

# 위성 통신 환경에서의 생성 모델을 이용한 자원 할당 최적화 기법에 대한 고찰

이혜인<sup>1</sup>, 김수영<sup>1,\*</sup>, 오대섭<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> 전북대학교, <sup>2</sup> 한국전자통신연구원

leehyein96@jbnu.ac.kr, sookim@jbnu.ac.kr\*, trap@etri.re.kr

## A Review of Resource Allocation Optimization Techniques using Generative Models in Satellite Communication Environments

Hyein Lee<sup>1</sup>, Sooyoung Kim<sup>1,\*</sup>, Daesub Oh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jeonbuk National University

<sup>2</sup>Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

### 요약

본 논문은 위성 통신 환경에서의 생성 모델을 이용하여 자원 할당 효율성을 높일 수 있는 가능성을 분석한 결과를 제시한다. 기존의 주파수 자원 할당 방식에서는 요구 트래픽량이 시스템의 허용 한계를 초과하였을 때 할당이 불가능하거나, 요구하는 트래픽 양을 만족시킬 수 없다는 문제점이 있었다. 본 논문에서는 출력에 비해 입력 데이터의 크기가 현저히 작은 text-to-image 생성 모델을 이용하여 채널 환경과 요구 트래픽에 따라 최적 대역폭을 결정하고 요구 트래픽을 만족시킬 수 있는 방안을 제시한다. 이는 위성의 한정된 대역폭 및 에너지 자원의 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

### I. 서론

최근 주목받고 있는 의미 통신 (semantic communication)은 데이터를 비트 단위로 전송하는 데 주력하는 전통적인 통신 시스템과 달리 데이터의 의미를 전달하는 데 초점을 두는 통신 방식이다. 이러한 의미 통신을 구현하기 위해 최근 비약적으로 발전한 생성 인공지능(artificial intelligence; AI)을 이용하여 전체 데이터에 비해 크기가 현저히 작은 생성 AI의 입력만을 전달하여 단말에서 사용자가 직접 데이터를 생산하게 하는 새로운 통신프레임이 제시된 바 있다 [1].

초성능·초대역·초공간·초정밀·초지능을 목표로 하는 6G 시대가 다가옴에 따라 최근 주목받고 있는 또 하나의 통신 트렌드는 위성 통신이다. 그러나 전력을 직접적으로 제공할 수 없는 위성의 특성상 전력은 매우 값비싼 자원이기 때문에 효율적인 운용이 필수적으로 요구된다.

본 논문에서는 생성 AI를 이용하여 위성 통신에서 전력을 효율적으로 운용할 수 있는 자원 할당 알고리즘을 제시하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 방식은 각 사용자들의 대역폭 및 전력을 할당하는 최적화문제와, 요구되는 트래픽 용량을 모두 제공할 수 있도록 하기 위하여 생성 AI 기능이 탑재된 단말을 보유하고 있는 사용자 (generative user; GU)의 비율을 정하는 두개의 최적화 문제로 분리하여, 낮은 복잡도를 가지면서도 효과적으로 자원할당이 가능할 수 있도록 하는 방식이다. 따라서 제안된 방식은 셀의 트래픽 요구가 비균일하거나 시스템의 허용 한계를 초과할 때에도 자원 할당이 가능할 것으로 기대된다.

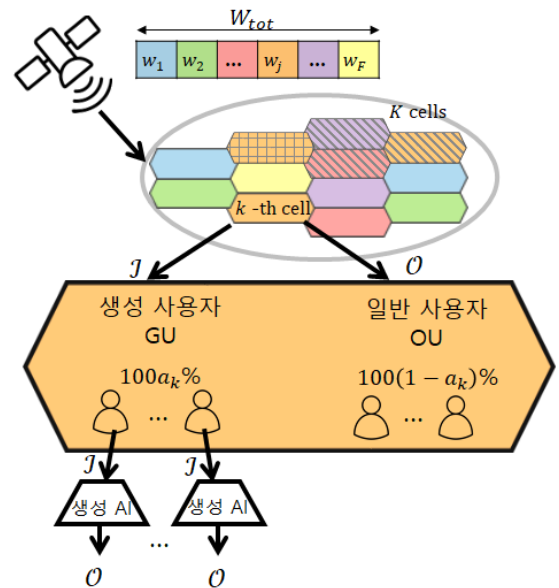


그림 1 생성 AI를 이용한 주파수 자원 할당 시나리오

### II. 생성 AI를 이용한 위성 통신 자원 할당 최적화

그림 1은 생성 AI를 이용한 주파수 자원 할당 시나리오를 나타낸다. 위성 시스템 자원 할당 시스템의 주파수 재사용 인자는  $F$ 이고,  $w_j$ 는  $j$ 번째 부 주파수 대역의 크기,

$W_{tot}$ 는 시스템의 가용한 전체 대역폭이며, 총  $K$ 개의 셀을 가정한다.

각 셀의 지형적, 시간적 특성에 따라 변화하는 채널 특성을 고려하여 데이터 송수신에 소비하는 전력을 최적화하기 위해 임의의  $k$ 번째 셀의 GU 비율을  $a_k$ 라고 하자. GU는 위성으로부터 원본 데이터, 즉, 이미지  $\mathcal{O}$ 를 수신하는 대신 해당 이미지를 생성할 수 있는 프롬프트  $\mathcal{J}$ 를 수신하여 생성 AI를 이용해 직접 이미지를 생성하는 사용자이고, 일반 사용자(offloading user; OU)는 위성으로부터 이미지  $\mathcal{O}$ 를 직접 수신하는 사용자이다.

위와 같은 의미 통신을 이용한 자원 할당은 GU의 비율 벡터  $\mathbf{a} = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_K]$ 와 최적 대역폭 벡터  $\mathbf{W} = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_F]$ 를 결정하는 두 개의 최적화 문제로 분리된다. 먼저,  $\mathbf{a}$ 를 결정하는 최적화 문제는 다음과 같다.

$$\min_{\mathbf{a}} \left( R_{off} - \sum_k (a_k R_I + (1 - a_k) R_{O,k}) \right)^2 \quad (1-a)$$

$$\text{s.t. } a_k \in [0,1],$$

$$\sum \text{sgn}(a_k) = n,$$

여기서,  $R_I$ 는 프롬프트의 크기,  $R_{O,k}$ 는  $k$ 번째 셀의 모든 사용자의 이미지 데이터 크기의 합,  $n$ 은 생성 셀의 개수이다. 이때, 모든 GU의 프롬프트 크기는  $R_I$ 로 일정하고  $R_I \ll R_{O,k}$ 이며,  $a_k \neq 0$ 이면  $k$ 번째 셀은 생성 셀이라고 가정한다.

다음으로 최적 대역폭  $\mathbf{W}$ 을 결정하는 최적화 문제는 다음과 같다.

$$\min_{\mathbf{W}} P_{Tot} = P_{off} + \sum_k a_k (P_{I,k} - P_{O,k}), \quad (1-b)$$

$$\text{s.t. } \sum_j w_j \leq W_{tot}$$

$$P_{Tot} < P_{max}$$

$$a_k P_{I,k} + (1 - a_k) P_{O,k} \geq 0$$

여기서,  $P_{Tot}$ 는 위성에서 소비하는 전체 전력,  $P_{I,k}$ 와  $P_{O,k}$ 는 각각  $k$ 번째 셀의 모든 사용자가  $\mathcal{J}$ 와  $\mathcal{O}$ 를 수신할 때, 즉,  $k$ 번째 셀의 모든 사용자가 각각 GU와 OU일 때 소비 전력,  $P_{off}$ 는 전체 셀의 모든 사용자가 OU일 때의 소비 전력, 즉,  $P_{off} = \sum_k P_{O,k}$ 이며,  $P_{max}$ 는 시스템의 가용한 전력이다. (1-b)의 모든 전력 변수는 전송 데이터 크기와 부대역의 크기, 채널 특성 등 여러 요인에 의해 증감될 수 있으므로 최적화 과정이 필요하다 [2].

그림 2은 (1-a)과 (1-b)를 이용한 자원 할당 알고리즘을 나타낸다. 알고리즘의 입력 벡터  $\mathbf{V} = [\mathbf{R} \ \mathbf{H}]$ 는 각 셀의 이미지 데이터 크기 벡터  $\mathbf{R} = [R_{O,1} \ \dots \ R_{O,k} \ \dots \ R_{O,K}]$ 와 각 셀의 채널 상태 벡터  $\mathbf{H}$ 를 포함한다. 알고리즘은 입력벡터에 대해  $n=0$ 의 경우부터 (1-a)를 통해  $\mathbf{a}$ 를 계산하고,  $\mathbf{a}$ 를 입력으로 하는 (1-b)를 계산하여  $\mathbf{W}$ 를 구한다. 이 때,  $\mathbf{a}$ 와  $\mathbf{W}$ 가 제약조건을 만족하면 자원 할당 알고리즘은 종

료되고, 제약 조건을 만족하지 못하면  $n = n + 1$ 으로 갱신하여 알고리즘을 반복한다.

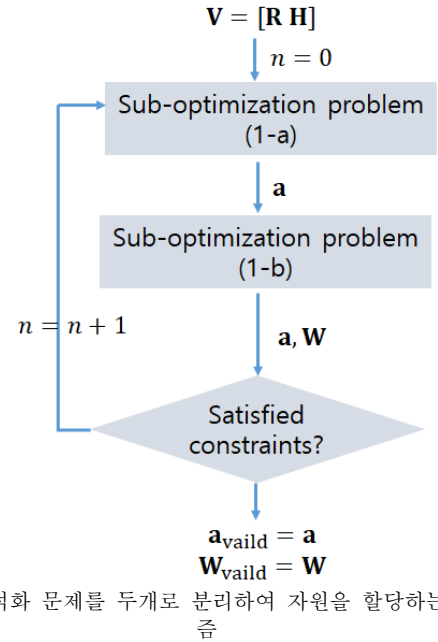


그림 2 최적화 문제를 두개로 분리하여 자원을 할당하는 알고리즘

### III. 기대 효과 및 고찰

본 논문에서 제시한 위성 통신 환경에서의 생성 모델을 이용한 자원 할당 최적화 기법은 출력에 비해 입력 데이터의 크기가 현저히 작다는 생성 AI의 특징을 이용한 것으로, 각 셀의 채널 환경과 트래픽 요구량을 고려하여 GU의 비율과 최적 대역폭을 효율적으로 결정하여 시스템의 전력 효율을 향상시킬 것으로 기대된다. 이 때, 최적 전력 및 대역폭뿐만 아니라 GU를 선택하는 데 필요한 복잡도를 두개의 별도 최적화 문제로 분리함으로써 복잡도를 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(2021-0-00719, 비정지레도 위성망 주파수 간섭 평가/공유 기술 개발 과제).

### 참고 문헌

- [1] H. Lee, J. Park, S. Kim, and J. D. Choi, "Energy-Efficient Downlink Semantic Generative Communication with Text-to-Image Generators," 2023 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), pp. 1291-1296, 2023. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:259108330>
- [2] S. Chan, H. Lee, S. Kim, and D. Oh, "Intelligent Low Complexity Resource Allocation Method for Integrated Satellite-Terrestrial Systems," IEEE Wireless Communications Letters 11 (2022), no. 5, 1087-1091.