

# IEEE 802.15.4 DSME 네트워크에서 결정적 종단 간 지연을 위한 프레임 분할 기반 자원 할당 기법 연구

강인혁(\*), 권정혁(\*\*), 이솔비(\*\*\*), 윤석현(\*\*\*\*), 김의직(\*\*\*\*\*)<sup>†</sup>

(\*) 한림대학교 융합소프트웨어학과, M23522@hallym.ac.kr

(\*\*) 한림대학교 스마트컴퓨팅연구소, jhkwon@hallym.ac.kr

(\*\*\*) 한림대학교 스마트컴퓨팅연구소, thfqla3535@hallym.ac.kr

(\*\*\*\*) 한림대학교 소프트웨어학부, woonsuck0916@hallym.ac.kr

(\*\*\*\*\*)<sup>†</sup> 한림대학교 소프트웨어학부, ejkim32@hallym.ac.kr

## Frame splitting-based resource allocation scheme for deterministic end-to-end delay in IEEE 802.15.4 DSME networks

Inhyeok Kang(\*), Jung-Hyok Kwon(\*\*), Sol-Bee Lee(\*\*\*), Seok Hyeon Woon(\*\*\*\*), Eui-Jik Kim(\*\*\*\*\*)<sup>†</sup>

(\*) *Hallym University, Convergence Software*

(\*\*) (\*\*\*) *Hallym University, Smart Computing Laboratory*

(\*\*\*\*) (\*\*\*\*\*)<sup>†</sup> *Hallym University, Division of Software*

### 요약

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 Deterministic and Synchronous Multi-channel Extension (DSME) 네트워크에서 결정적 종단 간 지연을 위한 프레임 분할 기반 자원 할당 기법을 제안한다. 제안 기법은 네트워크 내 배치된 센서 장치의 수와 전송 경로를 고려하여 Multi-superframe을 분할하고, 이를 통해 자원을 할당함으로써 종단 간 지연을 최소화한다. 실험 결과는 제안 기법이 기존 DSME 대비 종단 간 지연 측면에서 우수한 성능을 가짐을 보여주었다.

## 1. 서론

Deterministic and Synchronous Multi-channel Extension (DSME)는 IEEE 802.15.4-2015 표준에 규격화된 저전력 고신뢰 MAC 프로토콜로, 다양한 IoT 서비스에 활용되고 있다 [1]. 그러나 기존 DSME는 전송 홉 수에 따라 순차적으로 GTS를 할당하기 어려워, 다중 홉으로 데이터를 전송하는 네트워크에서 긴 종단 간 지연을 야기한다.

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 DSME 네트워크에서 결정적 종단 간 지연을 제공하기 위한 프레임 분할 기반 자원 할당 기법을 제안한다. 제안 기법의 성능을 확인하는 시뮬레이션을 수행하였으며, 기존 대비 종단 간 지연 측면에서 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였다.

## 2. 프레임 분할 기반 자원 할당 기법

이 섹션에서는 프레임 분할 기반 자원 할당 기법에 대해 설명한다. Personal Area Network (PAN) Coordinator는 네트워크 내 모든 센서 장치의 전송 경로 및 필요한 GTS 수를 유지한다고 가정한다.

네트워크 시작 시 PAN Coordinator는 Beacon Order (BO), Multi-superframe Order (MO), Superframe Order (SO)를 설정하여 Multi-superframe 구조를 결정한다. 각 Multi-superframe 내 CFP에 포함되는 총 슬롯의 수 ( $n_{slot}$ )는 수식 (1)과 같이 계산된다.

$$n_{Slot} = 7 \times 2^{(BO-MO)} \quad (1)$$

이후, PAN Coordinator는  $n_{Slot}$ 을 Rank만큼 분할한다. 각 분할 구역 내 포함되어야 할 슬롯의 수는 수식 (2)와 같이 계산된다.

$$n_{Slot,i} = [n_{Slot,i-1} + n_{Slot} \times (n_{Dev,mRank-i+1} \div \sum_{j=1}^{mRank} j \times n_{Dev,j})] \quad (2)$$

$n_{Slot,i}$ 는  $i$ 번째 분할 구역 내 슬롯 수,  $mRank$ 는 최대 Rank,  $n_{Dev,mRank-i+1}$ 는 Rank가  $mRank-i+1$ 인 센서 장치의 수를 의미한다.  $n_{Slot,0}$ 의 값은 0이고, 계산 후 남은 슬롯이 존재하면 마지막 분할 구역에 포함된다. 각 분할 구역은 Rank의 역순으로 매칭되며, 첫 번째 분할 구역은 최대 Rank를 갖는 센서 장치의 자원 할당을 위해 활용된다. Multi-superframe 구조와 분할 구역 정보는 PAN Coordinator의 EB를 통해 주기적으로 공지된다.

네트워크 내 센서 장치는 자신의 Rank에 대응되는 분할 영역 내에서 비어있는 GTS를 검색하고 그 중에서 GTS를 선택하여 요청 커맨드를 통해 부모 센서 장치에 전송한다. 부모 센서 장치는 요청받은 GTS의 할당 가능 여부를 확인하고, 가능할 경우 부모 센서 장치는 요청받은 GTS 정보를 응답 커맨드에 포함하여 회신하며, 아닐 경우 비어있는 다른 GTS를 응답 커맨드에 포함하여 회신한다. 이후, 센서 장치는 수신한 GTS 정보를 공지 커맨드를 통해 공지한다.

### 3. 시뮬레이션 결과

제안 기법의 성능 평가를 위해 실험적 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서  $BO=6$ ,  $MO=5$ ,  $SO=3$ 으로 설정하고, 전송률은 250 kbps로 설정했으며, 각 센서 장치가 요구하는 GTS 수는 1로 설정했다. 그림 1은 센서 장치 수에 따른 종단 간 지연 성능을 보여준다. 제안 기법에선 센서 장치들이 자신의 Rank에 따라 GTS를 할당하는 반면, 기존 DSME는 임의로 GTS를 할당하므로 제안하는 기법이 기존 DSME 대비 더 짧은 종단 간 지연 성능을 가짐을 알 수 있다. 정량적으로, 제안 기법은 기존 DSME 대비 36.7% 더 짧은 종단 간 지연 성능을 얻었다.

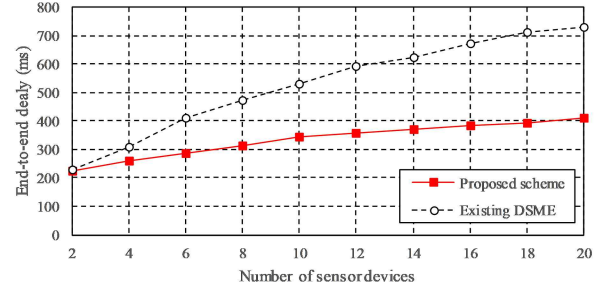


Figure 1. End-to-end delay

그림 1. 종단 간 지연

### 4. 결론

본 논문은 IEEE 802.15.4 DSME 네트워크에서 결정적 종단 간 지연을 제공하기 위한 프레임 분할 기반 자원 할당 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 센서 장치에 지정된 Rank에 따라 Multi-superframe를 분할하고, 홑 수가 큰 센서 장치부터 GTS를 할당함으로써 결정적 종단 간 지연을 제공한다. 시뮬레이션 결과 제안 기법이 기존 대비 평균 36.7% 더 짧은 종단 간 지연 성능을 가짐을 보였다.

### 감사의 글

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R1I1A3052733). 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1C1C2095696). 본 논문은 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도 대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구 결과입니다.

### 참고 문헌 (참고자료)

- [1] S.-W. Lee, J.-H. Kwon, X. Zhang, and E.-J. Kim, "Traffic-Adaptive CFP Extension for IEEE 802.15.4 DSME MAC in Industrial Wireless Sensor Networks," *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 94454-94469, July 2021.