

카르페디엠: 디지털트윈 기반 홈에너지관리시스템 프레임워크

이충호, 이상금, 도윤미, 허태욱

한국전자통신연구원

{leech, sangkeum, ydoh, htw398}@etri.re.kr

CARPE-DIEM: Digital Twin based HEMS(Home Energy Management System) Framework

Chungho Lee, Sangkeum Lee, Yoonmee Doh, Tae-Wook Heo

Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

디지털트윈 기술은 제조업뿐 아니라 다양한 산업과 사회 문제를 해결하기 위한 첨단 기술로 주목받고 있다. 최근 스마트홈 분야에도 디지털 트윈 기술을 적용하는 연구가 시도되었으나 개념 실증 정도에 그치고 있으며, 실질적인 구현을 통한 검증 사례는 찾아볼 수 없다. 본 논문에서는 디지털 트윈 기술을 스마트홈의 에너지 관리에 활용하여 에너지 효율화를 위한 디지털트윈 기반 홈 에너지 관리 시스템의 프레임워크를 제안한다. 제안된 프레임워크는 오픈소스 SW 기반의 기술 스택을 활용하여 설계하고 구현한다. 구현된 시스템은 실제 사용자가 거주하고 있는 공동주택에 장기간 설치 및 운영하는 실증을 진행함으로써, 시스템의 유용성과 안정성을 검증한다.

I. 서 론

디지털트윈은 현실 세계에 존재하는 객체를 가상 세계의 디지털 모델(Digital twin)로 복제하고 실시간으로 상호 동기화하도록 한 후, 실세계에서 하는 것과 동일한 모의실험(시뮬레이션)을 통해 객체의 미래 상태를 정확하게 예측할 수 있는 기술이다. 디지털트윈 기술은 GE(General Electronic)에서 제조업의 스마트 공장(Smart Factory)에 활용되면서 폭넓게 확산되어 제조업뿐 아니라 에너지, 항공, 헬스케어, 자동차, 국방 등 다양한 산업과 사회 문제를 해결하기 위한 첨단 기술로 주목받고 있다[2,3]. 최근 스마트홈 분야에도 디지털 트윈 기술을 적용하는 연구가 시도되었으나 개념 실증 정도에 그치고 있으며[1], 실질적인 구현을 통한 검증 사례는 찾아볼 수 없다.

스마트홈은 가정 내에 가진 기기들을 네트워크로 연결하고 첨단 IT 기술을 이용하여 거주자가 편리하고 안전하게 삶을 살 수 있도록 다양한 서비스를 제공하는 기술이다. 스마트홈은 가정 내 거주자의 편의를 위해 조명, 냉방, 난방, 엔터테인먼트, 가전제품과 같은 가정 내 장치를 모니터링 또는 제어하는 홈 자동화(Home Automation) 서비스가 대표적이다. 또한 거주자의 안전을 위한 CCTV 영상 감시 또는 경보시스템과 같은 홈 보안(Home Security) 서비스와 전기/가스/수도/열 에너지 등 가정 내 사용되는 에너지를 효율적으로 사용 및 관리하는 홈 에너지관리(HEMS: Home Energy Management System) 서비스 등도 포함된다. 본 논문에서는 홈 자동화 서비스와 홈 에너지 관리 서비스가 융합된 스마트 홈을 대상으로 한다.

본 논문에서는 디지털트윈 기반의 홈 에너지관리시스템의 설계 및 구현을 위한 시스템 구조와 디지털트윈 모델, 통합 방법에 대해 기술한다. 또한, 실증을 통해 제안된 시스템의 우수성을 보이고 검증한다.

II. 디지털트윈 기반 홈에너지관리시스템 프레임워크

본 장에서는 디지털트윈형 모델링 및 인공지능/빅데이터 기반 분석으로 스마트홈의 자동화와 에너지 최적화 서비스를 통합적으로 제공하는 디지털트윈 기반 홈 에너지관리시스템(CARPE-DIEM: Context-Aware, Realtime & Proactive Energy optimization using Digital-twin Envisioned Management)을 제안한다. 제안된 시스템의 개념적 모델은 그림 1과 같다. 즉, 실세계의 가정 에너지 사용과 관련된 객체를 가상 세계의 디지털 모델(디지털트윈)로 복제하고, 실시간으로 상호 동기화하면서 ①측정/센싱, ②분석/진단, ③최적화/추천, ④제어/운영 과정이 순환적으로 이루어지도록 한다.

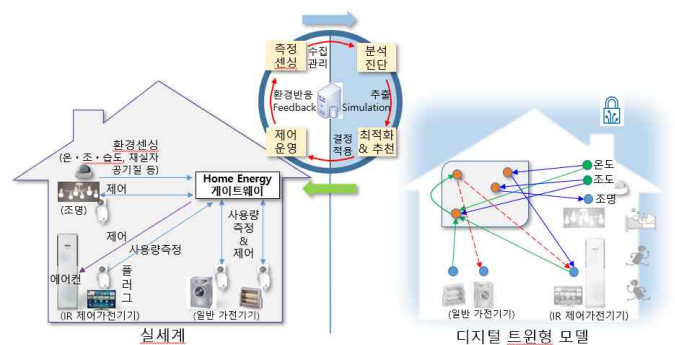


그림 1. CARPE-DIEM 개념적 모델

디지털트윈 기반 홈 에너지관리시스템(CARPE-DIEM)의 시스템 구조는 크게 세 부분으로 구성된다(그림 2). 공동주택의 각 세대에 설치되어 실세계의 상태를 수집하는 장치 및 홈게이트웨이(실세계 계층), 각 세대의 데이터를 통합하여 디지털트윈을 구성하고 빅데이터 처리를 제공하는 Carpediem 데이터관리시스템(데이터 계층), 디지털트윈 데이터와 빅데이터를 기반으로 모니터링 서비스와 AI 분석 서비스를 제공하는 Carpediem

기반의 자동 제어 알고리즘은 카르페디엠의 자동 규칙 시스템에서 제공되는 Open API를 이용하여 자동화 규칙을 생성한 후, 이를 각 세대의 게이트웨이에 실시간 적재되어 세대별로 실행되도록 한다(그림 7).

1. 냉방병 고려한 에어컨 on/off 제어
If OutdoorTemperature(n)-CurrentTemperature(n)>5 then Switch = off else Switch=on
 2. 공기질 습도 고려한 에어컨 on/off 제어
If DesiredHumidity(n)<CurrentHumidity(n) then Switch = on else Switch=off
 3. 요금제 최대부하구간 고려한 에어컨 on/off 제어
If DR(n)==high then DesiredTemperature(n)+=1
 4. 현재 온도와 에어컨 희망 온도 고려한 에어컨 on/off 제어
If DesiredTemperature(n)<CurrentTemperature(n) then Switch=on else Switch=off
 5. 미래 에어컨 희망 온도와 미래 온도 예측에 의한 에어컨 on/off 제어
If DesiredTemperature(n+6) < FutureTemperature(n+6) & DR(n+6)==high then Switch=on else Switch=off
- ※ n: 현재시간, n+6: 60분 이후

그림 6. CARPE-DIEM 자동제어 알고리즘

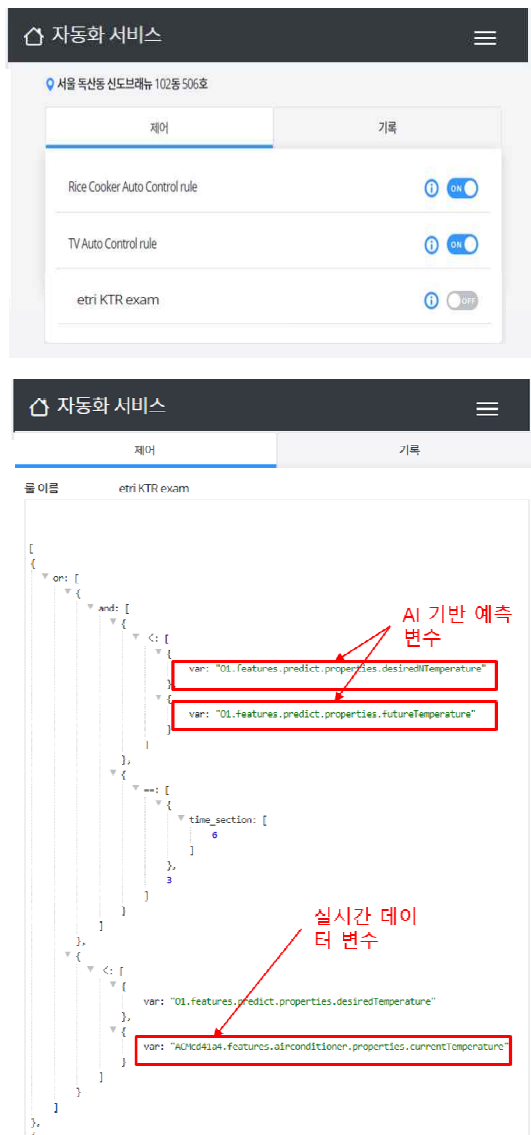


그림 7. CARPE-DIEM 자동제어 서비스 운영 화면

본 논문에서 제안된 디지털트윈 기반 홈에너지 관리시스템은 서울 독산동 A공동주택 (51세대)에 약 15개월 (2021.11 - 2023.1) 동안 시범 운영하고, 특히 4세대에 대해서는 시험인증기관인 KTR(한국화학융합시험연구원)과 여름철 자동제어 서비스의 운영을 통해 냉방 에너지 사용량이 평균 24.6% 절감됨을 보였다(그림 8).

[세대별 전력 소비 절감율]

시험 세대	Baseline 제어 시 전력 사용요금 (원)	AI기반 알고리즘 제어 시 전력 사용요금 (원)	전력 소비 절감율 (%)
102동 1101호	74,295 원	55,699 원	25.030 %
102동 1403호	148,108 원	114,194 원	22.898 %
102동 1410호	66,163 원	56,007 원	15.350 %
102동 1502호	211,270 원	150,840 원	28.603 %
총 전력 사용량	499,836 원	376,740 원	24.627 %

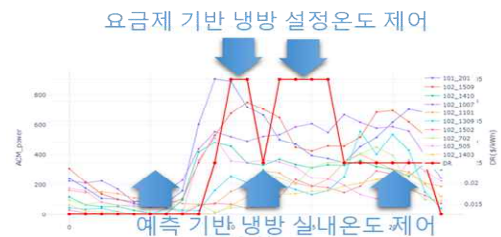


그림 8. 냉방 자동 제어 결과

IV. 결론

디지털트윈 기술은 제조업뿐 아니라 다양한 산업과 사회 문제를 해결하기 위한 첨단 기술로 주목받고 있다. 본 논문에서는 디지털 트윈 기술을 스마트홈의 에너지 관리에 활용하여 에너지 효율화를 위한 디지털트윈 기반 홈 에너지 관리 시스템의 프레임워크를 제안했다. 제안된 프레임워크는 오픈소스 SW 기반의 기술 스택을 활용하여 설계하고 구현하였으며, 실제 사용자가 거주하고 있는 공동주택에 장기간 설치하여 모니터링과 자동제어 실증을 진행함으로써, 시스템의 유용성과 안정성을 검증하였다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea(No. 20192010107290).

참 고 문 헌

- [1] Alireza Asvadi(B), Andrei Mitriakov, Christophe Lohr and Panagiotis Papadaki, Digital Twin Driven Smart Home: A Feasibility Study, ICOST 2022: Participative Urban Health and Healthy Aging in the Age of AI pp 18-29, June 2022
- [2] Christian Dalheim Øien1, Håkon Dahl1 and Sebastian Dransfeld, A Digital Twin implementation for manufacturing based on open-source software and standard control systems, APMS 2021: Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems pp 284-291, August 2021
- [3] SEGOVIA, Mariana; GARCIA-ALFARO, Joaquin. Design, modeling and implementation of digital twins. Sensors, 2022