
무선 센서 네트워크에서 QoS를 인지하는 Cross-layer MAC 프로토콜

박현주* · 김성철**

QoS Aware Cross-layer MAC Protocol in wireless Sensor Networks

Hyun-Joo Park* · Seong-Cheol Kim**

요 약

논문에서는 다중의 sink 노드를 가지는 무선 센서 네트워크에서 서비스의 질(Quality of Service: QoS)을 지원하면서 에너지 소모를 줄이는 MAC 프로토콜(QAC-MAC)을 제안한다. 일반적으로 데이터 수집 네트워크에서 sink 노드 근처의 노드들은 많은 양의 데이터를 처리해야 하므로 sink 노드 부근에서 혼잡이 발생하게 되어 지연에 민감한 데이터에 치명적일 수가 있다. QAC-MAC은 센서 노드들의 에너지 자원을 절약하면서 전체 네트워크 수명을 높이기 위하여 매체 접근 및 스케줄링을 위하여 경쟁기반 프로토콜과 충돌없이 데이터를 전송하기 위한 TDMA 기반의 데이터 전송 구조를 가지는 하이브리드 메커니즘을 사용한다. 일반적으로 우선순위가 높은 실시간 트래픽은 버스티하고 동일한 목적지를 가지는 특성을 가진다. QAC-MAC은 cross-layer 개념을 도입하여 각 센서 노드에서 동일한 목적지로 향하는 데이터를 재정돈하여 가능한 적은 노드들만이 데이터 전송에 참여함으로써 에너지를 절약함으로써 전체 네트워크 수명을 연장한다.

ABSTRACT

In this paper we propose the QAC-MAC that supports Quality of Service(QoS) and saves energy resources of the sensor node, and hence prolonging the lifetime of the sensor network with multiple sink nodes. Generally, the nodes nearest to the sink node often experience heavy congestion since all data is forwarded toward the sink through those nodes. So this critically effects on the delay-constraint data traffics. QAC-MAC uses a hybrid mechanism that adapts scheduled scheme for medium access and scheduling and unscheduled scheme based on TDMA for no data collision transmission. Generally speaking, characteristics of the real-time traffic with higher priority tends to be bursty and has same destination. QAC-MAC adapts cross-layer concept to rearrange the data transmission order in each sensor node's queue, saves energy consumption by allowing few nodes in data transmission, and prolongs the network lifetime.

키워드

Wi시분할 다중 접근, 무선 센서 네트워크, 서비스의 질, 다중접근제어

Key word

TDMA(Time Division Multiple Access), WSNs(Wireless Sensor Networks), QoS(Quality of Service), MAC(Multiple Access Control)

* 상명대학교 컴퓨터학과 박사과정
** 상명대학교 컴퓨터과학부 교수 (교신저자, sckim@smu.ac.kr)

접수일자 : 2010. 10. 01
심사완료일자 : 2010. 11. 03

I. 서 론

현재 무선 센서 네트워크 분야에서의 대부분의 연구는 전체 네트워크의 수명(lifetime)을 연장하기 위한 각 센서노드들의 에너지 효율적인 동작에 집중되고 있다. 이는 센서 네트워크를 구성하는 센서노드들이 주로 배터리에 의해 동작되고 있으며, 지속적인 전원 공급을 위해 배터리의 교환이 어렵기 때문이다[1]. 그러나 WSNs이 군사 감시(military surveillance), 환경관리 뿐만 아니라 실시간, 멀티미디어 응용까지 확대되면서 지연(latency), 효율(throughput), 대역폭(bandwidth) 등 서비스의 질(QoS) 지원에 대한 요구가 점차 많아지고 있다. 기존의 네트워크에서 QoS 지원은 특정 파라미터, 예를 들어 효율, 중단간의 패킷 지연, 패킷 손실률 등을 만족시키는 것이었다. 따라서 WSNs를 구성하고 있는 각 센서노드들이 배터리에 의해 동작되는 환경에서 효율적인 에너지 사용이 중요하기 때문에 지속적인 에너지 공급을 기반으로 하는 기존 데이터 네트워크에서 개발된 QoS 지원 프로토콜을 WSNs에 그대로 적용하기에는 여러 가지 문제점을 가진다[2][3].

WSNs에서 필요한 QoS 파라미터들은 지연, 패킷 손실률, 대역폭, 효율 등을 들 수 있다. 이들 중 일부는 데이터 큐잉, 스케줄링, 접근제어와 같이 MAC 계층에서 이루어진다. 그러나 WSNs에서는 이들 QoS 파라미터들에 대한 지원과 더불어 전체 네트워크 수명 연장이라는 복합된 문제 해결이 필요하다. 지금까지 이에 대한 연구 결과는 네트워크 수명과 이들 QoS 지원과의 관계는 역의 관계를 가지고 있음을 보여 준다[2]. 예를 들어, 에너지 수명을 연장하기 위하여 센서 노드들이 주기적인 sleep 모드로 전환하는 것은 전체 데이터 전송에 있어서 지연을 증가시킨다. 따라서 WSNs에서 QoS 지원은 반드시 센서 노드들의 효율적인 에너지 사용과 연관시켜 고려해야 한다. 또한 앞에서 열거한 WSNs의 응용 중 지연을 고려해야 하는 경우에 있어서, 각 센서 노드에서 전송되어질 데이터 중 우선순위가 높은 것과 낮은 것이 섞여 있는 경우를 고려해야 한다. 일반적으로 WSNs의 각 노드들은 자신이 측정한 값을 sink 노드로 전달하거나 혹은 이웃 노드들로부터 전송받은 데이터를 전송해야 한다. 이 때 이들 데이터 사이에 긴급성의 차이로 인한 전송 우선순위를 달리할 필요가 생기게 된

다. 그러나 지금까지의 많은 연구에서는 이러한 차별화 보다는 모든 데이터들이 동일한 긴급성 혹은 우선순위를 갖는다는 가정 하에 이루어졌다. 또한 일반적으로 데이터 수집 네트워크에서 sink 노드 근처의 노드들은 많은 양의 데이터를 처리해야 하므로 sink 노드 부근에서 혼잡이 발생하게 되어 지연에 민감한 데이터에 치명적일 수가 있다[4].

본 논문에서는 위와 같은 환경을 고려하여 각 센서 노드에서 서로 다른 우선순위의 데이터를 전송하는 경우를 고려하였다. 각각의 센서 노드들은 자신이 측정 혹은 관측한 데이터와 이웃 노드로부터 전송받은 데이터를 목적지 노드로 전송하기 위하여 저장한다. 이 때 자신의 버퍼에 있는 데이터를 처리함에 있어서 FIFO 방식을 따른다고 할 때, 우선순위를 가지는 데이터가 일반 데이터의 뒤에 적재될 경우에 우선순위를 가지는 데이터 전송이 늦어질 수 있게 된다. 이 경우에 데이터 전송의 순서를 재배치함으로써 이러한 문제점을 해결할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안된 QAC-MAC은 cross-layer에 기반을 둔다 [11]. 이는 각 센서 노드의 인터페이스 큐(interface queue)에 접근하여 데이터를 재배치해야 하는데, 이러한 일은 MAC의 상위 계층 일이기 때문이다. 일반적으로 MAC 계층에서는 스케줄링, 매체 접근, 대역폭 이용 및 홉 간 전송 지연 등의 역할을 담당하고, 네트워크 계층에서는 패킷 전송을 위한 라우팅, 링크 선택 등을 담당한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 지금까지 이루어진 QoS 지원 프로토콜의 분류와 그 특성 및 관련 연구에 대해 살펴본다. QAC-MAC에 대해 3장에서 자세히 설명한 후에 4장에서는 제안된 프로토콜 성능의 우수성을 기존의 프로토콜과의 비교를 통하여 보여주고 5장에서는 본 논문의 결론이 이루어진다.

II. 관련 연구

WSNs에서 QoS의 지원은 매체접근과 데이터 전송의 스케줄링을 담당하는 MAC 계층과 QoS 라우팅과 같이 네트워크 계층, 그리고 응용계층에서 이루어진다. 그동안 MAC 계층에서 이루어진 연구들은 임의 접근(random-access) 방식, 슬롯 접근(slotted-access) 방식, 그

리고 이들 둘을 조합한 하이브리드(hybrid) 방식으로 구분되어 질 수 있다. 임의 접근 방식은 경쟁기반(contention-based) 프로토콜로써 CSMA 프로토콜이 가장 대표적인 예이다. 임의 접근 방식은 구현하기 쉽다는 장점을 가진다. CSMA 방식에서 전송할 데이터가 있는 노드들은 전송 전에 미리 채널을 감지하여 채널이 busy인 경우에 전송을 미루고, 채널이 idle인 경우에 데이터를 전송한다. 두 개 이상의 노드들이 동시에 데이터 전송을 위해 채널을 접근하는 경우에 충돌이 발생할 수 있다. SMAC[1], TMAC[5], DMAC[4] 등이 이 방식에 속한다.

TDMA 방식이 대표적인 슬롯 접근 혹은 스케줄링 방식은 여러 센서 노드들이 서로 다른 시간대인 슬롯을 할당 받아 전송하기 때문에 노드들 간의 경쟁 혹은 충돌 없이 데이터를 전송할 수 있다. 그러나 노드들 간의 스케줄링이 쉽지 않을 뿐 만 아니라, 스케줄을 담당하는 중앙 노드와 센서 노드들 간의 엄격한 동기화를 요구한다. 위의 두 방식의 장점만을 뽑아서 만든 하이브리드 방식이 제안되었는데, 이 방식의 가장 큰 장점으로는 트래픽에 쉽고 빠르게 대응함으로써 에너지를 절약할 수 있다는 것이다.

WSNs에서 QoS 지원에 대한 연구가 그 동안 많이 이루어졌다[6][7][8][9][10]. 그 중 [6]에서 제안된 프로토콜은 일정 구간 동안 전송된 트래픽 중 지배적인(dominant) 트래픽에 따라 active time(TA)를 설정하여 duty cycle을 조절함으로 QoS를 지원한다. 그러나 제안된 알고리즘에서 동일한 지배적인 트래픽일지라도 구성되는 다른 특성의 트래픽을 고려하지 않을 뿐 만 아니라, 측정하는 구간 등의 여러 요소에 의해 제한받는 문제점을 가진다. 또한 [2]에서 제안된 EQ-MAC에서는 우선순위에 따라 트래픽을 구분해 주는 Classifier MAC과 채널 액세스 MAC을 통하여 QoS를 지원해준다. 그러나 EQ-MAC은 센서 노드들과 헤드 노드 사이의 원 홉 구조에만 적용 가능하므로 여러 홉으로 구성되는 실제의 WSNs에는 적확히 적용하기 어려운 문제점을 가진다. WSNs에서의 문제점인 에너지 효율적인 사용과 QoS 지원을 통합한 프로토콜이 [7]에서 제안되었다. 여기서 제안된 클러스터 기반의 프로토콜에서는 intra-cluster와 inter-cluster로 구분되는데 사용되어지는 파라미터들의 값에 따라 성능에 많은 영향을 미치는 문제점을 가진다.

본 논문에서 제안된 QoS 지원 알고리즘의 관련 연구와의 차별성은 다음과 같다.

- cross-layer 설계 방식을 통해 QoS를 지원한다.
- 대규모 네트워크 환경에서 QoS를 지원하면서 에너지를 절약함으로써 네트워크 수명을 연장시킨다.

III. QAC-MAC 프로토콜

이 절에서는 본 논문에서 제안한 QAC-MAC의 동작에 대해 자세히 설명한다. 본 논문에서 제안된 QAC-MAC은 클러스터 기반의 프로토콜이다. 클러스터 기반의 MAC 프로토콜은 클러스터 헤드 기반의 알고리즘과 분산(distributed)된 능동(dynamic) 클러스터 알고리즘으로 나뉘어진다. 클러스터 헤드 기반 알고리즘에서 클러스터 헤드는 클러스터 내에서 센서 노드들 사이에 로컬 제어 포인트 혹은 로컬 조정자(coordinator) 역할을 담당한다. 따라서 클러스터의 효율적인 관리가 가능하고 적절한 부하 균등(load balancing)을 얻을 수 있다고 가정한다. QAC-MAC은 클러스터 헤드 기반의 프로토콜이다. 그러나 본 논문에서는 클러스터 헤드 선정에 초점을 맞춘 것이 아니기 때문에 기존의 LEACH 알고리즘 혹은 변형된 알고리즘 모두에 적용할 수 있다.

QAC-MAC은 크게 두 부분으로 나뉘어진다. 첫 부분은 각 센서 노드에서 수신 혹은 측정된 데이터의 특성에 따른 우선순위별로 재정돈하는 메커니즘 즉, QoS를 고려한 cross-layer MAC 프로토콜이다. 두 번째 부분은 헤드 선정 알고리즘을 통해 선정된 헤드 노드를 중심으로 각 센서 노드의 데이터를 전송하는 메커니즘이다. 다음은 이들 메커니즘들에 대하여 자세히 살펴보기로 한다.

3.1 QoS를 고려한 cross-layer MAC 프로토콜

각 센서 노드들은 자신이 측정한 값 혹은 이웃 노드로부터 받은 데이터의 전송 긴급성(transmission urgency) [3]에 따라 이들 데이터에 대하여 우선순위를 부여한다. 전송 긴급성 μ 는 응용계층의 중요성에 따른 패킷 긴급성(C_p), 재전송 비용을 나타내는 전송 홉(transmission hops)(H_p), 잔여 에너지(residual energy)(E_r), 그리고 큐의

비례적인 부하(queue's proportional load)에 영향을 받는데 그 관계식은 다음과 같다.

$$\mu = \frac{1}{4} \times \left(\frac{E_c}{E_{max}} + \lambda + \frac{C_c}{C_{max}} + \frac{H_c}{H_{max}} \right) \quad (1)$$

이다. 여기서 큐의 비례적인 부하는 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{1}{2} \times \left(\frac{\sum_{i=1}^n w_i Q_c(i)}{\sum_{i=1}^n w_i Q(i)} + \max_{k=1 \dots n} \left(\frac{Q_c(k)}{Q(k)} \right) \right) \quad (2)$$

위의 식에서 E_{max} 는 초기 에너지, H_{max} 는 허용된 최대 흡수, C_{max} 는 패킷의 긴급성 레벨을 나타낸다. 또한 n 은 큐의 수, w_i 는 i 번째 큐의 서비스 가중치, Q_i 와 $Q_c(i)$ 는 부하의 최대치와 순간치를 나타낸다. 위의 식을 통해 얻은 값으로 센서 노드의 우선순위 값 ρ 와 충돌 시간 t_{CT} 은 다음의 식으로 주어진다.

$$\rho = \max(\lfloor (1-\mu) \times N \rfloor, N-1) \quad (3)$$

$$t_{CT} = \rho \times CW + rand(CW) \quad (4)$$

여기서 본 논문에서는 편이를 위해 우선순위가 높은 데이터와 낮은 데이터 두 종류로 구분하였으나 이는 응용에 따라 여러 종류로 확산될 수 있다. 높은 우선순위의 데이터의 예로써 멀티미디어 응용 관련 데이터 혹은 미리 정해진 임계값보다 높은 비정상적인 측정값을 들 수 있다. 일반적으로 우선순위가 높은 데이터는 지연에 민감한(delay sensitive) 데이터이다. 각 노드에서는 자신이 측정된 데이터 혹은 전달받은 데이터에 대해 앞의 식(3)에 의해 결정된 우선순위에 따라 해당 FIFO 큐에 넣는다. 이때 우선순위에 따라 각각 독립된 FIFO 큐에 들어온 데이터는 각각 목적지가 다를 수 있다. FIFO 큐의 특성 상 먼저 들어 온 데이터는 먼저 서비스를 받는다. 따라서 FIFO 큐에 들어 있는 데이터의 목적지가 다른 데이터가 섞여서 전송되어질 때 많은 노드들이 데이터 전송에 참여하게 된다. 본 논문에서는 데이터의 전송되어지는 목적지에 따라 데이터의 전송순서를 바꾸

어 전체 네트워크의 전송 에너지를 줄이는 방안을 제안하였다. 이 때 각 노드는 임시 버퍼(temporary buffer)를 생성하여 이 임시로 생성된 버퍼에 접근하여 패킷을 전송하게 우선적으로 전송하게 된다. 이 기능은 MAC 계층에서 이루어질 수 없기 때문에 본 논문에서 제안된 프로토콜은 cross-layer 구조를 가진다. 요약하면 다음과 같다.

- 데이터의 우선순위에 따라 서로 다른 큐에 넣는다.
- 큐에 있는 데이터 중 동일한 목적지를 가지는 데이터를 모아 순서를 재 정돈한다.

하나의 노드에는 우선순위에 따라 여러 개의 큐를 가지게 된다. 우선순위가 높은 큐에 들어 있는 데이터 전송이 완료된 이후에 우선순위가 낮은 큐에 있는 데이터들이 전송되어진다.

3.3 QoS를 지원하는 Hybrid MAC 프로토콜

QAC-MAC의 두 번째 구성요소로는 각 센서 노드에서 수신 혹은 측정된 값을 해당 클러스터 헤드 노드로의 전달하는 메커니즘이다. 이 메커니즘에는 각 센서 노드에서 헤드 노드로 전송하는 과정을 포함하는데, 각 센서 노드에서 우선순위에 따른 데이터 전송 스케줄링과 여러 센서 노드들에서 헤드노드로의 공유하는 채널을 통한 데이터 전송 스케줄링을 포함한다. 센서 노드들과 헤드노드 사이의 전송에 있어서 본 논문에서 제안된 QAC-MAC은 앞에서 설명된 것과 같이 경쟁기반과 비경쟁기반 MAC의 혼합된 형태를 가진다. 각 센서 노드에서 헤드노드로의 데이터 전송을 위한 매체 접근 및 전송 순서 결정은 경쟁기반으로 이루어지지만, 실제 데이터 전송에 있어서는 미리 설정된 슬롯을 통하여 경쟁 없이 전송하는 TDMA 방식을 따른다. 다만 헤드 노드에서 슬롯을 할당하는 것과 센서노드들이 헤드 노드로 제어 신호를 보내는 방식에서 기존에 제안되었던 알고리즘과 차별을 가진다. 이는 [2]에서 제안된 데이터 전송방식과 유사하다. 그러나 본 논문에서 제안된 알고리즘에서는 우선순위가 낮은 데이터를 전송하려고 요청 메시지를 보낸 센서 노드에서 헤드 노드로부터 슬롯을 할당받지 못하였을 경우에는 다음 프레임에서 데이터 전송 요청을 하지 않음으로 우선순위가 높은 데이터의 전송 지연을 줄인다.

각 센서 노드는 임시 큐에 재배치된 패킷을 전송하는데 있어서 아래와 같은 절차를 따른다.

- 클러스터 헤드 노드는 각 프레임의 시작에서 클러스터 내에 있는 센서 노드들에게 Sync 메시지를 전송한다.
- 전송할 데이터를 가지는 각 노드들은 요청(Request) 구간에서 데이터 전송을 위하여 클러스터 헤드 노드에게 자신이 전송할 데이터의 우선순위를 포함하는 요청 메시지를 전송한다. 즉, 전송할 데이터를 가지는 노드는 헤드 노드에게 RTS를 보내고 채널 액세스를 위하여 CTS를 기다린다.
- 스케줄링 구간에서 클러스터 헤드 노드는 스케줄링 메시지를 모든 센서 노드들에게 전송한다. 이 때 스케줄링 메시지에는 할당된 TDMA 슬롯을 포함한다. 클러스터 헤드 노드가 스케줄링 메시지를 만들 때 데이터의 우선순위와 데이터의 목적지를 고려한다. 만일 우선순위가 높은 데이터 전송 요청이 많은 경우 낮은 우선순위의 노드에게 슬롯을 할당하지 않을 수 있다.
- 만일 전송요청 메시지를 전송하였으나 슬롯 할당을 받지 못한 소스 노드는 다음 프레임의 request 구간에서 데이터 전송 요청을 하지 않는다. 우선순위가 낮은 데이터를 요청하였거나 동일 목적지로 향하는 데이터 전송을 우선으로 하는 방식 때문에 슬롯 할당을 받지 못하는 경우가 있을 수 있다.
- 데이터 전송 구간에서는 TDMA 슬롯을 할당 받은 센서 노드들이 자신의 슬롯에 데이터를 전송한다. 이 구간에서 데이터 전송에 참여하지 않는 노드들은 슬립 모드로 들어간다.

따라서 본 논문에서 제안된 QAC-MAC은 데이터 전송 구간 동안에 가능한 최소의 노드들만이 데이터 전송에 참여하고 나머지 노드들은 sleep 모드에 머물게 함으로써 전체 네트워크의 에너지를 절약할 수 있다.

QAC-MAC의 프레임 구조와 요청 메시지 형식은 아래 그림 1과 2에서 보여 준다.

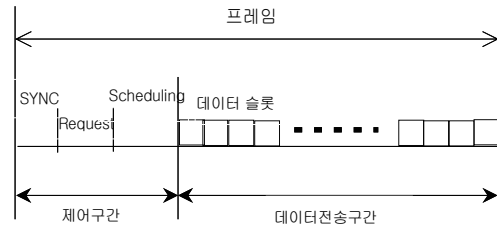


그림 1. 프레임 형식 구조
Fig. 1 Frame format structure

타입	소스주소	헤드노드주소	우선순위
----	------	--------	------

그림 2. 요청 메시지 형식
Fig. 2 Request message format

IV. 성능 분석 및 비교

본 논문의 성능 분석을 위하여 대략 100m X 100m 공간에 100 개의 센서 노드가 있다고 가정한다. 본 논문에서 사용한 대표적인 파라미터 값은 다음과 같다[2]. Sync, 스케줄링, 임의 접근 과정에서의 슬롯의 수는 각각 10, 100, 70 개이며, 그 길이는 1ms이다. 또한 데이터 전송 구간의 슬롯은 85개이며, 그 길이는 3ms 라고 가정한다. 소모되는 에너지는 전송 시 20 mW, 수신시 14.4 mW, sleep 시 0.016 mW 이다. 마지막으로 프레임의 길이는 610 ms, 충돌 윈도우(contention window)의 크기는 15 ms로 가정하였다. 본 논문에서 제안된 QAC-MAC은 멀티 홉의 센서네트워크에 적합하게 제안되었으나, 여기서는 성능 비교를 위하여 센서 노드들과 sink 노드간의 단일 홉인 경우를 고려하였다. 마지막으로 센서 노드들은 항상 보낼 데이터를 가지고 있으며, 동일한 목적지를 가지는 데이터의 비율은 평균 20%로 가정하였다.

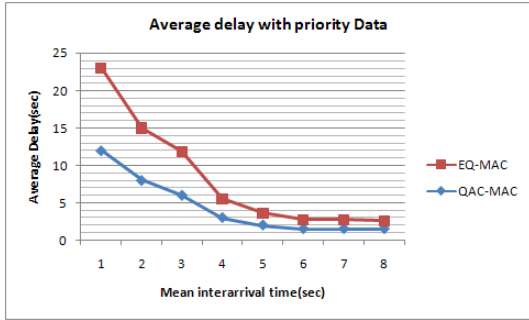


그림 3. 우선순위 데이터의 평균지연
Fig. 3 Average delay with priority data

그림 3은 우선순위 데이터의 평균 지연을 보여준다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 QAC-MAC에서 우선순위가 높은 데이터의 지연은 EQ-MAC보다 적은 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라 전체 전송되는 데이터 중 우선순위 데이터의 비중이 높거나 혹은 동일 목적지로 향하는 데이터가 증가할수록 지연의 성능이 훨씬 좋아짐을 여러 시뮬레이션을 통하여 알 수 있었다.

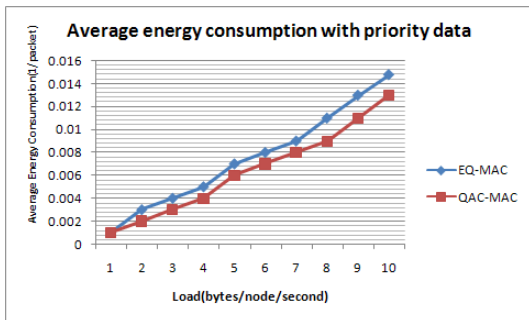


그림 4. 우선순위 데이터의 평균에너지 소모
Fig. 4 Average energy consumption with priority data

그림 4는 우선순위 데이터의 패킷 당 평균 에너지 소모량을 보여준다. 전송되는 트래픽의 양이 증가할수록 에너지 소모가 많으며, QAC-MAC을 사용할 경우 소모되는 에너지가 EQ-MAC보다 적은 것을 알 수 있다. 여기서 평균 에너지 소모는 다음과 같은 관계식을 가진다[2].

$$E = \frac{\sum_{i=1}^N (E_{i,initial} - E_{i,residual})}{N \times Pkt_{total}} \quad (5)$$

위 식에서 N 은 네트워크에 있는 전체 노드의 수이고 Pkt_{total} 은 소스들에 의해 보내진 전체 데이터 패킷의 수를 나타낸다.

V. 결 론

본 논문에서는 QoS를 지원하면서 각 노드들의 에너지를 효율적으로 사용함으로 전체 네트워크 수명을 연장시키는 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안된 QAC-MAC 프로토콜은 각 센서 노드에서 측정 혹은 전송받은 데이터를 그 전송의 응급성에 기반으로 우선순위를 나누어 우선순위에 해당하는 각각의 큐에 저장한다. 일반적으로 우선순위가 높은 데이터는 미리 정한 임계값보다 높거나 혹은 멀티미디어 트래픽과 같은 지연에 민감한 데이터이다. 뿐만 아니라 멀티미디어 트래픽은 버스트한(bursty) 특성을 가지므로 가능한 한꺼번에 전송할 필요가 있다. 따라서 동일한 목적지를 가지는 데이터를 모아서 큐에 저장하여 전송하면서 동시에 적은 노드들만이 전송에 참여하고 많은 노드들로 하여금 sleep에 머물게 함으로써 에너지를 절약할 수 있다. 제안된 QAC-MAC 프로토콜은 기존에 연구되어진 프로토콜에 비해 우선순위 트래픽에 대한 평균 에너지 소모나 지연에 우수함을 보였다. 본 논문에서는 노드와 노드 사이의 링크에서의 전송 에러가 없다고 가정하였지만, 실제의 네트워크에서는 비신뢰적이고(unreliable) 예측하기 어려운(unpredictable) 무선 채널 조건을 가지므로 이를 고려한 보다 신뢰성 있는 연구가 추후 이루어질 예정이다.

참고문헌

- [1] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks," *IEEE/ACM Transaction on Networking*, Vol. 12, Issue3, pp. 493-506, June 2004.
- [2] B. Yahya, J. Ben-Othman, "Energy efficient and QoS aware medium access control for wireless sensor networks," *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, Vol. 22 Issue 10, pp. 1252 - 1266,

2010.

[3] Liu Y, Elhanany I, Qi H. ,“An energy-efficient QoS-aware media access control protocol for wireless sensor networks,” *Proceedings of the IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS 2005)*, Washington, DC, U.S.A., Nov. 2005.

[4] G. Lu, B. Krishnamachari, and C. Raghavendra, “An Adaptive Energy-efficient and Low-Latency MAC for Data Gathering in Sensor Networks,” *In Int. Workshop on Algorithms for Wireless, Mobile, Ad Hoc and Sensor Networks (WMAN)*, 2004.

[5] T. Dam, K. Langendoen, “An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks,” *ACM Sensys’03*, LA, California, USA, Nov 2003.

[6] Navrati Saxena, A. Roy, and Jitae Shin, “Dynamic duty cycle and adaptive contention window based QoS-MAC protocol for wireless multimedia sensor networks, *Computer Networks*, vol. 52, pp.2532-2542, 2008.

[7] Hyun Jung Choe, Preetam Ghosh, Sajal K. Das, “QoS-aware data reporting control in cluster-based wireless sensor networks.” *Computer Communication*, vol. 33, pp.1244-1254, 2010.

[8] Yong Yuan, Zongkai Yang, Zhihai He, Jianhua He, “An integrated energy aware wireless transmission system for QoS provisioning in wireless sensor network,” *Computer Communication*, vol. 29, pp.162-172, 2006.

[9] Paek K J, Kim J, Song U S, Hwang C S., “Priority-based medium access control protocol for providing QoS in wireless sensor networks,” *IEICE Transactions on Information and Systems*, 90(9):1448, 2007.

[10] Liu Z, Elhanany I, “RL-MAC: A QoS-aware reinforcement learning based MAC protocol for wireless sensor networks,” *Proceedings of the IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC 2006)*, Ft. Lauderdale, FL, U.S.A., 768-773, April 2006.

[11] Tang Zhenzhou, Hu Qian, “An Adaptive Low Latency Cross-Layer MAC Protocol for Wireless Sensor Networks,” *2009 8th IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing*, pp. 389-393, 2009.

저자소개

박현주(Hyun-Joo Park)



1997년 2월 : 상명대학교 졸업
 2000년 2월 : 홍익대학교 전자계산학 석사
 2003년 3월~현재 : 상명대학교 대학원 박사 과정

※ 관심분야 : 무선 센서 네트워크, 클러스터헤드 선정, 무선센서 네트워크에서 QoS지원

김성철(Seong-Cheol Kim)



1995년 6월 : Polytechnic University (NY) 공학박사(Ph.D)
 1997년 2월~현재 : 상명대학교 교수

※ 관심분야 : WLAN, 센서 네트워크, QoS, 멀티미디어 통신