

센싱과 통신의 결합 서비스를 위한 전송률-분할 다중 접속 기술 동향

장석빈, 심성훈, 김가영, 김나현, 이병주
인천대학교

{todghkfsla, tjdgns169, gykim7, nhkim, bjlee}@inu.ac.kr

Recent Trends in Rate-Splitting Multiple Access Technologies for Integrated Sensing and Communication Services

Sukbin Jang, Sunghoon Shim, Gayeong Kim, Nahyun Kim, Byungju Lee
Incheon National University

요 약

통신과 센싱은 각각 스펙트럼 효율성 최대화와 목표 탐지 정확도 향상을 목표로 독립적으로 활용되어 왔다. 최근 다양한 폼팩터의 단말의 증가와 함께 통신과 센싱 기능을 동시에 담당하는 시스템 수요가 증가함에 따라 통합 센싱 및 통신(ISAC) 기법이 6G 주요 후보 기술 중 하나로 많은 관심을 얻고 있다. 하지만 통신과 센싱의 복합 시스템의 설계는 기능 간, 기능 내 간섭 문제 등을 해결해야 한다. 이에 따라 효과적이고 견고한 간섭관리를 가능하게 하는 RSMA를 ISAC 기법과 결합하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 RSMA-ISAC의 최근 연구동향과 적용 분야에 대해 살펴본다.

I. 서 론

통합 센싱 및 통신(Integrated Sensing and Communication, ISAC)은 6G 시대의 다양한 폼팩터의 단말들에 대해 요구되는 높은 전송률과 강력한 센싱 기능을 충족할 수 있는 주요 후보 기술로 제안되고 있다. ISAC은 센싱과 통신 기능을 통합하는 방식으로 두 기능의 복합 시스템의 설계는 기능 간, 기능 내 간섭 문제 등이 발생하게 된다. 이에 따라 효과적이고 견고한 간섭 관리를 가능하게 하는 전송률-분할 다중 접속(Rate-Splitting Multiple Access, RSMA) 기법을 적용할 수 있다. 전송률-분할 다중 접속 기술은 송신단에서 사용자의 메시지를 공통 부분과 개인 부분으로 분할한 후, 수신자가 순차적 간섭 제거(Successive Interference Cancellation, SIC)를 적용해 공통 부분을 디코딩하고 제거한 다음 개인 메시지를 디코딩한다 [1]. 본 논문에서는 전송률-분할 다중 접속 기법을 통합 센싱 및 통신 시스템에 결합한 RSMA-ISAC의 연구 동향을 살펴보고 적용 가능한 다양한 ISAC 시나리오들에 대해 알아본다.

II. 통합 센싱 및 통신 기술 동향

통합 센싱 및 통신 기법은 센싱 기능을 기반으로 위치 파악 등을 통해 보다 정확한 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)를 얻을 수 있게 하여 정밀한 빔 포밍 수행을 가능하게 한다. ISAC 기반 제스처 및 활동 인식 기술은 다양한 해상도와 정확도를 제공하여 카메라 기반 활동 인식 기술에 비해 개인 정보 노출을 최소화할 수 있다 [2]. 이러한 특성으로 인해 ISAC은 다양한 애플리케이션에도 사용될 수 있다. 특히, 밀리미터파(mmWave) 대역에서 ISAC을 사용할 때는 고해상도 센싱 작업에도 적용 가능하며, 이는 자율주행 자동차나 보안 시스템에서도 유용하게 활용될 수 있다 [3]. ISAC 시스템에서의 파형 디자인은 통신의 스펙트럼 효율 향상, 센싱에서의 목표 탐지 정확도 향상을 모두 고려해야 한다. 최

근 통신과 센싱에 대해 동일한 전송 파형을 공유하는 공동 파형 디자인 프레임워크 연구가 진행되고 있다 [3]. 또한, ISAC에서는 통신과 센싱 기능 간 간섭이 발생할 수 있게 되는 데, 전송률-분할 다중 접속 기법을 통합 센싱 및 통신 시스템에 결합한 RSMA-ISAC이 견고한 간섭 관리를 달성할 수 있다는 것을 보였다. 특히, 전송률-분할 다중 접속 기법은 평균 제곱 오차 (Mean Square Error, MSE)와 가중 합용량 (Weighted Sum Rate, WSR) 간 트레이드오프를 향상시켜 기존의 다중 접속 기법인 공간 분할 다중 접속(Space Division Multiple Access, SDMA) 기법에 비해 향상된 성능 결과를 보였다 [4,5].

III. RSMA-ISAC 기술 동향

불완전한 채널 상태 정보에 강인한 전송률-분할 다중 접속 기법은 통합 센싱 및 통신 시스템에 적용되어 RSMA-ISAC 시스템 내 통신과 센싱 기능 간 간섭, 통신 내 간섭, 센싱 내 간섭 관리를 가능하게 하며 전송률-분할 다중 접속 기법의 공통 메시지가 레이더 센싱의 역할을 할 수 있다 [5]. 본 장에서는 RSMA-ISAC의 최근 연구 동향에 대해 살펴본다.

3.1 RSMA-ISAC 기반 저궤도 위성 통신

글로벌 커버리지 달성 및 목표 탐지를 위해 통신과 레이더를 동시에 수행하는 저궤도 위성이 주목을 받고 있다. 통합 센싱 및 통신 시스템이 스펙트럼 효율성을 향상시킬 수 있다는 점에서 지상 네트워크 뿐만 아니라 비지상 네트워크에서도 활용이 고려되고 있다. 효과적인 간섭 관리를 위해 전송률-분할 다중 접속 기법은 송신단에서 메시지를 공통 부분과 개인 부분으로 나누고 위성 게이트웨이에서 인코딩을 한 후 순차적 간섭 제거 기법을 적용해 디코딩 함으로써 위성에서의 불완전한 채널 상태 정보에 대해서도 강인함을 가지게 된다 [6].

3.2 RSMA-ISAC 기반 우주-공중-지상 통합 네트워크

우주-공중-지상 통합 네트워크에서 통합 센싱 및 통신 기법의 다양한 비지상 단말인 무인 항공기(Unmanned

Aerial Vehicle, UAV), 고고도 플랫폼 스테이션(High Altitude Platform Station, HAPS) 등이 이동성을 갖고 통신 및 센싱 기능을 수행할 것으로 기대된다 [4]. 그림 1 은 우주, 공중, 지상 간 통신 및 센싱 기능을 동시에 수행하는 예시를 보여준다.

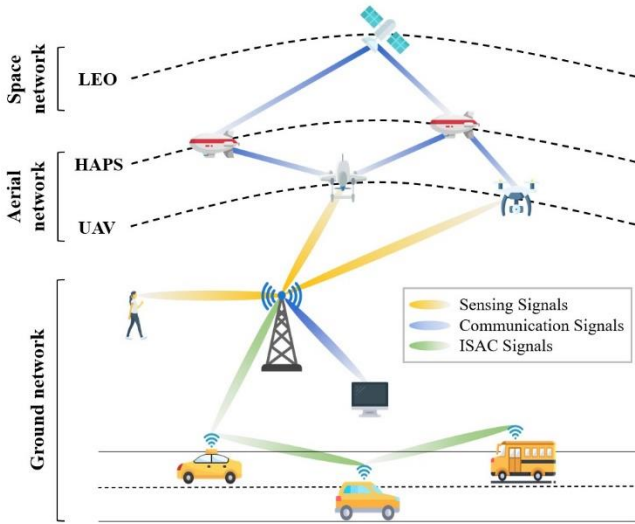


그림 1. 통합 센싱 및 통신 기반 차세대 통신 네트워크

3.3 RSMA-ISAC 기반 차량-사물 통신

통합 센싱 및 통신 시스템 기반의 차량-사물 통신은 차세대 통신 시스템의 유망한 시나리오 중 하나로, 밀리미터파 대역에서의 빔포밍 기술을 활용하여 방대한 센싱 데이터를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 데이터는 교통 효율성 향상 및 안전한 도로 제공에 기여할 것으로 기대된다. 차량-사물 통신과 같이 이동성이 높은 환경에서는 저지연과 높은 신뢰성이 필요한데, 고속 통신 기술과 통합 센싱 및 통신 시스템의 정밀한 목표 탐지 능력, 전송률-분할 다중 접속 기술의 불완전한 채널 상태 정보에 대한 강인성을 결합하여 사용할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 클라우드 엣지 컴퓨팅 기술을 통합 센싱 및 통신 시스템에 적용함으로써 데이터 세트를 수집하여 생성하는 과정인 센싱과 특징을 전송 및 업로드 하는 과정인 통신을 통합할 수 있다 [7]. 통합 센싱 및 통신 시스템은 센싱 과정에서 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 및 머신 러닝(Machine Learning, ML)에 대한 실시간 데이터를 제공하여 알고리즘의 학습과 최적화를 지원한다. 또한, 대규모 다중 입출력(Massive MIMO) 기술에서 생기는 간섭을 전송률-분할 다중 접속 기법을 통해 효과적으로 완화시켜 차량-사물 통신 네트워크에서 실시간 센싱 데이터의 높은 정확도를 신속하게 구현할 수 있게 된다 [8].

IV. 결론

본 논문에서는 6G의 주요 후보 기술 중 하나인 통합 센싱 및 통신 시스템 기술 동향을 살펴보고 전송률-분할 다중 접속 기술을 통합 센싱 및 통신 시스템에 결합한 RSMA-ISAC의 최근 연구 동향을 살펴보았다. 특히, 저궤도 위성과 결합할 때 전송률-분할 다중 접속 기술의 공통 메시지가 레이더 센싱 역할을 수행하면서 메시지 분할을 사용하여 저궤도 위성시스템 내에서 사용자 간 간섭을 완화시킬 수 있음을 확인하였다. RSMA-ISAC은 차세대 통신 시스템에서 통신과 센싱 기능 모두를 지원하고 기능 간, 기능 내의 간섭을 효과적으로 완화할 수 있다는 점에서 6G의 핵심 기술로 자리 잡을 것으로 예상된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-002524), 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터산업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2023-RS-2023-00259061)

참고 문헌

- [1] K. Chen, Y. Mao, L. Yin, C. Xu, and Y. Huang, "Rate-Splitting multiple access for simultaneous Multi-User communication and Multi-Target Sensing," arXiv (Cornell University), Jun. 2023, arXiv:2306.06458.
- [2] J. Liu, H. Liu, Y. Chen, Y. Wang, and C. Wang, "Wireless Sensing for Human Activity: A survey," in IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 22, no. 3, pp. 1629-1645, Jan 2020.
- [3] D.K.P. Tan, J. He, Y. Li, A. Bayesteh, Y. Chen, P. Zhu, W. Tong, "Integrated Sensing and Communication in 6G: Motivations, Use Cases, Requirements, Challenges and Future Directions," 2021 1st IEEE International Online Symposium on joint Communications & Sensing (JC&S), pp. 1-6, Feb 2021.
- [4] L. Yin, Y. Mao, O. Dizdar, and B. Clerckx, "Rate-Splitting Multiple Access for 6G-Part II: Interplay with integrated sensing and communications," in IEEE Communications Letters, vol. 26, no. 10, pp. 2237-2241, Oct. 2022.
- [5] C. Xu, B.Clerckx, S. Chen, Y. Mao, and J.Zhang, "Rate-Splitting multiple access for Multi-Antenna joint radar and communications," in IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 15, no.6, pp. 1332-1347, Nov. 2021.
- [6] Y. Li, Z. Liu, M.R.B. Shankar, M.Alaee-Kerahroodi, and B. Clerckx, "Integrated sensing and communications enabled low Earth orbit satellite systems," arXiv(Cornell University), Apr. 2023, arXiv:2304.00941.
- [7] T. Zhang, G. Li, S. Wang, G. Zhu, G. Chen and R. Wang, "ISAC-Accelerated Edge Intelligence: Framework, Optimization, and Analysis," in IEEE Transactions on Green Communications and Networking, vol. 7, no. 1, pp. 455-468, Mar 2023.
- [8] X. Liu, H. Zhang, K. Sun, K. Long, and G.K. Karagianidis, "AI-driven integration of sensing and communication in the 6G era," in IEEE Network, p. 1. Jan. 2023.