

저궤도위성 네트워크에서 Super Resolution을 활용한 하향링크 영상 전송에 관한 연구

이영목[§], 정우민[§], 방인규[†], 김태훈^{■§}

[§]국립한밭대학교 컴퓨터공학과, [†]국립한밭대학교 지능미디어공학과
zero_jelly@naver.com, woominyo@gmail.com, {ikbang, thkim}@hanbat.ac.kr

A Study on SR-Aided Downlink Image Transmission in LEO Satellite Networks

Yeongmuk Lee[§], Woomin Jeong[§], Inkyu Bang[†], Taehoon Kim^{■§}

[§]Department of Computer Engineering, Hanbat National University

[†]Department of Intelligence Media Engineering, Hanbat National University

요약

최근 저궤도위성의 활용 가능성이 커짐에 따라 저궤도위성을 활용한 응용기술은 6G 통신의 핵심 기술로 주목받고 있다. 지상으로부터 300km~1,000km의 상공을 약 7.5km/h로 빠르게 이동하는 저궤도위성은 빠른 이동성뿐만 아니라, 기상환경, 대기환경 등 다양한 요인에 의해 통신 환경이 변하게 된다. 특히, 지상 기지국과 저궤도위성 사이의 양각(elevation angle)에 의해 가시성(light-of-sight; LOS)이 확보가 되지 않는 상황도 발생하게 된다. 본 연구는 통신 환경이 우수하지 않은 환경에서도 효율적인 위성통신 영상 서비스를 제공하기 위해, 초해상화(super resolution; SR)을 활용한 하향 링크 영상 전송 기법을 제안하고 성능평가를 진행한다.

I. 서론

인공위성은 행성의 궤도를 돌도록 로켓을 이용해 쏘아 올린 인공 장치로 정의된다. 인공위성은 인터넷 통신, 기상 관측 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 최근 6G 통신의 핵심 기술로 주목받고 있다. SpaceX 등 세계적인 항공우주 기업들도 인공위성 시장을 먼저 선점하기 위해 Starlink 프로젝트 등 다양한 사업과 연구를 진행 중이다. 위성통신과 관련된 연구는 역사가 오래되었으며, 최근에는 위성 사진의 화질을 초해상화(super resolution; SR)를 통해 높이는 연구 [1, 2], 위성통신에 사용되는 변조 및 부호화(modulation coding scheme; MCS)에 대한 연구 [3] 등 다양한 연구들이 진행 중이다.

위성통신은 기상환경뿐만 아니라 대기환경에 크게 영향을 받으며, 위성의 빠른 이동 속도로 인한 도플러 시프트(Doppler shift), 위성과 지상국 사이의 양각(elevation angle) 등의 요인으로 통신 환경이 크게 좌우된다. 본 연구에서는 빠르게 변하는 위성통신 환경에서 효율적이고 안정적인 위성통신 영상 서비스를 제공하기 위해 초해상화를 활용한 하향 링크 영상 전송 기법을 제안하고 성능평가를 진행한다.

II. 시스템 모델

그림 1은 본 연구에서 고려하고 있는 시나리오를 보여준다. 위성은 위성과 지상국 사이의 무선 채널 상태에 따라 영상 전송 방식을 결정한다. 보다 구체적으로, 무선 채널 상태가 양호하다고 판단이 되면 원본 영상 데이터를 전송하고, 무선 채널 상태가 열악하다고 판단이 되면 영상 데이터를 축소하여 전송한다. 후자의 경우 지상국에서 초해상화를 통해 고해상도 영상으로 데이터를 복원한다. 본 연구에서는 원본 영상을 저해상도 영상으로 축소하는 과정에서 bicubic 보간법을 활용하였고, 영상을 고해상도 영상으로 복원하는 과정에서 SRGAN(Super Resolution Generative Adversarial Networks)과

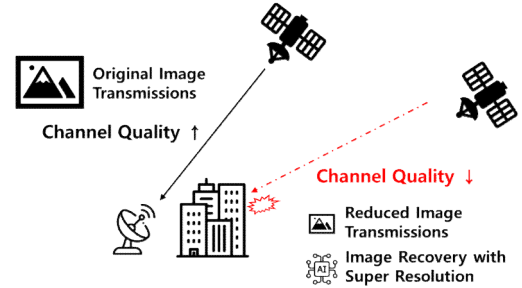


그림 1. 시스템 모델

EDSR(Enhanced Deep Super Resolution Networks) 모델을 사용한다.

본 연구에서는 위성에서 획득한 영상을 지상으로 전송하는 데 걸리는 시간을 임무 완료 시간(task-completion time)으로 정의하며, 임무 완료 시간 T 는 다음과 같이 정의한다.

$$T = T_r + T_d + T_{SR} \quad (1)$$

여기서, T_r 는 위성에서 획득한 영상을 축소하는 데 걸리는 시간이며, T_d 는 획득한 영상 원본(또는 축소한 영상)을 지상국으로 전송하는 데 걸리는 시간이다. 특정 시간 t 에서 위성과 지상국 사이의 무선 채널 상태를 $h(t)$ 로 가정하고, 대역폭(bandwidth) W 를 사용해 하향 링크 전송을 수행할 경우 $C(t) = W \times \log_2(1 + |h(t)|^2 \times \gamma)$ 비트(bit)를 전송할 수 있다고 가정하며, γ 는 위성이 전송하는 신호의 신호 대 잡음 비(signal-to-noise ratio; SNR)이다. $\int_0^{T_0} C(t)dt \geq R$ 을 만족하는 최소의 T_0 가 T_d 가 되며, R 은 전송하고자하는 영상의 용량이다. 마지막으로, T_{SR} 은 지상국에서 초해상화 기법을 활용하여 수신한 데이터의 해상도를 높이는 시간이다. 채널 상태가 양호한 경우

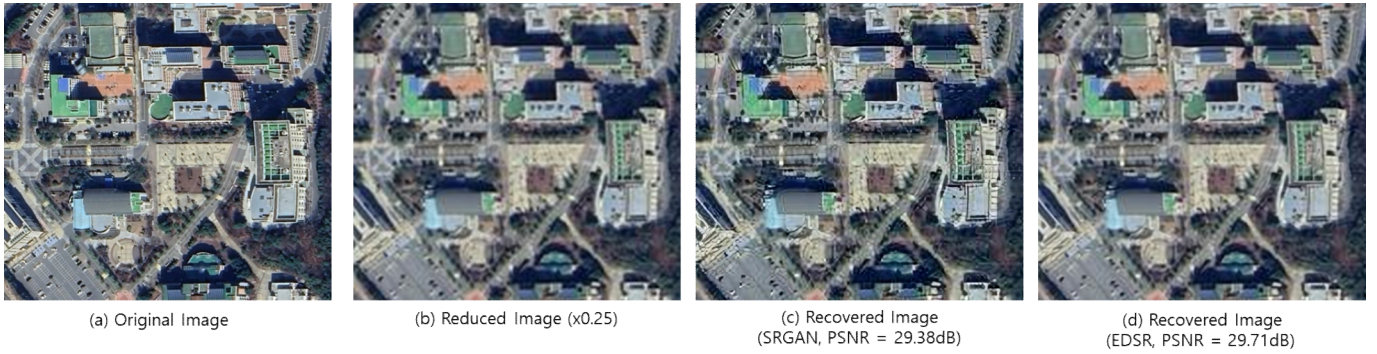


그림 2. 원본 영상 및 모델별 복구 영상 간 비교 (국립한밭대학교 산업정보관(N4동) 주변, 대한민국 대전광역시 유성구 덕명동 일원)

에는 원본을 전송하기 때문에 $T_r = T_{SR} = 0$ 이다.

III. 모의실험 및 논의

본 논문에서 제안하는 기법의 성능을 평가하기 위해 MATLAB을 활용해 모의실험을 진행했다. 위성 채널 모델을 생성하기 위해 Satellite Toolbox를 활용하였으며 구체적으로 ITU-R P.681-11 LMS 채널을 모델링한 Simulate and Visualize Land Mobile-Satellite Channel 예제를 응용하여 활용하였다. 본 연구에서는 도심지(urban) 환경을 가정하고 양각(elevation angle)은 60° , 지상국에 있는 단말의 이동 속도(mobile speed)는 3m/s, γ 는 30dB를 가정하였다. Google Earth에서 수집한 3840×2160 해상도를 갖는 4K급 원본 영상($R=3.71$ MBytes)을 이용했으며, 축소가 필요할 경우 4배 축소된 영상($R=150$ KBytes)으로 변환하여 활용하였다. 본 연구에서는 i5-1135G7(16G RAM) 급의 노트북을 하드웨어 장비로 활용하였고, T_r , T_{SR} 은 하드웨어 장비의 연산 능력, 하드웨어에서 동시에 실행 중인 다른 프로세서의 상황 등에 영향을 받는다.

표 1은 대역폭을 10MHz로 설정했을 때 원본 데이터를 직접 전송하는 경우와 영상의 전후처리(예: 축소 및 복원) 및 축소 데이터를 전송하는 경우의 관련된 지표의 소요 시간을 종합적으로 비교하여 보여주고 있다. 4배 축소된 영상을 전송하는데 약 18배 ($=3695\text{ms}/201\text{ms}$)의 전송 시간 단축이 관찰되는데, 이는 축소 과정에서 적용한 보간법, 데이터 압축 등의 영향으로 영상의 용량이 정확히 1/16배가 되는 것은 아니기 때문이다. 영상 복원에 활용하는 모델에 따라 소요 시간이 상당히 달라지는 것을 관찰할 수 있으며, 고성능 하드웨어활용을 통해 T_r 및 T_{SR} 을 개선하여 T 를 개선할 수 있다.

그림 2는 원본 영상과 4배 축소된 영상, 그리고 SRGAN과 EDSR 두 모델을 통해 복구된 영상을 비교하여 보여주고 있다. 그림 2 (c)와 그림 2 (d)에 명시한 것처럼 SRGAN의 PSNR(peak signal-to-noise ratio)값이 EDSR보다 낮지만, 육안으로 보기에 SRGAN 모델의 초해상화 이미지가 EDSR 모델의 초해상화 이미지보다 좋은 결과를 볼 수 있다. 이는 PSNR이 높다고 해서 더 나은 결과를 보장하지 않는다고 볼 수 있으며, 영상을 가지고 객체 검출 등 추가적인 임무를 진행하게 될 경우, 특정 임무의 달성도에 미치는 영향은 독립적일 수 있기 때문에 결과를 해석할 때 PSNR만을 가지고 개선/열화 여부를 파악해서는 안된다는 것을 의미한다.

그림 3은 대역폭에 따라 원본 데이터 및 축소 데이터의 전송시간을 보여주고 있으며, 활용할 수 있는 대역폭이 충분하지 않은 환경에서 본 연구에서 제안하는 방법이 보다 효과적인 것을 확인하였으며, 향상된 성능의 하드웨어를 사용한다면 원본을 전송하는 경우보다 더

표 1. 기존 기법과 제안 기법의 전송 시간 비교·분석

	Baseline Scheme	Proposed Scheme	
T_r	-	800ms	
T_d	3,695.78ms	201.73ms	
T_{SR}	-	2,151.19ms (SRGAN)	105,305.28ms (EDSR)
T	3,695.78ms	3,152.92ms	106,307.21ms

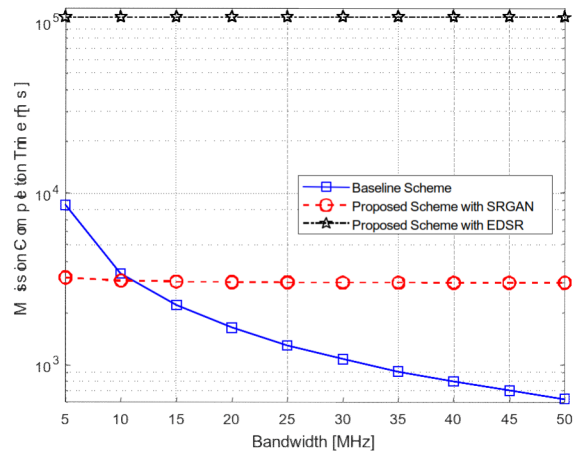


그림 3. 대역폭에 따른 임무 완수 시간

나은 성능을 기대할 수 있다. 추후에는 목표(target) PSNR을 달성하여 전송 시간을 최소화할 수 있도록 축소 여부를 결정하는 최적의 임계값(threshold)을 도출하는 연구를 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 한밭대학교 공학교육혁신센터 “창의 융합형 공학 인재 양성 지원 사업”의 지원과 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022R1F1A1076126).

참 고 문 헌

- [1] 송지현, 이정화, 하태운, 장건희, 조성래, Cubesat 통신을 위한 채널 모델과 변조 및 부호화 방법에 관한 연구 동향 조사, 중앙대학교
- [2] 유수홍, Mohammad Gholami Farkoushi, 이은관, 손흥규, Deep learning-based satellite image super-resolution research
- [3] Tao Lu, Jiaming Wang, Yanduo Zhang, Zhongyuan Wang and Junjun Jiang, Satellite Image Super-Resolution via Multi-Scale Residual Deep Neural Network]