

논문 2013-50-12-2

위성 다중임무 수행을 위한 가변길이 의사 잡음 레인징 시스템 (Variable Length Pseudo Noise (PN) Ranging System for Satellite Multiple Missions)

정진우*, 김상구*, 윤동원*, 임원규**

(Jinwoo Jeong, Sanggoo Kim, Dongweon Yoon[Ⓢ], and Won-Gyu Lim)

요약

위성 운용 및 우주 탐사 미션에서 레인징은 우주 항행체의 위치 정보를 얻기 위한 가장 필수적인 기술이다. 최근에 우주 탐사 미션의 정교한 수행을 위하여 우주 개발국들 간의 상호 협력의 중요성이 증대되고 있다. 상호 협력을 위하여 우주 개발국 간의 상호 호환성을 가지는 레인징 시스템이 요구된다. 이러한 이유로, CCSDS는 디지털 표준 레인징 시스템으로서 의사 잡음 레인징을 권고하고 있다. CCSDS 표준 레인징 시스템에서의 의사 잡음 시퀀스의 길이는 심우주 미션에 적합하며 지구 근접 미션에 적용하기는 매우 길다. 본 논문에서는 저궤도 위성, 중궤도 위성 그리고 정지궤도 위성과 같은 지구 근접 미션에 적합한 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스를 제안하고, CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템을 포함하는 다중임무 수행에 적합한 가변길이 의사 잡음 레인징 시스템을 제안한다.

Abstract

In satellite operations and space exploration missions, a ranging is one of the most essential technologies to get its navigational information of space probes. Recently, the importance of cross-support between space agencies is increasing for more fine performance of space mission. For cross-support, mutually compatible ranging system between space agencies is recommended. For these reasons, the consultative committee for space data systems (CCSDS) recommends pseudo noise (PN) ranging as a digital standard ranging system. The length of PN sequence in CCSDS standard is proper for deep space missions, however, it is too long to use for ranging in near earth missions. In this paper, we propose Variable Length PN sequence schemes suitable for ranging of near earth satellites, such as low-earth orbit (LEO), medium-earth orbit (MEO) and Geostationary orbit (GEO). Therefore we propose variable length PN sequence ranging system including CCSDS standard for multiple missions.

Keywords : Pseudo noise, Ranging, Deep space network, Satellite communications, Satellite control

I. 서론

우주 탐사와 위성 운용에 있어서 가장 중요한 이슈들 중의 하나는 우주 항행체 혹은 위성의 위치를 추적하는

것이다. 우주 항행체 혹은 위성의 위치를 추적함으로써 이들의 위치와 속도, 가속도 등을 포함한 항행 정보를 얻을 수 있으며 위치 및 항행 정보에 의거하여 우주 항행체 혹은 위성을 제어할 수 있다^[1].

지구의 자전은 지상국과 우주국 사이의 지속적인 통신을 방해 할 수 있으며 이러한 이유로 최근에는 더욱 정교한 미션 수행을 위하여 다른 우주 개발국들 사이의 상호 협력(cross-support)의 중요성이 증대되고 있다^[2~4]. 이러한 상호 협력을 위하여 우주 개발국들 사이에 호환 가능한 레인징 시스템이 필수적으로 요구된다. 이러한 이유로 CCSDS(Consultative Committee for

* 정회원, 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
(Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University)

** 정회원, 한국항공우주연구원
(Korea Aerospace Research Institute)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: dwyoon@hanyang.ac.kr)
접수일자: 2013년8월19일, 수정완료일: 2013년11월22일

Space Data Systems)는 2009년 3월에 의사 잡음 레인징 기술을 표준 레인징 시스템으로 권고하였다^[5]. CCSDS 표준 레인징 시스템의 의사 잡음 레인징 시퀀스는 지구 근접 미션에 적용하기에 그 길이가 매우 길며, 따라서 많은 연산량과 긴 포착 시간을 필요로 하게 된다^[6]. 한편 NASA JPL에서는 지구 근접 미션에 적합한 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스를 사용하는 레인징 시스템을 제안하였다^[7]. 그러나 NASA JPL에서 제안한 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시스템은 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템에 비하여 적은 칩당 천이율과 높은 직류 성분을 가짐으로서, 다소 열악한 성능을 보여주고 있기 때문에, 저궤도 위성, 중궤도 위성 그리고 정지궤도 위성 등과 같이 지구와 근접한 위성들의 레인징을 위하여 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템과 호환이 가능하며 유사한 성능을 지니는 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스를 사용하는 레인징 시스템의 개발이 요구 된다.

본 논문에서는 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템과의 호환성을 가지기 위하여 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템에서 사용하고 있는 5개의 요소 시퀀스를 이용하여 지구 근접 미션에 적합한 가변길이 의사 잡음 레인징 시퀀스를 제안한다. 제한된 의사 잡음 시퀀스는 저궤도 위성, 중궤도 위성 그리고 정지궤도 위성의 레인징에 적합하다. 제안된 의사 잡음 시퀀스는 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템과 NASA JPL에서 제안한 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스를 이용하는 레인징 시스템과의 칩당 천이율 및 직류 성분 비교를 통하여 성능을 검증한다. 또한 다중 임무 수행에 적합한 다양한 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스를 사용하는 레인징 시스템을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 II장에서 CCSDS와 NASA JPL의 의사 잡음 레인징 시스템의 특징을 살펴보고 III장에서는 지구 근접 미션에 적합한 다양한 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스와 이를 이용한 레인징 시스템을 제안하고 IV장에서는 모의실험 및 성능분석 결과를 보여준다. 끝으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 의사 잡음 레인징 시스템 모델

1. CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템

CCSDS는 재생 의사 잡음 레인징 시스템을 우주 개발국들 사이의 상호 협력을 위한 표준 레인징 시스템으로 권고하고 있다^[5]. CCSDS 레인징 표준은 1960년대 초기에 제안된 Tausworthe 의사 잡음 기법의 변형인 Weighted-voting Tausworthe 의사 잡음 레인징 조합 로직을 사용한다^[8]. 그림 1은 Weighted-voting Tausworthe 의사 잡음 레인징 조합 로직을 나타낸다.

그림 1에 나타난 바와 같이, Weighted-voting Tausworthe 의사 잡음 레인징 조합 로직은 반복적으로 입력되는 6개의 이진(± 1) 요소 시퀀스 C_1, C_2, \dots, C_6 를 사용한다.

표 1에는 Weighted-voting Tausworthe 의사 잡음 레인징 조합 로직에 사용되는 비트 시퀀스들을 나타내었다.

표 1에서 보는 바와 같이, 요소 시퀀스들은 2, 7, 11, 15, 19, 23 칩의 길이를 가지며 각각의 시퀀스 길이는 공약수가 없는 서로소이다. CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템에서 사용되고 있는 레인징 조합 로직중 대표적인 T4B의 경우 레인징 시퀀스 C 는 표 1의 요소 시퀀스들을 사용하여 구성되며 조합 로직은 다음의 식

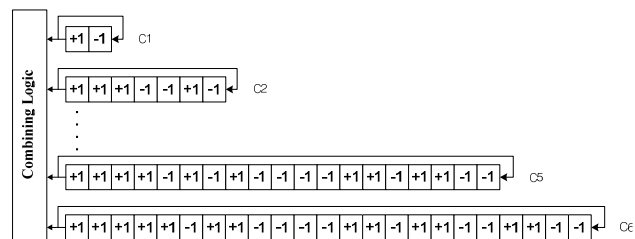


그림 1. Weighted-voting Tausworthe 의사 잡음 조합 로직
Fig. 1. The weighted-voting Tausworthe PN ranging combining logic.

표 1. CCSDS 레인징 시스템의 요소 시퀀스
Table 1. Component sequences of CCSDS ranging system.

요소 시퀀스	비트 시퀀스
C_1	+1, -1
C_2	+1, +1, +1, -1, -1, +1, -1
C_3	+1, +1, +1, -1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, -1
C_4	+1, +1, +1, +1, -1, -1, -1, +1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, -1
C_5	+1, +1, +1, +1, -1, +1, -1, +1, -1, -1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, -1, +1, +1, -1, -1
C_6	+1, +1, +1, +1, +1, -1, +1, -1, +1, +1, -1, -1, -1, +1, +1, -1, -1, +1, -1, -1, +1, -1, -1, +1, -1, -1, -1, -1

(1)과 같다.

$$C = \text{sign}(4C_1 + C_2 - C_3 - C_4 + C_5 - C_6) \quad (1)$$

식 (1)의 조합 로직에 의해 구성된 레인징 시퀀스 C 는 서로소 관계인 요소 시퀀스 길이의 곱과 같은 크기의 시퀀스 $L = 2 \times 7 \times 11 \times 15 \times 19 \times 23 = 1,009,470$ 길이를 가진다.

CCSDS 표준 레인징 시스템의 의사 잡음 시퀀스는 CCSDS에서 권고하고 있는 칩전송율 1M chips/sec 기준으로 최소 302,632km 이상의 거리측정에 적합하다^[2~3]. 즉, CCSDS 표준 레인징 시스템의 의사 잡음 시퀀스는 저궤도 위성, 중궤도 위성, 정지궤도 위성과 같은 지구 근접 위성의 레인징에 사용하기에는 매우 긴 길이를 가지며, 심우주 미션과 비교해서 비교적 짧은 거리 측정에도 불구하고 많은 연산량과 긴 포착시간을 필요로 한다.

2. NASA JPL 의사 잡음 레인징 시스템

NASA JPL은 2004년에 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스를 제안하였다. 그림 2에는 NASA JPL의 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스 조합 로직을 나타내었다^[7].

그림 2에서 보는 바와 같이 1999 JPL 의사 잡음 레인징 시퀀스에서 변형된, NASA JPL의 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스는 반복적으로 입력되는 5개의 이진(0과 1) 요소 시퀀스 C_1, C_2, \dots, C_5 를 사용한다.

표 2에는 NASA JPL에서 제안한 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 조합 로직에서 사용되고 있는 각각의 요소 시퀀스들을 나타내었다.

표 2에서 보는 바와 같이, 요소 시퀀스들은 2, 7, 11, 15, 19 칩의 길이를 가지며 각각의 길이들은 공약수가 없는 서로소이다. NASA JPL에서 제안한 짧은 길이의

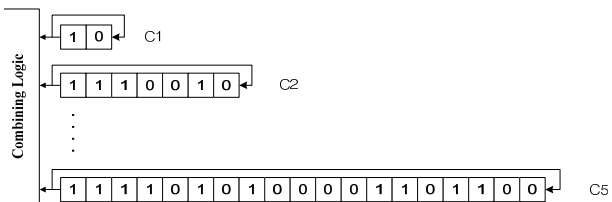


그림 2. NASA JPL의 짧은 길이 의사 잡음 레인징 시퀀스 조합 로직

Fig. 2. The shortened length PN ranging sequence of NASA JPL.

표 2. NASA JPL 레인징 시스템의 요소 시퀀스
Table 2. Component sequences of JPL Ranging System.

요소 시퀀스	비트 시퀀스
C_1	1, 0
C_2	1, 1, 1, 0, 0, 1, 0
C_3	1, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0
C_4	1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0
C_5	1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0

의사 잡음 레인징 시스템에서 사용되는 레인징 시퀀스 C 는 표 2의 요소 시퀀스들을 사용하여 구성되며 조합 로직은 다음의 식 (2)과 같다.

$$Seq(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 \geq 3 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)의 조합 로직에 의해 구성된 레인징 시퀀스 C 는 서로소 관계인 요소 시퀀스 길이의 곱과 같은 크기의 시퀀스 길이 $L = 2 \times 7 \times 11 \times 15 \times 19 = 43,890$ 을 가진다.

NASA JPL에서 제안한 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스는 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시퀀스에 비해서 낮은 천이율과 높은 직류 바이어스를 가진다. 직류 바이어스는 전체 시퀀스에 대한 +1과 -1(혹은 0)의 비대칭 상태를 나타내며, 일반적으로 높은 직류 바이어스는 열악한 SNR 성능을 유발할 수 있다. 또한 천이율은 전체 시퀀스에 걸쳐서 +1에서 -1 혹은 -1에서 +1로의 비트 변화율을 의미한다. 즉, NASA JPL이 제안한 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스는 지구 근접 미션에서의 레인징에 적합한 길이를 가지나 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시퀀스에 비해서 열악한 성능을 가진다.

따라서 저궤도 위성, 중궤도 위성, 정지궤도 위성과 같은 지구 근접 위성의 레인징을 위해서는 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시퀀스와 유사한 성능을 가지면서, 동시에 CCSDS 표준과 호환이 가능한 가변 길이 레인징 시퀀스의 설계가 요구된다.

III. 가변길이 의사 잡음 레인징 시스템 설계

1. 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스 조합 로직
본 절에서는 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 조합 로

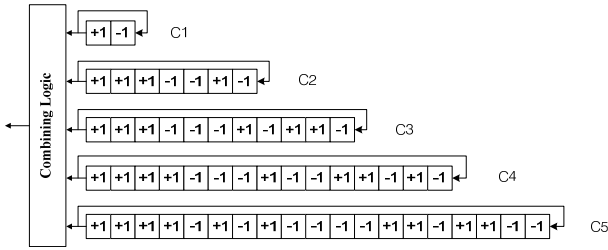


그림 3. 5개의 요소 시퀀스를 이용하는 의사 잡음 레인징 시퀀스 조합 로직

Fig. 3. Proposed 5 components PN ranging sequence combining logic.

직을 기반으로 하는, 5개의 요소시퀀스를 이용하는 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스 조합 로직을 제안한다. 그림 3에는 제안하는 5개의 요소 시퀀스를 이용하는 의사 잡음 레인징 시퀀스 조합 로직을 나타내었다. 그림 3에 나타난 바와 같이, 5개의 요소 시퀀스를 사용하는 의사 잡음 레인징 시퀀스 조합 로직은 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템과의 호환성을 가지기 위하여 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템에서 사용하고 있는 Weighted-voting Tausworthe 의사 잡음 조합 로직중 5개의 요소 시퀀스를 사용하고 있다.

즉, CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템의 요소시퀀스를 사용함으로써 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템의 요소 시퀀스 발생기를 재사용하고 이를 통하여 지상국 및 위성 트랜스폰더의 시스템 복잡도를 낮출 수 있다^[9].

그림 3에서 보는 바와 같이, 요소 시퀀스들은 2, 7, 11, 15, 19 칩의 길이를 가지며 각각의 길이는 공약수가 없는 서로소이다. 또한 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템에서 사용하고 있는 요소 시퀀스들과 동일하다.

한편, 5개의 요소 시퀀스를 이용하여 지구 근접 미션의 수행에 적합한 의사 잡음 레인징 시퀀스를 조합하기 위하여 기존 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템의 조합 로직을 응용하여 가능한 조합의 모든 경우에 대하여 의사 잡음 레인징 시퀀스를 도출하고 도출된 모든 레인징 시퀀스에 대하여 칩당 천이와 직류 바이어스를 계산한다. 표 3에는 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템중 5가지의 요소 시퀀스를 이용하여 조합 가능한 모든 경우에 대해서 칩당 천이와 직류 바이어스를 나타내었다.

표 3과 같이 $C = \text{sign}(3C_1 - C_2 + C_3 + C_4 - C_5)$ 및 $C = \text{sign}(3C_1 + C_2 - C_3 - C_4 + C_5)$ 에서 가장 높은 천이 및 가장 낮은 직류바이어스를 나타낸다. 따라

서 제안하는 레인징 시퀀스 C 는 그림 3의 요소 시퀀스들과 표 3의 결과를 이용하여 다음의 식 (3) 및 (4)와 같이 구성된다.

$$C = \text{sign}(3C_1 - C_2 + C_3 + C_4 - C_5) \quad (3)$$

$$C = \text{sign}(3C_1 + C_2 - C_3 - C_4 + C_5) \quad (4)$$

식 (3)에서 보는 바와 같이, 직류 바이어스를 감소시키기 위하여 요소 시퀀스 C_1 에 가중치 3을 부여하고 칩 천이의 고른 분포를 위하여 요소 시퀀스 C_2 와 C_5 의 부호를 반전시킨다.

또한 식 (4)에서는 식 (3)과 같이 가중치 3을 C_1 에 부여하고 요소시퀀스 C_3 와 C_4 의 부호를 반전시킨다. 그리고 식 (3) 및 (4)에 의해서 생성된 비트 시퀀스의 부호를 취함으로써 최종 의사 잡음 레인징 시퀀스를 획득한다.

한편, 요소 시퀀스들의 길이는 공약수가 없는 서로소이므로 조합된 의사 잡음 시퀀스 C 는 서로소 관계인 요소 시퀀스 길이의 곱과 같은 크기의 시퀀스 길이 $L = 2 \times 7 \times 11 \times 15 \times 19 = 43,890$ 을 가진다^[9].

표 3. 의사 잡음 조합 로직에 따른 천이 및 직류 바이어스

Table 3. Transition and DC bias for Pseudo Noise combining logic.

조합 로직	천이	칩당 천이율	직류 바이어스
$C = \text{sign}(3C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5)$	38640	0.880	4.44
$C = \text{sign}(3C_1 - C_2 + C_3 + C_4 + C_5)$	38970	0.888	0.82
$C = \text{sign}(3C_1 + C_2 - C_3 + C_4 + C_5)$	38902	0.886	2.12
$C = \text{sign}(3C_1 + C_2 + C_3 - C_4 + C_5)$	38850	0.885	2.73
$C = \text{sign}(3C_1 + C_2 + C_3 + C_4 - C_5)$	38814	0.884	3.09
$C = \text{sign}(3C_1 - C_2 - C_3 + C_4 + C_5)$	38946	0.887	1.42
$C = \text{sign}(3C_1 - C_2 + C_3 - C_4 + C_5)$	38970	0.887	0.82
$C = \text{sign}(3C_1 - C_2 + C_3 + C_4 - C_5)$	38978	0.888	0.47
$C = \text{sign}(3C_1 + C_2 - C_3 - C_4 + C_5)$	38978	0.888	0.47
$C = \text{sign}(3C_1 + C_2 - C_3 + C_4 - C_5)$	38970	0.887	0.82
$C = \text{sign}(3C_1 - C_2 + C_3 - C_4 - C_5)$	38946	0.887	1.42
$C = \text{sign}(3C_1 - C_2 - C_3 - C_4 + C_5)$	38814	0.884	3.09
$C = \text{sign}(3C_1 - C_2 - C_3 + C_4 - C_5)$	38850	0.885	2.73
$C = \text{sign}(3C_1 - C_2 + C_3 - C_4 - C_5)$	38902	0.886	2.12
$C = \text{sign}(3C_1 + C_2 - C_3 - C_4 - C_5)$	38970	0.888	0.82
$C = \text{sign}(3C_1 - C_2 - C_3 - C_4 - C_5)$	38640	0.880	4.44

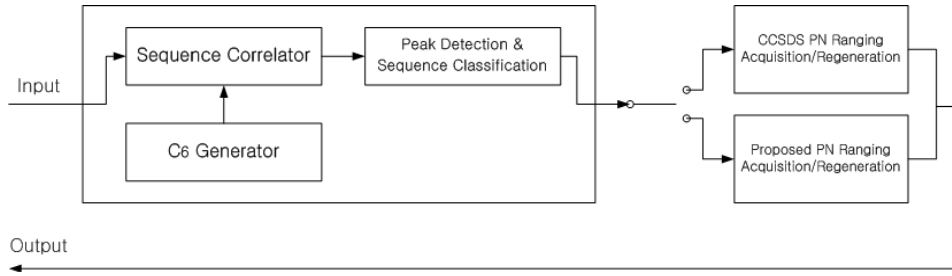


그림 4. 가변길이 의사 잡음 레인징 시스템
Fig. 4. Variable Length PN Ranging System.

2. 가변길이 의사 잡음 레인징 시스템

본 절에서는 1절에서 제안된 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스와 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시퀀스를 포함하는 가변길이 의사 잡음 레인징 시스템을 제안한다.

1절에서 제안된 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스와 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시퀀스에서 사용되는 모든 요소 시퀀스는 각각 서로 간에 직교에 가까운(0에 가까운) 값을 가진다. 따라서 $C_1 \sim C_6$ 로 구성된 의사 잡음 시퀀스에 대해서 어떠한 요소 시퀀스를 이용하여 상관 연산을 하여도, 해당 요소 시퀀스의 길이만큼의 주기를 가지는 상관연산 피크값을 확인 할 수 있다^[10]. 즉, 모든 요소 시퀀스들은 서로가 상관연산에 대해서 0에 가까운 값을 가지므로, 다른 종류의 요소 시퀀스 특성에 영향을 받지 않고, 상관 연산을 통하여 검출하고자 하는 요소 시퀀스를 찾아낼 수 있다. 이러한 특징을 이용하여 서로 다른 요소 시퀀스를 이용하여 생성된 다중의 의사 잡음 시퀀스를 사용하는 가변길이 의사 잡음 레인징 시스템을 구성 할 수 있다. 그림 4에 는 제안하는 가변길이 의사 잡음 레인징 시스템을 나타 내었다.

그림 4에서 보는 바와 같이, 입력 받은 레인징 시퀀스는 제안된 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스의 조합에 사용되지 않은 요소 시퀀스 C_6 과의 상관 연산을 통하여 의사 잡음 시퀀스 종류를 검출한다. 제안된 짧은 길이의 의사 잡음 시퀀스는 요소 시퀀스 C_6 과의 상관 연산에서 0의 값을 가지며 CCSDS 표준 의사 잡음 시퀀스는 요소 시퀀스 C_6 과의 상관 연산에서 요소 시퀀스 C_6 의 길이인 23칩 주기로 피크값을 나타내게 된다.

그러나 실제 수신 환경은 잡음이 존재하기 때문에 두

의사 잡음 레인징 시스템을 구분하기 위해서는 잡음의 크기가 커짐에 따라 많은 길이의 상관 연산이 필요하게 되어 필요한 상관 연산의 수행 시간이 늘어나게 된다. CCSDS에서 기준으로 하고 있는 SNR -33dB에서 두 의사 잡음 레인징 시스템을 구분하기 위해서는 2Mcps에서 CCSDS에서 제시하고 있는 표준 의사 잡음 레인징 시스템의 상관 연산 수행 시간 175.6초 이상 상관연산을 수행해야한다^[11].

상관 연산을 통하여 구분된 의사 잡음 시퀀스는 지상국에서는 포착 및 거리 측정이 이루어지며, 위성 트랜스 폰더에서는 각각의 조합 로직에 의하여 다시 재생되어 다운 링크로 전송 된다.

IV. 모의실험 및 성능분석

제안된 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스의 성능을 검증하기 위하여 MATLAB을 이용하여 CCSDS 표준 의사 잡음 시퀀스, NASA JPL의 의사 잡음 시퀀스, 그리고 제안된 의사 잡음 시퀀스를 생성한다. 의사 잡음 시퀀스들을 생성한 후, 모든 시퀀스에 대하여 천이수를 측정하고 칩당 천이율 및 직류 바이어스를 계산한다. 칩당 천이율은 다음의 식에 의하여 계산된다.

$$T_r = \frac{T_n}{L} \tag{5}$$

여기서 T_r 은 칩당 천이율, T_n 은 천이수 그리고 L 은 의사 잡음 시퀀스의 길이를 나타낸다.

표 4에는 의사 잡음 시퀀스들의 천이율 분석 결과를 나타내었다.

표 4에 나타낸 바와 같이, 제안된 짧은 길이의 의사 잡음 시퀀스는 NASA JPL의 의사 잡음 시퀀스보다 큰

표 4. 천이 계산 결과

Table 4. Numerical results for transitions.

구 분	CCSDS	NASA JPL	제안된 시퀀스
시퀀스 길이 (chips)	1,009,470	43,890	43,890
천이수 (times)	945480	25752	38977
칩당 천이율	0.9366	0.59	0.89

표 5. 직류 바이어스 계산 결과

Table 5. Numerical results for DC biases.

구 분	CCSDS	NASA JPL	제안된 시퀀스
S_n	517380	19046	21841
B_{DC}	2.50%	13.20%	0.47%

칩당 천이율 값을 가지며 CCSDS 표준 의사 잡음 시퀀스에 가까운 값을 보인다.

직류 바이어스는 다음의 식에 의하여 계산된다.

$$B_{DC} = \left| \left(\frac{2S_n}{L} - 1 \right) \times 100 \right| \quad (6)$$

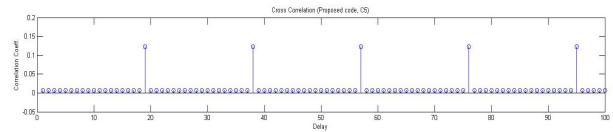
여기서 S_n 는 전체 시퀀스에 걸친 +1의 총개수, L 은 의사 잡음 시퀀스의 길이를 나타낸다.

표 5에는 의사 잡음 시퀀스들의 직류 바이어스 계산 결과를 나타내었다.

표 5에 나타낸 바와 같이 제안된 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스는 NASA JPL의 의사 잡음 시퀀스보다 월등히 낮은 직류 바이어스 값을 나타내었으며 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시퀀스의 직류 바이어스보다도 개선된 결과를 나타내었다.

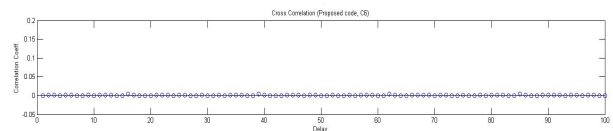
레인징 시스템 성능에 영향을 미치는 다른 요소로는 정상적으로 시퀀스를 포착하는 경우 이외에, 잡음만 존재하는 경우에 그 것을 포착하는 현상이 있으며 이는 False alarm으로부터 기인한다. 이러한 현상은 레인징 시스템을 구현하는 방법에 의해 그 영향 정도가 결정되며, 그 발생 확률은 매우 작은 것으로 알려져 있다^[12].

그림 5에는 잡음이 없는 경우, 그림 6에는 SNR -33dB 잡음 환경에서 각각 가변길이 의사 잡음 레인징 시스템에서 수신된 의사 잡음 레인징 신호의 검출을 위한 상관 연산 결과를 나타내었다. 그림 5 (a)에서 보는 바와 같이 제안된 짧은 길이의 의사 잡음 시퀀스는 요



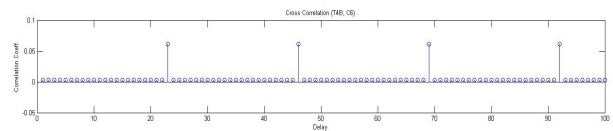
(a) 제안된 의사 잡음 시퀀스와 C_5 와의 상관 연산

(a) Cross correlation with the proposed PN sequence and C_5 .



(b) 제안된 의사 잡음 시퀀스와 C_6 와의 상관 연산

(b) Cross correlation with the proposed PN sequence and C_6 .

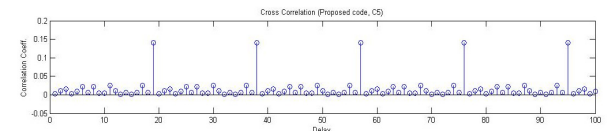


(c) CCSDS 표준 의사 잡음 시퀀스와 C_6 와의 상관 연산

(c) Cross correlation with the CCSDS PN sequence and C_6 .

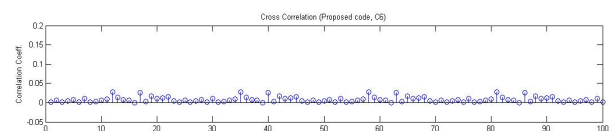
그림 5. 무잡음 환경에서 의사 잡음 시퀀스 검출

Fig. 5. Detection of PN sequences without noise.



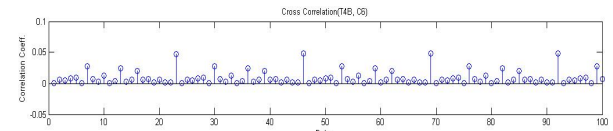
(a) 제안된 의사 잡음 시퀀스와 C_5 와의 상관 연산

(a) Cross correlation with the proposed PN sequence and C_5 .



(b) 제안된 의사 잡음 시퀀스와 C_6 와의 상관 연산

(b) Cross correlation with the proposed PN sequence and C_6 .



(c) CCSDS 표준 의사 잡음 시퀀스와 C_6 와의 상관 연산

(c) Cross correlation with the CCSDS PN sequence and C_6 .

그림 6. 잡음 환경에서 의사 잡음 시퀀스 검출

Fig. 6. Detection of PN sequences with noise.

소 시퀀스 C_5 와의 상관 연산에는 C_5 의 길이인 19칩 주기로 피크값을 나타내었으나 C_6 과의 상관 연산은 그

림 5 (b)에서와 같이 0에 가까운 값을 나타내었다. 그러나 CCSDS 표준 의사 잡음 시퀀스와 C_6 의 상관 연산은 그림 5(c)와 같이 C_6 의 길이와 같은 23칩 주기로 피크값을 나타내었다.

또한 그림 6과 같이 열악한 잡음 환경에서도 CCSDS에서 제시하고 있는 175.6초 이상 동안의 상관연산 수행을 통하여 각각 요소 시퀀스의 상관연산 피크값이 나타남을 확인 할 수 있다. 즉, 제안된 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스의 구성에 사용되지 않은 요소 시퀀스 C_6 와의 상관 연산을 통하여 제안된 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스와 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시퀀스와의 구분이 가능함을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 지구 근접 미션을 포함한 다중 미선에 적합한 가변길이 의사 잡음 레인징 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템에 적용된 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스는 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템과의 호환성을 유지하기 위하여 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템에 사용된 요소 시퀀스들을 사용하였으며 조합 로직 또한 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템의 조합 로직을 응용하여 적용되었다. 제안된 조합 로직으로부터, 43,890 칩의 길이를 가지는 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스를 도출하였으며 0.89의 천이율과 0.47%의 직류 바이어스를 나타냄을 모의실험을 통하여 확인하였다. 이는 NASA JPL에 의해 제안된 짧은 길이의 의사 잡음 레인징 시퀀스보다 우수한 특성을 나타냄을 의미하며, CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시퀀스에 근접한 특성을 보여주었다. 또한, 요소 시퀀스의 직교성을 이용하여, 의사 잡음 시퀀스들을 검출하는 기법을 도출하였으며, 이를 이용하여 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시퀀스를 포함하는 가변길이 의사 잡음 레인징 시스템을 설계하였다. 제안된 가변길이 의사 잡음 레인징 시스템은 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템의 응용을 통하여 설계 되어 CCSDS 표준과 호환성을 가지고 있으며 지구 근접 미션을 포함한 다중미선에 적합할 것으로 기대된다. 향후, 이러한 CCSDS 표준 의사 잡음 레인징 시스템의 응용을 통하여 다양한 미선에 최적화된 레인징 시스템 개발이 가능할 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Y. Kim, "Effect of satellite link noise for satellite range measurement using tone method," J. of the Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 42, no. 2, Feb. 2005.
- [2] J. L. Massey, G. Boscagli, and E. Vassallo, "Regenerative pseudo-noise (PN) ranging sequences for deep-space missions," Int. J. Sat. Communications and Networking., vol. 25, no. 3, May/June. 2007.
- [3] Giovanni Boscagli, Peter Holsters, Enrico Vassallo and Monica Visintin "PN Regenerative Ranging and Its Compatibility With Telecommand and Telemetry Signals," Proceedings of the IEEE, Vol. 95, No. 11, pp.2224-2234, Nov. 2007.
- [4] J. L. Massey, "Study on PN ranging codes for future missions," JLM Consulting, Copenhagen, Denmark, Dec. 2004.
- [5] "Recommendation for Space Data System Standards: Pseudo-Noise(PN) Ranging Systems," Blue Book CCSDS 414.1-B-1, Mar. 2009.
- [6] J. B. Berner, J. M. Layland, P. W. Kinman, and J. R. Smith, "Regenerative pseudo-noise ranging for deep-space applications," Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, Telecommunications and Mission Operations Prog. Rep. 42-137, pp. 1 - 18, May 15, 1999.
- [7] "810-005, Rev. E DSMS Telecommunications Link Design Handbook: 214, Pseudo-Noise and Regenerative Ranging," NASA JPL, Mar. 2004.
- [8] R. C. Tittsworth, "Optimal ranging codes," IEEE Trans. Space Elect. Telem., vol. SET-10, pp. 19 - 30, Mar. 1964.
- [9] J. Jeong, D. Yoon, S. Choi and S. Jee "Pseudo noise sequence combining logic for ranging of near earth satellites," 8th Int. Conf. Information, Communications and Signal Processing of the ICICS., pp. 1-3, Dec. 2011.
- [10] J. Lee, C. Oh, G. Seo, J. Chae and R. Myung, "A Study on Pseudo-Noise(PN) Ranging Code Correlation for Deep Space Mission," KSAS Spring Conf. pp. 1225-1228, Apr. 2011.
- [11] "Report Concerning Space Data System Standards: Pseudo-Noise(PN) Ranging Systems," Green Book CCSDS 414.1-G-1, Mar. 2010.
- [12] Marco Maffei, Lorenzo Simone, Giovanni

Boscagli, "On-Board PN Ranging Acquisition Based on Threshold Comparison with Soft-Quantized Correlators," IEEE Transactions on aerospace and Electronic Systems, vol. 48, no. 1, Jan. 2012.

— 저 자 소 개 —



정 진 우(정회원)

1999년 한양대학교 전자통신전과
공학과 학사 졸업
2001년 한양대학교 전자통신전과
공학과 석사 졸업
2001년~2007년 LG전자 디지털
미디어연구소 선임연구원

2007년~현재 한양대학교 전자통신공학과
박사과정

<주관심분야 : 이동통신, 위성통신, 전자전체계>



김 상 구(정회원)

2007년 한국외국어대학교
전자공학과 학사 졸업
2009년 한양대학교 전자컴퓨터
통신공학과 석사 졸업
2013년 한양대학교 전자컴퓨터
통신공학과 박사 졸업

2013년~현재 한양대학교 융합IT 기반 미래가치
창조 인재양성 사업단

<주관심분야 : 위성 및 심우주 통신, 신호처리>



윤 동 원(정회원)

1989년 한양대학교 전자통신
공학과 학사 졸업
1992년 한양대학교 전자통신
공학과 석사 졸업
1995년 한양대학교 전자통신
공학과 박사 졸업

1995년~1997년 동서대학교 정보통신공학과 전임
강사

1997년~2004년 대전대학교 정보통신공학과
부교수

2002년~2005년 한국전자통신연구소 초빙연구원

2004년~현재 한양대학교 융합전자공학부 교수

<주관심분야 : 통신 이론, 무선 및 이동 통신, 위
성 및 우주 통신, IT 융합>



임 원 규(정회원)

2002년 경북대학교 전자공학과
학사 졸업
2004년 한국과학기술원 전기 및
전자공학과 석사 졸업
2008년 한국과학기술원 전기 및
전자공학과 박사 졸업

2008년~2009년 한국과학기술원 정보전자연구소
Post Doc.

2009년~현재 한국항공우주연구원 선임 연구원

<주관심분야 : 위성 통신, 무선 통신 시스템>