

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제26권 제4호, 2021년 7월 (JBE Vol. 26, No. 4, July 2021)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2021.26.4.390>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

지하공동구 관리를 위한 고속 검색 데이터 생성 및 사용자 맞춤형 서비스 방안 설계

박 종 화^{a)}, 전 지 혜^{b)}, 박 구 만^{a)*}

Design of Data Generating for Fast Searching and Customized Service for Underground Utility Facilities

Jonghwa Park^{a)}, Jihye Jeon^{b)}, and Gooman Park^{a)*}

요 약

디지털 트윈 기술을 다양한 산업 분야에 응용함에 따라 대용량 데이터를 효과적으로 처리하기 위한 기술들이 필요하다. 본 논문에서는 지하 공동구 관리를 위한 대용량 데이터를 고속 검색하고 효과적인 전달을 위한 맞춤형 서비스 방안에 대해 논한다. 제안하는 방안은 크게 두 가지로 방대한 데이터를 효율적으로 검색하고 축약해서 보여주기 위한 고속 검색 데이터 생성 방법과 맞춤형 정보 서비스 분할 방법에 대해 제안한다. 고속 검색 데이터 생성에서는 지하 공동구 내 센서들에 의해 수집되는 시계열 분석을 위한 동기화 과정에 대해 구성과 데이터 축약에 따른 부가정보 방안에 대해서 논한다. 사용자 맞춤형 서비스 방법에서는 평상시와 재난 시의 사용자 유형을 정의하고 그에 따른 서비스하는 방법에 대해 논한다. 본 연구를 통해 재난 상황에서 대용량 데이터를 효과적으로 검색하고 서비스 받을 수 있는 지하 공동구 관리를 위한 데이터 생성과 서비스 모델에 대한 체계성을 갖출 수 있을 것으로 예상된다.

Abstract

As digital twin technology is applied to various industrial fields, technologies to effectively process large amounts of data are required. In this paper, we discuss a customized service method for fast search and effective delivery of large-scale data for underground facility for public utilities management. The proposed schemes are divided into two ways: a fast search data generation method and a customized information service segmentation method to efficiently search and abbreviate vast amounts of data. In the high-speed search data generation, we discuss the configuration of the synchronization process for the time series analysis of the sensors collected in the underground facility and the additional information method according to the data reduction. In the user-customized service method, we define the types of users in normal and disaster situations, and discuss how to service them accordingly. Through this study, it is expected to be able to develop a systematic data generation and service model for the management of underground utilities that can effectively search and receive large-scale data in a disaster situation.

Keyword : underground, digital twin, data model, data tag, fast searching

I. 서론

디지털 트윈 기술은 최근 다양한 산업군에서 활용하고자 하고 있으며, 그에 대한 중요성이 증가되고 있다¹⁻⁶⁾. 기반 시설의 하나인 지하 공동구에는 전력, 통신, 급배수 등 다양한 사회 기반 시설들이 설치되어 관리 운영이 되고 있는 상태이다⁷⁾. 일부 지역의 지하 공동구는 노후화에 따라 지속적인 관리가 필요하고, 다양한 시설들이 설치되어 있기 때문에 잠재적인 위험 요소가 높은 실정이다. 유지 관리 및 재난 대응을 위해 센서 및 무인 로봇, 인공지능 기술을 적용하고 있는 상태이다⁸⁻⁹⁾. 설치된 수많은 센서로부터 데이터를 획득하고 있지만, 센서의 종류, 위치, 센싱 주기, 센싱 값 등이 달라 점검 시 동일한 시계열 구간을 확인해야 하기 때문에 동기화가 필요하다. 또한, 사용자 검색 요청 시 필요한 데이터를 빠르게 검색하여 표출해야 대응 시간을 단축시킬 수가 있다. 단순 센싱 값을 표출하는 것보다 데이터 축약을 통해서 부가정보를 생성하고, 이 부가정보를 활용하여 점검 시 활용될 수 있다.

지하공동구 디지털 트윈 서비스는 크게 평상시와 재난 시의 경우로 나눌 수 있다. 평상시에는 유지, 관리를 위한 점검 위주의 순찰이 이루어지고, 재난의 경우는 화재, 침수 등이 있을 수 있다.

평상시에는 순찰자 위치에 따라 데이터, 점검 항목, 트윈 모형에 대한 조회, 수집이 가능해야 하고, 재난 시에는 관리자, 대응 요원에 따라 수행해야 하는 임무, 작전 절차, 트윈 모형 등에 대해 조회와 수집이 가능해야 하기 때문에 사용

자 유형에 따라 서비스가 되어야 한다.

본 논문에서는 디지털 트윈 기술을 활용하기 위한 대용량 데이터 모델링 방법을 제안하고, 시스템 사용자에게 맞춤형 서비스를 정의하여 유지, 관리와 재난 시 신속한 대응이 가능한 시스템을 제안하였다. 2장에서는 대용량 데이터 처리 모델에 연구를 다루고, 3장에서는 결론을 맺고자 한다.

II. 고속 검색을 위한 데이터 생성 방법

지하공동구는 도심지와 관련된 전력, 가스, 상하수도, 통신 등의 시설물들이 관리되고 있는 구조를 갖는다. 이러한 이유로 관련된 시설물과 연계된 대량의 센서 종류는 매우 다양하며 재난을 대비하고 데이터를 수집, 관리하는 것은 매우 중요하다. 디지털 트윈 기술로 지하공동구를 원격에서 효율적으로 실시간 관리를 하기 위해서는 대용량 데이터 처리 방법에 대한 연구가 필요하다. 본 절에서는 이러한 이기종 데이터들을 수집하였을 때, 고속으로 사용자에게 관제 서비스를 제공하기 위해 데이터를 정규화하는 방안에 대해 논한다.

그림 1은 지하공동구 관리를 위한 디지털 트윈 관리 서비스 시스템(TMS, twin management sub-system)을 고속 검색 및 서비스 측면에서 나타낸 개념도이다. 지하공동구 관련 데이터는 다양하게 존재하는데 대표적으로 공간 데이터, 센서 데이터, 예측 데이터 등이 있다. 이러한 데이터를 기반으로 디지털 트윈 정보를 생성하고, 이기종 데이터들에 대해 동기화와 정규화 작업을 수행한다. 사용자 고속 검색을 지원하기 위한 메타 데이터를 태깅해서 최종적으로 재난 시, 평상시 작업자 레벨에 맞게 맞춤형 서비스를 제공한다. 이 중에서 이기종 데이터에 대한 동기화와 태깅을 통해 효율적인 데이터 고속 검색 서비스를 위한 방법을 설계한다.

1. 동기화 모델

데이터 동기화란 데이터 객체들을 어떠한 주어진 관계 정보에 의해 그룹화(grouping)하거나 연결하고, 서로 다른 센서 정보들을 균일하게 표출하고 시계열 해석을 진행하기 위해 데이터 범위를 나타낼 수 있는 데이터의 시작과 끝을 일치시키는 작업을 의미한다. 그림 2와 3은 본 논문에서 제

a) 서울과학기술대학교 나노IT디자인융합대학원(Graduate School of Nano IT Design Fusion, Seoul National University of Science and Technology)

b) 주식회사 스탠스(STans, Inc.)

‡ Corresponding Author : 박구만(Gooman Park)

E-mail: gmpark@seoultech.ac.kr

Tel: +82-2-949-2131

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7055-5568>

※ 이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020-0-00061, 디지털트윈 기반의 지하공동구 화재·재난 지능 통합플랫폼 기술개발).

※ This work was supported by Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2020-0-00061, Development of integrated platform technology for fire and disaster management in underground utility tunnel based on digital twin).

• Manuscript received May 24, 2021; Revised July 14, 2021; Accepted July 14, 2021.

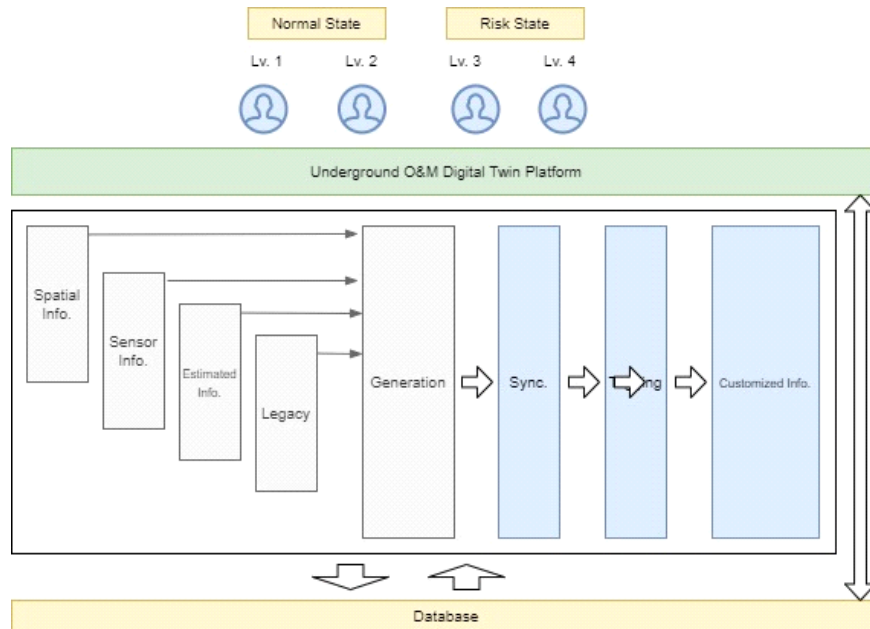


그림 1. 지하공동구 관리를 위한 TMS 개념도
Fig. 1. TMS conceptual diagram for Underground Utility Facilities

안하는 지하공동구 데이터 고속 검색을 위한 매핑 및 동기화 작업을 도식화한 것이다. 그림 2는 매핑의 개념을 나타내는 것인데, 동기화 전 단계로 디지털 트윈 데이터 모델에서 실시간 공간 기반의 데이터를 표출하고 관리하고자 할 때 연관되는 데이터를 상황 또는 데이터 정책에 맞게 속성을 연결하고 그룹화해야 한다. 지하공동구의 방대한 데이터는 정책에 의해 새로운 데이터 모델로 생성되고 관리되어야 재난 상황에 대해 사전에 분석하고, 관리가 용이하다.

그림 3은 데이터 동기화에 대한 개념도이다. 지하공동구 내 데이터는 서로 다른 종류, 제조사, 유형을 가지고 있으며, 센싱 되는 주기도 각각 다르다. 따라서, 이기종 센싱 데이터들의 시계열 분석 및 모니터링을 위해서는 데이터 시작과 끝을 일치시키고 그 범위를 맞춰주는 기준이 필요하다. 본 연구에서는 지하공동구 재난 발생 시 신속하고 실시간으로 대응할 수 있도록 데이터 모델 내에서 최소 시간 주기를 갖는 센싱 데이터에 기준을 일치시켜 시뮬레이션할

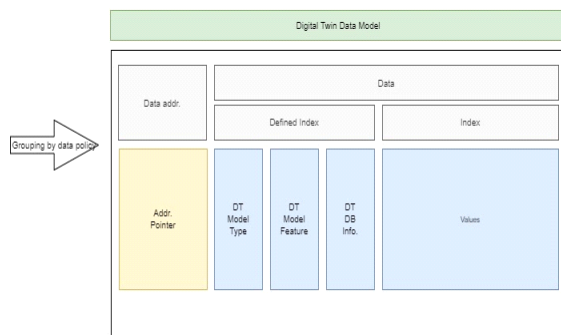


그림 2. 데이터 매핑 개념도
Fig. 2. Conceptual diagram of data mapping

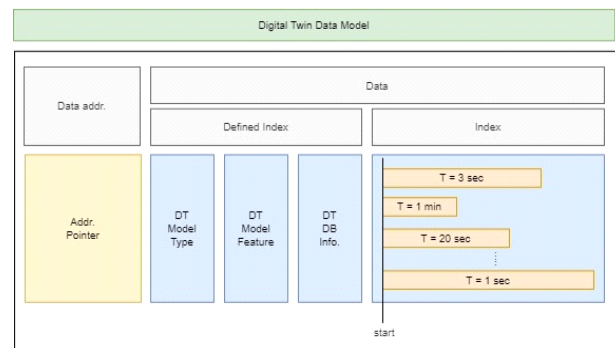


그림 3. 데이터 동기화 개념도
Fig. 3. Conceptual diagram of data synchronization

수 있도록 동기화 설계를 진행한다. 이를 통해 디지털 트윈 데이터 모델을 정규화하여 시계열 분석을 하고 확인할 수 있게 되어 재난 발생 시 동 시간대의 센서 데이터 값들과, 데이터들간의 관계들을 확인할 수 있고, 시뮬레이션 시 동기화된 입력 데이터 사용할 수 있다.

2. 태깅 모델

앞 절에서는 데이터 동기화 방안을 통해 지하공동구의 대용량 디지털 트윈 데이터 모델을 다룰 수 있도록 제시하였다. 본 절에서는 이러한 데이터 모델을 한번 더 축약하고, 부가정보를 결합하여 빠른 탐색과 조회가 가능한 재구성된 지하공동구 디지털 트윈 데이터 모델을 생성하는 데이터 태깅 방법에 대해 논한다.

그림 4는 데이터 태깅을 위한 메타데이터 생성 방법에 대한 개념도이다. 그림에서도 볼 수 있듯이 메타데이터는 부가정보 1(AD1, additional data 1)과 부가정보 2(AD2, additional data 2)로 구성할 수 있다. 그림 4의 부가정보 1은 앞 절에서 생성한 동기화가 된 지하공동구 디지털 트윈 데이터 모델 내 수 많은 데이터를 효율적으로 검색하고, 표출하기 위한 대표되는 특징값을 생성하여 결합한다. 이 데이터들은 새롭게 생성되는 데이터가 아닌 축정된 데이터 내에서 계산된 값이므로 직접적인 부가 데이터라고 할 수 있다. 이는 공간별로 수 많은 센싱 데이터를 표출할 때 대표적

인 값을 시계열로 서비스하기 때문에 사용자 효율 측면에서 매우 유용하다. 그림 4의 부가정보 2는 서비스 단에서 이전 재난 상황이나 평상 상황에서의 데이터를 복기할 수 있는 고속 검색용 해시 태그의 역할을 한다. 예를 들어, 재난 정보 등급, 연월일, 재난 시간 및 범위, 이벤트 유형, 대용자 등의 정보를 붙여서 재난 검색을 손쉽게 할 수 있는 단서 데이터들을 의미한다. 부가정보 2는 1과는 다르게 사용자 검색용 정보이므로 데이터 모델과는 간접적인 생성 정보를 담고 있으며, 직접적인 수치 또는 상세 주소 값 외에 모든 고속 검색용 정보를 가지도록 설계할 수 있다.

부가정보는 2가지 유형으로 분리하여 메타 데이터를 구성할 수 있다. 이 메타 데이터는 향후 다양한 종류의 재난이나 관리 공간 확장을 고려하였을 때 사용될 수 있다. 메타 데이터는 직, 간접적인 데이터를 손쉽게 태깅하거나 분리해낼 수 있는 확장적인 설계를 할 수 있는 특징을 가진다.

메타데이터는 평상시에는 주기적으로 저장해야 하고, 재난 시에는 실시간으로 메타 데이터를 생성하여 저장된다. 부가정보 2는 데이터베이스 테이블 형태로 저장이 되고, 빠른 검색이 가능하도록 상황 정보, 발생 시간, 종료 시간, 이벤트 종류, 사용자 정보가 저장이 되도록 한다. 저장 시 자료형을 INT형으로 정의하여 검색 시 속도를 빠르게 하도록 한다. 상황 정보의 경우 사전에 정의된 유형에 따른 INT 코드로 정의하고, 시간 정보의 경우 UNIX_TIMESTAMP를 이용하여 INT형으로 저장, 이벤트 종류와 사용자 정보

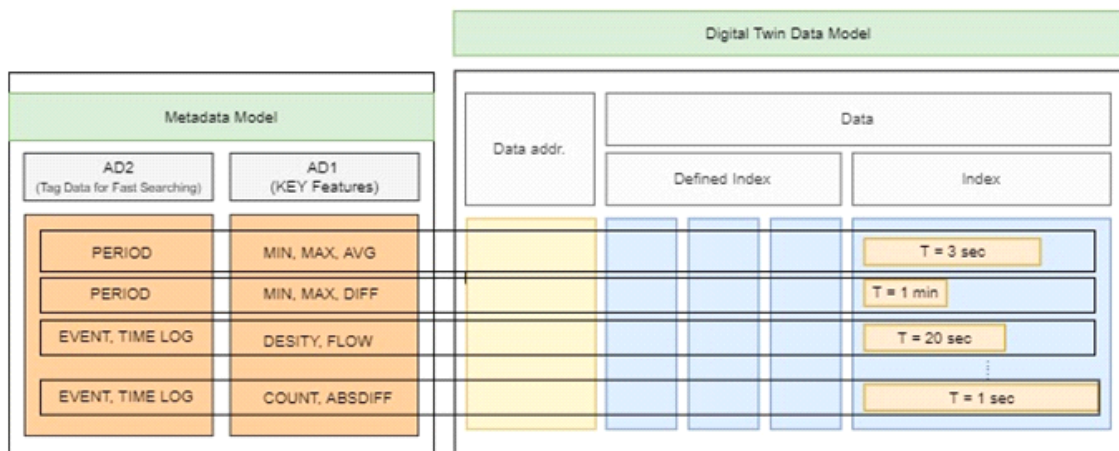


그림 4. 메타데이터 생성 방법
Fig. 4. The method of metadata generation

또한 INT형 코드로 정의하여 고속 검색이 가능하도록 한다. 또한 테이블 내 모든 자료를 검색 시 검색 시간이 오래 걸리기 때문에 데이터와 데이터의 위치 정보를 포함한 인덱스를 생성하여 검색 시 활용이 가능하다.

Ⅲ. 사용자 서비스 분할 방법

본 장에서는 대용량의 디지털 트윈 데이터를 다루는 TMS가 서비스 측면에서 보안과 운영 효율을 확보하기 위한 사용자 맞춤형 서비스 분할 방법에 대해 논한다. 앞에서 소개한 그림 1과 같이 재난 시 또는 평상시에 정보 서비스를 받은 등급과 승인 레벨은 각각 다를 수 있다. 또한, 승인 레벨에 따라 임무도 각각 다를 수 있으며, 그에 해당하는 데이터 접근 방식에 대해 고려할 필요가 있다. 환경적 요인을 분석해보면 지하공동구는 폐쇄적인 특수 구조물이기 때문에 보안에 대해 엄격한 특징을 가지고 있고, 네트워크 대역폭도 자유롭지 않다. 대용량 데이터를 사용자 유형에 고려 없이 전체를 서비스하는 것은 네트워크 부하와 사용자에게 불필요한 데이터를 서비스를 하여 서비스 효율이 저하될 수 있는 요소이다. 이러한 환경적 요인과 사용자 맞춤형 서비스를 위해서는 사전에 평상시와 재난 시에 접근해야 하는 사용자 유형을 정의하고, 거기에 맞는 맞춤형 임무

에 따라 데이터 서비스를 할 수 있도록 분할 하는 방식을 고려하여 서비스를 설계할 필요가 있다.

1. 사용자 유형 정의

그림 5는 상황에 따른 사용자 임무를 설정하기 위한 사용자 등급 유형을 정의한 개념도이다. 크게 지하공동구 관리에서는 재난 발생 시 초동, 즉시 대응 및 관리가 중요하기 때문에 재난 시와 재난이 아닌 평상시 2가지 상황으로 크게 분류할 수 있다. 지하공동구에서 발생할 수 있는 재난은 화재, 침수, 지진이다. 지하공동구 내부에는 화재를 인식할 수 있는 불꽃센서, 연기센서등이 있고, 침수와 관련된 센서는 침수 센서, 지진에 관련된 센서는 진동 센서를 설치하여 운영이 가능하다. 그 외 온도를 측정할 수 있는 열화상 카메라, 영상분석을 통해 불꽃또는 연기를 인식 할 수 있는 RGB카메라도 설치할 수 있다. 재난 상황인 경우는 수집되는 센서의 값이 관리자에 의해 설정된 기준치를 넘게 되는 경우에 재난이라고 판단할 수 있다. 또 다른 방식은 이전에 수집되어진 센서 값들의 학습을 하고, 예측된 값을 사용하여 재난이라고 판단 할 수 있다.

평상시에는 공동구 현장 요원과 수요기관의 요원의 유형으로 정의할 수 있다. 현장 요원 6단계 상시 업무 진행은 다음과 같다.

Level	Normal State	Normal State	Service Device
Field manager	Security, Safety Check, Monitoring	Evacuation Guidance	Mobile, COPB
Field Amdin.	Monitoring, Simulation	Alert, Initial Reaction	Mobile, COPB, Alert System
Center manager	Security, Support, Monitoring	Security, Support, Monitoring, Alert	Mobile, COPB, Alert System
Center Admin.			
Disastor Respons Agency	-	Alert, Control, Monitoring	Mobile, COPB, Alert System

그림 5. 데이터 서비스를 위한 사용자 등급 유형 정의
Fig. 5. Definition of user level for data service

- 1단계: 출입 보안
- 2단계: 인수인계
- 3단계: 감시 시설 관리
- 4단계: 순찰
- 5단계: 안전 점검
- 6단계: 수용 시설 관리

수요기관 3단계 업무 진행 단계는 다음과 같다.

- 1단계: 출입 보안
- 2단계: 순찰
- 3단계: 수용 시설 관리

현장 및 수요기관 요원 점검 절차에 맞추어 일일 점검과 주간 점검을 시행하게 되며 그에 해당하는 데이터를 확인 할 수 있도록 TMS에서 서비스를 사용자에게 맞춰서 분할하고 전송할 수 있도록 해야 한다.

재난 시에는 즉각적으로 상황에 대응하고, 신속하게 문제점을 해결해야 하므로 현장 요원, 현장 관리 요원, 수요기관 요원, 대응기관 요원의 유형으로 정의할 수 있다.

- 현장 요원: 재난 발생 시 대피로를 신속하게 파악하고, 인명 피해가 최소화할 수 있도록 현장 조치를 진행해

야 한다.

- 현장 관리 요원: 현장에 대해 신속하게 파악하고 이상 및 재난 경보를 발생하고, 초동 대응을 할 수 있는 표준 작전 절차를 파악하고, 현장 운영에 대한 절차를 진행해야 한다. 현장 관리자가 재난에 관련된 상태 데이터에 대해 파악할 수 있도록 TMS에서 서비스를 해주어야 한다.
- 수요기관 요원: 이상 상황 경보를 통해 징후를 파악하고 평상시 수집한 데이터를 열람하여 현장에 대한 시설, 규모, 순찰 등에 대해 이해를 해야 한다. 또한, 현장 관리자와 즉각적인 소통을 통해 재난 상황을 빠르게 종료할 수 있도록 지원해야 한다.
- 대응기관 요원: 재난 유형에 맞게 전문 담당자를 파견함과 동시에 현장에 대해 지휘할 수 있도록 현장 관리자를 통해 현장 상황을 파악하고 해당하는 지휘 통제 절차와 함께 표준 작전 절차를 수행해야 한다.

2. 서비스 분할 모델

그림 6은 서비스 분할 모델 개념도를 나타낸 것이다. 앞에서 설명한 것처럼 상황별 사용자마다 유형이 정의되어야 하고, 그 임무에 맞는 데이터를 제공 받을 수 있도록

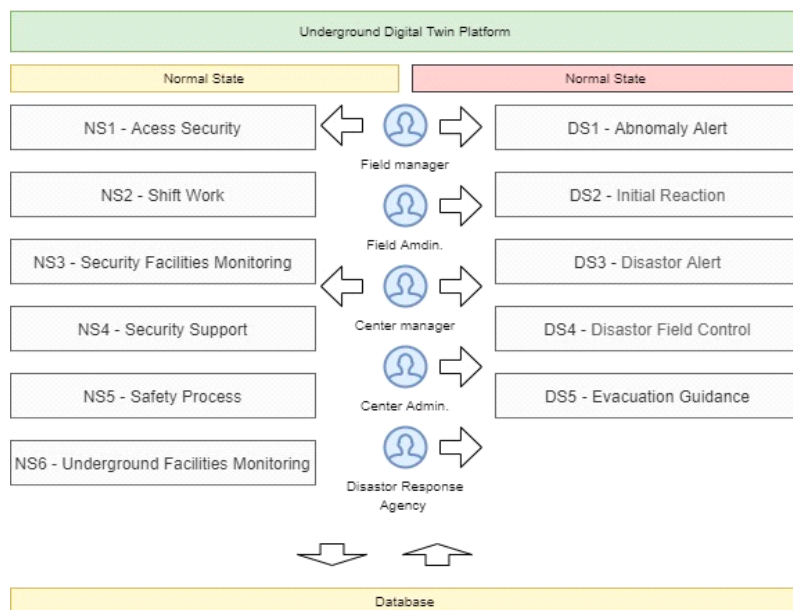


그림 6. 서비스 분할 모델 개념도
Fig. 6. Conceptual diagram of service split model

서비스 분할을 진행해야 한다.

평상시에는 공동구 현장 요원과 수요기관의 요원으로 유형으로 정의할 수 있다. 현장 요원은 출입 보안, 인수인계, 감시 시설 관리, 순찰, 안전 점검, 수용시설 관리 등 총 6단계에 해당하는 상시적인 업무를 진행한다. 수요기관 요원은 출입 보안, 순찰, 수용시설 관리 등 크게 3단계의 해당하는 업무를 진행한다. 따라서 현장 및 수요기관 요원 점검 절차에 맞추어 일일 점검과 주기 점검을 시행하게 되며 그에 해당하는 데이터를 확인할 수 있도록 TMS에서 서비스를 사용자에게 맞춰서 분할하고 전송할 수 있도록 해야 한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 4차 산업 혁명 기술로 각광 받고있는 디지털 트윈 기술을 지하공동구에 적용 시 연계된 다양한 형태의 데이터를 시간적 동기화를 시키고, 다양한 길이를 가지는 데이터들을 축약시켜 대용량을 추출하는 방안을 제시하였고, 사용자 검색 요청 시 대용량의 데이터 안에서 해당 데이터를 빠르게 검색할 수 있도록 하는 방안을 제시하였다. 또한, 지하공동구 내 평상시에는 공동구 현장 요원, 관리자의 역할에 맞는 서비스를 제공하고, 재난 시 공동구 현장 요원, 수요기관 요원의 임무에 맞는 서비스를 제공하여 재난에 대응할 수 있는 서비스를 제공하기 위한 방안을 제시하였다.

지하공동구 디지털 트윈 구축 시 시계열 데이터의 동기

화 방안과 고속 검색 데이터를 생성하고 사용자에게 따른 서비스 방법에 대한 설계를 제안하였고, 향후 추가 연구에 통해 각 해당 모듈 단위 시스템에 대한 연구를 진행하고자 한다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] ARon Parrott, Lane Warshaw, *Industry 4.0 and digital twin*, Deloitte Anjin Review, No.9, September 2017
- [2] Changeui Hong, Namchul Baek, Youngrok Kim, Cheonju Yoon, Seunghwa Park, Seunghyun Jung, Jieum Kim, *A Preliminary Study on KICT Digital Twin Technology*, Research Report, December 2018
- [3] Sanggeum Yoo, "Digital Twin Standardization Trend for Smart Manufacturing", *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, 46(12), 16-25, December 2019
- [4] Grieves, M., *Digital Twin: Manufacturing Excellence Through Virtual Factory Replication*, March 2015
- [5] El Saddik, A., "Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies," *IEEE Multimedia*, Vol.25, pp.87-92, 2018, doi:10.1109/MMUL/2018.023121167
- [6] Qi, Q., & Tao, F., "Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0:360 Degree Comparison," *IEEE Access*, Vol.6, pp.3585-3593, 2018, doi:10.1109/ACCESS.2018.2793265
- [7] Lee, Misuk, Jung, WooSug, Kim, Eunsol, "A study on the Disaster Safety Management Method of Underground Lifelines based on Digital Twin Technology", *Journal of Korea Institute of Information Scientists and Engineers*, vol.39, no.2, pp.16-24, February 2021
- [8] Park SeonHui, Bae JongHwan, "A Design on the Zone Master Platform based on IIoT communication for Smart Factory Digital Twin", *Journal of The Korea Internet of Things Society*, Vol.6, no.4, 81-87, 2020, doi : <http://dx.doi.org/10.20465/KIOTS.2020.6.4.081>
- [9] Gartner, *Use the IoT Platform Reference Model to Plan Your IoT business Solutions*, September 2016

— 저 자 소 개 —

박 종 화



- 2005년 : 홍익대학교 전자과 공학석사
- 2019년 ~ 현재 : ㈜스탠스 연구소장
- 2020년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 NID융합대학원 박사과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2682-422X>
- 주관심분야 : Digital Twin, Computer Vision, 3D Vision

전 지 혜



- 2017년 : 서울과학기술대학교 NID융합대학원 공학박사
- 2008년 ~ 2013년 : ㈜하이트론씨스템즈 지능형시스템팀 선임연구원
- 2017년 ~ 현재 : ㈜스탠스 대표이사
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-4124-1540>
- 주관심분야 : Computer Vision, Digital Twin, Data Visualization

박 구 만



- 1984년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 공학사
- 1986년 2월 : 연세대학교 전자공학과 공학석사
- 1991년 2월 : 연세대학교 전자공학과 공학박사
- 1991년 3월 ~ 1996년 9월 : 삼성전자 신호처리연구소 선임연구원
- 2016년 1월 ~ 2017년 12월 : 서울과학기술대학교 나노IT디자인융합대학원 원장
- 1999년 8월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 교수
- 2006년 1월 ~ 2007년 8월 : Georgia Institute of Technology Dept.of Electrical and Computer Engineering, Visiting Scholar
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-7055-5568>
- 주관심분야 : 컴퓨터비전, 지능형 실감미디어