

무선 시스템을 활용한 위성, 공중, 지상의 통합 다계층 네트워크 제어 아키텍처 설계

박진호*¹, 김병희*², 김태수*³, 김준형*⁴, 이종호*⁵, 김종원*⁶, 박현*⁷

Design of Integrated Multi-layer Network Control Architecture for Satellite, Airborne, and Terrestrial using Wireless System

Jin-Ho Park*¹, Byung-Hee Kim*², Tae-Su Kim*³, Jun-Hyeong Kim*⁴, Jong-Ho Lee*⁵,
Jong-Won Kim*⁶, and Hyun Park*⁷

요 약

본 논문은 위성, 공중, 지상의 무선 시스템을 통합한 다계층 네트워크 제어 아키텍처를 제안한다. 이 아키텍처는 위성(GEO, LEO), 공중, 지상망, UAV 드론 네트워크 및 지상망(5G, Microwave)을 연계하여 거리, 용량, 지연시간 등 QoS를 고려한 최적화된 데이터 전송을 지원한다. 네트워크 제어는 SDN 기술을 기반으로 하며, 데이터 평면과 제어 평면의 분리를 통해 중앙 집중식 자원 관리를 가능하게 한다. QoS 최적화를 위해 거리 기반 지연 제어, 용량 기반 경로 최적화, 지연 임계값 기반의 트래픽 관리 알고리즘을 설계하였다. 시뮬레이션 결과, 본 아키텍처는 기존 단일 네트워크 대비 데이터 전송 지연을 감소시키고, 패킷 손실률을 줄이는 결과를 확인하였다.

Abstract

This article proposes a multi-layer network control architecture that integrates satellite, airborne, and terrestrial wireless systems to support optimized data transmission considering QoS such as distance, capacity, and latency by linking satellite(GEO, LEO), airborne, terrestrial networks, UAV drone networks, and terrestrial networks (5G, Microwave). The network control is based on SDN technology, which enables centralized resource management through the separation of the data plane and control plane. For QoS optimization, we designed distance-based delay control, capacity-based path optimization, and delay threshold-based traffic management algorithms. Simulation results show that this architecture reduces data transmission delay and reduces packet loss compared to a conventional single network.

Keywords

multi-layer network, quality of service, software defined network, optimized data transmission

* 한화시스템(주) C4I연구소 연구원(*⁷ 교신저자)
- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0007-3686-300X>
- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0003-6447-1530>
- ORCID³: <https://orcid.org/0009-0001-4447-1176>
- ORCID⁴: <https://orcid.org/0009-0008-1268-723X>
- ORCID⁵: <https://orcid.org/0009-0005-0625-4030>
- ORCID⁶: <https://orcid.org/0009-0005-4038-8374>
- ORCID⁷: <https://orcid.org/0000-0003-2643-3130>

· Received: Jan. 15, 2025, Revised: Feb. 03, 2025, Accepted: Feb. 06, 2025
· Corresponding Author: Hyun Park
Dept. of C4I R&D, Hanwha Systems, 188, Pangyoyeok-Ro, Bundang-gu,
Seongnam-si, Gyeonggi-Do Republic of Korea
Tel.: +82-31-8091-7420, Email: hoijun.kim@hanwha.com

I. 서 론

최근 5G 및 차세대 6G 통신 기술의 발전과 함께, 전 세계적으로 고속, 저지연, 안정적인 데이터 전송 요구가 증가하고 있다. 이러한 차세대 네트워크 기술은 자율주행 차량, 스마트시티, 원격 의료, 증강현실, 가상현실과 같은 새로운 서비스의 핵심 인프라로 자리를 잡고 있다. 그러나 기존의 지상 중심 네트워크 인프라는 자연재해, 군사적 위협, 오지 및 해양과 같은 열악한 환경에서는 안정적인 데이터 전송을 보장하기 어렵다. 특히, 위성통신, 공중 플랫폼, 지상망을 각각 독립적으로 운영하는 기존 방식은 다음과 같은 한계점을 보인다.

지상 네트워크의 한계 : 지상 기지국은 인프라 구축 비용이 많이 들고, 산악지대, 해양 및 오지와 같은 지역에서는 서비스 제공이 어렵다.

공중 네트워크의 한계 : 드론 및 고고도 플랫폼(HAPS, High Altitude Platform System)은 지역적 커버리지 확장에 효과적이지만, 지속적인 비행 유지 및 에너지 효율 문제가 존재한다.

위성 네트워크의 한계 : 정지궤도(GEO) 위성은 높은 지연시간(500ms 이상)을 가지며, 저궤도(LEO) 위성은 낮은 지연을 제공하지만, 빈번한 핸드오버 문제와 제한된 대역폭 문제를 가진다.

이러한 한계를 극복하기 위해 위성, 공중, 지상 네트워크를 통합한 다계층 네트워크 아키텍처가 주목받고 있다. 다계층 네트워크는 각 네트워크 계층의 장점을 결합하여, 더 넓은 커버리지와 안정적인 QoS(Quality of Service)를 제공할 수 있다[1][2].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 관련 연구로 위성, 공중, 지상 네트워크 기술 및 QoS 최적화 연구 동향을 상세히 검토한다. 3장 아키텍처 설계에서는 제안하는 다계층 네트워크 아키텍처의 구성 요소, SDN 기반의 제어 메커니즘을 설명하고 또한, QoS 기반 통신 프로토콜의 요소인 거리, 용량, 지연시간 등을 고려한 데이터 전송 방식을 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 환경, 성능 지표, 실험 결과를 설명하고 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론에 관해 기술하고 본 연구가 갖는 한계점 및 향후 연구에 관하여 기술한다.

II. 관련 연구

2.1 위성 네트워크 기술

위성 네트워크는 전 지구적 커버리지를 제공할 수 있는 핵심 인프라로, 궤도별 위성 기술이 활발히 연구되고 있다.

먼저 저궤도 위성은 고도 500~2,000km의 저궤도를 도는 인공위성으로 대량의 위성이 지구를 커버하는 방식으로 구성된다. Eutelsat의 OneWeb, SpaceX의 Starlink가 대표적 글로벌 위성 서비스이다. 저궤도 위성은 낮은 지연시간, 전 세계적 커버리지, 고속 데이터 전송과 같은 장점을 가지고 있지만, 위성 간 핸드오버 문제, 빈번한 경로 변경으로 인한 라우팅 복잡성 등의 단점도 동반된다.

정지궤도 위성은 고도 35,786km에 정지궤도에 위치하여 광범위한 커버리지를 기반으로 소수의 위성으로 서비스를 지원한다. 하지만 높은 지연시간 및 낮은 대역폭으로 인한 속도 저하, 신호 감쇠 문제를 가지고 있다. Intelsat, Eutelsat 등이 대표적 글로벌 위성 서비스 사업자들이다.

이러한 위성 네트워크는 크게 위성 간 링크(ISL, Inter-Satellite Link), 게이트웨이 링크, 지상 사용자 링크로 구성되며, 위성 간 링크는 LEO 위성 간 데이터를 릴레이하는 형태로 레이저 링크를 활용하여 고속 데이터 전송을 지원한다. 게이트웨이 링크는 위성과 지상 게이트웨이(지상국) 간 연결을 지원하며, Ka, Ku 밴드와 같은 고주파수를 활용한다. 마지막으로 지상 사용자 링크는 사용자 단말기와 위성 간의 연결을 제공해 주며, Ka, Ku, C 밴드를 사용한다.

기존의 연구들은 위성 네트워크의 효율성과 안정성을 개선하기 위한 다양한 접근 방식을 다루고 있다. 저궤도 위성 통신의 특징인 빈번한 핸드오버에 의한 통신 장애 부분은 AI 기반 예측 핸드오버 알고리즘 개발 및 Q-러닝을 활용한 예측을 통한 최적화 연구가 이어지고 있다[3]. 또한 위성 간 링크(ISL)를 통해 빠른 데이터 처리하기 위한 머신러닝 기반의 ISL 데이터 흐름 최적화 등 많이 연구가 현재까지 이어지고 있다[4].

위성 네트워크는 글로벌 커버리지를 제공할 수 있는 중요한 인프라지만, 지연시간, 핸드오버, 대역폭 제한 등 기술적 과제가 존재한다. 기존 연구들은 AI 기반의 핸드오버 최적화, 위성 간 링크(ISL) 성능 개선 중심으로 발전하고 있다.

2.2 공중 네트워크 기술

공중 네트워크 기술은 위성과 지상 네트워크 사이의 중간 계층을 구성하는 무선 통신 기술로, 고도 및 운용 방식에 따라 크게 고고도 플랫폼과 무인항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle) 드론 네트워크로 구성된다. 공중 네트워크는 지상 네트워크의 한계를 보완하고, 위성과 지상망 간의 데이터 중계 및 서비스 확장을 목적으로 사용된다.

고고도 플랫폼은 고도 20~30km에서 고정 위치에서 장기 체공하며 운용되며, 반경 100km 이상의 넓은 커버리지를 제공하고, 10ms 이내의 낮은 지연시간의 특징을 가진다. 이러한 특징으로 고정된 위치에서 지속적 서비스를 제공하고, 장거리 데이터 전송 기능을 제공하는 반면에 대기 환경 영향에 따른 안정성 문제, 전원 공급에 따른 체공 시간의 영향성이 따른다. 현재 성층권 풍선을 활용한 인터넷 서비스를 제공해 주는 Google Loon Project가 대표적 사례이다.

UAV 드론 네트워크는 고도 100m~5km에서 통신이 필요한 일부 지역(반경 수 km)에 저비용, 신속한 배치를 통해 통신을 제공한다. OTM(On The Move) 통신으로 이동 중 데이터 수집 및 중계 기능을 제공하지만, 배터리 용량의 한계로 통신 제공의 연속성 및 커버리지 제한 등의 단점이 동반된다. AT&T의 LTE 드론이 대표적 서비스 사례이다[5].

현재 연구의 동향은 고고도 플랫폼 간의 데이터 릴레이 성능 향상을 위한 AI 기반의 위치 조정 기술[6], Q-러닝 기반 UAV 위치 최적화 연구[7] 등이 이루어지고 있다.

2.3 지상 네트워크 기술

지상 네트워크에서의 무선 통신은 기존의 셀룰

러, 마이크로웨이브 기술이 대표적이며, 5G 및 6G 기술의 발전으로 고속 데이터 전송과 저지연 통신을 실현하고 있다. 대표적인 셀룰러 네트워크인 5G는 4G LTE 후속 기술로 초고속 데이터 전송(10Gbps), 초저지연(1ms), 대규모 디바이스 연결을 지원하는 무선 네트워크 기술이다. 다중 안테나를 활용한 고속 데이터 전송을 위한 Massive MIMO, 특정 사용자에게 신호를 집중 전달 하기 위한 Beam forming, 서비스별 가상 네트워크를 생성하여 QoS를 보장해 주는 네트워크 슬라이싱, 고주파 대역 활용을 통한 초고속 데이터 전송 기술을 위한 밀리미터파(mmWave)에 대한 기술 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

마이크로웨이브(Microwave) 네트워크는 고주파 신호를 직진성이 강하고 넓은 대역폭을 사용하는 무선 통신 방식으로 주로 장거리 데이터 전송, 백홀 연결, 방송 송출, 레이더 등에 사용된다. 고주파를 사용하는 마이크로웨이브는 지상 네트워크의 무선 백홀 및 원거리 데이터 전송을 위한 중요한 구성 요소이다.

표 1은 마이크로웨이브 주파수 대역별 용도를 설명한다. 이러한 마이크로웨이브는 최대 10Gbps 이상의 고속 데이터 전송, 수십~수백km 전송할 수 있는 광범위한 커버리지를 제공하며, 기존의 광섬유 유선 네트워크에 비해 구축 속도가 빠른 장점이 있다. 하지만, 신호의 직진성이 강하기 때문에 빌딩, 나무, 산 등 장애물의 영향을 받으며, 기상 조건에 의한 신호 감쇠가 발생한다. 또한, 높은 주파수를 사용하면 거리에 대한 제한이 발생하며, 주변 장비 간에 주파수 간섭 등의 단점이 동반된다.

표 1. 마이크로웨이브 주파수 리스트

Table 1. Microwave frequency list

Band	Frequency (GHz)	Applications
L	1~2	Aviation, Maritime radar
S	2~4	Military radar, Satellite communications
C	4~8	Satellite communications, Broadcasting relay
X	8~12	Military and Weather radar
Ku	12~18	Satellite TV, Data back-haul
Ka	26~40	5G military wave, Satellite internet

현재 마이크로웨이브 기술은 밀리미터파 및 5G 백홀 기술[8], 고주파 대역(E-Band 71GHz~86GHz, V-Band 57GHz~66GHz) 활용 확장[9], 마이크로웨이브-광섬유 융합 기술 형태로 연구되고 있다.

이상의 지상 네트워크는 고속 데이터 전송 및 대규모 연결, 안정적 인프라를 통한 높은 가용성과 신뢰성을 제공하며, 다양한 유연성 및 확정성을 제공한다. 하지만, 산악, 해양 등 인프라 구축에 대한 지리적 한계, 셀룰러 기지국 설치 등의 높은 구축 비용이 요구되며, 자연재해로 인한 인프라 손상 발생 시 지속적인 서비스를 제공할 수 없는 단점이 동반된다.

2.4 QoS 적용 기술

QoS는 네트워크에서 데이터 전송의 품질을 보장하기 위한 기술로, 지연시간, 대역폭, 패킷 손실률, 지역 편차 등의 성능 지표를 기준으로 네트워크 트래픽을 최적화하고 관리하는 기술이다.

위성통신 네트워크는 높은 전송 지연, 제한된 대역폭, 신호 간섭 및 감쇠 등의 특성이 있으며, 우선순위 기반 스케줄링, 대역폭 할당 기술을 통한 QoS 기술이 요구된다. 공중통신 네트워크는 이동에 따른 토폴로지 변화, 기상 조건, 장애물 등의 환경 요소 등의 특성이 있으며, 라우팅 및 핸드오버 기술을 고려한 QoS 적용이 중요하다. 지상 통신 네트워크는 5G, 마이크로웨이브 등 이기종 네트워크 환경에서 다양한 트래픽이 혼합되어 전송되는 특징을 가지고 있다. 이러한 네트워크 환경에서는 패킷 우선순위 처리 및 혼잡 관리를 고려한 QoS 적용 기술이 요구된다.

이처럼 통합 다계층 네트워크에서는 각 계층의 전송방식과 물리적 특성이 다르므로 QoS 보장 방식도 다르게 설계되어야 한다.

현재의 연구들은 LEO 위성의 낮은 지연시간을 활용한 데이터 전송 최적화[10], GEO 기반 대역폭 한계를 고려한 우선순위 기반 트래픽 관리[11] 연구가 이루어지고 있다.

III. SDN 기반 통합 다계층 네트워크 아키텍처

기존의 네트워크 인프라는 기술별로 개별적으로

운용되고 있어, 다양한 서비스 요구를 충족하기 어렵다. 예를 들어, 자율주행 차량과 같은 초저지연 통신이 요구되는 서비스는 위성만으로는 제공하기 어렵고, 반대로 광범위한 재난 대응 서비스는 지상 네트워크만으로는 한계가 있다. 따라서, 본 연구는 다음과 같은 필요성에 의해 수행되었다.

1. 커버리지 확장 : 위성, 공중, 지상 네트워크를 통합하여 글로벌 커버리지를 제공하고, 음영지역을 최소화할 필요가 있다.
2. QoS 보장 : 거리, 용량, 지연시간 등을 고려한 QoS 기반의 데이터 전송 최적화가 필요하다.
3. 통합 제어 아키텍처 요구 : 효율적인 통합망 제어 및 운용을 위해 SDN 기술을 활용한 중앙 집중식 트래픽 관리 및 자원 할당이 필요하다.
4. 특수 환경 지원 : 군사 작전, 원격지 서비스 제공을 위한 다계층 통합 네트워크 필요하다.

본 연구의 주된 목적은 위성, 공중, 지상 무선 시스템을 통합한 다계층 네트워크 제어 아키텍처를 설계하고, QoS를 기반으로 한 효율적인 데이터 전송 및 자원 관리를 실현하는 것이다. 기존의 연구에서는 위성과 지상 네트워크 간의 채널 특성을 분석하고, SDN을 활용한 네트워크 설계를 제안하였다. 그러나 해당 연구는 공중 네트워크를 포함하지 않고, 동적 트래픽 관리와 자원 할당에 대한 심층적인 분석이 미흡하다. 그래서 본 연구는 다음과 같은 기술적 목표를 설정하였다.

1. 통합 아키텍처 설계 : 위성(GEO, LEO), 공중(HAPS, UAV), 지상(5G, Microwave) 네트워크를 포함하는 3계층 통합 아키텍처 설계.
2. QoS 최적화 적용 : 거리, 용량, 지연시간, 패킷 손실률 등을 고려한 QoS 기반 네트워크 경로 최적화.
3. SDN 기반 동적 제어 : SDN을 활용한 동적 트래픽 제어 및 자원 할당.

이처럼 본 논문에서는 SDN 기반의 중앙 집중식 제어를 통해 네트워크 자원 관리와 트래픽 제어 수행이 가능한 위성, 공중, 지상 네트워크를 통합하는 다계층 네트워크 아키텍처를 제안한다.

그림 1은 본 논문에서 제안하는 위성, 공중, 지상 통합 다계층 네트워크 아키텍처의 전체 구조를 나타낸다. 전체 구조는 네트워크 관리 및 제어 기능을 담당하는 제어 평면(Control plane)과 각 네트워크 장비를 통해 데이터를 전송하는 데이터 평면(Data plane)으로 구분된다. 데이터 평면의 위상군은 GEO/LEO, 공중 네트워크는 HAPS, UAV, 지상 네트워크는 5G, Microwave로 정의하였다. 제어 평면은 Link Manager, QoS Processor, 그리고 Traffic Controller로 구성된다. 먼저, Link Manager는 위성, 공중, 지상의 연결된 데이터 평면을 통해 Link 종류를 분류하고 링크 지연시간, 링크 대역폭, 링크 부하 정보 등 상태 정보를 획득하여 TE(Traffic Engineering) DB에 저장한다. QoS Processor는 데이터별 특성에 맞게 동적 QoS 정책을 설정하여 TE DB에 정보를 업데이트하며, 최종적으로 Traffic Controller에서 최적 경로를 설정하여 Link Path DB를 생성하고 데이터 평면으로 정보를 전송한다.

그림 2는 제안된 TE DB와 Link Path DB를 관리하는 시스템의 Flow Chart이다. TE DB와 Link Path DB는 인덱스 정보를 기반으로 동기화를 이루고 인

텍스의 체크섬의 변경으로 링크의 상태 정보가 변경되었음을 인지한다. TE DB는 주기적으로 데이터 평면으로부터 상태 정보를 획득하며, 또는 상태 정보 변경 시 정보를 획득하여 업데이트한다.

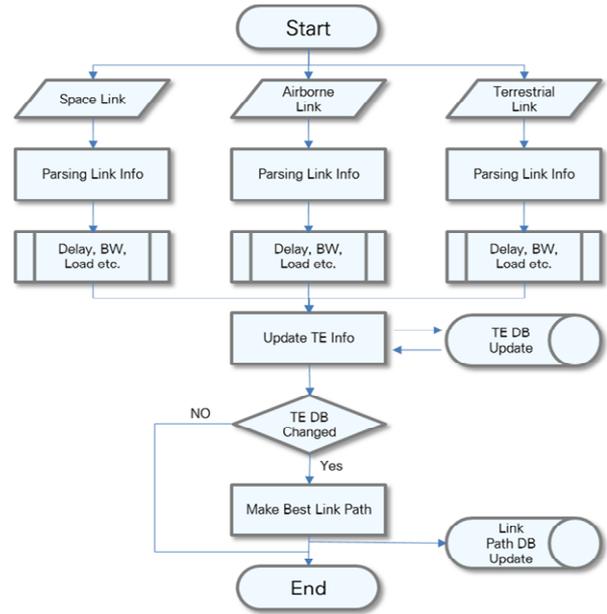


그림 2. 트래픽 엔지니어링 DB, 링크 경로 DB 흐름도
Fig. 2. TE DB, link path DB flow chart

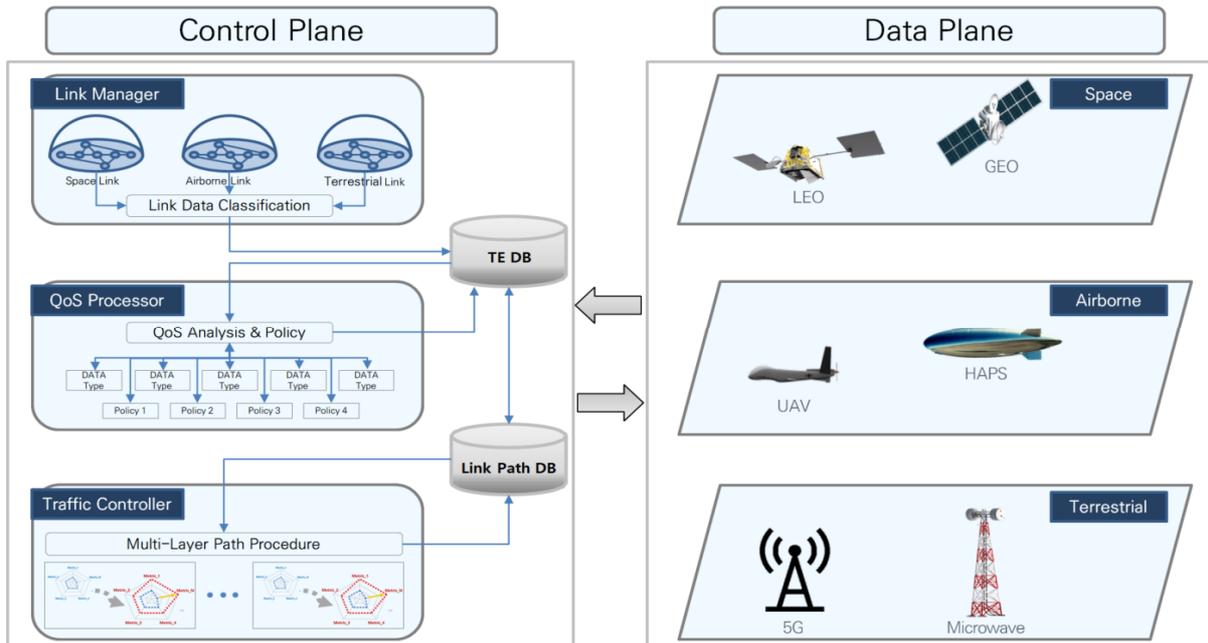


그림 1. SDN 기반 통합 다계층 네트워크 아키텍처 구조
Fig. 1. SDN-based integrated multi-layer network architecture structure

표 2은 Traffic Controller에서 생성하는 Link Path DB의 구체적 구조를 나타낸다. 여기에는 데이터 전송 간 다양한 예외 현상을 극복할 수 있는 정보도 포함하여 최적화 경로 정보를 생성한다. 우선순위에별 경로 정보를 생성하여, 네트워크 장애 및 품질 저하 발생 시 백업 경로를 통한 데이터 전송이 이루어질 수 있도록 설계하였다.

표 2. 링크 경로 DB 구조
Table 2. Link path DB structure

Parameter	Description
Source IP	source ip address
Destination IP	destination ip address
Link Type	Space, Airborne, Terrestrial
Link Info	BW, Load, Delay, Cost
Path List	Service Type [normal, realtime, large, critical] Path List from source to destination

이러한 통합 다계층 네트워크 아키텍처는 끊임이 없는 통신을 지원하기 위한 링크별 무선 시스템의 특성을 고려하여 설계하였다.

IV. 시뮬레이션 결과

제안한 통합 다계층 네트워크 아키텍처의 성능 평가를 위해서 본 연구에서는 Vmware와 같은 하이퍼 바이저에 P-NET (네트워크 에뮬레이터)을 설치하여 시뮬레이션 환경을 구축하였다. CISCO의 c8000v와 같은 클라우드 기반 라우터를 통해 단일

네트워크 계층을 통한 데이터 전송 시와 통합 다계층 네트워크를 활용한 데이터 전송 시의 전송 지연, 패킷 손실률을 측정한다. 그림 3는 시험 구성도이다. 위성 네트워크는 GEO와 LEO, 공중 네트워크는 HAPS와 UAV, 그리고 지상 네트워크는 Microwave로 구성하였다. 표 3는 네트워크별 특성을 고려한 링크별 파라미터이며, 해당 데이터는 지상 단말 기준으로 적용하였다. 표 4은 링크별 전송할 데이터 종류 및 크기이다. 실시간성이 중요한 VoIP Voice & Video 데이터와 웹 데이터인 HTTP, 그리고 고대역폭이 요구되는 CCTV 영상 데이터와 같이 다양한 상황을 고려한 시험 데이터를 선정하였으며, 그림 3의 시험 구성도에 적용하였다.

표 3. 시험 링크 파라미터
Table 3. Test link list

Link type		BW (Mbps)	Delay (ms)
Satellite	GEO	2	600
	LEO	25	100
Airborne	HAPS	25	30
	UAV	150	10
Terrestrial	Microwave	40	20

표 4. 시험 데이터 리스트
Table 4. Test data list

No.	Data type	Data size
1	VoIP Voice	36Kbps
2	VoIP Video	2Mbps
3	HTTP	30Kbps
4	CCTV	2.5Mbps

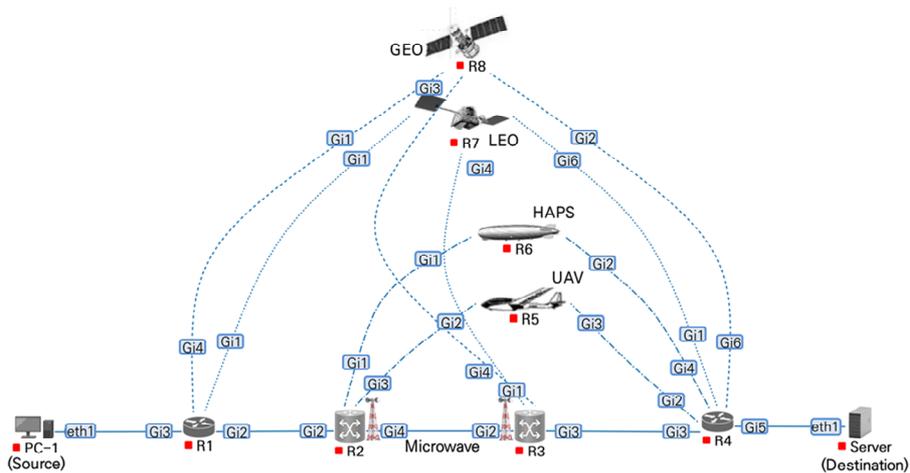


그림 3. 시험 구성도
Fig. 3. Test-bed view

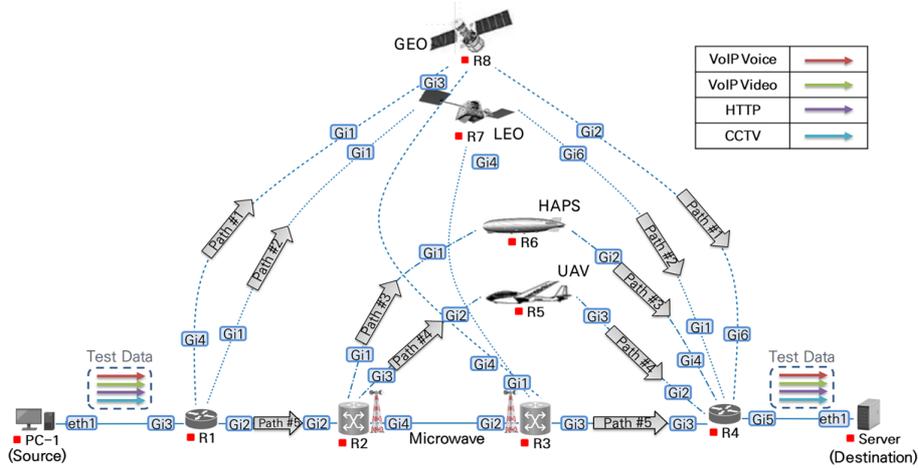


그림 4. 시험 시나리오
Fig. 4. Test scenarios

시험은 크게 두 가지 형태로 수행하였으며, 그림 4와 같이 단일 계층 데이터 전송과 다계층 데이터 전송에 대한 비교 분석으로 진행하였다. 해당 시험에서는 링크별 BW에 따른 데이터 전송률 및 Delay에 대한 효과 분석을 R1 라우터의 매트릭 정보를 수정하여 수행하였다.

그림 5은 시험 데이터를 각각의 링크별로 전송했을 때의 전송 Delay를 측정된 결과이다. GEO 링크의 경우 최초 설정한 BW 2Mbps를 초과하는 데이터를 전송함에 따라 Delay가 증가하는 결과가 확인되었다. 이러한 결과는 제안하는 통합 다계층 네트워크 아키텍처 적용 시 가장 Delay가 긴 특성을 가지는 GEO까지 포함하여, 모든 링크에 안정적으로 데이터가 전송됨을 확인하였다. 그림 6은 동일한 시험 형태에서 전송되는 Packet의 Drop rate 결과이며, 단일 계층으로 데이터 전송보다 제안하는 다계층 네트워크 아키텍처를 적용할 때 현저히 Drop rate가 감소함을 확인 할 수 있다.

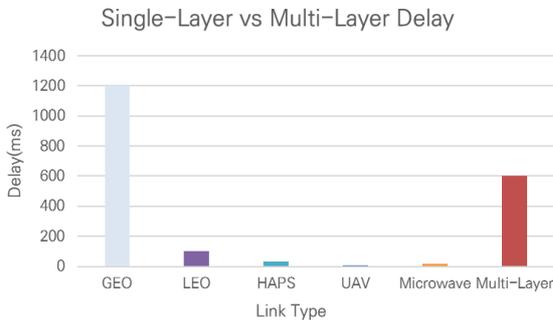


그림 5. 전송 지연 시간 측정 시험 결과
Fig. 5. Delay measurement test results

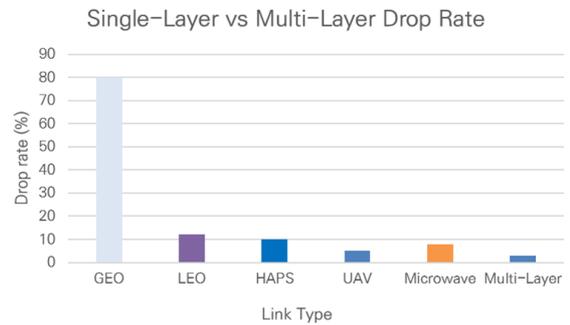


그림 6. 패킷 손실을 측정 시험 결과
Fig. 6. Drop rate measurement test results

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 무선 시스템을 활용한 위성, 공중, 지상의 통합 다계층 네트워크 아키텍처를 설계하고 각 계층 간 협력적 데이터 전송 및 자원 관리를 위한 기술적 접근 방안을 제시하였다. 해당 아키텍처는 다양한 데이터를 효과적으로 전송하기 위함에 있으며 시뮬레이션 결과, 전송 데이터 및 계층 간의 특성을 고려하여 네트워크가 제어됨을 확인하였다.

또한 Link의 특성을 고려한 동적 QoS 정책 적용과 경로 최적화를 통해 모든 무선 자원을 효율적으로 제어할 수 있음을 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다. 그러나 제안 아키텍처의 시뮬레이션 환경상, 실시간 통신환경 Delay 변화 및 실 하드웨어 성능 영향성 반영에 제약이 있었다. 이러한 부분은 향후 연구 과제로 진행하고자 한다.

References

- [1] M. S. Shahriar, F. Ahmed, G. Chen, K. D. Pham, S. Subramaniam, M. Matsuura, H. Hasegawa, and S. C. Lin, "Prioritized Multi-Tenant Traffic Engineering for Dynamic QoS Provisioning in Autonomous SDN-OpenFlow Edge Networks", arXiv preprint arXiv:2403.15975, Mar. 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.15975>.
- [2] X. Masip-Bruin, et al., "Research challenges in QoS routing", *Computer Communications*, Vol. 29, No. 5, pp. 563-581, Mar. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2005.06.008>.
- [3] J. Wang, W. Mu, Y. Liu, L. Guo, S. Zhang, and G. Gui, "Deep Reinforcement Learning-based Satellite Handover Scheme for Satellite Communications", *International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*, Changsha, China, Oct. 2021. <https://doi.org/10.1109/WCSP52459.2021.9613411>.
- [4] L. Qiao, H. Yan, X. Zhou, Y. Xu, L. Wang, and X. Wen, "Onboard Centralized ISL-Building Planning for LEO Satellite Constellation Networks", *Electronics*, Vol. 12, No. 3, pp. 635, Jan. 2023. <https://doi.org/10.3390/electronics12030635>.
- [5] AT&T LTE Done for Disaster Response, <https://about.att.com/pages/disaster-recovery/network-recovery>. [accessed: Dec. 05, 2024]
- [6] Project Loon: Internet from the Smartosphere, <https://x.company/projects/loon/>. [accessed: Dec. 05, 2024]
- [7] X. Zhao, et al., "AI-based UAV Position Optimization for Emergency Networks", *IEEE Communications Magazine*, 2020
- [8] M. Shafi, J. Zhang, H. Tataria, A. F. Molisch, S. Sun, and T. S. Rappaport., "Microwave vs. Millimeter-Wave Propagation Channels: Key Differences and Impact on 5G Cellular Systems", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 56, No. 5, pp. 14-20, Dec. 2018. <https://doi.org/10.1109/mcom.2018.1800255>.
- [9] G. P. L. Sage and C. D. Nantista, "Broadband, High Efficiency OMT in E-Band", *IEEE Access*, Vol. 10, Jun. 2022. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3180342>.
- [10] S. Gopalam, D. Kudathanthirige, I. B. Collings, S. V. Hanly, H. Inaltekin, and P. Whiting, "Distributed IoT Communications With LEO Satellites: QoS Performance and Terminal Attempt Rate Schemes", *IEEE Open Journal of the Communications Society*, Vol. 5, pp. 7400-7418, Nov. 2024. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2024.3496934>.
- [11] V. K. Gupta, V. N. Ha, E. Lagunas, H. Al-Hraishawi, L. Chen, and S. Chatzinotas, "Combining Time-Flexible GEO Satellite Payload With Precoding: The Cluster Hopping Approach", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 72, No. 12, pp. 16508-16523, Dec. 2023. <https://doi.org/10.1109/TVT.2023.3292554>.

저자소개

박진호 (Jin-Ho Park)



2010년 2월 : 인제대학교
전자지능로봇공학과(공학사)
2020년 8월 : 세종사이버대학교
정보보호학과(공학석사)
2017년 10월 ~ 현재 :
한화시스템 전문연구원
관심분야 : 전술 네트워크,
다계층네트워크

김병희 (Byung-Hee Kim)



2000년 3월 : 광운대학교
전자계산학과(공학사)
2004년 7월 : 광운대학교
컴퓨터학과(공학석사)
2010년 2월 ~ 현재 :
한화시스템 수석연구원
관심분야 : 전술통신, C4I,
위성통신, 데이터링크

김태수 (Tae-Su Kim)



2002년 2월 : 아주대학교
전자공학과(공학사)
2004년 2월 : 한국과학기술원
전기 및 전자공학과(공학석사)
2007년 1월 ~ 현재 :
한화시스템 수석연구원
관심분야 : 전술통신, 위성통신,
전자전

김준형 (Jun-Hyeong Kim)



2018년 2월 : 아주대학교
소프트웨어학과(공학사)
2020년 8월 : 아주대학교
컴퓨터공학과(공학석사)
2023년 12월 ~ 현재 :
한화시스템 선임연구원
관심분야 : 전술통신,
Segment Routing, AI

이종호 (Jong-Ho Lee)



2003년 2월 : 중앙대학교
전자전기공학과(공학사)
2018년 2월 : 아주대학교
시스템공학과(공학석사)
2002년 1월 ~ 현재 :
한화시스템 수석연구원
관심분야 : 전술통신,
지휘통제, C4I

김종원 (Jong-Won Kim)



2003년 7월 : 명지대학교
전자공학과(공학사)
2011년 11월 ~ 현재 :
한화시스템 수석연구원
관심분야 : 전술통신,
다계층네트워크, 통신 단말기

박현 (Hyun Park)



2005년 2월 : 광운대학교
컴퓨터공학과(공학사)
2007년 2월 : 광운대학교
컴퓨터공학(공학석사)
2010년 4월 ~ 현재 :
한화시스템 수석연구원
관심분야 : 군 전술통신망,
모바일 네트워크