

자율의사결정 기반 스마트 관개 시스템 구현

정민우, 박성호, 강순주*

경북대학교

jungminwoo80@knu.ac.kr, sunghopark@knu.ac.kr, *sjkang@ee.knu.ac.kr

Smart Irrigation System Based on Autonomous Decision Making

Minwoo Jung, Sung Ho Park, Soon Ju Kang*

Kyungpook National University

요약

본 논문은 식물의 효율적인 수분관리를 위한 스마트 관개 시스템 구현을 다루고 있다. 스마트 관개 시스템은 다양한 토양센서, 토양 정보를 원격지로 전송하기 위한 게이트웨이, 데이터를 효율적으로 관리하기 위한 데이터베이스로 구성되어 있다. 스마트 관개 시스템은 엣지 레벨에서 정해진 수분의 목표치를 기준으로 관개 여부를 판단한다. 자율 의사결정을 위하여 마르코프 의사결정 과정을 도입하여, 모델링을 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다. 시스템이 정해진 기준 값을 기반으로 정확한 동작여부를 기반으로 성능평가를 수행하였다.

1. 서론

농업분야에서 디지털화는 농업 및 식품 생산 시스템에 영향을 미치고, 고급데이터 처리 기술의 적용을 가능하게 한다. 디지털 농업은 농업 생산 시스템 내의 상호관계에 대한 더 깊은 이해와 농업 생산 성과에 대한 결과적인 영향에 대한 더 깊은 이해를 지원하고, 인간의 건강과 웰빙과 같은 사회적 측면과 농업 시스템과 관련된 환경적 측면을 고려한다. 디지털 농업은 농업 환경에서 발생하는 정보를 기반으로 식량 안보, 기후 보호 및 자원 관리와 같은 기존 과제를 해결하는 것을 목표로 한다 [1].

농업분야는 복잡하고 역동적이며 정교한 관리 시스템을 필요로 하며, 개인의 경험을 중심으로 한 노하우가 매우 중요하다. 디지털 농업은 기존 아날로그적인 정보를 기반으로 의사결정의 최적화를 제공할 것이다. 혁신적인 정보 통신 기술(ICT), 사물인터넷(IoT), 빅데이터 분석기술, 인공지능(AI)와 같은 기술의 발전이 디지털 농업을 가능하게 하였다. ICT 기술은 농장관리, 생산성, 품질 관리, 식품 공급망 및 의사 결정을 위한 프로세스의 최적화를 지원한다 [2]. IoT 기술은 실시간 데이터 전송과 모니터링을 가능하게 하여 농장 내 의사 결정 능력을 강화하고 작물 수확량 개선과 손실을 줄여 생산성을 향상시킬 수 있다. 또한, 클라우드 서버를 구축하여 실시간 데이터 저장하여 빅데이터 분석을 가능하게 하였다. 하지만, 센서 증가와 함께 네트워크 규모가 커지면서 데이터 양이 증가하여 클라우드 서버의 부하가 발생하고 응답 지연시간이 발생한다. 최근, 이러한 네트워크 부하문제를 해결하기 위해서 엣지 컴퓨팅 기술이 등장하였다. 빅데이터 기반 인공지능 기술은 더 정확하고 정확한 농장 모니터링, 데이터 수집 및 분석을 지원하여 센서 및 농장 관리에서 효율성을 향상시켰다.

고급 AI 및 딥러닝 기술은 작물의 건강과 생산성을 모니터링하고 제어할 수 있다 [3]. 최근, 앞에서 설명한 다양한 기술들을 기반으로 등장한 디지털 트윈 기술은 가상의 공간을 구축하여 데이터 분석을 통한 시뮬레이션 기반 예측 기술을 통하여 리소스 최적화와 시스템 효율성을 극대화할 수 있다. 디지털 트윈은 우주선 거동을 모니터링하기 위해서 NASA에서 처음 제시하였으며, 물리시스템의 거동을 시뮬레이션하기 위한 물리적 시스템의 가상 또는 디지털 표현으로 정의할 수 있다 [4]. 농업분야에서 물리

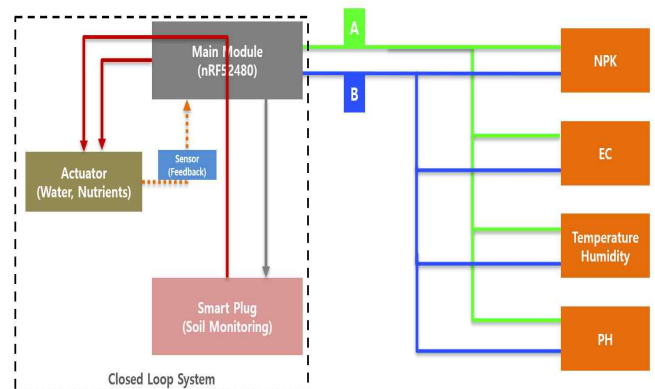


그림 1. 토양 센서 제어기 구조

적 시스템은 복잡하고 역동적이며 정교한 관리시스템으로 구성되어 있다. 농업분야에서 작물 관리와 생산성은 토양의 품질과 특성에 따라 달라진다. 토양 품질의 모니터링과 관리는 농업분야에서 가장 기본적인 과정이다. 디지털 기술은 농업분야에서 토양을 더 잘 이해할 수 있도록 지원한다 [5]. 토양의 수분함량 정보는 관개 효율성을 평가하는데 적절하게 사용할 수 있다. 본 논문에서는 토양의 수분, 온도, 영양분과 관련된 정보를 수집하여 데이터를 분석하고 관개스케줄을 결정할 수 있는 스마트 의사결정 시스템을 제안한다. 스마트 의사결정 시스템은 물 소비 비용을 줄이고, 적절한 영양분을 공급하는 것을 목적으로 한다 [6]. 제안하는 시스템의 특징은 토양을 구역화(management zones)하여 단위 구역마다 다른 관개스케줄을 가지는 가변관개시스템을 적용하여 관개 용수 소비를 최적화할 수 있다. 참고문헌 [7]에 따르면, 이러한 가변관개시스템은 확실히 동작하는 관개 시스템 보다 약 8% 이상 물 소비량을 줄일 수 있다고 한다. 또한, 스마트 의사결정 시스템은 사람의 개입없이 토양의 상태에 따라 관개주기(Period)와 관개시간(Duration)을 자율적으로 결정하여 가변할 수 있다.

II. 스마트 관개 시스템

스마트 관개 시스템은 토양 센서 제어기, 게이트웨이, 데이터베이스로 구성되어 있다. 토양 센서 제어기는 RS-485 통신을 기반으로 다양한 토양 센서와 연결되어 있다. 토양 센서는 온도, 습도, 영양분, 전기전도성, 산성도를 측정한다. 토양 센서 제어기는 블루투스 통신 프로토콜을 기반으로 근거리에서 존재하는 게이트웨이에 데이터를 전송한다. 게이트웨이로 전송된 데이터는 가공 후 MQTT 메시지 프로토콜을 기반으로 원격지 존재하는 MQTT 브로커를 통해 서버로 데이터를 전송한다.

그림1은 토양 센서와 제어기에 대한 구성도를 보여주고 있다. 온습도 센서를 기반으로 토양의 수분 상태를 관측하여 제어기를 기반으로 물과 영양분의 공급량을 피드백 받아서 원하는 목표치 도달까지 수분과 영양분을 공급한다. 제안하는 토양 센서 제어기는 임베디드 기반으로 동작하기 때문에 전력소모량은 반드시 고려해야 할 사항이다. 관개 제어기에서 전력을 가장 많이 소모하는 것은 솔레노이드 밸브이다. 관개 주기와 관개 시간에 따라 전체 전력소모량에 큰 영향을 끼친다. 전체 전력소모에서 솔레노이드 밸브 동작 시 소모되는 전류는 약 200mA이다.

한가지 문제를 컴퓨터로 해결하기 위해서 수학적인 정의가 반드시 필요하다. 마르코프 의사결정 과정은 수학적인 모델을 기반으로 의사결정 과정을 모델링 할 수 있도록 해준다. 마르코프 의사결정 과정은 이산 시간 확률 제어 과정이며, 특정 시점에서 하나의 상태(s)로 존재한다. 마르코프 의사결정 과정은 해당 상태(s)에서 어떤 행동(a)을 취하고, 확률적으로 새로운 상태(s')로 전이한다. 의사 결정자는 전이에 따른 보상을 취한다. 마르코프 의사결정 과정의 핵심은 의사 결정자가 보상을 최대도 획득할 수 있는 정책을 도출하는 것이다.

본 연구에서 제안하는 스마트 관개 시스템은 토양의 수분 상태에 따라 관개 스케줄을 다르게 결정해야한다. 이러한 관개 스케줄 작성에서 마르코프 의사결정 과정이 필요하다. 특정 시점에서 토양 수분은 하나의 상태(s)에 존재하고, 해당 상태에서 수분을 공급하는 행동(a)을 취하게 된다. 확률적으로 새로운 상태(s')으로 전이하였을 때, 목표치와 오차를 기반으로 다른 보상을 획득한다. **보상은 수분을 공급한 후 상태 전이에 따른 기댓값을 산출한다. 기댓값을 계산하는 이유는 특정 상태에 도달하였을 때, 받는 보상이 매번 다를 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 토양과 식물의 상태에 따라 요구되는 수분량이 달라지기 때문에 정해진 범위에 따라 매번 다른 기댓값을 가진다.** 토양 수분의 변화는 다양한 환경 요소들이 존재하지만, 토양 온도와 배수상태에 가장 높은 의존도를 가진다. 마르코프 의사결정 과정을 기반으로 의사 결정자를 모델링하고, 구현하여 정해진 목표 수분에 따라 정확한 관개 유무를 구분하여 성능을 확인하였다. 그림 2을 정해진 수분 문턱치를 검정색 점선으로 표시하였으며, 수분이 공급되는 상황에서 토양 습도가 최대값을 보여주고 있다. **보상 모델링에 따른 시물레이션을 100회 반복하여 수행한 결과, 초반에는 다양한 상태로 전이되었지만, 시물레이션이 반복되면서 수분 공급 주기와 시간이 최적화 되는 것을 확인하였다.**

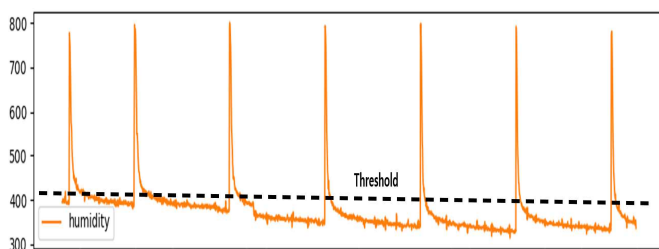


그림 2. 성능평가 결과

III. 결론

본 논문에서는 마르코프 의사결정 과정을 기반으로 한 스마트 관개 시스템을 제안하였다. 마르코프 의사결정 과정에 따라 수분 상태를 하나의 상태로 두었지만, 전이가 되는 과정에서 토양 수분 함량 변화에 대한 환경적인 요인이 다양하여 제약조건 설정이 매우 중요해진다. 성능평가 결과 의사결정자의 결정에 따라 정해진 시점에 정확하게 관개가 이루어지는 것을 확인할 수 있었다. 향후 연구에서 마르코프 의사결정 과정을 기반으로 강화학습 모델을 구현하여 다양한 변수에 대응할 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행됨 (No. NRF-2018R1D1A1B07041296 & No.NRF-2018R1A6A1A03025109)

참 고 문 헌

- [1] D. Seo, K. C. Kim, M. Lee, K. D. Kwon, and G. Kim, "Research on Tomato Flowers and Fruits Object Detection Model in Greenhouse Environment Using Deep Learning," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences(J-KICS), vol. 46, no. 11, pp. 2072-2077, 2021. (10.7840/kics.2021.46.11.2072)
- [2] L. G. Santesteban, S. Guillaume, J. B. Royo, and B. Tisseyre, "Are precision agriculture tools and methods relevant at the whole-vineyard scale?," Precision Agriculture, vol. 14, no. 1, pp. 2 - 17, 2013. (<https://doi.org/10.1007/s11119-012-9268-3>)
- [3] R. G. V. Bramley and R. P. Hamilton, "Understanding variability in winegrape production systems," Australian Journal of Grape and Wine Research, vol. 10, no. 1, pp. 32 - 45, 2004. (<https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2004.tb00006.x>)
- [4] M. Pedrosa, J. Taylor, B. Tisseyre, B. Charnomordic, and S. Guillaume, "A segmentation algorithm for the delineation of agricultural management zones," Computer and Electronics in Agriculture, vol. 70, no. 1, pp. 199 - 208, 2010. (<https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.10.007>)
- [5] D. L. Corwin and S. M. Lesch, "Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture," Computer and Electronics in Agriculture, vol. 46, nos. 1 - 3, pp. 11 - 43, 2005. (<https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.005>)
- [6] A. Hall, D. W. Lamb, B. P. Holzapfel, and J. P. Louis, "Withinseason temporal variation in correlations between vineyard canopy and winegrape composition and yield," Precision Agriculture, vol. 12, no. 1, pp. 103 - 117, 2011. (<https://doi.org/10.1007/s11119-010-9159-4>)
- [7] A. Tagarakis, V. Liakos, S. Fountas, S. Koundouras, and T. A. Gemtos, "Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines," Precision Agriculture, vol. 14, no. 1, pp.18 - 39, 2013. (<https://doi.org/10.1007/s11119-012-9275-4>)