

## Wireless Communication Quality Improvement Through DSES Alarmed Noise Image Restoration

Ki-Hwan Kim\*, HyunHo Kim\*\*, HoonJae Lee\*

\*Professor, Dept. of Computer Engineering, Dongseo University, Busan, Korea

\*\*Professor, Dept. of Cloud Convergence, Dongseo University, Busan, Korea

\*Professor, Dept. of Computer Engineering, Dongseo University, Busan, Korea

### [Abstract]

Radio waves must pass through the unstable atmosphere for successful wireless data transmission from space to ground stations. Data link algorithms required by the International Space Data Systems Advisory Committee (CCSDS) must be capable of detecting and resynchronizing cryptographic and receiver-side errors. However, error recovery is not part of the CCSDS requirements. This paper proposes an algorithm that enables robustness and error recovery against various noises. We experimented with environments such as Gaussian, Salt, Pepper, and S&P noise through noise reduction filters, filters that improve sharpness, and EDSR. In addition, we compare similar algorithms SES Alarmed and DSES Alarmed.

▶ **Key words:** Data link, CCSDS, SES Alarmed, Recover noise, Reduce noise filter

### [요 약]

우주에서 지상 기지국까지 무선 데이터 전송을 성공하기 위해서는 전파가 불안정한 대기권을 통과해야만 한다. 국제 우주 데이터 시스템 자문 위원회(CCSDS)가 요구하는 Data link 알고리즘은 암호화와 수신측 오류를 감지하고 재동기가 가능해야 한다. 그러나 오류 복원은 CCSDS 요구조건에 포함되지 않는다. 본 논문에서는 다양한 잡음에 내성과 오류 복원이 가능한 알고리즘을 제안한다. 잡음 제거 필터와 선명도를 향상시키는 필터 그리고 EDSR 등을 통해 가우시안, Salt, Pepper, S&P 잡음 등 다양한 환경을 고려하여 실험하였으며, 그 결과 잡음 억제와 보정에 도움이 된 것을 확인하였다. 추가적으로 유사 알고리즘인 SES Alarmed와 DSES Alarmed와 비교한다.

▶ **주제어:** 데이터 링크, 국제 우주 데이터 시스템 자문 위원회, SES Alarmed, 잡음 복원, 잡음 제거 필터

- 
- First Author: Ki-Hwan Kim, Corresponding Author: HoonJae Lee
  - \*Ki-Hwan Kim (ghksdl90@dongseo.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Dongseo University
  - \*\*HyunHo Kim (feei22@gdsu.dongseo.ac.kr), Dept. of Cloud Convergence, Dongseo University
  - \*HoonJae Lee (hjlee@dongseo.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Dongseo University
  - Received: 2022. 12. 22, Revised: 2023. 01. 17, Accepted: 2023. 02. 09.

## I. Introduction

우주 데이터 시스템 자문 위원회(Consultative Committee for Space Data Systems, CCSDS)는 우주에서 지상국까지 데이터를 송·수신하는 과정을 TCP/IP 모델을 참조하여 제시한다. 덕분에 현재 상용화된 네트워크 체제의 각 계층별로 연결과 동기화가 원활하여 채널 보안 및 최적화가 효과적으로 이루어지고 있다[1,2]. 이러한 프로토콜 환경에서는 원본데이터 보안을 위해 암호·복호화를 통한 통신을 많이 한다. 그러나 암호화 및 복호화 중 문제가 발생될 경우 정상적인 데이터를 송·수신 할 수 없을 뿐만 아니라 통신이 불가능한 상황도 유발될 수 있어 이에 대한 안정성이 보장되어야 한다.

현재 고품질 영상이나 이미지는 CCTV, 블랙박스, 드론, 지도, 위성사진, 로드맵 등 다양한 분야[3,4]에서 활용되어지고 있다. 이렇게 여러 분야에서 녹화나 촬영된 사진은 상황에 따라 중요한 정보로 사용할 수 있기 때문에 보다 정확한 식별을 위해 고화질의 영상이나 이미지를 촬영을 선호하고 있다. 그러나 촬영하는 영상이나 이미지의 하드웨어 및 소프트웨어적으로 완벽한 정보를 얻는 것은 어렵다는 문제[5]가 있다. 그 이유는 하드웨어적인 부분은 촬영에 사용한 장비의 이미지 센서에 대한 부분이나 장비 결함[6]이 대표적이며, 소프트웨어적으로는 이미지 센서로부터 받은 정보를 어떻게 처리[7]하느냐에 따라 잡음 값이 많이 달라지기 때문이다. 이렇게 잡음에 대한 문제를 해결하기 위해 Image Inpainting, 인공지능 학습을 통한 잡음 제거, 알고리즘을 통한 잡음제거 등 다양한 기법들을 제안하고 있다[8]. 이러한 기법 중 최근에는 인공지능 기술에 해당하는 GAN(Generative Adversarial Network)을 활용하여 손상된 이미지를 복원하여 이미지를 복원하거나 잡음을 효과적으로 제거하는 연구가 등장하고 있다.

국가기상위성센터[9]에서 제공하는 위성 이미지에서의 자료 정보는 크게 가시광선, 근적외선, 단파적외선, 적외선, RGB정보 등을 제공하고 있으며, 그 밖에도 위성 지도 서비스를 제공하는 네이버, 구글에서도 위성 이미지를 확인할 수 있다. 위성 이미지 특성상 일반적인 이미지에 비해 해상도가 낮은 편이 대부분이며, 이로 인해 이미지에 잡음이 많은 것이 특징이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 암호화된 위성 이미지를 대상으로 효과적으로 잡음을 보정하는 기법을 제안한다. 대표적으로 사용되는 잡음 제거 방법은 필터와 AI를 사용하는 방법이 있다. 필터를 사용할 경우 특정 정보가 사라지거나 왜곡되는 문제가 발생한다. 반면 AI 보정 기법은 해상도가 상승하지

만 노이즈가 증폭되는 문제가 있다. 필터와 AI를 복합하여 사용하는 것으로 노이즈 억제와 해상도를 향상시킨 방법을 제안한다.

## II. CCSDS Protocol Structure

### 1. What is CCSDS?

우주라는 특수한 환경에서 상호간 정보 교환을 수행하기 위하여 창설된 우주 데이터 시스템 자문 위원회(CCSDS)는 우주환경에서 사용가능한 전송 기법과 계층 모델을 제시한다. Fig 1은 CCSDS에서 제시하는 프로토콜과 보안 구조와 CCSDS 링크 암호의 구조를 나타낸다.

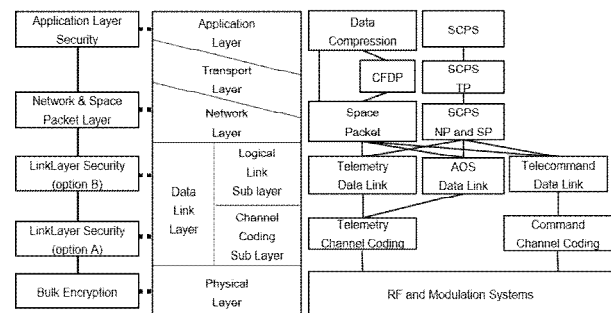


Fig. 1. CCSDS TCP/IP Protocol architecture

CCSDS에서 제시하는 프로토콜의 보안 요구사항은 총 3단계로 고비도, 중비도, 저비도로 구분된다. 고비도 보안은 주로 군용으로 설계되어 공용데이터 링크(Common Data Link, CDL)로 활용된다. 중비도 보안은 기업용으로 설계되어 상용통신, 원격감시, 위성항해 시스템 등으로 사용된다. 이외의 개인은 모두 저비도 보안에 적용된다. 이때, 모든 단계에서 공통적으로 사용되는 기술이 링크 암호이다. CCSDS 표준 링크 암호화 방식의 세부구성은 Fig 2와 같다. CCSDS는 HDLC을 기본 입력값으로 활용한다[10]. 프레임의 시작과 끝은 신호 동기화를 위하여 "01111110"로 구성된 8비트를 사용한다. 다음으로 7비트 주소정보와 1비트 확장용 공간으로 구성되었다. 제어 필드는 8비트 또는 16비트로 흐름 및 오류제어에 사용된다. 다음으로 정보 필드와 오류검출용 CRC 필드가 존재한다. 각 필드는 정해진 규격을 가지고 있어 잡음에 의해 정보가 변경된다면 문제가 발생하게 된다.

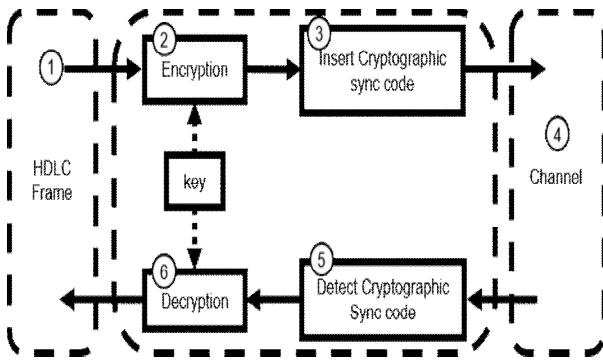


Fig. 2. Link Encryption Synchronization Step in CCSDS

2. CCSDS link encryption issue

CCSDS 링크 암호화가 정상적으로 동작하는 경우 Fig 1의 Data Link Layer에서 대부분의 데이터 처리가 완료 되어 상위 계층에 부하를 가이지 않는다. 그러나 Fig 3처럼 어떠한 이유로 링크 암호화에 문제가 발생하는 경우 송-수신측의 동기화 문제에 따른 상호정보 교환이 빠져 있어 통신을 정상적으로 수행할 수 없다.

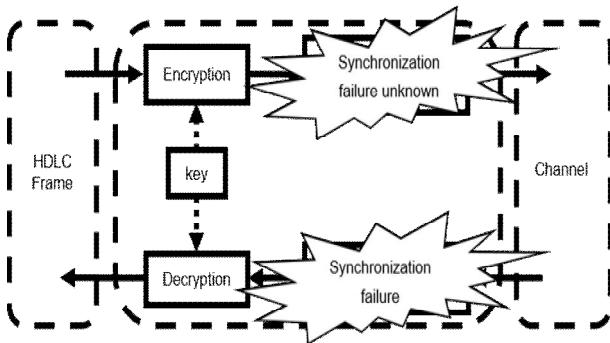


Fig. 3. CCSDS sync detection failed point

일반적으로 동기화 문제가 발생하는 이유는 대기권의 기상이변으로 대부분은 지상국에서 동기화 실패가 발생하기 때문이다. 만약 프레임 시작에 위치한 동기화 필드 탐지에 실패한다면 이미지의 일부 영역 데이터를 표현할 수 없다. 이에 대한 해결방법은 첫째로 위성에서 재발신하는 것, 둘째로 수신측에서 동기화코드를 복구하여 수신된 원본 데이터를 최대한 활용하는 것이다. 그러나 CCSDS에서 권장하는 AES암호 알고리즘은 암호화된 파일에서 단 1비트 이상의 변화로도 복호화가 실패하여 수신측에서 동기화 코드 복구가 불가능하다. 따라서 고유한 난수발생기 구조를 가진 SES Alarmed를 사용한다면 수신측에서 동기화 코드 복구를 시도해볼 수 있다.

III. Suggest New Structure

1. Relate researches

SES Alarmed는 HDLC의 정보를 고유 난수발생기를 활용하여 암호화한다. 따라서 AES와 달리 비트변화에 민감하지 않고 수신측에서 복구를 시도해볼 수 있다. 그러나 패킷 위치에 민감하여 충분한 길이의 데이터를 수신하지 못하면 복호화가 어렵다. 따라서 SES Alarmed는 임의의 영역에 잡음 혹은 데이터 소거가 발생한 경우 정보 손실을 유발하게 된다. 위와 같은 문제를 해결하기 위하여 Fig 4의 (a)처럼 연속으로 위치한 데이터배열을 DSES Alarmed[11]에서는 (b)처럼 임의로 순서로 분할하여 픽셀 정보를 전송한다. DSES와 같이 데이터 분할과 재배치는 다양한 잡음에 저항력을 가지게 된다.

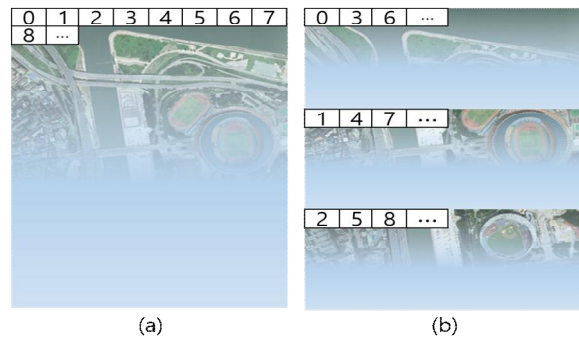


Fig. 4. Comparison of motion difference between SES and DSES alarm image frames. (a) SES Alarmed, (b) DSES Alarmed

추가적으로 DSES는 이미지 픽셀을 무작위 재배열하는 것으로 Anti-shear Attack와 Anti-noise Pollution Attack[12]에 저항을 가진다. Shear Attack은 Fig 5처럼 암호화된 이미지에서 임의의 영역을 '0' 또는 무작위 정보로 덮어씌우는 것으로 문제를 발생시키는 방법이다. DSES는 무작위 재배열로 밀집된 잡음을 확산하여 공격자가 정보손실을 유발하려는 영역의 정보를 보호할 수 있다. Noise Pollution Attack은 Fig 6처럼 암호 이미지에 가우시안 잡음을 더하는 방법이다. DSES는 대기권으로부터 무작위 잡음 영향에도 밀집된 데이터 손실을 유발하지 않아 이미지 전체의 정보를 최대한 유지할 수 있다.

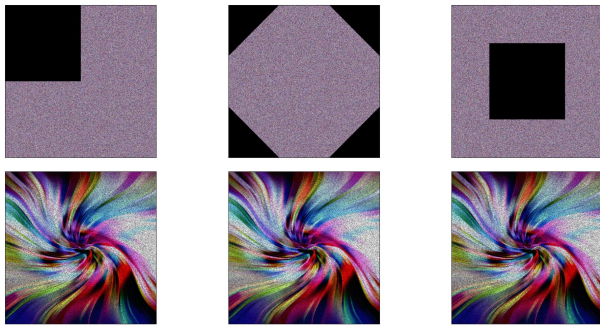


Fig. 5. Experiment result of Anti-Shear attack[9]

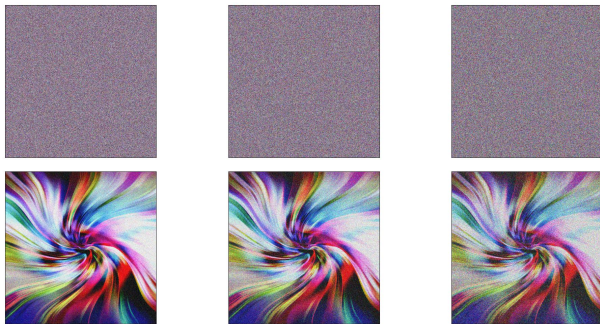


Fig. 6. Gaussian noise experiment result of Anti-noise pollution attack[9] (a)var=100,(b)var=1000,(c)var=10000

## 2. Suggest New Idea

제안하는 방법은 Fig 7처럼 가우시안 잡음 보정을 위해 잡음 제거 필터와 이미지 스케일 증가를 사용한다. 잡음 제거 필터는 medianBlur를 사용하여 이미지 전체 잡음 개수를 줄이고 추상적인 이미지를 계산한다. 이후 잡음이 추가된 이미지와 잡음 필터 이후 결과를 비교하여 소금, 후추 잡음을 억제하고 추가적으로 CNN upscale을 활용하여 잡음 필터로 인해 손상된 선명도를 향상시키는 것으로 원본에 가까운 이미지로 복원이 가능하다.

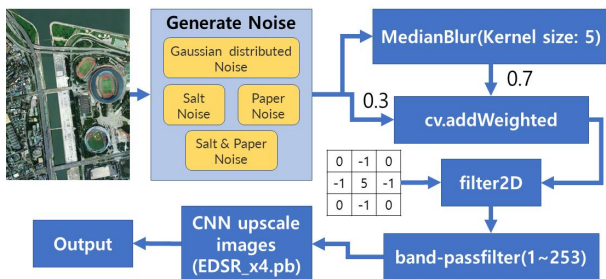


Fig. 7. Algorithm step and environment

이미지 필터는 Fig 8처럼 선형과 비선형으로 나뉜다. 선형 필터(Linear Filter)는 크기가 n\*n인 필터(Filter)를 사용하여 이미지 픽셀과 합성곱(Convolution) 연산하여 잡음을 보정한다. 선형 필터의 대표적인 예시로 mean filter

가 존재한다. 평균(Mean)값 필터는 계수(Coefficient)를 모두 1로 설정하고, 필터의 전체 픽셀 수로 나눈다. 전체 픽셀 수로 나누는 이유는 픽셀 강도가 커지는 것을 조정하기 위해서이다. 평균값 필터의 장점은 잡음을 제거하지만 이미지를 밝게 만든다. 단점은 이미지에 얼룩을 만들며, 공간 해상도가 감소한다.

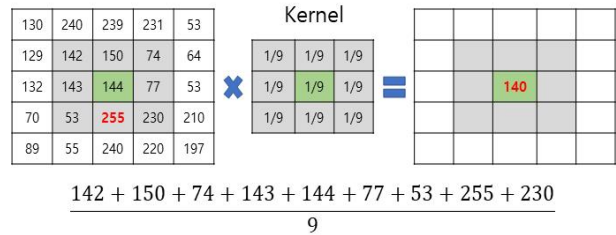


Fig. 8. Mean Filter

비선형 필터는 Fig 9처럼 하나의 중심 픽셀을 대상으로 인접한 픽셀을 정렬하고 중심값을 선택한다. 비선형 필터의 대표 예는 중앙(Median)값 필터이다. 검정(0) 픽셀과 흰(255)픽셀과 같이 뚜렷하게 잘못된 밝기를 가지는 Salt and Pepper(S&P) 잡음을 제거하는데 효과적이다.

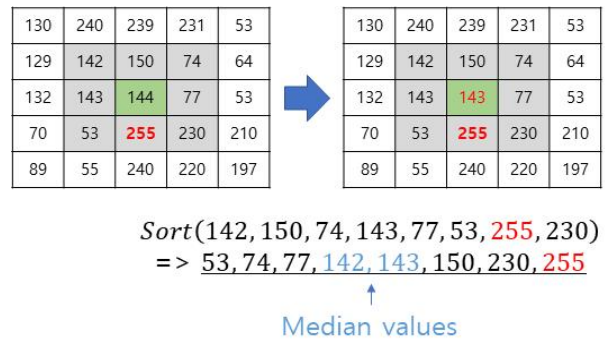


Fig. 9. Median Filter

평균값 필터의 경우 어두운 영역에서는 흰색 픽셀의 영향이 남아 얼룩이 보이는 것을 확인할 수 있다. 0 또는 255 등의 비정상적인 픽셀이 영향을 끼쳐 부정적인 효과가 나타나는 것이다. 이에 비해 중앙값 필터의 경우 모서리의 날카로움이 평균값 필터와 비교하여 유지되는 것을 볼 수 있다. 결과적으로 Fig 10처럼 평균필터는 Weight를 동일하게 섞어버리는 것에 비해, 중앙값 필터의 경우 두 영역의 경계면 근처에서 반대 영역의 데이터들은 이상값으로 처리하여 버리기 때문에 경계가 뚜렷해지는 것이다.



Fig. 10. Compare Mean filter and Media filter

제안하는 방법은 중앙값 필터와 유사하게 동작하는 MedianBlur를 사용했다. MedianBlur는 중앙의 픽셀 값이  $k \times k$  크기의 정사각형 필터 영역 내 모든 픽셀의 중앙값으로 대체하는 비선형 이미지 필터이다. S&P 잡음 제거에 효과적이지만 필터의 범위를 너무 확장하거나 중첩하여 사용할 경우 이미지 전체가 흐려지는 문제가 있다. 논문에서는 해상도 저하문제를 극복하기 위하여 해상도 향상(Super Resolution, SR)을 사용했다.

SR기술은 보간(Interpolation), 재건(Reconstruction), 학습(Learning) 등 3가지로 구분할 수 있다. 보간 방식은 이미지 변환 라이브러리(OpenCV)를 사용하며, 이미지 크기를 높일수록 이미지가 흐려지는 문제가 존재한다. 보간 기법의 문제를 개선하기 위하여 제안된 재건 기법은 Convolutional Neural Network(CNN)로 품질을 개선에 약간의 효과는 있었으나 복잡성에 비하여 좋은 성능을 달성하지 못했다. 재건 기법의 단점을 극복하기 위해 학습 기법으로 깊은 합성곱 신경망을 최적화하여 효율성을 향상시킨 방법이다. 본 논문은 이미지 해상도 문제를 학습 기반에 해당하는 Enhanced Deep Super-Resolution(EDSR)[13]을 사용했다. EDSR은 깊은 CNN 구조, 높은 학습률, Residual Learning, 여러 Scale Factor, Pixel Shuffle에 대한 훈련을 통해 속도와 성능 면에서 훨씬 월등함을 보여준 모델이다.

### 3. Experiments

이미지 품질 평가는 Corr(Correlation coefficient), PSNR(Peak Signal to Noise Ratio), SSIM(Structural Similarity Index Map) 등을 참조한다[14]. Corr은 서로 다른 이미지의 상관관계 정도를 수치화한 방법으로 1.0에 가까울수록 원본과 동일함을 의미한다. PSNR은 영상의 화질에 대한 손실 평가방법이다. PSNR은 값이 0에 가까울수록 화질이 높음을 의미한다. SSIM은 PSNR과 다르게 수치적인 예러가 아닌 인간의 시각적 화질 차이를 평가하기 위해 고안된 방법이다. 실험에 사용된 원본 이미지는 Fig 11이다.

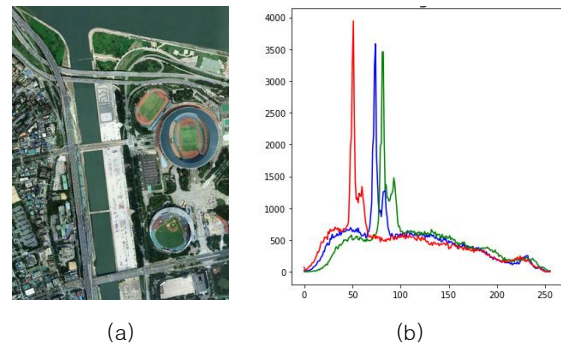


Fig. 11. Source Image (a)Original Image, (b)Histogram

추가적으로 Fig 12는 잡음 이미지, 잡음 이미지를 보정한 결과, DSES Alarmed의 잡음 이미지를 보정한 결과로 분류하였다. 그래프 값은 클수록 좋은 것을 의미한다. 보정결과 Corr는 0.2최대 0.18, PSNR이 최대 6.0, SSIM이 최대 0.2로 다양한 잡음으로 손상된 이미지를 복원하였다. 일본 이미지에 분산이 0.1인 Gaussian, Salt, Pepper, S&P 잡음을 추가한 이미지를 대상으로 제안한 방법을 사용하면 Fig 13과 Fig 14와 같이 잡음 이미지와 비교하여 품질이 향상된 것을 볼 수 있다. 그러나 가우시안 유형의 잡음은 필터와 AI를 사용한 방법에도 효과가 적고 선명도를 향상시킬 경우 노이즈가 더욱 부각되는 문제점이 있다. 가우시안 잡음을 해결하는 방법으로는 동일한 사진을 여러 번 전송하여 잡음으로 손상된 부분을 대체하는 것이 가장 효과적인 것으로 알려져 있다. 위성 이미지의 경우 급격한 변화가 없어 이전에 촬영된 이미지를 참조하여 변경하는 것이 가능하다.

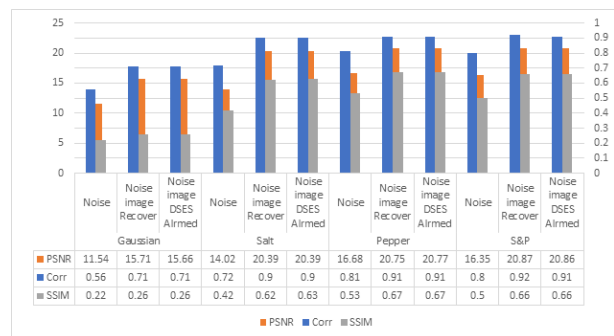


Fig. 12. Compare Image

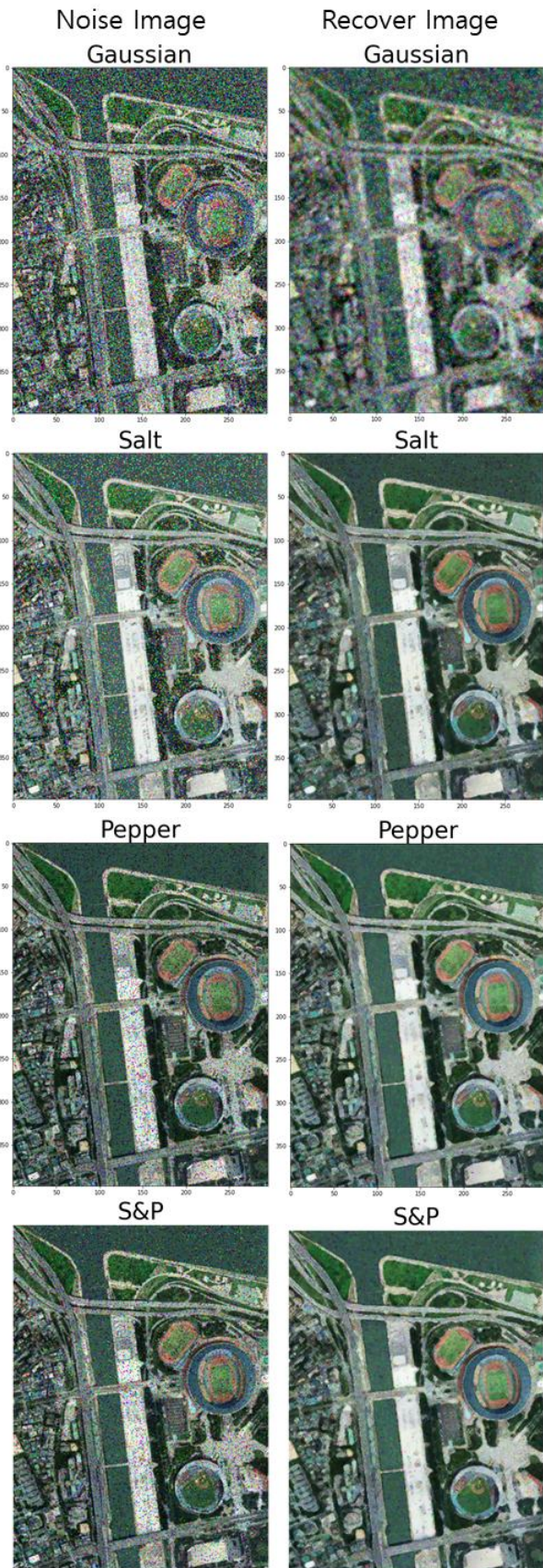


Fig. 13. Compare Noise Image and Recover Image

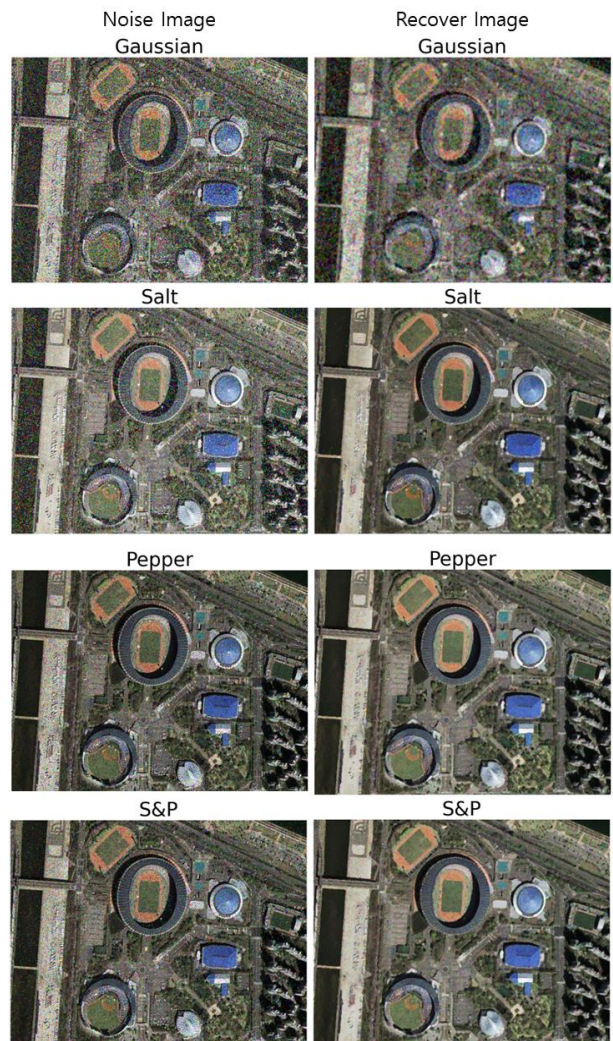


Fig. 14. Compare Noise Image and Recover Image

#### IV. Conclusions

우주와 지구간의 통신은 향후 우주로 진출하는 인류에게 필수적인 기술에 포함된다. 현재 운영되는 위성 데이터는 가시광선, 근적외선, 단파적외선, 적외선, 기상상황 그 밖에도 수많은 잡음이 포함된다. DSES Alarmed는 우주 환경을 대상으로 프레임 동기 오류로 인한 이미지 데이터 손실문제를 완화할 수는 있으나 잡음을 보정하는 방법이 존재하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 우주 데이터 시스템 자문 위원회의 기술 표준을 기반으로 설계한 SES Alarmed의 잡음 집중 문제를 해결한 DSES Alarmed에 이어 잡음을 개선할 수 있는 방법을 제안했다. 제안된 방법에는 잡음 제거 필터와 선명도를 향상시키는 필터 그리고 EDSR 등을 통해 가우시안, Salt, Pepper, S&P 잡음 등 다양한 환경에서 Corr는 최대 0.8에서 약0.9, SSIM은

최대0.5에서 약0.7로 잡음 억제와 보정에 도움이 된 것을 확인했다. 그럼에도 불구하고 실험에 사용된 잡음 발생기는 임의의 공식과 통계를 사용된 것으로 운영환경과는 차이가 발생할 수 있다. 향후에는 인공위성에서 발신된 이미지 가운데 잡음이 포함된 자료를 취합하여 제안한 잡음 분산과 잡음 개선이 효과를 실험할 계획이다. 결과적으로 일련의 모든 연구가 향후 우주 연구에 기여되기를 희망한다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Dongseo University, "Dongseo Cluster Project" Research Fund of 2022 (DSU-20220001).

## REFERENCES

- [1] CCSDS. Satellite Recommended Standard, <http://public.ccsds.org/publications/BlueBooks>
- [2] S.S. Park, S.J. Lee, and Y.K. Jun. "Development and Analysis of Low Cost Telecommand Processing System for Domestic Development Satellites," *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 49, No. 6, pp. 481-488, 2021. DOI: 10.5139/JKSAS.2021.49.6.481
- [3] Daeyoung Choi, et al. "A Study on Estimating the 3D Coordinates of the Drone Landing using the Diamond ArUco Marker" *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 20 No. 12, pp. 75-81, 2022. DOI : 10.14801/jkiit.2022.20.12.75
- [4] Giwoong Park, Hanbyul Yeon, Yewan Moon, Yun Jang. "Causality Analysis for Traffic Congestion Propagation Using CCTV Videos" *KIISE Transactions on Computing Practices*, Vol. 28 No. 4 pp. 209-215, 2022. DOI : 10.5626/KTCP.2022.28.4.209
- [5] Dae-Hyuk Moon, "Time lapse shooting Based Ultra High Definition Multifaceted Image Realization" *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 20, No. 8, pp. 1635-1643, 2019. DOI : 10.9728/dcs.2019.20.8.1635
- [6] Joon-Hyuk Lee, Min-Gyeong Kwon, et al. "Failure Diagnostics of Camera Image Sensor For Vehicle Using CNN" *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 23 Vol. 12, pp. 877-884, 2022. DOI : 10.5762/KAIS.2022.23.12.877
- [7] Junsang Hwang, Hyoyeon Lee, Kyeongsoon Cho, "Design of High-performance Defogging Circuit for Real-time Processing of 8K UHD Images" *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 59, No. 11, pp. 27-36, 2022. DOI : 10.5573/ieic.2022.59.11.27
- [8] K.H. Kim and H.J. Lee, "PingPong 256 shuffling method with Image Encryption and Resistance to Various Noise." *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 24, No. 11, pp. 1507-1518, 2020. DOI: 10.6109/jkiice.2020.24.11.1507
- [9] National Meteorological Satellite Center of Korea Meteorological Administration(KMA), <https://nmssc.kma.go.kr/homepage/html/main/main.do>
- [10] KS C IEC62056-46, <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do?menuId=919&topMenuId=502&upperMenuId=503&ksNo=KSCIEC62056-46&tmprKsNo=KSCIEC62056-46&reformNo=01>
- [11] K.K. Kim, H.J. Lee and Y.J. Ryu, "Analysis of Noise Sensitivity due to Image Wireless Transmission", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 22, No. 1, pp. 211-220, 2018. DOI: 10.6109/jkiice.2018.22.1.211
- [12] K.K. Kim, and H.J. Lee, "PingPong 256 shuffling method with Image Encryption and Resistance to Various Noise." *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering* Vol. 24, No. 11, pp. 1507-1518, 2020. DOI: 10.6109/jkiice.2020.24.11.1507
- [13] Lim, Bee, et al. "Enhanced deep residual networks for single image super-resolution" *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops*. pp. 136-144, 2017. DOI: 10.48550/arXiv.1707.02921
- [14] J. Johnson, A. Alexanndrei, and F.F. Li, "Perceptual losses for real-time style transfer and super-resolution." *European conference on computer vision*. Springer, Cham, pp. 694-711, 2016. DOI: 10.48550/arXiv.1603.08155

## Authors



Ki-Hwan Kim received the B.S. degree in Computer Networking from Dongseo University in 2015. M.S. and Ph.D Department of Ubiquitous IT from Dongseo University in 2017, 2021.

Dr. Kim received the B.S. degrees in Ph.D. student in Computer Networking from Dongseo University in 2015. M.S. and Ph.D Department of Ubiquitous IT from Dongseo University in 2017, 2021. Since 2021 he has been working for the Department Computer Engineering of International college at Dongseo University as a visiting professor. His current research interests are in Artificial Intelligent(AI), Cryptography, Side-Channel Attack(SCA).



HyunHo Kim received his B.S. degrees in computer science from Dongseo University in 2013. M.S., Ph.D. degree in Department of Ubiquitous IT from Dongseo University in 2015, 2020.

Dr. Kim received the B.S. degrees in computer science from Dongseo University in 2013. M.S., Ph.D. degree in Department of Ubiquitous IT from Dongseo University in 2015, 2020. Since 2022 he is now working for the Department of Cloud Convergence at Dongseo University as a assistant professor. His research interests include Digital Forensic, Cloud Computing, Information Security, IoT Security, and Network Security.



HoonJae Lee received the B.S., M.S. and Ph.D. degree in Electrical Engineering from Kyungpook national university in 1985, 1987 and 1998, respectively. Dr. Lee had been engaged in the research on cryptography and

network security at Agency for Defense Development from 1987 to 1998. Since 2002 he has been working for Department of Computer Engineering of Dongseo University as an associate professor, and now he is a full professor. His current research interests are in security communication system, side-channel attack, USN & RFID security. He is a member of the Korea institute of Information security and cryptology, IEEE Computer Society, IEEE Information Theory Society and etc.