

딥러닝 기반 시맨틱 통신 기술 동향

윤원준[°], 정소이[°], 박지홍⁺, 김종현[°]
고려대학교[°], Deakin 대학⁺

ywjoon95@korea.ac.kr, soyijung@korea.ac.kr,
jihong.park@deakin.edu.au, joongheon@korea.ac.kr

Deep Learning Based Semantic Communications

Won Joon Yun[°], Soyi Jung[°], Jihong Park⁺, Joongheon Kim[°]
Korea University[°], Deakin University⁺

요 약

본 논문은 차세대 통신 기술인 시맨틱 통신에 대해서 다룬다. 종래의 새년-위버 통신모델에서 송신자는 정보를 이진 비트로 인코딩하여 수신자에게 보낸다. 수신자는 이진 디코더를 이용하여 송신자가 보낸 정보를 복원하고, 이 때 비트에 의미를 부여하지 않으며 오로지 전달에만 초점을 맞추어 설계된 모델이다. 근래 가시화되고 있는 시맨틱 통신은 딥러닝 기반 인코더, 디코더를 이용하여 보내는 정보 본래의 의미 전달에 초점을 두는 기술이다. 본 논문에서는 시맨틱 통신에 대한 최근 연구 동향과 앞으로 해결해야 할 문제를 소개한다.

I. 서 론

새년-위버는 통신의 본질을 다음 세 단계 문제들로 정의하였다 [1]. 첫 번째 단계는 ‘비트’를 정확히 전달하는 문제, 두 번째 단계는 ‘의미’를 전달하는 문제, 세 번째 단계는 의미 전달을 수행함으로써 얻는 ‘효용’을 높이는 문제이다. 5G 이동통신에 이르기까지 통신은 첫 번째 단계 문제인 ‘새년-위버 통신모델’에 기반하여 송신자가 수신자에게 비트를 정확하고 빠르게 전달하는데 초점을 맞추어 발전하였다.

최근 딥러닝 및 자연어 처리 기술 발전에 힘입어, 5G 이후 이동통신 설계에서 새년-위버 통신모델에서 간과된 두 문제를 통합적으로 고려하려는 연구가 진행되고 있다 [2]. 이와 같이 ‘효용’을 고려한 ‘의미’ 전달에 초점을 맞춘 통신을 시맨틱 통신이라 한다. 시맨틱 통신은 그림 1 과 같이 기존 새년-위버 통신모델 위에 설계된다. 구체적으로 시맨틱 통신은, 비트 인코더-디코더로 구성된 새년-위버 통신 모델 전후에 의미와 효용을 고려할 수 있는 시맨틱 인코더-디코더를 추가하는 구조를 갖는다.

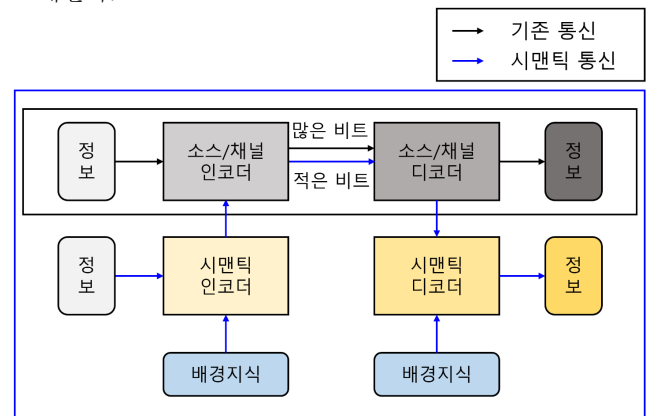
시맨틱 통신은 새년-위버 통신 대비 다음과 같은 새로운 이점을 갖는다. 우선, 시맨틱 인코더로 정보의 의미를 사전 파악함으로써 중요한 의미를 담은 정보만 비트화 하여 통신 부하를 줄일 수 있다. 또한, 시맨틱 디코더를 통해 목적 과업 달성에 불필요한 의미에 대해서는 비트 오류를 허용함으로써 통신 오류에 강인한 이득을 달성할 수 있다. 더 나아가, 시맨틱 인코더-디코더 간 양방향 통신을 통해 목적 과업 특성을 고려하여 의미를 인코딩하는 새로운 방식을 구현할 수 있다. 이는 정보의 정확한 송신 및 복원에 초점을 둔

기존 통신 과업을 넘어, 미래 예측 및 과거 회고 추론을 가능하게 한다.

본 논문에서는 차세대 통신 기술인 시맨틱 통신에 대한 동향을 다루며, 연구 방법과 주요 구조를 소개한다.

II. 본론

본 논문에서는 각 분야별 시맨틱 통신에 대한 연구를 소개한다.



[그림 1] 기존 새년-위버 통신 모델 및 시맨틱 통신 모델.

음성 신호 통신. [3]에서는 음성 신호를 전송하고, 음성 신호를 원 신호와 최대한 동일하게 복원하는 시나리오를 가정한다. 그림 1 과 같은 구조가 사용되었으며, 시맨틱 인코더와 시맨틱 디코더는 어텐션 매커니즘을 통해 학습한다. RNN 기반 어텐션 매커니즘을 통해 구해낸

컨텍스트 벡터는 각각 시맨틱 인코더와 시맨틱 디코더의 배경지식이 된다. [3]은 시맨틱 통신을 통해 필수적인 음성 정보를 추출하여 채널 인코더에 전달을 함으로써, 원본 데이터를 성공적으로 복원하는 기법에 대해 소개한다. 또한 통신 품질이 다양한 환경에서도 강건성을 지님을 확인하였다.

자연어 통신. 두 송수신자가 다른 언어를 사용하고 있다. 송수신자가 의사소통을 하려면 원 데이터를 전송하기 보다는, 본래의 의미를 전달한다면 수신자는 본래의 의미를 통해 성공적으로 맥락을 파악할 수 있다. [4]는 서로 다른 언어를 사용하는 자연어 데이터셋을 통신할 때, 최대한 원 의미를 복원하는 시나리오를 가정한다. [4]에서 시맨틱 인코더와 시맨틱 디코더는 자가 어텐션을 이용한 트랜스포머 기법으로 구성한다. 채널을 통해 전송되는 데이터가 원 데이터라면, 번역에 실패할 것이고, 전송되는 데이터가 원 데이터의 의미라면, 번역에 성공할 것이라는 전제한다. [4]는 시맨틱 통신을 통해 다양한 통신 환경에서 강건성을 지니면서 번역에 높은 성능을 보이면서 시맨틱 통신의 유효성을 보였다.

IoT 디바이스 통신. 많은 IoT 디바이스가 예지, 클라우드와 통신하기 위해서 네트워크 양자화를 진행해야 한다. 네트워크 양자화가 진행되면, 다중 기기의 접속이 가능하지만 정보 전송의 정확도가 낮아지게 된다. 이 때, 통신의 효율을 높이기 위해 시맨틱 통신이 제안된다. [5]에서는 데이터형이 4-bit, 8-bit, 원본으로 코딩된 데이터를 전송한 경우에 대해 전통적인 방법이라면 4-bit 으로 코딩하였을 때 성능이 매우 낮고, 8-bit 으로 코딩하였을 때 성능이 낮아야 한다. 그러나 시맨틱 통신을 하였을 때, 4-bit, 8-bit, 원본에 대한 성능이 거의 유사하다. 즉, 정보의 효율이 더 좋아진다.

멀티에이전트 강화학습 통신. [6]은 다중 UAV 가 위험 지역에 통신을 제공한다. 통신을 제공해야 하는 위험 지역에서 충돌을 하지 않으면서 초저지연을 보장하는 UAV 경로 최적화를 목적으로 한다. 에이전트가 어텐션 기반 시맨틱 인코더를 통해 만들어내는 시맨틱 정보를 다른 에이전트에게 공유함으로써 초저지연을 만족하고, 충돌하지 않는다.

III. 결론

지금까지 음성 신호 [3], 자연어 [4], IoT 디바이스 [5], 멀티에이전트 강화학습 [6] 등의 서비스 단계에서의 시맨틱 통신에 대해 동향을 소개하였다. 공통적으로 시맨틱 인코더 및 디코더에는 딥러닝 기술이 쓰였으며, 딥러닝 기술 중, 자가 어텐션, 멀티헤드 어텐션, 트랜스포머 등의 다양한 기법을 이용되었다. 시맨틱 통신을 이용한 성능이 전통적인 방법에 비해 더 좋다. 또한 시맨틱 통신은 기존의 전통적인 방법에 비해 데이터의 압축률이 더 좋다 [5]. 논문에 대한 AWGN, 레일리 페이딩, 라이시안 페이딩 등의 다양한 통신 환경에서 시맨틱 통신의 강건성을 보임을 확인하였다 [3, 4, 5]. 아직까지 시맨틱 통신에 대한 많은 연구가 진행되지는 않았지만, 앞서 소개한 문헌에 의거하여 기존의 통신 방법보다 효율적임을 확인하였다. 아직까지 연구 사례가 많지 않으며, 자연어 처리에 국한되어 있는 수준이다. 다양한 통신 네트워크 응용 분야에서 시맨틱 통신에 대한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신산업진흥원의 지원을 받아 수행됨. [S1607-21-1001, SW 안전기술 개발·보급 (가상물리시스템 안전·신뢰성 기술 검증체계 확보)] 또한 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2021-2017-0-01637)

참 고 문 헌

- [1] C. Shannon, "A mathematical theory of communication," The Bell System Technical Journal, vol. 27, no. 3, pp. 379-423, 1948.
- [2] E. C. Strinati, S. Barbarossa " 6G Networks: Beyond Shannon Towards Semantic and Goal-Oriented Communications," arxiv preprint, arXiv:2011.14844, 2020.
- [3] Z. Weng, Z. Qin and G. Y. Li, "Semantic Communications for Speech Signals," arxiv preprint arxiv:2012.05369, 2020.
- [4] H. Xie, Z. Qin, G. Y. Li and B. -H. Juang, "Deep Learning Enabled Semantic Communication Systems," in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 69, pp. 2663-2675, 2021
- [5] H. Xie and Z. Qin, "A Lite Distributed Semantic Communication System for Internet of Things," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 39, no. 1, pp. 142-153, Jan. 2021
- [6] W. J. Yun, B. Lim, S. Jung, Y.-C Ko, J. Park, J. Kim, and M. Bennis, "Attention-based Reinforcement Learning for Real-Time UAV Semantic Communication," arxiv preprint arXiv:2105.1071, 2021.