

A Study on Ways to Improve Real-Time Performance of Tactical Data Link Image Transmission by Image Processing in Naval Combat Management System

Won-Jin Kim*, Young-San Kim*, Hyo-Jo Lee*

*Engineer, Naval R&D Center, Hanwha Systems, Pangyo, Korea

[Abstract]

In this paper, we research an image processing method to provide high-capacity image data in real time through a tactical data link and propose a design applicable to the naval combat management system. Image transmission in a tactical data link is important tactically, but real-time performance is limited using existing transmission methods because Image data is larger than other tactical messages. The proposed method improves real-time performance through image processing before and after image transmission, it was designed to improve transmission speed by reducing image data and transmitting the tactical images obtained from naval combat management system, and to ensure that there are no problems with tactical use by restoring the received images with super resolution. The usefulness of this proposed method was confirmed through simulation, and it is expected that it can be applied to various platforms in the future to greatly increase the effectiveness of utilizing tactical images through tactical data link.

▶ **Key words:** Naval Combat Management System, Tactical Data Link, Image Transmission, Super Resolution

[요약]

본 논문에서는 전술 데이터링크를 통해 대용량의 이미지 정보를 실시간으로 제공하기 위한 이미지 처리 방법을 연구하고, 함정전투체계에 적용할 수 있는 설계 방안을 제안한다. 전술 데이터링크에서 이미지 전송은 전술적으로 중요한 가치를 갖지만, 타 전술 메시지에 비해 데이터가 크기 때문에 기존 전송 방식으로는 실시간성이 제한된다. 제안 방식은 이미지 전송 전후의 이미지 처리를 통해 실시간성을 향상하는 방식으로, 함정전투체계에 획득한 전술 이미지를 축소하여 전송함으로써 전송속도를 향상하고, 수신한 이미지는 초해상도로 복원하여 전술적 활용에 문제가 없도록 설계하였다. 모의실험을 통해 본 제안 방식의 효용성을 확인하였고, 추후 다양한 플랫폼에 적용하여 전술 데이터링크를 통한 전술 이미지 활용 가치를 증대시킬 수 있을 것으로 기대한다.

▶ **주제어:** 함정전투체계, 전술 데이터링크, 이미지 전송, 초해상도

- First Author: Won-Jin Kim, Corresponding Author: Won-Jin Kim
- *Won-Jin Kim (melkis@hanwha.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
- *Young-San Kim (y.san.kim@hanwha.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
- *Hyo-Jo Lee (hjwish.lee@hanwha.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
- Received: 2024. 10. 08, Revised: 2024. 11. 01, Accepted: 2024. 11. 01.

I. Introduction

전술 데이터링크는 표적 정보, 교전 명령, 임무 할당 등 다수의 전술 정보를 교환하여 다양한 작전환경에서 임무를 수행하는 데 중요한 역할을 하는 군사적 통신체계이다[1].

전술 데이터링크를 통한 이미지 전송은 다양한 전장 환경에서 획득한 영상정보를 토대로 목표물 확인 및 BDA(Battle Damage Assessment, 전투피해평가) 판단 등을 위한 핵심적인 기능이며, 미 공군 연구에 따르면 임무 수행 확률을 3배 정도 향상하는 것으로 확인되었다[2].

또한 효과적인 작전을 수행하기 위해서는 최소한 작전 수행 4분 전에 이미지가 전송되어 전시해야 하며, 이를 위해서는 목표물에 대한 정확한 정보전달뿐만 아니라 실시간성이 중요하다고 볼 수 있다[2].

기존 전술 데이터링크에서 사용되는 이미지 전송은 시분할 전송 방식 및 메시지 패킹 기법의 한계로 실시간성에 많은 제약이 있다. 일반적인 전술 데이터링크 메시지는 항재임을 위한 헤더를 포함하여 실제로 한 패킷에 전송할 수 있는 데이터가 많지 않고, 타임슬롯 할당의 비효율성으로 인해 실시간 전송률이 높지 않다. 이 때문에 대용량의 데이터 전송 속도를 개선하기 위해 메시지 패킹 기법이나 대역폭 조정 등 데이터링크 설계 중심의 연구가 활발히 이루어지고 있다[2,3].

본 논문에서는 데이터링크 설계 관점의 연구가 아닌 데이터링크 전송 전후의 이미지 처리를 통해 이미지 전송의 실시간성 향상 방안을 연구한다. 제안 방식은 이미지 축소를 통해 데이터의 크기를 줄임으로써 전송 시간을 단축하고, 초해상도로 복원하는 이미지 전후처리 방식이다. 이를 통해 기존 데이터링크의 종류와 성능에 관계없이 실시간성을 확보하고자 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 함정전투체계의 전술 데이터링크 개요와 이미지 데이터의 전술적 활용 및 이미지 전송의 한계를 서술하고, 이미지 복원 기술 및 평가 지표에 관해 설명한다. 3장에서는 본 제안 방식에 활용할 이미지 처리 방법을 연구하고, 이를 함정전투체계에 적용하기 위한 설계 방안을 제시한다. 4장에서는 모의 실험 환경을 구성하여 실험 결과를 분석하고, 5장에서 본 논문에 대한 결론과 기대효과를 서술하며 끝을 맺는다.

II. Preliminaries

1. Naval Combat Management System and Data Link ICU

함정전투체계는 Fig. 1과 같이 함정에 탑재한 각종 장비로부터 획득한 정보를 처리하고 전시하여 실시간 전장 상황을 운용자에게 제공하며, 이를 바탕으로 무장 할당 및 교전 등 다양한 전투 임무를 수행하기 위한 전투관리체계이다[4].

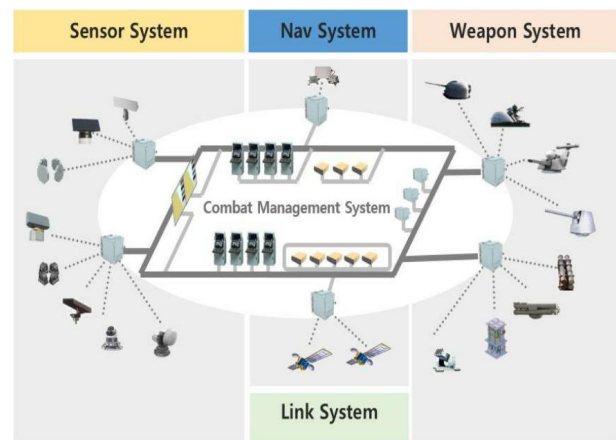


Fig. 1. System Architecture of Naval Combat System

함정전투체계에는 각종 무장, 센서뿐만 아니라 함정에서 획득한 전술 정보를 Link-16, 해군전술C4I, JTDLS 등을 통해 타 함소와 교환하기 위한 전술 데이터링크 ICU(Interface Control Unit, 연동단)가 탑재되어 있다[5,6].

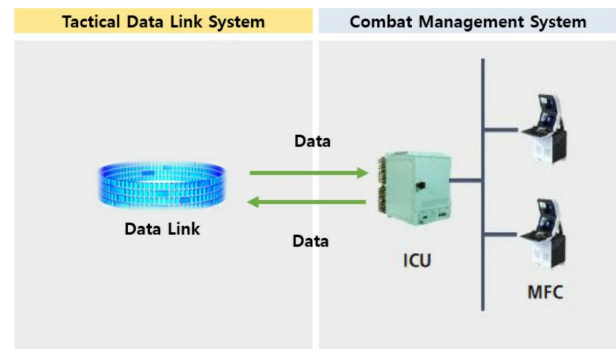


Fig. 2. Example of Interface Control Unit System

연동 모듈은 Fig. 2와 같이 외부 전술 데이터링크 체계와 연동하여 MFC(Multi Function Console, 다기능콘솔) 운용을 통해 메시지를 송수신하기 위한 인터페이스 역할을 한다. 함정전투체계는 이를 통해 육해공의 다양한 플랫폼과 획득한 전술 정보를 상호 교환할 수 있다[7].

2. Applications of Tactical Images

전술 데이터링크를 통해 전술적으로 활용이 가능한 이미지에는 함정에 탑재된 센서를 통해 획득할 수 있는 소나 영상, 적외선 영상, 레이더 비디오 영상 등이 있으며, C2(Command & Control, 지휘통제) 플랫폼과 무인항공기를 통해 함정 외부에서 획득할 수 있는 공중 촬영 영상, 적외선 영상 등이 있다[3,8].



Fig. 3. Example of Aerial Pictures

이렇게 획득한 이미지는 임무 할당 또는 BDA 등을 위한 추가적인 전술 자료로 활용될 수 있다.

일반적으로 지휘 권한을 가진 C2 플랫폼은 통제할 수 있는 주변 항공기 등에 임무를 하달할 수 있다. 주로 목표물의 위치 및 운동 정보 등을 전달하여 목표를 타격하는 임무를 수행하며, 더 정확한 목표물 식별을 위해 Fig. 3과 같이 고고도의 항공사진 등의 전술 이미지를 전달하여 임무 수행 성공률을 높이는 데 활용될 수 있다.

반대로 임무를 수행한 항공기는 목표물 타격 결과 영상을 C2 플랫폼에 전달하여 BDA에 활용될 수 있으며, 이를 통해 정확한 상황인식과 판단으로 교전 종료 또는 재공격 등 다음 교전 명령을 수행할 수 있다[9].

이렇게 전술 데이터링크를 통한 전술 이미지 활용은 다양한 작전 상황에서 사용되고 있으며, 그 전술적 중요도는 상당하다고 할 수 있다.

3. Tactical Data Link Message Scheme

전술 이미지 전송 매체가 되는 전술 데이터링크 메시지 전송 방식을 살펴보면, 대표적으로 Link-16은 다수와 동시에 메시지 교환을 위해 사전에 타임슬롯을 할당하여 전송하는 방식인 정적 TDMA(Time Division Multiple Access, 시분할 다중 접속 방식)를 적용하고 있다. 타임슬롯은 12초 주기로 반복되는 프레임당 1,536개로 나누어지며, 작전에 따라 사전에 할당된다. 하지만 노드별 할당되는 타임슬롯은 제한적이고 사전에 할당된 타임슬롯을 사

용하기 때문에, 이미지 정보와 같은 가변적인 데이터를 전송하기에 적합하지 않다. 예를 들어 100kb의 이미지를 전송하는 경우, 한 프레임에 전송하기 위해서는 976개의 타임슬롯이 필요하다[10]. 또한 최대 115.2kbps 전송률을 지원하는데, 전송 가능 이미지의 최대 크기가 2.8mb이므로 4분 이내에 전송하기 위해서는 타임슬롯 1,248개가 필요하다[3].

Link-22, JTDLIS 체계는 이러한 비효율성을 개선한 동적 TDMA 방식을 적용하였다. 동적 TDMA의 경우 정적 TDMA와 달리 타임슬롯을 자유롭게 할당할 수 있는 반면에, 프레임 변경에 따른 오버헤드 및 추가적인 타임슬롯 소비가 필요하다. 따라서 정적 TDMA보다는 효율적이지만 마찬가지로 할당되는 타임슬롯이 제한적이기 때문에 실시간 이미지 전송에 효과적이지 못하다[11].

전술 데이터링크 메시지 구조나 전송 방식은 기술적으로 난도가 높고, 항재밍 및 대역폭 할당 정책 등 내외부의 다양한 고려 요소가 많아 실시간성 확보를 위한 구조적 개선에 어려움이 있다.

4. Up-Scaling Technologies

저해상도를 고해상도로 변환하는 Up-Scaling 기술을 SR(Super Resolution, 초해상도)이라고 하며, SR 방식에는 전통적인 Interpolation(보간법) 방식과 딥러닝 기반의 SR 방식이 있다. Interpolation은 화소들 사이의 특성을 분석하여 소실된 화소를 유추해 내는 Up-Scaling 기술을 의미하며, 대표적으로 Nearest Neighbor, bilinear, bicubic, Lanczos 등이 있다[12]. 딥러닝 기반의 SR 방식은 AI 기술을 적용한 Up-Scaling 기술로 대표적인 방식은 Table 1과 같다[13,14,15].

Table 1. Characteristics of Deep Learning SR Methods

Method	Characteristics
EDSR	A CNN-type algorithm that transforms the SRResnet network and optimizes it for SISR
SRGAN	CNN-type algorithm capable of 4x upscaling by using GAN for SR
Swin IR	Algorithm using the Vision Transformer method that complements the shortcomings of CNN

Fig. 4와 같이 interpolation과 딥러닝 방식의 SR을 적용한 이미지 품질을 비교하면, 딥러닝 기반 SR 기술의 Up-Scaling 성능이 훨씬 뛰어난 것을 볼 수 있다[13].

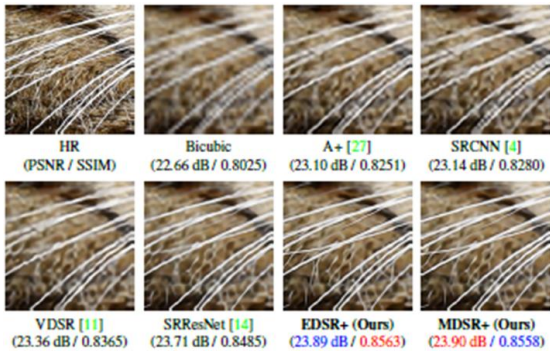


Fig. 4. Comparison of x4 Super Resolution Methods

5. Image Quality Evaluation Metrics

이미지 품질을 객관적으로 평가하는 지표에는 대표적으로 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)과 SSIM(Structural Similarity Index)이 있다.

PSNR은 압축된 이미지의 원본 대비 화질 손실 지표를 의미하며, 높은 값일수록 품질이 우수하다고 볼 수 있다. SSIM은 구조적 유사성을 평가하여 품질을 나타내는 지표로 대비, 밝기, 구조 등을 측정하며, 값이 1에 근접할수록 품질이 높음을 의미한다[16].

PSNR은 절대적인 색상 자체의 유사성을 나타낸 지표라면 SSIM은 인간의 시각적인 관점을 고려하여 유사성을 비교한 지표이다. 이러한 이미지 품질평가 방식은 주로 이미지 처리와 관련된 기술의 성능을 측정하는 데 보편적으로 활용되고 있다.

III. The Proposed Scheme

1. Proposed Concept and Research Steps

이미지 데이터를 감소시키는 방법에는 이미지 압축 방식과 Down-Scaling 방식이 있다. 기존 함정전투체계 전술 데이터링크 이미지 전송 과정에는 데이터링크 전송 표준 포맷과 호환되는 JPEG 압축 방식을 사용하고 있으며, 이미지 데이터를 상당 부분 축소해 전송할 수 있다.

하지만 전술 데이터링크를 통해 전송할 수 있는 이미지의 최대 크기는 2.8mb로, 압축을 통한 축소 이후에도 타 임슬롯 개수 및 네트워크 환경에 따라 수분 이상 소요되어 전술 이미지를 효과적으로 활용하기 어렵다. 또한 이를 위해 이미지 압축 전에 추가적인 데이터 축소를 할 수 있는 Down-Scaling 기능이 있지만 이는 품질 저하의 리스크가 존재한다.

본 논문에서는 기존에 적용된 이미지 Down-Scaling 방식의 단점을 보완하고, SR 방식을 추가하여 이미지 전

송의 전술적 활용도를 높이고자 하였다. 따라서 함정전투 체계에서 전술 데이터링크 이미지 전송의 실시간성 향상을 위해 본 논문에서 제안하는 방식은 Fig. 5와 같다.

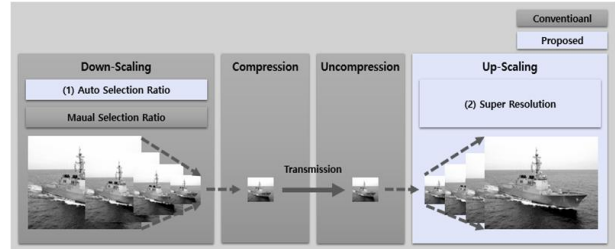


Fig. 5. Concept of Proposed Scheme

본 제안 방식에서는 Down-Scaling 과정에 품질을 보강할 수 있는 축소비율을 적용하고, Up-Scaling 과정을 추가함으로써 품질을 보존하면서 추가적인 실시간성 향상을 도모하고자 하였다.

제안 방식의 핵심은 크게 두 가지이다. 전송할 이미지 데이터를 효율적인 비율로 감소시키고(1), 전술적 활용이 가능하도록 복원(2)하는 것이다. 따라서 연구의 방향은 이미지를 어떤 비율로 축소할 것인지와 어떤 기술로 복원할 것인가 하는 것에 초점을 맞추어 진행하였다. 이를 위한 연구 절차는 다음과 같다.

- Step 1. 제안 방식에 적용할 SR 기술 성능 연구
- Step 2. 복원된 이미지의 특성 분석을 통한 축소비율 결정 방법 연구
- Step 3. 함정전투체계 적용 방안 및 절차 연구

2. Up-Scaling Method Analysis

2.1. Image Quality Metric Evaluation

먼저 복원을 위한 Up-Scaling 기술은 딥러닝 기반의 SR 기술을 활용하였다. 일반적으로 잘 알려진 딥러닝 기반의 SR 기술 중에서 EDSR, SRGAN, Classic SR(Swin IR), Real SR(Swin IR) 4가지 방식에 대한 성능 평가를 진행하여 제안 방식에 가장 적합한 기술을 선정하였다. 본 과정은 단순히 제안 방식에 적용할 딥러닝 기반의 SR 기술 중 하나를 선정하는 과정이며, 추가적인 딥러닝 모델의 경량화나 고도화에 관한 연구는 배제하였다.

성능 평가 지표로 영상 품질평가 지표인 PSNR과 SSIM을 활용하였으며, 첫 번째 성능 평가는 다수의 이미지에 대해 일반적인 복원 성능을 확인하기 위한 테스트를 진행하였다. 평가 방식은 25개 샘플 이미지를 25%로 축소하고, 각 SR 방식으로 4배 복원하여 품질 지표를 측정해 보

았다. (이하 축소비율은 원본 이미지 크기 대비 축소된 이미지 크기의 비율을 의미함)

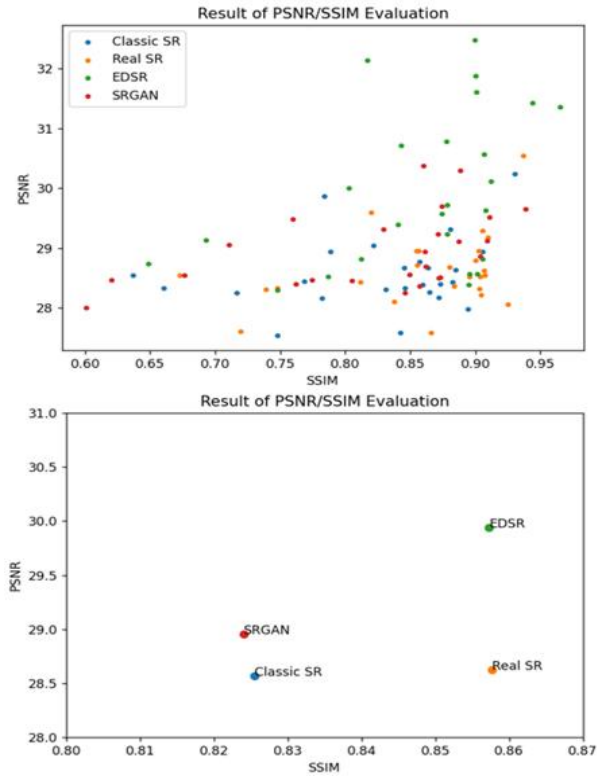


Fig. 6. Result of PSNR/SSIM Evaluation

Fig. 6은 SR 방식별 품질 지표의 분포와 평균값을 나타낸 그래프이다. EDSR이 개별 지표에서 점수가 가장 높게 나타났으며, 평균값에서도 높은 수치를 보였다. 다만 SSIM 평균값에서는 Real SR이 EDSR보다 근소 우위에 있는 것으로 나타났다.

두 번째 성능 평가는 축소비율별 품질 지표 비교를 진행하였다. 전술 데이터링크로 이미지 데이터를 최대한 신속하게 전송하고 문제없이 활용하기 위해서는 축소비율이 낮을수록, 축소된 이미지를 잘 복원할수록 효과적이다. 따라서 축소비율이 낮은 구간에서의 성능을 확인할 필요가 있었다. 평가 방식은 3개 샘플 이미지를 2% 단위로 10%에서 90%까지 축소하고, 각 SR 방식으로 4배 복원하여 품질 지표를 측정해 보았다.

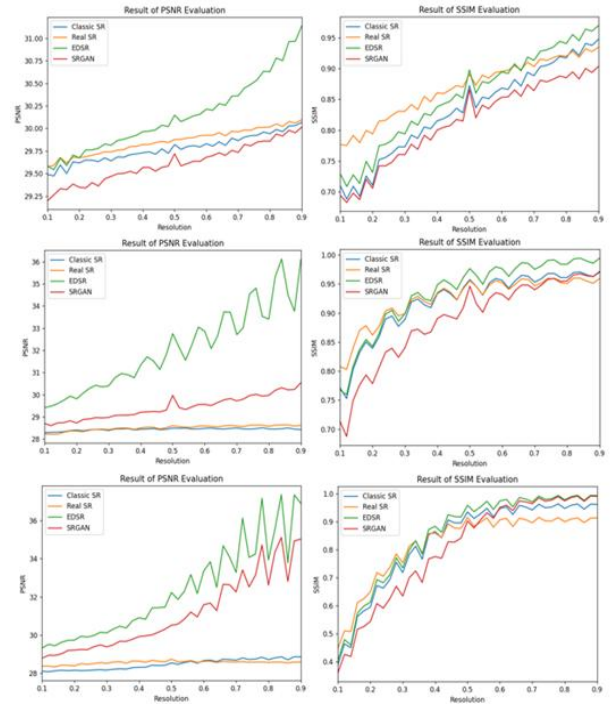


Fig. 7. PSNR/SSIM Graph by Down-Scaling Ratio

Fig. 7의 결과를 보면, 첫 번째 평가 결과와 마찬가지로 EDSR이 PSNR, SSIM 지표 모두 대부분 구간에서 높게 나타났다. SSIM 지표에서는 Real SR이 낮은 비율 구간에서 EDSR보다 높은 값을 나타냈는데, 원본 이미지 크기가 작을수록 그 구간이 늘어나는 것을 볼 수 있었다.

영상 품질평가 지표 측정 결과를 종합해 보면, PSNR 기준으로는 EDSR이 압도적 성능을 보였고, SSIM 기준으로는 낮은 비율 구간에서는 Real SR이, 높은 비율 구간에서는 EDSR이 우세한 성능을 보이는 것으로 확인되었다.

2.2 Subjective Evaluation of Image Quality

전술 데이터링크를 통해 전송된 이미지는 결국 운용자가 직접 보고 판단해야 하므로, 영상 품질평가 지표를 통해 확인한 결과가 실제로 눈으로 보는 품질과도 일치하는지 비교해 보았다.

Table 2. ITU-R Quality and Impairment Scales

Grade	Quality	Impairment
5	Excellent	Imperceptible
4	Good	Perceptible, but not annoying
3	Fair	Slightly annoying
2	Poor	Annoying
1	Bad	Very annoying

평가 방식은 ITU 표준권고안에서 제시하는 정성적 화질 평가 방법[17]을 참고하여, 15명을 대상으로 설문을 진행하였다. 원본과 함께 각 SR 방식이 적용된 이미지를 제공하고, 원본 대비 품질 및 손상 정도를 평가하여 Table 2와 같이 1점에서 5점까지 점수화하였다.

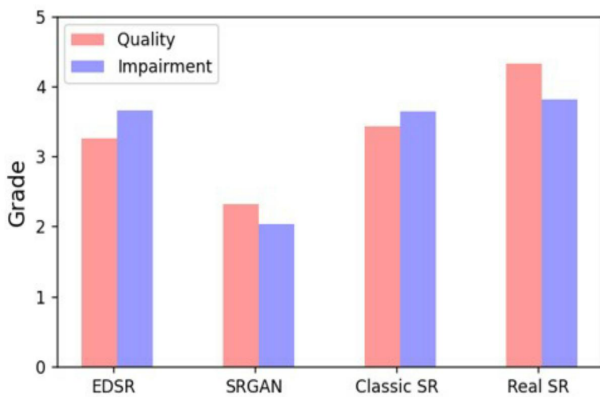


Fig. 8. Result of Quality and Impairment Assessment

Fig. 8은 설문한 내용을 종합한 결과이다. Quality 및 Impairment 모든 부분에서 Real SR이 가장 높은 점수를 획득했고, SRGAN이 가장 낮은 점수를 획득하였다.

전반적으로 영상 품질평가 지표 중 SSIM 측정 결과와 유사했으며, Real SR이 지표에 비해 실제로 체감되는 품질이 훨씬 뛰어난 것으로 나타났다.



Fig. 9. Comparison of Up-Scaled Image by EDSR and Real SR(Swin IR)

Fig. 9의 이미지는 16% 비율로 축소한 샘플 이미지를 EDSR(좌)과 Real SR(우)로 복원한 그림인데, 우측 이미지의 품질이 훨씬 우수한 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 10과 같이 원본 자체의 품질이 아주 낮은 경우에 Real SR이 압도적 복원 성능을 보이는 것을 확인하였다. 함정전투체계에서 획득할 수 있는 영상정보의 품질을 고려하면 Real SR이 더욱 적합할 것으로 판단하였다.



Fig. 10. Comparison of Ship Pictures

영상 품질평가 지표 결과와 정성적 평가 결과를 종합해 보면, 본 제안 방식의 핵심은 데이터를 최대한 많이 축소하는 것이기 때문에 제안 방식에 적용할 복원 기술은 저해상도에서 강점을 가지는 방식이어야 한다. 따라서 낮은 비율 구간에서 뛰어난 성능을 보이는 Swin Transformer 방식의 Real SR이 본 연구에 가장 적합한 복원 기술로 판단되었고, 품질 지표 중에서는 인간의 시각적 관점과 유사성이 높은 SSIM 지표를 축소비율 결정 연구에 활용하기로 하였다.

3. Decision of Down-Scaling Ratio

3.1 Measurement of SSIM Threshold

이미지 복원 기술에 이어, 다음으로는 이미지 축소비율을 결정하기 위한 연구를 진행하였다.

전술 데이터링크를 통해 전송된 이미지는 전술적으로 중요한 정보를 담고 있다. 적정 축소비율을 찾아야 하는 이유는, 원본 이미지의 크기나 품질에 따라 같은 비율로 축소하더라도 손실된 정보의 차이로 인해 전술적 활용이 어려울 수 있기 때문이다. 따라서 이미지에 따라 축소비율을 가변적으로 적용해야 하며, 해당 비율을 결정하기 위한 기준이 필요하다.

앞서 측정했던 축소비율별 SSIM 지표를 이러한 기준으로 활용할 수 있을 것으로 보고, 이를 위한 테스트 절차를 진행하였다.

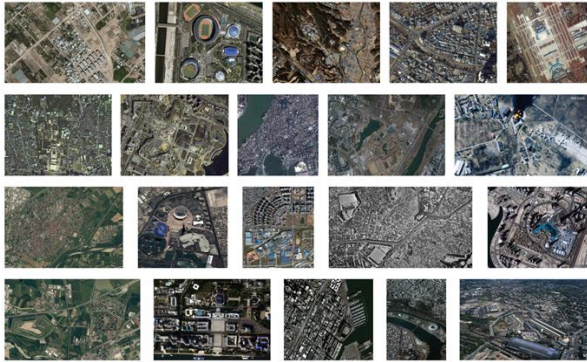


Fig. 11. Samples of Satellite Pictures

Fig. 11과 같은 20개의 위성사진을 5% 단위로 10%~80% 비율로 축소 후 복원하였고, 특정 지형지물을 지정하여 식별할 수 있는 최소 비율의 이미지를 찾아 SSIM값(이하 SSIM 임계치)을 측정하였다.

객관성을 높이기 위해, 측정 방식은 앞서 실시한 정성적 평가 방법과 같이 15명을 대상으로 설문을 진행하였다. 원본과 함께 각 SR 방식이 적용된 이미지를 제공하고, 원본의 지형지물 식별이 가능한 최저 SSIM 값을 측정하였다. 설문 결과를 종합하여 SSIM 임계치를 측정한 결과는 Fig. 12와 같다.

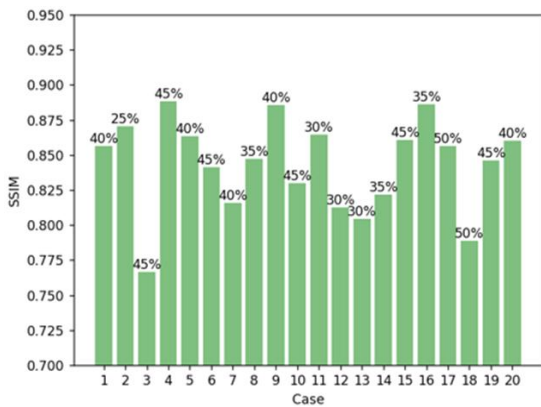


Fig. 12. Measurement of Individual SSIM Threshold

Fig. 12의 측정 결과를 보면 SSIM 임계치 평균은 0.84387, 평균 축소비율은 40%로 확인되었다. 이러한 임계치에 해당하는 이미지는 절반 이상 축소하면서도, 목표물 식별에 문제가 없었기 때문에 본 제안 방식에 적용하기 적합한 기준치가 될 수 있음을 확인하였다.

3.2 Normalization of SSIM Threshold

앞서 확인한 SSIM 임계치는 직접 눈으로 보고 판단한 값이므로, 소프트웨어적으로 활용하기 위해서는 이미지 데이

터만으로 임계치를 찾아낼 수 있는 방법을 찾아내야 한다.

이를 위해 이미지별로 축소한 이미지들의 평균값을 측정하고, 평균값과 SSIM 임계치 간의 편차를 확인함으로써 이미지 종류에 상관없이 임계치를 찾아낼 수 있는 상관관계를 파악하기 위한 분석을 진행하였다.

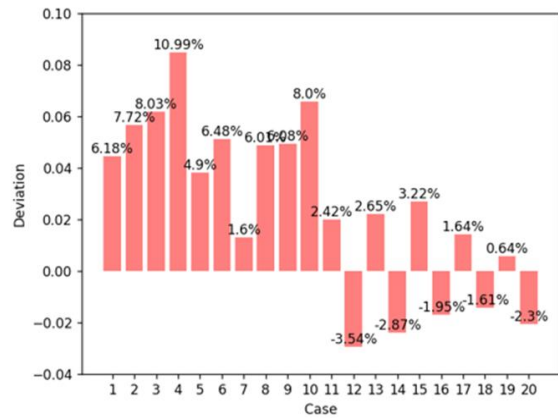


Fig. 13. Deviation between Threshold and Average

Fig. 13은 개별 이미지의 SSIM 평균값과 SSIM 임계치 간 편차를 나타낸 그래프이다. 각 이미지의 SSIM 임계치는 평균값이 낮은 구간에서는 평균값보다 최대 10.99% 증가한 값에 해당했고, 평균값이 높은 구간에서는 최저 3.54%까지 감소한 값에 해당했다.

SSIM 평균값 변화에 따라 일정하게 변하는 것은 아니지만 전체구간으로 보면 평균값이 높을수록 증가 비율이 낮아지는 추세를 보이는 것을 확인하였다.

이를 바탕으로 SSIM 평균값 변화에 따른 SSIM 임계치와의 편차 변화율을 구하기 위해 SSIM 평균값 경계 구간을 선정하였다. 경계 구간은 테스트 케이스에서 측정된 평균값을 모두 포함하는 0.1 단위 값으로 선정하였으며, 이는 0.7~0.9에 해당한다.

다음으로 해당 경계 구간에 1%~15%까지 증감한 값을 다양하게 적용하여 해당 구간의 변화율을 구하였고, 이를 적용했을 때 SSIM 임계치와 가장 근사한 값을 갖는 변화율을 확인하였다. 해당 변화율을 적용한 SSIM 임계치 계산 방식을 수식으로 나타내면 Fig. 14와 같다.

$$f(SSIM_t) = SSIM_\mu + \left(1 + \frac{-30SSIM_\mu + 29}{100}\right)$$

Fig. 14. Formula of SSIM Threshold

SSIM 평균값이 0.7인 경우 8%, 0.9인 경우 2% 증가한 값을 임계치로 설정하였다. 이를 기준으로 설정하고 임계치보다 큰 SSIM 값에 해당하는 이미지를 확인했을 때, 품질과 축소비율 모두 적정 수준을 만족하는 것을 확인하였다.

Table 3의 해당 임계치를 적용한 이미지 비율을 살펴보면 40%~60%의 축소비율 내로 들어오고 있으며 평균 오차 비율 9%로, 눈으로 식별한 값과 크게 차이 나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

Table 3. Comparison of Measured and Applied SSIM Threshold

No.	Measure Threshold		Apply Threshold		Ratio Difference
	SSIM	Ratio	SSIM	Ratio	
1	0.85653	40%	0.89792	50%	10%
2	0.87062	25%	0.91843	40%	15%
3	0.76657	45%	0.76657	45%	-
4	0.88806	45%	0.88806	45%	-
5	0.86349	40%	0.88393	45%	5%
6	0.84118	45%	0.84118	45%	-
7	0.81589	40%	0.84455	45%	5%
8	0.84699	35%	0.89897	45%	10%
9	0.88568	40%	0.90253	50%	10%
10	0.83903	50%	0.83014	45%	-
11	0.86472	30%	0.90887	60%	30%
12	0.81241	30%	0.88730	50%	20%
13	0.80462	30%	0.87350	40%	10%
14	0.82193	35%	0.86797	45%	10%
15	0.86087	45%	0.86087	45%	-
16	0.88603	35%	0.91220	55%	20%
17	0.85637	50%	0.85637	50%	-
18	0.78871	50%	0.78871	50%	-
19	0.84603	45%	0.86582	50%	5%
20	0.86015	40%	0.86015	40%	-
Max	0.88806	50%	0.91843	60%	30%
Ave	0.84548	40%	0.87012	48%	9%

이러한 기준치를 활용하면 사용자가 직접 판단하지 않고도 적정 수준의 이미지를 데이터링크로 신속하게 전송할 수 있도록 본 제안 방식에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. Naval Combat Management System Image Processing Architecture

4.1 Proposal of Design

앞서 연구한 결과를 다시 종합해 보면, 본 제안 방식에 적용할 이미지 복원 방식으로 Real SR이 가장 적합한 것을 확인하였고, 복원된 이미지의 품질 지표를 분석하면 최적의 축소비율을 결정할 수 있다는 것을 확인하였다. 다음은 이를 적용한 함정전투체계 설계 방안이다.

기존 함정전투체계의 전술 데이터링크 이미지 송신 기능은 몇 가지 고정비율만 선택하여 전송할 수 있게 되어

있다. 이러한 기능은 단순 축소를 위한 기능이기 때문에 전송된 이미지가 복원되지 않으며, 이미지의 품질은 보장할 수 없다.

앞선 연구 결과를 바탕으로 함정전투체계에 첫 번째로 적용할 수 있는 방법은 기존 기능을 그대로 사용하면서 축소된 이미지를 복원하는 방법이다. 하지만 이러한 방식은 원본 이미지의 해상도나 품질에 따라 같은 비율로 축소하더라도 품질 정도가 달라지기 때문에, 적정 비율을 선택하기는 쉽지 않다. 예를 들어 품질이 낮은 이미지를 25% 비율로 송신하면 SR로 복원하더라도 전술적 활용이 불가능한 수준이 될 수도 있다.

추가로 적용할 수 있는 방식은 기존 비율 선택기능에 자동 비율방식을 추가하는 것이다. 자동 비율방식은 운전자 대신 소프트웨어가 적정 비율을 판단하여 이미지를 축소하는 방식으로, 운영자의 개입 없이 빠르게 전송하면서도 품질 저하의 리스크를 방지할 수 있는 장점이 있다.

이러한 소프트웨어적인 축소비율 판단은 SSIM 임계치 수식을 적용하고, 수신한 이미지는 Real SR 방식을 통해 복원하도록 하여 적정 수준의 품질을 보장하도록 한다.

기존 전술 데이터링크에서의 이미지 전송 방식과 본 논문의 제안 방식이 적용된 이미지 전송 방식을 비교한 표는 Table 4와 같다.

Table 4. Comparison of Conventional and Proposed Design

Category	Down-Scale Ratio	Up-Scale
Conventional	Manual	-
Proposed	Manual and Auto	4x Up-Scale

4.2 Image Transmission Procedure

제안 방안이 적용된 전술 데이터링크에서의 이미지 전송 절차는 다음과 같다.

먼저 사용자가 함정전투체계에서 송신할 이미지를 선택한 후 축소비율을 선택한다. 고정비율을 선택 후 송신 버튼을 누르면 해당 비율로 변환하여 송신한다.

자동 비율을 선택한 후 송신 버튼을 누르면 10%~80%까지 5% 단위 비율로 축소 후 Real SR 방식으로 복원하여 SSIM 값을 측정한다. 측정된 SSIM 값을 종합하여 SSIM 임계치를 계산하고, 임계치보다 큰 최소 비율에 해당하는 이미지를 데이터링크로 전송한다.

수신 측에서는 이미지가 수신되면 Real SR 방식으로 복원하여 이미지를 저장한다. 사용자가 이미지 보기 버튼을 누르면 저장된 이미지를 전시하여 운영자에게 제공한다. 해당 절차를 도식화한 그림은 Fig. 15와 같다.

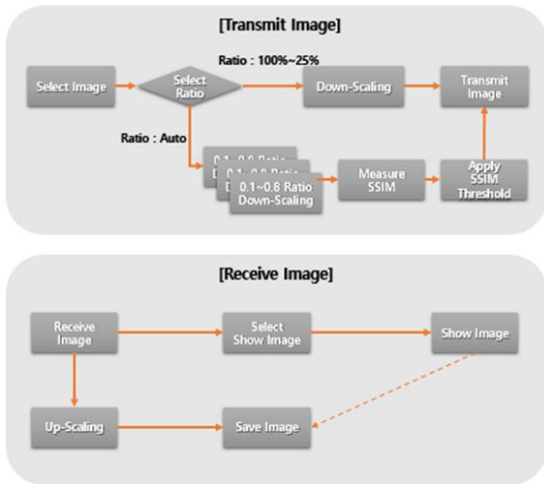


Fig. 15. Procedure of Image Transmission

IV. Performance Analysis

1. Environment of Experiment

본 실험에 앞서 실험 환경은 다음과 같다. 함정전투체계와 이에 탑재되는 데이터링크 시뮬레이터를 하나의 노드로 구성하고(A 노드), 데이터링크의 원격노드를 별도의 노드로 구성하여(B 노드) 총 2개의 노드 간 데이터 교환 및 측정을 위한 환경을 구성하였다. 실험을 위한 환경 구성도는 Fig. 16과 같다.

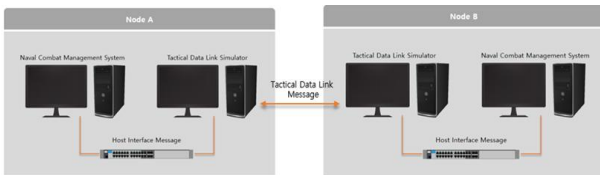


Fig. 16. Environment of Experiment

2. Constraints and Purpose of Experiment

모의실험 환경은 실제 환경과 비교해 탑재되는 하드웨어 외에는 소프트웨어적으로 동일한 구성으로 이루어져 있다. 다만 실제 환경은 유선, 무선, 위성 등 플랫폼별 가용한 통신 매체가 다양하며, 타임슬롯 할당 정책에 따른 대역폭 차이가 있지만, 본 실험에서는 타임슬롯에 영향을 받지 않는 유선 환경에서 실험을 진행하였다. 따라서 실제 환경에서의 가변적인 대역폭을 고려한 실험은 제한되기 때문에, 동일 대역폭에서 전송 소요 시간의 상대적 비교를 통해 기존 대비 제안 방식의 효과를 검증하고자 하였다.

3. Comparison of Transmission Performance

3.1 Experiment Procedure

이미지 전송 속도 비교를 위한 본 실험 절차는 다음과 같다. 전투체계 데이터링크 전시기에서 테스트 이미지를 선택한다. 보낼 주소를 B 노드로 설정하고, Scale을 100% 축소비율과 자동 축소비율로 각각 설정한 후 송신 버튼을 누른다. 노드 B에서 수신한 이미지를 확인하고, 송신 버튼을 누른 시점부터 수신한 이미지가 전시되는 시점까지 소요된 시간을 측정한다. 이를 서로 다른 크기의 이미지 5장으로 반복하여 측정한다.

3.2 Result of Transmission Experiment

기존 전송 데이터링크 이미지 데이터 전송 시간과 제안 방식이 적용된 전송 데이터링크 이미지 데이터 전송 시간을 비교한 결과는 Fig. 17과 같다.

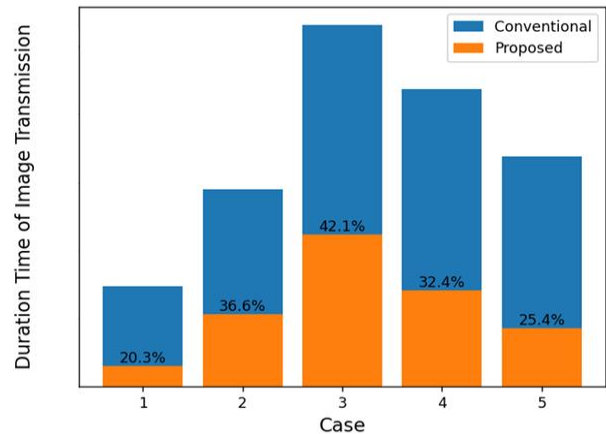


Fig. 17. Comparison of Image Transmission Time

모든 테스트 케이스에서 기존 소요 시간 대비 50% 이하로 전송 시간이 단축되었으며, 일반적으로 이미지 크기가 커질수록 데이터링크로 전송하는 소요 시간의 증가 비율이 커지기 때문에 이미지 크기가 작을수록 제안 방식을 통한 시간 단축 효과가 큰 것을 확인할 수 있었다. 이는 이미지 크기가 커서 작전시간 내에 도달이 어려운 경우에는 도달할 수 있는 시간으로 단축하여 실시간성을 확보할 수 있고, 작전시간 내에 충분히 도달할 수 있는 경우에도 기존보다 빠르게 전송하여 작전 효율을 높일 수 있음을 보여 준다.

3.3 Conclusion of Performance Experiment

Table 5. Average of Result for Experiment

Down-Scaling Ratio	SSIM	Ratio of Reduced Time
50%	0.87515	68.6%

Table 5는 실험 결과 주요 데이터의 평균치를 종합한 내용이다. 자동 방식으로 축소했을 때 원본 대비 평균 절반 정도 축소되는 것으로 나타났으며, 전송 시간은 기존 대비 70% 가까이 감소하였다. 복원한 이미지의 SSIM 평균값은 3.1절에서 설문을 통해 측정된 SSIM 임계치 평균값과 0.00503 차이로 근사한 수치를 보였으며, 실제 눈으로 확인했을 때도 주요 지형지물을 식별하는 데 큰 어려움이 없었다.

결과적으로 제안 방식이 기존 목적에 부합하면서도 실시간성을 높일 수 있음을 확인하였고, 이는 모의실험 환경이 아닌 실제 작전환경에서의 네트워크 상태를 고려하면 더욱 효과적일 것으로 예상된다.

V. Conclusions

본 논문에서는 이미지를 축소하여 전송하고, 축소된 이미지를 복원하는 방법을 통해 기존 대비 전송 데이터링크 이미지 전송의 실시간성을 증대시키는 방안을 연구하였다. 먼저 대표적인 SR 방식의 성능을 비교하여 이미지 복원 방식을 결정하였고, 이미지 품질특성 사이의 상관관계를 분석하여 적정 축소비율을 도출하였다. 이를 함정전투체계에 적용하여 기존 방식에서 축소했을 때 발생할 수 있는 품질 저하의 리스크를 방지하였고, 전송 시간을 기존 대비 약 70% 단축하는 효과를 볼 수 있었다. 결과적으로 기존 방식보다 전송속도를 개선함으로써, 제안 방식이 전송 데이터링크를 통한 이미지 전송의 실시간성을 향상할 수 있음을 확인하였다. 본 연구를 기반으로 향후 제안 방식을 다양한 플랫폼에 적용하여 전송 데이터링크를 통한 이미지 전송의 활용 가치를 더욱 증대시킬 수 있기를 기대한다.

REFERENCES

- [1] Jong-Sung Kim, Sang-Jun Kim, Man-Yeob Lim. "Overview of Tactical Data Link Technology", Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers, vol. 25, no. 9, pp. 18-28, Sep. 2007.
- [2] Young-Goo Kim, Hong-Jun Noh, Hyung-Won Park, Hyeong-Heon Lee, Jae-Sung Lim. "Tactical Data Link MAC/PHY Technology for Image Transmission in Air Operations", Telecommunications Review, vol. 20, no. 2, pp. 229-242, Jan. 2010.
- [3] Young-goo Kim, Jae-sung Lim, Hyoung-jun Noh, Kyu-man Lee, "Tactical Data Link Message Packing Scheme for Imagery Air Operations", The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol. 37, no. 4, pp. 278-287, april. 2012.
- [4] Chi-Sun Baek, Jin-Hyang Ahn, "A Study of the Standard Interface Architecture of Naval Combat Management System", Journal of The Korea Society of Computer and Information, vol. 26, no. 1, pp. 147-154, Jan. 2021. DOI: 10.9708/JKSCI.2021.26.01.147
- [5] Hyo-Ki Choi, Chang-Bae Yoon, Seok-Jun Hong, "Design of Airborne Terminal System for Joint Tactical Data Link System Complete Data-link", Journal of Positioning, Navigation, and Timing, vol. 9, No. 2, pp. 139-147, Jan. 2020. DOI: 10.11003/JPNT.2020.9.2.139
- [6] Ha-Seok Song, "A Study on HCI Design based on Tactical Data Link integrated in KDDX Combat Management System for Korean-Type Mobile Fleet Control", Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, vol. 12, no. 5, pp. 482-492, Oct. 2019. DOI: 10.17661/JKIIECT.2019.12.5.482
- [7] Ho-jeong You, Byeong-gon Choi, "Message Analysis and Development Situation on the Tactical Data Link of Combat Management System in Naval", Journal of Satellite, Information and Communications, vol. 12, no. 2, pp. 21-27, Jun. 2017.
- [8] Joon-Ho Lee, Ki-Hyun Jung, Kee-Young Yoo, "Hybrid Information Hiding Method Based on the Characteristics of Military Images on Naval Combat System", Journal of Korea Multimedia Society, vol. 19, no. 9, pp. 1669-1678, Sep. 2016.
- [9] Hyeong-Heon Lee, Hyeong-Jun Jang, Yeong-Gu Kim, Jae-Sung Lim, "Establishment for Efficiency Air-To-Ground Air Operation Model in Link-16", Journal of the KIMST, vol. 13, no. 5, pp. 861-868, Jan. 2010.
- [10] Ho-ki Baek, Jae-sung Lim, Ja-yeul Koo, Jeong-hwan Jin, Phil-seong Chun, Il-hyuk Oh, "Reliable Dynamic TDMA Scheme with new Packing method for Image Transmission over Link-16", The Journal of the KICS, vol. 37, no. 11, pp. 1045-1053, Nov. 2012.
- [11] Jong-Kwan Lee, "Performance Analysis of Dynamic TDMA and Fixed TDMA in Tactical Data Link", Journal of the KIMST, vol. 21, no. 4, pp. 489-496, Jan. 2018. DOI: 10.9766/KIMST.2018.21.4.489
- [12] Yoon-Soo Lee, "Video Quality Improvement Method of Up-sampling Video by Relationship of Intra Prediction Data and DCT Coefficient", Journal of the Korea society of computer and information, vol. 16, no. 7, pp. 59-65, July. 2011. DOI: 10.

9708/JKSCI.2011.16.7.059

- [13] Bee Lim, Sanghyun Son, Heewon Kim, Seungjun Nah, Kyoung Mu Lee, "Enhanced Deep Residual Networks for Single Image Super-Resolution", 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), pp. 1132-1140, July. 2017. DOI: 10.1109/CVPRW.2017.151
- [14] Christian Ledig, Lucas Theis, Ferenc Huszár, Jose Caballero, Andrew Cunningham, Alejandro Acosta, Andrew Aitken, Alykhan Tejani, Johannes Totz, Zehan Wang, Wenzhe Shi, "Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network", 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 105-114, July. 2017. DOI: 10.1109/CVPR.2017.19
- [15] Jingyun Liang, Jiezhong Cao, Guolei Sun, Kai Zhang, Luc Van Gool, Radu Timofte, "SwinIR: Image Restoration Using Swin Transformer", 2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW), pp. 1833-1844, Oct. 2021. DOI: 10.1109/ICCVW54120.2021.00210
- [16] Han-Seul Kim, Da-Sol Kim, Jung-Il Song, "A Study on Image Interpretations of Computed Radiography for Iron Samples Using Image Evaluation Techniques", Journal of Conservation Science, vol. 38, no. 5, pp. 360-374, Oct. 2022.
- [17] ITU-R Rec. BT. 500-15, "Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures", May. 2023.

Authors



Won-Jin Kim received the B.S. degree in Computer Engineering from Chungnam National University, Korea. He is currently working in Hanwha Systems Co. from 2020. he is interested in Naval Combat

Management System, Combat System Support Software and Interface Control Unit Software.



Young-San Kim received B.S degree in Computer Science and Electrical Engineering from Handong University, Pohang, Korea. He is currently working in Hanwha Systems Co. from 2009. He is interest in Naval

Combat Management System Software, Human Computer Interface and System Engineering.



Hyo-Jo Lee received B.S degree in Electronics from Kyungpook National University, Korea. He is currently working in Hanwha Systems Co. from 2010. He is interest in Naval Combat System and

Combat System Support Software.