

계층 다상 부호 기반 위성항법 시스템의 신호획득 성능 연구

김정빈*, 안재민^o

Acquisition Performance of Tiered Polyphase Code Based GNSS Signal

Jeong-been Kim*, Jae Min Ahn^o

요약

새로운 위성항법 시스템 측위 신호로 제안된 계층 다상 부호(Tiered polyphase code)[5]의 신호획득 성능을 분석하였다. 유럽연합의 GALILEO 시스템에서 사용하는 계층 부호(Tiered code)가 주파수 오차에 민감한 반면 TPC는 주파수 오차에 강인하여 신호획득 과정에서 사용할 수 있어 신호 대 잡음비 이득과 계산 복잡도를 감소시킬 수 있다. 본 논문에서는 동일한 수신기 구조를 이용하고 GALILEO E5a-I 신호 파라미터를 사용하여 TC와 TPC의 신호 검출 확률을 모의실험을 통해 확인하였다.

Key Words : GNSS signal, GALILEO Tiered code, Polyphase code

ABSTRACT

Signal acquisition performance is evaluated for the tiered polyphase code (TPC) which is proposed as a ranging signal structure for global navigation satellite systems (GNSSs). Compared to the tiered code (TC) which is adopted in European Union's GALILEO system, the TPC shows robust performance to frequency offset in acquiring signal. Therefore the TPC should have SNR gain in signal acquisition and can reduce computational complexity in the receiver. In this paper, we compare the signal detection probability of the TC and TPC under the same

receiver architecture and GALILEO E5a-I signal parameters.

I. 서론

위성으로부터 송출되는 미약한 수신신호를 획득하기 위해 유럽 연합의 GALILEO 시스템을 비롯하여 GPS(Global Positioning System)의 현대화 등 새로운 위성항법 시스템에서는 더욱 긴 측위신호를 사용한다. GALILEO 시스템의 경우 계층 부호(Tiered Code, TC)를 사용해 coherent한 넓은 적분구간을 갖게 되어 동기화 구간에서 더 나은 신호 대 잡음비를 갖게 된다^[1,2,6]. 하지만 TC는 적분구간이 넓은 만큼 주파수 오차에 취약한 단점을 지니고 있다.

TC를 개선하여 동일 시스템 위성신호 간 간섭영향을 제거하는 계층 다상 부호(Tiered Polyphase Code, TPC)가 제안되었고^[5], TPC에 적용된 다상 부호는 주파수 오차가 시간 천이로 나타나는 특성을 보인다^[3,4]. 본 논문에서는 TPC의 이러한 특성을 이용한 넓은 coherent 적분구간을 갖는 신호획득기 구조를 제안하고 주파수 오차가 존재하는 환경에서의 신호획득 성능을 분석하였다. 모의실험을 통해 분석한 결과 TPC는 주파수 오차가 없는 경우 TC와 동일한 신호 검출 확률을 보이며, 주파수 오차가 500 Hz 있는 경우에도 신호 대 잡음비 -30 dB에서 10^{-4} 대의 탐지 실패 확률을 갖는다. 이에 따라 TPC는 수신기에서 주파수 평면의 상관기 배열을 줄일 수 있어 계산 복잡도를 낮출 수 있으며, TC와 달리 신호획득에서부터 coherent한 넓은 적분구간을 사용하여 신호 대 잡음비의 이득을 가져 높은 신호획득 성능을 갖는 것을 확인하였다.

II. 계층 다상 부호

TC는 위성을 구분하고, 항법 메시지를 전송하는 primary 코드와 모든 위성에 동일하게 적용되는 짧은 길이의 secondary 코드의 조합으로 만들어진다. 그림 1, 2와 같이 primary 코드의 한 주기에 secondary 코드의 하나의 chip이 더해지며, TC의 한 주기는 primary 코드의 주기인 N_p 와 secondary 코드의 주기인 N_s 의 곱으로 나타낼 수

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방 위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

♦ First Author : 충남대학교 정보통신공학과 이동 멀티미디어 통신 연구실, jbkim@cnu.ac.kr, 정회원

° Corresponding Author : 충남대학교 정보통신공학과 이동 멀티미디어 통신 연구실, jmahn@cnu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2013-10-463, 접수일자 : 2013년 10월 24일, 최종논문접수일자 : 2013년 10월 30일

있다^[1]. TC는 신호 동기화 과정에서 우선 수신신호와 reference primary 코드의 상관을 수행하고 그 결과와 secondary 코드와의 상관을 통해 coherent한 넓은 길이의 적분 구간을 가질 수 있다^[2]. 하지만 TC는 적분구간이 넓은 만큼 주파수 오차에 취약한 단점을 가지고 있다. TC의 넓은 적분 구간을 사용하기 위해서는 그림 4에서와 같이 1, 2 차 상관 과정을 거쳐야 하지만 주파수 오차가 있는 경우 1차 상관 결과들의 위상차에 의해 2차 상관 값을 갖기 어려워 주파수 오차 보상이 이루어지지 않으면 신호획득 과정에서 신호 대 잡음비의 이득을 얻을 수 없다.

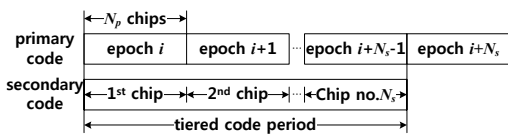


그림 1. 계층 부호의 구조
Fig. 1. Structure of tiered code

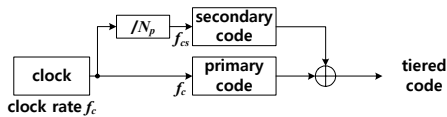


그림 2. 계층 부호 생성 방법
Fig. 2. Logical presentation of tiered code generation

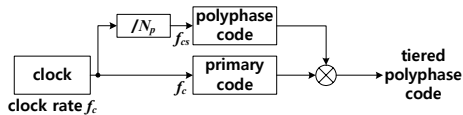


그림 3. 계층 다상 부호 생성 방법
Fig. 3. Logical presentation of tiered polyphase code generation

TPC는 기존 TC의 secondary 코드에 고정 진폭을 갖고 자기 상관성이 0 인(CAZAC) 특성을 갖는 Zadoff-Chu 시퀀스를 그림 3과 같이 적용하여 생성한다. 이를 통해 동일 시스템 위성 신호 간 간섭 영향을 제거하는 장점을 갖고 있다^[5]. 이에 더불어 다상 부호의 특징으로 주파수 오차가 시간 천이로 나타나는 주기성이 있으며 이를 이용하면 주파수 오차에 강인할 것으로 예상할 수 있다^[3,4]. 그림 5는 TPC도 이러한 특성을 갖는지 확인하기 위한 모호성 함수(ambiguity function)이며 주파수 오차에 따라 상관 침투치가 시간 영역과 주파수 영역으로 이동하는 것을 확인할 수 있다. 이동하는 침투치들은 시간 영역에서 볼 때 TPC를 이루고 있는 primary 코드들의 시작점과 동일하다. 이는 다시

말해서 TPC의 secondary 코드의 시작점은 주파수 오차에 의해 알 수 없어도, 이를 구성하는 primary 코드의 시작점은 정확히 찾아낼 수 있어 주파수 오차 보상을 하지 않아도 coherent한 넓은 적분 구간을 통해 신호획득을 할 수 있음을 확인할 수 있다.

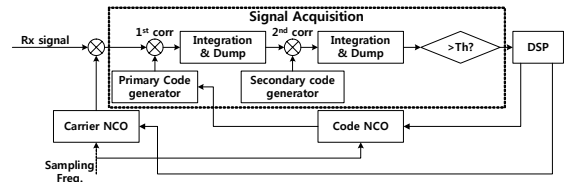


그림 4. 계층 다상 부호의 신호획득 구조
Fig. 4. Acquisition process of tiered polyphase code

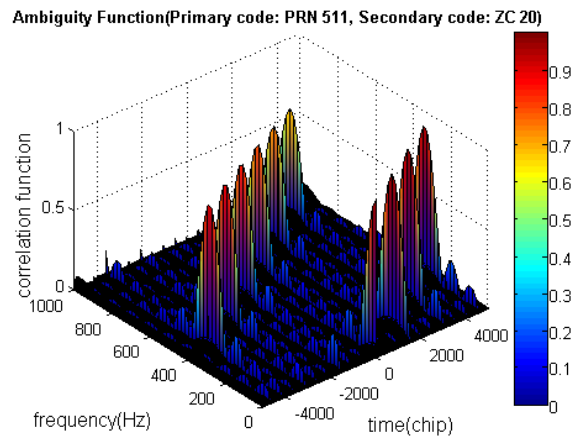


그림 5. 계층 다상 부호의 모호성 함수
Fig. 5. Ambiguity function of tiered polyphase code

III. 실험 및 결과

TPC의 신호획득 성능을 기존 TC와 비교하기 위해 본 논문에서는 GALILEO E5a-I를 선택하였다. E5a-I의 신호 파라미터는 $N_p = 10230$, chip rate $f_c = 10.23\text{Mchips/s}$, $N_s = 20$ 이다. 두 시스템에 공통적으로 적용되는 primary 코드와 E5a-I의 secondary 코드인 CS20₁는 [1]에 정의되어 있으며, TPC에 적용되는 짝수 주기의 Zadoff-Chu 시퀀스는 다음과 같이 생성된다^[3].

$$m(v) = \exp\left(\frac{jM\pi v^2}{N_s}\right), v = 0, \dots, 19 \quad (1)$$

여기서 M 은 N_s 와 서로소인 정수이다. 그림 4의 TPC 신호획득 구조를 두 시스템에 동일하게 사용하여 신호획득 과정에서 TPC가 TC에 비하여 갖는

주파수 오차에 강인한 특성을 분석하였다. 다음은 두 시스템의 신호획득 성능으로 잡음이 있는 환경에서 주파수 오차를 변화해 가며 탐지 실패 확률을 모의실험을 통해 비교하였다.

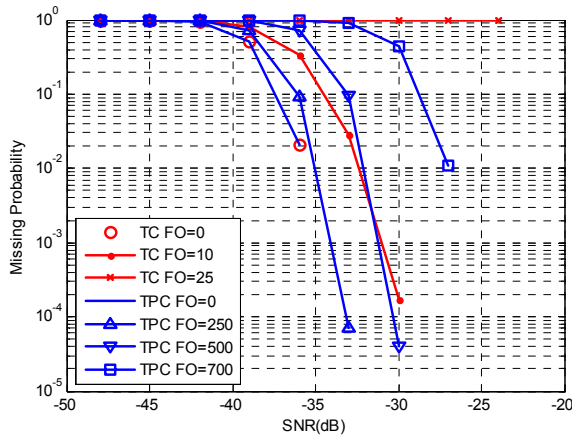


그림 6. 계층 다상 부호의 모호성 함수
Fig. 6. Ambiguity function of tiered polyphase code

그림 6의 결과를 통해 우선 두 시스템 모두 20 ms의 넓은 적분 구간을 갖고 있어 잡음에 강인한 특징을 볼 수 있다. 하지만 주파수 오차가 없는 경우 동일한 탐지 실패 확률을 보이는 반면 주파수 오차 25 Hz에서 신호획득을 하지 못하는 TC에 비해 TPC는 주파수 오차 500 Hz에서 신호 대 잡음비 -30 dB에서 10^{-4} 의 탐지 실패 확률을 갖고 있어 TC의 주파수 오차 10 Hz 상태와 유사한 성능을 보이며, 주파수 오차 700 Hz에서도 시간 천이된 상관함수의 침투치를 이용하여 신호획득을 수행할 수 있음을 알 수 있다. 이 결과를 통해 TPC는 주파수 오차에 강인하여 신호획득 단계에서부터 사용할 수 있으며 수신기에서 일반적으로 주파수 평면에 250 Hz 간격으로 배열하는 상관기 간격을 넓게 가져갈 수 있어 계산 복잡도가 감소함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기존 TC를 개선하여 동일 시스템 위성신호 간 간섭 영향을 제거하는 TPC의 신호획득 성능에 대해 분석하였다. 다상 부호의 주파수 오차가 시간 천이로 보이는 특성이 TPC에서도 나타나 신호획득 시 주파수 오차에 강인한 특성을 갖고 있음을 확인하였고, 모의실험을 통해 GALILEO E5a-I 시스템과 비교하여 주파수 오차에 따른 신호 탐지 성능을 비교하였다. 이를 통해 기존 TC와 달

리 신호획득 구간부터 coherent한 넓은 적분구간을 사용하여 신호 탐지 확률을 높일 수 있으며, 약 500 Hz 간격으로 주파수 평면의 상관기를 배치하게 되면 GPS L1 C/A와 같은 기존 위성항법 시스템과 비교해도 수신기 계산 복잡도를 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다. TPC를 새로운 위성항법 시스템 신호체계에 적용하게 되면 다양한 장점으로 인해 높은 효율의 수신기를 구성할 것으로 기대할 수 있다.

References

- [1] European Union, *Galileo Open Service Signal In Space Interface Control Document (OS SIS ICD, Issue 1)*, Feb. 2010.
- [2] N. C. Shivaramaiah, A. G. Dempster, and C. Rizos, "Exploiting the secondary codes to improve signal acquisition performance in galileo receivers," in *Proc. ION GNSS 2008*, pp. 1497-1506, Savannah, U.S.A., Sep. 2008.
- [3] D. Chu, "Polyphase codes with good periodic correlation properties (Corresp.)," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 18, no. 4, pp. 531-532, July 1972.
- [4] N. Levanon and E. Mozeson, *Radar Signals*, Wiley-Interscience, July 2004.
- [5] J. Kim, J. Lee, D. Park, K. Kim, K. Song, S. J. Lee, and J. M. Ahn, "Cross-correlation Interference-free tiered polyphase codes for GNSS signal design," *IET Electron. Lett.*, Submitted.
- [6] S. Lim, D. W. Lim, S. W. Moon, C. Park, and S. J. Lee, "A design of GPS L1/L5, Galileo E1/E5a correlator for software based GNSS receiver," in *Proc. KICS Summer Conf. 2008*, pp. 21-24, Jeju Island, Korea, July 2008.