

시멘틱 통신의 멀티태스크 학습 기술 동향

이승찬, 이동현, 홍성훈, 조성래
중앙대학교 컴퓨터공학과

{sclee, dhlee, shhong}@uclab.re.kr, srcho@cau.ac.kr

A Survey on Multi-Task Learning Techniques in Semantic Communications

Seungchan Lee, Donghyun Lee, Seonghun Hong, and Sungrae Cho
Dept. of Computer Science and Engineering
Chung-Ang University

요약

시멘틱 통신은 데이터의 의미를 중심으로 정보를 압축하고 전송하는 새로운 통신 패러다임으로, 전송 효율성과 지능형 해석 능력을 동시에 추구한다. 기존 연구는 주로 단일 목적에 집중되어 있었으나, 실제 응용에서는 복수의 의미 기반 태스크를 동시에 고려할 필요성이 커지고 있다. 이에 따라 본 논문은 멀티태스크 학습이 시멘틱 통신의 표현력과 일반화 능력을 향상시키는 유망한 접근으로 주목받고 있다. 본 논문은 시멘틱 통신과 멀티태스크 학습의 융합 가능성을 중심으로, 관련 기술 동향을 정리한다.

I. 서론

시멘틱 통신은 원시 데이터를 그대로 보내는 대신 의미 있는 정보만을 추출하여 전송함으로써 통신 효율을 크게 높이는 차세대 패러다임으로 부상하고 있다. 기존의 시멘틱 통신 연구들은 주로 단일 과제(예: 고화질 이미지 복원)에 집중했지만, 최근에는 하나의 전송으로 복원, 인식 등 여러 과제를 동시에 달성할 수 있는 멀티태스크 학습 기반 시멘틱 통신의 필요성이 대두되고 있다[1], [2]. 멀티태스크 학습을 적용하면 하나의 신경망 인코더가 추출한 공용 표현을 통해 수신 측에서 이미지 재구성뿐 아니라 분류, 탐지 등의 다양한 작업을 수행할 수 있어 전송 자원의 활용을 최적화할 수 있다[3]. 이에 따라 시멘틱 통신 기반 이미지 전송 분야에서는 이러한 멀티태스크 지원 기법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

II. 본론

초기 연구에서는 딥러닝 기법 Joint Source-Channel Coding (JSCC) 기법을 통해 하나의 압축 표현으로 이미지 복원과 분류 두 가지 과제를 동시에 수행하는 가능성이 제시되었다. 예를 들어 [3]은 이미지 전송을 위한 심층 JSCC 모델을 통해 이미지를 복원함과 동시에 객체 분류를 수행하여, 기존 분리 전송 대비 낮은 SNR 환경에서도 높은 분류 정확도를 달성하는 것을 보여주었다. 나아가 다중 과제에서 특징 표현의 효율적 추출이 성능의 관건이 되면서, 한 인코더로 다양한 시각 과제를 잘 수행하기 위한 방법들이 연구되었다. [4]는 인코더의 중간 계층에서 나온 특징들 간 관계를 그래프 형태로 표현하고 어텐션 메커니즘으로 과제 간 상관성을

학습하는 그래프 어텐션 인터블록(GAI) 모듈을 제안하였다. 이를 통해 한정된 대역폭에서도 인코더가 세그멘테이션, 깊이 추정 등 여러 영상 분석 과제에 필요한 정보를 효율적으로 담아 보낼 수 있으며, 실제 Cityscapes 및 NYU V2 등 다중 과제 벤치마크에서 기준 대비 3~11%가량 성능 향상을 보였다.

멀티태스크 시멘틱 통신의 성능과 유연성을 높이기 위해 채널 환경이나 과제 변화에 적응하는 기술도 도입되고 있다. [5]은 마스킹 오토인코더(MAE) 기반의 인코더 구조를 활용하여 다중 과제 간 의미 중요도 점수를 산정하고, 채널 상태에 따라 중요한 특징만 선택적으로 전송함으로써 주어진 자원 내에서 이미지 복원과 객체 탐지 성능을 최대화하도록 했다. 한편 [6]는 인코더를 미리 공용 학습해 두고 각 과제별 디코더가 이를 활용하도록 하는 비동기식 멀티태스크 프레임워크를 제안하였다. 이 방법은 대조학습을 통해 인코더를 훈련시킨 후 고정함으로써, 여러 작업을 비동기적으로 처리하거나 새로운 과제를 추가할 때도 재학습 부담 없이 효율적으로 대응할 수 있게 한다.

최신 연구에서는 생성 모델 등 멀티태스크 학습의 발전된 기법을 시멘틱 통신에 접목하여 성능을 더욱 향상시키고 있다. [7]은 지식 베이스를 송신기와 수신기에 각각 구축하고, 송신기에서는 스원 트랜스포머 기반 계층적 인코더로 다중 수준의 의미 특징을 추출하며 수신기에서는 과제별 복원 모듈로 지식을 재생성하는 생성적 시멘틱 통신 구조를 선보였다. 특히 이미지 복원 디코더에 확산 모델(diffusion model)을 적용함으로써, 동일한 전송으로 이미지 재생성과 세그멘테이션 두 과제를 모두 수행할 수 있었고 기준 단일 과제 시스템 대비 우수한 성능을 입증하였다. 이처럼 최첨단 딥러닝 기법들을 활용한 멀티태스크

시멘틱 통신은 이미지 전송 효율과 지능형 서비스 품질을 한층 높여주는 것으로 나타나고 있다.

III. 결론

멀티태스크 학습 기반 시멘틱 이미지 전송 기술은 한 번의 무선 전송으로 다양한 이미지 기반 인텔리전스 서비스를 제공할 수 있는 잠재력으로 인해 6G 시대의 핵심 기술로 주목받고 있다. 최근 연구 동향을 보면, 공동 인코딩을 통한 다중 과제 동시 수행이 통신 자원 절감과 성능 향상에 기여함이 확인되었다. 다만 실제 대규모 네트워크에 적용하기 위해서는 확장성, 범용성 및 신뢰성 측면의 추가 과제가 남아 있다. 예를 들어, 과제가 늘어나거나 변경될 때 효율적으로 모델을 업데이트하는 비동기적 전송 구조, 도메인 간 지식 전달, 그리고 보안/프라이버시 보장 등이 향후 연구될 주요 방향이다. 그럼에도 불구하고 멀티태스크 시멘틱 통신은 전송 효율과 지능형 서비스 품질을 동시에 극대화할 수 있는 혁신적 접근으로서, 향후 자율주행, 원격 의료, 산업 IoT 등 다양한 분야에 걸쳐 큰 파급효과를 가져올 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로
정보통신기획평가원-대학 ICT 연구센터(ITRC)의 지원(IITP-
2025-RS-2022-00156353, 50%)과
정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No.
RS-2024-00453301)을 받아 수행된 연구임

참 고 문 헌

- [1] S. Park, H. Baek and J. Kim, "Spatio-Temporal Multi-Metaverse Dynamic Streaming for Hybrid Quantum-Classical Systems," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 32, no. 6, pp. 5279–5294, Dec. 2024.
- [2] S. Park, H. Baek and J. Kim, "The Matrix: Quantum AI for Interacting Two Worlds in Prioritized Metaverse Spaces," *IEEE Communications Magazine*, vol. 62, no. 12, pp. 97–103, December 2024.
- [3] Z. Lyu, G. Zhu, J. Xu, B. Ai and S. Cui, "Semantic Communications for Image Recovery and Classification via Deep Joint Source and Channel Coding," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 23, no. 8, pp. 8388–8404, Aug. 2024.
- [4] X. Yu, T. Lv, W. Li, W. Ni, D. Niyato and E. Hossain, "Multi-Task Semantic Communication With Graph Attention-Based Feature Correlation Extraction," in *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 24, no. 5, pp. 4371–4388, May 2025.
- [5] X. Chen et al., "Take What You Need: Flexible Multi-Task Semantic Communications with Channel Adaptation," arXiv:2502.08221, Feb. 2025.
- [6] Z. Tian, H. Vo, C. Zhang, G. Min and S. Yu, "An Asynchronous Multi-Task Semantic Communication Method," in *IEEE Network*, vol. 38, no. 4, pp. 275–283, July 2024.
- [7] W. Yuan et al., "Generative Semantic Communication for Joint Image Transmission and Segmentation," arXiv:2411.18005, Nov. 2024.