

저지연 WSN을 위한 중앙집중형 멀티채널 스케줄링 알고리즘

이 상 수*, 박 철 수*, 손 일 수^o

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

Sang-Soo Lee*, Cheolsoo Park*, Illsoo Sohn^o

요 약

본 논문에서는 무선센서 네트워크에서 노드의 전송 지연(latency)의 감소를 위해 기존 중앙집중형 스케줄링 알고리즘 방식을 확장하여 각 노드의 링크별 채널 품질을 고려하는 중앙집중형 멀티채널 스케줄링 알고리즘 (Centralized Multi-Channel Scheduling Algorithm)을 제안한다. 모의실험을 통하여 제안하는 멀티채널 스케줄링 알고리즘이 기존 중앙집중형 스케줄링 알고리즘 보다 전송지연을 감소할 수 있음을 보인다.

Key Words : Wireless Sensor Networks, Multi-Channel, Centralized Scheduling

ABSTRACT

In this paper, we propose a centralized multi-channel scheduling algorithm that considers the different channel qualities for each node. We generalize the existing centralized scheduling algorithm with multi-channels to reduce the latency of wireless sensor networks. Simulation results confirm that the proposed multi-channel scheduling algorithm has lower transmission delay than the existing centralized scheduling algorithm.

I. 서 론

최근 언제 어디서나 컴퓨팅 환경에 접속할 수 있는 유비쿼터스 패러다임이 보편화되면서 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network) 기술에 대한 관심이 증가하고 있다¹⁾. 무선센서 네트워크의 프로토콜을 설계할 때 에너지 효율, 네트워크 공평성(fairness), 전송 지연(latency)의 감소, throughput 등 여러 가지 고려사항들이 있는데 그중 전송 지연의 감소는 화재 감시, 의료데이터 모니터링, 혼잡한 지역 등에서 사용자에게 센싱 정보를 신속 정확하게 전달되어야 하는 측면에서 중요하다²⁻⁴⁾.

전송 지연의 감소를 위한 스케줄링 알고리즘은 크게 중앙집중형 스케줄링, 분산형 스케줄링 알고리즘으로 분류할 수 있는데 본 논문에서는 중앙제어를 통해 효율적인 스케줄링이 가능한 중앙집중형 스케줄링 알고리즘에 초점을 맞춘다. 기존의 AMUS(Adaptive Multi-hop Scheduling)⁵⁾와 같은 중앙집중형 스케줄링은 대부분 네트워크 코디네이터가 전체 네트워크에 대한 정보를 관리하여 각 노드에게 최적화된 전송 스케줄을 결정한다. 그러나 다수개의 채널을 사용하면서도 노드와 노드 사이를 연결하는 링크 별 채널 품질은 고려하지 않는다.

실제로 채널 품질이 계속 바뀌는 무선채널 환경에서는 각 노드의 링크 별 채널 품질은 각각 다르다. 본 논문에서는 이러한 환경을 고려하여 기존 중앙집중형 스케줄링 알고리즘을 확장한 링크 별 채널 품질을 고려한 새로운 중앙집중형 멀티채널 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 이는 각 노드의 링크 채널 품질을 측정하여 가장 좋은 채널에 스케줄을 할당하는 방식이다. 모의실험을 통해 기존 중앙집중형 스케줄링 알고리즘과 비교하여 전송지연이 감소함을 보인다.

II. 시스템 모델

본 논문은 그림 1에서 볼 수 있듯이 지향 그래프 $G=(V,E)$ 를 사용하여 표현 될 수 있는 tree topology를 가진 네트워크를 고려한다. 여기서 V 는 네트워크를 구성하고 있는 노드들의 집합을 나타내고 E 는 이

※ 본 연구는 2017년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 수행된 기초연구(선도연구센터)사업(NRF-017R1A5A1015596)의 지원을 받았다

• First Author : (ORCID:0000-0003-2486-4148)Seoul National Univ. of Science and Technology, Dept. of CSE, kasoa7@seoultech.ac.kr, 학생회원

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

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

논문번호 : 201909-190-A-LU, Received September 4, 2019; Revised September 20, 2019; Accepted September 20, 2019

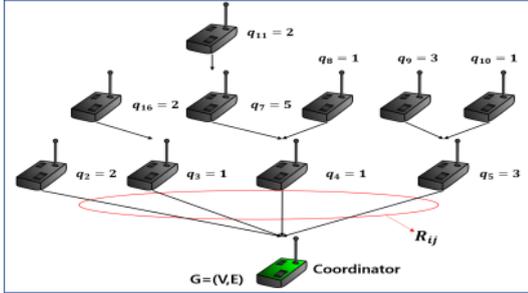


그림 1. 트리 토폴로지를 갖는 네트워크 모델
Fig. 1. Network Model with Tree Topology

웃하는 노드로 데이터를 보내는 모든 무선링크 집합을 의미한다.

그림 1에서 표시된 R_{ij} 는 노드- i 의 채널- j 에서의 전송률을 의미한다. 측정된 R_{ij} 에서 전송률이 0 이하인 채널은 채널 환경이 나쁘기 때문에 전송이 불가능한 채널을 의미한다. q_i 는 노드- i 가 전송할 센싱 데이터의 크기를 의미하고 각 노드들은 서로 다른 크기의 센싱 데이터를 가진다고 가정한다. 각각의 노드는 무작위로 분포되고 하나의 부모노드를 가진다.

무선 센서 네트워크는 센서 노드와 전체 네트워크의 중심으로 네트워크 유지, 관리, 설정, 네트워크 주소 할당 등의 기능을 수행하는 코디네이터로 구성되어 있다. 그리고 센서 노드와 코디네이터 간의 연결이 짧은 통신 범위를 가진 센서 노드들이 데이터 패킷을 전송할 때 중간에 있는 노드들이 릴레이 역할을 하여 데이터 패킷을 전달해주는 멀티 홉(Multi-hop)⁶⁾으로 구성되어 있다. 따라서 각각의 노드는 자신의 부모노드 혹은 중간노드를 통해 코디네이터로 데이터 패킷을 보내야 한다.

무선센서 네트워크를 위한 표준 규격인 IEEE802.15.4e는 기존 IEEE802.15.4 표준을 보완하여 전송 신뢰성을 제공하기 위한 새로운 전송 규격이다. IEEE802.15.4e의 특징 중 하나는 멀티채널(Multi-channel)이다. 멀티채널 전송은 하나의 노드가 다른 노드에게 데이터 패킷을 전송할 때 노드와 노드 사이에 다수개의 무선 채널을 사용한다.⁷⁾ 기존 AMUS와 같은 중앙집중형 스케줄링 알고리즘은 멀티채널 전송시 채널의 개별 품질까지 고려해서 스케줄을 할당하지는 않는다. 각 무선 링크의 채널들은 페이딩(fading)에 의해서 품질이 다르기 때문에 서로 다른 멀티채널의 품질을 고려하는 것이 전체 성능을 더욱 최적화 할 수 있다. 멀티홉 무선센서 네트워크에서 링크 간 충돌과 간섭을 회피하고 신뢰성 있는 스케줄을

Algorithm 1 Proposed Multi-Channel Centralized Scheduling Algorithm

```

Input G : Tree graph of wireless sensor network
Output S : Scheduling table
1: for  $i \leftarrow 1$  to  $\max(L)$  do
2:    $C \leftarrow \{c \mid \text{possible assignment of } L_i\}$ 
3:   for  $c \in C$  do
4:      $j \leftarrow j + 1$ 
5:      $tmp_j \leftarrow g(c)$ 
6:     if  $j = 1$  then
7:        $opt \leftarrow tmp_j$ 
8:        $S \leftarrow c$ 
9:     else
10:      if  $opt > tmp_j$  then
11:         $opt \leftarrow tmp_j$ 
12:         $S \leftarrow c$ 
13:      end if
14:    end if
15:  end for
16: end for
    
```

제공하기 위해 요구되는 스케줄링 제약사항은 다음과 같다.

- (1) 모든 무선 링크는 같은 타임슬롯(Timeslot), 같은 채널에 동시에 스케줄링을 할 수 없는 dedicated link라고 가정한다.
- (2) 같은 부모 노드를 가지는 자식 노드들이 동시에 부모노드에게 데이터를 전송 하면 충돌이 일어나기 때문에 동시에 스케줄링을 할 수 없다.
- (3) 부모 노드는 자식 노드로부터 데이터를 수신한 이후에 데이터를 중계전송을 할 수 있으므로 자식노드 이전에 스케줄링 될 수 없다.

III. 제안하는 중앙집중형 스케줄링 알고리즘

본 논문에서 제안하는 스케줄링 알고리즘은 최소한의 자원을 할당하는 것을 보장하면서 전송 지연 감소를 제공하기 위해 노드가 데이터 패킷을 전송할 때 일어날 수 있는 충돌과 간섭을 고려한다. 간섭과 충돌이 없는 경우에는 전체 전송 지연 시간을 감소시키기 위해 다른 노드와 동시에 데이터 패킷을 전송해야 하는 경우의 수를 고려하여 스케줄을 할당한다. 이러한 과정을 순차적으로 모든 노드들에 적용하여 최종적으로 전송지연이 가장 낮은 스케줄링 테이블을 얻는다.

그림 2는 제안하는 중앙집중형 스케줄링 알고리즘의 동작 과정을 나타낸다. 동작 과정은 총 3단계로 이루어져 있으며 다음과 같다.

첫 번째 단계에서는 주기적으로 캐리어 센싱을 통

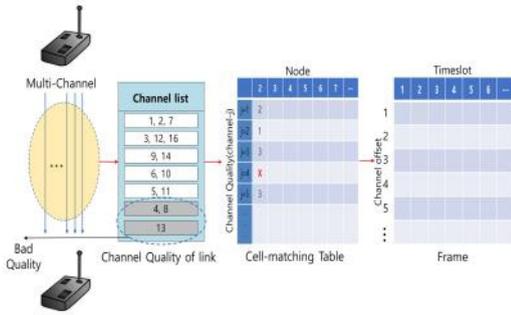


그림 2. 제안 알고리즘 동작모델
Fig. 2. Procedures of the proposed algorithm

해 각 채널- j 의 channel gain을 측정 후 달성 가능한 data rate를 기반으로 각 무선링크의 채널 별 품질을 전부 측정 후 각 노드의 채널 별 전송률을 의미하는 R_{ij} 를 계산한다.

두 번째 단계는 측정된 각 노드의 링크별 채널 품질인 R_{ij} 와 각 노드의 센싱 데이터 크기를 의미하는 q_i 을 통해 cell-matching table($P_{i,j}$)을 생성한다. cell-matching table은 노드- i 가 채널- j 를 할당 받을 때 총 필요한 cell의 개수를 나타내는 테이블을 의미하고 $P_{i,j}$ 는 $\left\lceil \frac{q_i}{R_{ij}} \right\rceil$ 식으로 계산할 수 있다.

세 번째 단계는 cell-matching table을 기반으로 제안하는 알고리즘을 통해 각 노드들은 품질이 가장 좋은 채널을 선택하여 스케줄을 할당하게 된다. 가장 좋은 채널이 여러 개 존재할 경우 채널 중 하나를 무작위로 선택한다. 일반적인 중앙집중형 스케줄링 알고리즘은 타임슬롯의 시작 부분에서 트리의 리프 노드들부터 순차대로 스케줄을 할당해 나가는데 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 효율적인 스케줄 할당을 위해 타임슬롯의 끝 부분부터 부하를 가장 많이 받는 노드, 즉 트리의 레벨 1에 속하는 노드들부터 스케줄을 할당한다. 또한 각각의 노드는 주위정보를 수집하여 다른 노드와의 충돌여부를 확인하고 동시에 보낼 수 있는 경우의 수를 고려한다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 상세과정은 Algorithm 1에 의사코드(pseudo-code)로 기술 하였다. Algorithm 1에서 표시되는 S 는 스케줄링 테이블을 의미하고 L 은 네트워크를 구성하고 있는 트리의 모든 노드들의 depth를 나타내는 집합을 의미하고 depth가 i 인 노드들의 집합은 L_i 로 나타낸다. C 는 L_i 에 속하는 노드들의 스케줄을 할당할 수 있는 경우의 수를 나

타내고 $g(c)$ 는 L_i 에 속하는 노드들의 스케줄을 할당할 수 있는 각 경우의 수에 대한 전송지연(latency)을 의미한다.

IV. 시뮬레이션 성능평가 및 논의

시뮬레이션 성능평가를 위해 $100 \times 100 m^2$ 크기의 쇼핑몰에서 20개의 화재감지기 센서노드가 배치되어 있는 상황을 가정하였다. 또한 무선 채널의 개수는 IEEE802.15.4e의 멀티채널 표준과 같이 동일하게 15개의 채널로 설정하였다. 프레임의 길이는 각 slot에 대해 0.1ms의 시간을 갖는 100개의 slot으로 가정한다.

그림 3은 하나의 채널만 사용하는 IEEE802.15.4의 스케줄링 알고리즘, 기존 중앙 집중형 알고리즘인 AMUS 알고리즘, 제안하는 중앙집중형 멀티채널 스케줄링 알고리즘의 데이터 크기에 따른 데이터 전송 지연을 나타낸다. 기존 IEEE802.15.4의 스케줄링 알고리즘은 전송지연이 다른 스케줄링 알고리즘 보다 높게 나오는 것을 확인할 수 있다. 다른 스케줄링 알고리즘에서 각 노드는 멀티채널을 사용하여 스케줄을 할당하지만 기존 IEEE 802.15.4의 스케줄링 알고리즘은 단일 채널을 사용하여 스케줄을 할당하기 때문이다. 제안하는 중앙집중형 스케줄링 알고리즘은 센싱 패킷의 최대 크기가 300-byte인 지점에서 기존 IEEE802.15.4의 single channel scheduling 대비 전송 지연이 40.7%, AMUS 알고리즘 대비 전송지연이 16.7% 감소함을 확인하였다. AMUS 알고리즘은 멀티채널을 사용하긴 하지만 각 노드의 링크별 채널의 품질을 고려하지 않고 제안하는 알고리즘은 각 노드의 링크별 채널 품질을 전부 측정하여 각각의 노드들

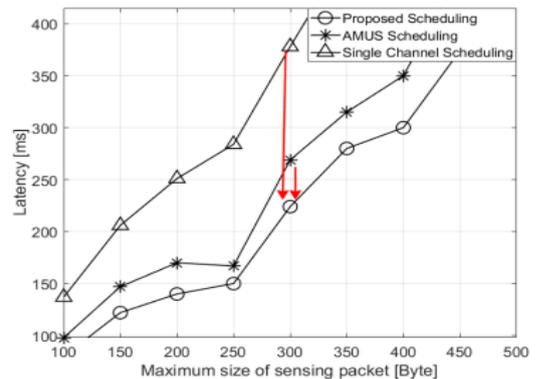


그림 3. 각 노드들의 센싱 데이터 크기에 따른 전송지연
Fig. 3. Latency versus sensing data size of node

은 가장 품질이 좋은 채널을 선택하여 필요한 slot의 수를 줄일 수 있기 때문에 성능이 우위에 있을 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 멀티홉 무선센서 네트워크 환경에서 멀티채널의 서로 다른 무선 품질을 고려하는 중앙집중형 멀티채널 스케줄링 알고리즘을 제안하였고 시뮬레이션을 통해 제안하는 스케줄링 알고리즘이 기존의 중앙집중형 멀티채널 스케줄링 알고리즘과 비교하여 전송지연을 감소함을 보였다. 향후 전송지연 감소를 제공할 뿐만 아니라 전송 reliability 또한 향상시킬 수 있는 스케줄링 알고리즘 연구로 확장할 것이다.

References

[1] D. De Guglielmo, S. Brienza, and G. Anastasi, IEEE 802.15.4e: A survey, Computer Commun., vol. 88, pp. 1-24, 2016, ISSN 0140-3664, <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2016.05.004>.

[2] J. K. Shin, D. C. Kim, and S. C. Kim, “MAC layer protocol for improvement in power consumption and time delay in a sensor network,” *J. KICS*, vol. 40, no. 2, pp. 366-368, 2015.

[3] P. Tiwari, V. Saxena, R. Mishra, and D. Bhavsar, “Wireless sensor networks: Introduction, advantages, applications and research challenges,” *HCTL Open Int. J. Technol. Innovations and Research (IJTIR)*, May 2015.

[4] M. Ojo and S. Giordano, “An efficient centralized scheduling algorithm in IEEE 802.15.4e TSCH networks,” *2016 IEEE CSCN*, pp. 1-6, Berlin, 2016.

[5] Y. Jin, P. Kulkarni, J. Wilcox, and M. Sooriyabandara, “A centralized scheduling algorithm for IEEE 802.15.4e TSCH based industrial low power wireless networks,” *2016 IEEE Wireless Commun. and Netw. Conf.*, pp. 1-6, Doha, 2016.

[6] S. Rani and S. H. Ahmed, “Multi-hop routing in wireless sensor networks: An overview,

taxonomy, and research challenges,” SpringerBriefs in Electrical and Computer Engineering, 2016.

[7] O. D. Incel, “A survey on multi-channel communication in wireless sensor networks,” *Computer Networks*, vol. 55, no. 13, pp. 3081-3099, 2011, ISSN 1389-1286