

# 저복잡도 블루투스 메쉬 네트워크의 에너지 소모 연구

김우현<sup>1</sup>, 최승규<sup>2</sup>, 손일수<sup>3</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 컴퓨터공학과 석사과정

<sup>2</sup>서울과학기술대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<sup>3</sup>서울과학기술대학교 컴퓨터공학과 교수

Kwh971208@seoultech.ac.kr, senkyu.choi@seoultech.ac.kr, isohn@seoultech.ac.kr

## Energy Consumption of Low Complexity Bluetooth Mesh Networks Study

Woo Hyun Kim<sup>1</sup>, Seung-Kyu Choi<sup>1</sup>, Illsoo Sohn<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Computer Engineering, Seoul National University of Science and Technology

### 요 약

사물인터넷은 무선 통신 기술의 발달로 스마트 시티, 스마트 홈, 스마트 농장, 스마트 건물, 스마트 공장과 같은 다양한 분야에서 주목을 받고 있다. 특히 무선 통신 기술 중 하나인 블루투스 메쉬는 비동기 동적 스캐닝을 이용하여 저전력 통신을 제공하기 때문에 사물인터넷 분야에서 주목을 받고 있다. 본 논문은 네트워크의 신뢰성을 유지하면서 적은 계산 복잡도로 에너지 효율을 높이는 방법을 제안한다. 이를 통해 대부분의 저전력 무선네트워크 환경에서 효과적인 에너지 최적화를 실현한다.

### 1. 서론

사물인터넷은 무선 통신 기술의 발달[1]로 다양한 산업현장에 적용되고 있다.[2],[3],[4]. 블루투스 메쉬는 연결지향형 통신 방식과 비연결지향형 통신 방식이 있다. 특히, 비연결지향형 방식은 구현방식이 간단하다는 장점이 있기 때문에 비연결지향형 네트워크의 에너지 소모를 최적화하는 방법을 제안한다.

기존 연구는 비동기 동적 스캐닝을 기반으로 하여 전력소모를 줄였지만 전력소모 최적화에 대한 연구는 이루어지지 않았다. 본 논문에서는 비동기 동적 스캐닝 기반의 블루투스 메쉬 네트워크의 에너지 소모를 수학적으로 모델링하고 성능에 핵심 영향을 미치는 주요 파라미터를 선별하여 모델을 단순화시켰다. 블루투스 메쉬 네트워크의 에너지 소모 최소화를 위한 닫힌 형식의 해를 도출해 매우 작은 연산량을 가지며 완전탐색으로 찾은 최적해에 대부분의 경우 일치하는 성능을 가지는 최적화 방법을 제시한다.

### 2. 본론

본 논문에서는 비동기 동적 스캐닝 모델을 에너지 소모 최적화 문제로 정의하였다.  $E_{ADS}$  [5],[6]는 비동기 동적 스캐닝 모델에서 하루 동안의 네트워크 에너지 소모량이다.

$$\text{minimize } E_{ADS}(P_{RC}^{seq}, \text{pubInt}^{seq})$$

$$\text{subject to } N_{TX} \in \mathbb{N},$$

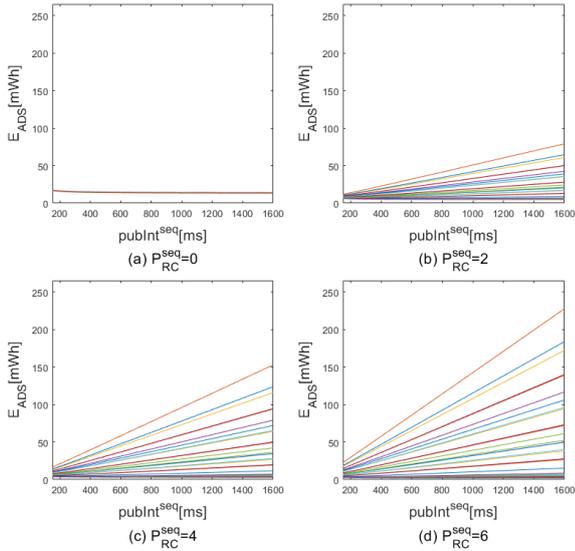
$$TTL_{ADS} \in \{p | p > 1, p \in \mathbb{N}\},$$

$$P_{RC}^{seq} \in \mathbb{P} = \{q | 0 \leq q \leq 7, q \in \mathbb{Z}\},$$

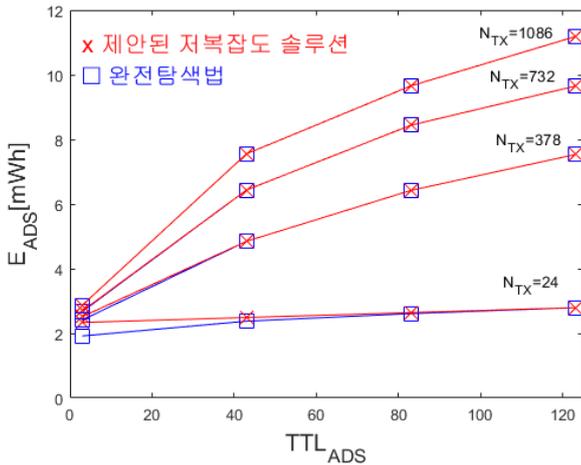
$$\text{pubInt}^{seq} \in \mathbb{I} = \{50 \times r | 3 \leq r \leq 32, r \in \mathbb{N}\}$$

$\text{pubInt}^{seq}$ ,  $P_{RC}^{seq}$ 는 데이터 하나의 배포 간격과 빈도 수이며,  $N_{TX}$ ,  $TTL_{ADS}$ 는 각각 하루 동안의 데이터 전송 횟수와 네트워크 크기를 나타낸다. 그림 1은 유효  $P_{RC}^{seq}$  값에 대한  $E_{ADS}$ 를 그린 것으로 대부분의 경우  $\text{pubInt}^{seq}$  값을 최소값인 150으로 설정하여도 문제가 없음을 보여준다. 목적함수  $E_{ADS}$ 의 연산량을 줄이기 위하여  $\text{pubInt}^{seq} = 150$ 로 설정하여  $E_{ADS}$ 를  $P_{RC}^{seq}$ 에 대하여 편미분 후, 밀의 수식과 같이 근사화 시킨다.

$$P_{RC}^{seq} \approx -1.07 + 0.006 \times \sqrt{4143 + \frac{2.16 \times 10^{10}}{N_{TX} \times TTL_{ADS}}}$$



(그림 1) 발행개수별 트래픽 변화에 따른 에너지 소모



(그림 2) 제안하는 방법과 완전탐색방법의 비교

(그림 2)를 통하여 완전탐색으로 구한 에너지 소모 값과 본 논문에서 제시한 복잡도가 낮은 에너지 소모 값을 비교하였다. 네트워크의 사이즈와 트래픽 량이 적은 경우(그림 2 왼쪽 아래)를 제외하고 대부분의 경우에서 동일한 네트워크 에너지 소모량을 보인다.

### 3. 결론

본 논문은 블루투스 메쉬 네트워크의 비연결지향 동적 스캐닝 기능을 사용할 때 에너지 소모 최적화 방법을 제안한다. 이를 위해 동적 스캐닝 모델을 단순화하여 최적값을 도출하는 과정을 보여준다. 기존의 완전탐색이나 경사 하강법보다 연산량이 낮으며, 결과적으로 제안된 방법은 에너지 소모 최소화를 위한 최적세팅을 더 빠르게 찾을 수 있다. 이로써 소형 IoT 장비에서 최적의 세팅을 구현하여 배터리 기반 블루투스 메쉬 네트워크의 수명을 늘릴 수 있게 되었

다. 향후 연구로는 논문에서 제안한 방법을 다른 메쉬 네트워크에 적용하고, 실제 시스템의 신뢰성과 에너지 소모를 측정하여 노드의 위치와 개수가 변할 때 최적화 방법의 성능을 확인할 것이다.

### 사사표기

본 연구는 2017 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(NRF-2017R1A5A1015596) 및 한국연구재단의 지원(RS-2023-00250168)을 받아 수행된 연구임.

### 참고문헌

- [1] S. N. Swamy and S. R. Kota, "An Empirical Study on System Level Aspects of Internet of Things (IoT)," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 188082-188134, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3029847.
- [2] A. Kirmat, O. Krejcar, A. Kertesz and M. F. Tasgetiren, "Future Trends and Current State of Smart City Concepts: A Survey," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 86448-86467, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2992441.
- [3] W. Xu et al., "The Design, Implementation, and Deployment of a Smart Lighting System for Smart Buildings," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 4, pp. 7266-7281, Aug. 2019, doi: 10.1109/JIOT.2019.2915952.
- [4] F. K. Shaikh, S. Karim, S. Zeadally and J. Nebhen, "Recent Trends in Internet-of-Things-Enabled Sensor Technologies for Smart Agriculture," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 23, pp. 23583-23598, 1 Dec.1, 2022, doi: 10.1109/JIOT.2022.3210154..
- [5] D. Perez-Diaz-de-Cerio, J. L. Valenzuela, M. Garcia-Lozano, Á. Hernández-Solana and A. Valdovinos, "BMADS: BLE Mesh Asynchronous Dynamic Scanning," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 4, pp. 2558-2573, 15 Feb.15, 2021, DOI: 10.1109/JIOT.2020.3018022.
- [6] Woo Hyun Kim, Seung-Kyu Choi, Illsoo Sohn, "A Study of Ultra Low Power Internet of Things Networks for Open Field Smart Farms," in *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, in press, 2023.