

# 무선 센서 네트워크에서의 향상된 인접한 링크 스케줄링

공태호, 염상길, 손민한, 추현승  
성균관대학교 정보통신대학  
{kong0512, sanggil12, minari95, choo}@skku.edu

## Enhanced Contiguous Link Scheduling for Wireless Sensor Networks

Taeho Kong, Sanggil Yeom, Min han Shon, and Hyunseung Choo  
College of Information and Communication Engineering,  
Sungkyunkwan University

### 요 약

최근의 무선 센서 네트워크 분야에서는 노드의 배터리 수명을 늘리기 위하여 에너지 소모를 줄이는 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구 중 같은 노드에서 수신 받는 링크는 전부 인접한 타임 슬롯에 스케줄링 하여 노드의 상태 변화를 최소화 할 수 있는 스케줄링 알고리즘이 존재한다. 이 알고리즘은 기존 스케줄링 알고리즘에 비해 에너지 소모율이 좋다는 장점이 있지만, 패킷 처리량이나 시간 지연 등 다른 부분에서는 기존 알고리즘에 비해 떨어진다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 높은 에너지 효율을 보이는 인접한 타임 슬롯 스케줄링 알고리즘을 기반으로, 링크 수를 일정하게 분할 처리하여 처리량 및 시간 지연 문제를 해결할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안 기법에 의해 구축된 네트워크는 기존의 스케줄링 알고리즘에 비해 전력 효율, 처리량, 시간 지연의 효율성이 향상될 것이다.

### 1. 서론

에너지 절약은 무선 센서 네트워크에서 가장 큰 이슈 중 하나이다. 최근 무선 센서 네트워크에서 에너지 절약을 위해 가장 많이 연구되고 있는 기법은 스케줄링 기법으로, 활동이 필요할 시간에만 노드가 작동하도록 하고, 그 외의 시간에는 노드를 절전 상태로 변환해 전력을 줄이는 기법이다. 그러나 기존의 스케줄링 기법은 노드의 상태 변화 자체에서 발생하는 에너지 소모를 고려하지 않았다는 문제점이 있다. 이 문제를 해결하기 같은 노드로 보내는 링크를 인접한 타임 슬롯에 할당하여 노드의 상태 변화를 줄이는 알고리즘이 제안되었다[1]. 하지만 이 알고리즘은 서로 인접하게 링크를 묶는 과정이 추가되어 처리량과 시간 지연이 기존 알고리즘에 비해 줄어들었다는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 인접한 타임 슬롯 스케줄링 알고리즘을 기반으로, 처리량과 시간 지연 효율을 고려하여 설계된 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘을 사용하면 전력 효율, 처리량, 시간 지연의 효율성이 균형 있게 향상될 것이다.

2장에서는 기존의 관련 연구 사례를 다루며, 3장에서는 제안 기법에 대해 다룬다. 그리고 결론은 4장에서 맺는다.

### 2. 관련 연구

무선 센서 네트워크에서 MAC 프로토콜의 가장 큰 목적은 각 노드의 에너지 소모를 최소화하여 전체 네트워크

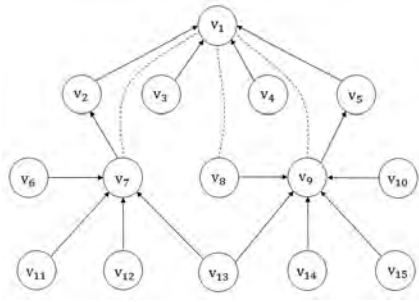
의 수명을 최대화하는 것이다. 이 중 노드 전원을 항상 수신 모드로 유지할 때 발생하는 idle listening으로 인한 에너지 낭비 문제를 해결할 수 있는 프로토콜로는 TDMA(Time Division Multiple Access) 기반의 MAC 프로토콜이 있다[2]. TDMA 기반의 프로토콜은 각 노드마다 전송할 수 있는 타임 슬롯을 정해두고, 여기서만 노드가 데이터를 전송할 수 있게 한다. 그리고 나머지 시간에는 노드를 절전 상태로 변환하여 에너지 소모를 최소화한다. 그러나 TDMA에서는 노드의 상태가 변하는 과정에서의 전력 소모를 고려하지 않는다. 이 때문에 한 노드에 연결된 링크가 많으면 노드의 상태를 변환하는 작업을 많이 수행하게 되며, 이는 많은 전력 소모를 가져온다.

이를 해결하기 위해 한 노드에 연결된 링크는 모두 인접한 타임 슬롯에 할당하여 패킷 수신을 한 번에 처리하도록 하는 스케줄링 기법이 연구되었다. 이 기법을 사용하기 위해서는 링크간 간섭을 방지하기 위해 여러 알고리즘을 사용한다. 이 기법은 노드의 상태 변화를 1회로 줄일 수 있어 전력 소모를 크게 줄일 수 있지만, 여러 노드의 링크를 한 번에 스케줄링 하도록 묶는 과정에서 시간 지연과 처리량이 감소하게 된다.

### 3. 제안 기법

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 Enhanced Contiguous Link Scheduling (ECLS) 알고리즘에 대하여

설명한다. 우선 (그림 1)과 같은 형태의 네트워크를 구성한다.



(그림 1) 네트워크 구조의 예시

(그림 1)에서 꼭지점은 노드, 실선은 링크를 나타내며 점선은 서로 간섭함을 나타낸다. 본 기법에서는 노드의 수신 링크를 타임 슬롯에 할당하기 때문에 노드  $v_1, v_2, v_5, v_7, v_9$ 이 스케줄링 대상이다.

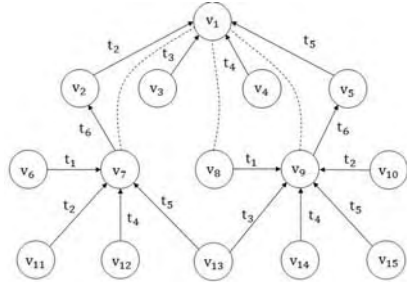
스케줄링은 수신 링크가 많은 노드 순서대로 진행하며, 최대한 적은 수의 타임 슬롯을 생성해야 한다. 우선 노드 별로 '간섭 행렬'이라는 이름의 행렬을 생성한다. 이 행렬은 노드의 수신 링크를 열로, 지금까지 한번 이상 할당된 적이 있는 타임 슬롯을 행으로 하며, 행렬의 원소는 다른 링크와 간섭이 일어나는지의 여부를 나타낸다. 이 중 모든 링크를 타임 슬롯에 모두 할당할 수 있도록 링크 개수만큼의 인접한 타임 슬롯을 행으로 하는 부분행렬을 만든다. 부분행렬을 만들었으면 이 행렬에서 링크가 타임 슬롯에 중복 없이 할당될 수 있도록 재귀 퇴각검색법'이나 최소 충돌 휴리스틱 기법 알고리즘을 사용하여 유효한 배치를 찾아낸다.

재귀 퇴각검색법은 유효한 배치를 찾아내기 위하여 깊이 우선 탐색 방식으로 모든 경우의 수를 탐색하는 알고리즘이다. 그리고 최소 충돌 휴리스틱 기법은 우선 임의의 배치를 설정하고, 충돌을 최소화하도록 배치를 하나씩 변경하는 알고리즘이다. 이 두 알고리즘 중 하나를 사용하여 유효한 배치를 찾아내면, 이 행렬을 가지고 링크를 타임 슬롯에 할당한다. 이 과정을 모든 링크가 타임 슬롯에 할당할 때까지 반복한다.

한 노드에 수신 링크가 많다면, 유효한 배치를 찾는 알고리즘을 수행하는 데 매우 많은 시간이 소모된다. 이는 전체적인 처리량 감소 및 시간 지연 증가를 불러온다. 따라서 각 노드마다의 수신 링크의 개수를 체크하고, 기준치를 계산한다. 이 기준치에 비해 노드의 수신 링크 개수가 높을 경우 링크를 나눠서 일정 그룹으로 묶은 후, 그룹별로 따로 스케줄링을 진행한다. <표 1>은 링크 분할 기법을 사용한 후의 그룹을  $P_i$ 로 나타낸 것이고, (그림 2)는 (그림 1)의 네트워크를 분할 기법을 적용한 후 인접한 링크 스케줄링을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 본 그림에서  $t_i$ 는 링크가 할당된 타임 슬롯을 의미한다.

<표 1> 링크 분할 기법을 사용한 후의 그룹별 링크

Receive Node	Send Node	
$v_1$	$P_1: v_2, v_3$	$P_2: v_4, v_5$
$v_2$	$P_3: v_7$	
$v_5$	$P_4: v_9$	
$v_7$	$P_5: v_6, v_{11}$	$P_6: v_{12}, v_{13}$
$v_9$	$P_7: v_8, v_{10}, v_{13}$	$P_8: v_{14}, v_{15}$



(그림 2) 링크 분할 기법을 사용한 후 스케줄링을 수행한 네트워크

#### 4. 결론

본 논문은 무선 센서 네트워크에서 전력 소모, 시간 지연, 처리량 등 다양한 부분에서 효율성을 높인 링크 스케줄링 기법을 제안하고 있다. 본 논문에서 제안하는 기법은 인접한 링크 스케줄링 기법을 기반으로, 처리량과 시간 지연 면에서 크게 효율성이 떨어지는 노드가 있을 때에는 링크를 일정 그룹으로 분할하여 스케줄링을 진행함으로써 에너지 소모와 처리량, 시간 지연 면에서 균형 있게 향상되는 결과를 가져왔다. 추후 좀 더 다양한 조건의 시뮬레이션을 통해 제안 기법의 장단점을 더욱 명확하게 분석하고, 단점을 해결할 수 있는 방안을 새롭게 고안해 볼 것이다.

#### ACKNOWLEDGMENT

This research was supported in part by PRCP (NRF-2010-0020210), ICT R&D program (14-911-05-006), ICT R&D program (10041244), respectively.

#### 참고문헌

- [1] J. Ma, W. Lou and X. Li, "Contiguous Link Scheduling for Data Aggregation in Wireless Sensor Networks," IEEE Transactions on Parallel and Distributed systems, vol. 25, no. 7, pp. 1691-1701, Jul. 2014.
- [2] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," IEEE INFOCOM, pp. 1567-1576, 2002.