AI 레시피 기반 자율재배를 위한 통합 데이터 관리 체계와 재배 시스템 설계 및 구현

송유진, 김영국, 주원균*

충남대학교 컴퓨터공학과, *한국과학기술정보연구원

syj7@o.cnu.ac.kr, ykim@cnu.ac.kr, *joo@kisti.re.kr

Design and Implementation of Integrated Data Management and Cultivation Systems for AI-Based Autonomous Farming

Yoojin Song, Young-Kuk Kim, WonKyun Joo*

Department of Computer Science & Engineering, Chungnam National University,

*Korea Institute of Science and Technology Information

요 약

본 논문에서는 AI 기반 자율재배 시스템 구축을 위한 통합 시스템 아키텍처를 제시하였다. 아키텍처의 주요 구성 요소인 통합 데이터 수집 및 모니터링, AI 기반 자율 재배 시스템의 구조적 기반을 체계적으로 살펴보았다. 제안한 AI 기반 자율 재배 시스템을 활용한다면 데이터를 기반으로 정밀한 맞춤형 농작물 재배를 가능하게 하여 농업의 정밀성과 효율성을 높이는 동시에, 지속 가능한 농업 솔루션을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

Ⅰ. 서 론

현대 농업은 기술 혁신을 통해 미래의 모습을 어떻게 재구성할 수 있는지에 대한 심도 있는 탐구가 필요한 시점에 직면해 있다. 이는 기후 변화와 환경 문제에 대한 대응, 글로벌 식량 수요 증가, 노동력 및 비용 절감 등 농업이 직면해 있는 다양한 환경 변화에 기인한다. 정보통신기술(ICT)의 발전은 농업의 첨단화 및 데이터 중심으로의 전환을 가속화하고 있으며, 데이터는 농업을 포함한 모든 산업 분야에서 중요한 자산으로 부상하고 있다. 이러한 변화는 농업의 미래 문제 해결과 가치 창출에 있어 핵심이 되며, 전문 연구 및 개발에 초점을 맞추고 있다.

이와 관련하여, 첨단 스마트팜 시설은 환경제어, 데이터 취득, 모델적용 등 제어와 예측이 상대적으로 용이함으로써 농업 연구의 중심으로 자리매김하고 있다. 다양한 연구들이 진행되었는데, 스마트농업의 주요 관점으로 구분하여 수행된 연구들에 대해 개략적으로 살펴보기로 한다. 스마트팜 시설 측면에서는 광원 트래킹 기법을 이용한 수경재배 시설 구축 방법[1], IoT 센서를 활용한 생육상태 모니터링 및 관리에 대한 개념 수준의 설계 연구[2]가 수행되었다. 데이터 표준화 측면에서는 SPSS 단체 표준[3,4]이 제정되어 시설원예 데이터 수집 규격을 제시하고, 주요 엽채류, 과채류, 노지 작물에 대한 생육데이터 관리사항을 제시하고 있다. 수집 데이터 수집 측면에서는 표준안에 대한 분석과 개선사항 도출 결과를 토대로 시설원예 데이터를 효과적으로 수집하기 위한 데이터 스키마 설계에 대한 연구도 이루어졌다[5]. 데이터 공유 관점에서는 농장에서 수집된 데이터를 일관된 형태로 수집하고, 데이터 공유 및 분석을 가능하게 하는 스마트팜 데이터 플랫폼 설계 연구가 수행되었다[6]. 활용모델 관점에서는 생육모델을 이용한 기후변화에 따른 옥수수 작물에 대한 생산량 예측 연구[7], 사이버 농업을 위한 맞춤형 레시피 발견에 관련된 연구[8]도 진행되었다. 이러한 연구들은 향후 스마트팜의 효율성과 생산성 향상, 그리고 농업 기술의 발전에 중요한 기여를 할 것으로 기대된다.

그러나, 데이터농업 분야는 데이터 품질, 통합관리, 활용체계 등 여러 측면에서 보완이 필요하다. 현재 농업 분야에서 고품질 데이터 생산의 중요성이 강조되고 있지만, 데이터의 질적 오류 검증과 품질관리에 여전히 부족함이 있다. 또한, 농작물 생육 주기에 따른 통합적인 데이터 수집과 관리에 대한 개선이 필요하며, 수집된 모든 데이터는 최종적으로 다양한 모델에서 활용 가능한 농작물 관련 빅데이터로 구축되어야 한다. 선행 연구들은 데이터 관리 및 모니터링 방법을 제안하고 있지만, 이러한 제안들이 주로 개념적인 수준에 머물러 있어 실제 활용을 위한 구체적인 방안과 체계에 대한 보완이 필요하다. 또한, 현재 많은 연구들이 일부 활용 단계에만 초점을 맞추어 단편적으로 수행되고 있는데, 데이터 관점에서 전체적인 조망을 제공할 필요가 있다.

본 논문에서는 인공지능(AI) 기반 자율 재배 시스템의 구축 방안을 제시한다. 통합 데이터 관리부터 재배 시스템 구현까지의 전체 시스템 영역을 다룬다. 표준화에 기반하여 작물의 작기 빅데이터를 수집, 관리하고, 데이터 모니터링 및 분석 방법을 활용하여 농작물의 성장 조건을 정밀하게 조정하고 최적화하며, 이를 인공지능 모델에 적용하여 최적의 레시피를 생산하고, 생산된 레시피를 지속적으로 작물재배에 활용할 수 있다.

Ⅱ. 본론

본 논문에서는 인공지능 기반 자율 재배 시스템 구축을 위한 시스템 아키텍처를 제안한다. 이 연구는 전체 소프트웨어 아키텍처의 설계, 통합 데이터 수집 시스템 및 AI 기반 재배(제어) 시스템 구축에 초점을 맞춘다. 특히, 농업 분야에 최적화된 소프트웨어 아키텍처를 개발하는 것과 더불어, 다양한 센서로부터 수집된 데이터를 효율적으로 통합하고 AI 모델과 연계하여 선순환적으로 활용할 수 있는 전략을 반영하였다. <그림 1>에 제시된 시스템 아키텍처는 각 영역별 구성 모듈과 연계 사항을 상세하게 제시하고 있는데, 크게 데이터 수집 및 모니터링, AI 레시피 생성과 자율

재배 시스템 제어로 구분할 수 있다. 또한, 이 아키텍처는 각 단계별 기술들의 주요 전략을 도출하고, 이러한 전략들 간의 관계를 명확히 함으로써, 전체 시스템의 구조와 기능적 연계성을 체계적으로 설명한다.

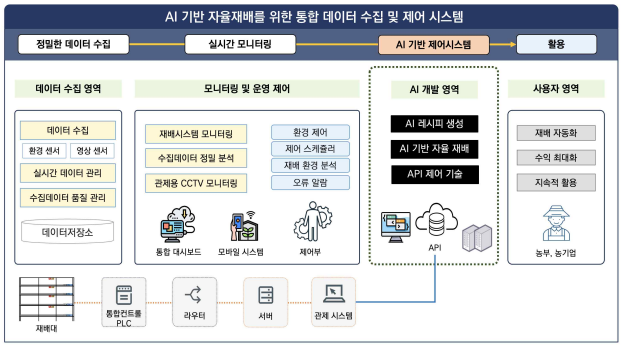

그림 1. AI 기반 자율재배 시스템 아키텍처

(1) 통합 데이터 수집 및 모니터링

데이터 수집 및 모니터링 영역은 데이터를 수집하는 영역과 모니터링 및 운영제어 영역으로 구분할 수 있다. 데이터 수집 영역은 실시간으로 데이터를 관리하며 데이터의 질적인 품질을 점검하고 관리하기 위한 메커니즘을 포함한다. 이는 <그림 2>에 제시된 재배실 및 재배실 내의 다양한 센서로부터 이종의 데이터를 종합적으로 수집하는 것으로부터 시작한다. IoT 센서 데이터는 네트워크 상의 PLC를 통해 서버 내의 표준 데이터베이스(단체 표준 기반 스키마 구성)에 저장된다. 수집된 데이터는 데이터 품질관리 모듈 내의 오류분석을 거쳐 고품질의 작기데이터로 관리된다.

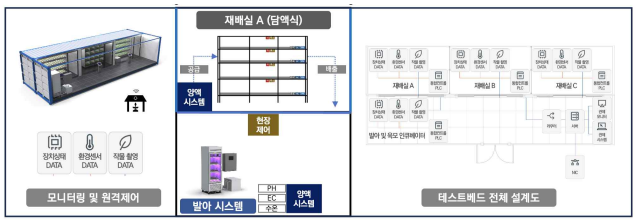

그림 2. 재배실 내 통합 데이터 수집 및 관리 구조

모니터링 및 운영제어 모듈에서는 데이터 수집 상태를 정밀 모니터링하고, 데이터의 정밀 분석, 재배환경을 관리하기 위한 메커니즘을 포함한다. 정밀 모니터링 및 분석은 대시보드 기반 시각화, 시계열 분석 등의 방법으로 구현될 수 있는데 정밀 모니터링 예시를 <그림 3>에 제시한다.

그림 3. 재배환경 정밀 모니터링 시스템 구현 화면

(2) AI 레시피 생산 및 자율재배 시스템 제어

고품질의 작기 빅데이터는 AI 레시피 모델 내의 학습과정을 거쳐 AI 레시피로 생산된다. 이 레시피는 AI 기반 자율재배 모듈에 의해 작물 재배 환경에 제공되고 관리된다. 이 과정에서 재배환경은 사전 정의되어 있는 API 기반으로 제어되며, 작기 데이터 분석 방법으로 농작물의 성장 조건을 정밀하게 조정하고 최적화할 수 있다.

Ⅲ. 결론

본 논문에서는 AI 기반 자율재배 시스템 구축을 위한 통합 시스템 아키텍처를 제시한다. 아키텍처의 주요 구성 요소인 통합 데이터 수집 및 모니터링, AI 기반 자율 재배 기술의 구조적 기반을 체계적으로 살펴보았다. 이러한 아키텍처를 따른다면, 통합된 데이터 수집 및 모니터링 체계를 통해 정밀하고 고품질의 빅데이터를 생산할 수 있다. 또한, 데이터는 AI 레시피화 과정을 거쳐, 최종적으로는 AI 모델을 활용해 수요 맞춤형 자율재배 과정에 적용할 수 있게 된다. 제안한 AI 기반 자율 재배 시스템은 데이터를 기반으로 정밀한 맞춤형 농작물 재배를 가능하게 하여 농업의 정밀성과 효율성을 높이는 동시에, 최신 기술을 활용한 지속 가능한 농업 솔루션을 제공할 수 있게 된다.

종합적으로 볼 때, 이 연구는 농업 기술의 혁신과 지속 가능한 농업 발전을 위한 구체적이고 실현 가능한 방향을 제시한다. 미래 지향적인 AI 기반 자율 재배 시스템의 개발과 구현은 농업 분야에서 혁신적인 변화를 주도하며, 글로벌 식량 안보와 환경 지속 가능성에 중대한 기여를 할 것으로 기대된다. 후속 연구에서는 AI 모델을 보다 발전시켜 널리 활용할 수 있는 형태로 만들기 위해 지속적인 노력을 기울일 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2023년도 한국과학기술정보연구원 자체사업 재원으로 지원을 받아 수행된 연구임 (J-23-NB-C02-S01)

참 고 문 헌

[1] 박성균 외, “광원 트래킹 기법을 이용한 수경재배기 제어 관리 시스템 설계 및 구현”, 한국전자통신학회논문지, Vol. 9, No. 2, pp. 231-242, Feb. 2014.

[2] Yoon-Su Jeong, “Design of Smart Farm Growth Information Management Model Based on Autonomous Sensors”, 한국컴퓨터정보학회논문지, Vol. 28 No. 4, pp. 113-120, Apr. 2023.

[3] SPS-X KOAT-0009-7470, “시설원예 분야 스마트팜 수집 데이터 규격”, 2022.

[4] SPS-X KOAT-0007-7471, “스마트온실 엽채류 생육 정보 메타데이터(상추,양상추)”, 2022.

[5] 이현조 외, “스마트팜 수집 데이터 표준안 기반 시설원예 수집 데이터 스키마 설계에 관한 연구”, 2023년도 한국통신학회 동계종합학술발표회 논문집, pp. 835-836, Feb. 2023.

[6] Kyeong-Il Ko, “Design of the Smart Farm Data Sharing Platform”, Journal of Knowledge Information Technology and Systems, Vol. 18, No. 5, pp. 1231~1240, Oct. 2023.

[7] Yi Zhang, “Prediction of Maize Yield Response to Climate Change with Climate and Crop Model Uncertainties”, Journal of Applied Meteorology and Climatology, Vol. 54, No. 4, pp. 785 - 794, Apr. 2015.

[8] Arielle J. Johnson, “Flavor-cyber-agriculture: Optimization of plant metabolites in an open-source control environment through surrogate modeling”, PLOS ONE, Vol. 16, No. 10, Oct. 2021.