



# GNSS 신호를 위한 직교 변조의 성능분석

연세대학교<sup>1</sup>, 충남대학교<sup>2</sup>, 한국항공우주연구원<sup>3</sup>  
조현우<sup>1</sup>, 최효정<sup>1</sup>, 안재민<sup>2</sup>, 노재희<sup>3</sup>, 송홍엽<sup>1\*</sup>

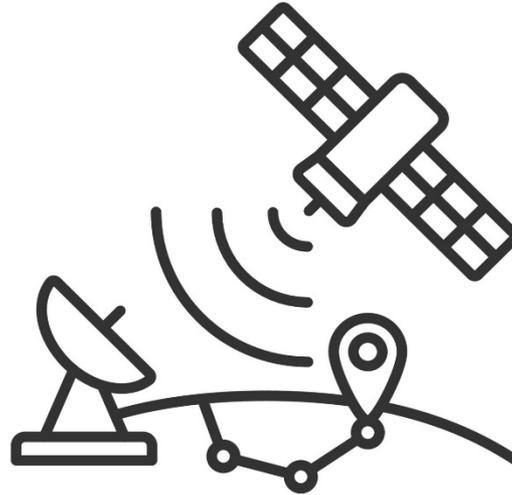
2023. 11. 03



# Contents

- 1. Introduction**
- 2. Code-Shift Keying (CSK) Modulation for GNSS**
- 3. Orthogonal Modulation for GNSS**
- 4. Simulation Result**
- 5. Conclusion**

# Introduction



- 최근 Global Navigation Satellite System (GNSS)의 사용이 증가 및 민간/군사 분야에서 단순 측위 서비스 이외의 다양한 정보 제공을 위한 서비스 등장
- 특히, 높은 데이터 전송률을 요구하는 서비스를 위한 신호가 필요
- 위성 항법 시스템은 제한된 대역에서 Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) 방식을 사용하기 때문에 데이터 전송률 증가가 제약적 (Tsai 2009)
  - PRN 부호 길이↓ ⇒ 데이터 전송률↑ but 직교성↓ & 성능↓

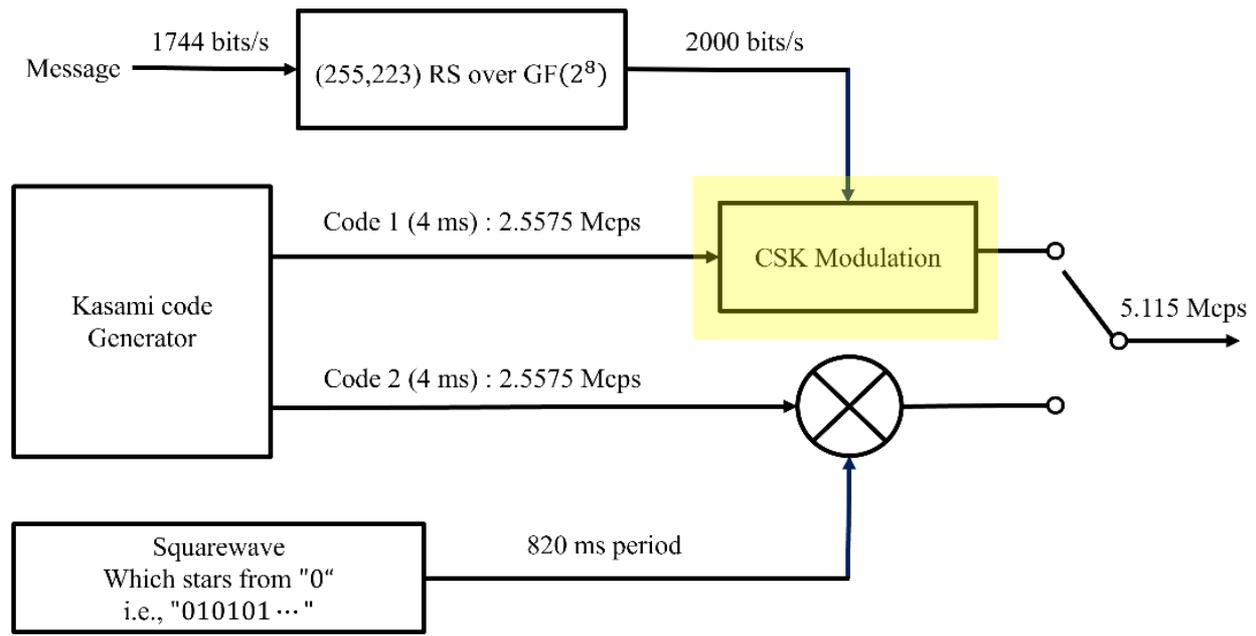


# Introduction

- GNSS의 DSSS 방식 대역에서 데이터 전송률을 높이기 위해 Code-Shift Keying (CSK) 변조 방식이 제안됨 (Wong 1997)
  - 현재 QZSS L6 신호에서 적용됨
- CSK 변조는 직교 변조(orthogonal modulation)로 간주됨
  - PRN 코드의 서로 다른 위상이 일반적으로 직교하는 것으로 간주되기 때문
- QZSS L6신호의 CSK 변조와 동일한 파라미터 및 Hadamard matrix를 이용한 직교 변조에 적용할 경우, 충분한 대안이 될 수 있음 (Shin 2020)
- 본 논문은 위성 항법 신호에 적용 고려 및 동일한 파라미터의 CSK 변조와 직교 변조의 soft-decision 성능 도출 및 분석
  1. 직교 변조가 적용된 송/수신기 구조 설명
  2. 비트 별 likelihood ratio 계산



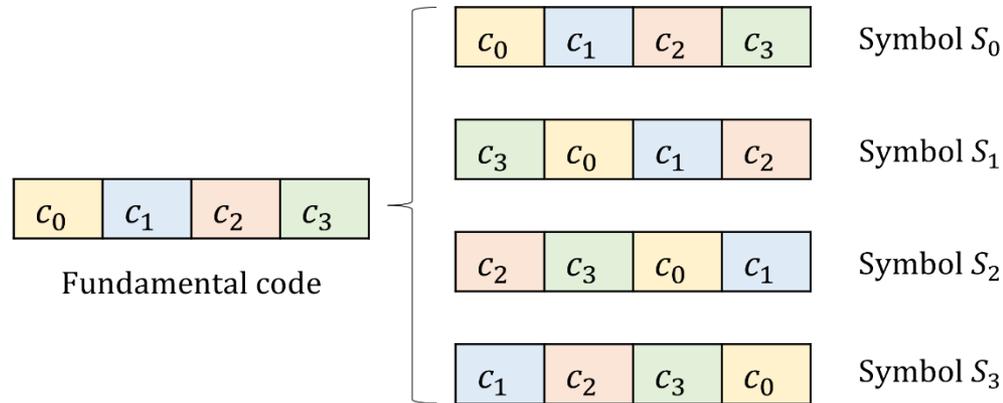
# Code-Shift Keying Modulation for GNSS



- 현재 Precise Point Positioning (PPP) 서비스를 제공하는 QZSS L6에 CSK 변조가 적용됨
  - 기존 위성 항법 신호(약 250-500 sps) 와 달리 높은 데이터 전송률(4000 sps)을 제공
- 위성 항법 시스템에서 데이터 전송을 높이기 위한 방안으로 이와 같은 방식을 고려가 필요



# Code-Shift Keying Modulation for GNSS



Bits per symbol :  $m = 2$ , # of symbols :  $M(= 2^m) = 4$ , Code length :  $L = 4$

- CSK 변조는 하나의 fundamental PRN code를 cyclic shift 한  $2^m$ 개의 PRN code을 이용
- $m$  비트당 하나의 심볼로 간주, 심볼 당 PRN code를 1-1 대응하여 전송
- PRN 부호 길이  $L \geq 2^m$  (GNSS에 적용 시,  $L \gg 2^m$ )



# Orthogonal Modulation for GNSS

Index	0	1	2	...	$M - 2$	$M - 1$
$C_{\#0}$	0	0	0	...	0	0
$C_{\#1}$	0	$c(0)$	$c(1)$	...	$c(M - 3)$	$c(M - 2)$
$C_{\#2}$	0	$c(M - 2)$	$c(0)$	...	$c(M - 4)$	$c(M - 3)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$C_{\#(M-1)}$	0	$c(1)$	$c(2)$	...	$c(M - 2)$	$c(0)$

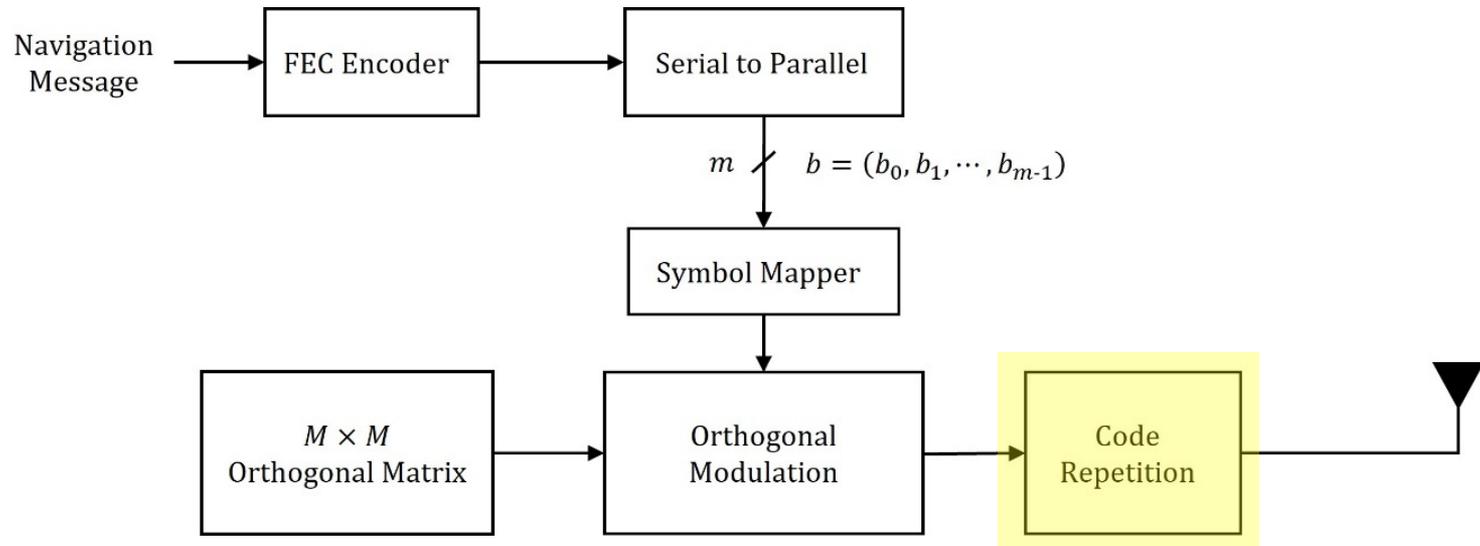
m-sequence of length  
 $2^m - 1$

$$2^m = M$$

- PRN code generator 대신 Hadamard matrix를 이용
  - Walsh type or m-sequence type
- CSK 변조와 유사한 형태
  - 기존 fundamental PRN code의 cyclic shift 대신 Hadamard matrix의 행을 심볼과 1-1 대응 후 전송

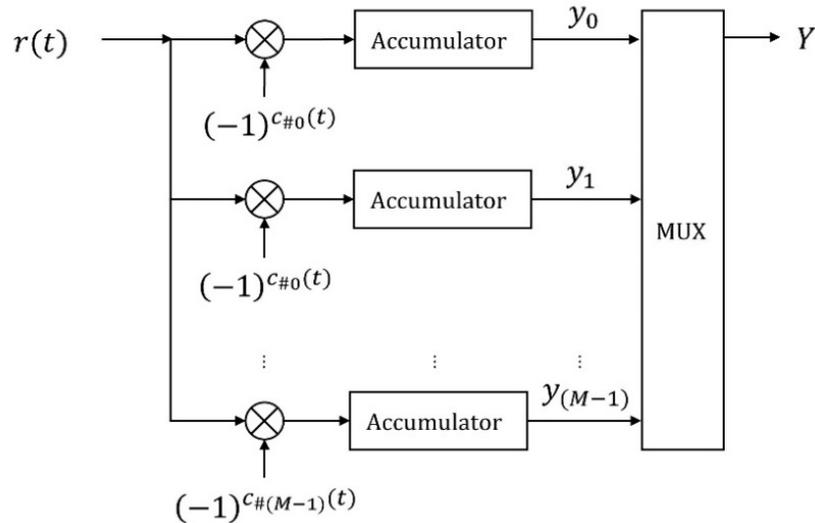


# Orthogonal Modulation for GNSS



- $L \gg M$  경우, PRN 부호 길이  $L$ 과 동일한 길이를 맞춰주기 위해 code repetition을 통해 동일하게 맞춤
- $L = 10230$  및  $m = 8$  경우,  $\frac{10230}{256} \approx 256 \times 40 \Rightarrow 40$ 회 반복

# Orthogonal Modulation for GNSS

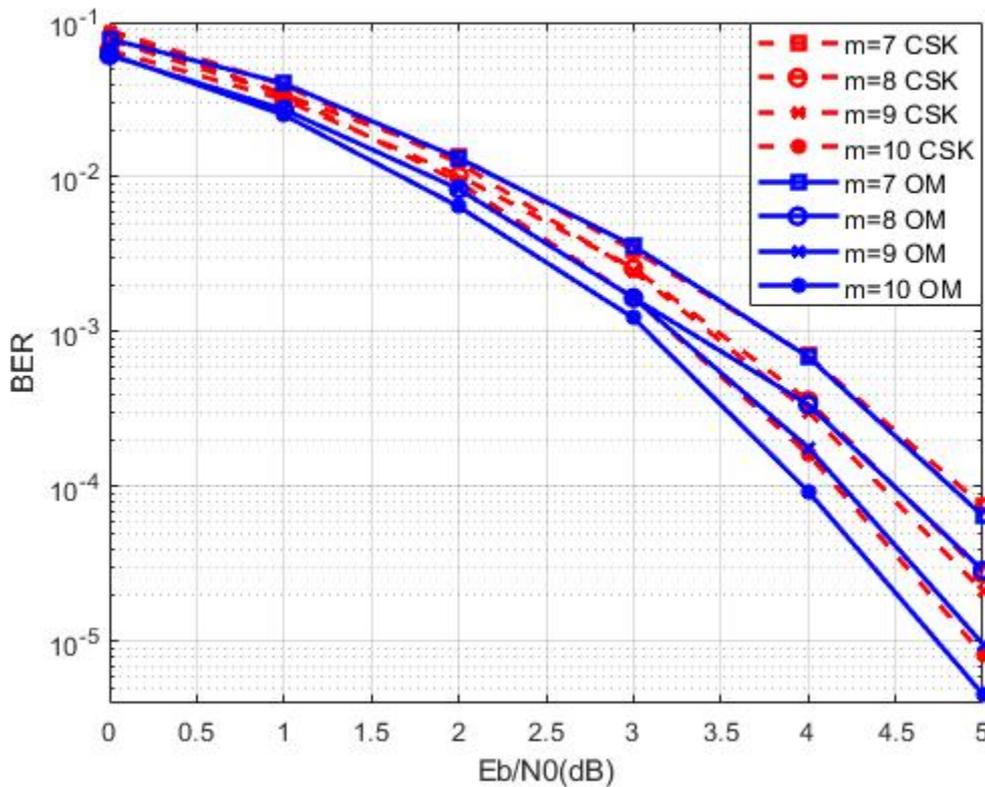


- 수신 신호  $r(t)$ 는 각  $M$ 개의 Hadamard matrix의 행과 상관 값을 계산
- $L \gg M$  경우, 반복한 수 만큼 상관 값을 계산
  - Accumulator를 통해 상관 값을 누적한 상관 벡터  $Y = (y_0, y_1, \dots, y_{M-1})$ 을 출력
  - 상관 값의 누적 연산을 통해 gain을 얻을 수 있음 (Shin 2020)
- 비트 별 Likelihood Ratio (LR) 값은 다음과 같이 계산되며, CSK 변조도 동일하게 적용이 가능 (Garcia-Pena 2010)

$$LR(b_k) = \frac{P(b_k=0)}{P(b_k=1)} = \frac{\sum_{i=0, b_k=0}^{M-1} \exp\left(\frac{y_i}{\sigma^2}\right)}{\sum_{i=0, b_k=1}^{M-1} \exp\left(\frac{y_i}{\sigma^2}\right)}, \quad 0 \leq k \leq m-1$$



# Simulation Result

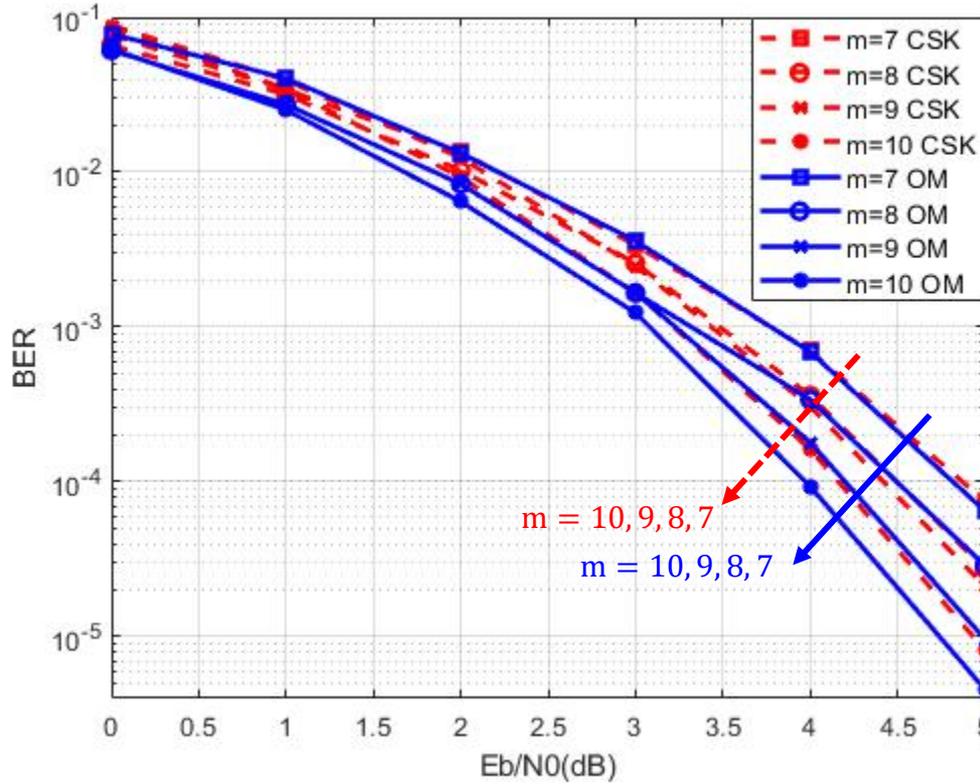


- 실험 환경

- AWGN 채널 및 BPSK 변조를 가정
- PRN 부호 길이  $L = 10230$ ,  $m = 7, 8, 9, 10$ 일 때 soft-decision에 대한 성능



# Simulation Result



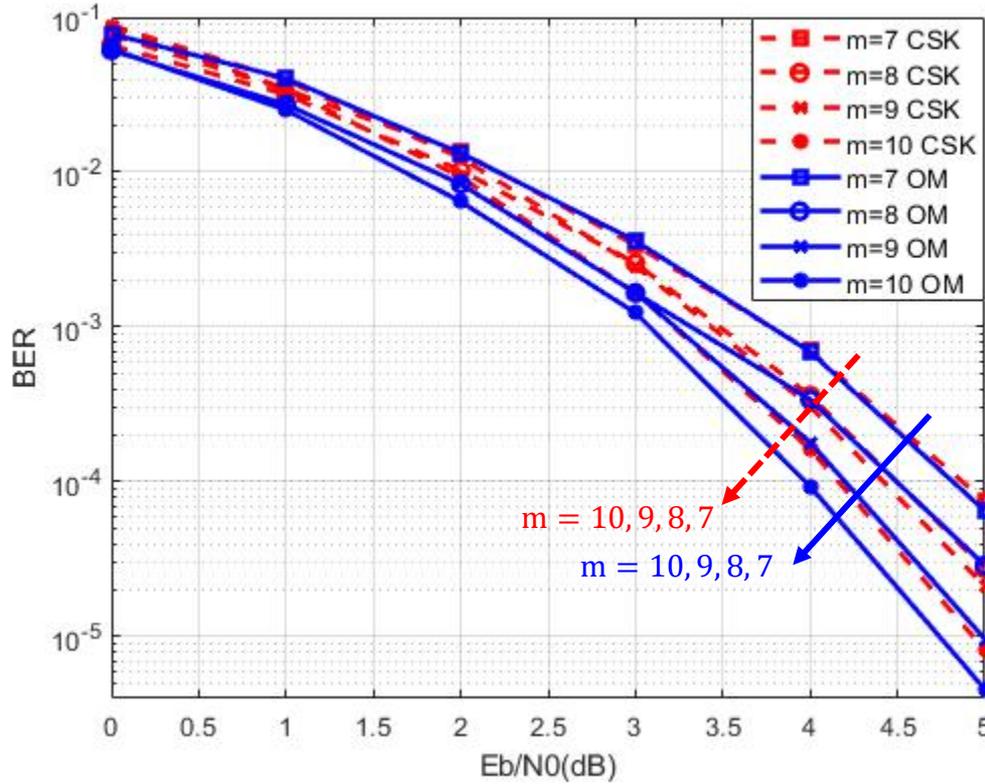
- 결과 1 :  $m$ 이 커질수록 더 좋은 성능을 보임
  - 전송되는 PRN 부호의 한 칩에 대한  $SNR_{chip}$ 은 다음과 같이 계산 (Garcia-Pena 2013)

$$SNR_{chip}[dB - Hz] = \frac{E_b}{N_0} + 10 \log \left( \frac{m}{L} \right)$$

- 즉, 동일한  $L$ 에서  $m$ 이 커질수록 칩은 높은 에너지를 가짐



# Simulation Result



- 결과 2 : 직교 변조가 CSK 변조보다 좋은 성능을 보임
  - 직교 변조가 CSK 변조 대비 성능 폭이 큼
  - 상관 값을 누적함으로써 생기는 이득이 발생함 (Shin 2020)



# Conclusion

- 위성 항법 시스템에서 높은 데이터 전송률을 고려할 때, 긴 길이의 CSK 변조 대신 짧은 길이의 직교 변조가 좋은 대안이 될 수 있음
- 높은 차수로 변조할 경우, 더 좋은 성능을 기대할 수 있음을 보임
- 또한, 확률 기반 오류 정정 부호를 FEC를 적용 시, 신호 성능 차이가 더 클거라 기대



# Reference

- Cho, H., Song, H.-Y., Ahn, J., & Lim, D. 2021, Some new RS-coded orthogonal modulation schemes for future GNSS, *ICT express*, 7, 530-534.
- Garcia-Pena, A., Boucheret, M. L., Macabiau, C., Damidaux, J. L., Ries, L., et al. 2010, Implementation of Code Shift Keying Signalling Technique in Galileo E1 Signal, 5th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing (NAVITEC).
- Garcia-Pena, A., Salos, D., Julien, O., Ries, L., & Thomas Grelier. 2013, Analysis of the Use of CSK for Future GNSS Signals, *Proceedings of the 26th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2013)*, pp.1461-1479.
- Shin, J., Lim, D., & Ahn, J. 2020, Orthogonal Modulation Scheme Based on Maximum Length Sequence for Transmission of Centimeter-Level Augmentation Signals from Navigation Satellite, *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*. 6, 1056-1064.
- Tsai, Y. R. 2009, M-ary spreading-code-phase-shift-keying modulation for DSSS multiple access systems, *IEEE Transactions on Communications*, 11, 3220-3224.
- Wong, A.Y.-C., Leung, V. C. M. 1997, Code-Phase-Shift Keying: A Power and Bandwidth Efficient Spread Spectrum Signaling Technique for Wireless Local Area Network Applications, *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*.



Thank You!