

에너지 하베스팅 Industrial Internet of Things (IIoT) 환경에서 Risk-Level 기반 Age of Information (AoI) 인지 에너지 효율적인 전송 기법

이재찬, 김보경*, 고한얼*
공주대학교, *경희대학교

dlwocks9988@gmail.com, *{bokyeong0405, heko}@khu.ac.kr

Risk-Level-based AoI-Aware Energy-Efficient Transmission Scheme in Energy Harvesting Industrial Internet of Things (IIoT) Environment

Lee Jae Chan, Kim Bo Kyeong*, Ko Haneul*
Kongju Univ., *Kyung Hee Univ.

요약

본 논문에서는 Industrial Internet of Things (IIoT)의 발전을 위해 필수적인 실시간 데이터 관리와 에너지 효율을 개선하기 위한 새로운 알고리즘, Dynamic Energy and Risk-Aware Information Algorithm(DERAIA)을 제안한다. 이 알고리즘은 IIoT 시스템 내에서 센서의 Energy Harvesting 기술을 통합하여 전력 공급과 소비를 최적화하고, 데이터의 위험 수준을 평가, 관리함으로써 IIoT 시스템의 전체적인 성능 향상을 도모한다.

I. 서론

산업혁명 4.0의 핵심에 자리 잡고 있는 산업용 사물인터넷(IIoT)은 지능화된 제조업, 지속 가능한 에너지 관리, 신뢰할 수 있는 헬스케어 시스템 등 다양한 분야에서 혁신의 중추적 역할을 하고 있다. 이차림 IIoT는 다양한 현장에서 그 중요성이 갈수록 증대되고 있지만, 동시에 소규모 사고가 큰 영향을 미칠 수 있는 민감한 환경이기도 하다. 이러한 상황에서 실시간 데이터 관리와 통신의 중요성은 더욱 부각되고 있다.

기존의 연구에서 우리는 IIoT 환경에서 Age of Information(AoI)을 고려하여, 위험도를 반영하는 Risk-Level aware Age of Information (RL-AoI) 전송 기법을 고안하였다[1]. 이 기법은 긴급하고 중요한 데이터를 신속하게 처리할 수 있도록 함으로써, IIoT 산업 분야에서의 효율성과 안정성을 크게 향상시켰다.

본 논문에서는 이러한 기존의 RL-AoI 프레임워크를 확장하여, IIoT 시스템 내 센서의 전력 공급 및 소비를 최적화하는 Dynamic Energy and Risk-Aware Information Algorithm(DERAIA)을 제안한다. 이

알고리즘은 IIoT 시스템 내에서 센서의 Energy Harvesting 기술을 통합하여 전력 공급과 소비를 최적화하고, 데이터의 위험 수준을 평가, 관리함으로써 IIoT 시스템의 전체적인 성능 향상을 도모한다.

II. 본론

본 논문에서는 그림 1에 나타낸 바와 같이, IIoT 시스템 내에서 두 가지 주요한 네트워크 유형인 MR(Master Robot)과 BS(Base Station)가 존재하는 이기종 네트워크 환경을 고려한다[2].

BS는 센서로부터 다양한 데이터를 수신 및 관리하며, Radio-Frequency를 기반으로 Wireless Power Transfer (WPT)를 실행하는 Energy Harvesting Modulation 기능을 가지고 있다. MR은 센서 주변을 돌아다니며 데이터를 수집하고, 이를 BS로 전송하는 역할을 담당한다. 센서들은 BS로부터 전송된 Radio-Frequency 신호를 받아 Energy Harvesting Demodulation을 수행한다.[3] 센서는 필요한 에너지를 효율적으로 관리하며, 동시에 AoI를 최소화하는 방향으로 데이터를 전송한다.

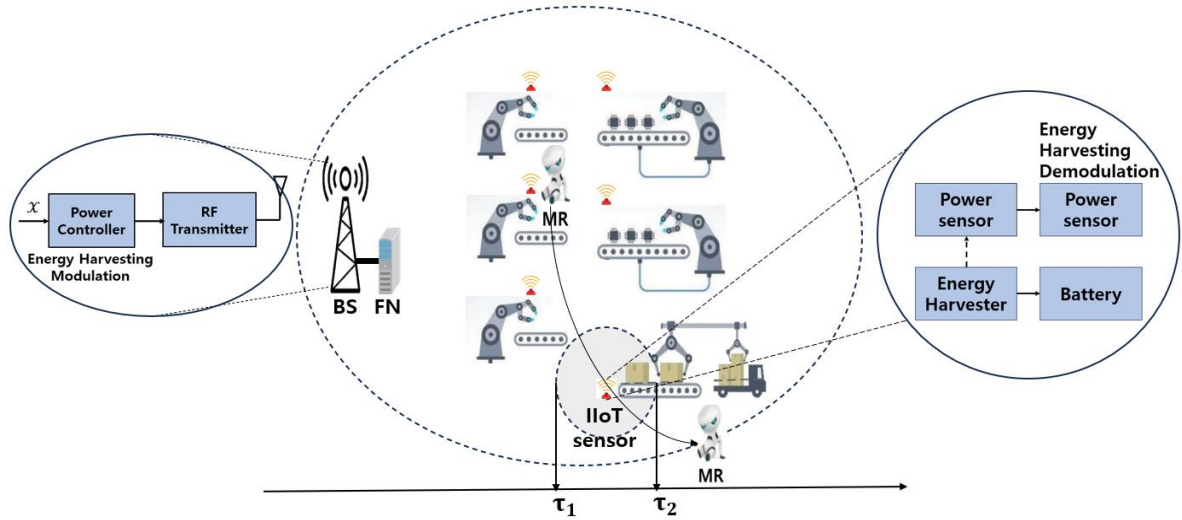


그림 1. 시스템 모델

한편, 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 Risk-Level 을 고려한다. 센서는 데이터를 생성하는 즉시 해당 데이터의 위험 수준을 평가하여 Risk-Level 을 설정한다. 이를 통해, 각 Decision Epoch 에서 데이터의 AoI 를 위험 수준에 따라 차등적으로 증가시키는 DERAIA 를 제안한다.

Algorithm 1 Dynamic Energy and Risk-Aware Information Algorithm.

- 1: Generate the random policy π of sensor.
- 2: **repeat**
- 3: Select an action using the ϵ -greedy policy
- 4: **if** wait:
- 5: Calculate the cost of increasing RL-AoI
- 6: **elif** push:
- 7: **if** energy == 0:
- 8: Allocate a large cost
- 9: Update policy by using DQN
- 10: **until** policy is converged

알고리즘 1. DERAIA

알고리즘 1 은 DERAIA 의 전체 실행 과정을 보여준다. 우선 센서의 고정 정책을 초기화 한다. 센서는 ϵ -greedy 정책을 사용하여 action 을 선택한다. 각각의 action 에 따른 비용을 할당한다. 이때 wait 를 선택한 경우 AoI 의 증가에 따른 비용을 받고, push 를 선택한 경우 상태 E 가 0 이될 때 매우 큰 비용을 받는다. 이후 DQN 을 이용하여 정책이 수렴할 때까지 반복한다. 이를 통해 최적의 DERAIA 정책을 구할 수 있다[4].

III. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 IIoT 환경에서 에너지 효율 및 데이터 처리 최적화를 위한 DERAIA 를 제안하였다. 이 알고리즘은 BS 를 통한 전력 공급과 데이터 전송을

최적화하며, Risk-Level 을 고려하여 데이터의 AoI 를 관리하는 방법을 제시했다. 향후 연구로 제안한 알고리즘을 구현하여 다른 알고리즘과의 성능 비교를 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2022 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호: 2022R1F1A1063183)

참고 문헌

[1] Jaechan Lee, Jaehyeon Jeong, and Yebon Park, "Efficient Transmission Technique Considering Risk-Level Based Age of Information in Industrial Internet of Things (IIoT) Environment," *Journal of Innovative Industrial Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 17-22, 2023

[2] E. Stevens-Navarro, Y. Lin, and V. W. S. Wong, "An MDP-Based Vertical Handoff Decision Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, no. 2, pp. 1243-1254, Mar. 2008.

[3] Y. Zhao, Y. Wu, J. Hu, K. Yang, and B. Clerckx, "Energy Harvesting Modulation for Integrated Control State and Energy Transfer in Industrial IoT," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 12, no. 2, pp. 292-296, Feb. 2023.

[4] Shengbo Eben Li, "Deep Reinforcement Learning," In *Reinforcement Learning for Sequential Decision and Optimal Control*, 365-402. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023.