

# 자율형 네트워크를 위한 디지털 트윈 네트워크 기술 동향

## Digital Twin Network Technology Trends for Autonomous Networks

심재찬 (J.C. Shim, jcshim@etri.re.kr) 패킷네트워크연구실 책임연구원  
신혜주 (H.J. Shin, hyeju.shin@etri.re.kr) 옛지컴퓨팅응용서비스연구실 석사후연수연구원  
김진술 (J.S. Kim, jsworld@chonnam.ac.kr) 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수  
류호용 (H.Y. Ryu, hyryu@etri.re.kr) 패킷네트워크연구실 책임연구원

### ABSTRACT

As network structures continue to change rapidly and have become increasingly complex, the need for autonomous networks that ensure real-time, accurate, and stable network operations, administration, and maintenance (OAM) has been highlighted. Accordingly, the International Standardization Organization has conducted standardization work on digital twin network (DTN) technology to achieve autonomous networks. The DTN is a technology used to build digital twin networks to analyze, diagnose, simulate, and control physical networks, as opposed to network simulation systems, and supports bidirectional interaction-based network OAM between virtual and physical networks. DTNs are expected to be the foundational technology for autonomous networks, so technical research should be conducted based on an understanding of their characteristics. In this study, we analyzed and summarized the key technical elements, architecture, and interface characteristics of DTNs based on standardized work documents with the goal of analyzing DTN technology. Additionally, we highlighted the challenges and future research trends for DTN systems based on these characteristics.

**KEYWORDS** Autonomous Network, Digital Twin Network, Network Automation, Network Twin

## 1. 서론

네트워크 규모가 거대해지고 수요가 증가함에 따라 운영, 관리 및 유지보수(OAM: Operations, Administration, and Maintenance)의 복잡성도 증가하였다[1].

또한, 네트워크 서비스 품질(QoS: Quality of Service)에 대한 높아진 요구사항으로 인해 네트워크 OAM에 대한 실시간성, 정확성 및 안정성을 보장해야 하며, 이에 따라 자율형 네트워크의 필요성이 강조되고 있다[2-6].

\* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2025.J.400102>

\* 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[RS-2024-00345030, 디지털 트윈 기반 네트워크 장애예방 및 운영관리 자동화 기술 개발].



디지털 트윈(DT: Digital Twin)은 디지털 세계에서 물리적 개체를 실시간으로 표현하는 기술이다. 가상과 현실 간 연결, 실시간 상호작용, 전주기적인 자동화 및 프로세스 최적화 기능을 제공하며, 다양한 분야에서 채택되고 있다[7]. 특히 제조, 의료, 교통 및 위성 분야에서 활발히 사용되고 있으며[8-10], 최근에는 통신 네트워크를 위한 디지털 트윈 기술로 디지털 트윈 네트워크(DTN: Digital Twin Network) 기술이 등장하였다[11,12].

기존 네트워크 운용관리 시스템과 비교하여 디지털 트윈 네트워크는 폐쇄 루프(Closed-loop) 기반으로 가상과 현실이 양방향 상호작용하기 때문에 실시간으로 수집된 데이터에 기초하여 네트워크 OAM을 지원할 수 있으며, 기존 시뮬레이션(Simulation) 및 에뮬레이션(Emulation) 플랫폼보다 확장된 기능을 가진 플랫폼이다[13]. 이러한 디지털 트윈 네트워크는 자율형 네트워크(AN: Autonomous Networks)의 기반 기술이 될 것으로 기대되며[14], 디지털 트윈 네트워크 기술 연구를 위해 개념 및 아키텍처 정의가 선결되어야 하므로 IRTF(Internet Research Task Force), ITU(International Telecommunication Union)와 같은 국제 표준화 기구에서 디지털 트윈 네트워크 표준화를 진행하고 있다[1,11,12,15,16].

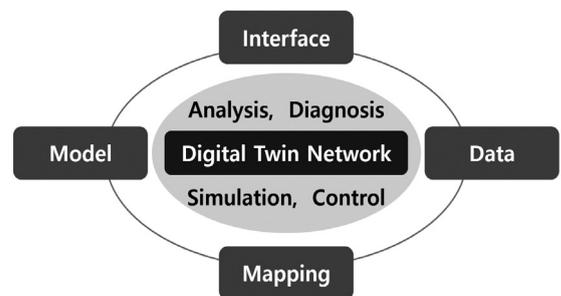
본고의 구성은 다음과 같다. 먼저, II장에서는 국제 표준화 기구의 작업 문서 기반으로 디지털 트윈 네트워크 핵심 기술 요소를 소개하고, III장에서는 디지털 트윈 네트워크의 기본 아키텍처와 서브시스템에 대한 분석 내용을 설명한다. IV장에서는 디지털 트윈 네트워크 인터페이스별 요구사항과 활용 가능한 표준 프로토콜 후보를 소개하고, V장에서는 표준화 기구별 디지털 트윈 네트워크 표준화 동향을 분석한다. 다음으로, VI장에서는 디지털 트윈 네트워크 구축 도전과제와 향후 연구 방향을 함께 제시한다. 마지막으로 VII장에서 본고의 결론을 맺는다.

## II. 디지털 트윈 네트워크 핵심 기술 요소

다른 산업에 적용된 디지털 트윈의 특성과 네트워크 시스템 자체의 특성을 참조하면, 디지털 트윈 네트워크의 핵심 구성 요소는 그림 1과 같이 데이터(Data), 매핑(Mapping), 모델(Model), 인터페이스(Interface)로 정의할 수 있다[13]. 이러한 네 가지 요소들을 활용하여 구축된 디지털 트윈 네트워크는 최적화 알고리즘 혹은 전문가의 도움을 받아 물리적 네트워크에 대한 분석(Analysis), 진단(Diagnosis), 시뮬레이션(Simulation) 및 제어(Control) 작업을 수행할 수 있다. 이때 네 가지 요소의 구성은 디지털 트윈 네트워크의 성능에 영향을 미치기 때문에 각 요소의 역할을 이해하고 적합한 형태로 설계하는 것이 중요하다. 따라서, 본 장에서는 국제 표준화 기구의 작업 문서에 기반하여 디지털 트윈 네트워크의 네 가지 핵심 기술 요소를 소개한다.

### 1. 데이터

데이터(Data)는 물리적 네트워크로부터 수집되는 데이터와 물리적 네트워크로 전달될 제어 데이터를 포함한다. 디지털 트윈 네트워크에서 생성된 트윈 네트워크는 물리적 네트워크의 상태와 동작을 정확



출처 Reprinted from C. Zhou et al., "Digital Twin Network: Concepts and Reference Architecture," IRTF Internet-Draft, 2023.

그림 1 DTN 4대 핵심 요소

하게 모사해야 하므로, 물리적 네트워크 데이터가 필수적이다. 이러한 데이터에는 물리적 네트워크의 과거 데이터 및 실시간 데이터가 포함되며, 실시간 데이터에는 설정(Configuration), 상태(State), 토폴로지(Topology), 추적(Trace), 메트릭(Metric) 등의 데이터가 포함된다. 수집된 데이터는 데이터의 종류 및 특성에 따라 데이터 저장소(Data Repository) 내 이기종 데이터베이스에 저장되고, 이후 데이터 서비스(Data Service)를 통해 디지털 트윈 네트워크 내 모델 구성에 필요한 형태로 적시에 제공된다.

## 2. 모델

모델(Model)은 물리적 네트워크에서 하나 이상의 네트워크 요소, 예를 들면 네트워크 장비, 시스템 등으로부터 수집된 데이터를 특정 모델을 사용하여 포괄적으로 표현하고 관리하는 기술을 지칭한다. 이러한 모델은 물리적 네트워크가 어떻게 동작하는지에 대한 정보를 제공하고, 의사결정에 활용하기 위한 추론 데이터를 생성하기 위해 에뮬레이션 및 진단의 기반이 된다.

서비스 모델, 데이터 모델, 데이터 세트 모델 또는 지식 그래프와 같은 다양한 모델을 사용하여 실제 네트워크 자원을 표현한 후 인스턴스화하여 다양한 네트워크 애플리케이션을 제공할 수 있다.

## 3. 인터페이스

인터페이스(Interface)는 디지털 트윈 네트워크에서 활용되는 데이터의 교환을 지원한다. 이때 국제 표준화기구를 통해 확립된 인터페이스를 활용하면 이기종 장치들에 대한 상호운용성(Interoperability)을 보장할 수 있다.

인터페이스는 크게 세 가지 유형으로 분류된다.

트윈 사우스바운드 인터페이스(Twin Southbound Interface), 트윈 인터널 인터페이스(Twin Internal Interface), 그리고 트윈 노스바운드 인터페이스(Twin Northbound Interface)로 지칭되며, 각각 디지털 트윈 네트워크 플랫폼과 물리적 네트워크 인프라 사이의 인터페이스, 디지털 트윈 네트워크 플랫폼 내 하위 시스템들 사이의 인터페이스, 그리고 디지털 트윈 네트워크 플랫폼과 응용 프로그램 사이의 인터페이스를 의미한다.

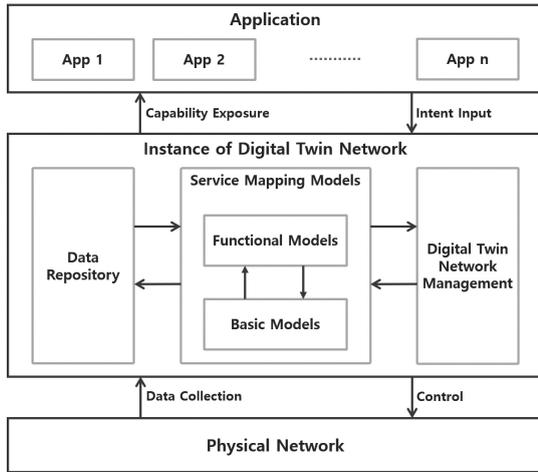
## 4. 매핑

매핑(Mapping)은 물리적 엔티티(Entity)와 디지털화된 트윈 엔티티를 식별하고 물리적 네트워크와 트윈 네트워크 간 혹은 두 개 이상의 트윈 네트워크 간의 실시간 상호작용 관계를 구성하기 위해 사용된다.

매핑은 일대일(1:1) 매핑과 일대다(1:N) 매핑으로 분류된다. 1:1 매핑은 물리적 네트워크와 트윈 네트워크 간, 1:N 매핑은 트윈 네트워크 간 상호작용 및 동기화를 위해 사용된다. 이러한 매핑은 물리적 네트워크의 상태(Status)에 대해 높은 가시성을 제공하고, 물리적 네트워크의 동작 및 이벤트에 대한 분석 및 모니터링 기능을 제공한다. 이 기능을 통해 디지털 트윈 네트워크에서는 물리적 네트워크의 성능을 고려하여 네트워크 운용관리의 안정화 및 최적화를 실현할 수 있다.

## III. 디지털 트윈 네트워크 아키텍처

디지털 트윈 네트워크는 모니터링 정보, 데이터, 모델 및 인터페이스를 기반으로 물리적 네트워크를 분석, 진단, 에뮬레이션 및 제어하기 위해 관리 시스템에서 사용되는 물리적 네트워크의 가상 표현이다.



출처 Reprinted from C. Zhou et al., "Digital Twin Network: Concepts and Reference Architecture," IRTF Internet-Draft, 2023.

그림 2 디지털 트윈 네트워크 참조 아키텍처

II장에서 설명한 디지털 트윈 네트워크 핵심 기술 요소를 바탕으로 설계된 디지털 트윈 네트워크 참조 아키텍처는 그림 2와 같다. 디지털 트윈 네트워크 아키텍처는 세 계층(3 Layer)으로 구성되는데, 각각 물리적 네트워크 계층, 디지털 트윈 네트워크 계층, 그리고 네트워크 응용 계층이다[11]. 각 계층 내부에는 하드웨어 혹은 소프트웨어로 구성된 서브시스템(Subsystem)이 배치되어 각기 기능을 수행하는데, 본 장에서는 계층과 계층 내 서브시스템의 종류 및 역할을 소개한다.

### 1. 물리 네트워크 계층

물리 네트워크 계층(Physical Network Layer)은 관리하고자 하는 통신 네트워크를 포함하는 계층으로, 이를 구성하는 네트워크 요소의 전체 또는 일부가 디지털 트윈 네트워크 계층과 상태 정보 및 네트워크 제어 정보를 교환한다. 이때, 네트워크 요소에는 물리적 요소와 일부 가상화된 요소(예: vSwitch, NFV 등)가 포함될 수 있으며, 타겟이 되는 물리적 네트

워크에는 모바일 액세스 네트워크(Mobile Access Network), 모바일 코어 네트워크(Mobile Core Network), 그리고 산업 사물 인터넷(Industrial Internet of Things) 등 다양한 유무선 네트워크가 있다. 그리고 운영 목적에 따라 단일 혹은 다중 네트워크에 걸쳐 관리 도메인을 구성할 수 있다.

### 2. 디지털 트윈 네트워크 계층

디지털 트윈 네트워크 계층(Digital Twin Network Layer)은 네트워크용 디지털 트윈 기능을 제공하는 계층으로, 네트워크 운영자는 의도(Intent)에 적합하게 하나 이상의 디지털 트윈 네트워크 인스턴스를 구성하고 유지할 수 있다. 이러한 디지털 트윈 네트워크 인스턴스는 세 개의 서브시스템으로 구성되는데, 데이터 저장소(Data Repository), 서비스 매핑 모델(Service Mapping Model), 디지털 트윈 네트워크 관리(Digital Twin Network Management)이다. 서브시스템들은 단일 혹은 다중 네트워크에 걸친 하나의 운용 관리 시스템에 배치되어 다른 관리 시스템의 응용 프로그램에 서비스를 제공하거나, 다수의 네트워크 운용관리 시스템에 배치되어 네트워크 간 협업을 지원하고 상위 계층의 응용 프로그램에 서비스를 제공하게 된다. 이 절에서 디지털 트윈 네트워크 계층의 서브시스템을 소개한다.

#### 가. 데이터 저장소

데이터 저장소(Data Repository)는 디지털 트윈 네트워크 계층에 위치한 서브시스템 중 하나로, 네트워크 요소(Network Element)의 실시간 운영 데이터 수집, 저장, 데이터 서비스 제공, 그리고 데이터 관리 기능을 제공하며, 세부 역할은 다음과 같다[13].

- 데이터 수집: 효율적인 분산 저장을 위해 대규모 데이터에 편리한 네트워크 데이터의 추출,

변환, 로드, 정리 및 처리 수행

- 데이터 저장: 네트워크 데이터의 특성에 적합한 데이터 저장 기술을 사용하여 대용량 네트워크 데이터의 효율적인 저장 수행
- 데이터 서비스: 서비스 매핑 서브시스템에 빠른 검색, 동시 충돌(Concurrent Conflict), 일괄 서비스(Batch Service), 통합 인터페이스 및 기타 데이터 서비스를 포함한 다양한 데이터 서비스 제공
- 데이터 관리: 데이터 자산 관리, 보안 관리, 품질 관리 및 메타데이터 관리 수행

참고문헌 [17]에 따르면, 네트워크 모니터링 데이터는 크게 로그/이벤트(Log/Event), 메트릭(Metric), 흐름(Flow), 패킷(Packet), 설정(Configuration), 그리고 포워딩, 라우팅 및 경로(Forwarding, Routing and Path) 데이터로 분류된다. 데이터는 특성에 따라 다르게 처리되고 저장되어야 하므로, 다중 소스 이기종 데이터베이스(Multi-source Heterogeneous Database)를 구성해야 한다.

#### 나. 서비스 매핑 모델

서비스 매핑 모델(Service Mapping Models)은 디지털 트윈 네트워크 계층에 있는 서브시스템 중 하나로, 데이터 모델링(Data Modeling) 기능, 네트워크 응용 프로그램에 데이터 모델 인스턴스 전달 기능, 그리고 프로그래밍이 가능한 트윈 서비스를 제공한다. 이를 위해 활용할 수 있는 서비스 매핑 모델은 기본 모델(Basic Model)과 기능 모델(Functional Model)의 두 가지 유형으로 분류된다[18].

기본 모델은 네트워크 요소 모델(Network Element Model) 및 네트워크 토폴로지 모델(Network Topology Model)로 분류되며, 이들은 네트워크 요소의 기본 구성(Basic Configuration), 환경(Environment), 작동 상태(Operational State), 링크 토폴로지(Link Topology) 및

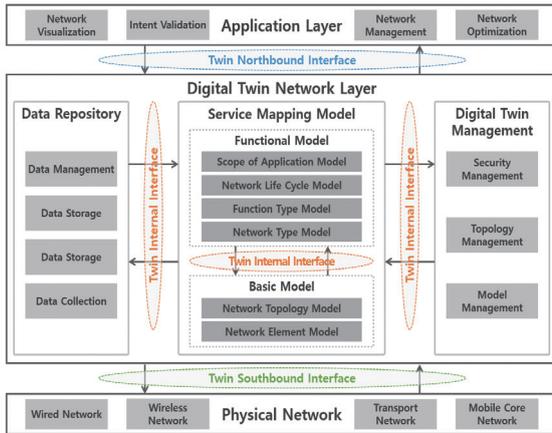
기타 정보를 기반으로 구성되어, 디지털 트윈 네트워크 계층에 물리적 네트워크 특징을 정확하게 실시간으로 제공할 수 있다.

기능 모델은 네트워크 타입(Network Type), 기능 타입(Function Type), 네트워크 생명주기 타입(Network Lifecycle Type), 그리고 응용 프로그램 범위 타입(Scope of Application Type)으로 분류되며, 네트워크 분석, 진단, 시뮬레이션, 제어, 예측 등에 사용되는 다양한 데이터 모델을 의미한다. 이는 다중 차원으로 구성 및 확장될 수 있으며, 네트워크 유형별로 단일 또는 다중 네트워크 운용관리 시스템을 위해 구성될 수 있다[18,19]. 여기에서 네트워크 자동화를 위한 지능형 시스템과 밀접하게 연관된 모델은 기능 타입 모델과 네트워크 생명주기 타입 모델로, 각각 기능 및 역할에 따라 다시 네 가지 모델로 분류할 수 있다. 기능 타입 모델은 상태 모니터링(State Monitoring), 트래픽 분석(Traffic Analysis), 고장 진단(Fault Diagnosis), 그리고 보안 훈련(Security Drill) 모델로 분류되며, 네트워크 수명주기 모델은 네트워크 계획(Planning), 구성(Construction), 최적화(Optimization), 그리고 운영(Operation) 모델로 분류된다. 이러한 모델들은 의도 기반 시나리오에 적합하게 하나 이상이 조합되어 사용될 수 있다.

#### 다. 디지털 트윈 네트워크 관리

디지털 트윈 네트워크 관리(Digital Twin Network Management)는 디지털 트윈 네트워크 계층에 있는 서브시스템 중 하나로, 디지털 트윈 네트워크의 전반적인 관리 기능을 수행한다. 가상 트윈 엔티티의 생명주기 동안 트랜잭션(Transaction)을 기록하며, 트윈 엔티티 혹은 개별 모델의 성능(Capacity)과 자원(Resource) 소비량을 모니터링한다.

또한, 디지털 트윈 네트워크의 다양한 구성 요소에 대한 토폴로지 관리, 모델 관리, 그리고 보안 관리



출처 Reproduced from "Digital Twin Network: Concepts and Reference Architecture," IRTF Internet-Draft, <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-irtf-nmrg-network-digital-twin-arch/>, 2023.

그림 3 디지털 트윈 네트워크 인터페이스 구조

등 관리 기능을 수행하며, 역할은 다음과 같다[13].

- 토폴로지 관리 : 기본 모델을 기반으로 물리 네트워크의 가상 토폴로지를 생성하고, 토폴로지를 다차원 및 다단계로 시각화
- 모델 관리 : 다양한 데이터 모델 인스턴스의 생성, 저장 및 업데이트는 물론 모델 구성 및 네트워크 응용 연결 관리를 제공함과 동시에 모델 인스턴스의 데이터 로딩, 모델 시뮬레이션 검증 프로세스 및 결과를 시각적으로 제시
- 보안 관리 : 데이터 저장소의 데이터 관리와 함께 디지털 트윈 네트워크 데이터 및 모델 보안 보증 관련 인증, 권한 부여, 암호화 및 무결성 보호 제공

### 3. 네트워크 응용 계층

네트워크 응용 계층(Network Application Layer)은 네트워크 응용 프로그램(예: OAM 시스템)을 포함하는 계층으로, 디지털 트윈 네트워크 계층으로 의도(Intent)를 전달하여 처리해야 하는 요청(Request)을

인식시킨다. 요청은 트윈 네트워크 계층에서 모델링된 인스턴스 내 서비스(예: 애플리케이션)에 활용되며, 그 결과는 검증 프로세스를 거쳐 물리적 네트워크에 업데이트된 제어 정보로 배포된다. 이 과정을 통하여 향상된 네트워크 운영 시스템을 구현할 수 있으며, 운영 비용을 감소시키고 물리적 네트워크에 대한 안정성을 보장할 수 있다.

## IV. 디지털 트윈 네트워크 인터페이스

앞서 언급한 디지털 트윈 네트워크의 각 계층 혹은 서브시스템 간 상호작용은 인터페이스를 통해 이루어진다.

디지털 트윈 네트워크 아키텍처에 포함된 서브시스템과 여기서 사용되는 인터페이스는 그림 3과 같이 트윈 네트워크 사우스바운드 인터페이스, 내부 인터페이스 및 트윈 노스바운드 인터페이스로 구성된다[11,13,14].

표 1 인터페이스 요구사항 및 프로토콜

Interface Type	Requirements	Candidate Protocols
Twin Northbound Interface	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Openness</li> <li>• Scalability</li> <li>• Portability</li> <li>• Flexible Deployment</li> </ul>	RESTCONF[20] NETCONF[21] RESTful[22] HTTP/3.0[23] (for intent translation)
Twin Internal Interface	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unity</li> <li>• Adaptability</li> <li>• Portability</li> <li>• Flexible and Extensible</li> </ul>	XMPP[24] I2RS[25] East-West Bridge[26] HTTP/3.0[23]
Twin Southbound Interface	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Information Interaction Capability</li> <li>• Real Time</li> <li>• Compatibility</li> </ul>	NETCONF[21] OpenFlow[27] SNMP[28] XMPP[24] I2RS[25] RDMA[29]

출처 Reproduced from C. Zhou et al., "Digital Twin Network: Concepts and Reference Architecture," IRTF Internet-Draft, 2023. <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-irtf-nmrgnetwork-digital-twin-arch/>

디지털 트윈 네트워크 시스템을 위한 인터페이스 및 프로토콜은 하드웨어(Hardware) 또는 소프트웨어(Software) 공급업체 의존성을 방지하기 위해 개방적이고, 표준을 준용할 것을 권장한다. 따라서 디지털 트윈 네트워크 운용에 있어 국제 표준화 기구의 표준 인터페이스를 사용하면 이기종 장비들에 대한 상호운용성(Interoperability)을 보장할 수 있다. 각 인터페이스의 요구사항과 활용 가능한 프로토콜은 표 1과 같다[11,19].

## V. 디지털 트윈 네트워크 표준화 동향

지금까지 표준화 문서에 기반해 디지털 트윈 네트워크 구축의 핵심 기술 요소와 아키텍처 및 인터

페이스를 소개했다. 이처럼 디지털 트윈 네트워크 구축을 위한 다양한 표준화 작업이 진행되고 있다. 특히, IRTF를 선두로 ITU-T, ETSI(European Telecommunications Standards Institute), 그리고 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서 다양한 주제로 표준화 작업이 진행 중이다. 반면, 국내 표준화 기구인 TTA(Telecommunications Technology Association)에서는 디지털 트윈 네트워크 표준화 작업이 아직 이루어지지 않고 있으며, 미래 시장 이동통신 기술 동향 보고서에서 DT-RAN을 위한 디지털 트윈 네트워크 지원 기술이 간략하게 언급되고 있다[30]. 현재 진행되고 있는 표준화 기구의 작업 문서는 표 2와 같다.

## VI. 디지털 트윈 네트워크 도전 과제

디지털 트윈 네트워크 기술 연구는 아직 초기 단계이기에 특정 시나리오(예: 네트워크 최적화)에 집중하여 논의되고 있다. 즉, 디지털 트윈 네트워크를 네트워크 시뮬레이션 도구로만 사용하고 있는 실정이다. 디지털 트윈 네트워크는 다른 산업 분야에 적용된 디지털 트윈과 다른 특징이 있다[31]. 디지털 트윈 네트워크의 모든 기능을 최대한 활용하기 위해서는 디지털 트윈 네트워크 특성과 관련된 몇몇 주요 과제들을 해결해야 한다. 이번 장에서는 디지털 트윈 네트워크 시스템 구축을 위한 다섯 가지 도전 과제를 연구 방향과 함께 소개한다.

### 1. 대규모 네트워크

디지털 트윈 네트워크는 대규모 네트워크(Large Scale Network) 최적화 및 관리에 유용하게 활용될 것이다. 하지만, 대규모 네트워크를 위한 디지털 트윈 네트워크는 데이터 수집 및 저장과 모델의 설계 및 구현을 복잡하게 만들 수 있으며, 디지털 트윈 네트

표 2 표준화 기구별 디지털 트윈 네트워크 표준 문서

SDO	Working Documents
IRTF	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digital Twin Network: Concepts and Reference Architecture</li> <li>• Requirements and Design for Interfaces of Network Digital Twin</li> <li>• Data Collection Requirements and Technologies for Digital Twin Network</li> <li>• Data Generation and Optimization for Digital Twin Network Performance Modeling</li> <li>• Graph Neural Network Based Modeling for Digital Twin Network</li> </ul>
ITU-T	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Y.3090, Digital twin network – Requirements and architecture</li> <li>• Y.DTN-CapLevel, Digital twin network – Capability level and evaluation methods</li> <li>• Y.DTN-DataFrame, Digital Twin Network: Framework and functional requirements of data domain in network digital twin layer</li> <li>• X.sg-dtn, Security Guidelines for Digital Twin Network</li> <li>• Y.IMT-2020-DTNMO, Digital twin network – Management and Orchestration</li> </ul>
ETSI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zero-touch network and Service Management(ZSM); Network Digital Twin</li> <li>• Unlocking Digital Transformation with Autonomous Networks</li> </ul>
3GPP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Study on Digital Twin Network Management</li> </ul>
TTA	-

워크 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 요구사항이 더욱 엄격해질 것으로 우려된다. 그래서 효율적이며 저렴한 도구가 중요하다. 예를 들면, 가상과 실시간 데이터 송수신 및 저장 비용 절감을 위해 데이터 수집 및 압축 도구를 채택할 수 있다. 이처럼 디지털 트윈 네트워크 환경에 적합한 데이터 저장 및 압축 등의 기술 연구가 진행되어야 한다.

## 2. 상호운용성

이기종 네트워크 장비로 이루어진 통신 네트워크도 디지털 트윈 네트워크 대상이 될 수 있다. 하지만, 네트워크 장비 업체별 구현 및 채택 기술의 이질성 때문에, 이기종 네트워크 장비들을 통일된 디지털 표현으로 디지털 트윈 네트워크 시스템을 구축해야 한다. 따라서 네트워크의 모든 구성 요소와 기능이 명확하게 정의된 디지털 트윈 네트워크 통합 아키텍처 설계가 선행되어야 하며, 이어서 통합된 인터페이스를 설계하여 상호운용성(Interoperability)을 고려한 표준화 연구가 진행되어야 한다.

## 3. 데이터 모델링 복잡도

대규모 네트워크 데이터 모델링은 모델 기능의 정확성을 보장하면서 동시에 디지털 트윈 네트워크 구성에 대한 유연성 및 확장성을 고려해야 한다. 하지만, 이런 요구사항을 충족하려면 데이터 모델을 효율적이고 계층적으로 구성하는 과정이 더욱 복잡해진다. 소규모 네트워크에서는 가상화된 자원을 사용할 수 있지만, 대규모 네트워크의 경우 자원에 대한 막대한 비용이 요구된다. 따라서, 대규모 네트워크에 대한 모델링을 위한 수학적 모델링 기법 혹은 인공지능(AI: Artificial Intelligence) 알고리즘 연구가 진행되어야 한다.

## 4. 실시간성

네트워크 서비스는 일반적으로 실시간성(Real-Time)을 충족해야 하며, 디지털 트윈 네트워크에서는 특히 실시간 동기화 기능이 요구된다. 하지만, 통신 네트워크 특성상 분산된 구조 때문에 데이터 전송 지연이 발생하고, 이에 따라 디지털 트윈 네트워크에서 물리적 네트워크와 트윈 네트워크의 실시간 동기화는 어려운 문제로 여겨진다. 따라서, 디지털 트윈 네트워크 모델의 기능과 프로세스가 다양한 네트워크 응용 시나리오를 고려하여 시나리오별 실시간 요구사항 충족에 필요한 컴퓨팅 자원 및 프로세스의 선택 및 구성을 자동으로 수행하게 하는 연구가 필요하다. 또한, 작업시간 비용을 최소화하는 단순화된 프로세스 설계 연구도 진행되어야 한다.

## 5. 보안

디지털 트윈 네트워크에서는 물리적 네트워크 데이터의 전체 또는 일부를 실시간 동기화해야 한다. 하지만, 이 과정에서 필연적으로 정보 유출 위험이 증가하게 된다. 이 문제를 해결하기 위해서 블록체인과 같은 최신 보안(Security) 기술 및 레거시 보안 기술을 활용하여 안전하게 데이터를 관리할 수 있으며, 연합 학습(Federated Learning)과 같은 알고리즘을 활용한 데이터 공유 제한으로 안전한 시스템 구조를 설계할 수 있다. 이처럼 디지털 트윈 네트워크 보안 강화를 위한 보안 기술 연구 및 분산형 협업 모델 학습 연구가 수행되어야 한다.

## Ⅶ. 결론

본고는 자율형 네트워크에 대한 기반 기술로써 디지털 트윈 네트워크 기술 분석 및 표준화 동향에

대해 기술하였다. 특히 IRTF 작업 문서를 중심으로 디지털 트윈 네트워크 구축에 필요한 네 가지 핵심 기술 요소를 소개하고, 이를 기반으로 설계된 아키텍처의 세 계층과 계층 내 서브시스템, 그리고 이들의 상호작용을 위한 인터페이스에 대해 설명하였다. 이처럼 현재 디지털 트윈 네트워크 구축을 위한 다양한 주제의 표준화 작업이 국제 표준화 단체들을 통해 활발히 이루어지고 있다. 그러나 디지털 트윈 네트워크 기술 연구가 초기 단계인 만큼 많은 도전과제가 남아 있으며, 이를 해결하기 위한 다각적인 연구가 필요하다. 지속적인 연구를 통해, 디지털 트윈 네트워크는 네트워크의 진화와 발전에 따른 미래 자율형 네트워크 시스템 구축에 핵심 기술로 자리매김할 것으로 기대된다.

### 약어 정리

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AI	Artificial Intelligence
AN	Autonomous Networks
DT	Digital Twin
DTN	Digital Twin Network
DT-RAN	Digital Twin-Radio Access Network
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
IRTF	Internet Research Task Force
ITU	International Telecommunication Union
ITU-T	ITU Telecommunication Standardization Sector
OAM	Operations, Administration and Maintenance
QoS	Quality of Service
TIA	Telecommunications Technology Association

### 참고문헌

[1] ETSI, "ETSI GR ZSM-015: Zero Touch Network and

Service Management(ZSM); Network Digital Twin," ct. 2023. [https://portal.etsi.org/eWPM/index.html#/schedule?WKI\\_ID=64372](https://portal.etsi.org/eWPM/index.html#/schedule?WKI_ID=64372)

- [2] C. Alexander et al., "Network management 2030: Operations and control of network 2030 services," J. Netw. Syst. Manag. vol. 28, no. 4, 2020, pp. 721-750.
- [3] S. Na et al., "Clustering Method for Mobile Traffic Prediction," J. Korean Institute Commun. Inform. Sci., vol. 47, no. 2, 2022, pp. 398-407.
- [4] H. Shin et al., "Network Traffic Prediction Model in a Data-Driven Digital Twin Network Architecture," Electron., vol. 12, no. 18, 2023, article no. 3957.
- [5] Z. Nadir et al., "Immersive services over 5g and beyond mobile systems," IEEE Netw., vol. 35, no. 6, 2021, pp. 299-306.
- [6] A. Isah et al., "Digital Twins Temporal Dependencies-Based on Time Series Using Multivariate Long Short-Term Memory," Electron., vol. 12, no. 19, 2023, article no. 4187.
- [7] L. Raes et al., "DUET: A framework for building interoperable and trusted digital twins of smart cities," IEEE Internet Comput., vol. 26, no. 3, 2021, pp. 43-50.
- [8] L. Li et al., "Digital twin in smart manufacturing," J. Ind. Inform. Integr. vol. 26, 2022, article no. 100289.
- [9] T. Erol et al., "The digital twin revolution in healthcare," in Pro. 4th Int. Symp. Multidisciplinary Studies Innovative Technol. Istanbul, Turkey, 2020.
- [10] L. Zhao et al., "INTERLINK: A digital twin-assisted storage strategy for satellite-terrestrial networks," IEEE Trans. Aerospace Electron. Syst. vol. 58, no. 5, 2022, pp. 3746-3759.
- [11] C. Zhou et al., "Digital Twin Network: Concepts and Reference Architecture," IRTF Internet-Draft, 2023. <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-irtf-nmrg-network-digital-twin-arch/>
- [12] ITU-T, "Digital twin network - Requirements and architecture(Y.3090)," Telecommunication Standardization Sector of ITU, 2022. <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.3090-202202-I/en>
- [13] S. Tao et al., "Digital twin network(DTN): concepts, architecture, and key technologies," Acta Automatica Sinica, vol. 47, no. 3, 2021, pp. 569-582.
- [14] China Mobile Research Institute, "Digital twin network(DTN) White Paper," 2021. <https://inf.news/en/tech/6481cfe6f608b6a5819d9b3672fcb6c.html>
- [15] M. Li et al., "Data Generation and Optimization for Digital Twin Network Performance Modeling," IRTF Internet-Draft, 2023. <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-li-nmrg-dtn-data-generation-optimization/>
- [16] C. Yong et al., "Graph Neural Network Based Modeling

- for Digital Twin Network,” IRTF Internet-Draft, 2023. <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-wei-nmrg-gnn-based-dtn-modeling/>
- [17] Gartner, “Rethink Network Monitoring for a Cloud Era,” Gartner, Singapore, 2018.
- [18] D. Chen et al., “Classification, Building and Orchestration Management of Digital Twin Network Models,” in IEEE 22nd Int. Conf. Commun. Technol., Nanjing, China, 2022, pp. 1843–1846.
- [19] H. Yang et al., “Multi-source Heterogeneous Data Processing Technology for Digital Twin Network,” in Proc. IEEE 22nd Int. Conf. Commun. Technol., Nanjing, China, 2022, pp. 1829–1834.
- [20] M. Bjorklund et al., “RESTCONF Extensions to Support the Network Management Datastore Architecture,” RFC 8527, Mar. 2019.
- [21] R. Enns et al., “Network Configuration Protocol (NETCONF),” RFC 6241, June 2011.
- [22] L. Richardson and M. Amundsen, “RESTful Web APIs,” O’Reilly Media Inc., 2013.
- [23] K. Moore and N. Freed, “Use of HTTP state management,” RFC 2964, Oct. 2000.
- [24] P. Saint-Andre, “Extensible messaging and presence protocol(XMPP),” RFC 6120, Mar. 2011.
- [25] J. Haas and S. Hares, “Interface to the Routing System(I2RS) Ephemeral State Requirements,” RFC 8242, Sep. 2017.
- [26] P. Lin et al., “East-west bridge for SDN network peering,” Frontiers in Internet Technologies: Second CCF Internet Conference of China, Zhangjiajie, China, July 2013.
- [27] N. McKeown, “OpenFlow: enabling innovation in campus networks,” ACM SIGCOMM Comput. Commun. Review, vol. 38, no. 2, 2008, pp. 69–74.
- [28] M. Rose, “SNMP over OSI,” RFC1418, Mar. 1993.
- [29] C. Lever, “Bidirectional Remote Procedure Call on RPC-over-RDMA Transports,” RFC 8167, June 2017.
- [30] TTA, “TTAR-06.0269: Future technology trends of terrestrial International Mobile Telecommunications systems towards 2030 and beyond(Technical Report),” May 2023.
- [31] W. Hu et al., “Digital twin: a state-of-the-art review of its enabling technologies, applications and challenges,” J. Intell. Manuf. Special Equipment, vol. 2, no. 1, 2021, pp. 1–34.