

Design of Intelligent Integrated Management Framework for Smart Farming of Field Plantation Crops

Ko Kyeong Il, Lee Meong Hun*

*Sunchon National Univ.

요 약

본 연구는 기후 변화 및 노동력 부족 등 국내 노지 밭작물 재배 환경이 직면한 문제에 대응하기 위해, 사물인터넷(IoT)과 인공지능(AI) 기술을 융합한 AIMF-FC를 설계 및 제안한다. 기존 스마트 영농 기술이 온실 중심으로 개발되어 노지 환경에 부적합하고 데이터 수집 및 관리 체계가 미흡했던 한계를 극복하고자 하였다. 제안하는 프레임워크는 Perception, Network, Platform, Service, Application의 5계층 아키텍처로 구성된다. 이 구조는 센서 및 영상 등 이종(異種) 데이터를 효율적으로 수집하고, 데이터 특성에 따라 이원화된 통신망으로 안정적으로 전송한다. 핵심인 Platform Layer에서는 ETL 파이프라인을 통해 데이터를 정제·가공하며, LSTM 및 R-CNN 기반의 AI 엔진이 생육 예측, 병해충 탐지 등 처방적 분석을 수행한다. 최종적으로 Application Layer는 분석 결과를 사용자가 직관적으로 인지하고 원격·자동 제어를 수행할 수 있는 UI/UX를 제공한다. 본 프레임워크는 파편화된 기술을 유기적으로 통합하여 데이터 기반의 과학적 영농 의사결정을 지원함으로써, 밭작물 농업의 생산성 향상, 자원 사용 최적화, 노동력 절감에 기여하고 지속 가능한 스마트 영농을 실현하는 기술적 기반이 될 것으로 기대된다.

I. 서론

전 세계적으로 스마트농업은 미래의 성장산업으로 인식되고 있으며, 디지털기술의 발달에 의해서 국제 스마트 농업 시장규모는 2020년 138억 달러에서 2025년 220억 달러로 연평균 9.8%의 성장세를 기록하고 있다. 국내 스마트 농업 시장규모의 경우, 2020년 2.4억 달러에서 2025년 4.9억 달러로 연평균 15.5%로 급격한 성장을 이루고 있다[1]. 농림축산식품부는 이러한 스마트농업의 시장 규모 확대에 대응하고 스마트농업 확산을 위하여 2021년 “스마트농업 육성 및 지원에 관한 법률”을 입법 예고하였으며, 해당 입법안 10조에서 스마트농업 서비스 산업 육성을 명시하였다[2].

기존 스마트농업 시장은 내부 환경을 분석하고 제어하기 용이한 온실 및 축산 분야에 집중되어 기술 개발 및 시장 투자가 이루어지고 있었으나, 주요 식량작물의 재배가 이루어지는 스마트 영농 분야에 대한 중요성이 대두되고, 식량 안보 및 기후 변화에 따른 주식 자원에 대한 우려가 커짐에 따라 스마트영농 분야에 대한 관심이 커지고 있다[3]. 노지에서 식량생산은 폭우, 가뭄 등 기후변화에 취약하기 때문에 안정적인 먹거리 공급과 식량 안보를 위한 스마트 기술의 적극적인 도입이 필요하다. 특히 국내 노지 생산 작물 중 콩의 경우 벼 다음으로 재배 면적이 넓은 뿐 아니라, 콩 자급률을 높이기 위한 정부 정책 사업의 지원으로 최근 재배면적은 지속적으로 늘어나고 있는 실정이다. 이외에도 배추, 무, 고추 등 채소는 국내 농업 생산액의 23%로 비중이 크지만 국내에서만 생산되는 작목들이 많아 데이터를 활용한 스마트 재배 기술 연구도 미진한 실정이다[4].

또한, 기존 국내 스마트 노지농업의 경우 온실에서 사용되던 센서 및 양액기 등의 장비를 그대로 사용하거나 일부 개량하여 사용하고 있으며, 스마트 영농을 위한 전문적인 통합관리 시스템의 부재에 따른 데이터 수집 체계 불확실 및 데이터 가치 하락 문제를 겪고 있다[5]. 이에 본 연구에서는 이러한 밭작물 재배 시 생산성 향상 및 노동력 절감을 위해서 생육 진단, 양수분 진단, 수확량 예측 등 관리 노력을 절감하고 의사결정을 지원하는 지능형 통합관리 시스템 개발을 위해서 데이터를 수집하고 분석하기 위한 AIMF-FC 및 알고리즘 설계를 진행하였다.

II. 본론

본 연구에서 제안하는 프레임워크는 데이터의 수집부터 최종적인 서비스 제공까지 전 과정을 5개의 계층으로 구분한 계층적 아키텍처를 가진다. 그림 1은 제안하는 프레임워크의 전체 구조를 나타낸다. 데이터는 현장의 물리적 환경을 감지하는 Perception Layer에서 시작하여 Network, Platform, Service Layer를 거쳐 최종 사용자인 농업인이 접하는 Application Layer까지 유기적으로 흐른다. 이 구조는 각 계층의 독립성을 보장하여 시스템의 유지보수 및 확장성을 용이하게 한다.

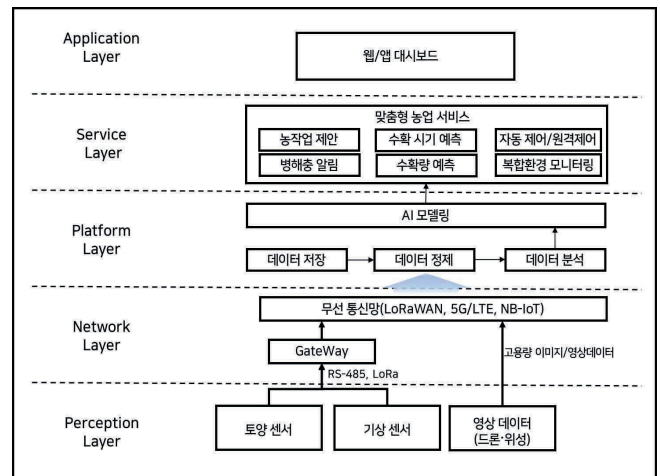


그림 1. Storage/Application Layer 데이터 전송 프로세스
Fig 1. Storage/Application Layer Data Transfer Process

AIMF-FC 아키텍처를 구성하는 각 계층의 핵심 모듈은 다음과 같다. 각 모듈은 데이터의 생명주기(Data Life Cycle)에 따라 유기적으로 연동되도록 설계되었다.

Perception Layer는 프레임워크의 물리적 환경과 작물의 생육 상태에 대한 원시 데이터를 수집하는 역할을 담당한다. 본 연구를 통해 개발된

프레임워크는 수집되는 데이터를 정적 환경 데이터(Static Environmental Data)와 동적 생육 데이터(Dynamic Phenological Data) 두 영역으로 구분한다. 정적 환경 데이터는 필드 내 다지점에 배치된 IoT 센서 노드에서 수집되는 토양의 pH, EC(전기전도도), 지온, 수분 함량과 같은 토양 특성 정보와 대기의 온·습도, 일사량 등 미기상(Micrometeorology) 데이터이다. 동적 생육 데이터는 드론에 탑재된 멀티스펙트럼 카메라 및 위성을 통해 NDVI(정규 식생 지수), NDRE(정규 적색경계 지수) 등 식생 지수를 추출하여 작물의 활력도, 질소 상태 및 수분 스트레스 정보를 수집한다. Perception Layer는 특정 통신 규격에 종속되지 않고, 게이트웨이가 지원하는 다양한 유무선 프로토콜(예: RS-485, LoRa)을 유연하게 수용하도록 설계되었다.

Network Layer는 Perception Layer에서 수집된 데이터의 특성(저용량의 정형 데이터와 고용량의 비정형 데이터)을 고려하여 이원화된 전송 경로를 설계하였다. 주기적으로 발생하는 소용량 IoT 센서 데이터(정적 환경데이터)는 현장에 설치된 게이트웨이를 통해 집선된다. 이때, 게이트웨이는 엔드-디바이스로부터 LPWA 프로토콜로 수신된 데이터를 상위(上位) 플랫폼으로 전송하기 위한 프로토콜 변환 및 라우팅 기능을 수행한다. 영상 데이터의 경우에는 대역폭 요구사항과 실시간성을 충족시키기 위해 5G/LTE와 같은 Cellular 망을 통해 Platform Layer의 스토리지로 직접 전송되도록 하여 게이트웨이의 병목 현상을 방지하고 데이터 전송의 안정성을 확보할 수 있도록 하였다.

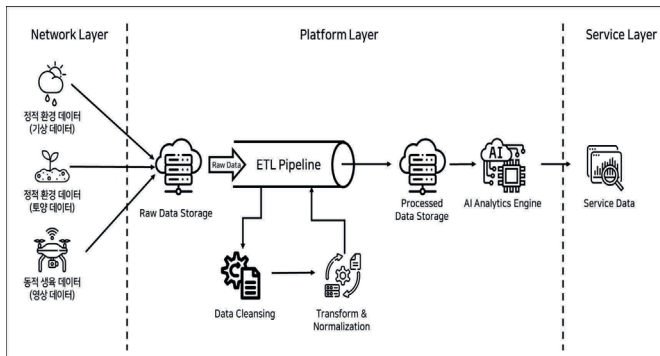


그림 2. Platform Layer 데이터 처리 과정
Fig 2. Platform Layer Data Processing Process

Platform Layer는 그림 2와 같이 데이터 저장 및 처리 모듈과 AI 기반 분석 및 예측 엔진으로 구성되어 수집된 원시 데이터를 가공하여 AI 기반 분석을 수행하는 시스템의 중추가 되는 계층이다. 데이터 저장 및 처리 모듈은 표준 프로토콜을 통해 수신된 데이터를 ETL(Extract, Transform, Load) 파이프라인을 거쳐 정제 및 가공하는 모듈로서 수집된 데이터에 따라 시계열 DB 및 객체 스토리지에 분류하여 저장한다. 이때, 모든 데이터는 시스템 관리자가 사전에 정의한 공통 데이터 모델(CDM)에 따라 정규화되어 데이터의 일관성과 무결성을 확보할 수 있도록 하였다. AI 기반 분석 및 예측 엔진은 본 연구의 핵심 기능을 담당하는 엔진으로, 데이터의 특성에 따라 최적화된 AI 모델을 적용한다. 본 연구에서는 LSTM 기반 작물 생육 및 수확량 예측 모델과 R-CNN 기반 병해충 발생 탐지 모델을 기본 탑재하였으며, 시스템 사용 환경에 최적화된 AI 모델 적용을 위한 파인튜닝 기능을 이식하였다.

Service Layer에서는 Platform Layer를 통해 생성된 분석 모델과 정제된 데이터를 활용하여, 농업 현장의 주요 의사결정을 지원하고 작업을 자동화하는 응용 서비스를 구현한다. 본 연구에서 개발된 프레임워크에서는 기본적으로 농작업 알림 서비스를 제공하며, 사용자의 요구에 따라 정밀 방제 서비스, 관수·관비 자동화 서비스 등 핵심 응용

기능을 모듈 형태로 구현할 수 있다. 이를 위해 프레임워크는 MSDI(Multi-source Data Ingestion), GCS 연계 모듈 등을 내장하고, Automated Control 기능을 기본으로 제공한다.

Application Layer는 프레임워크가 분석하고 생성한 모든 정보를 최종 사용자인 농업인에게 직관적으로 전달하고, 시스템과의 상호작용을 담당하는 최상위 계층이다. 이 계층의 핵심 목표는 복잡한 데이터와 AI 분석 결과를 사용자가 쉽게 이해하고 활용할 수 있는 형태(UI/UX)로 제공하는 것이다. 이 계층은 주로 웹 및 모바일 애플리케이션 형태의 대시보드를 통해 구현된다.

III. 결론

본 연구는 국내 발작물 재배 환경의 특수성과 기존 스마트 영농 기술의 한계를 극복하기 위해, 데이터의 수집부터 지능형 서비스 제공까지 전 과정을 체계적으로 관리하는 지능형 통합관리 프레임워크 AIMF-FC를 설계하고 제시하였다. 제안된 프레임워크는 5계층의 모듈화된 아키텍처를 통해 시스템의 확장성과 안정성을 확보하였으며, 특히 데이터 특성을 고려한 이원화된 전송망과 AI 기반 분석 엔진을 통해 데이터 처리의 효율성과 분석의 전문성을 높였다. 이는 기존의 파편화된 기술 적용으로 인해 발생했던 데이터 수집 체계의 불확실성과 가치 하락 문제를 해결할 수 있는 구체적인 대안이 될 수 있다.

본 연구에서 제안한 AIMF-FC는 농업 생산성 향상과 노동력 절감이라는 당면 과제를 해결하고, 나아가 식량 안보 및 주요 채소 작물의 자급률 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 연구로는 설계된 프레임워크를 실제 발작물 재배 환경에 적용하는 실증 연구가 필요하다. 실증을 통해 장기간 데이터를 축적하여 AI 모델의 예측 정확도를 고도화하고, 프레임워크의 실질적인 효용성을 정량적으로 검증하는 연구를 지속할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 농촌진흥청의 노지스마트농업활용모델개발 사업의 연구결과로 수행되었음" (RS-2025-02214915)

참 고 문 헌

- [1] 한국과학기술기획평가원, KISTEP 기술 동향 브리프: 스마트농업, KISTEP, 2022.
- [2] 농림축산식품부, "「스마트농업 육성 및 지원에 관한 법률」 제정안 입법예고," 농림축산식품부 보도자료, 2021. 7.
- [3] 윤성빈, 김창수, "노지 농업의 스마트팜 적용을 위한 기술 동향," 한국통신학회지(정보와통신), 37(10), pp. 19-26, 2020. 10.
- [4] 이현동, 장재경, 최규하, "발작물(콩) 생육환경 모니터링 및 생산량 예측 시스템 개발," 스마트미디어저널, 10(1), pp. 101-108, 2021. 3.
- [5] 김영근, 정성우, 손재권, 최영찬, "노지작물 재배 지원을 위한 IoT 기반 스마트농업 플랫폼 설계," 한국정보기술학회논문지, 17(12), pp. 35-46, 2019. 12.