

위성 항법 시스템의 극 부호 적용에 관한 연구

정준영, 이재원, 이상욱
한국전자통신연구원

jungjy@etri.re.kr, jw_lee@etri.re.kr, slee@etri.re.kr

A Study on the Polar Code Application of GNSS

Joon-Young Jung, Je Won Lee, Sanguk Lee
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문은 위성 항법 시스템의 채널 부호화 방식으로 극 부호(Polar Code)를 적용함으로써 비교적 짧은 길이를 가지는 위성 항법 메시지에 대한 순방향 오류정정 성능을 기존 방식보다 향상할 수 있음을 보여준다.

I. 서 론

최근 Global Navigation Satellite System (GNSS)은 자율주행 및 드론은 물론 통신, 금융, 전력, 교통 등 많은 분야로 사용이 확대되고 있다. 이러한 추세에 따라 국내에서도 독자적인 항법 위성 시스템 구축을 위해 국가인프라의 일환으로 Korea Positioning System (KPS) 개발을 추진하고 있다 [1].

일반적으로 위성 항법 시스템의 신호는 International Telecommunication Union (ITU)에서 할당한 주파수 대역을 사용하고 있으며, 할당된 대역 안에서 여러 시스템의 신호가 공존해야 함으로 타 시스템에 미치는 영향이 적으면서 수신 성능을 높일 수 있는 신호의 설계가 요구된다.

본 논문에서는 기존 항법 시스템의 채널 오류정정 부호 방식으로 극 부호(Polar Code)를 적용하여 성능 향상을 살펴본다. 다양한 채널 부호의 적용이 가능하지만 비교적 짧은 길이를 가지는 위성 항법 메시지의 특성에 대해 극 부호의 적용이 유의미한 지 여부를 판단하고자 한다.

II. 본 론

현재 운용중인 항법 위성 시스템에는 미국의 Global Positioning System (GPS), 유럽의 Galileo, 중국의 BeiDou Navigation Satellite System (BDS), 러시아의 GLObal NAVigation Satellite System (GLONASS), 일본의 Quasi-Zenith Satellite System (QZSS), 인도의 Navigation with Indian Constellation (NavIC)가 있으며 각 시스템에 적용되는 채널 부호 방식을 표 1에 정리하였다.

표 1. GNSS의 채널 부호 현황

	Signal	Channel Coding	Data Rate (sps)
GPS	L1C/A	(32,24) Extended Hamming	50
	L2C	1/2 Convolution code (171, 133)	50
	L5I		100
	L1C	(51,8) BCH, 1/2 LDPC(1,200,600)/(548,274)	100
Galileo	E1	1/2 Convolution code (171, 133)	250
	E5a		50
	E5b		250
	E5a		50
	E5b		250
Beidou	B1C	(21,6)/(51,8) BCH, 1/2 LDPC(200,100)/(88,44)	100
	B2a	(96,84) LDPC	500
	B3I	(15,11) BCH	50/500
QZSS	L1-SAIF	1/2 Convolution code (171, 133)	250
	LEX	(246, 214) Shortened RS	2,000
NavIC	SPS-L5	1/2 Convolution code (171, 133)	50
	SPS-S		50

표 1에서 살펴본 바와 같이 대부분의 항법 위성 시스템의 신호에 적용되는 채널 부호의 부호율은 1/2이며, 대표적으로 컨볼루션 부호가 가장 많이 적용되고 있다. 한편 GPS 궤도 및 시계 오차에 대한 정밀 보정 정보를 L6 대역으로 전달하는 QZSS-LEX (L-band Experimental) 신호의 경우 2 kbps의 빠른 속도로 전송되며, 0.87의 높은 부호율을 가지는 Reed-Solomon (RS) 부호를 사용한다.

위성 항법 시스템의 새로운 채널 부호 방식으로 극 부호(Polar Code)의 적용을 검토하기 위해 최근 5G New Radio (NR) 통신 시스템에서 선택된 극 부호를 적용해 보기로 한다. 여기서는 기존의 컨볼루션 부호 및 RS 부호와 동일한 부호율의 비슷한 부호 길이를 가지는 5G NR 극 부호를 생성하여 그 성능을 비교함으로써 극 부호의 적용에 대한 유효성을 검토한다.

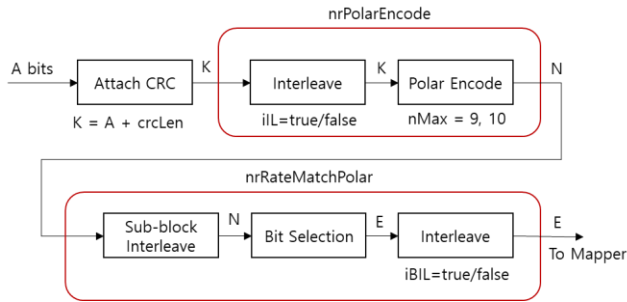


그림 1. 5G NR 시스템의 극 부호 과정

5G NR 통신 시스템의 제어 채널에 대한 채널 코딩 기법으로 극 부호를 적용한 것은 Arikan 의 이론[1]을 상용 시스템에 적용한 대표적인 사례이다. 그림 1 은 5G NR 통신 시스템에 적용된 주요 코드 구성 유형 중 CRC 지원(CRC-Aided) 극 부호 과정을 보여준다. 다운링크와 업링크에 적용되는 5G NR 극 부호는 CRC 길이, 극 부호 길이, 인터리빙 유무 등에서 약간 다르게 적용되지만 동작은 CRC 인코딩, 극 부호 인코딩, 레이트(Rate) 매칭 순으로 아래와 같이 이루어 진다.

A 비트의 메시지를 입력 받아 CRC 부호 수행 후 CRC 검사합이 더해져 K 비트($A + \text{crcLen}$) 시퀀스가 극 부호화기(nrPolarEncoder)로 입력된다. K 비트 입력 시퀀스에 대해 극 부호화에 앞서 인터리빙을 먼저 수행한다. 업링크의 경우 해당 인터리빙은 생략된다. 인터리빙된 K 비트 시퀀스는 설정된 부호율의 극 부호화를 거쳐 N 비트의 코드 워드를 출력한다. 출력된 N 비트는 최대 코드 길이($n_{\text{Max}}=2^n$) 이하의 값을 가진다. 극 부호화된 N 비트의 코드 워드는 레이트 매칭(nrRateMatchPolar)을 수행하여 설정된 길이 E 비트로 변환된다. 레이트 매칭은 원하는 부호율과 선택된 K, E, N 값에 따라 반복(repetition) ($E \geq N$)과 평처리(puncturing) 또는 쇼트닝(shortening) ($E < N$) 과정을 수행한다. 여기서도 입력되는 N 비트에 대한 서브-블록 인터리빙이 먼저 수행되며 레이트 매칭 후 출력되는 E 비트에 대해 다시 인터리빙 한다. 다운링크의 경우 마지막 인터리빙은 생략된다.

그림 2 는 부호율은 1/2 의 컨볼루션 부호와 극 부호의 성능을 비교하였다. 컨볼루션 부호는 NavIC 에 적용된 (584, 292)를 적용하였으며, 극 부호는 비슷한 길이의 (512, 256)를 적용하였다.

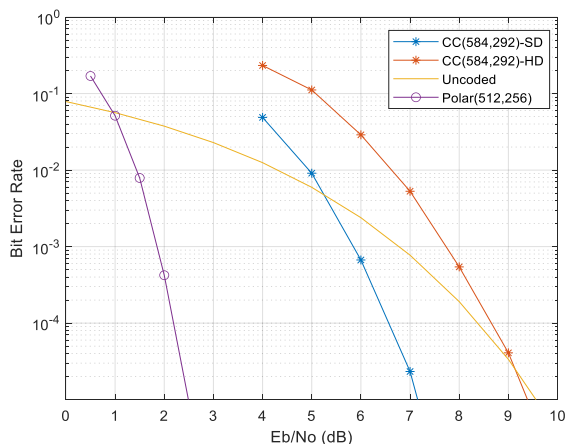


그림 2. 부호율 1/2 의 컨볼루션 부호와 극 부호 비교

그림 2 의 결과에서 정확히 동일한 부호 길이에 대한 비교는 아니지만 유사한 길이를 사용한 극 부호의 적용을 통해 약 5dB 의 매우 큰 신호 대 잡음비(E_b/N_0) 성능 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

그림 3 은 QZSS-LEX 에 적용된 $GF(2^8)$ 의 (246, 214) RS 부호와 (984, 856) 극 부호의 성능을 비교한다. 부호율은 동일하게 부호율 0.87 을 가지며, 부호 길이는 RS 부호가 246 바이트(=1,968 비트), 극 부호는 절반에 해당하는 984 비트를 가진다, 이는 5G NR 극 부호에 적용되는 최대 부호 길이가 $1,024(=2^{10})$ 비트로 제한되기 때문이다. 그림 3 의 결과에서도 극 부호를 적용함으로써 RS 부호에 비해 약 1.5dB 이상의 신호 대 잡음비(E_b/N_0) 성능 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 여기에 적용된 극 부호는 0.87 이라는 비교적 높은 부호율과 레이트 매칭으로 인한 손실에도 불구하고 성능 이득이 가능하다는 것에 주목할 필요가 있다.

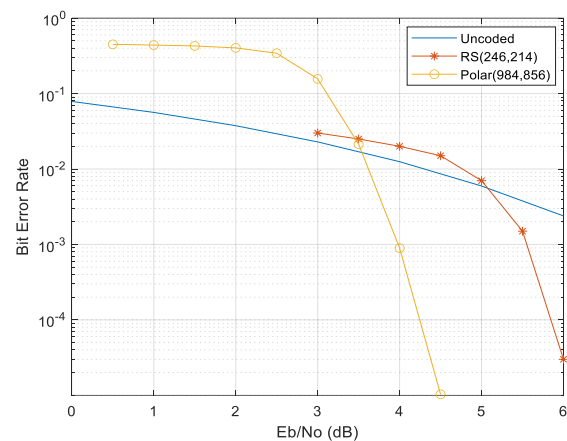


그림 4. 부호율 0.87 의 RS 부호와 극 부호 비교

III. 결론

본 논문에서는 위성 항법 시스템의 신규 채널 부호화 방식으로 극 부호 적용에 대한 유효성을 제시하였다. 특히 짧은 길이를 가지는 위성 항법 메시지에도 극 부호를 적용함으로써 채널 오류정정 성능을 기존 방식보다 향상할 수 있음을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구 논문은 2021 년도 한국전자통신연구원 내부 연구사업의 재원으로 수행된 연구결과임 (21YH1110, 위성항법탐재체 신호생성기 Prototype 개발)

참 고 문 헌

- [1] Park, J. U. & Heo, M. B. 2019, Korea PNT Update, 59th Meeting of the Civil GPS Service Interface Committee, Miami, Florida, 16-17 Sep 2019.
- [2] Arikan, E., "Channel Polarization: A Method for constructing Capacity-Achieving Codes for Symmetric Binary-Input Memoryless Channels," IEEE Trans. on Information Theory, vol. 55, No. 7, pp. 3051-3073, 2009.