

분산 의미론적 통신 시스템에 대한 동향 연구

원동욱*, 홍성훈*, 신용구**, 백정엽*, 조성래*

*중앙대학교, **고려대학교

{dwwon, shhong}@uclab.re.kr, ygshin92@korea.ac.kr,

jpaek@cau.ac.kr, srcho@cau.ac.kr

A Comprehensive Survey of Distributed Semantic Communication Systems

Dongwook Won*, Seonghun Hong*, Yonggoo Shin**, Jeongyeup Paek*, Sungrae Cho*

*Chung-Ang Univ., **Korea Univ.

요약

분산 의미론적 통신 시스템(Distributed Semantic Communication System, DSCS)은 정보 및 통신 기술의 발전에 따라 점차 중요해지고 있는 연구 분야로, 데이터의 양적인 측면을 넘어서 그 의미론적인 측면에 초점을 맞추고 있다. 이 연구는 특히 IoT 환경과 자율 주행 네트워크와 같은 고도로 연결된 환경에서 중요성을 지닌다. 본 서베이는 DSCS의 다양한 측면을 조사하고, 최신 연구 동향을 파악하여 향후 연구 방향에 대한 통찰력을 제공한다. 여기에는 IoT 환경을 위한 경량화된 DSCS, 자율 주행 네트워크를 위한 분산 학습 아키텍처, 협력적 스펙트럼 감지를 위한 통합된 DSCS 및 공중 통신 계산, 무선 네트워크에서 의미 정보의 복구, 이미지 데이터의 분산 의미론적 무선 전송을 위한 통신 효율성 프레임워크, 다변량 시계열 데이터를 위한 분류 지향적 분산 의미론적 통신 시스템 등 다양한 연구가 포함된다. 본 서베이는 DSCS의 중요한 역할과 지속적인 발전 가능성을 강조하며, 각 연구를 통해 이 분야의 전반적인 발전 방향과 현재의 도전 과제를 이해한다. DSCS는 데이터의 의미를 중심으로 한 통신 방식의 재구성을 통해 통신의 효율성을 극대화하는 새로운 패러다임을 제시하며, 정보와 통신 기술 분야에서 중요한 발전으로 평가된다.

I. 서론

분산 의미론적 통신 시스템(Distributed Semantic Communication System, DSCS)은 정보와 통신 기술의 급격한 발전에 따라 중요성이 증대되고 있는 연구 분야이다. 이 시스템은 데이터의 양적인 측면을 넘어서 그 의미론적인 측면, 즉 데이터의 '의미'에 초점을 맞추고 있다. 이러한 접근법은 IoT와 자율 주행 네트워크와 같이 고도로 연결된 환경에서 특히 중요하다. 전통적인 통신 시스템이 데이터의 정확한 전송에 중점을 두었던 것과 달리, DSCS는 대량의 데이터 전송이 초래하는 대역폭의 제한과 효율성 저하라는 문제를 극복하기 위해 데이터의 의미를 중심으로 통신 방식을 재구성함으로써 통신의 효율성을 극대화하고자 한다.

본 서베이의 목적은 분산 의미론적 통신 시스템의 다양한 측면을 조사하고, 해당 분야의 최신 연구 동향을 파악하여 향후 연구 방향에 대한 통찰력을 제공하는 것이다. 이를 위해 최신 학술 논문 및 산업 기술 동향을 포괄적으로 검토하고, 각 연구의 주요 발견, 사용된 방법론 및 도출된 결론을 분석한다. 이러한 분석을 통해 DSCS의 현재 상태를 평가하고 미래의 발전 가능성을 탐색한다.

본 서베이를 통해 독자들은 DSCS의 핵심 개념과 적용 사례, 기술적 과제 및 해결 방안에 대한 깊은 이해를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 이

분야에서의 연구 기회 및 산업 응용 가능성에 대한 시사점을 제공할 것이다.

II. 본론

분산 의미론적 통신 시스템(DSCS)은 정보와 통신 기술의 급격한 발전에 따라 그 중요성이 점차 강조되고 있다. 이 시스템은 전통적인 데이터의 양적 측면을 넘어서, 의미론적 측면에 초점을 맞추어 데이터 전송의 효율성과 정확성을 향상시키는 새로운 접근 방식을 제시하고 있다. 이러한 접근은 특히 IoT 환경과 자율 주행 네트워크와 같은 고도로 연결된 환경에서 중요한 의미를 지니며 [1],[2], 이 분야의 연구는 다양한 방면에서 진행되고 있다.

IoT 환경을 위한 경량화된 DSCS 연구[1]는 제한된 자원과 네트워크 대역폭의 제약을 고려하여, 데이터 전송의 효율성을 높이는 데 방법을 탐구하였다. 이 연구는 IoT 기기에서 수집된 데이터의 의미를 보존하면서 필요한 정보만을 효율적으로 전송함으로써 전체 시스템의 효율성을 향상시키는 방법을 제시했다. 이러한 접근은 IoT 기기의 통신 능력을 극대화하고, 네트워크의 부담을 줄이는 데 기여한다.

자율 주행 네트워크를 위한 분산 학습 아키텍처 연구[2]는 차량 간의 데이터 전송 및 작업 분배를 최적화하기 위해 개발되었다. 이 아키텍처는 개인정보 보호를 보장하면서 모델의 개인화 및 협업을 효과적으로

지원한다. 특히, 자율 주행 차량이 겪는 복잡한 통신 요구를 충족시키고 데이터 처리 및 통신의 효율성을 크게 향상시키는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

협력적 스펙트럼 감지를 위한 통합된 DSCS 와 공중 통신 계산에 관한 연구[3]는 무선 네트워크의 주파수 자원 사용의 효율성을 향상시키는 새로운 방법을 탐구했다. 이 연구는 기존의 스펙트럼 감지 방법에 비해 우수한 성능을 보이며, 감지 성능, 견고성 및 확장성 면에서 탁월한 결과를 보여준다. 이러한 접근은 무선 네트워크의 효율적인 활용 및 발전에 중요한 기여를 한다.

무선 네트워크에서 의미 정보를 복구하는 연구[4]는 통신 시스템에서 정보의 중요한 의미를 유지하면서 데이터 전송 효율성을 높이는 방법을 모색했다. 이 연구는 무선 통신에서 의미 정보의 정확한 복구와 데이터 전송 효율성을 높이는 방법에 대한 중요한 시사점을 제공한다. 또한, 이미지 데이터의 분산 의미론적 무선 전송을 위한 통신 효율성 프레임워크 연구[5]는 고해상도 이미지 전송의 대역폭 문제에 대한 해결책을 제시한다. 이 프레임워크는 다양한 사용자 간의 멀티미디어 소스를 고려하여, 분산된 시나리오에서의 작업 적응 및 효율적인 이미지 전송을 가능하게 하는 방법을 개발했다. 마지막으로, 다변량 시계열 데이터를 위한 분류 지향적 분산 의미론적 통신 시스템 연구[6]는 페더레이티드 학습 (Federated Learning) 기반 아키텍처를 도입하여, 다양한 SNR 시나리오에서 강인하며, 저 SNR 에서 더 나은 정확도 성능을 보이는 시스템을 제안했다. 이 시스템은 다변량 시계열 데이터의 효과적인 처리와 분류에 중점을 두었다.

이러한 연구들을 통틀어 보면, DSCS 는 통신 기술의 다양한 분야에서 중요한 역할을 하고 있으며, 앞으로도 지속적인 발전 가능성이 크다는 것을 알 수 있다. 각 연구는 DSCS 의 특정 측면에 중점을 두고 있으며, 이러한 연구들을 통해 DSCS 의 전반적인 발전 방향과 현재의 도전 과제를 이해할 수 있다.

III. 결론

현재 연구들을 종합적으로 고려할 때, 분산 의미론적 통신 시스템은 정보와 통신 기술 분야에서 매우 중요한 역할을 하고 있으며, 그 중요성은 앞으로도 계속 증가할 것으로 예상된다. 각 연구는 DSCS 의 특정 측면에 중점을 두고 있으며, 이를 통해 DSCS 의 전반적인 발전 방향과 현재의 도전 과제를 이해할 수 있다. DSCS 연구의 진전은 IoT, 자율 주행 네트워크, 무선 네트워크 등 다양한 분야에서의 응용을 가능하게 하며, 이는 향후 연구 및 산업 응용에 있어 중요한 시사점을 제공한다. DSCS 는 데이터의 의미를 중심으로 한 통신 방식의 재구성을 통해 통신의 효율성을 극대화하는 새로운 패러다임을 제시하며, 이는 정보와 통신 기술 분야에서의 중요한 발전으로 평가될 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터육성지원사업 (IITP-2024-RS-2022-00156353) 및 2022 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022R1A4A5034130).

참 고 문 헌

- [1] Xie, H., & Qin, Z. (2020). A lite distributed semantic communication system for Internet of Things. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 39(1), 142-153.
- [2] Zheng, G., Ni, Q., Navaie, K., Pervaiz, H., & Zarakovitis, C. (2023). A Distributed Learning Architecture for Semantic Communication in Autonomous Driving Networks for Task Offloading. *IEEE Communications Magazine*, 61(11), 64-68.
- [3] Yi, P., Cao, Y., Kang, X., & Liang, Y. C. (2023). Integrated Distributed Semantic Communication and Over-the-air Computation for Cooperative Spectrum Sensing. *arXiv preprint arXiv:2311.04791*.
- [4] Beck, E., Bockelmann, C., & Dekorsy, A. (2023). Semantic information recovery in wireless networks. *Sensors*, 23(14), 6347.
- [5] Xie, B., Wu, Y., Shi, Y., Ng, D. W. K., & Zhang, W. (2023). Communication-Efficient Framework for Distributed Image Semantic Wireless Transmission. *IEEE Internet of Things Journal*.
- [6] Zhao, B., Xing, H., Wang, X., Xiao, Z., & Xu, L. (2023). Classification-Oriented Distributed Semantic Communication for Multivariate Time Series. *IEEE Signal Processing Letters*.