

무선 센서 네트워크에서 주기적인 트래픽의 효율적인 모니터링을 위한 MAC 프로토콜

김 동 민*, 김 성 철**

PM-MAC : An Efficient MAC Protocol for Periodic Traffic Monitoring In Wireless Sensor Networks

Dong Min Kim*, Seong Cheol Kim**

요 약

본 논문에서는 센서 노드들이 트리(tree) 구조를 가지며 주기적인 트래픽을 전송하는 무선센서 네트워크에서 싱크 노드로 데이터를 효율적으로 전송하기 위한 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 관련 연구[1]에서는 주기적인 트래픽을 효율적으로 전송하는 알고리즘을 제안하였으나, 트리구조가 깊어지고, 자식 노드들이 많아짐에 따라 에너지 소모가 증가하고, 데이터 처리율이 떨어지는 문제점을 보였다. 제안하는 알고리즘은 유휴 타임 슬롯(Time Slot)을 활용하고, 데이터를 중복되지 않게 전송함으로 효율적인 모니터링을 가능케 한다. 또한 유사 데이터에 대한 효율적인 전송 방안 및 긴급 데이터가 발생할 경우 EDP(Emergency Data Period)를 추가하여 전송대기시간을 줄이게 하는 방법도 제안하고자 한다. 성능 분석을 통하여 제안하는 알고리즘이 기존연구보다 더 높은 데이터 처리율을 보이고, 에너지 소모를 적게 함을 보였다.

Abstract

In this paper we suggest a scheduling algorithm that transmits periodic traffics efficiently in tree-structured wireless sensor networks (WSNs). The related research[1] showed the problems such as increasing the energy consumption and decreasing the data throughput as the depth of tree increases. To solve these problems, we use idle time slots and avoid the redundancy at data transmission. Also we suggest the algorithm that transmits the control packet when it is similar to a previously measured data. And if emergency data is occurred, our proposed algorithm transmits that data in EDP(Emergency Data Period) for reducing the wait time. The proposed algorithm shows more data throughput and less energy consumption than that of the related research.

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

• 제1저자 : 김동민 교신저자 : 김성철
• 접수일 : 2008. 10. 8, 심사일 : 2008. 10. 26, 심사완료일 : 2008. 12. 24.
* 상명대학교 컴퓨터과학과 석사과정 **상명대학교 컴퓨터과학부 교수

I. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks: WSNs)는 사람들이 직접 관리하기 어려운 환경이나, 지속적인 오랜 관측이 필요한 경우와 같이 인간이 하기 힘든 일을 대신하여 대상이 변화하는 상황에 대한 정보를 획득하고 그것을 사용자에게 제공하는 것을 목적으로 하는 기술이다. 이러한 모니터링 목적의 환경에서 무선 센서 네트워크를 구성하는 무선 센서 노드들은 보통 같은 목적의 일을 수행하며, 발생하는 데이터도 지역적으로 비슷할 가능성이 높다. 또한, 시간이 지나감에 따른 측정된 값이 크게 변동하지 않는다는 특성을 가진다. 이러한 무선 센서 노드들은 주로 배터리를 전력원으로 사용하기 때문에 교체가 쉽지 않고 송수신 횟수, 연산 능력, 그리고 메모리 사용 등에 제약이 따른다[2].

무선 센서 네트워크에서 불필요하게 배터리가 소모되는 경우는 다음과 같다[3]. 첫째 충돌(Collision)에 의한 재전송을 위해 소모되는 경우, 둘째 다른 노드에게 보낸 패킷을 받는 불필요한 수신 에너지가 소모되는 경우(Overhearing), 셋째 정확한 데이터 송수신을 위한 복잡한 컨트롤 패킷의 사용에 따른 배터리 소모되는 경우(Overhead), 넷째 송수신할 데이터가 없는데도 송수신을 준비하고 있는 것에 따른 배터리가 소모되는 경우(Idle Listening)가 있다. 따라서 에너지가 불필요하게 소모 문제를 해결하기 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 하지만 이러한 전력 사용을 최소화함에 따른 Trade off는 전송지연을 증가시키는 문제를 발생하게 한다. 이는 데이터의 처리율 감소를 유발하므로 이를 어떻게 조절할지에 대한 연구 또한 큰 이슈가 되고 있다

지금까지 무선 센서 네트워크에서는 비 주기적인 트래픽에 초점을 맞추어 연구되어 왔다. 하지만 환경(온도, 수심 등)을 모니터링하는 무선 센서 네트워크에서는 트래픽을 주기적으로 발생시켜 모니터링 하는 경우가 많기 때문에 트래픽 발생 주기를 필요에 따라 정할 수 있다. 이러한 주기적인 트래픽을 최대한 효율적으로 전송할 수 있는 연구가 많이 진행되지 않았다. 이에 본 논문에서 주기적으로 주변 환경을 측정하는 무선 센서 네트워크에서 데이터 처리율을 높이고 네트워크 전체의 수명(Life Time)을 고려한 효율적인 알고리즘을 제안한다. 또한, 이러한 주기적 트래픽에 초점을 맞춘 알고리즘에서 긴급한 상황(화재, 홍수 등)이 발생하였을 경우 이를 대처하기 힘들기 때문에 이러한 환경에서의 전송 방안에 대한 고려가 이루어진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 설명한다. 3장에서는 PM-MAC에 대해서 설명하고, 4장에서 기존 연구와의 성능을 비교 분석하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

무선 센서 네트워크를 기반으로 하는 MAC 프로토콜에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다. 그 중에 비 주기적인 트래픽에 적합한 프로토콜과 주기적인 트래픽에 적합한 프로토콜에 관한 연구는 다음과 같다.

우선 비 주기적인 트래픽에 적합한 프로토콜은 CSMA(Carrier Sense Multiple Access)방식의 S-MAC[3], T-MAC[4], D-MAC[5] 등이 있다. 구체적으로 S-MAC[3]은 무선 센서 네트워크 환경에서의 에너지 소모를 줄이는 연구 중 가장 대표적인 프로토콜로써, Duty Cycle 프레임을 사용하여 일정한 Sleep과 Listen 구간을 반복적으로 동작시킴으로써 에너지 소모를 줄였다. 그러나 고정적으로 반복하는 동작은 Idle listening의 문제를 생기게 하고, RTS/CTS를 통해 가장 먼저 보낸 노드만이 전송에 참여하는 방식은 전송 지연이 발생한다는 단점을 가진다. T-MAC[4]은 SMAC에서의 Idle listening을 줄이기 위하여 일정시간 동안 데이터가 발생하지 않을 경우 바로 Sleep할 수 있도록 하였지만 여전히 주기적인 동작으로 인한 전송 지연의 문제가 존재한다. 이에 D-MAC[5]에서는 Sleep과 Listen구간을 엇갈리게 스케줄링 하여 하위 노드의 송신 시간과 상위 노드의 수신시간을 맞춰 전송하는 방식으로 SMAC[3]과 T-MAC[4]의 전송 지연을 해결하였다. 하지만 D-MAC[5] 역시 CSMA방식을 사용하기 때문에 여러 하위 노드가 상위 노드에 데이터를 전송하기 위하여 경쟁해야 한다. 이는 충돌을 회피하기 위해 RTS/CTS, 백오프(Backoff), CW(Contention Window)를 사용해야 하기 때문에 오버헤드가 발생하게 된다.

본 논문에서 제안하는 주기적인 트래픽에 적합한 프로토콜로는 TDMA(Time Division Multiple Access)방식의 LMAC[6], RT-Link[7]과 스케줄링된 Duty Cycle방식의 SEA-MAC[8], SEA-MAC v2[1] 등이 있다. 우선 LMAC[6]은 적은 트래픽에서의 스케줄 예약 방식을 사용한 두 홉의 이웃 간에 타임 슬롯(Time Slot)이 겹치지 않게 교섭하여 충돌을 제거하는 방식을 사용한다. 특히 LMAC은 불필요한 Listening과 오버헤드를 배제하고, 충돌을 제거하여 에너지 효율을 높였다. RT-Link는 전체 시간동기화 방식을 구체적으로 제시하면서 동기화된 시간 사이클(Time-sync-Cycle)동

안 프레임으로 나누어 경쟁 슬롯(Contention Slot)과 스케줄 슬롯(Schedule Slot)으로 나눈다. 여기서 스케줄 슬롯은 BS(Base Station)에서 스케줄링 하여 할당된 노드들이 동작하는 슬롯이며, 경쟁 슬롯은 네트워크에 추가되는 센서 노드들이 경쟁을 통하여 BS에 슬롯 할당을 요청하는 슬롯이다. 그러나 TDMA 기반의 프로토콜들은 주기적인 데이터 전송에는 효율적이지만 BS에 데이터를 전달함에 있어 누적된 데이터의 처리를 할당된 타임 슬롯에 모두 보낼 수 없는 문제를 가진다.

반면에 스케줄링된 Duty Cycle 방식인 SEA-MAC(8)은 주기적인 데이터가 발생하는 모니터링 환경에서 동기화를 통해 에너지 소모를 줄이는 것을 목표로 하는 프로토콜이다. 노드는 자신이 모니터링한 데이터를 전달하는 시간에 동기화를 하여 전송하게 되는데 이를 통하여 Idle Listening 기간을 최소화하고, 그에 따른 에너지 효율을 증가시켰다. 그 후 새로이 제안된 SEA-MAC v2(1)에서는 모니터링한 데이터를 BS에 전송할 때 RTS/CTS를 사용하지 않고 데이터만을 전달하고 상위 노드에서 누적된 데이터를 충분히 처리할 수 있는 시간을 주는 방법이 제안되었다. 하지만, 각각의 노드가 측정된 데이터가 한 라운드에 보내는 횟수가 다르고, 리프(Leaf) 노드의 깊이(depth)가 증가함에 따라 전송시간이 누적되어 길어지는 단점을 가진다. 또한 트리 구조의 특성으로 인한 상위 노드로 올라갈수록 트래픽이 가중되어 이로 인한 상위 노드의 수명이 줄어드는 것이 고려되지 않았고, 스케줄 방식에 따른 중복 데이터 발생 문제가 고려되지 않았다.

이에 본 논문에서는 주기적인 모니터링 환경에서 모든 노드의 데이터가 BS에 수집되는 시간을 줄이고, 상위 노드의 에너지 소모를 줄여 네트워크 전체의 수명을 향상시키는 동시에 전체 노드의 에너지 소모를 줄이는 방법들을 제안한다.

III. PM-MAC (Periodic Traffic Monitoring MAC)

3.1. PM-MAC 개요

기존 연구(1)에서는 트리구조의 하위 노드에서 측정된 데이터를 상위 노드에 전달하면서 수신된 데이터에 매번 자신의 데이터를 추가하여 보낸다. 이러한 방식에서 상위 노드는 하위 노드보다 더 많은 데이터를 보내게 된다. 또한 하위 노드에서 오는 데이터를 받은 다음 자신의 데이터를 보내는 방식은 리프(leaf) 노드의 깊이가 증가할수록, 리프노드에서 측정된 데이터가 BS에 도착하는 시간이 길어지는 문제점을 가진

다. 이에 본 논문에서 제안하는 PM-MAC에서는 TDMA 방식을 사용하여 기존 연구의 문제점을 해결하고, 결과적으로는 전체 데이터 처리율을 향상시키며, 동시에 에너지 소모를 줄인다. 또한 모니터링 환경에서 측정된 값이 이전에 측정된 결과와 작은 차이를 보이는 경우의 효율적인 전송방식과, 모니터링 환경에서 생길 수 있는 긴급 데이터를 빠르게 처리하는 방안을 제시한다.

본 논문에서 제안하는 PM-MAC은 최초 시작할 때에 각 센서 노드들은 RA(route advertisement) 패킷을 BS에 전송한다. RA 패킷에는 BS에 도착할 때까지 지나간 노드의 주소가 추가된다. 모든 노드로부터 RA 패킷을 받게 되면 BS는 네트워크의 토폴로지를 알 수 있다. 이 정보를 통해 우리가 제안한 알고리즘에 따라 루트를 결정하게 된다. BS에서는 해당 루트의 정보와 노드의 위치에 따라 타임 슬롯을 할당하여 각 노드에 SA(slot assignment) 패킷을 보내게 된다. SA 패킷을 받은 노드는 자신이 할당된 타임 슬롯에 동작한다. 주기적인 트래픽에서는 이러한 최초 동작이 네트워크가 구성된 다음에는 잘 일어나지 않는다.

다음은 본 논문에서 제안한 타임 스케줄링 방식과 루트 분할 방식에 대해서 설명한다.

3.2. 타임 스케줄링

타임 스케줄링은 그림1에서 보이는 것과 같이 각 노드가 모니터링한 데이터를 BS에서 할당된 슬롯에서만 송수신을 한다. 이와 같은 방식은 기존의 연구(1)과 D-MAC(5)와 유사하지만, 본 논문에서 제안하는 방식은 RTS/CTS를 사용하지 않고, 각 노드는 모니터링한 데이터를 한 번만 보낸다. 또한, 송신하는 노드는 라디오 간섭을 피할 수 있는(9) 3 홉(hop) 간격에 상위 노드의 타임 슬롯(Time Slot)을 사용하도록 한다.

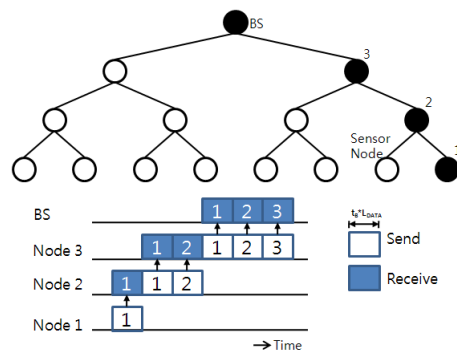


그림 1. PM-MAC 알고리즘의 타임 스케줄
Fig 1. PM-MAC time schedule algorithm

그림1에서 BS로 갈수록 송수신하는 길이가 길어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 BS에 가까워질수록 자신의 데이터와 자식 노드에서 보내온 데이터를 포함해서 전달하기 때문이다.

본 논문에서 제안하는 스케줄은 아래의 그림2와 같다. 각 노드는 BS가 정해준 타임 슬롯에서 데이터 수신 슬롯(R), 데이터 송신 슬롯(T), Sleep 슬롯(S)으로 한 라운드(Round)를 나눈다. 또한, 한 슬롯은 데이터 패킷이 보내는 데에 걸리는 시간($t_b * L_{DATA}$)을 기준으로 나누어진다.

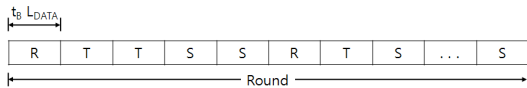


그림 2. PM-MAC의 타임 슬롯 스케줄
Fig 2. PM-MAC time slot schedule

즉, 모든 노드는 동일한 스케줄로 동작하지 않고 자신의 위치에 따라 다른 스케줄을 BS로부터 할당받으며, 자신이 모니터링한 데이터를 BS에 전달할 때에 노드의 3 홉 간격으로 상위 노드들이 동작할 수 있도록 타임 슬롯을 사용하여 전송 효율을 증가시킨다. 이와 같은 스케줄링 알고리즘은 그림3과 같은 환경에서 1번 노드가 데이터를 전송할 때에 라디오의 간섭을 피할 수 있는 3 홉 간격의 4번 노드가 전송을 시작하고, 2번, 5번 노드가 수신한다. 이러한 방식으로 전체 슬롯은 그림4와 같이 스케줄링 된다.

아래의 표1은 타임 스케줄에 사용되는 파라미터를 나타낸다.

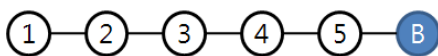


그림 3. 깊이 5 토폴로지의 예
Fig 3. Example of 5 depth topology

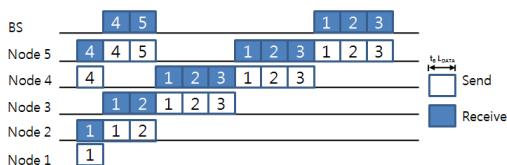


그림 4. PM-MAC 알고리즘의 타임 스케줄
Fig 4. PM-MAC time schedule algorithm

표 1. 스케줄 파라미터
Table 1. Parameter for Schedule

파라미터	의미
R	데이터 수신 슬롯
T	데이터 송신 슬롯
S	Sleep 슬롯
t_b	바이트 당 보내는 시간
L_{DATA}	데이터 패킷의 길이
ROUND	스케줄된 모든 슬롯이 끝나는 시간

3.3. 루트 분할

제안하는 스케줄링 알고리즘은 경쟁을 기반으로 하는 SMAC[3], T-MAC[4], D-MAC[5]들과는 다르게 충돌을 회피하기 위한 RTS/CTS, 백오프(Backoff), CW(Contention Window)등을 사용하지 않는다. 오히려 이것이 전송효율과 에너지효율을 저해할 수 있기 때문이다. 이러한 오버헤드를 발생시키지 않고 효율적인 스케줄링을 하기 위해, 즉, 그림5와 같이 각 루트(Route)를 나누는 방법을 사용한다. 전체 영역 중에서 하나의 루트에서만 전송이 이루어지게 하여 충돌을 회피하도록 한다.

기존 연구[1]의 스케줄링 방식에서는 루트를 분할하여 루트가 중복되더라도 이전에 보낸 데이터를 해당 라운드에서 여러 번 보내게 되는 문제를 안고 있다. 이를 해결하기 위해 중복되는 루트에서 데이터를 보내지 않는 방식으로 스케줄을 하면, 하나의 루트 길이가 짧아지며, 위로 올라갈수록 누적되는 데이터의 양이 줄어들기 때문에 네트워크 전체의 수명을 증가시키는 효과를 볼 수 있다. 이러한 상황을 아래 그림5를 통하여 기존의 연구[1]을 살펴보면, 리프 노드의 경우 한 라운드에서 자신의 데이터를 한 번씩 전송하는 것과 달리, BS의 첫 홉의 노드들은 8개의 루트가 겹쳐져서 자신의 데이터를 8번을 보내게 된다.

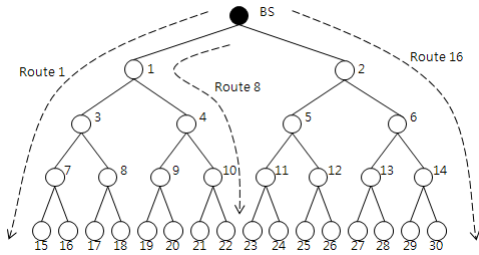
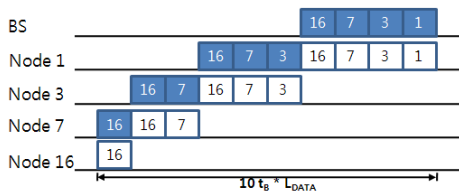
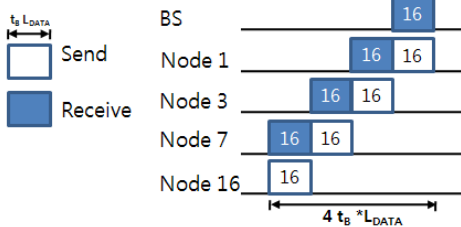


그림 5. 30개의 노드를 갖는 Balanced topology의 예 Fig5. Example of balanced topology in 30 nodes

그 중 그림5의 루트2(16-7-3-1)를 그림6을 통해 기존의 연구[1]과 비교해 보면, $6 \cdot t_B \cdot L_{DATA}$ 의 차이를 확인할 수 있다. 한 루트의 길이가 줄어들면, 같은 시간에 처리할 수 있는 데이터의 양이 늘어나며, 6개의 패킷을 줄임으로써 상위 노드에 가중되는 트래픽과 전체 네트워크의 에너지 소모를 줄일 수 있다.



(a) SEA-MAC v2의 경우 (a) Case of SEA-MAC v2



(b) PM-MAC의 경우 (b) Case of PM-MAC

그림 6. 그림 5에서 Route 2의 스케줄링 비교 Fig 6. Comparison with Route 2 scheduling in Fig 5

3.4 효율적인 데이터 전송 방식

트리구조의 네트워크에서 측정 한 값을 BS에 전달할 때에 상위 노드는 하위 노드들의 데이터가 모이기 때문에 트래픽이 증가한다. 이로 인하여 상위 노드의 에너지가 빠르게 소모되어 하위 노드들이 살아 있어도 BS에 데이터를 전달하지 못하

여 문제가 생기게 된다.

본 논문에서는 이를 해결하기 위해 무선 센서 네트워크에서 주변 환경을 모니터링할 때에 측정값이 각 노드가 이전에 보낸 측정값과 임계값(threshold) 이상 차이가 날 경우에만 데이터를 전송하고, 임계값 이내의 변화는 컨트롤 패킷(Control Packet)만 보내어 송신노드와 수신노드 양쪽을 Sleep모드로 변경하게 한다. BS에 컨트롤 패킷이 전달되면 해당 노드가 전송한 이전의 데이터를 업데이트 하지 않고 유지한다.

이를 위한 컨트롤 패킷(Control Packet)의 구조는 송수신 주소를 포함한 그림 7과 같고, 이로 인하여 데이터 패킷에 비하여 짧은 시간에 보낼 수 있으며 에너지가 소모가 적게 된다.

2	2	6	6	4
Frame control	Du- Ration	Recv Addr	Trans Addr	FCS

그림 7. PM-MAC 컨트롤 패킷 구조 Fig 7 PM-MAC Control Packet Format

예를 들어, 2번과 3번 노드의 데이터가 이전 라운드에 전송한 데이터와 유사할 경우에 아래의 그림 8과 같이 동작한다.

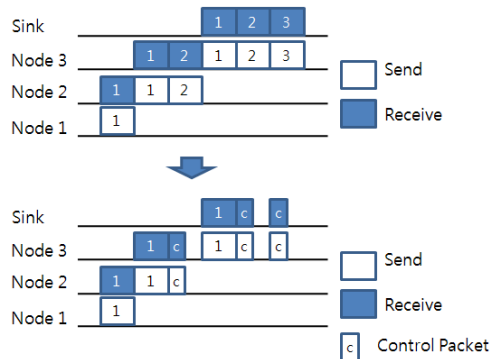


그림 8. 유사한 데이터를 전달하는 경우 Fig 8. Case of similar data

데이터의 크기가 그림9와 같은 IEEE 802.11[10]의 데이터 프레임 구조를 따른다면 41%이상의 에너지 효율을 볼 수 있다.

2	2	6	6	6	2	6	0~2312	4
Frame control	Du- Ration	Address 1	Address 2	Address 3	Sequence Control	Address 4	DATA	FCS

그림 9. 802.11 데이터 프레임 구조 Fig 9. 802.11 Data Frame Format

3.5 임계값을 넘는 긴급 데이터의 효율적인 전송 방식

모니터링 환경에서 무선 센서노드는 긴급한 상황(임계값을 넘는 데이터)이 발생 하였을 경우 최대한 빠른 시간에 BS에 데이터를 전달해야만 한다. 하지만 해당 데이터를 보내기 위하여 할당된 슬롯을 기다려야 한다. 하지만 기존의 연구[1]에서는 자신에게 할당된 슬롯이 지나고 생기는 긴급 데이터를 처리하기 위해서 다음 라운드까지 기다려야 한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 한 라운드에서 자신에게 할당된 타임 슬롯이 지나고 긴급 데이터가 발생하였을 경우 그림 10과 같이 라운드가 끝나는 시간에 EDP(Emergency Data Period)를 주어 한 번의 전송 기회를 더 준다.

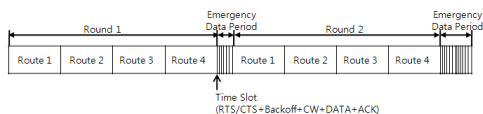


그림 10. 긴급 데이터 구간
Fig 10. Emergency Data Period

각 라운드가 끝나는 시간마다 CSMA방식에 EDP를 넣어 네트워크의 모든 노드들이 일어나 해당 라운드에서 경쟁을 통해서 보내지 못한 긴급 데이터를 전송한다. 긴급 데이터 기간은 하나의 데이터를 전송할 수 있는 시간(RTS/CTS+백오프+CW+tb*LDATA+ACK)의 여러 타임 슬롯들로 구성된다. 초기에 긴급 데이터 기간의 타임 슬롯 수는 데이터를 리프 노드에서 BS에 보낼 수 있는 시간으로 시작한다. 이 후 긴급 데이터가 발생하였을 경우 2배씩 증가하며, 발생하지 않았을 경우 초기 타임 슬롯의 수로 줄어든다.

이렇게 라운드 뒤에 한 번 더 전송 기회를 주어 긴급 데이터를 보낼 수 있는 기회를 준다면, 긴급 데이터를 보내기 위해 기다리는 시간을 평균적으로 절반 정도 줄일 수 있다.

IV. 성능분석

본 장에서는 본 논문에서 제안한 PM-MAC의 효율성 증을 위하여 기존 연구인 SEA-MAC[1]과의 비교가 이루어진다. 성능비교에 사용된 센서 노드의 토폴로지는 앞의 그림5와 같다. 각 노드가 두 개의 두 개의 자식 노드를 포함하여 트리의 깊이가 증가하는 토폴로지를 가진다. 아래의 표2는 성능 분석에 사용되는 파라미터에 대한 설명을 보여 준다.

표 2. 성능 분석 파라미터
Table 2. Parameter for Performance Analysis

파라미터	의미
D_n	n번째 깊이의 노드 수
$ D_n $	토폴로지의 최대 깊이
E_B	바이트 당 소모되는 에너지
EN	노드의 에너지 (10000*EB*LDATA)
$ R_j $	토폴로지의 모든 루트 수
R_jP	j번째 루트에 보내는 패킷의 수
P	패킷의 수
L_n	n번째 깊이의 노드 수명

먼저 트리의 깊이가 증가함에 따라 한 라운드에서 루트에 속한 모든 노드가 전송하는 패킷의 수는 아래의 수식 (1)을 통하여 얻을 수 있다.

$$P = \sum_{n=1}^{|D_n|} (n \times D_n) \dots\dots\dots (1)$$

수식(1)은 n의 깊이에 노드들이 BS까지 데이터를 전송하기 위한 패킷의 수를 모두 합한 것이다. 아래의 그림 11에서 센서 노드 트리의 깊이가 증가함에 따라 한 라운드에서 전송되는 패킷의 수에 대한 비교를 보여 준다. 그림에서 볼 수 있듯이 하나의 루트에서 홉의 수가 증가함에 따라 루트 상의 모든 노드가 전송하는 패킷의 수는 증가하는데, 기존의 연구[1]에 비해서 PM-MAC 프로토콜은 증가폭이 낮은 것을 볼 수 있다. 모든 노드가 한 라운드에 보내는 패킷의 수가 줄었다는 것은, 그만큼 에너지의 소모가 줄었다는 것을 의미한다.

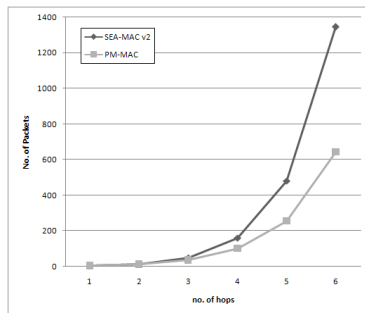


그림 11. 트리의 깊이 증가하는 것에 따른 한 라운드에 전송되는 패킷의 수
Fig 11. No. of packets in a round as increasing the depth of tree

아래 그림 12는 센서 노드들의 트리 깊이가 증가함에 따라 BS 첫 홉 노드의 수명에 대한 비교를 보여 준다. 여기서 모든 노드들이 sleep 상태에 있을 때 에너지를 소비하지 않으며, 각 노드들은 10,000개의 데이터를 송수신할 수 있는 에너지를 보유하고 가정하기로 한다. 이 때 BS에 첫 홉 노드의 수명은 다음과 같이 표현되어질 수 있다.

$$L_1 = E_N \div \left\{ E_B \times L_{DATA} \times 2 \times \sum_{n=2}^{|D_n|} D_n + 1 \right\} \dots\dots (2)$$

수식(2)는 한 라운드에 BS의 첫 홉 노드가 데이터를 수신하거나 데이터를 송신한 경우에 소모되는 에너지를 노드의 수명에 나누어 동작 가능한 라운드 즉, 수명을 나타낸다. 그림 12에서 볼 수 있듯이 트리의 깊이가 증가할수록 첫 홉의 수명이 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만 홉이 증가할수록 두 알고리즘의 차이를 보면, 기존의 연구(1)에서의 경우 더 빠른 시간에 수명이 끝나는 것을 볼 수 있다. BS에 첫 홉 노드의 경우 데이터를 BS에 전달하기 위한 중요한 노드이기 때문에, 해당 노드의 수명이 끝나면 전체 네트워크가 더 이상 동작할 수 없음을 의미한다.

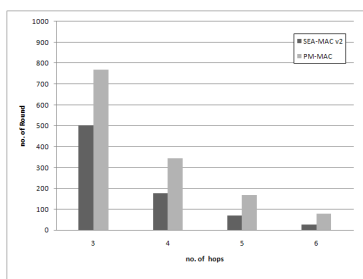


그림 12. 트리의 깊이가 증가하는 것에 따른 BS 첫 홉 노드의 수명 비교
Fig 12. Comparison with life time of First hop node from BS as increasing the depth of tree

데이터 처리율에 대한 성능을 살펴보기 위하여 앞의 그림5의 토폴로지를 사용하였다. 한 라운드의 시간은 식 (3)과 같이 표현되어질 수 있다.

$$\partial = t_B \times L_{DATA} \times \sum_{j=0}^{|R_j|} \begin{cases} (3 \times (|D_n| - 1)) & (R_j P \geq 3) \\ (2|D_n| - 1) & (R_j P = 2) \\ |D_n| & (R_j P = 1) \end{cases} \dots\dots (3)$$

수식 (3)은 하나의 데이터를 보내는 시간($t_B \times L_{DATA}$)을 기준으로 해당 루트에 전달하는 데이터의 수에 따라 각 루트에 소모되는 시간을 합하여 한 라운드의 시간을 의미한다. 이러한 경우, 모든 노드들의 데이터가 수집되는 라운드가 증가함에 따른 시간은 그림13과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 동일한 시간 동안 기존 연구(1)에서 9번의 데이터를 수집하는데 반해, PM-MAC은 20번의 데이터를 수집하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 본 논문에서 제안한 PM-MAC의 스케줄링 알고리즘이 동일 시간에 더 많은 데이터를 효율적으로 수집할 수 있고, BS의 첫 홉의 노드들에 가중되는 트래픽을 줄이는 동시에 네트워크 전체의 에너지소모를 줄일 수 있다는 것을 의미한다.

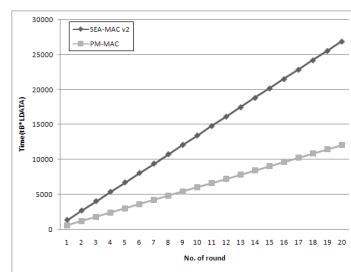


그림 13. 누적된 라운드 시간 비교
Fig 13. Comparison with Accumulated Round Time

V. 결론

기존의 연구(1)에서 제안된 알고리즘에서는 리프 노드의 깊이가 증가하면 루트의 길이가 증가한다. 또한 하위 노드들을 많이 가지는 상위 노드는 다른 노드들에 비하여 훨씬 많은 데이터를 전송하게 된다. 이로 인하여 전체적인 데이터 처리율이 감소하고, 상위 노드에 트래픽이 가중되어 전체 네트워크의 수명이 줄어드는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위하여 3홉 간격의 유희 타임 슬롯 사용하고, 한번 보낸 데이터를 다른 루트에 반복하여 보내지 않는 방법과 이전에 측정된 값과 유사한 경우 이를 컨트롤 패킷을 전송하여 이전의 측정된 값을 유지하는 방법을 제안하였다.. 추가적으로 임계값을 넘는 긴급 데이터를 효율적으로 전송하는 방법에 대해서 고려하였다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 주기적인 트래픽의 모니터링 환경에서 에너지의 소모와 데이터 처리율, 그리고 임계값을 넘는 긴급 데이터가 발생한 상황에도 대처할 수 있도록 기존 연구들의 단점을 개선했다고 볼 수 있다.

참고문헌

- [1] M. Erazo, Y. Qian, "Analysis and Design of a MAC Protocol for Wireless Sensor Networks with Periodic Monitoring Applications", Military Communications Conference, 2007. MILCOM 2007. IEEE, 2007
- [2] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramanian, and Erdal Cayirci, "A Survey On Sensor Networks," IEEE Communications, pp.102-114, Aug. 2002.
- [3] W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Volume: 12, Issue: 3, Pages:493 - 506, June 2004.
- [4] Tijs van Dam and Koen Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," Conference On Embedded Networked Sensor Systems, Nov. 2003.
- [5] G. Lu, B. Krishnamachari, C. S. Raghavendra, "An Adaptive Energy-Efficient and Low-Latency MAC for Data Gathering in Wireless Sensor Networks", Proceedings of IPDPS'2004, April 2004.
- [6] L.F.W. van Hoesel and P.J.M. Havinga, "A Lightweight Medium Access Protocol for Wireless Sensor Networks," in INSS, 2004
- [7] A. Rowe, R. Mangharam and R. Rajkumar, "RT-Link: A Time Synchronized Link Protocol for Energy Constrained Multi-hop Wireless Networks," In IEEE SECON, September 2006.
- [8] M. Erazo, Y. Qian, "SEA-MAC: Simple Energy Aware MAC Protocol for Wireless Sensor Networks for Environmental Monitoring", Proceedings of ISWPC'2007, San Juan, PR, February 5-7, 2007.
- [9] Hari Balakrishnan et al. The distance-2 matching problem and its relationship to the mac-layer capacity of ad hoc wireless networks. IEEE Journal on Selected Areas in Comm., 22(6):1069 - 1079, August 2004.

- [10] IEEE, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std. 802.11, June 2007.

저자소개



김 동 민

2007년 2월 선문대학교 졸업
 2007년 3월 ~상명대학교석사과정
 <관심분야> WLAN, 센서 네트워크,
 QoS, 멀티미디어 통신



김 성 철

1995년 6월 : Polytechnic University
 (NY) 공학박사(Ph.D)
 1997년 2월~현재 : 상명대학교 교수
 <관심분야> WLAN, 센서 네트워크,
 QoS, 멀티미디어 통신