

비동기식 듀티 사이클링 메커니즘 기반 전력 효율적인 IoT의 연구 동향에 대한 조사

오준석, 이동현, 원동욱, 이충현, 김재민, 홍성훈, 이재환*, 조성래

중앙대학교, 국립공주대학교*

{jsoh, dhlee, dwwon, chlee, jmkim, shhong}@uclab.re.kr, jhnlee@kongju.ac.kr*, srcho@cau.ac.kr

A Survey on Research Trends of Asynchronous Duty Cycling Mechanism-Based Power-Efficient Internet of Things

Junsuk Oh, Donghyun Lee, Dongwook Won, Chunghyun Lee, Jaemin Kim, Seonghun Hong,
Jaehwan Lee*, and Sungrae Cho

Chung-Ang University, Kongju National University*

요약

사물인터넷(IoT, Internet of Things) 기반 시스템의 핵심 기술인 무선 센서 네트워크(WSN, Wireless Sensor Network)는 가까운 미래에 상당한 변화를 가져올 것으로 예상된다. 그러나, IoT 노드의 제한된 배터리 용량으로 인해 IoT는 전력 소비를 최소화하여 네트워크 수명을 극대화하는 것을 가장 중요한 과제로 고려한다. 이를 위해, 본 논문은 비동기식 듀티 사이클링 메커니즘 기반 전력 효율적인 IoT의 최근 연구 동향을 조사한다.

I. 서론

IoT는 유비쿼터스 컴퓨팅을 실현하기 위해 다양한 기기를 인터넷에 연결하고, 2030년까지 약 5,000억 대의 IoT 기기가 인터넷에 연결될 것으로 예측된다 [1]. 대규모 인프라를 구축하는 이러한 IoT는 유연성과 확장성으로 인해 다양한 산업 분야에서 상당한 관심을 받고 있고, 다양한 사물들이 IoT를 통해 인터넷에 연결됨에 따라 산업의 지속 가능성과 안정성이 향상될 것으로 예측된다 [2], [3]. 또한, 광범위한 저능형 IoT 노드를 연결하는 WSN은 이벤트 등을 주기적으로 수집하여 센싱 데이터를 생성한 다음 싱크 노드로 전송함에 따라 IoT 기반 시스템의 핵심 기술로서 가까운 미래에 상당한 변화를 가져올 수 있다 [4]. 더욱이, 대다수 산업이 자동화에 따라 Industry 4.0은 WSN 기반 IoT에 의존하고 있다 [5].

IoT 노드의 제한된 배터리 용량으로 인해 IoT는 전력 소비를 최소화하여 네트워크 수명을 극대화하는 것을 가장 중요한 과제로 간주한다 [6]. 이를 해결하기 위해 클러스터링 기반 라우팅 프로토콜 및 모바일 충전기 기반 배터리 충전 전략을 포함한 다양한 접근 방식이 제안되었다. 그러나, 이러한 접근 방식은 무선 액세스 포인트(WAP, Wireless Access Point) 범위 내 모든 IoT 노드가 위치하는 공장과 같은 일부 산업 환경에서는 적합하지 않을 수 있다. 또한, 배터리가 주로 송신기(TX) 및 수신기(RX)를 포함한 통신 모듈에 의해 고갈되므로, 전력 소비를 줄이기 위해 이러한 모듈을 제어하는 듀티 사이클링 메커니즘(Duty Cycling Mechanism)이 가장 적합한 접근 방식으로 간주될 수 있다 [7]. 또한, IoT 노드가 중앙 서버 또는 이웃 IoT 노드와 주기적으로 통신하기 위해 높은 통신 비용과 전력 소비를 요구하는 동기식 메커니즘(중앙 집중형)보다 비동기식 메커니즘(분산형)이 전력 효율적인 IoT 배포에 더 효율적이다 [8]. 따라서, 본 논문은 본론에서 이러한 비동기식 듀티 사이클링 메커니즘의 최근 연구 동향을 조사하고, 결론에서 미래의 방향을 제시하여 마무리한다.

II. 본론

IoT 노드의 통신 모듈을 제어하기 위한 비동기식 듀티 사이클링 메커니

즘은 송신기 시작 또는 수신기 시작 접근 방식으로 구분된다.

송신기 시작 접근 방식은 프리앰블 샘플링(Preamble Sampling) 또는 저전력 청취(LPL, Low-Power Listening)을 활용하여 송신기와 수신기 노드 사이의 통신 링크를 설정한다 [9], [10]. 송신기 노드는 센싱 데이터를 전송하기 전에 프리앰블을 수신기 노드에 전송하여 통신을 시작한다. 활성화된 수신기 노드는 프리앰블을 수신한 이후 센싱 데이터가 수신될 때까지 대기한다. 그러나, 이러한 접근 방식은 송신기와 수신기 노드 사이에 프리앰블을 송수신하기 위해 오랜 시간 대기함에 따라 지연이 증가하고 처리량이 감소한다.

수신기 시작 접근 방식은 브로드캐스팅 비콘(Broadcasting Beacon)을 활용하여 수신기와 송신기 노드 사이의 통신 링크를 설정한다 [11]. 특히, 수신기 노드는 통신을 시작하기 위해 활성화된 후 센싱 데이터를 수신할 수 있음을 브로드캐스팅 비콘으로 송신기 노드에 알린다. 활성화된 송신기 노드는 비콘을 수신한 이후 센싱 데이터를 수신기 노드에 전송한다. 따라서, 수신기 시작 접근 방식은 전력 효율적인 측면에서 송신기 시작 접근 방식보다 더 나은 성능을 보인다.

이외에도, 비동기 듀티 사이클링 메커니즘은 수신기 시작 QoS (Quality of Service) 접근 방식으로 더 구분될 수 있다 [12]. 수신기 시작 QoS 접근 방식은 우선순위가 낮은 센싱 데이터보다 우선순위가 높은 센싱 데이터에 대한 지연을 최소화하여 QoS를 지원한다. 수신기 노드는 활성화된 후 대기 타이머 동안 송신기 노드로부터 주소와 우선순위가 포함된 TX 비콘을 수신한 다음 가장 높은 우선순위로 송신기 노드를 선택한 후 모든 송신기 노드에 RX 비콘을 전송한다. 선택된 송신기 노드는 센싱 데이터를 수신기로 전송한다. 그러나, 이러한 접근 방식은 수신기 노드가 대기 타이머 동안 대기해야 한다는 점으로 인해 지연과 전력 소비를 증가시킨다. 이에 따라, 최근 수신기 시작 QoS 접근 방식은 송신기 노드에서 두 개 이상의 우선순위를 지원하고 가장 높은 우선순위를 포함하는 TX 비콘이 수신기 노드에 수집되면 대기 타이머가 중지되도록 한다 [13].

기존 비동기식 듀티 사이클링 메커니즘에서 IoT 노드는 수신기 노드로서 활성화된 후 이웃 IoT 노드로부터 센싱 데이터를 수신한다. 그러나, 공

장과 같은 일부 산업 환경에서는 송신기 노드가 수신기 노드로부터 브로드캐스팅 비콘을 기다리지 않고 즉시 WAP로 센싱 데이터를 전송할 수 있으므로 IoT 노드가 수신기로서 활성화되는 기존 접근 방식은 전력 효율적인 IoT를 위해 적합하지 않을 수 있다.

III. 결론

본 논문은 비동기식 듀티 사이클링 메커니즘 기반 전력 효율적인 IoT의 최근 연구 동향에 대한 조사를 제시한다. 이러한 비동기식 듀티 사이클링 메커니즘은 통신 모듈에 의한 전력 소비를 최소화하기 위해 송신기 시작 및 수신기 시작 접근 방식으로 구분된다. 그러나, 이러한 접근 방식은 공장과 같은 일부 산업 환경에서 전력 효율적이지 않을 수 있다. 이에 따라, 전력 효율적인 IoT를 위한 새로운 비동기식 듀티 사이클링 메커니즘은 앞으로 다양한 시나리오에서 전력 소비량, 지연 시간 등이 다른 어떤 비동기식 듀티 사이클링 메커니즘보다 더 효율적임을 증명해야 한다.

ACKNOWLEDGMENT

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2024-RS-2022-00156353, IITP-2024-RS-2023-00258639)

참고 문헌

- [1] Y. B. Zikria, R. Ali, M. K. Afzal, and S. W. Kim, “Next-generation Internet of Things (IoT): Opportunities, challenges, and solutions,” *Sensors*, vol. 21, no. 4, p. 1174, 2021.
- [2] E. Sisinni, A. Saifullah, S. Han, U. Jennehag and M. Gidlund, “Industrial Internet of Things: Challenges, opportunities, and directions,” *IEEE Transactions on industrial informatics*, vol. 14, no. 11, pp. 4724-4734, 2018.
- [3] P. K. Malik, R. Sharma, R. Singh, A. Gehlot, S. C. Satapathy, W. S. Alnumay, D. Pelusi, U. Ghosh, and J. Nayak, “Industrial Internet of Things and its applications in industry 4.0: State of the art,” *Computer communications*, vol. 166, pp. 125-139, 2021.
- [4] K. Gulati, R. S. K. Boddu, D. Kapila, S. L. Bangare, N. Chandnani, and G. Saravanan, “A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things (IoT),” *Materials today: Proceedings*, vol. 51, pp. 161-165, 2022.
- [5] M. Majid, S. Habib, A. R. Javed, M. Rizwan, G. Srivastava, T. R. Gadekallu, and J. C.-W. Lin, “Applications of wireless sensor networks and Internet of Things frameworks in the industry revolution 4.0: A systematic literature review,” *Sensors*, vol. 22, no. 6, p. 2087, 2022.
- [6] J. Amutha, S. Sharma, and J. Nagar, “WSN strategies based on sensors, deployment, sensing models, coverage and energy efficiency: Review, approaches and open issues,” *Wireless personal communications*, vol. 111, no. 2, pp. 1089-1115, 2020.
- [7] J. Singh, R. Kaur, and D. Singh, “A Survey and taxonomy on energy management schemes in wireless sensor networks,” *Journal of systems architecture*, vol. 111, no. 101782, 2020.
- [8] D. Passos, H. Balbi, R. Carrano and C. Albuquerque, “Asynchronous radio duty cycling for green IoT: State of the art and future perspectives,” *IEEE Communications magazine*, vol. 57, no. 9, pp. 106-111, 2019.
- [9] R. Su, Z. Gong, D. Zhang, C. Li, Y. Chen and R. Venkatesan, “An adaptive asynchronous wake-up scheme for underwater acoustic sensor networks using deep reinforcement learning,” *IEEE Transactions on vehicular technology*, vol. 70, no. 2, pp. 1851-1865, 2021.
- [10] Z. Ahmed, M. M. Rehan, O. Chughtai and M. W. Rehan, “AD-RDC: A novel adaptive dynamic radio duty cycle mechanism for low-power IoT devices,” *IEEE Internet of Things journal*, vol. 9, no. 15, pp. 13376-13389, 2022.
- [11] C. Blondia, “Evaluation of the end-to-end response times in an energy harvesting wireless sensor network using a receiver-initiated MAC protocol,” *Ad hoc networks*, vol. 136, no. 1029771, 2022.
- [12] S. C. Kim, J. H. Jeon, and H. J. Park, “QoS aware energy-efficient (QAEE) MAC protocol for energy harvesting wireless sensor networks,” *Proceedings of Convergence and hybrid information technology*, Seoul, South Korea, 2012, pp. 41-48.
- [13] N. T. T. Hang, N. C. Trinh, N. T. Ban, M. Raza and H. X. Nguyen, “Delay and reliability analysis of p-persistent carrier sense multiple access for multi-event industrial wireless sensor networks,” *IEEE Sensors journal*, vol. 20, no. 20, pp. 12402-12414, 2020.