

# 저지연 WSN을 위한 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘

이상수\*, 박철수\*, 손일수\*

## A Distributed Multi-Channel Scheduling Algorithm for Low Latency Wireless Sensor Network

Sang-Soo Lee\*, Cheolsoo Park\*, Illsoo Sohn\*

### 요 약

본 논문에서는 무선센서 네트워크를 구성하는 노드의 전송지연(latency)의 감소를 위해 노드의 링크별 채널 품질을 고려하는 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 모의실험을 통하여 제안하는 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘이 기존 분산형 스케줄링 알고리즘 대비 전송지연이 감소할 수 있음을 보인다.

**Key Words** : Wireless Sensor Networks,  
Distributed Multi-Channel Scheduling

### ABSTRACT

In this paper, we propose a distributed multi-channel scheduling algorithm that considers individual channel qualities of wireless sensor networks. Simulation results show that the proposed distributed multi-channel scheduling algorithm can reduce transmission delay compared to existing distributed scheduling algorithms.

### 1. 서 론

IoT 기술과 정보 통신 기술의 발전으로 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network) 기술은 시간, 공간의 제약 없이 통신망에 접속하는 유비쿼터스 환경을 구축하기 위한 필수 기술로 주목받고 있다<sup>1)</sup>. 무선 센서 네트워크의 표준 기술 중 하나인 IEEE 802.15.4e는 LL(Low Latency), DSME(Distributed Synchronous Multi-channel Extension), TSCH(Time Slotted Channel hopping) 등 여러 가지 MAC 모드를 지원한다. LL 모드는 이동형 디바이스 제어, 공항의 물류 서비스 등을 지원하고 DSME 모드는 산업 자동화와 같은 산업 어플 등을 지원하고 TSCH 모드는 공장 자동화, 석유 산업 등과 같은 서비스를 지원한다. 그러나 IEEE 802.15.4e 표준은 MAC의 동작 프로토콜을 정의하지만 실제 구현에 있어서 WSN의 성능에 중요한 영향을 미치는 센서노드들의 스케줄링 방법에 대해서는 구체적인 구현연구가 필요하다<sup>2)</sup>.

스케줄링 방법은 크게 분산형, 중앙집중형 스케줄링 알고리즘으로 분류할 수 있다<sup>3)</sup>. 본 논문에서는 노드가 스스로 스케줄링을 판단하여 에너지 소모를 최소화 하는 분산형 스케줄링 알고리즘에 초점을 맞춘다. 기존의 I-Drand(Improve-Drand)<sup>4)</sup>와 같은 분산형 스케줄링은 대부분 네트워크상의 노드들이 분산적으로 일정한 범위내의 이웃정보만을 가지고 전송 스케줄을 결정한다. 그러나 멀티채널을 사용하면서도 노드와 노드 간 링크 별 채널 품질은 고려하지 않는다.

실제 무선채널 환경에서는 채널 품질이 계속 바뀌기 때문에 네트워크상 노드의 링크 별 채널 품질은 다르게 나타난다. 본 논문에서는 실제 무선채널 환경을 고려하여 링크 별 채널 품질을 고려하는 새로운 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 이는 각 노드의 링크 별 채널 품질을 측정 한 후 가장 전송지연이 최소화 되는 조합으로 채널과 노드를 매칭하여 노드를 스케줄 하는 방식이다. 모의실험을 통해 제안하는 알고리즘이 기존 분산형 스케줄링 알고리즘 대비 네트워크의 평균 전송지연 시간이 감소함을 보인다.

※ 본 연구는 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(NRF-2017R1A5A1015596)과 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019R1A2C1090650).

• First Author : (ORCID:0000-0003-2486-4148)Seoul National Univ. of Science and Technology, Dept. of CSE, kaso7@seoultech.ac.kr, 학생(석사), 학생회원

◦ Corresponding Author : (ORCID:0000-0003-3943-4781)Seoul National Univ. of Science and Technology, Dept. of CSE, isohn@seoultech.ac.kr, 부교수, 중년회원

\* Kwangwoon University, Department of Computer Engineering, parkcheolsoo@kw.ac.kr, 부교수

논문번호 : 202006-135-A-LU, Received June 19, 2020; Revised July 6, 2020; Accepted July 6, 2020

## II. 시스템 모델

본 논문은 그림 1에서 볼 수 있듯이  $G=(V,E)$  형태의 지향 그래프를 사용하여 표현 될 수 있는 트리 토폴로지를 가진 네트워크를 고려한다. 여기서  $V$ 는 네트워크를 구성하고 있는 노드의 집합을 나타내고  $E$ 는 노드 간 개별링크들의 집합을 의미한다.

그림 1의  $R_{ij}$ 는 노드- $i$ 의 채널- $j$ 에서의 전송률을 의미하고  $R_{ij}$ 가 0 이하인 경우 해당 노드에서 해당 채널은 전송이 불가능한 채널임을 의미 한다.  $q_i$ 는 노드- $i$ 가 전송할 센싱 데이터의 크기를 의미하고, 네트워크 상 노드들은 다른 크기의 센싱 데이터를 가지고 있다고 가정한다. 각 노드들은 센싱공간에 무작위로 분포된다고 가정하고 하나의 부모노드를 가진다.

무선 센서 네트워크는 짧은 통신 범위를 가진 노드들이 데이터를 전송할 때 경로상의 중간에 위치한 노드들이 데이터를 전달해주는 멀티 홉(Multi-hop)<sup>[5]</sup>으로 이루어져 있다. 따라서 노드들은 자신의 부모노드나 중간노드를 통해 데이터를 전송해야 한다.

무선 센서 네트워크의 표준 기술 중 하나인 IEEE 802.15.4e의 특징 중 하나는 멀티채널(multi-channel)의 사용이다<sup>[6]</sup>. 멀티채널의 사용은 노드와 노드 간 다수개의 무선채널의 사용을 의미한다. 기존 I-Drand와 같은 분산형 스케줄링 알고리즘은 멀티채널을 사용하지만 각 채널의 개별 품질을 고려하여 스케줄을 할당하지는 않는다. 무선채널의 광대역화와 채널 간 서로 다른 페이딩 효과에 의해 개별 채널의 무선품질은 서로 다르게 나타나게 된다. 이를 고려하는 것은 기존 알고리즘보다 성능을 더욱 최적화 할 수 있다. 멀티홉 멀티채널 무선센서네트워크에서 신뢰성 있는 스케줄을 제공하고 링크 별 간섭과 충돌을 회피하기 위해 요

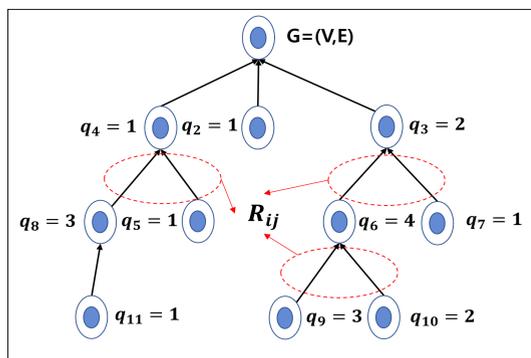


그림 1. 트리 토폴로지 형태의 네트워크 모델  
Fig. 1. Network Model with Tree Topology

### Algorithm 1. Proposed Distributed Multi-Channel Scheduling Algorithm

```

Input  G : Tree graph of wireless sensor network
Output S : Scheduling table
1: for  $i \leftarrow 1$  to  $\max(L)$  do
2:   for  $j \in L_i$  do
3:      $N_j \leftarrow 0 \sim 1$ 
4:     if  $N_j = 1$  then  $tmp \leftarrow j$  end if
5:   end for
6:   repeat
7:     if  $tmp = \Phi$  then
8:       for  $j \in L_i$  do
9:          $N_j \leftarrow 0 \sim 1$ 
10:        if  $N_j = 1$  then  $tmp \leftarrow j$  end if
11:      end for
12:    else
13:       $priority\_node \leftarrow find\_priority\_node(tmp)$ 
14:       $S \leftarrow priority\_node(one\_hop\_node,$ 
two\_hop\_node)
15:       $L_i \leftarrow L_i(except\ priority\ node)$ 
16:    end if
17:  until  $L_i = \Phi$ 
18: end for
    
```

구되는 스케줄링 제약사항은 다음과 같다.

- 모든 노드들의 무선 링크는 동일한 타임슬롯, 동일한 채널에 동시에 스케줄링을 할 수 없다.
- 둘 이상의 자식 노드가 같은 부모 노드에게 동시에 데이터를 전송 하면 충돌이 발생하기 때문에 동시에 스케줄링을 할 수 없다.
- 자식 노드로부터 데이터를 수신하기 전에 부모 노드를 먼저 스케줄링을 할 수 없다.

## III. 제안하는 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘

분산형 스케줄링 알고리즘은 네트워크의 모든 정보를 수집하여 스케줄 정보를 보내주는 중앙 역할의 코디네이터가 없는 환경에서 동작한다. 제한된 주위 인접 노드들의 정보를 기반으로 스케줄을 할당하기 때문에 노드 상태에 따른 상태 다이어그램이 필요하다. 본 논문에서는 [4] 연구의 접근법을 기반으로 그림 2와 같은 상태 다이어그램을 구축한다.

본 논문에서 제안하는 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘은 최소한의 자원 할당을 보장하고 노드 간 발생할 수 있는 충돌과 간섭을 고려하기 위해 2홉 인접 노드들의 스케줄 정보와 cell-matching table<sup>[3]</sup>을 기반으로 스케줄을 할당한다. cell-matching table은 노드- $i$ 가 채널- $j$ 에서 스케줄을 할당 할 때 총 필요한 셀의 개수를 나타내는 보조정보테이블을 의미한다.

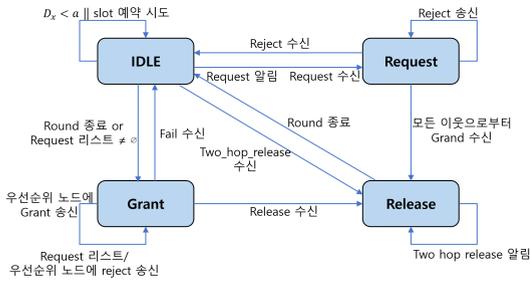


그림 2. 노드의 상태 다이어그램  
Fig. 2. State Diagram of Nodes

그림 3은 제안하는 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘의 동작 과정을 나타내고 3단계로 이루어져 있다.

첫 번째 단계에서는 노드의 상태 다이어그램을 통해 자신의 스케줄 할당 가능 여부를 판단하고 2홉 인접 노드들의 스케줄 정보를 수집한다. 상태 다이어그램의 동작 과정은 다음과 같다.

- (1) 노드들은 Idle 상태에 있다가 슬롯을 예약하려고 할 때 Request 메시지를 브로드캐스트한다.
- (2) Request 메시지를 받은 이웃 노드는 다른 노드로 Request 또는 Grant 메시지를 보내지 않는 경우에 Grant 메시지를 전송한다. Request가 많은 경우 우선순위에 따라 노드를 선택하는데 우선순위는 노드의 차수가 높은 노드를 선택하고 차수가 같은 경우에는 랜덤하게 노드를 선택한다.
- (3) Grant 메시지를 수신한 노드는 2홉 인접 노드의 정보를 기반으로 스케줄 할당을 하고 자신의 정보를 포함한 Release 메시지를 브로드캐스트한다.
- (4) Release 메시지를 수신한 노드는 해당 Release 메시지를 1홉 이웃으로 다시 브로드캐스트한다.

두 번째 단계에서는 레일리 페이딩과 3.8의 경로감쇄지수를 가정한 후 무선채널측정을 통해 노드들의 링크 별 채널에 대한 channel gain을 측정 후 각 채널의 달성 가능한 data rate를 기반으로 각 노드의 링크 별 채널 품질을 측정 후 측정 결과와 노드들의 센싱

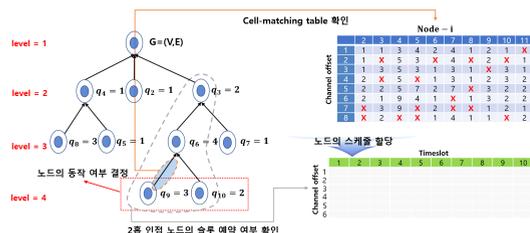


그림 3. 제안하는 분산형 멀티채널 알고리즘 동작 모델  
Fig. 3. Procedures of the proposed distributed multi channel algorithm

데이터를 바탕으로 cell-matching table을 생성한다.

세 번째 단계에서는 cell-matching table과 2홉 인접 노드들의 스케줄 정보를 기반으로 제안하는 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘을 통해 노드들은 가장 좋은 품질의 채널을 선택하여 스케줄을 할당하게 된다. 가장 좋은 품질의 채널이 다수 존재할 경우 무작위로 채널 중 하나를 선택한다. 또한 일반적인 분산형 스케줄링 알고리즘과 같이 트리의 리프 노드들부터 상태 다이어그램을 통해 자신의 스케줄 여부를 판단하고 주위 인접 노드들의 스케줄 정보를 수집한 후 cell-matching table을 기반으로 타임슬롯의 시작 부분에서 충돌과 전송지연을 최소화하는 스케줄을 할당한다. 이런 과정을 반복하여 스케줄링 테이블을 얻는다.

본 논문에서 제안하는 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘의 상세과정은 Algorithm 1에 pseudo-code로 기술하였다. Algorithm 1에서  $S$ 는 스케줄링 테이블을 의미하고,  $L$ 은 트리 형태로 네트워크를 구성하고 있는 모든 노드들의 깊이(depth)를 나타내는 집합을 의미하고, 깊이가  $i$ 인 노드들의 집합은  $L_i$ 로 나타낸다.  $N$ 은 슬롯 예약을 원하는 노드가 주변 이웃 노드와 협상을 시작하기 위한 확률 값을 나타내고  $priority\_node$ 는 우선순위에 따른 노드를 의미한다.

#### IV. 시뮬레이션 성능평가 및 논의

시뮬레이션 성능평가를 위해  $100 \times 100m^2$  크기의 복합 상가에서 20개의 화재감지 센서노드가 배치되어 있는 상황을 가정하고 노드들의 무선 채널 개수는 IEEE 802.15.4e에서 정의하는 멀티채널 표준과 동일한 15개의 채널로 설정하였다. 프레임의 각 타임슬롯이 1ms의 시간을 갖는 200개의 slot으로 가정한다.

그림 4는 기존 분산형 스케줄링 알고리즘인 I-Drand과 제안하는 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘의 데이터 패킷 크기에 따른 전송지연을 나타낸다. 기존 I-Drand 스케줄링 알고리즘은 멀티채널 중 하나를 선택하여 사용하는데 이때 가장 좋은 채널을 선택할 수 있기 때문에 데이터 패킷의 최대 크기가 200bytes인 경우와 같이 성능이 유사하게 나올 수 있다. 제안하는 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘이 데이터 패킷의 최대 크기가 250bytes일 때, 기존 I-Drand 스케줄링 알고리즘 대비 전송지연이 5.4% 감소함을 확인하였다. I-Drand 스케줄링 알고리즘은 멀티채널을 사용하지만 노드의 링크 별 채널 품질을 고려하지 않고 멀티채널 중 하나의 채널을 선택하여 스

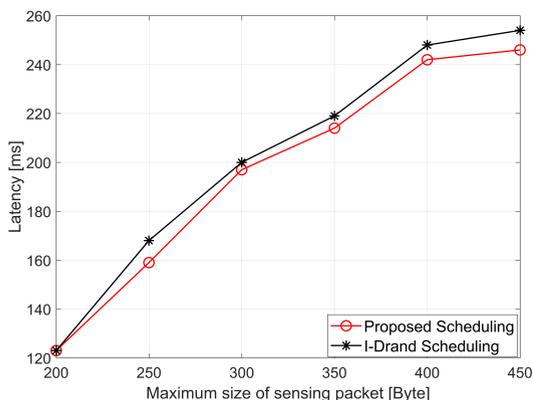


그림 4. 센싱 데이터 크기에 따른 전송지연  
Fig. 4. Latency versus sensing data size

케줄을 할당하고 제안하는 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘은 노드의 링크 별 채널 품질을 측정 후 품질이 가장 좋은 채널을 선택하여 스케줄을 할당하기 때문에 성능이 우수에 있을 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 무선센서 네트워크 환경에서 서로 다른 무선 품질을 갖는 멀티채널을 고려하는 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘을 제안하였고 모의실험을 통해 제안하는 분산형 멀티채널 스케줄링 알고리즘이 기존 분산형 스케줄링 알고리즘 대비 전송지연을 감소시킬 수 있음을 보였다.

### References

- [1] Y. Ha, S.-H. Chung, and Y.-S. Lee, "Development of IEEE 802.15.4e based industrial wireless sensor network system for intelligent plant construction," *J. KICS*, vol. 43, no. 11, pp. 319-326, Feb. 2018.
- [2] "IEEE standard for local and metropolitan area networks -part 15.4: Low-rate wireless personal area networks (LR-WPANs) amendment 1: Mac sublayer," IEEE Std 802.15.4e-2012 (Amendment to IEEE Std 802.15.4-2011), pp. 1-225, Apr. 2012.
- [3] S.-S. Lee, C. Park, and I. Sohn, "A centralized multi-channel scheduling algorithm for low latency wireless sensor network," *J. KICS*, vol. 44, no. 11, pp. 2086-2089, Nov. 2019.
- [4] M. S. Batta, S. Harous, L. Louail, and Z. Aliouat, "A distributed TDMA scheduling algorithm for latency minimization in internet of things," *2019 IEEE Int. Conf. Electro Info. Technol. (EIT)*, pp. 108-113, Brookings, SD, USA, 2019.
- [5] S. Rani and S. H. Ahmed, "Multi-hop routing in wireless sensor networks: An overview, taxonomy, and research challenges," *SpringerBriefs in Electr. and Comput. Eng.*, 2016.
- [6] O. D. Incel, "A survey on multi-channel communication in wireless sensor networks," *Comput. Netw.*, vol. 55, no. 13, pp. 3081-3099, 2011.