Chu sequence timing performance", IEEE Trans. Commun., vol. 62, no. 11, pp. 4024-4039, Nov. 2014.
- [3] Reddy, DS Sridhar. LTE Synchronization Algorithms. Diss. Indian Institute of Technology Hyderabad, 2013.