



Gangsan Kim and Hong-Yeop Song

Yonsei University

2024년 한국통신학회 추계종합학술 발표회

본 논문은 DSSS 시스템에서 HPA를 사용할 때 나타나는 비선형 왜곡 현상을 보완하는 방식으로 상관 특성 보존 수열을 사용하는 방식을 제안한다. 또한, 실제로 알려진 수열들 중에서 상관특성 보존 성질을 갖는 한 수열을 소개한다.

서론

- DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 시스템의 경우 사용자에게 할당된 길이 L 인 수열을 $s = \{s(t)\}_{t=0}^{L-1}$ 이라고 할 때, 시간 지연 τ 에서 수신기의 핵심 신호 처리 결과는 다음과 같은 상관 함수를 포함함.

$$C_s(\tau) = \sum_{t=0}^{L-1} s(t+\tau)s^*(t)$$

따라서 위의 상관함수의 특성이 좋은 수열은 DSSS 시스템에서 유용하게 사용됨[1].

- 초고속 통신을 HPA(High Power Amplifier)의 사용이 불가피함[2]. HPA는 입력과 출력의 관계가 서로 비선형인 관계가 있어 이를 보상 및 보완하기 위한 기법이 필수적임. 대부분의 비선형 왜곡 보상 방식은 사전 왜곡 기반임[2].
- 본 논문에서는 비선형 왜곡이 있는 환경에서 DSSS 방식을 적용할 때, 비선형 왜곡을 보완하기 위해 상관 특성 보존 수열이라는 개념을 도입하여 해당 수열을 사용하는 방식을 제안함.

본문

- HPA의 입력의 대응값이 $x \in \mathbb{C}$ 일 때, 왜곡된 출력의 대응값을 $f(x) \in \mathbb{C}$ 이라고 하자. 여기서 수신기의 참조 수열을 $s = \{s(t)\}_{t=0}^{L-1}$ 이라고 할 때, 시간 지연 τ 에서 수신기의 핵심 신호 처리 결과는 다음과 같은 왜곡 상관함수를 포함함.

정의 (왜곡 상관 함수):

왜곡 함수 $f: \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C}$ 에 대한 시간 지연 τ 에서 수열 $s = \{s(t)\}_{t=0}^{L-1}$ 의 왜곡 상관함수는 다음과 같이 정의한다.

$$C_s(f; \tau) = \sum_{t=0}^{L-1} f(s(t+\tau))s^*(t)$$

정의 (상관 특성 보존 수열):

임의의 왜곡 함수 $f: \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C}$ 와 임의의 지연 τ 에서 수열 $s = \{s(t)\}_{t=0}^{L-1}$ 의 정규화된 왜곡 상관함수와 정규화된 상관함수가 같을 때, 이 수열을 상관 특성 보존 수열이라고 정의한다. 즉, $s = \{s(t)\}_{t=0}^{L-1}$ 가 상관 특성 보존 수열이라면 다음을 만족한다.

$$\frac{C_s(f; \tau)}{C_s(f; 0)} = \frac{C_s(\tau)}{C_s(0)} \text{ for any } f: \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C} \text{ and any } \tau$$

- 본 논문에서는 왜곡을 보완하는 방법으로서 상관 특성 보존 수열이면서 상관 특성이 좋은 수열의 사용을 제안함.

- 일반적으로 상관 특성이 좋은 수열들은 상관 특성 보존 수열이 아님. Ex) m-sequence

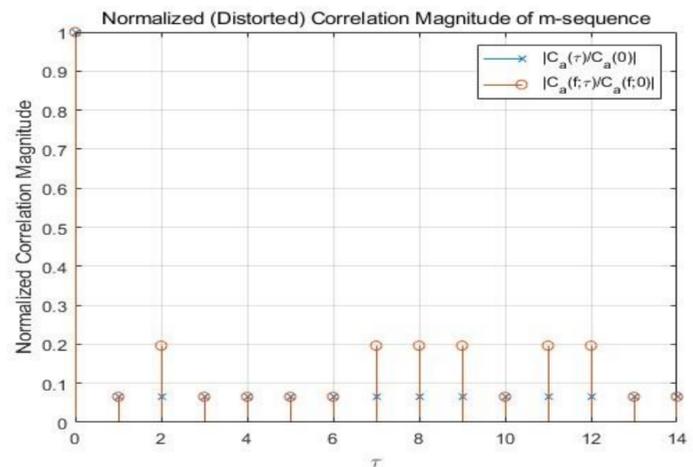


그림 1. 길이 15인 m-sequence a 의 정규화된 상관함수와 정규화된 왜곡 상관 함수의 비교

- 그림 1과 같이 길이 15인 m-sequence는 $f(-1) = +2j, f(+1) = +1$ 를 만족하는 왜곡 상관 함수 f 에 대하여 $\tau = 2, 7, 8, 9, 11, 12$ 에서 상관 특성이 유지 안됨.

정의 ([3]): 왜곡 $(u, 2, u-1, \frac{u}{2}-1)$ -Relative Difference

Set(RDS) D 에 대하여 $\mathbb{Z}_{2u} = \{z\} \cup \{u+z\} \cup D \cup (u+D)$ 가 되는 정수 z 에 대하여 길이 $2u$ 인 수열 $b = \{b(t)\}_{t=0}^{2u-1}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$b(t) = \begin{cases} -1 & \text{if } t \in \{z\} \cup D \\ +1 & \text{if } t \in \{u+z\} \cup (u+D) \end{cases}$$

상관 특성 보존 성질 : 위 수열 b 는 상관 특성 보존 성질을 갖으며 임의의 왜곡 함수 f 에 대해 다음과 같은 정규화된 왜곡 상관 함수를 갖는다.

$$\frac{C_b(f; \tau)}{C_b(f; 0)} = \begin{cases} +1, & \text{if } \tau = 0 \\ -1, & \text{if } \tau = u \\ +2/u, & \text{if } \tau, -\tau \in -z + u + D \\ -2/u, & \text{if } \tau, -\tau \in -z + D \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Conclusion

- 추후 상관 특성 보존 성질의 수학적 조건을 찾고 다양한 상관 특성 보존 수열을 설계할 예정임

REFERENCES

- [1] S. W. Golomb and G. Gong, *Signal Design for Good Correlation; for Wireless Communication, Cryptography and Radar*, New York, NY, USA Cambridge Univ. Press, 2005.
- [2] A. Baghel, A. S. Parihar, K. Choi, and V. Bhatia, "On Impact of HPA Nonlinearity in NOMA Enabled Heterogeneous Cellular Network". *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 73(9), pp. 14038-14043, 2024.
- [3] G. Kim and H.-Y. Song, "Balanced Binary Sequences with Favourable Autocorrelation from Cyclic Relative Difference Sets", presented in *Sequences and Their Applications (SETA 2024)*, Colchester, United Kingdom, July 1-5, 2024.