

시변 채널에서의 자기 간섭 제거를 위한 신경망 기반 자기 간섭 제거기 성능 분석

공동현, 김상효*
성균관대학교

jdck93@skku.edu, *iamshkim@skku.edu

Analysis on neural network based full duplex self-interference canceller over time-varying channel

Kong DongHyun, Kim Sang-Hyo*
Sunkyunwan Univ.

요 약

전이중 통신의 자기 간섭 제거 기법은 일반적으로 수신된 자기 간섭 신호를 추정하여 제거한다. 이때 시변 채널 환경에서의 신경망 기반 자기 간섭 제거기 운용을 위해 신경망 입력 신호 전처리기가 사용된다. 본 논문에서는 모델링 기반의 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 신경망 입력 신호 전처리기에 대한 성능 분석을 수행한다. 이를 통해 신경망 기반 자기 간섭 제거기 내에서의 신경망 입력 신호 전처리기의 역할에 대해 분석한다.

I. 서 론

최근 광대역 통신 서비스가 보편화됨에 따라 무선 통신 네트워크의 대역폭 증가에 대한 수요가 증가하고 있다 [1]. 이에 무선 네트워크 용량 증대를 위한 다양한 기법이 개발되어왔다. 이러한 기술 중 전이중 통신은 동일한 대역에서 신호의 송신과 수신을 동시에 수행하는 양방향 통신 기술로 이론상 최대 2 배의 전송률을 얻을 수 있다. 동일 대역에서 송신과 수신을 동시에 수행하는 전이중 통신은 송신한 신호가 높은 전력으로 자신에게 수신되어 통신을 방해하는 문제가 있다. 이 신호는 자기 간섭 신호라고 정의된다. 자기 간섭 신호는 자기 신호이므로 송수신기의 송신 데이터를 기반으로 추정하여 제거할 수 있다. 이런 프로세스를 자기 간섭 제거라고 정의한다. 이때, 자기 간섭 신호는 수신할 신호에 비해 매우 높은 전력으로 수신되므로 자기 간섭 신호를 정교하게 추정해야 통신을 정상적으로 수행할 수 있다.

자기 간섭 신호는 송수신기 내부에서 송신 및 수신 과정 중 비선형적으로 왜곡되는데 이런 비선형적 왜곡으로 인해 자기 간섭 신호를 정교하게 추정하여 제거하기 어려운 문제가 있다. 비선형적으로 왜곡된 자기 간섭 신호의 제거 방법에 대한 다양한 연구가 수행되었다. 논문 [2]에서는 다항식 모델을 기반으로 자기 간섭 신호를 추정하는 방법이 제안되었고, 논문 [3]에서는 신경망을 이용한 저복잡도 자기 간섭 신호 비선형 성분 제거 방법이 제안되었다. 논문 [2], [3]에서 제안된 자기 간섭 제거 기법은 실험을 통해 자기 간섭 신호를 열잡음 수준까지 제거할 수 있음을 보이고 있다. 하지만, 논문 [2], [3]의 자기 간섭 제거 기법은 자기 간섭 신호 추정기에서 채널 계수까지 학습하도록 설계되어

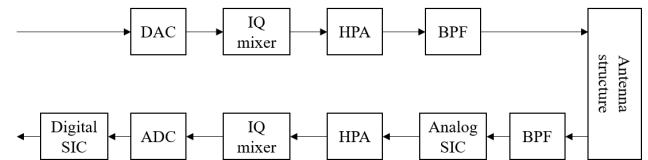


그림 1. 송수신기 블록도

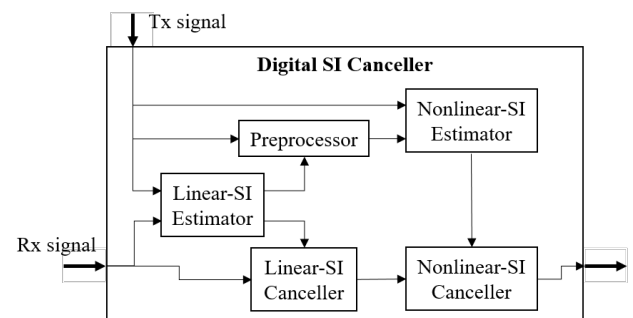


그림 2. 자기 간섭 제거기 블록도

시변 채널 환경에서는 자기 간섭 신호 추정기 학습을 채널이 변할 때마다 수행해야 하는 문제가 있다.

본 논문에서는 논문 [4]에서 제안한 신경망 기반 자기 간섭 제거 기법에 대한 자기 간섭 제거 성능 분석을 통해 논문 [4]에서 제안하는 신경망 입력 신호 전처리기의 효과를 확인한다.

II. 본론

(1) 시스템 모델

본 논문에서는 모델 기반의 시나리오 구현을 통해 다양한 시나리오에 대해 제안 자기 간섭 제거 기법이 적용

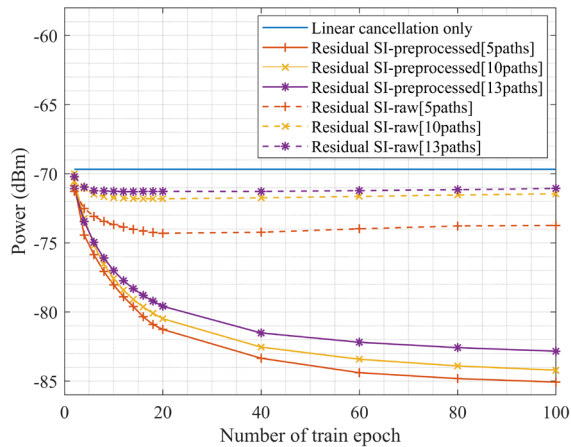


그림 3. 시변 채널 환경에서의 자기 간섭 제거 성능 비교

가능함을 보인다. 전이중 통신 송수신기는 그림 1의 블록도와 같이 구성된다고 가정하며, 각 블록에는 일반적으로 사용되는 송수신기 모델 및 채널 모델이 사용되었다. 논문 [5]와 [6]의 믹서 및 전력 증폭기의 비선형 동작 모델을 이용하여 송수신기를 구현하였으며, 문서 [7]의 데이터를 기반으로 자기 간섭 채널을 구현하였다.

제안하는 자기 간섭 제거기는 그림 2와 같이 구성된다. 크게 자기 간섭 신호 선형 성분 추정기, 자기 간섭 신호 선형 성분 제거기, 자기 간섭 신호 비선형 성분 추정기 그리고 자기 간섭 신호 비선형 성분 제거기로 구분된다. 선형 성분 제거기는 수신 신호에서 자기 간섭 신호의 선형 성분 추정값을 제거한다. 비선형 성분 추정기는 신경망에 송신단의 디지털 송신 신호와 선형 성분 추정기의 채널 계수를 입력해 획득한 자기 간섭 신호의 비선형 성분 추정값을 출력한다. 비선형 성분 제거기는 자기 간섭 신호의 선형 성분이 제거된 수신 신호에서 자기 간섭 신호의 비선형 성분 추정값을 제거한다.

비선형 성분 추정기에서 사용하는 신경망은 단순한 구조의 다층 퍼셉트론으로 단일 은닉층으로 구성되어 낮은 복잡도로 자기 간섭 신호를 추정한다. 신경망의 입력층, 은닉층, 출력층은 각각 52 개, 17 개, 2 개의 노드로 구성된다. 입력층에서 26 개의 노드에는 13 개 경로로 수신되는 디지털 송신 신호가 입력되며 나머지 26 개의 노드에는 각 경로에 해당하는 채널 정보가 전처리되어 입력된다. 신경망은 자기 간섭 신호의 비선형 성분을 출력하도록 학습된다. 학습이 완료된 신경망은 채널이 변하는 환경에서 추가 학습 없이 자기 간섭 신호 비선형 성분을 출력한다.

(2) 성능 분석

본 논문에서는 신경망 입력 신호 전처리 사용 여부에 따른 자기 간섭 제거 성능을 분석한다. 이때 자기 간섭 신호 수신 경로 수를 5~13 까지 변경해가며 자기 간섭 제거 성능을 비교한다.

그림 3은 시변 채널 환경에서의 신경망 입력 신호 전처리 사용 여부에 따른 자기 간섭 제거 성능을 비교한 그래프이다. 신경망 입력 신호 전처리를 사용한 경우 자기 간섭 신호의 수신 경로 수가 증가함에 따라 자기 간섭 제거 성능이 미세하게 저감된다. 반면 신경망 입력 신호 전처리를 사용하지 않은 경우 자기 간섭 제거 성능이 매우 빠르게 저감되며, 자기 간섭 신호 수신

경로가 10 개 이상인 경우 신경망이 자기 간섭 신호를 학습하지 못하였다.

자기 간섭 신호가 다중 경로로 수신되는 경우 각 경로로 수신되는 자기 간섭 신호의 수신 전력은 경로마다 크게 다르다. 이때 신경망은 혼합 신호에 대해 별도의 신호 처리가 없는 경우 수신 전력이 가장 큰 신호에 대해 학습이 이루어지므로 상대적으로 수신 전력이 낮은 경로의 자기 간섭 신호에 대해서는 학습이 원활하게 이루어지지 않는다. 따라서 신경망이 다중 경로로 수신되는 자기 간섭 신호를 학습하기 위해서는 신경망 입력 신호 전처리가 필수적이다.

III. 결론

본 논문에서는 시변 채널 환경을 위한 신경망 기반 자기 간섭 제거 기법의 신경망 입력 신호 전처리에 대한 성능 분석을 수행한다. 이를 통해 전력 크기가 서로 다른 자기 간섭 신호가 동시에 수신되는 상황에서 신경망 학습을 위해 신경망 입력 신호 전처리가 필수적임을 확인하였다. 이 결과를 기반으로 합성 신호가 수신되는 다른 시나리오에서의 신경망 기반 솔루션을 개발할 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 (No. 2022R1A4A1033830) 및 정보통신기획평가원 (No. 2021-0-00794, 3 차원 공간 이동 통신 기술 개발)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고 문헌

- [1] S. Goyal, et al., "Improving small cell capacity with common-carrier full duplex radios," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Comm. (ICC)*, Sydney, NSW, Australia, 2014, pp. 4987-4993.
- [2] D. Korpi, L. Anttila, and M. Valkama, "Nonlinear self-interference cancellation in MIMO full-duplex transceivers under crosstalk," *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.*, vol. 2017, no. 1, pp. 1-15, Feb. 2017.
- [3] A. Balatsoukas-Stimming, "Non-linear digital self-interference cancellation for in-band full-duplex radios using neural networks," in *Proc. IEEE 19th Int. Workshop on Signal Process. Advances in Wireless Commun. (SPAWC)*, Kalamata, Greece, 2018, pp. 1-5.
- [4] 공동현, 김상호, "채널 변화에 강인한 신경망 기반 full duplex 자기 간섭 제거,"
- [5] R. Li, A. Masmoudi, and T. Le-Ngoc., "Self-interference cancellation with nonlinearity and phase-noise suppression in full-duplex systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 67, no. 3, pp. 2118-2129, Mar. 2018.
- [6] H. Bouhadda, H. Shaiek, D. Roviras, R. Zayani, Y. Medjahdi, and R. Bouallegue, "Theoretical analysis of BER performance of non-linearly amplified FBMC/OQAM and OFDM signals," *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, vol. 2014, no. 60, pp. 1-16, May 2014.
- [7] Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000, Rec. ITU-R M.1225, Int. Telecommunications Union, Geneva, Switzerland, Feb. 1997.