

미래형 감시영상 융합체계를 위한 인프라와 프레임워크 방향 설계

한 정 수*, 김 요 한*, 장 충 수**, 임 혁*, 김 종 원°

Conceptual Design of Infrastructure and Framework for a Futuristic Surveillance Imagery Fusion System

Jungsu Han*, Yohan Kim*, Chungsu Jang**, Hyuk Lim*, JongWon Kim°

요 약

미래전의 전쟁 패러다임은 대량의 병력 소모전을 지양하고, 다양한 형태의 전장 정보를 신속히 전달하고 정보 우위를 점하는 네트워크 중심전(network centric war, NCR)으로 변화하고 있다. 특히 지휘, 통제, 통신, 컴퓨터, 전투체계를 망라하는 지상전술지휘통제(C5)와 전장감시체계(ISR: Intelligence Surveillance, and Reconnaissance)를 통합한 C5ISR 체계로의 점진적 전환에 대비하여 미래형 감시영상 융합체계를 개발하고 전력화하는 것이 필요하다. 본 논문은 이를 위해, 과거의 감시영상 융합체계 사례들을 살펴보면서 기술적 변천을 이해하고 주요하게 관찰 되는 기술들의 최신 동향 및 전망을 총체적으로 파악하여, 미래형 감시영상 융합체계를 위한 인프라와 프레임워크의 방향성을 설계하고 이를 구체화하는 노력을 제시한다.

Key Words : Surveillance Imagery System, C5ISR, Geospatial Intelligence, Software Framework, Distributed infrastructure

ABSTRACT

The futuristic war paradigm is changing to network-centric warfare (NCW) that avoids a large number of troop consumption, and quickly transmits various types of battlefield information and gain information superiority. In particular, a futuristic surveillance imagery fusion system should be prepared for the gradual transition to the C5ISR system that incorporates the Ground Warfare Command Control (C5), which consists of command, control, communications, computers, and combat systems, and the ISR. Thus, in this paper, we explore several surveillance imagery fusion systems and derive overall technical trends that are important to be observed. Based on the survey, we present a conceptual design of infrastructure and framework for the futuristic surveillance imagery fusion system and show efforts to shape it.

※ 본 연구는 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다. (UD190020FD)

• First Author : Kakao Enterprise Cloud Development, teddy.han@kakaenterprise.com, 정회원

° Corresponding Author : Gwangju Institute of Science and Technology Department of AI Graduate School, jongwon@gist.ac.kr, 종신회원

* Gwangju Institute of Science and Technology, School of Electrical Engineering and Computer Science, yohankim@gist.ac.kr, 학생회원, Department of AI Graduate School, hyuklim@gist.ac.kr, 정회원

** 국방과학연구소 국방인공지능기술센터 1팀, csjang@add.re.kr

논문번호 : 202104-092-B-RU, Received April 26, 2021; Revised June 6, 2021; Accepted June 8, 2021

1. 서 론

미래전의 전쟁 패러다임은 대량의 병력 소모전을 지양하고, 다양한 형태의 전장 정보를 신속히 전달하고 정보 우위를 점하는 네트워크 중심전(network centric warfare, NCW)으로 변화하고 있다¹⁾. 전장의 정보를 신속히 획득하고 이를 전술 계획 및 지시에 활용하기 위해서는 ICT (information and communications technology) 중심의 지휘통제 및 감시정찰정보의 관리 시스템이 필요하다. 지휘통제는 지휘관이 자신의 예하 전력에 대해 임무 지시를 행사하는 것으로서 지휘관의 정확하고 즉각적인 결심을 요구하며, 이를 위한 지휘통제 및 감시정찰정보의 전장관리 시스템은 기존의 ‘C4ISR’ 체계에서 지휘(Command), 통제(Control), 통신(Communications), 컴퓨터(Computers), 전투체계(Combat Systems)를 망라하는 지상 전술지휘통제(C5)와 전장감시체계(ISR: Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance)를 통합한 ‘C5ISR’ 체계로 변화하고 있다. 다양한 ICT 기술이 하나로 융화되어 C5ISR 체계를 바탕으로 한 독자적인 군사정보 획득 능력은 현대전에서 우위를 점하기 위한 중요한 핵심 요소이다.

세계 각국은 미래전과 전시 작전통제권 전환에 대비하여 오래전부터 군사정보 획득을 위해 감시정찰전력 증강에 많은 투자를 해왔다. 특히 영상정보 측면에서 합성개구레이더(SAR: Synthetic Aperture Radar), 전자광학(EO: Eelectro Optical), 적외선(IR: Infrared) 등의 센서를 탑재한 위성, 유/무인항공기전력 등 다양

한 자산들을 전력화하면서 실시간 전장감시능력을 확대하는데 많은 노력을 기울여 왔다²⁾. 이러한 감시정찰자산들은 제각기 서로 다른 장단점을 가지고 있기 때문에 작전적 효율성과 효과성을 높이기 위해서는 상호보완적 운용이 중요하며, 각국은 감시정찰자산이 수집한 각기 다른 영상정보의 통합적 처리 지원이 가능한 감시영상 융합체계의 개발을 추진하고 있다. 초기에는 소규모의 단일 지역을 대상으로 독립적인 형태의 감시영상 융합체계가 운용되고 있었으나, 현재는 다수의 지역을 연계하는 형태의 분산 인프라 기반의 다지점 운영(Multi-domain Operation)이 중요한 이슈로 대두되고 있다³⁾. 이를 위해 언제라도 확장이 용이하도록 확장성과 필요한 목적에 부합하는 임무를 즉시 수행하도록 적응성을 포함하는 미래형 감시영상 융합체계를 마련하는 것이 중요하다.

세계 각국의 변화에 대응하여 미래적인 방향에서 살펴보면, 감시영상 융합체계는 그림 1처럼 구도를 그려볼 수 있다. 먼저, 다수의 감시정찰자산으로부터 영상데이터를 확보하도록, 예지 영역에 분포하는 분산된 정찰자산 인프라로부터 데이터를 선처리하여 중앙의 코어 클라우드로 전달하는 구성방식인 에지/코어 클라우드 개념과 분산된 클라우드 인프라를 소프트웨어정의 방식으로 유연하게 관리할 수 있도록 SDN/NFV 네트워킹 기술이 적용된 분산 인프라(자원)를 준비해야 한다. 그리고 분산되어 있는 인프라를 긴밀하게 지휘/통제하는 기능과 예지 영역으로부터 발생하여 코어 영역까지 도달하는 영상융합 데이터를 끊임없이 수집하고 처리/저장을 수행하는 영상융합 기능을 지원하는

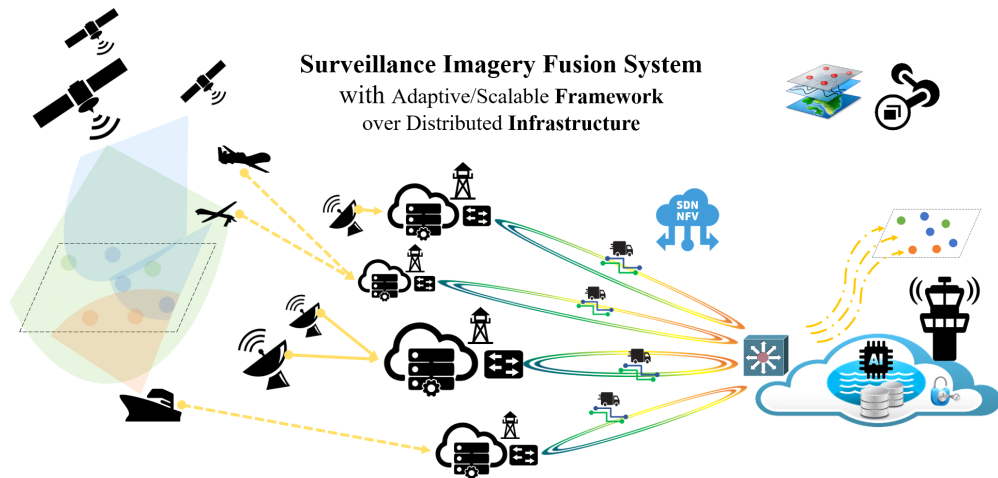


그림 1. 미래형 감시영상 융합체계 구성도
Fig. 1. Futuristic surveillance imagery fusion system

통합적인 프레임워크(소프트웨어)가 필요하다.

상기한 바와 같이, 미래형 감시영상 융합체계를 위한 정확하고 올바른 인프라/프레임워크의 방향성을 정립하기 위해서는 감시정찰 융합체계의 변천에 대한 분석과 이를 토대로 기술적인 동향 및 추세를 파악하는 것이 우선적이다. 하지만 대부분의 국방 기술/연구들은 각국의 군사적 정보 보호 장치를 통해 관리되고 있어 자세한 기술 내용을 살펴보기 힘든 점이 있다.

따라서 본 논문에서는 국제적으로 공개된 군용 정보 및 솔루션들을 바탕으로 과거의 감시영상 융합체계의 사례들을 살펴 보면서 사례들의 변천을 이해하고, 군에 얽매이지 않는 근본적인 기술들의 특징을 파악한다. 그리고 이러한 기술들의 최신 동향 및 전망을 총체적으로 정리하여 미래형 감시영상 융합체계를 위한 인프라와 프레임워크의 방향성을 설계하고, 이를 구체화하기 위한 노력을 제시한다.

II. 감시영상 융합체계의 변천 및 방향성

세계 각 군에서는 영상 정보와 지형 관련 정보를 통합적으로 분석하여 작전에서 활용하도록 Geospatial Intelligence 개념을 도입하고 있다. Geospatial Intelligence란 영상 정보와 지리 공간 정보를 토대로, 군사적 잔전 운용 환경에서 물리적인 특성과 지리적으로 참조될 수 있는 특징들을 묘사할 수 있도록 유용한 지리 공간에 대한 지능적인 정보를 추출하는 과정을 말한다⁴⁾. Geospatial Intelligence의 구성요소는 영상 지능(Imagery Intelligence), Imagery(영상), Geospatial Information(지리 공간 정보)로 이루어진다. 즉, 영상 데이터에 대한 확보를 토대로 영상의 유용하고 가치 있는 지능을 추출하고, 이와 함께 지리 공간 정보를 토대로 지리 공간의 통합적인 지능을 확보하는 것을 목표로 한다.

감시영상 융합체계를 활용한 Geospatial Intelligence의 구현 개념은 그림 2와 같이 감시영상 데이터를 생산(Generate), 분석(Analyze), 관리(Manage), 전파(Disseminate)하는 구조하에 수행되고 있다. SAR, EO, IR 등 다양한 센서들을 통해 수집된 다출처 영상정보들은 지휘 체계에 위치한 데이터 저장소에 저장되며, 수집한 영상정보와 보유하고 있는 지리적인 데이터를 토대로 영상정보에 대한 특징 분석 및 평가 등 영상을 융합하는 과정을 거쳐 지능적 정보를 추출한다. 이렇게 추출된 정보들은 실시간으로 각기 부대에서 작전을 수행하는 지휘관에게 적시에 유용한 정보를 제공하는 데 사용된다. Geospatial

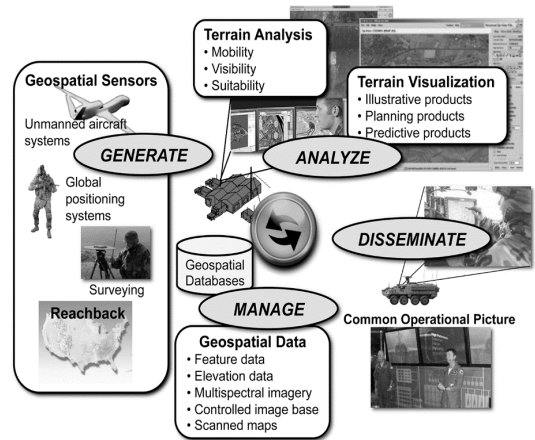


그림 2. 지리 공간 지능 구현 개념⁴⁾
Fig. 2. Geospatial Intelligence concept⁴⁾

Intelligence를 수행하는 감시영상 융합체계는 각국이 전략적으로 운용하고 있어 자세한 사항은 공개되어 있지 않으나, 국제적으로 공개되어 주목받고 있는 몇 가지 체계들과 영상융합 기능을 지원하는 지리 공간 지능 솔루션 사례들을 분석하여 과거로부터 현재까지의 감시영상 융합체계 기술의 변천을 살펴본다.

2.1 DCGS (The Distributed Common Ground Systems) 체계

미국 공군은 각종 군용기로부터 수집된 데이터를 활용하여 지능적으로 임무를 수행하도록 DGS (Deployed Ground Station) 개념을 도입하였다. 이러한 개념이 확장되면서 육군/해군과 상호운용이 가능하도록 개발하게 되었고, 이를 위하여 2006년에 공군에서 DCGS 체계를 배치하고 공개하였다. DCGS의 주요 목표는 그림 3과 같이 임무, 제어, 처리, 이용, 확산 등의 과정을 통해 신속하고 정확하며 유용한 전장감시체계(ISR) 데이터를 확보해 각 군에게 제공하는 것이다. DCGS 체계의 종류는 세부적으로는 DCGS-N(해군), DCGS-A(육군), AF-DCGS(공군), DCGS-SOF(특수부대) 등으로 나뉜다.

1990년도 초기의 U2 Ground System은 단일 지역에 한정된 단독적인 Stovepipe 형태의 임무에 한정되었지만, DCGS에서는 다수의 지역들을 연동하는 분산 기반의 네트워크-중심 ISR을 구성하여 Multi-Int를 확보하려는 방향 전환을 보여준다⁶⁾.

DCGS의 궁극적인 미래 방향은 군 내부의 정보들을 네트워크와 클라우드를 활용하여 공유/처리하는 형태의 단일정보환경을 구현하는 것이다. 그러나 초기 DCGS 운영형태에는 당시에 태동하기 시작한 클라우

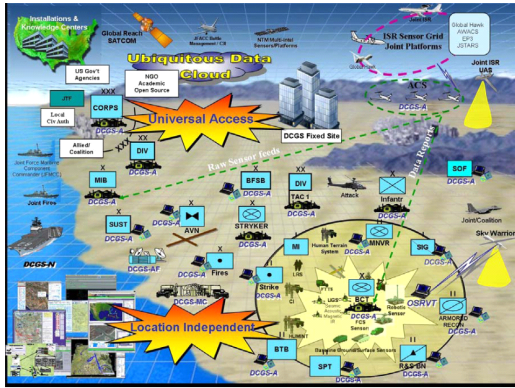


그림 3. DCGS-A 가상 운영 모습[5]
Fig. 3. Operation example of DCGS-A[5]

드 연동 개념을 제대로 활용하진 못하였다. 다만 DCGS 체계를 인프라와 소프트웨어로 분리하여 다루고자 시도하였다. 인프라 측면에서는 DCGS 체계에서 요구되는 인프라 자원(컴퓨팅/스토리지/네트워크)을 지원하도록 각종 컴퓨팅 서버 및 군용 랩톱 장비들을 통합하여 영상융합을 지원하는 장비 인프라를 구성하였다. 소프트웨어 측면에서는 Service Oriented Architecture (SOA) 개념을 활용하는 통합 백본인 DIB(DCGS Integration Backbone)을 통하여 사용자들을 위한 웹/클라이언트 기반 도구들을 제공하였다. 즉 DCGS 체계는 C4ISR 비전에 맞는 지능적인 임무를 수행하도록 SOA 개념을 활용하여 상호 운영이 가능한 Global C4ISR 환경을 구축하는데 중점을 두었다.

2.2 RICent (Real-time Image Intelligence Center) 체계

이스라엘 항공기 산업인 ELTA 사의 RICent 체계는 지상/공중에 위치한 다양한 감시정찰자산들로부터 수집되는 감시영상 데이터를 실시간으로 처리 및 통합하여, 이미지 획득부터 이미지 인텔리전스(IM-INT) 기능을 점목하는 ISR 체계이다⁷⁾. RICent 체계는 독립형 전술 지역에서 지역 또는 국가 전략적 IM-INT 센터 역할을 하는 네트워크-기반의 허브로 구성된 분산 인프라를 활용하며, 빠르게 적들을 탐지, 식별하기 위해서 자동화 및 반자동화 도구를 활용한다.

DCGS 체계와 비슷한 시기에 공개된 RICent 체계는 DCGS의 기본 원리인 분산 기반 네트워크-중심 개념을 실제 군사적 임무를 수행하는 NCW(Network-centric War) 수준으로 발전하고자 시도하였다. 먼저, 다수의 감시정찰자산으로부터 획득하는 감시정찰 데이터의 수동적인 개별적인 처리를 넘어서서, 다수의

감시정찰 데이터를 자동화 방식으로 통합 처리하도록 개선하였다. 통합 처리된 감시정찰 데이터는 시스템 제어부의 관제하에 감시정찰 데이터를 해석하고 융합하는 과정(INT²: Interpretation/Integration)을 수행하여 유용한 정보를 추출하여 데이터센터에 저장하고 최종적으로 사용자들에게 전파하도록 구성된다.

다수의 이기종 정찰자산으로부터 획득되는 센서 데이터를 해석하고 융합하는 과정을 통일하기 위해서, 통합 처리 구조(Standardized IM-INT data)를 갖는 자동화 기반의 영상융합 처리/분석 체계를 구축하려는 시도는 표준적인 방식에 주목하는 영상융합 처리 방식의 개선을 보여준다.

2.3 MINDS (Multisensor-image Interpretation and Dissemination System) 체계

스위스 군의 전장감시체계를 지원하기 위해 채택되어 주목받고 있는 THALES 사의 MINDS 체계는 다수의 감시정찰자산으로부터 획득하는 감시영상 데이터를 실시간적으로 통합 처리하여 적시의 지능적인 명령을 수행하는 ISR 체계 구성을 목표로 한다.

MINDS 체계의 기본적인 영상융합의 과정은 수집(collection), 처리(processing), 분배(dissemination), 전송(direction) 과정으로 진행되며, 처리 과정에서 저장되는 데이터는 표준적인 방식의 일종인 CSD(replicated Coalition Shared Databases)에 저장하고 관리한다⁸⁾.

이 시점에는 이미지 처리 방식 시스템들이 각자의 방식대로 다양하게 적용/도입되고 있는 시점이기에 단일적인 인터페이스 통일을 위해 MINDS 체계는 북대서양 조약 기구(NATO: North Atlantic Treaty Organization)의 표준화 협정(STANAG: Standardization Agreement)에 부합하는 표준적인 방식을 고려하면서, 오픈 소프트웨어 및 하드웨어 아키텍처를 활용한 ISR 체계를 구성했다. 이는 최근 가파른 기술적인 변화에 따른 잦은 인프라 자원의 전환과 유지보수에 용이하도록 확장성을 염두한 ISR 체계로의 전환을 보여준다.

MINDS 체계의 내부 구조를 기술적으로 상세히 명세한 자료가 공개되어 있지 않으므로 감시영상 융합 체계의 세부적인 기술적인 흐름은 파악하기 어려우나, 공개된 자료를 토대로 살펴보면 확장성을 고려하여 군 조직 기관이 제공하는 표준에 부합하는 체계를 구축하는 시도는 주목할만한 부분으로 판단된다.

최근 THALES 사에서는 멀티이미지에 대한 처리/전파를 넘어서 이미지에서 유용한 기능들을 추출할

수 있도록 이미지 가공 기술과 가공된 이미지 정보들을 3D 기반 지도에 투영하여 전시정보를 활용할 수 있도록 MINDS 체계뿐만 아니라 NIES(Networked Image Exploitation System) 및 DMPS(Digital Mapping Tools)와 같은 추가적인 솔루션들을 제공하면서 기술력을 확장하고 있다.

2.4 지리 공간 지능 솔루션

위에서 설명한 영상융합 체계의 필요한 기능을 지원하기 위한 지리 공간 지능 솔루션들이 존재한다. 그중, 대표적인 솔루션인 GXP, Hexagon, Textron, ArcGIS 지리 공간 솔루션들을 살펴본다.

GXP는 BAE Systems의 대표적인 지리 공간 분석 솔루션이다. BAE의 지리 공간 분석 솔루션의 주요 제품군인 SOCET GXP는 v1이 2008년에 출시했으며, 1991년 공개된 사진 측량과 관련된 기능을 제공하는 SOCET(SOftCopy Exploitation Toolkit) SET이 개선되어 새로 파생된 제품군이다⁹⁾. GXP 지리 공간 분석 솔루션은 본격적으로 3D 모델링 기능을 활용하여 감시영상 융합에 활용한 것이 특징이다. 또한 영상융합 처리를 수행하는 소프트웨어를 기능별로 세분화하여 여러 제품군으로 구별하여 제공한다. 이는 소프트웨어의 구조적인 입장에서 살펴보면, 영상융합을 지원하는 소프트웨어 기능들이 점차적으로 고도화되면서 전통적인 단일 소프트웨어 구조(monolithic)에서 마이크로 서비스 기반의 소프트웨어 구조로의 전환을 보여준다. 마이크로서비스 기반의 소프트웨어 구조 채택은 클라우드 개념을 본격적으로 활용할 준비가 되는 중요한 전환점의 시기로 판단된다.

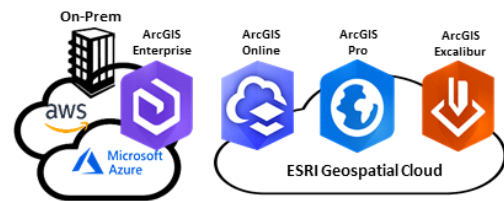
스웨덴의 Hexagon AB는 감시정찰자산의 센서 관련 솔루션을 20년 이상 지속해온 전통 있는 회사로, 감시영상을 시각화하고 분석할 수 있도록 Luciad, M.Apps, Power로 구성된 세 가지 포트폴리오를 포함하는 지리 공간 솔루션을 제공한다¹⁰⁾. Power 포트폴리오는 사진 측량, 원격 감지, GIS 및 지도 제작 기술 등을 내포하여 여러 데이터 소스로부터 지리 공간 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 분석/처리를 관장한다. Luciad 포트폴리오는 중대한 임무 운영을 지원하기 위한 실시간 상황 인식 및 위치 정보 파악을 위한 차세대 5D 지리 공간 기반의 시각화(visualization) 기능을 제공한다. M.Apps 포트폴리오는 수집된 지리 공간 데이터를 활용하여 분석, 쿼리 등의 기능을 조작할 수 있는 클라우드 기반의 사용자 중심 어플리케이션을 제공한다. Hexagon 지리 공간 솔루션은 이 시기의 폭발적으로 수요가 늘어난 컴퓨팅 자원인 GPU를

본격적으로 활용하여 지리 공간 처리/분석을 수행하는 것이 특징이다. 또한 클라우드 컴퓨팅 추세의 확산에 따라 클라우드를 활용하여 사용자 관리 플랫폼을 지원하는 것도 주목할 만한 점으로 판단된다.

Textron사의 RemoteView 솔루션은 위성 사진을 분석을 위한 대표적인 이미지 분석 소프트웨어 도구로 1996년 첫 번째 버전이 공개되었다. 이후에 많은 기능들이 추가 개선되면서 2016년 출시한 RemoteView v4는 전통적인 이미지 분석 기능을 개선하고 확장하여 지능적인 공간 지리 분석을 지원하도록 시도했다. RemoteView4 솔루션은 지리 공간 정보 수집 전과를 목적으로 지구 표면의 위성 또는 항공 이미지를 분석하여 군에게 임무 계획 및 운영 지원에 필요한 가치 있는 정보를 얻도록 도와주며, 현재 미국방부 및 27개국에서 활용하고 있다¹¹⁾. 최근에는 공공 클라우드인 AWS (Amazon Web Services)를 연계하는 형태로 지리 공간 분석 기능을 제공하는 플랫폼 형태의 SeeGEO 제품을 출시하면서 완전히 클라우드 기반의 지리 공간 솔루션을 제공하도록 전환하고 있는 것으로 보아, 이 시기에는 클라우드 연동 개념을 활용한 영상 융합 기능 제공이 대표적인 기술 추세로 확인된다.

ArcGIS는 모든 유형의 감시영상 데이터에 대한 동적인 통합/처리를 제공하는 Esri 회사의 대표적인 지능형 지리 공간 분석 솔루션이다. ArcGIS 지리 공간 솔루션은 테러, 사이버 전쟁 및 대량 살상 무기에 대비 가능한 전장감시체계를 구성하기 위해 다수의 대규모 감시영상 데이터를 AI 기반으로 분석하고 지리적으로 분산된 사이트들을 한꺼번에 활용하여 통합적인 분석을 하는 분산 지능화(Distributed intelligence)

SaaS-based geospatial intelligence with Multi-Cloud / On-premise support



- ArcGIS Enterprise (GIS with user infrastructure)
- ArcGIS Online (GIS with Esri cloud)
- ArcGIS Pro (Next-generation Desktop GIS)
- ArcGIS Excalibur (Integrating image exploitation)

그림 4. 멀티 클라우드/온프레미스를 활용하는 ArcGIS 솔루션
Fig. 4. ArgGIS solution with multi-cloud/on-premise support

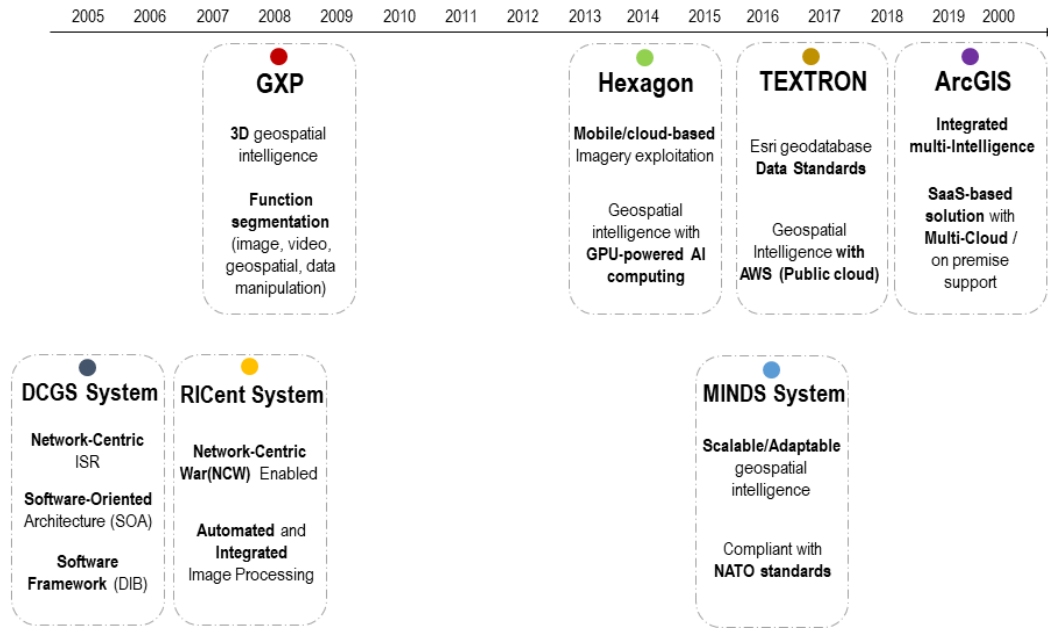


그림 5. 감시영상 융합체계 및 지리 공간 솔루션 사례의 기술적 변천
 Fig. 5. Technical changes in the examples of surveillance imagery fusion systems

개념을 도입하는 것이 주요 특징이다^[12]. 또한 클라우드 연동 추세에 따라, 그림 4와 같이 클라우드 기반의 SaaS(SaaS as a Service) 형식으로 지리 공간 분석 기능을 포함하는 소프트웨어들을 패키징하여 멀티 클라우드/온프레미스 환경에서 탑재하도록 제공하는 것을 보아, 전통적인 인프라가 갖는 구조적인 유연성 이슈를 해결하고자 시도한 것을 확인할 수 있다.

2.5 감시영상 융합체계 변천의 방향성

감시영상 융합체계와 지리 공간 솔루션 사례들의 기술적인 변천은 그림 5와 같이 나열할 수 있다. 위에서 제시한 사례들은 시대적인 흐름에 따라 발견되는 기술적 변화를 증점적으로 보여주기 때문에 사례들의 기능 비교 분석은 생략하였다. 그림 6은 소프트웨어

구조와 지리 공간 지능 관점에서의 기술적 변천을 정리하였다. 나열한 기술적 변천을 살펴보면 아래와 같은 방향으로 감시영상 융합체계가 기술적으로 발전해 오고 있음을 확인했다.

2.5.1 확장성과 효율성을 갖는 인프라/영상융합 기술

초기 버전인 DCGS 체계는 단일 인프라에서의 보이는 확장성 및 효율성에 대한 제한점을 극복하기 위하여, 분산 개념을 도입하여 네트워크-중심의 작전환경을 구축했다. 그리고 분산된 인프라를 활용하는 것이 불가피함에 따라 효율적이고 표준적인 방식으로 자원을 활용하도록 영상융합 기능 제공 측면에서 많은 클라우드 기술들이 도입됐다. 특히 단순한 단일 클라우드의 연동에서 온프레미스/멀티 클라우드까지 유연하게 연동하도록 기술적으로 발전함을 확인하였다. 이는 소프트웨어-정의 인프라(Software-Defined Infrastructure) 방식을 채택하는 세계적인 추세에 따라, 감시영상 융합체계 인프라의 구조적인 전환을 보여주고 있으며, 동적인 인프라 자원의 전환이 용이하도록 확장성을 염두하는 체계로의 발전을 보여주고 있다.

또한 영상융합 처리 측면에서 효율성을 높이기 위해 이중 다수 센서 데이터의 통합적인 처리 구조 개선과 표준적인 방식을 준수하도록 처리/저장에 관한 시

소프트웨어 구조 변천	지리 공간 지능 변천
<ul style="list-style-type: none"> Stovepipe(Single-INT, 1999) 방식에서 Network-centric ISR (Multi-INT)로의 변화 - DCGS 체계 (2005) Software-Oriented Architecture 도입 - DCGS 체계 (2005) 초기 마이크로서비스 구조 도입 (Function Segmentation) - GXP 솔루션 (2008) 초기 클라우드 도입 - Hexagon 솔루션 (2014) NATO 표준화 협정 (Standardization Agreement, STANAG) 부합하는 소프트웨어 구조 - MIND 체계 (2016) 하이브리드/멀티클라우드 클라우드 및 On-premise 인프라 활용 - ArcGIS (2019) 	<ul style="list-style-type: none"> 자동화 기반의 이미지 데이터 처리 - Ricent 체계 (2006) 3D 가시성(Visualization) 개념을 도입한 지리 공간 지능 - GXP 솔루션 (2008) 지리 공간 지능을 지원 하는 기능의 세분화 - GXP 솔루션 (2008) AI와 GPU를 활용하는 클라우드 기반 지리 공간 지능 - Hexagon 솔루션 (2014) 다중지/다목적 (Multi-Int) 지능형 지리 공간 지능 - ArcSIS Platform (2018)

그림 6. 사례에 기반한 소프트웨어 구조 및 지리 공간 지능의 기술 변천
 Fig. 6. Technology transformation in software architecture and geospatial intelligence

도도 확인했다. 이는 통일된 단일 인터페이스를 통한 유연한 확장성을 확보하는 노력의 일환으로 보여진다.

앞으로의 미래전의 양상은 확장성과 효율성을 갖는 유연한 소프트웨어-정의 인프라 및 영상융합 기능을 중심으로 유기적으로 작전환경들을 조율하는 형태의 지능형 지휘통제능력이 부상될 것으로 판단된다. 따라서 세계 각 군의 인프라/영상융합 관련 기술 동향 및 전망을 면밀히 살펴보면, 미래형 감시영상 융합체계의 판을 설계하는 것이 중요하다.

2.5.2 컴퓨팅 추세에 따른 영상융합 기술 최적화

감시영상 융합체계는 감시정찰자산에서 획득한 영상정보를 효과적으로 처리하여 선제적으로 유용한 정보를 획득하여 군사적 임무를 수행하는 것이 매우 중요하다. 영상융합 기능을 제공하는 지리 공간 솔루션의 변천을 살펴보면, 영상융합 기능은 GPU 컴퓨팅, AI 등 최신 IT 기술의 흐름을 빠르게 채택하면서 영상 융합기능의 최적화를 수행하는 방향으로 성장하고 있음을 확인했다.

결국에는 미래형 감시영상 융합체계를 위해서는 현업에서의 최신 데이터 처리 컴퓨팅 기술 흐름을 정확히 인지한 상태에서, 미래지향적인 컴퓨팅 기술을 영상융합 도메인에 접목하여 영상융합 최적화를 수행하도록 방향성을 모색하는 것이 필요하다.

III. 감시영상 융합체계 관련 주요 최신 기술 동향

본 절에서는, 과거에서부터 현재까지 이르는 감시영상 융합체계 사례들의 분석을 통하여 관찰되는 주

요한 기술들에 관하여, 현시점부터 미래 시점까지 다루는 주목할만한 군사 관련 최신 기술 동향 사례들을 살펴본다.

3.1 소프트웨어-정의 인프라 기술 동향

미국 국방정보체계망인 DISN(Defense Information System Network)은 미 국방성 (DoD: Department of Defense)에서 국방 자원 관리 및 군사 운용 등 국방 업무를 수행하는 데 필요한 정보 및 자료가 전산화되어 운영되는 조직 및 네트워크를 기반으로 구성된다^[13]. DISN은 음성 전화, 메세징 서비스, 데이터 망, 비디오 전송 등의 다양한 서비스를 제공하고 있으며, 망이 포설되어 있는 범위와 DISN을 통하여 서비스를 제공 받는 사용자의 분포로 볼 때 세계적으로 포설되어 있는 거대한 망이다. 따라서 DISN을 구축하는데 있어 가장 중요하게 고려된 사항은 여러 인터페이스를 통하여 연결되어 있는 시스템들의 상호운용성 보장을 위해 소프트웨어-정의 네트워킹 (SDN)을 활용해 보안을 강화하고 효율성을 향상하는 부분이다.

소프트웨어-정의 네트워킹 (SDN: Software-Defined Networking)에서는 데이터망 외에 별도의 제어망을 구성하여 논리적인 단일 SDN 제어기가 중앙에서 전체 네트워크를 제어할 수 있게 한다^[14]. 따라서 전체 네트워크 정보를 바탕으로 라우팅, 큐잉, 접근제어 등 다양한 제어를 중앙화된 관점에서 효율적으로 수행할 수 있는 환경을 제공한다. 감시영상 융합체계에서 영상 트래픽에 대한 QoS 보장이 필수적인데, SDN 및 네트워크 가상화 기술(NFV: Network Function Virtualization)을 이용하면, 논리적으로 네

Software Defined Network (SDN) & Network Function Virtualization (NFV)

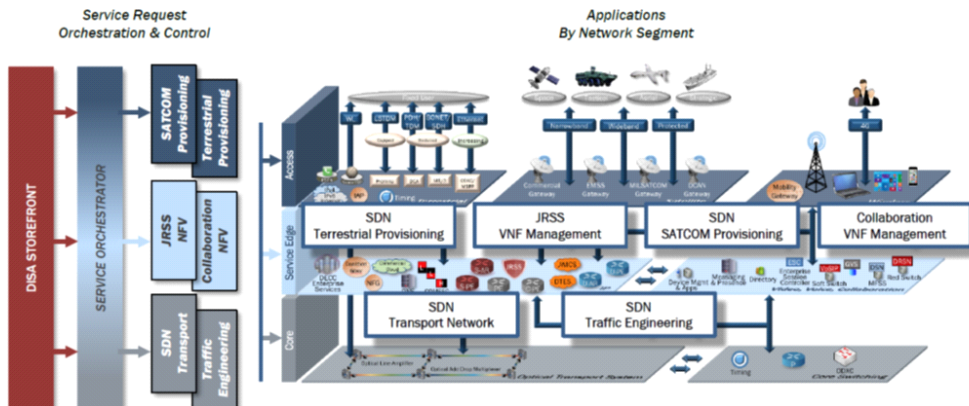


그림 7. 미군의 SDN/NFV 활용 계획[14]
Fig. 7. U.S. Army's SDN/NFV utilization plan[14]

트위크를 분리하여 각각 분리된 망에 알맞은 자원을 할당하는 기술을 도입할 수 있고, 이를 SDN의 중앙 집중화된 네트워크 제어를 통해 영상데이터 전송에 요구하는 실시간성, 신뢰성, 기밀성에 부합하는 가상 네트워크 및 경로를 선택하여 서비스 맞춤형 네트워킹을 제공할 수 있는 장점이 있다. 미군은 그림 7과 같이 SDN/NFV 기술을 활용하는 네트워크 구축 계획에 대한 로드맵을 2018년부터 2020년에 걸쳐 진행하는 상황이다.

3.2 클라우드 연계형 인프라 기술 동향

미국 국방정보시스템연구원(DISA: Defense Information Systems Agency)은 그림 8과 같이 클라우드 개념을 활용하여 컴퓨팅/스토리지 자원을 유연하게 풀링하여 안전한 환경에서 향상된 성능과 높은 효율성을 제공할 수 있는 미래적인 군 인프라 체계 변환을 시도하고 있다. 일례로 미 육군 레드스톤 병참기지를 위해 설계된 APC2(Army Private Cloud 2) 계약과 APCE(Army Private Cloud Enterprise) 프로그램의 일환으로 2017년에 IBM이 향후 5년간 미국 육군의 클라우드 도입을 위한 계약을 체결하였다. 이 솔루션을 통해 미 육군은 자체 온프레미스 환경과 IBM 클라우드와 연결하면서 성능 및 확장성, 보안 수준 등을 더욱 높일 수 있을 것이라 전망하고 있다.

세계 각 군들이 군 내부의 인프라 자원의 증가에 따른 확장성, 효율성, 보안 등을 고려하는 클라우드 중심의 인프라로 전환에 주목하고 있는 가운데, 현재

IT 기술의 흐름에서는 클라우드 개념에서 시간에 민감한 서비스의 성능 보장을 위해 에지에 위치한 컴퓨팅 자원을 적시에 수행하는 에지 클라우드의 개념이 나오고 있다¹⁷⁾. 특히 영상정보를 토대로 빠른 상황을 판단하고 의사결정을 내리기 위해서는 실시간에 준하는 데이터 처리/저장을 수행하는 에지/코어 간의 구조적인 개념을 적용한 클라우드 인프라 방향성에 주목할 필요가 있다¹⁸⁾.

3.3 데이터-처리 컴퓨팅 기술 동향

IoT, 빅데이터, AI 등의 기술로 인해 데이터가 폭발적으로 증가하고 중요해짐에 따라, 다양한 도메인에서 데이터 전송/저장/처리를 단계별로 병렬 처리를 하는 파이프라인을 적용한 데이터 파이프라인(Data Pipeline) 개념은 지능적인 데이터-중심 서비스를 위해 새로이 부상하고 있다.

그러나 데이터 파이프라인을 효과적으로 지원하기 위해서는 분산된 인프라 혹은 인프라 내부에서의 근본적인 데이터-이동에 대한 최적화가 뒷받침되면서 데이터에 대한 다양한 연산이 수행되어야 한다. 특히 데이터의 이동에 있어 부하 지점이 어디인지 파악하고, 이러한 부하 지점을 줄이는 게 가장 효과적인 최적화 방안 중에 하나이다. 현재는 다양한 최적화 과정(분산 구조 개선, 알고리즘 개선, 코드 최적화, 모델 최적화, 소프트웨어 구조 변경, 네트워크, 메모리의 효과적인 활용 등) 관련 연구들이 진행되고 있다.

일례로 DARPA(Defence Advanced Research

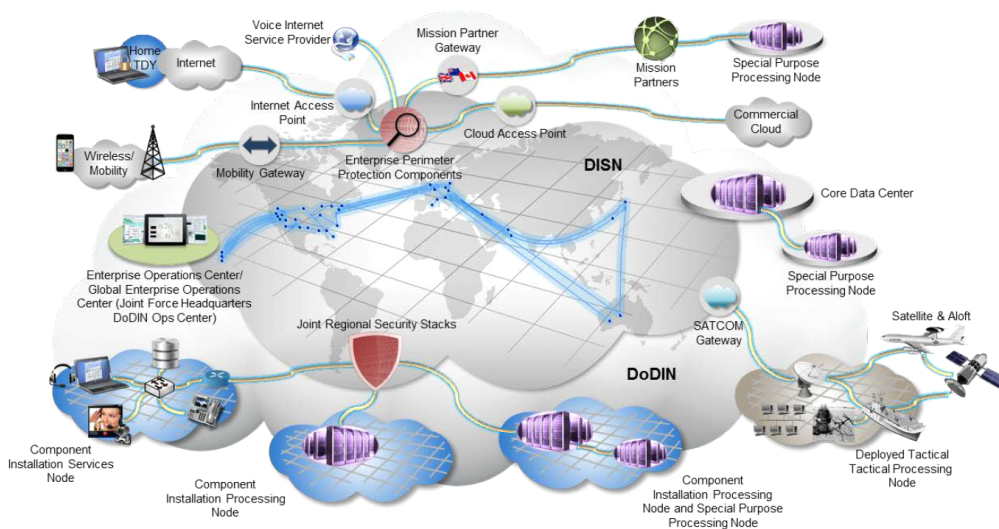


그림 8. 클라우드를 연계하는 미군의 DISN 구조 개념[16]
Fig. 8. The concept of the DISN with Cloud[16]

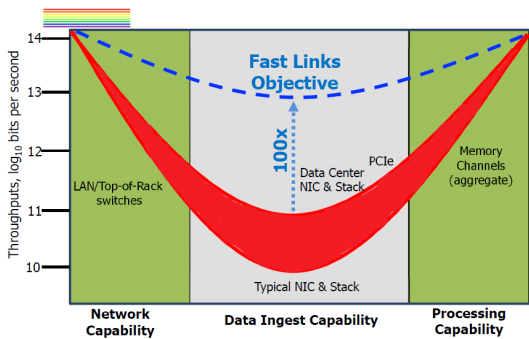


그림 9. FastNICs 프로젝트의 목표[19]
Fig. 9. The goal of FastNICs[19]

Project Agency)는 최적화된 컴퓨팅-중심의 어플리케이션을 위해 네트워킹 병목 현상을 해결하기 위한 새로운 네트워킹 접근 방식을 만들어, 2019년부터 약 5년간의 걸쳐 그림 9와 같이 어플리케이션의 속도를 100배를 향상시키는 것을 목표로 하는 FastNICs 프로젝트를 발표했다^[19]. FASTNICs 프로젝트는 네트워크 전송/데이터 처리 계층과 소프트웨어 스택 계층 간의 간극을 최소화시키는 것을 주요 목표로 하며, NIC 카드의 하드웨어, 드라이버, OS 소프트웨어 계층 등 전체적인 부분에서 개선을 시도한다. 특히 즉각적인 정보 획득이 중요한 감시영상 융합체계에서는 분산 인프라의 구조적인 부분에서 발생하는 이슈들을 확인하고 최적화를 수행하기 위한 근본적인 구조 개선은 중요하게 고려해야 할 부분이다.

IV. 미래형 감시영상 융합체계를 위한 인프라 및 프레임워크 방향성

감시영상 융합체계의 변천과, 이를 분석하면서 관찰되는 주요한 기술들의 최신 동향을 총체적으로 파악해보면, 미래형 감시영상 융합체계를 인프라 측면(자원)과 프레임워크(소프트웨어) 측면을 분리하여 요구사항을 정리할 수 있다.

인프라 측면에서는 다수의 감시정찰자산을 감당하는 에지 클라우드와 대량의 감시영상 데이터를 초고속으로 계산하는 코어 클라우드를 연계하는 형태의 에지/코어 분산 클라우드 환경에서 이들을 유기적으로 조율할 수 있도록 SDN/NFV 기술을 접목한 네트워킹을 활용한 인프라 구성이 필요하다.

프레임워크는 인프라와 영상융합 기능을 모두 보조하도록 구성하는 것이 중요하다. 인프라를 위한 프레임워크 측면에서는 소프트웨어-정의 인프라를 통합적

으로 관제할 수 있는 기술이 내포하여 상시 인프라의 상황을 파악할 수 있도록 마련하며, 인프라의 보안과 성능을 향상시킬 수 있는 기술들을 포함하여 영상융합 처리의 최적화를 보조하도록 지원해야 한다. 영상융합을 위한 프레임워크 측면에서는 다수의 감시영상 데이터를 표준적인 방식에서 처리하도록 준비하면서, 데이터 파이프라인 개념을 활용하여 끊임없이 영상융합 처리가 가능하도록 지원해야 한다. 또한 초고속 전송/계산/저장 등의 영상융합 과정을 일관된 클라우드 연계형 분산 인프라 환경에서 수행하도록 정규화 기능을 포함해야 한다.

미래형 감시영상 융합체계를 위한 인프라 및 프레임워크 측면에서의 구체적인 노력은 다음과 같다.

4.1 미래형 감시영상 융합체계를 위한 인프라 방향성

미래형 감시영상 융합체계를 위한 인프라 구축/관리 방안은 다음과 같이 두 가지 관점에서 준비해야 한다.

4.1.1 초고속 데이터 전송을 지원하는 SDN/NFV 기반 프로그래머블 네트워킹 인프라

모범적인 참조 모델로 볼 수 있는 미군의 인프라를 살펴보면, 이미 SDN/NFV 기반의 프로그래머블 네트워킹 인프라로의 체계 변화를 시도하고 있다. 결국 미래의 전장감시체계 양상을 보면 앞으로 더 많은 감시정찰 자산들과 이를 관장하는 전장들을 유기적이며 안전하게 연결하는데 직면한다. 따라서 미군의 참조 네트워크 모델인 DISN를 주목하면서, 우리 군도 소프트웨어-정의 인프라의 일환으로 SDN/NFV 기반의 네트워킹 인프라 준비를 모색해야 한다.

4.1.2 확장적인 자원의 풀링을 지원하는 클라우드 연계형 인프라

클라우드 기술이 성숙함에 따라, 미군은 클라우드 개념을 활용하여 컴퓨팅/스토리지 자원을 유연하게 풀링하여 유연하게 활용하는 인프라를 구성하는데 힘쓰고 있다. 미군의 TAMIS(Total Ammunition Management Information System)의 클라우드 이전 사례를 살펴보면 알 수 있듯이, 클라우드의 대한 보안성과 자원 활용의 효율성은 이미 검증이 되었다고 볼 수 있다^[20]. 또한 공간 지리 분석 솔루션인 Textron의 SeeGIO 솔루션과 Esri의 ArcGIS 솔루션 역시 클라우드를 활용하여 영상정보 분석 기능을 사용자에게 제공한다. 이러한 사례들을 보아 클라우드를 연동하여 분산된 자원을 풀링하여 활용하는 것은 사실상 표준

에 가깝다. 또한 미래 지향적인 입장에서 보면, 실시간성과 빠른 처리에 민감한 감시영상 분석의 특성을 고려하여, 에지에 위치한 컴퓨팅 자원을 적시에 수행하는 에지 클라우드 개념을 활용한 인프라 구축이 요구된다. 따라서 분산된 에지/코어 클라우드를 함께 연동하는 멀티 클라우드 인프라 구축/관리 방안을 마련하도록 준비해야 한다.

4.2 미래형 감시영상 융합체계를 위한 프레임워크 방향성

미래형 감시영상 융합체계를 구성하는 프레임워크는 그림 10과 같이 인프라(오른쪽 하단)와 영상융합 기능(왼쪽 상단)을 모두 제공하는 프레임워크로 그려볼 수 있다.

하단에는 에지/코어 클라우드와 이를 조율하는 SDN/NFV 기반의 프로그래머블한 네트워킹으로 구축되는 소프트웨어-정의 인프라가 위치한다. 그리고 이를 보조하여 보안과 성능을 향상하는 기능들을 탑재한다. 하단부의 소프트웨어-정의 인프라가 준비되면, 인프라 관제를 위한 관리 기능(오른쪽)을 내포하여 제공한다.

하단부의 소프트웨어-정의 인프라와 이를 보조하는 기능 요소들이 준비되면, 표준적인 방식으로 영상융합 워크로드를 수행하도록 정규화를 지원하는 클라우드-기반의 조율 기능이 중앙부에 위치한다. 상단부에는

효과적으로 영상 데이터를 전송/처리/저장이 가능하도록, 데이터 융합 파이프라인 최적화를 위한 자동화 기반의 데이터 융합 워크플로우가 위치하여 원활하고 효과적으로 영상융합 처리를 지원하며, 수행된 결과는 사용자 인터페이스(왼쪽) 기능을 통해 최종적으로 사용자에게 전달된다.

한편, 감시영상 융합체계의 영상융합 기능을 지원하는 프레임워크를 마련하기 위해서는 다음과 같은 노력이 필요하다.

4.2.1 안전한 데이터 전송/융합을 지원하는 통합 관제형 인프라 관리 기능

에지/코어 클라우드를 활용하여 SDN/NFV 기반의 네트워킹으로 유기적으로 연결된 분산 인프라는 통합적인 관제 개념을 도입하여 영상융합 데이터가 감시정찰자산으로부터 안전하게 들어오는지, 혹은 지리적으로 분산되어있는 인프라에 이상이 있는지를 감지할 수 있어야 한다. Hexagon 지리 공간 솔루션 사례에서도 시각화 기능을 따로 제품화하여 내포하고 있듯이, 인프라에 관한 상황 파악 능력은 감시정찰 체계에서 매우 중요한 요소이다. 클라우드 개념을 활용하면, 고가용성(availability) 및 가시성(measurement and tracing), 트래픽 조율을 통한 보안 등 운영의 필요한 기능을 쉽게 확보하므로, 클라우드 기반의 통합적인 관제 개념을 활용하여 인프라를 관제하는 기능을 준

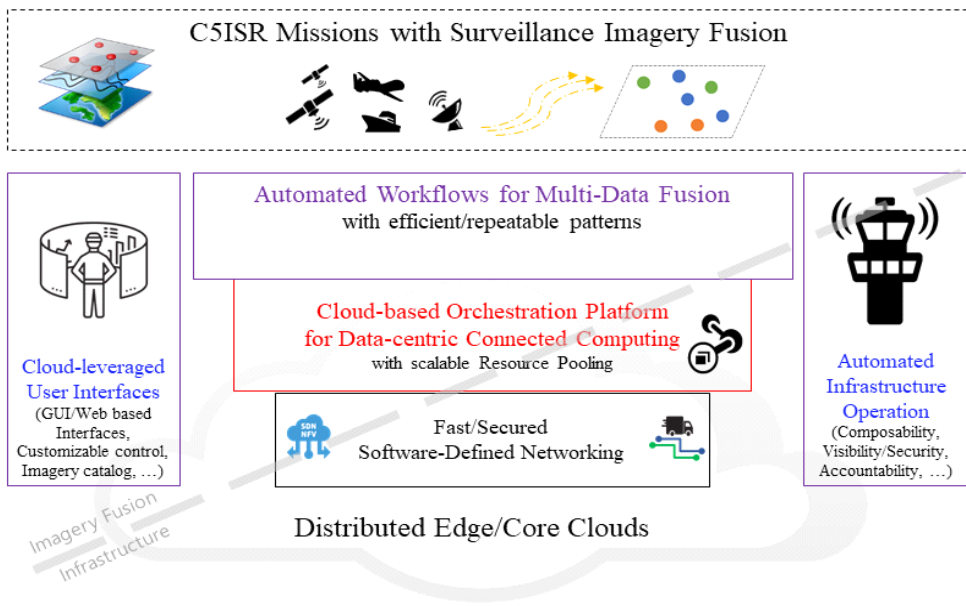


그림 10. 미래형 감시영상 융합체계를 위한 (인프라/영상융합) 프레임워크 방향성 설계
Fig. 10. The software framework for futuristic surveillance imagery system

비하는 것이 효율적이다.

4.2.2 보안 및 데이터 전송 성능 향상을 보조하는 인프라 관리 기능

지리적으로 분산되어 있는 에지/코어 클라우드 간의 지리적인 거리의 제약을 극복할 수 있도록 데이터 전송을 위한 요소 기능들이 적절한 튜닝을 통하여 높은 전송 효율과 실시간성을 확보해야 한다. 일례로 DTN(Data Transfer Node)은 광대역 데이터 전송을 가능하도록 보장하는 기술로 주목받고 있다²¹⁾. 감시영상 융합체계에서도 DTN 개념을 활용하여 지리적으로 분산된 노드 간의 초고속으로 데이터 전송을 지원하는 것을 고려할 수 있다. 다만 정보 유출에 민감한 군 인프라의 특성을 고려한 전송 프로토콜이나 방화벽 보안 기능을 포함하는 암호화된 초고속 전송 기술을 구축하여 보안성과 성능을 모두 보조할 수 있도록 노력해야 한다.

4.2.3 클라우드 기반 자원을 활용하는 다출처의 다양한 데이터/워크로드 정규화

감시영상 융합체계는 영상정보 데이터를 바탕으로 실시간 데이터 저장-처리-분석을 중심으로 유용한 정보를 제공해야하기 때문에, 영상정보 데이터의 특징을 분석하고 처리하는 과정에서 일련의 표준적인 방식에 부합하는 데이터/워크로드 정규화를 진행하는 것이 필요하다. 이전의 사례에서 살펴볼 수 있듯이, MINDS

체계에서는 NATO 표준에 부합하는 정규화를 제공하고 있으며, Textron의 RemotView4 지리 공간 솔루션은 Esri geodatabase 형식에 호환되는 정규화를 지원하고 있다. 미육군에서는 SSGF(Standard and Sharable Geospatial Foundation) 형태로 지리적인 데이터들을 정리하여 육군의 운영 및 전투 기능에 활용될 수 있는 정보들을 획득할 수 있도록 표준적인 방식으로 데이터 정규화를 수행하고 있다. 따라서 이러한 표준적인 정규화 노력을 주목하면서, 클라우드 연계형 분산 인프라를 활용하는 영상융합 워크로드의 정규화 방안을 모색해야 한다.

4.2.4 데이터 융합 파이프라인 최적화를 위한 자동화 기반의 데이터 융합 워크플로우

최근에는 컴퓨팅 재원에 대한 기술적인 성장이 폭발적으로 증가하면서 데이터를 중심으로 CPU, 메모리, 스토리지 등을 통합적으로 고려하는 컴퓨팅 패러다임이 부상했다. 이러한 미래지향적인 데이터-중심 컴퓨팅 패러다임에 주목하면서 데이터 융합 파이프라인 과정을 이해하는 것이 필요하다. DARPA의 FastNICs 프로젝트 사례와 같이 데이터 융합 파이프라인의 최적화 기술을 내포하려는 노력은 이미 세계의 각 군에서 수행하고 있는 추세이다. 따라서 근본적인 데이터-이동에 대한 최적화에 대한 방향을 모색하면서 데이터 융합에 관한 파이프라인을 구체화하고 이에 대한 자동화 워크플로우를 정립하여 효과적인

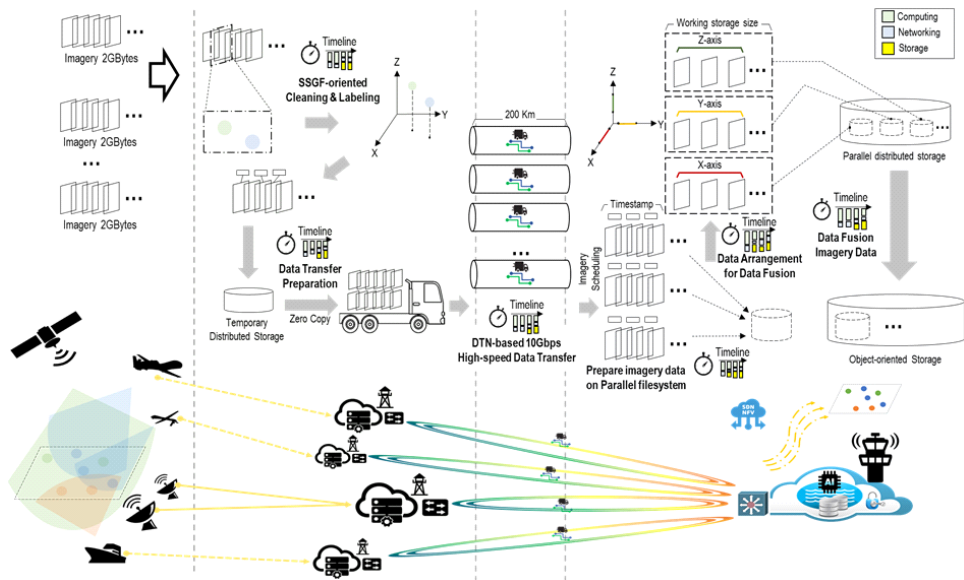


그림 11. 감시영상 융합체계 설계 검증을 위한 모의 분석 방안
 Fig. 11. Simulation analysis method for verification of the surveillance imagery system

영상융합 처리를 지원하도록 노력해야 한다.

4.3 미래형 감시영상 융합체계 검증을 위한 모의 분석 방안

상기한 방향성을 만족하는 미래형 감시영상 융합체계를 구축하는 것은 SDN/NFV/Cloud 통합 기반으로 고도화하여 융합형 소프트웨어-정의 분산 인프라를 준비함과 동시에 효율적인 영상융합을 지원하도록 소프트웨어 프레임워크를 정립해야 하므로 단기간에 수행되는 과정이 아니다. 따라서 설계 대상인 감시영상 융합체계를 구성하는 다양한 요소에 대한 비교/분석을 수행하고, 에뮬레이션을 포함한 모의실증환경 구성을 통해 끊임없는 반복 검증이 필요하다. 그렇지만 소프트웨어-정의 인프라 개념이 정립되기 이전까지만 해도 체계 검증을 위한 환경 구축 준비만 해도 규모가 큰 일이었다. 지금은 소프트웨어적으로 인프라가 고도화되어 민첩하고 신속한 반복 작업을 수행하는 검증 방식을 쉽게 적용 가능하다.

일례로, 본 연구팀에서는 조사 분석된 내용을 바탕으로 도출한 감시영상 융합체계의 방향성을 애자일한 방법론을 활용하여 검증하기 위해 그림 11과 같이 감시정찰 자산으로부터 발생하는 데이터의 흐름을 중심으로 중요한 성능 확인 지점들을 선정하여 모의 분석

방안을 설계했다.

체계 설계 타당성을 확인하기 위해서는 실제 운용 환경에서 체계를 구축하고 검증하는 것이 제일 좋은 방법이나, 보안 이슈로 인해 현실적으로 제약이 있다. 따라서 보유하고 있는 테스트베드 환경에 운용 인프라의 특징을 투영하여 융합체계 방향성을 검증하는 노력을 대신하고 있다. 그림 12는 보유한 테스트베드를 활용하여 모의실증환경을 위한 시나리오를 보여준다. 실제 감시영상 융합체계에 필요한 인프라에 대응하는 테스트베드를 구축하고, 시나리오를 통하여 네트워크 및 데이터 처리 시간들을 측정하면서 다양한 기능들을 빠르게 적용하고 검증하도록 구성하였다.

미래형 감시영상 융합체계의 방향성을 정립하는 것은 상기한 방법과 같이 즉각적으로 기능 검증을 반복 수행할 수 있는 모의분석환경을 준비하는 것으로부터 시작된다. 특히 소프트웨어 프레임워크 차원에서 확장성, 적응성, 초고속 전송, 데이터 처리 최적화 등을 고려하여 다양한 옵션을 검증하여, 필요한 기능 요소들을 소프트웨어 프레임워크에 구체화 시키면서 목표하는 감시영상 융합체계를 준비하는 노력이 필요하다.

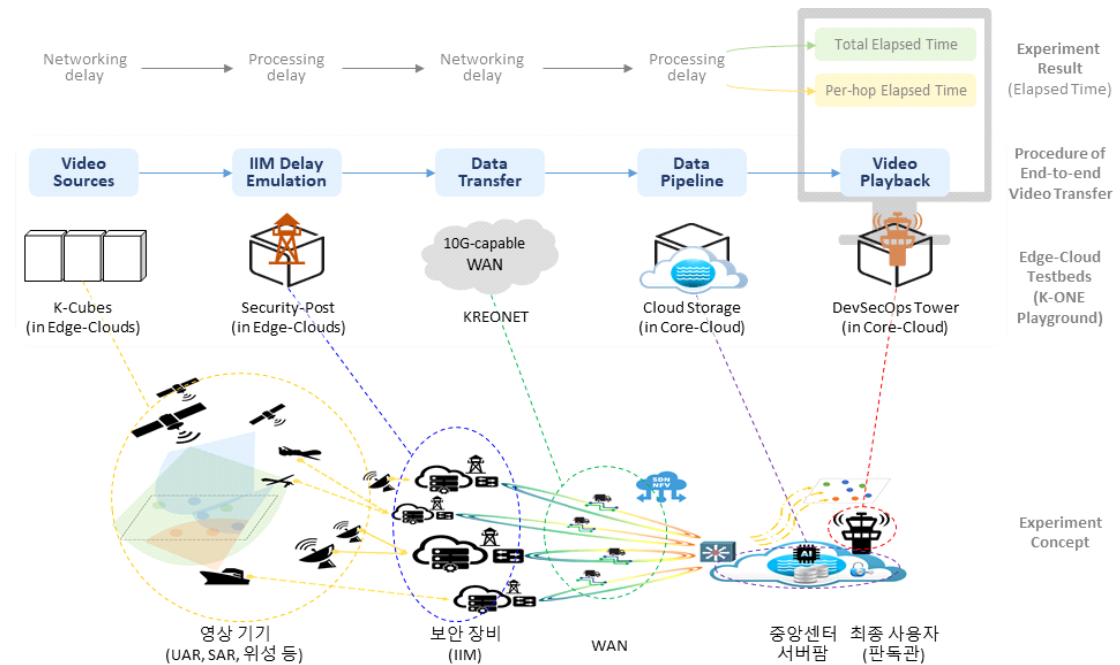


그림 12. 감시영상 융합체계 설계 검증을 위한 테스트베드 시나리오
 Fig. 12. The testbed scenario for verification of the surveillance imagery system

V. 결 론

본 논문에서는 C5ISR 체계로의 점진적 전환에 대비하여 미래형 감시영상 융합체계를 준비하기 위하여, 과거부터 현재까지의 감시영상 융합체계의 변천을 살펴보고, 관찰되는 기술에 관한 최신 동향을 살펴보았다. 그리고 상기한 분석을 바탕으로 미래형 감시영상 융합체계를 위한 인프라와 프레임워크의 방향성을 그려보고 이를 구체화하기 위한 노력을 제시했다. 또한 미래형 감시영상 융합체계의 개발 및 전력화는 단기간에 수행되지 않기 때문에 다양한 측면에서 비교/분석을 할 수 있는 모의실증 기반 검증을 통하여 단계적으로 감시영상 융합체계를 구체화하도록 방향성을 제시하였다.

References

- [1] Y. Kim, N. An, J. Park, C. Y. Park, and H. Lim, "Multi-layer network virtualization for QoS provisioning in tactical networks," *J. KIMST*, vol. 21, no. 4, 2018.
- [2] J. Lee, "Directions and considerations in the development of imagery fusion system," *Weekly Korean Defense Group*, no. 1748, 2019.
- [3] H. Kemp, "Rethinking the information paradigm: The future of intelligence, surveillance, and reconnaissance in contested environments," *The Mitchell Forum*, 2018.
- [4] R. T. Odierno, "Geospatial Engineering," ATP 3-34.80.C1, 2014.
- [5] "Commander's Handbook: Distributed Common Ground System - Army (DCGS-A)," 2009, [Online] Available: <https://public.intelligence.net/army-distributed-common-ground-system-dcgs-a-commander%E2%80%99s-handbook/> (downloaded, Apr. 6)
- [6] J. M. Brown, "Operating the distributed common ground system: A look at the human factor in net-centric operations," *AIR Univ. MAXWELL AFB AL Air Force Res. Inst.*, 2009.
- [7] ELTA systems, "RICENT: Real-time imagery intelligence center," ISRAEL defense directory, 2013.
- [8] *MINDS*, [Online] Available: <https://www.thalesgroup.com/en/minds-multisensor-image-interpretation-and-dissemination-system> (downloaded, Apr. 6)
- [9] S. Walker, "The product pipeline of BAE systems for photogrammetry and remote sensing," *54th Photogrammetric Week*, pp. 45-50, 2013.
- [10] E. van Rees, "Hexagon Geosystems," *GEO Inform.*, vol. 18, no. 1, pp. 6-8, 2015.
- [11] *Remoteview*, [Online] Available: <https://www.textronsystems.com/products/remoterview-pro> (downloaded, Apr. 6)
- [12] K. Johnston, J. M. Ver Hoef, K. Krivoruchko, and N. Lucas, "Using ArcGIS geostatistical analyst," *Redlands: Esri*, vol. 380, 2001.
- [13] W. F. Vogelzang and R. A. Hodge, "Goal architecture and transition strategy for the defense information system network," *IEEE MILCOM*, pp. 1185-1189, 1992.
- [14] "Defense Information Systems Network (DISN), An Essential Weapon for the Nation's Defence," 2018, Available: https://www.disa.mil/-/media/Files/DISA/News/Events/Symposium/3---Osborn_-DISN-An-Essential-Weapon_approval-FINAL.ashx?la=en&hash=EB771D5295CCC9CBD4D3202774A5D97D61037248 (downloaded, Apr. 6)
- [15] D. Kreutz, F. M. Ramos, P. E. Verissimo, C. E. Rothenberg, S. Azodolmolky, and S. Uhlig, "Software-defined networking: A comprehensive survey," in *Proc. IEEE*, vol. 103, no. 1, pp. 14-76, 2014.
- [16] "DODIN Capabilities Framework Overview," 2019, [Online] Available: https://www.disa.mil/-/media/Files/DISA/News/Events/DCR-IA/05142019_AFCEA-TechNet-Cyber-Symposium---DC-Framework-Slides.ashx?la=en&hash=7B5762B642B311F1755FC5362E82F8650598544C (downloaded, Apr. 6)
- [17] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, "Edge Computing: Vision and Challenges," *IEEE IoT J.*, vol. 3, no. 5, pp. 637-646, 2016.
- [18] K.-H. Kim and M.-J. Choi, "Data central network technology trend analysis using SDN/"

NFV/Edge-Computing,” *KNOM Rev.*, vol. 22, no. 3, pp. 1-12, 2019.

- [19] *FastNICs*, [Online] Available: <https://www.technologies.org/wp-content/uploads/2019/09/FastNICsProposersDaySlidesFinal.pdf> (downloaded, Apr. 6)
- [20] *Perspecta: Migrating a U.S Army Application to the Cloud*, [Online] Available: https://perspecta.com/sites/default/files/2018-05/TAMIS%20Whitepaper_05.29.2018.pdf(downloaded, Apr. 6)
- [21] Z. Liu, R. Kettimuthu, I. Foster, and P. H. Beckman, “Toward a smart data transfer node,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 89, pp. 10-18, 2018.

한 정 수 (Jungsu Han)



2014년 2월 : 인하대학교 컴퓨터 공학과 졸업
 2016년 2월 : 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 석사
 2021년 2월 : 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 박사
 2021년 4월~현재 : 카카오 엔터

프라이즈 클라우드개발 팀

<관심분야> 클라우드-네이티브 컴퓨팅, 선언적 운영, 컨테이너 오케스트레이션

[ORCID:0000-0003-1680-9771]

김 요 한 (Yohan Kim)



2015년 2월 : 충북대학교 정보통신공학부 학사
 2015년 2월~현재 : 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 석박통합과정
 <관심분야> 컴퓨터 네트워크, 차세대 통신, 인공지능

[ORCID:0000-0002-6741-1803]

장 총 수 (Chungsu Jang)



2007년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사
 2012년 10월~현재 : 국방과학연구소 국방인공지능기술센터
 2020년 3월~현재 : 한국과학기술원 박사과정

<관심분야> 컴퓨터 네트워크, 인공지능
 [ORCID:0000-0003-4053-0973]

임 혁 (Hyuk Lim)



1996년 2월 : 서울대학교 전기공학부 학사
 1998년 2월 : 서울대학교 전기공학부 석사
 2003년 3월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
 2006년~현재 : 광주과학기술원 인공지능대학원 교수

<관심분야> 컴퓨터 네트워크, 사이버 보안, 인공지능
 [ORCID:0000-0002-9926-3913]

김 종 원 (JongWon Kim)



1987년 2월 : 서울대학교 제어계측 학사
 1989년 2월 : 서울대학교 영상통신 석사
 1994년 2월 : 서울대학교 영상통신 박사
 2008년~현재 : 광주과학기술원 인공지능대학원 교수

<관심분야> Sustainable Orchestration of AI-inspired Cyber-Physical Services employing Shared Software-Defined Infrastructure and Common Cloud-native Platforms