



# GNSS의 CW 재밍 환경에서 채널 부/복호화기가 겪는 채널모델

김강산<sup>1,o</sup>, 조현우<sup>1</sup>, 김대경<sup>1</sup>, 박영범<sup>2</sup>, 송홍엽<sup>1</sup>

연세대학교<sup>1</sup>, 국방과학연구소<sup>2</sup>

제 32회 통신정보 합동학술대회

2022.04.28



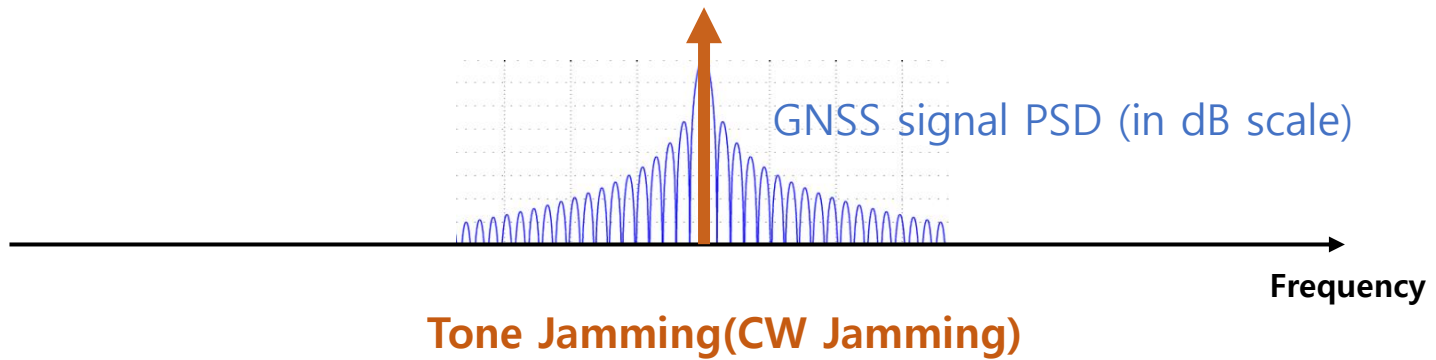
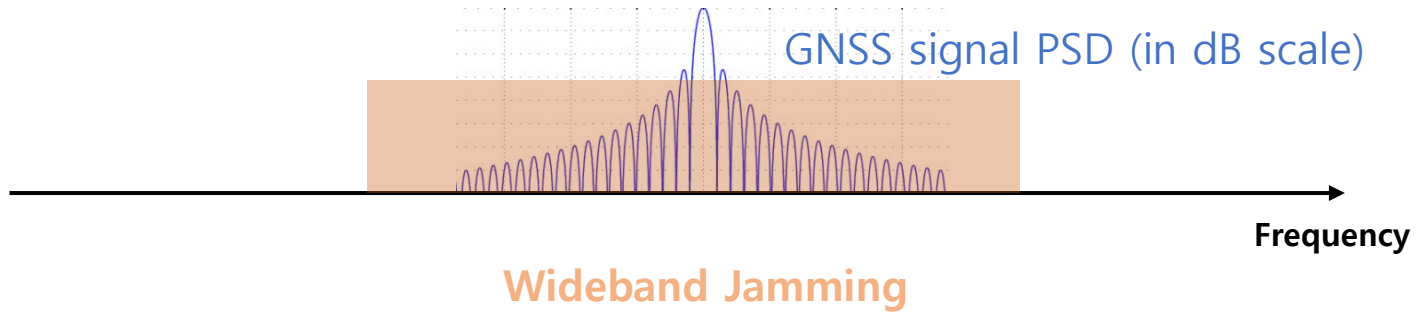
# 목차

- 서론
  - Tone jamming in GNSS
  - 일반적인 GNSS 신호 블록도 및 채널
- 본론
  - CW Jamming이 포함된 수신 신호가 GNSS의 복조기/역확산기를 통과하는 과정
  - GNSS에서 채널 복호기의 입력 신호
  - GNSS와 일반적인 BPSK의 채널 복호기의 CW Jamming 입력 신호 비교
- 결론
  - CW 재밍은 GNSS 수신기의 채널 복호기 입력단에서 가우시안 노이즈로 해석됨
- 참고문헌



# 서론

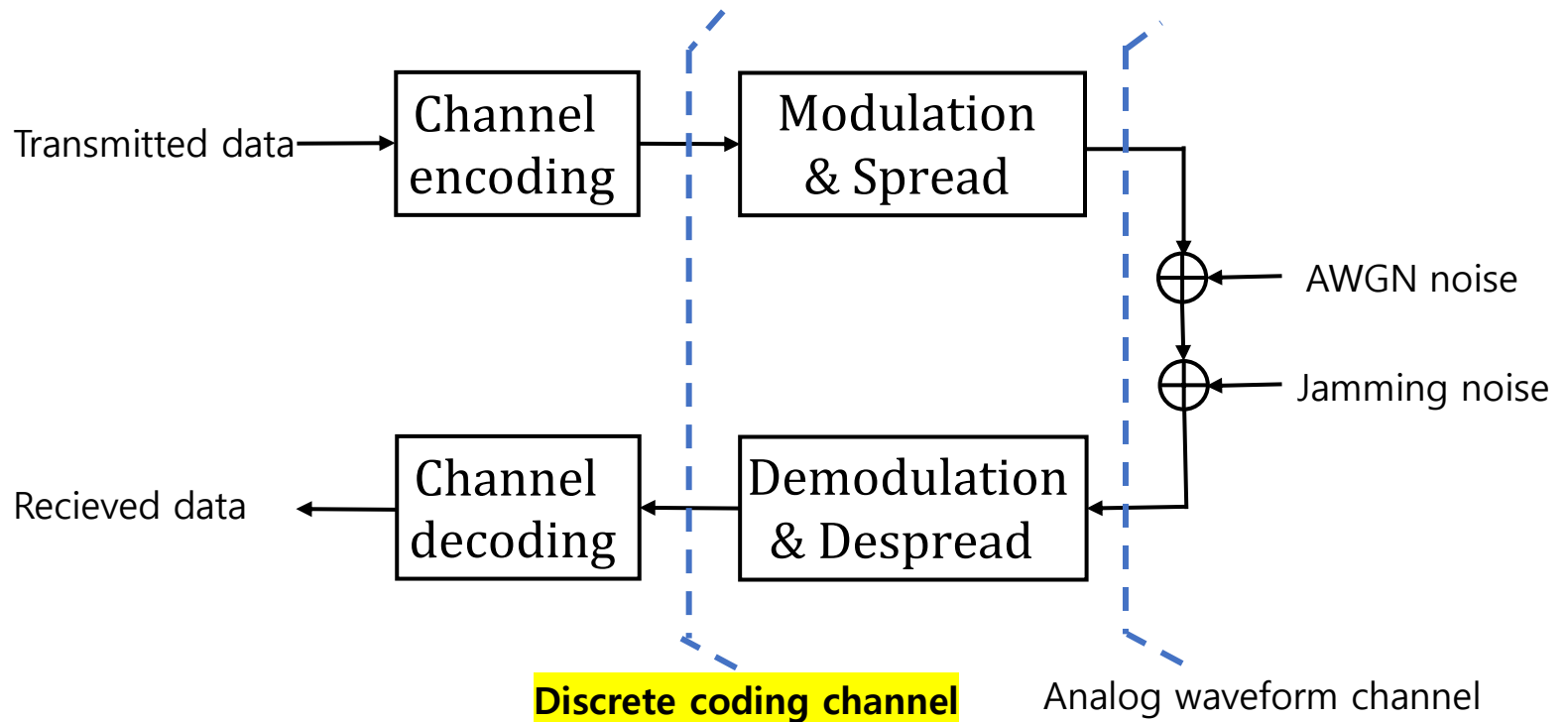
## Tone jamming in GNSS



중심 주파수가 공개되어있는 GNSS 신호는 Tone Jamming에 취약한 구조



# 서론



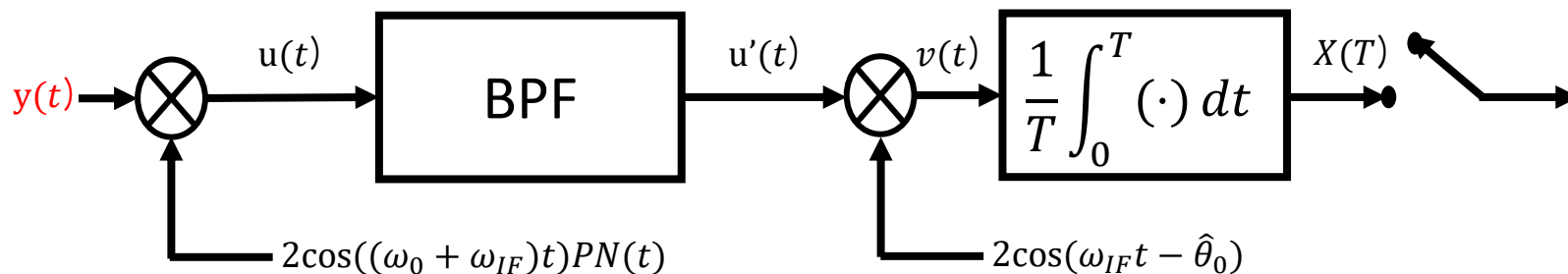
## Discrete coding 채널

- Channel encoding의 결과 신호와 channel decoding에 입력 신호 사이의 채널
- 재밍이 복조기/역확산기를 통과하면서 어떤 신호가 되는지 분석이 필요



# CW Jamming이 포함된 수신신호가 GNSS의 복조기/역확산기를 통과하는 과정(1)

## Heterodyne receiver



GNSS의 일반적인 복조기/역확산기

$$y(t) = s(t) + n_J(t) + n(t)$$

Signal:  $s(t) = \sqrt{2P}d(t)PN(t) \cos(\omega_0 t + \theta_0)$

**CW Jamming:**  $n_J(t) = \sqrt{2J}\cos(\omega_0 t + \theta_J)$

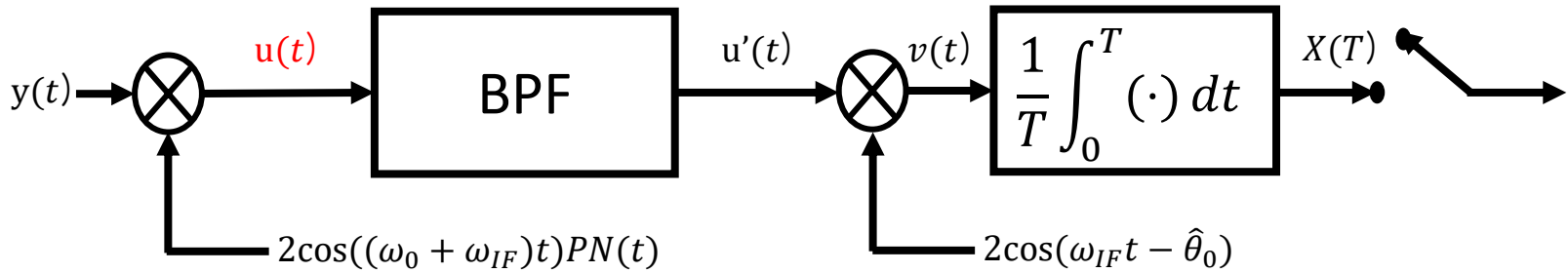
AWGN noise:  $n(t)$  has spectral density  $N_0$

P: received signal power, J: jamming power,  
 $d(t)$ : binary valued data  $\{-1, 1\}$ ,  $\omega_0$ : angular carrier frequency,  
 $\theta_0$ : carrier phase,  $\theta_J$ : CW Jamming phase



# CW Jamming이 포함된 수신신호가 GNSS의 복조기/역확산기를 통과하는 과정(2)

## Heterodyne receiver



GNSS의 일반적인 복조기/역확산기

$$u(t) = u_s(t) + u_j(t) + u_n(t)$$

Signal:  $u_s(t) = \sqrt{2P}d(t) \cos(\omega_{IF}t - \theta_0) + \sqrt{2P}d(t) \cos((2\omega_0 + \omega_{IF})t + \theta_0)$

**CW Jamming:**  $u_j(t) = \sqrt{2J}PN(t) \cos(\omega_{IF}t - \theta_J) + \sqrt{2J}PN(t) \cos((2\omega_0 + \omega_{IF})t + \theta_J)$

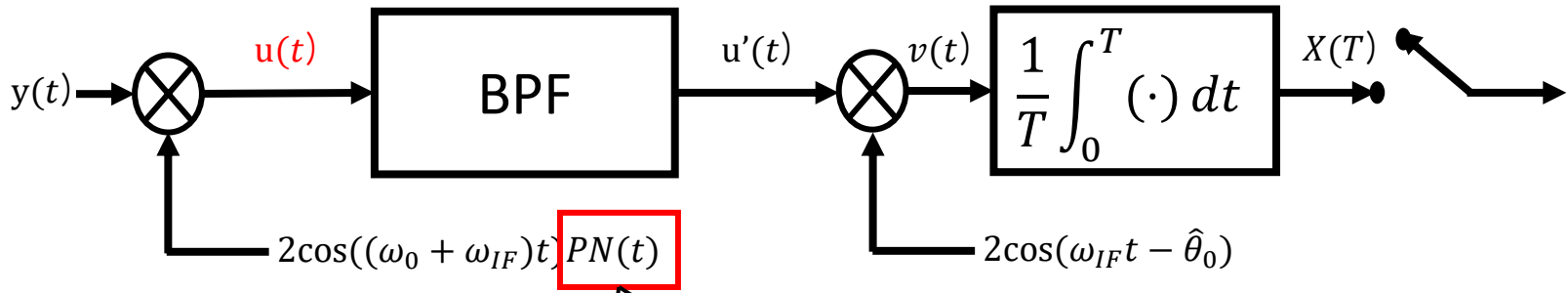
AWGN noise:  $n(t)$  has spectral density  $N_0$

\*  $\omega_{IF}$ : angular intermediate frequency,



# CW Jamming이 포함된 수신신호가 GNSS의 복조기/역확산기를 통과하는 과정(3)

## Heterodyne receiver



GNSS의 일반적인 복조기/역확산기

$$u(t) = u_s(t) + u_j(t) + u_n(t)$$

Signal:

$$u_s(t) = \sqrt{2P}d(t) \cos(\omega_{IF}t - \theta_0) + \sqrt{2P}d(t) \cos((2\omega_0 + \omega_{IF})t + \theta_0)$$

**CW Jamming:**

$$u_j(t) = \sqrt{2J}PN(t) \cos(\omega_{IF}t - \theta_J) + \sqrt{2J}PN(t) \cos((2\omega_0 + \omega_{IF})t + \theta_J)$$

AWGN noise:

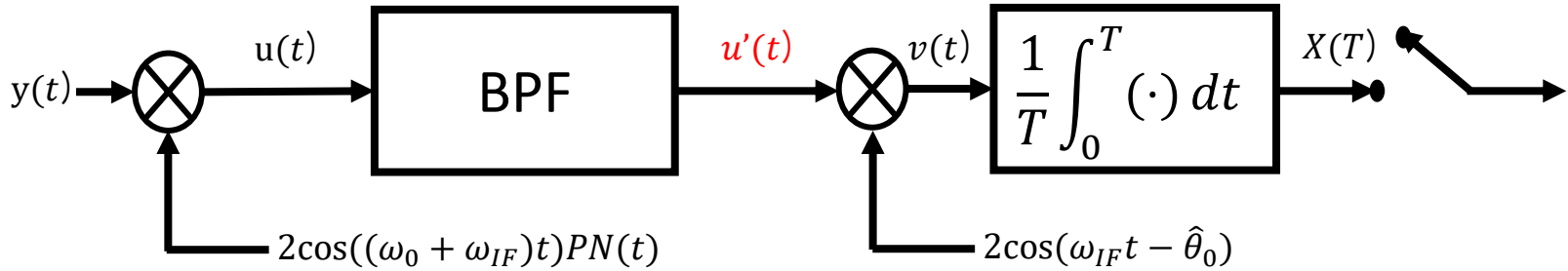
$n(t)$  has spectral density  $N_0$

$PN(t)$ 가 곱해지면서 신호 부분의 의사 잡음 수열 부분이 제거되는 반면 재밍 부분의 의사 잡음 수열이 추가로 곱해지게 된다.



# CW Jamming이 포함된 수신신호가 GNSS의 복조기/역확산기를 통과하는 과정(4)

## Heterodyne receiver



GNSS의 일반적인 복조기/역확산기

$$u'(t) = u'_s(t) + u'_j(t) + u'_n(t)$$

Signal:  $u'_s(t) = \sqrt{2P}d(t) \cos(\omega_{IF}t - \theta_0)$

**CW Jamming:**  $u'_j(t) = \sqrt{2J}PN(t)\cos(\omega_{IF}t - \theta_J)$

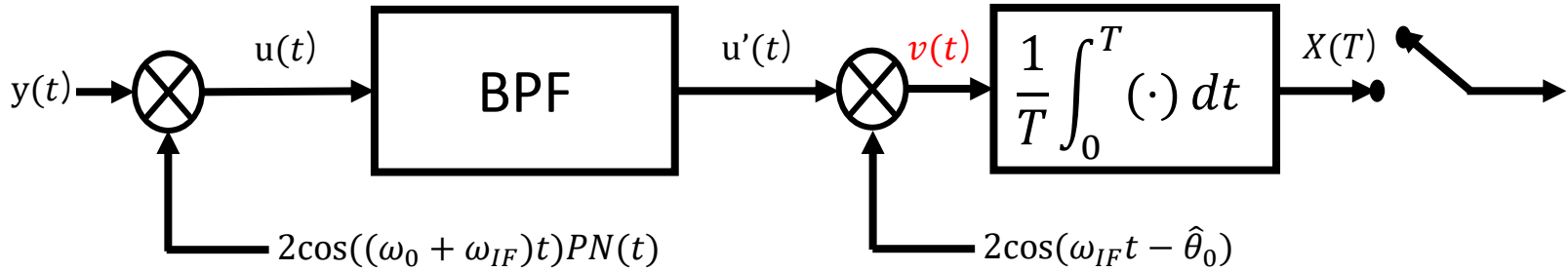
AWGN noise:  $u'_n(t)$  has two-sided spectral density  $N_0/2$





# CW Jamming이 포함된 수신신호가 GNSS의 복조기/역확산기를 통과하는 과정(5)

## Heterodyne receiver



GNSS의 일반적인 복조기/역확산기

$$v(t) = v_s(t) + v_J(t) + v_n(t)$$

Signal:  $v_s(t) = \sqrt{2P}d(t) + \sqrt{2P}d(t) \cos((2\omega_{IF})t - 2\theta_0)$

**CW Jamming:**  $v_J(t) = \sqrt{2J}PN(t)\cos(\theta_0 - \theta_J) + \sqrt{2J}PN(t) \cos((2\omega_{IF})t - \theta_0 - \theta_J)$

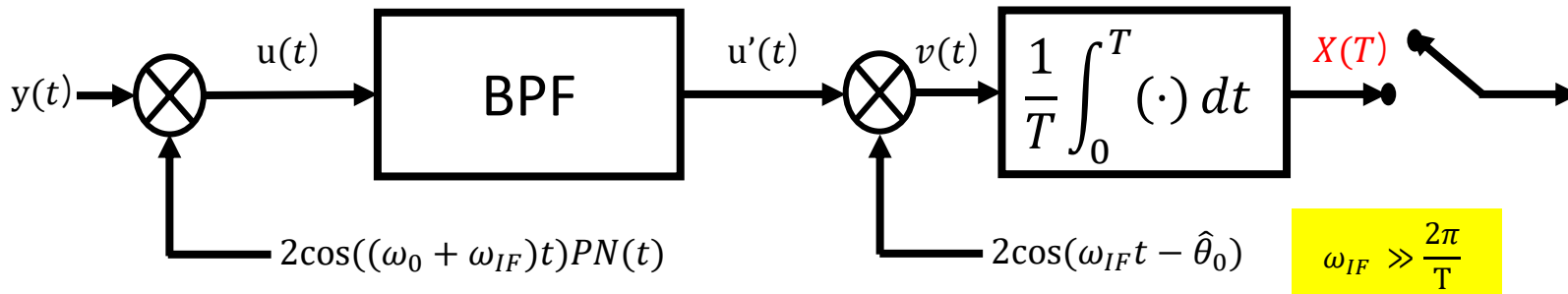
AWGN noise:  $v_n(t)$  has two-sided spectral density  $N_0$

\* Assume that  $\hat{\theta}_0 = \theta_0$ .



# CW Jamming이 포함된 수신신호가 GNSS의 복조기/역확산기를 통과하는 과정(6)

## Heterodyne receiver



GNSS의 일반적인 복조기/역확산기

$$X(T) = X_s(T) + X_J(T) + X_n(T)$$

Signal:  $X_s(T) \approx \sqrt{2P}d(T)$

**CW Jamming:**  $X_J(T) \approx \sqrt{2J} \cos(\theta_0 - \theta_J) \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N PN_i$   
 $\sim$  Gaussian with variance  $\frac{2J}{N} \{\cos(\theta_0 - \theta_J)\}^2$

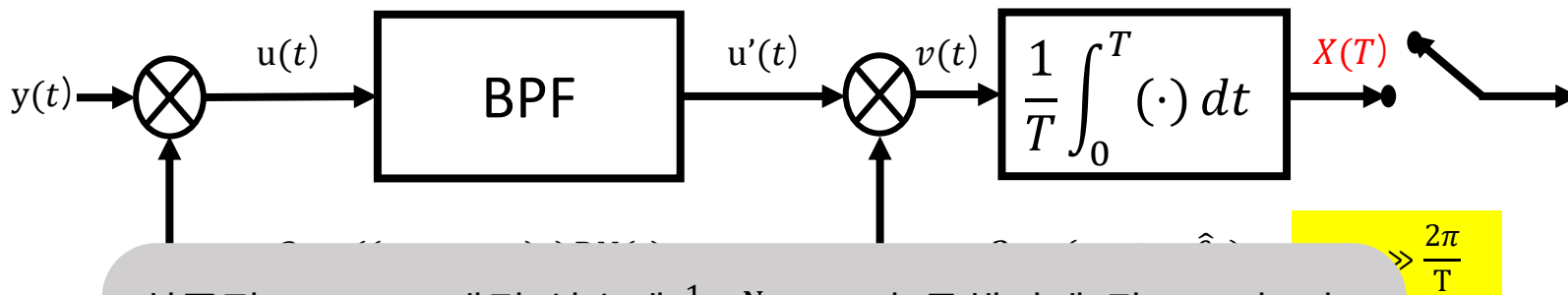
\* Assume that  $(PN_i+1)/2$  is a Bernoulli process with probability 0.5 and N is a very large number (usually, N = 10230)

AWGN noise:  $X_n(T)$  has variance  $\frac{N_0}{T} \sim$  Gaussian with variance  $\frac{N_0}{T}$



# CW Jamming이 포함된 수신신호가 GNSS의 복조기/역확산기를 통과하는 과정(6)

## Heterodyne receiver



최종적으로 CW 재밍 신호에  $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N PN_i$ 가 곱해지게 됨으로써, 이를 수열 길이 N이 충분히 크고,  $PN_i$ 가 i.i.d.한 랜덤변수로 가정하고 중심극한정리를 통해 정규분포로 근사할 수 있다.

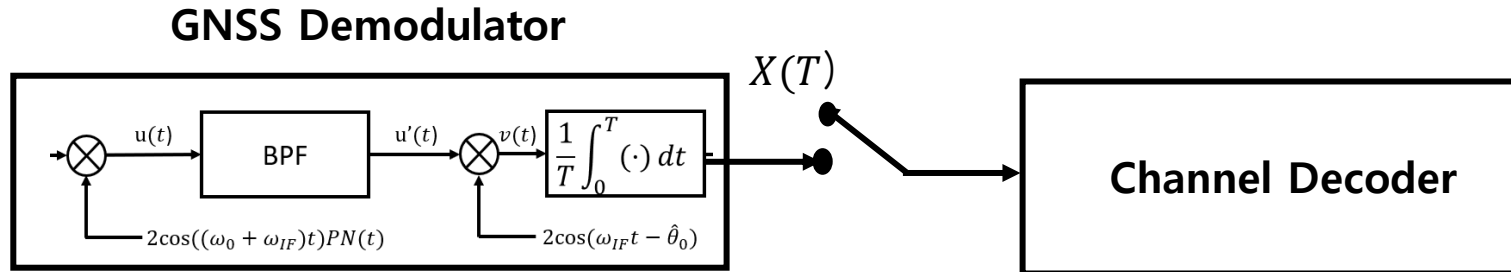
Signal:  $X_s(T) \approx \sqrt{2Pd(T)}$

**CW Jamming:**  $X_j(T) \approx \sqrt{2J} \cos(\theta_0 - \theta_j) \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N PN_i$   
 $\sim$  Gaussian with variance  $\frac{2J}{N} \{\cos(\theta_0 - \theta_j)\}^2$   
 \* Assume that  $(PN_i+1)/2$  is a Bernoulli process with probability 0.5 and N is a very large number (usually, N = 10230)

AWGN noise:  $X_n(T)$  has variance  $\frac{N_0}{T} \sim$  Gaussian with variance  $\frac{N_0}{T}$



# GNSS에서 채널복호기의 입력 신호



$$X(T) = X_s(T) + X_J(T) + X_n(T)$$

Signal:  $X_s(t) = \sqrt{2P}d(T),$

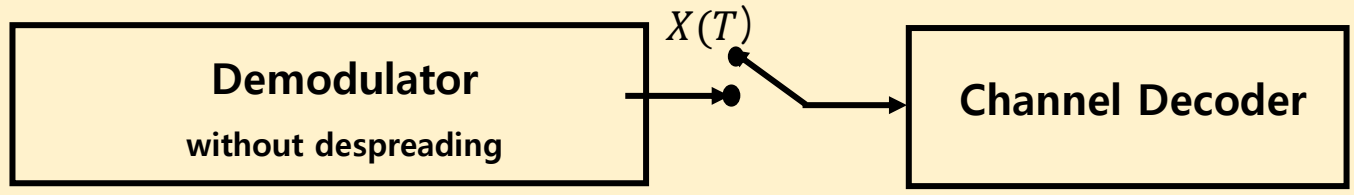
**CW Jamming:**  $X_J(t) : \text{Gaussian with variance } \frac{2J}{N} \{\cos(\theta_0 - \theta_J)\}^2$

AWGN noise:  $X_n(t) : \text{Gaussian with variance } \frac{N_0}{T}$



# GNSS와 일반적인 BPSK의 채널복호기의 입력 신호 비교

## General BPSK



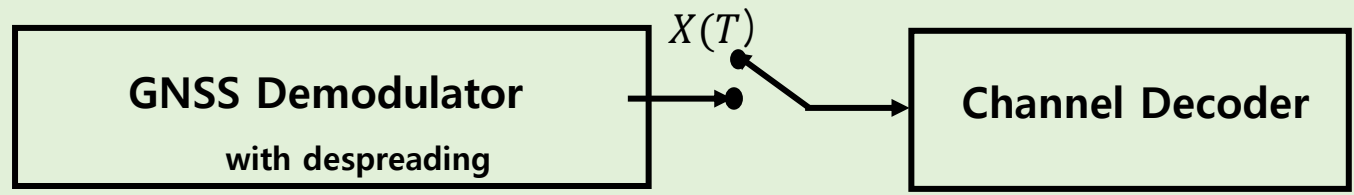
$$X^*(T) = X_s^*(T) + X_j^*(T) + X_n^*(T)$$

Signal:  $X_s^*(t) = \sqrt{2P}d(T)$

CW Jamming:  $X_j^*(t) = \sqrt{2J} \cos(\theta_0 - \theta_j)$

AWGN noise:  $X_n^*(t)$  : Gaussian with variance  $\frac{N_0}{T}$

## GNSS



$$X(T) = X_s(T) + X_j(T) + X_n(T)$$

Signal:  $X_s(t) = \sqrt{2P}d(T)$

CW Jamming:  $X_j(t)$  : Gaussian with variance  $\frac{2J}{N} \{\cos(\theta_0 - \theta_j)\}^2$

AWGN noise:  $X_n(t)$  : Gaussian with variance  $\frac{N_0}{T}$



# GNSS와 일반적인 BPSK의 채널복호기의 CW Jamming 입력 신호 비교

	General BPSK	GNSS
형태:	상수	평균 0인 정규분포
신호의 power:	$2J\{\cos(\theta_0 - \theta_J)\}^2$	$\frac{2J}{N}\{\cos(\theta_0 - \theta_J)\}^2$

채널 복호기의 CW Jamming 입력 신호 비교

- BPSK에서는 상수, GNSS에서는 정규분포를 가지는 랜덤변수가 됨
- Power는 GNSS의 경우가 General BPSK의 경우의  $\frac{1}{N}$  정도임



# 결론

- CW 재밍은 채널 부/복호화기가 겪는 채널에서 정규분포로 모델링 됨으로써 일종의 AWGN 잡음이 들어가는 것으로 볼 수 있음
- DSSS를 사용하지 않을 때, CW 재밍은 상수 잡음으로 고려
- 이는 DSSS에서는 역확산 과정에서 이 상수 잡음이 AWGN으로 바뀌는 걸로 해석됨



## 참고문헌

- [1] *IS-GPS-800E*, Navstar GPS Space Segment/Navigation user segment interfaces. USA: Navstar GPS Joint Program Office, 2018.
- [2] 김기윤, “위성항법시스템을 위한 항재밍 기술 분석,” *한국통신학회논문지*, 제38권, 제12호, pp. 1216-1227, 2013년 12월.
- [3] C. H. Kang, S. Y. Kim, and C. G. Park, “A GNSS interference identification using an adaptive cascading IIR notch filter,” *GPS Solutions*, vol. 18, pp.605-613, 2014.
- [4] H. Elghamrawy, M. Karaim, M. Korenberg, and A. Noureldin, “High-Resolution Spectral Estimation for Continuous Wave Jamming Mitigation of GNSS Signals in Autonomous Vehicles,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Apr. 2021.
- [5] R. Lunayach, "Performance of a Direct Sequence Spread-Spectrum System with Long Period and Short Period Code Sequences," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 31, pp. 412-419, Mar. 1983.
- [6] D. Borio, C. O'Driscoll, and J. Fortuny, "GNSS jammers: Effects and countermeasures," in proc. *6th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies & European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing*, pp. 1-7, Dec. 2012.
- [7] M. H. Same, G. Gandubert, P. Ivanov, R. Landry, and G. Gleaton, “Effects of interference and mitigation using notch filter for the DVB-S2 standard,” *Telecom*, vol 1, pp.242-265, Dec. 2020.
- [8] J. K. Holmes, *Spread spectrum systems for GNSS and wireless communications*, Norwood: Artech House, 2007.





# QUESTIONS