

무선센서 네트워크에서 네트워크 성능을 향상시키는 하이브리드 MAC 프로토콜

김 성 철*, 김 동 민**

A Hybrid MAC Protocol for Wireless Sensor Networks Enhancing Network Performance

Seong Cheol Kim *, Dong Min Kim **

요 약

본 논문에서는 무선센서 네트워크에서 네트워크 성능을 향상시키는 하이브리드 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안된 MAC 프로토콜 구조는 많은 노드들로 구성된 무선센서 네트워크를 위해 특별히 설계되었다. 본 논문에서 기여한 점은 다음과 같다. 먼저, 제안된 스케줄링 알고리즘은 네트워크 토폴로지에 무관하게 동작한다. BS의 원 홉(one hop) 노드 수가 증가하는 밀도가 높은 네트워크 환경에서도 주파수의 추가 사용 없이 모든 타임 슬롯을 사용할 수 있다. 둘째로, BS의 one hop 노드는 필요에 따라 하나 이상의 타임 슬롯을 사용할 수 있기 때문에 네트워크 성능이 향상된다. 본 논문에서 제안된 구조와 기존의 연구인 HyMAC[1]과의 네트워크 성능 비교를 하였다.

Abstract

In this paper we suggest a hybrid MAC protocol for wireless sensor networks(WSN) to enhance network performance. The proposed MAC scheme is specifically designed for wireless sensor networks which consist of lots nodes. The contributions of this paper are: First, the proposed scheduling algorithm is independent of network topology. Even though the BS node has lots of one hop node in dense mode network, all the time slots can be assigned fully without increasing frequencies. Second, BS one hop nodes can use more than one time slots if necessary, so total network performance is increased. We compare the network performance of the proposed scheme with previous one, HyMAC [1].

▶ Keyword : 무선센서네트워크(Wireless Sensor Network), MAC(Multiple Access Control) 프로토콜

• 제1저자 : 김성철

• 접수일 : 2008. 2. 12, 심사일 : 2008. 2. 22, 심사완료일 : 2008. 2. 29.

* 상명대학교 소프트웨어학부 교수 **상명대학교 정보과학과 석사과정

※본 연구는 2007년도 상명대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음

I. 서론

산업 및 홈 자동화 제어, 환경 및 헬스 모니터링, 군 정찰 등 다양한 분야에 걸친 응용을 가지는 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks: WSNs)에 대해 최근 많은 연구가 이루어지고 있다. WSNs는 대개 커다란 다중 홉(multi-hop) 무선 네트워크로 이루어지며, 구성하고 있는 노드들은 분산된 센싱 기능을 수행하기 위하여 무선 매체에 의해 연결된다. WSNs에서는 데이터의 전송이 센서 노드들로부터 데이터를 모으는 액세스 포인트(access point: AP)로 흐르며, 노드들이 제한된 전력 지원을 받는다는 특성을 가진다. 즉, 한번 네트워크가 구성되면 이들 구성 노드들에게 지속적인 전력 공급이 이루어지지 않고 배터리에 의해 한시적으로 제공된다. 따라서 WSN의 MAC 프로토콜을 설계하는데 있어서 전력 절약 문제를 고려할 필요성이 있다. 무선 센서네트워크에서 배터리의 소모가 되는 이유는 다음과 같다. 첫째 충돌(Collision)에 의한 것과, 둘째 다른 노드에게 보낸 패킷을 받을 경우 불필요한 수신 에너지가 소모되는 경우(Overhearing), 셋째 정확한 데이터 송수신을 위한 복잡한 컨트롤 패킷의 사용에 따른 배터리가 소모되는 경우(Overhead), 넷째 수신할 데이터가 없는데도 수신을 준비하고 있는 것에 따른 배터리가 소모되는 경우(Idle Listening)가 있다. 이러한 에너지 소모 문제를 해결함으로써 센서 노드의 수명을 증가시키기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다.

지금까지 연구된 센서 노드들의 에너지 소모를 줄이기 위한 프로토콜은 다음과 같이 크게 분류될 수 있다. 첫째는 CSMA나 CSMA/CA를 기초로 하는 임의 접근 프로토콜을 들 수 있는데, 이 중 B-MAC [4]은 적용 가능한 프리앰블(adaptive preamble) 개념을 사용한다. S-MAC [2]과 비교하여 duty cycle, 불필요한 listening을 줄임으로써 에너지를 절약할 수 있는 장점을 가진다. 하지만 긴 프리앰블로 인해 깨어있는 노드들은 프리앰블이 끝날 때까지 기다려야 하고, 프리앰블이 다 끝나고 나서야 목적지 주소를 알 수 있기 때문에 필요 이상으로 기다리는 시간이 발생하는 단점을 가진다. 둘째는 고정 접근 프로토콜인데, ER-MAC [3], A-MAC [5] 등이 대표적인 예이다. ER-MAC은 분산 TDMA방식으로 그룹화(grouping)를 통해서 같은 슬롯에서 같이 처리한다. 충돌제거, 불필요한 listening 시간을 줄이고, 제어 패킷의 오버헤드를 줄임으로 에너지 절약을 한다. 마지막으로 접근 채널을 2개로 하여 임의 접근 채널과 고정 접근 채널을 사용하는 하이브리드(Hybrid) 프로토콜을 들

수 있다. Z-MAC [6], TRAMA [7]이 여기에 속하는데, Z-MAC은 두 홉 내의 지역 정보를 이용하여 오너(owner) 슬롯을 우선 할당하고 CSMA방식으로 나머지 노드들이 슬롯을 획득하기 위해 경쟁함으로써 노드 간 충돌을 줄인다. TRAMA에서는 두 홉의 정보로 CSMA 구간동안 노드 간 우선순위를 정한다. 각각의 전송 노드들은 할당된 TDMA 구간에서 데이터를 전송한다. 우선순위가 높은 노드가 먼저 슬롯을 할당받게 되어, 먼저 데이터를 전송할 수 있는 장점이 있는 반면, 적은 트래픽의 네트워크 환경에서는 불필요한 listening이 발생하고, 트래픽이 많은 네트워크 환경에서는 채널 이용효율이 떨어지는 단점이 있다. 이 외에도 주파수 분할 다중 접근(FDMA)방식을 기초로 하는 MMSN [8] MAC 프로토콜을 들 수 있는데, 여기에서는 무선센서네트워크를 위해 4개의 주파수를 할당하는 방법들을 제안하였다. 또한 주파수 분할 다중 접근(FDMA)방식과 시분할 다중 접근(TDMA)방식을 기초로 하는 MAC 프로토콜을 들 수 있는데 MCMAC [9]과 HyMAC이 대표적인 예이다. MCMAC는 시분할 다중 접근기간 동안 각 노드는 노드의 ID 테이블에 따라서 타임 슬롯을 결정하여 클러스터 헤드(Cluster Head)에게 자신의 타임 슬롯에 전송을 요청을 하고 클러스터 헤드는 이 요청을 받아 주파수를 할당하여 각 노드는 할당받은 주파수에 데이터를 주고받는 방식으로 동작한다. 이를 통해 전송 요청이 없는 노드는 슬립을 하여 에너지 소모를 줄일 수 있고, 스케줄을 해줌으로써 각 노드 간에 충돌이 없도록 한다. 하지만 클러스터 안에 많은 노드가 있을 경우 시분할 다중 접근기간이 길어지게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대한 간단한 설명이 이루어지고 3장에서는 제안된 알고리즘에 대해 살펴본다. 4장에서 제안된 프로토콜의 성능을 분석하고 5장에서 결론을 내린다.

II. 관련연구

HyMAC[1]은 센서 노드들이 모은 데이터를 최종적으로 하나의 BS(Base station)에 전달하는 시분할 다중 접근(TDMA)방식과 주파수 분할 다중 접근(FDMA)방식을 사용하는 Hybrid MAC 프로토콜이다. HyMAC은 기존의 RT-Link [10]에서의 스케줄을 통해 충돌을 줄이지만 노드가 증가함에 따른 타임 슬롯이 증가하는 문제점과 MMSN [8]에서의 여러 주파수를 사용하여 처리율을 상승시켰지만 한정된 주파수를 이웃노드에 충돌이 없이 할당해 주는 문제를 가진다.

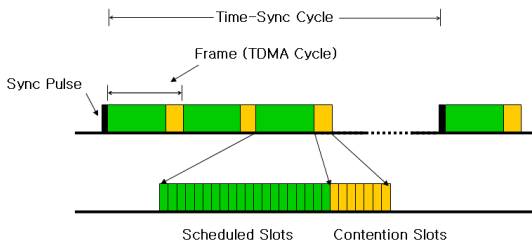


그림 1. 타임-싱크-사이클
Fig. 1 Time-Sync-Cycle

HyMAC은 고정된 길이의 시간 동기화 사이클 (Time-sync-Cycle) 안에서 동작한다. 시간 동기화 사이클 안에는 프레임들로 구성되어 있는데 각 프레임의 여러 고정된 타임 슬롯은 패킷을 전송하기 위한 최대 크기를 갖는다. 또한 고정된 수의 연속된 슬롯들은 앞에서부터 스케줄 슬롯과, 경쟁 슬롯으로 그림1과 같이 구성되어진다. BS는 노드들에게 특정한 슬롯과 주파수를 스케줄 알고리즘에 따라 적합하게 각 노드에 할당한다. 스케줄된 노드 간에는 충돌이 없고, 전송에 관여하지 않는 시간에는 슬립 모드로 들어가 에너지를 효율적으로 사용할 수 있다. 모든 스케줄된 노드들은 경쟁 슬롯에서 LPL(Low Power Listening)로 동작하며, 경쟁 슬롯 동안 임의로 한 슬롯을 선택하여 HELLO 패킷을 BS에 보낸다. 이때 특별한 라우팅 방식이 없다면 플루딩(Flooding) 방식을 사용한다. 또한 새로이 네트워크에 참여하는 노드들은 오직 경쟁 슬롯에만 동작하여 HELLO 패킷을 보낸다. 각 노드들로부터 BS에 보내진 HELLO 패킷들을 통해 BS는 모든 노드들에게 타임 슬롯과 주파수를 할당하는 스케줄링을 행한다.

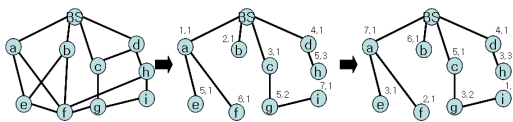


그림 2. 스케줄 알고리즘
Fig 2. Scheduling Algorithm

이 스케줄에 따라 각 노드들은 데이터 패킷을 부모 노드에 보낼 수 있다. 즉, BS에 각 노드가 HELLO 패킷을 통해 전달한 이웃리스트의 정보를 통해 무선 센서 네트워크의 토폴로지를 알 수 있다. 이를 통해 Breadth First Search 방식을 사용하여 트리를 만들고 타임 슬롯과 주파수를 할당해 준다. 예를 들어, 아래의 그림 2와 같은 네트워크 모델에 대해 타임 슬롯과 채널을 할당하여 충돌을 줄이고 높은 처리율을 얻을 수 있으며, 각 노드와 BS 간에 패킷을

교환하면서 지터(Jitter) 값이 일정하도록 하는 장점을 가진다. 하지만 위의 그림처럼 Breadth First Search 방식을 사용한 스케줄링을 하면 4개의 채널을 사용할 경우 그림 3과 같은 네트워크 토폴로지의 경우와 같이 할당되지 않는 타임 슬롯이 발생되기 때문에 충분한 네트워크 효율을 기대할 수 없게 된다. 표 1에서 할당된 타임 슬롯을 보여 준다.

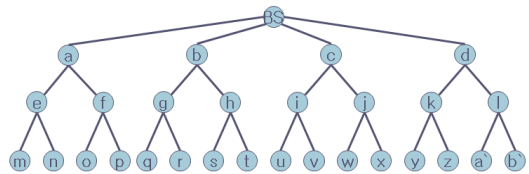


그림 3. 네트워크 토폴로지 예
Fig. 3 Example of Network Topology

표 1. 그림 3의 네트워크에 대한 타임 슬롯 할당
Table 1. Assigned Time slots for Fig. 3 Network Topology

a	b	c	d	e	f	m	n	u	v
				g	h	o	p	w	x
				i	j	q	r	y	z
				k	l	s	t	a'	b'

또한 HyMAC과 같이 BS에서 모든 데이터를 수집하는 경우 데이터가 BS를 향하여 위로 올라갈수록 트래픽이 증가하기 때문에 한 타임 슬롯으로 해결할 수 없는 문제가 생긴다.

III. 제안된 프로토콜 구조

제안된 프로토콜은 시분할 다중 접속(TDMA)과 주파수분할 다중 접속(FDMA)을 사용하는 무선 센서네트워크 MAC 프로토콜로서 지터값의 일정함과 처리율을 유지하면서 기존 HyMAC이 가지는 BS의 원 홉의 노드가 많을수록 다중 주파수 사용에 따른 효율이 떨어지는 문제점을 해결한다.

3.1. 스케줄링 알고리즘 I

이 알고리즘에서 각 노드들로부터 받은 이웃의 리스트들을 모아 BS에서는 네트워크 연결 그래프를 만든다. 그래프는 BS를 루트(Root)로 Breadth First Search 방식을 통한 스케줄링 알고리즘을 사용하여 다른 타임 슬롯과 주파수를 할당

한다. 이때 스케줄링 알고리즘은 Breadth First Search의 탐색 순서대로 할당해 가는데 같은 높이에 같은 부모인지 다른 부모의 노드인지 판단하여 이전에 할당 하였던 노드의 두 홉까지의 이웃들을 체크하여 충돌이 발견될 경우 다른 타임 슬롯과 주파수를 할당하게 되고, 두 홉 이후에는 같은 타임과 주파수를 사용할 수 있다. 이때 충돌이 발견되면 같은 높이에 같은 부모를 갖고 있는 노드들은 타임 슬롯을 증가시키고, 같은 높이에 다른 부모를 갖고 있는 노드들의 타임 슬롯은 그대로

한번 모든 노드들이 스케줄에 따라 수행하고 나면 할당되어있는 타임 슬롯을 부모보다 작은 타임 슬롯으로 뒤집는 일을 한다. 그 방법은 아래의 식과 같다.

$$T_{new} = T_{max} - T_{current} + 1$$

여기서 T_{new} 는 새롭게 할당될 타임 슬롯이고, $T_{current}$ 는 현재 할당되어 있는 타임 슬롯이며, T_{max} 는 할당되어 있는 최대 타임 슬롯의 숫자를 의미한다. 이렇게 할당된 타임 슬롯과 주파수에 데이터를 보내어 BS에 전달된다.

위의 스케줄링 알고리즘 동작의 예를 그림 4에서 보여 준다.

Algorithm 1

```

Require: A Graph of Sensor Network Topology
Ensure: An scheduled Tree of the Given Network
1: ENQUEUE (Q, S)
2: while Q is not empty do
3:   v ← DEQUEUE(Q)
4:   timeSlot[v] ← currentTimeSlot
5:   channel[v] ← 1
6:   for all Visited same-height
       1-2-hop nbr n of v do
7:     if parent[v] == BS and
       #Channel < available chnls then
8:       if timeSlot[v] = timeSlot[n] and
       channel[v] = channel[n] then
9:         channel[v] ← channel[n] + 1
10:      end if
11:    else if parent[n] == parent[v] or
       #Channel >= available chnls then
12:      if timeSlot[v] = timeSlot[n] then
13:        timeSlot[v] ← timeSlot[n] + 1
14:      end if
15:    else
16:      if timeSlot[v] = timeSlot[n] and
       channel[v] = channel[n] then
17:        channel[v] ← channel[n] + 1
18:      end if
19:    end if
20:  end for
21:  for all unexplored edge e of v do
22:    let w be the other unvisited
       endpoint of edge e
23:    parent[w] ← v
24:    height[w] ← height[v] + 1
25:  end for
26: end while
    
```

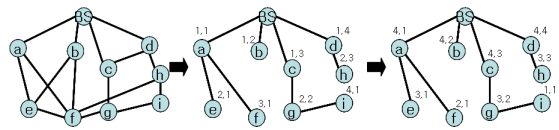


그림 4. 제안된 스케줄 알고리즘 1의 동작
Fig. 4. Proposed Scheduling Algorithm 1

또한 그림 3의 네트워크 토폴로지에 대한 슬롯 할당을 표 2에서 보여 준다.

표 2. 그림 3의 환경에서의 스케줄 알고리즘 1의 제안된 프로토콜의 타임 슬롯 할당

Table 2. Assigned Time slots by proposed algorithm 1 for Fig. 3 Network Topology

a	e	f	m	n	u	v			
b	g	h	o	p	w	x			
c	i	j	q	r	y	z			
d	k	l	s	t	a'	b'			

로 하고 주파수 채널을 증가시키며 사용가능한 주파수 채널수를 넘어가면 타임 슬롯을 증가시키는 방법을 사용한다. 단, BS의 원 홉에 한해서는 같은 부모를 갖고 있더라도 타임 슬롯을 유지하고 주파수 채널을 증가시키게 되는데 이 또한 사용가능한 주파수 채널수를 넘어가면 타임 슬롯을 증가시킨다.

3.2. 스케줄링 알고리즘 II

스케줄링 알고리즘 II는 BS의 원 홉의 노드 수가 할당 가능한 채널의 수의 배수일 경우 기존의 HyMAC 스케줄링을 한 뒤에 BS의 원 홉에 할당된 타임 슬롯을 다시 할당하는 알고리즘이다. BS의 원 홉에 할당된 각 노드를 채널의 수만큼 타임 슬롯을 한 채널에 할당하고 채널을 증가시킨다. 채널의 수보다 노드수가 많으면 타임 슬롯을 채널의 수만큼 증가시킨 뒤의 값을 기준으로 채널의 수만큼 타임 슬롯을 할당해준다. (Algorithm 2. 23-34 줄 참고) 알고리즘 2의 전체 수행과정은 다음과 같다.

Algorithm 2

Require: A Graph of Sensor Network Topology
Ensure: An scheduled Tree of the Given Network

```

1: ENQUEUE (Q, S)
2: while Q is not empty do
3:   v ← DEQUEUE(Q)
4:   timeSlot[v] ← currentTimeSlot
5:   channel[v] ← 1
6:   for all Visited same-height
       1-2-hop nbr n of v do
7:     else if parent[n] == parent[v] or
       #Channel >= available chnls then
8:       if timeSlot[v] = timeSlot[n] then
9:         timeSlot[v] ← timeSlot[n] + 1
10:      end if
11:    else
12:      if timeSlot[v] = timeSlot[n] and
       channel[v] = channel[n] then
13:        channel[v] ← channel[n] + 1
14:      end if
15:    end if
16:  end for
17:  for all unexplored edge e of v do
18:    let w be the other unvisited
       endpoint of edge e
19:    parent[w] ← v
20:    height[w] ← height[v] + 1
21:  end for
22: end while
23: ENQUEUE (BS 1 hop Q)
24: QS ← size of Q
25: i ← 1
26: channel ← 1
27: while Q is not empty do
28:   v ← DEQUEUE(Q)
29:   channel ← 1
30:   if #Channel > available chnls then
31:     i ← i + available chnls
32:     channel ← 1
33:     timeSlot[v] ← i to
       available chnl numbers timeSlot
34:     channel[v] ← channel
35:   else
36:     timeSlot[v] ← i to
       available chnl numbers timeSlot
37:     channel[v] ← channel
38:     channel ← channel+1
39:   endif
40: end while
    
```

스케줄링 알고리즘 II의 동작을 그림 5에서 보여 준다. 또한 위의 그림 3에서 보여준 네트워크 토폴로지에 대한 슬롯 할당을 표 3에서 보여 준다.

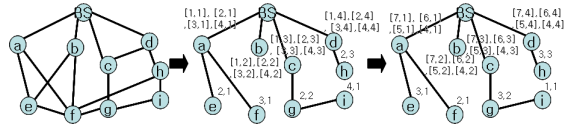


그림 5. 제안된 스케줄 알고리즘2의 동작
 Fig. 5. Proposed Scheduling Algorithm 2

표 3. 그림 3의 환경에서의 스케줄 알고리즘 2의 제안된 프로토콜의 타임 슬롯 할당

Table 3. Assigned Time slots by proposed algorithm 1 for Fig. 3 Network Topology

a	a	a	a	e	f	m	n	u	v
b	b	b	b	g	h	o	p	w	x
c	c	c	c	i	j	q	r	y	z
d	d	d	d	k	l	s	t	a'	b'

IV. 성능분석

본 논문에서는 할당된 타임 슬롯의 수를 네트워크 성능 기준(Metric)으로 삼는다. 앞에서 살펴 본 바와 같이 HyMAC에서는 BS 원 홉의 수와 같은 주파수가 필요하다. 따라서 BS의 원 홉에 적당한 수의 노드가 이웃에 존재하지 않고 많은 수의 노드가 밀도 높게 배치될 가능성이 더 높은 경우에 낭비되는 타임 슬롯이 크게 된다.

4개의 주파수 채널을 사용하는 경우에 BS의 원 홉에 있는 노드수의 증가함에 따른 이를 할당하기 위해 필요한 한 프레임의 타임 슬롯수를 측정한 성능 비교가 아래의 그림 6에서 보여 준다. 여기서 M-HyMAC은 본 논문에서 제안된 알고리즘을 나타낸다.

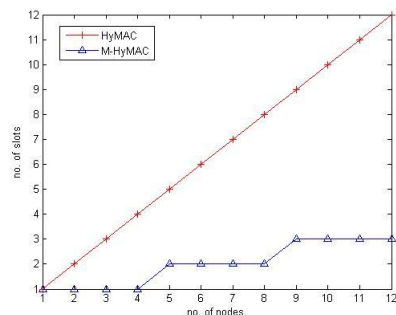


그림 6. BS의 원 홉의 노드수가 증가함에 따른 한 프레임에 필요한 타임 슬롯의 수 비교
 Fig. 6. Needed Time slots in one frame as number of BS one hop nodes increase

그림 6에서 보는 바와 같이 기존의 HyMAC은 BS의 원 홉의 노드수가 증가할수록 같은 수의 타임 슬롯을 요구하지만 본 논문에서 제안된 프로토콜의 경우는 더 적은 타임 슬롯이 요구되므로 하나의 프레임에 더 적은 수의 타임 슬롯이 필요함을 알 수 있다.

같은 환경에서 원 홉 노드수가 증가함에 따라 낭비되는 타임 슬롯의 수에 대한 것을 아래의 그림 7에서 보여 준다. 그림에서 볼 수 있듯이 기존의 HyMAC은 원 홉의 노드 수가 증가함에 따라 낭비되는 타임 슬롯의 수가 증가하는 한편 제안된 알고리즘에서는 그 수가 매우 적음을 알 수 있다.

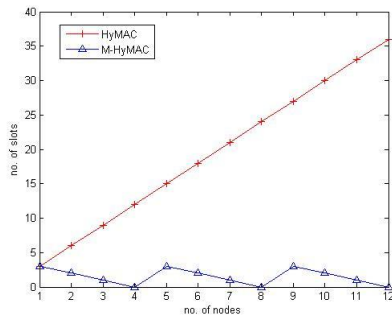


그림 7. BS의 원 홉의 노드수가 증가함에 따른 낭비되는 타임 슬롯의 수 비교
 Fig. 7. No. of Wasted time slots as BS one hop nodes increase

또한 BS의 원 홉의 노드수가 20개인 경우 주파수 채널이 증가함에 따라 BS의 원 홉을 스케줄 하면서 낭비되는 타임 슬롯의 수에 대한 성능 비교를 아래의 그림 8에서 보여 준다.

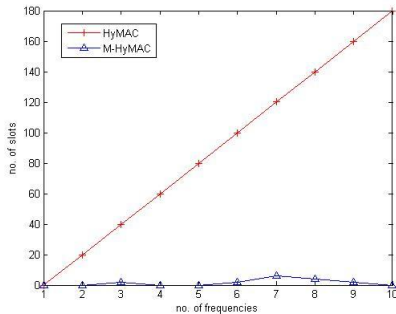


그림 8. 주파수의 수가 증가함에 따른 낭비되는 타임 슬롯의 수 비교
 Fig. 8. No. of Wasted time slots as No. of Frequencies increase

그림 8에서 보는 바와 같이 주파수 채널이 증가함에 따라 HyMAC의 스케줄링 알고리즘에 따르면 타임 슬롯의 수는 주파수의 채널과 비례하여 타임 슬롯의 낭비가 증가하지만 본 논문에서 제안된 프로토콜은 주파수 채널의 수 이상의 타임 슬롯의 낭비는 거의 없음을 알 수 있다.

다음으로 스케줄링 알고리즘 2를 사용하여 4개의 채널을 사용할 경우에 BS의 원 홉에 있는 노드수가 채널의 배수로 증가함에 따른 낭비되는 타임 슬롯의 수를 그림 9에서 보여 준다.

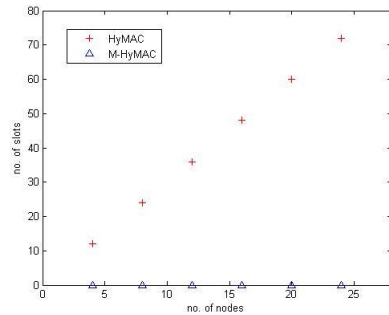


그림 9. BS의 첫 홉의 노드수의 증가함에 따른 낭비되는 타임 슬롯의 수 비교
 Fig. 9. No. of Wasted time slots as No. of Frequencies increase

그림에서 볼 수 있듯이 기존의 HyMAC은 BS의 원 홉의 노드수가 증가할수록 낭비되는 타임 슬롯의 증가하는 수가 증가하지만 제안된 프로토콜의 경우 전혀 낭비되는 타임 슬롯이 없음을 알 수 있다. 이와 같이 제안된 프로토콜의 스케줄링을 따르면 BS의 원 홉의 노드들에게 채널을 우선적으로 할당함에 따른 더욱 효율적인 타임 슬롯 활용을 할 수 있으므로 네트워크 성능을 향상시킨다.

VI. 결론

본 논문에서 제안된 프로토콜은 기존의 시분할 다중접속과 주파수분할 다중접속방식을 통해 여러 네트워크 토폴로지 환경에 적합하고, 타임 슬롯의 효율을 높이는 방법이다. 기존의 같은 부모일 경우 무조건 타임 슬롯을 증가시키는 방법에서 낭비되는 BS의 원 홉의 스케줄링 알고리즘을 채널을 증가시키는 방법을 통하여 기존의 처리율과 지터 값을 일정하게 유지하면서 같은 상황에서 더 적은 타임 슬롯으로 동작하여 타임 슬롯의 효율을 높이는 장점을 가진다. 또한 제안된

스케줄링 알고리즘은 BS로 데이터를 전달하면서 데이터 집중으로 인한 트래픽이 증가하는 문제를 해결함으로써 성능을 높일 수 있다.

참고문헌

- [1] M Salajegheh, H Soroush, and A Kalis, "HYMAC: Hybrid TDMA/FDMA Medium Access Control Protocol for Wireless Sensor Networks" The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007.
- [2] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks," IEEE/ACM Transaction on Networking, Volume12, Issue3, pp. 493-506, June 2004.
- [3] R. Kannan, R. Kalidina, and S. S. Iyengar, "Energy and Rate Based MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," ACM SIGMOD, Vol 32, No. 4, Dec. 2003.
- [4] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," ACM SenSys'04, Nov 2004, Baltimore, Maryland, USA
- [5] Yongsub Nam, Hojin Lee, Hakyun Jung, Taekyoung Kwon, Yanghee Choi, "An Adaptive MAC (A-MAC) Protocol Guaranteeing Network Lifetime for Wireless Sensor Networks," European wireless, pp.0-0, Apr. 2006.
- [6] I. Rhee, A. Warriar, M. Aia, and J. Min, "Z-MAC: a Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks," ACM SenSys'05, San Diego, California, USA, Nov 2005.
- [7] V. Rajendran, K. Obraczka, and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "Energy-Efficient, Collision-Free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks," in ACM SenSys 2003, November 2003.
- [8] G. Zhou, C. Huang, T. Yan, T. He, J.A. Stankovic and T.F. Abdelzaher, "MMSN: Multi-Frequency Media Access Control for Wireless Sensor Networks," in IEEE INFOCOM2006, 2006.
- [9] Chen Xun, Chen Zhang-long, Han Peng, "A multi-channel MAC protocol for wireless sensor networks," Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT06) - Volume 00, 2006.
- [10] Rowe, R. Mangharam and R. Rajkumar, "RT-Link: A Time Synchronized Link Protocol for Energy Constrained Multi-hop Wireless Networks," SECON, 2006.

저자 소개



김 성 철

1995년 6월 : Polytechnic University (NY) 공학박사(Ph.D)

1997년 2월~현재 : 상명대학교 교수
〈관심분야〉 WLAN, 센서 네트워크, QoS, 멀티미디어 통신



김 동 민

2007년 2월 선문대학교 졸업

2007년 3월 ~ 상명대학교 석사과정
〈관심분야〉 WLAN, 센서 네트워크, QoS, 멀티미디어 통신