

GNSS를 위한 잘린 골드 코드 집합 생성 방법

김강산*, 송홍엽°, 임덕원*, 안재민**

Some Generation Methods of Truncated Gold Codes for GNSS

Gangsan Kim*, Hong-Yeop Song°, Deok Won Lim*, Jae Min Ahn**

요약

본 논문은 GNSS를 위한 잘린 골드 코드 집합 생성 방법을 제안한다. 이는 임의의 길이의 골드 코드에 대해 원하는 길이 및 원하는 코드 개수로 설계할 수 있다. 또한 이 방법으로 설계된 잘린 골드 코드의 LFSR 형태의 생성기를 제시하며 이 코드집합을 현재 GNSS에서 쓰이는 길이 10,230인 잘린 골드 코드 집합과의 홀수/짝수 및 자기/교차 상관 사이드로브 최대값을 비교하여 제안 방법의 우수성을 입증한다. 제안하는 잘린 골드 코드 집합 중 가장 성능이 좋은 것은 홀수/짝수 및 자기/교차 상관 사이드로브 최대값이 각각 -29.42 , -29.42 , -27.17 , -26.82 dB로, 현재사용하는 GNSS의 잘린 골드 코드 집합 대비 0.4, 0.78, 0.82, 0.95dB 성능 이득을 가진다.

Key Words : Truncated gold code, GNSS, Spreading code

ABSTRACT

This paper proposes some generation methods of truncated gold codes for GNSS. It can be designed for gold code of any length with the desired length and the desired number of codes. We also present a LFSR-formed generator of truncated gold codes designed with this method and demonstrate the superiority of the proposed method by comparing the odd / even and auto / cross-correlation sidelobe maximums with truncated gold codes that is currently used in GNSS. The best performance of the proposed truncated gold codes is odd / even and self / cross-correlated sidelobe maximums of -29.42 , -29.42 , -27.17 , and -26.82 dB, respectively. It has 0.4, 0.78, 0.82, 0.95dB performance gain compared to current GNSS's truncated gold codes.

1. 서론

다이렉트시퀀스 코드분할다중접속(DS-CDMA)은 확산코드집합을 이용해 사용자들의 다중접속을 지원하는 시스템이다^[1]. 이 때, 각각의 사용자는 고유의 확산코드가 부여된다. 여기서 각각의 확산코드의 짝수 및 홀수 주기적 자기상관 값은 신호획득이나 신호동기를 맞추는 데 중요한 요소이다. 또한, 서로 다른 두

확산코드의 짝수 및 홀수 주기적 교차상관 값은 다른 사용자들간의 간섭을 줄이는 중요한 요소이다. 따라서 DS-CDMA을 지원하는 통신 시스템에서의 확산코드는 좋은 자기상관 특성 및 교차상관 특성을 가져야 한다. 사이드로브 최대값(Sidelobe maximum)을 줄이는 것은 좋은 상관특성을 결정 짓는 강력한 방법이다^[2].

GNSS(Global Navigation Satellite System)에는 GPS(Global Positioning System), GALILEO,

* 이 성과는 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017R1A2B4011191).

• First Author : Yonsei University School of Electrical and Electronic Engineering, gs.kim@yonsei.ac.kr, 학생(석박사통합), 학생회원

° Corresponding Author : Yonsei University School of Electrical and Electronic Engineering, hysong@yonsei.ac.kr, 정교수, 종신회원

* Korea Aerospace Research Institute, dwlim@kari.re.kr, 연구원

** Dept. of Radio Science and Information Communications Engineering, Chungnam National University, jmahn0412@gmail.com, 정교수, 종신회원

논문번호 : KICS201912-329-0-SE, Received November 5, 2019; Revised January 30, 2020; Accepted February 3, 2020

BEIDOU, GLONASS 등 많은 항법 시스템이 있다^[6-10]. 이들은 CDMA기반으로 이진확산코드집합(Binary spreading codes)를 통해 다중접속을 지원한다^[2]. 따라서 사이드로브 최댓값이 작은 이진코드집합을 설계하는 것이 중요하다. 또한 GNSS 시스템에서는 표준 주파수인 10.23MHz를 클럭주파수(Clock frequency)로 가져야 한다^[9]. 따라서 사용해야 하는 코드들은 길이가 1,023의 배수 중 적절한 값이 되어야 한다. 표 1에서 보면 길이 4,092의 코드집합을 사용하는 Galileo의 E1 신호를 제외하고는 모두 길이 10,230인 이진코드집합을 사용하는 것을 알 수 있다. 따라서 GNSS를 위해 길이 10,230을 가지면서 사이드로브 최댓값이 작은 코드 집합을 설계하는 연구가 필수적이고 많이 진행되어 왔다^[11].

주기적 짝수 상관의 사이드로브 최댓값 관점에서 최적 혹은 최적에 근접하는 이진코드집합에 대한 연구는 많이 진행되었다. 이러한 이진코드집합은 특정한 형태의 길이에서만 존재한다는 특징이 있다. 예를 들어, 골드코드집합(Gold codes)^[4]은 길이 $2^n - 1$, ($n \equiv 1, 2, 3 \pmod{4}$), 웨일 코드 집합(Weil codes)^[5]는 길이 p (홀수인 소수)에서만 존재한다. 표 1에서 보면 길이 10,230을 갖는 이진확산코드 중 다수는 잘린 골드코드집합(Truncated Gold codes), 잘린 웨일코드 집합(Truncated Weil codes)과 같이 골드코드집합의 변형 또는 웨일코드집합의 변형 형태로 설계된다. 골드코드의 가능한 길이 중 10,230에 가까운 값은 8,192 또는 16,383 정도로 10,230과 꽤 큰 차이가 있다. 따라서 골드 코드 집합을 변형하여 길이 10,230을 갖는 잘린골드코드 집합을 설계할 때, 연접과 자름을 이용

하여 설계하고 이는 기반코드(Mother code)와 꽤 큰 차이가 있다. 웨일코드의 가능한 길이 중 10,223은 10,230과 7만큼의 차이가 있기 때문에 웨일 코드의 적절한 위치에 7비트(bit) 만큼을 추가로 삽입하여 길이 10,230인 잘린 웨일 코드를 설계한다. 잘린골드코드집합은 선형회환시프트레지스터(LFSR, Linear Feedback Shift Register) 기반으로 생성 가능하기 때문에 잘린웨일코드집합 대비 인코딩 복잡도(Encoding complexity)가 매우 간단한 반면 기반코드를 더 많이 변형시키기 때문에 사이드로브 최대값은 더 크다. 따라서 인코딩 복잡도가 높아도 되는 시스템을 위한 잘린웨일코드집합의 사이드로브 최대값을 줄이는 연구와 인코딩 복잡도가 낮아야 하는 시스템을 위한 잘린골드코드집합의 사이드로브 최댓값을 줄이는 연구가 필수적이다.

본 논문에서는 낮은 인코딩 복잡도를 고려하여 GNSS의 확산코드로서의 길이 10,230인 잘린골드코드집합들을 설계한다. 현재 GNSS에 쓰이는 잘린골드코드집합들과 짝수/홀수 자기/교차 상관 사이드로브 최대값을 비교함으로써 본 논문에서 설계한 잘린골드코드집합들의 우수함을 입증한다.

II. 현재 GNSS의 잘린골드코드집합

골드코드집합은 선호 쌍(preferred pair)인 동일 길이의 두 개의 m-시퀀스(m-sequence)로부터 만들어진 선호 쌍인 길이 $2^n - 1$ 인 두 개의 m-시퀀스를 각각 \mathbf{a} , \mathbf{b} 라고 하면 동일 길이의 골드 코드 집합 $G = \{g^{(0)}, g^{(1)}, \dots, g^{(2^n)}\}$ 은 $k = 2, 3, \dots, 2^n$, $t = 0, 1, 2, \dots, 2^n - 2$ 에 대해 다음과 같이 만들어진다.

$$g^{(0)} = \mathbf{a}, g^{(1)} = \mathbf{b},$$

$$g^{(k)}(t) = a(t) + b(t + k - 2 \pmod{2^n - 1}).$$

길이 $2^n - 1$ 인 골드코드집합은 $n \equiv 1, 2, 3 \pmod{4}$ 에서 존재한다.

길이 L 인 두 이진 코드 $\mathbf{u} = \{u(t)\}$, $\mathbf{v} = \{v(t)\}$ 의 시간지연 $\tau = 0, 1, 2, \dots, L - 1$ 에 대한 주기적 짝수 상관함수 $\theta_{\mathbf{u}, \mathbf{v}}(\tau)$ 및 주기적 홀수 상관함수 $\hat{\theta}_{\mathbf{u}, \mathbf{v}}(\tau)$ 는 다음과 같이 정의 된다.

표 1. GNSS의 대역확산 코드 집합
Table 1. Spreading codes of GNSS.

Signal	Spreading codes	Code length
GPS L1 C/A	Repeated Gold	10,230
GPS L1C	Truncated Weil	10,230
GPS L2C	LFSR sequence	10,230
GPS L5	Truncated Gold	10,230
Galileo E1	Truncated Gold	4,092
Galileo E5	Truncated Gold	10,230
Beidou B1C	Truncated Weil	10,230
Beidou B3I	Truncated Weil	10,230
Beidou B2	Truncated Gold	10,230

$$\theta_{\mathbf{u},\mathbf{v}}(\tau) = \sum_{t=0}^{L-1} (-1)^{u(t)+v(t+\tau \bmod L)},$$

$$\hat{\theta}_{\mathbf{u},\mathbf{v}}(\tau) = \sum_{t=0}^{L-\tau-1} (-1)^{u(t)+v(t+\tau)} - \sum_{t=L-\tau}^{L-1} (-1)^{u(t)+v(t+\tau-L)}.$$

여기서 \mathbf{u} 와 \mathbf{v} 가 같은 경우 자기상관, \mathbf{u} 와 \mathbf{v} 가 다른 경우 교차상관 이라고 부른다. 동일 길이로 이루어진 이진 코드 집합 S 에 대해 짝수 자기상관 사이드로브 최대값 $\theta_a(S)$, 홀수 자기상관 사이드로브 최대값 $\hat{\theta}_a(S)$, 짝수 교차상관 사이드로브 최대값 $\theta_c(S)$, 홀수 교차상관 사이드로브 최대값 $\hat{\theta}_c(S)$ 은 다음과 같이 정의된다.

$$\theta_a(S) = \max\{|\theta_{\mathbf{u},\mathbf{u}}(\tau)| : 1 \leq \tau \leq L-1, \mathbf{u} \in S\},$$

$$\hat{\theta}_a(S) = \max\{|\hat{\theta}_{\mathbf{u},\mathbf{u}}(\tau)| : 1 \leq \tau \leq L-1, \mathbf{u} \in S\},$$

$$\theta_c(S) = \max\{|\theta_{\mathbf{u},\mathbf{v}}(\tau)| : 0 \leq \tau \leq L-1, \mathbf{u}, \mathbf{v} \in S, \mathbf{u} \neq \mathbf{v}\},$$

$$\hat{\theta}_c(S) = \max\{|\hat{\theta}_{\mathbf{u},\mathbf{v}}(\tau)| : 0 \leq \tau \leq L-1, \mathbf{u}, \mathbf{v} \in S, \mathbf{u} \neq \mathbf{v}\}.$$

또한, 이로부터 짝수 상관 사이드로브 최대값 $\theta(S)$ 을 $\theta(S) = \max\{\theta_a(S), \theta_c(S)\}$ 로 정의할 수 있다. 길이 L , 코드 개수 M 인 임의의 이진 코드 집합의 짝수 상관 사이드로브 최대값에 대한 하한값인 웰치 바운드(Welch bound)가 존재한다. 이를 부등식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\theta(S) \geq L \sqrt{\frac{M-1}{ML-1}}.$$

길이 $2^n - 1$ 인 골드 코드 집합은 홀수인 n 에 대하여 홀짝성을 고려하였을 때 웰치 바운드 관점에서 최적이다. 짝수인 n 에서는 $\theta(S)$ 값이 웰치 바운드의 약 $\sqrt{2}$ 배 다.

길이가 $2^n - 1$ 인 골드 코드는 선호쌍인 두 개의 m -시퀀스를 더하여 생성된다. 따라서 골드 코드 생성기는 그림 1과 같이 두 개의 n 차 원시다항식 (primitive polynomial) $f(x), g(x)$ 로부터 LFSR을 이용해 선호쌍인 두 개의 m -시퀀스 \mathbf{a}, \mathbf{b} 를 생성하고 이를 XOR 연산을 통하여 원하고자 하는 골드 코드를

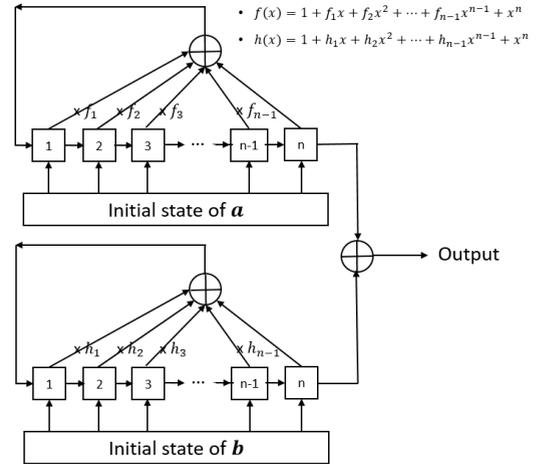


그림 1. 선형회환시프트레지스터를 통한 길이 $2^n - 1$ 인 골드 코드 생성기
Fig. 1. Gold codes of length $2^n - 1$ generator by using LFSR

생성해낸다. 여기서 초기값을 조절하여 한 골드 코드 집합안에 있는 임의의 골드 코드를 생성할 수 있다. 현재 GNSS에서는 그림 2와 같이 길이 10,230인 두 코드 \mathbf{XA}, \mathbf{XB} 를 생성하고 두 코드를 XOR 연산을 통하여 길이 10,230인 잘린 골드 코드를 생성한다. 이 생성기의 \mathbf{XA}, \mathbf{XB} 의 구조는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 서로 선호쌍인 길이 8,191인 두 m -시퀀스에 \mathbf{a}, \mathbf{b} 대해 \mathbf{XA} 는 $a(0), a(1), \dots, a(8189)$ 로 이루어진 길이 8,190인 수열과

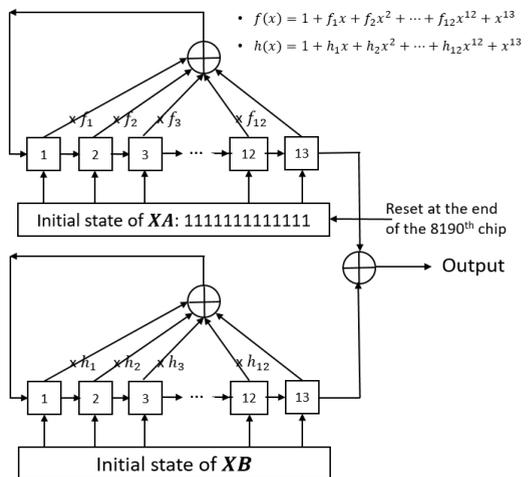


그림 2. 현재 GNSS에서 사용되는 길이 10,230인 잘린 골드 코드 생성기
Fig. 2. Truncated Gold codes of length 10,230 generator used in current GNSS

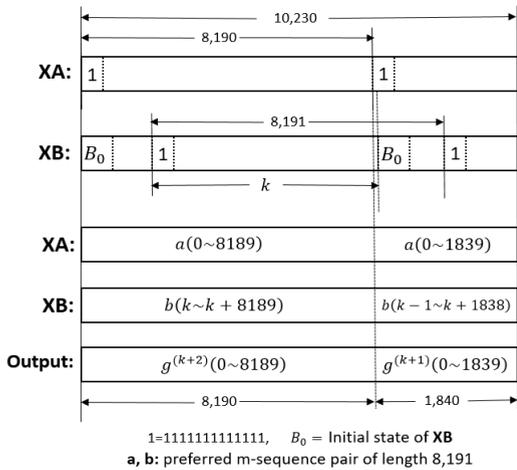


그림 3. 현재 GNSS에서 사용되는 길이 10,230인 잘린골드 코드의 구조
 Fig. 3. Truncated Gold codes of length 10,230 structure used in current GNSS

$a(0), a(1), \dots, a(1839)$ 로 이루어진 길이 1,840인 수열의 단순 연결로 구성되어 있다. 또한 **XB**는 $b(k), b(k+1), \dots, b(k+8189)$ 로 이루어진 길이 8,190인 수열과 $b(k-1), b(k), \dots, b(k+1838)$ 로 이루어진 길이 1,840인 수열의 단순 연결로 구성되어 있다. 여기서 k 는 **XB**의 초기값 B_0 로 결정되는 값으로 수열 **b**에서 B_0 의 처음부분에 대한 인덱스이다. 이로써 생성되는 잘린 골드 코드는 **XA**와 **XB**의 XOR 연산으로 형성되므로 위에서 정의된 골드 코드 집합의 정의에 따라 두 골드 코드 $g^{(k+1)}, g^{(k+2)}$ 에 대하여
 $g^{(k+2)}(0), g^{(k+2)}(1), \dots, g^{(k+2)}(8189)$ 로 이루어진 길이 8,190인 수열과
 $g^{(k+1)}(0), g^{(k+1)}(1), \dots, g^{(k+1)}(1839)$ 로 이루어진 길이 1,840인 수열의 단순 연결 형태를 띄게 된다. 즉 현재 GNSS에서 사용되는 잘린 골드 코드는 한 골드 코드 집합 안에서 인접한 인덱스를 가지는 두 골드 코드에 대해 하나는 길이 8,190로 하나는 길이 1,840으로 잘라서 단순 연결한 형태이다.

III. 제안하는 잘린골드코드집합

이번 장에서는 GNSS에서 사용할 수 있도록 특정 길이에서 작은 홀수/짝수 및 자기/교차 상관의 사이드 로브 최대값을 갖도록하는 잘린골드코드집합을 설계

하는 방법에 대해 다루고자 한다. 방법을 적용하기 위해 다음과 같은 설정값이 필요하다.

M^*, L_{target} : 설계하고자 하는 잘린골드코드집합의 크기와 길이.

$\theta_{a,target}, \hat{\theta}_{a,target}$: 설계하고자 하는 잘린골드코드집합 U 에 대해, 달성하고자 하는 $\theta_a(U), \hat{\theta}_a(U)$ 의 값. 단계 3에서 단계 4로 진행될 수 있는 한에서 되도록 작은 값으로 설정한다.

S : 길이 $L = 2^n - 1$, 크기 $M = 2^n + 1$ 의 기반 골드코드 집합.

K : 단계 1-3 반복 횟수.

제안하는 잘린골드코드집합 생성방법은 다음과 같이 4단계로 나타내져 있다. 이는 그림 4에서 간단하게 도식화되어 있다.

단계 1: S 안에 있는 $N \lfloor M/N \rfloor$ 개의 코드 중 각각 N 개의 코드들을 갖고 서로 공유하는 코드가 없는 $\lfloor M/N \rfloor$ 개의 집합을 무작위로 만든다. 그 후 각각의 집합에서, 그 집합 안에 있는 N 개의 코드들을 연결하여 길이 NL 을 갖는 코드를 생성한다. 단, $N = \lceil L_{target}/L \rceil$.

단계 2: 단계 1에서 형성된 $\lfloor M/N \rfloor$ 개의 코드

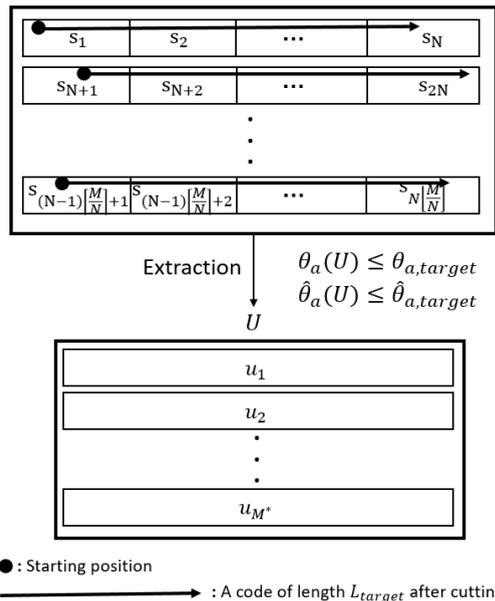


그림 4. 제안하는 잘린골드코드집합 생성방법
 Fig. 4. Proposed generation method of truncated gold codes

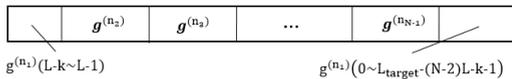
에서 각각 시작 지점을 1~L번째 칩(Chip)중에서 무작위로 골라 길이 L_{target} 으로 자른다. 자르는 과정에서 코드의 길이가 넘어갈 경우 순환 시프트(Cyclic shift)를 시켜 자른다. 이 단계에서 길이 L_{target} 을 갖는 $\lfloor M/N \rfloor$ 개의 코드가 생성된다.

단계 3: 단계 2에서 형성된 $\lfloor M/N \rfloor$ 개의 코드 중에서 짝수/홀수 자기상관 사이드로브 최댓값 θ_1, θ_2 이 각각 $\theta_1 \leq \theta_{a,target}$, $\theta_2 \leq \hat{\theta}_{a,target}$ 을 만족하는 코드 M^* 개를 골라 확산코드집합 U 를 만든다. 해당되는 코드의 개수가 M^* 보다 작을 경우 $\theta_{a,target}$ 과 $\hat{\theta}_{a,target}$ 를 더 큰 값으로 재설정하고 단계 1로 돌아간다.

단계 4: 단계 1-3을 K 번 반복하고 이 중에서 $\max(\theta_c(U), \hat{\theta}_c(U))$ 가 최소가 되게 하도록 확산코드집합 U 를 결정한다.

위의 방법으로 생성된 잘린골드코드집합안에 있는 한 잘린골드코드에 대해 단계 2에서 무작위로 고른 시작지점이 $L-k+1$ 번째 칩이라고 하자. 이 때, 이 잘린골드코드는 k 와 N 에 따라서 그림 5와 같이 세가지 유형으로 나뉜다. 첫 번째는 $N \geq 2$, $L_{target} - (N-1)L - k \leq 0$ 인 경우인데 이는 단계 2에서 길이 L_{target} 로 자를 때, 코드의 길이가 넘어가지 않는다. 따라서 N 개의 연결된 골드코드 중에서 첫 번째 골드코드가 $L-k$ 인덱스에서 시작하고 마지막 N 번째 골드코드가 $L_{target} - (N-2)L - k - 1$ 인덱스에서 끝난다. 두 번째는 $N \geq 2$, $L_{target} - (N-1)L - k \leq 0$ 인 경우인, 이는 단계 2에서 길이 L_{target} 로 자를 때, 코

Case 1: $L_{target} - (N-1)L - k \leq 0, N \geq 2$



Case 2: $L_{target} - (N-1)L - k > 0, N \geq 2$



Case 3: $N = 1$

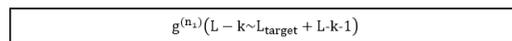


그림 5. 제안하는 잘린골드코드의 세가지 유형
Fig. 5. Three cases of proposed truncated gold codes

드의 길이가 넘어가서 순환 시프트를 시켜 마지막에 첫 번째 골드코드 지점에서 잘린다. 첫 번째 골드코드의 $L-k$ 인덱스에서 시작한 코드와 첫 번째 골드코드의 $L_{target} - (N-1)L - k - 1$ 에서 끝나는 코드 사이에 $N-1$ 개의 골드코드가 연결되어있는 형태가 된다. 세 번째는 $N=1$ 인 경우인데 이는 하나의 골드코드에서 길이 L_{target} 으로 잘라진 형태가 된다. 이 세가지 경우에 대해 선형폐환시프트를 사용하여 생성기를 만들 때, 각 골드코드의 시작점마다 초기값을 재설정해야 하므로 한 코드를 생성하면서 첫 번째와 세 번째의 경우 N 번 두 번째의 경우는 $N+1$ 번 초기값을 설정해줘야한다. 따라서 한 코드를 생성할 때 초기값을 $N+1$ 번 설정해주면 제안하는 모든 경우의 잘린골드코드를 생성할 수 있고 이 때의 잘린골드코드 생성기는 그림 6과 같다. 연결해있는 각 골드코드들은 두 개의 m -시퀀스의 합으로 표현되는데, 그 중 하나는 위상이 같음으로 한쪽 부분의 선형폐환시프트레지스터에만 재설정을 해주면 된다.

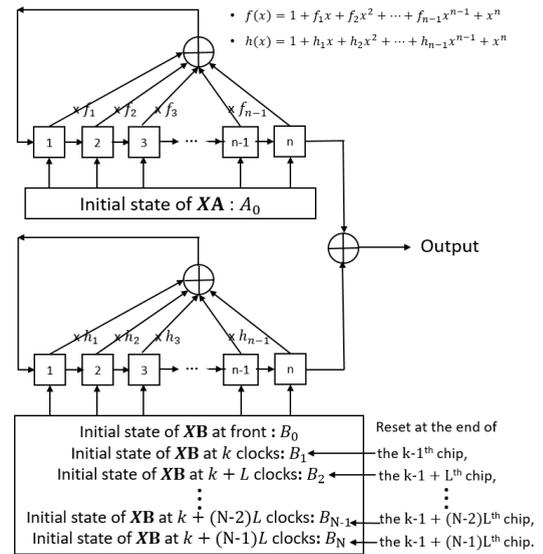


그림 6. 제안하는 잘린골드코드 생성기
Fig. 6. Proposed generator of truncated gold codes

IV. 실험

이번 장에서 제안하는 방법으로 생성한 길이 10,230인 잘린골드코드집합과 현재 GNSS의 GPS L5 data, GPS L5 pilot, Galileo E5a, Galileo E5b에서 쓰이는 동일길이의 잘린골드코드집합의 사이드로브 최

댓값을 비교함으로써 제안하는 방법의 우수성을 입증한다. 실험에 쓰이는 제안하는 7개의 잘린골드코드 집합은 각각 길이 $2^{10} - 1$, $2^{11} - 1$, $2^{13} - 1$, $2^{14} - 1$, $2^{15} - 1$, $2^{17} - 1$, $2^{18} - 1$ 인 기반 골드코드로부터 생성하였고, 생성하기위한 실험 설정값은 표 2, 3과 같이 코드 크기(M^*), 코드 길이(L_{target})를 각각 100, 10,230으로 고정하고 목표로 하는 짝수 자기상관 사이드로브 최댓값 $\theta_{a,target}$ 과 홀수 자기상관 사이드로브 최댓값 $\hat{\theta}_{a,target}$ 을 기반코드의 길이에 따라 최대한 작은값으로 설정하였다. 반복횟수 K 는 그림 7에서 확인할 수 있듯이 10 이상 부터 $\max(\theta_c(U), \hat{\theta}_c(U))$ 값이 일정한 값으로 수렴하기 때문에 10으로 고정하였다.

표 2, 표 3은 제안하는 방법으로 생성한 잘린골드

표 2. 제안하는 잘린골드 생성 방법에서 기반코드의 길이에 따른 실험 파라미터
Table 2. Experimental parameters according to the mother code's length in proposed truncated Gold codes generation method

Mother code	$\theta_{a,target}$	$\hat{\theta}_{a,target}$	M^*	L_{target}	K
$L=2^{10}-1$	468	468	100	10,230	10
$L=2^{11}-1$	376	376			
$L=2^{13}-1$	346	346			
$L=2^{14}-1$	352	352			
$L=2^{15}-1$	342	342			
$L=2^{17}-1$	342	342			
$L=2^{18}-1$	342	342			

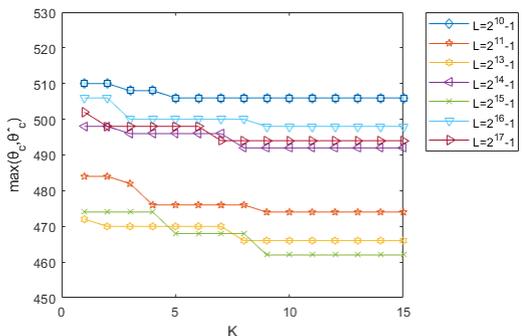


그림 7. 반복횟수 K 에 따른 제안하는 기법의 $\max(\theta_c(U), \hat{\theta}_c(U))$
Fig. 7. $\max(\theta_c(U), \hat{\theta}_c(U))$ corresponds to Iteration number K

표 3. GNSS 시스템과 제안하는 방법에서 길이 10,230인 잘린골드코드 집합의 사이드로브 최댓값
Table 3. Sidelobe maximum of truncated gold codes of length 10,230 in GNSS and proposed method

Signal Type	M^*	$\theta_a(U)$ (dB)	$\hat{\theta}_a(U)$ (dB)	$\theta_c(U)$ (dB)	$\hat{\theta}_c(U)$ (dB)
GPS L5 data	74	-29.02	-26.86	-26.35	-25.32
GPS L5 pilot	420	-28.55	-26.21	-26.35	-25.20
Galileo E5a	100	-28.55	-28.64	-25.67	-25.87
Galileo E5b	100	-28.74	-28.51	-25.20	-25.87
$L=2^{10}-1$	100	-26.83	-26.79	-26.11	-26.25
$L=2^{11}-1$	100	-28.74	-28.69	-26.68	-27.09
$L=2^{13}-1$	100	-29.42	-29.42	-27.17	-26.82
$L=2^{14}-1$	100	-29.32	-29.27	-26.50	-26.36
$L=2^{15}-1$	100	-29.52	-29.52	-26.90	-26.90
$L=2^{17}-1$	100	-29.52	-29.52	-26.43	-26.26
$L=2^{18}-1$	100	-29.52	-29.52	-26.32	-26.50

표 4. GNSS 시스템과 제안하는 방법에서 길이 10,230인 잘린골드코드 집합의 사이드로브 최댓값(dB)
Table 4. Sidelobe maximum of truncated gold codes of length 10,230 in GNSS and proposed method(dB)

Signal Type	M^*	$\theta_a(U)$	$\hat{\theta}_a(U)$	$\theta_c(U)$	$\hat{\theta}_c(U)$
GPS L5 data	74	362	464	492	554
GPS L5 pilot	420	382	500	492	562
Galileo E5a	100	382	378	532	520
Galileo E5b	100	374	384	562	572
$L=2^{10}-1$	100	466	468	506	498
$L=2^{11}-1$	100	374	376	474	452
$L=2^{13}-1$	100	346	346	448	466
$L=2^{14}-1$	100	350	352	484	492
$L=2^{15}-1$	100	342	342	462	462
$L=2^{17}-1$	100	342	342	488	498
$L=2^{18}-1$	100	342	342	494	484

코드집합($L = 2^{10} - 1$, $L = 2^{11} - 1$, $L = 2^{13} - 1$, $L = 2^{14} - 1$, $L = 2^{15} - 1$, $L = 2^{17} - 1$, $L = 2^{18} - 1$)과 현재 GNSS의 잘린 골드코드집합 (GPS L5 data, GPS L5 pilot, Galileo E5a, Galileo E5b)에서 각 코드의 크기(Size)와 홀수/짝수 자기/교차 상관의 사이드로브 최댓값($\theta_a(U)$, $\hat{\theta}_a(U)$, $\theta_c(U)$, $\hat{\theta}_c(U)$)를 나타낸다. 제안하는 코드 중 $L = 2^{13} - 1$, $L = 2^{14} - 1$, $L = 2^{15} - 1$, $L = 2^{17} - 1$ 은 모든 사이드로브 최댓값이 현재 GNSS의 잘린골드코드집합의 경우보다 낮으며 특히 $L = 2^{15} - 1$ 이 가장 좋은 성능을 보여준다. 또한, $L = 2^{11} - 1$, $L = 2^{18} - 1$ 도 준수한 성능을 가진다. 또한 본 논문에서 제안한 잘린골드코드집합은 2019년에 다른 연구에서 제안된 잘린골드코드집합 [11]과 비교했을 때, 자기상관값은 -28dB에서 -29dB로 교차상관값은 똑같이 -27dB로 더 준수한 성능을 갖는다.

V. 결 론

본 논문에서는 홀수/짝수 자기/교차 상관 사이드로브 최댓값이 작은 잘린골드코드집합을 설계하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법으로 생성된 코드를 LFSR을 이용한 생성기도 제시하였으며 현재 GNSS에서 쓰이는 길이 10,230인 잘린골드코드집합과 비교해 성능이 우수하였다.

References

[1] D. TSE and P. Viswanath, *Fundamentals of wireless communication*, Cambridge University Press, 2005.

[2] P. Teunissen and O. Montenbruck, *Springer handbook of global navigation satellite systems*, Springer, 2017.

[3] S. Wallner, G. Rodriguez, and G. Hein, "Codes: The PRN family grows again," *Inside GNSS*, Sep./Oct. 2011.

[4] R. Gold, "Optimal binary sequences for spread spectrum multiplexing," *IEEE Trans. Info. Theory*, vol. 13, pp. 619-621, 1967.

[5] J. Rushanan, "Weil sequences: A family of binary sequences with good correlation

properties," *IEEE Int. Symp. Info. Theory*, Seattle, Washington, 2006.

[6] NAVSTAR GPS Space Segment/Navigation User Interfaces, vol. 3, 2006.

[7] European Space Agency, "Galileo open service signal in space interface control document," no. 1, Feb. 2010.

[8] P. Misra and P. Enge, *Global Positioning System: Signals, measurements and performance* Second Ed., Massachusetts: Ganga-Jamuna Press, 2006.

[9] R. Prasad and M. Ruggieri, *Applied satellite navigation systems*, Artech House, 2005.

[10] D. Dardari, E. Falletti, and M. Luise, *Satellite and terrestrial radio positioning techniques: A signal processing perspective*, Academic Press, 2011.

[11] S. Kim, K. Kim, K. Song, and J. Ahn, "Selection technique of maximum correlation power limited gold code set of limited length," *J. KICS*, vol. 44, no. 4, pp. 629-636, Apr. 2019.

김 강 산 (Gangsan Kim)



2016년 2월: 연세대학교 전기
전자공학부 학사
2016년 3월~현재: 연세대학교
전기전자공학과 석박사통합
과정
<관심분야> 통신공학, 정보이
론, 부호이론

[ORCID:0000-0002-3864-5379]

송 흥 엽 (Hong-Yeop Song)



1984년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 졸업
1986년 5월 : University of
Southern California Dept.
of EE. System 석사
1991년 12월 : University of
Southern California Dept.

of EE. System 박사

1992년 1월~1993년 12월 : University of Southern
California 박사 후 연구원

1994년 1월~1995년 8월 : Qualcomm, San Diego,
Senior Engineer

1995년 9월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 전임
교수

<관심분야> 통신공학, 정보이론, 부호이론

[ORCID:0000-0001-8764-9424]

안 재 민 (Jae Min Ahn)



1987년 2월 : 서울대학교 전자
공학과 졸업

1989년 2월 : 한국과학기술원 전
기및전자공학과 석사

1994년 8월 : 한국과학기술원 전
기및전자공학과 박사

1994년~1999년 : 삼성전자 통신
사업부

1999년~현재 : 충남대학교 전파정보통신공학과 교수

<관심분야> 통신신호처리, 통신신호설계

[ORCID: 0000-0002-6261-0010]

임 덕 원 (Deok Won Lim)



2004년 2월 : 충남대학교 전자
공학과 졸업

2011년 2월 : 충남대학교 전자
공학과 박사

2011년 3월~현재 : 한국항공우
주연구원

<관심분야> 위성항법 신호 설계, 수신기 설계, 항재
밍 기술

[ORCID:0000-0002-5154-8063]