
무선 센서 네트워크에서 공평성과 QoS를 지원하는 MAC 프로토콜

김성철*

A Fairness and QoS Supporting MAC(FQSM) Protocol for Wireless Sensor Networks

Seong Cheol Kim*

요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 서비스의 질(Quality of Service: QoS)과 공평성을 지원하는 MAC 프로토콜(FQSM)을 제안한다. 제안된 FQSM 프로토콜에서는 센서 노드들이 측정 혹은 수신한 데이터를 전송 응급성에 따라 우선순위를 할당하며, 데이터 트래픽 간의 공평성을 지원하기 위해 부하 예측 알고리즘을 사용한다. 부하 예측 알고리즘에서는 현재 입력되는 부하에 기반으로 최대 전송에 대한 임계값을 조정한다. 이를 위해서 각 버퍼 길이가 연속적으로 일정기간 동안 모니터링 된다. 이 기간 동안의 버퍼 길이 변이에 기반으로 트래픽 부하가 예측되며, 이 예측된 값에 기반으로 전송 순위가 결정 된다. FQSM 프로토콜은 또한 cross-layer 개념을 도입하여 각 센서 노드에서 동일한 목적으로 향하는 데이터를 재정돈하여 가능한 적은 노드들만이 데이터 전송에 참여함으로써 에너지를 절약함으로써 전체 네트워크 수명을 연장한다.

ABSTRACT

In this paper we propose the FQSM(Fairness and QoS Supporting MAC) protocol that supports fairness and Quality of Service(QoS). The received or measured data traffics will be assigned a priority level according to its transmission urgency in the FQSM. And the load prediction algorithm is used to support the fairness between different priority traffics. For this, the buffer length values of the nodes are continuously monitored for a some period. Based on the buffer length variations for this period, the order of transmission is determined. FQSM also adapts cross-layer concept to rearrange the data transmission order in each sensor node's buffer, saves energy consumption by allowing few nodes in data transmission, and prolongs the network lifetime.

키워드

공평성, 무선 센서 네트워크, 서비스의 질, 다중접근제어

Key word

Fairness, WSNs(Wireless Sensor Networks), QoS, MAC

* 종신회원 : 상명대학교 컴퓨터과학부 (sckim@smu.ac.kr)

접수일자 : 2011. 11. 29

심사완료일자 : 2011. 12. 12

I. 서 론

다른 무선 네트워크와는 달리 배터리에 의해 동작되는 무선센서 네트워크의 전체 네트워크 수명 연장을 위하여 각 센서 노드들의 효율적인 에너지 사용이 필요하다. 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 많은 연구가 여러 계층에 걸쳐 이루어져 왔다. 예를 들어, 네트워크 계층에서 에너지 효율적인 사용을 위한 에너지를 인지하는 라우팅 프로토콜들이 제안되었는데, 이들 프로토콜들의 주된 목적은 에너지 소비를 최소화하거나 네트워크의 수명을 최대화하는 것이다. 가장 많은 연구가 이루어진 계층은 MAC 계층이다. 무선 센서 네트워크에서 센싱된 데이터를 싱크 노드(sink)로 전송하는 MAC은 크게 CSMA(Carrier Sensing Multiple Access) 방식과 TDMA(Time Division Multiple Access) 방식, 그리고 이 두 방식을 함께 사용하는 HYBRID 방식으로 구분되어 진다. CSMA MAC은 경쟁기반으로 각 센서노드들이 분산적으로 매체를 감지하여 전송하므로 매체의 충돌을 탐지해야 하는 문제가 있으나, 구현하기 쉽다는 점으로 인하여 많이 사용되어지고 있다[1][2]. 이에 반해 각 센서 노드마다 슬롯을 할당해주는 TDMA 방식에서는 충돌이 없다는 이점이 있다. 하지만 슬롯마다 할당된 전송 데이터의 양이 일정치 않을 땐 슬롯이 낭비 되는 문제가 있다. HYBRID 방식은 위 두 방식을 합친 방식으로써 필요에 따라 CSMA 방식과 TDMA 방식을 효율적으로 사용하여 전송하도록 동작하는 방식이다.

에너지 효율적인 사용과 전체 네트워크 수명의 연장 이외에도 WSNs에서 다루어져야 할 문제는 서비스의 질(QoS: Quality of service)의 지원이다. 특히 물체추적(object tracking) 혹은 데이터 수집(data gathering)과 같이 실시간 데이터들은 효율적인 에너지 사용과 더불어 QoS 지원을 필요로 한다[4][5][6]. 그러나 WSNs에서 실시간 혹은 신뢰성 있는 전송을 요구하는 서비스들에 대하여 차별화된 지원을 하기 위해서는 자체 특성으로 인하여 여러 가지 해결해야 할 문제들을 가진다. 즉, 무선 채널이 비신뢰적이며, 예측 불가능하다는 것, 무선 매체가 여러 사용자에 의해 공유됨으로 인하여 충돌이 발생할 수 있다는 것, 노드들이 제한된 에너지만을 가지고 재충전하기 어렵다는 것, 마지막으로 네트워크 토

폴로지가 자주 변한다는 것들이다. 이로 인하여 IEEE 802.11과 같은 기존 무선 네트워크에서 제안되었던 QoS 지원 프로토콜이 그대로 WSNs에 적용할 수 없다. 이 외에도 공평성(fairness) 문제는 센서 노드들 사이에 공유된 무선 채널을 사용하여 접근할 때 매우 중요하다. 공평한 스케줄링이 적절한 정보의 흐름을 위하여 제공되어야 한다. 일반적으로 공평한 스케줄링 구조는 QoS 조건을 맞추기 위하여 적절한 가중치를 가지고 제공되어 진다.

본 논문에서는 에너지의 효율적인 사용으로 전체 네트워크 수명을 늘이면서 각 데이터의 전송 응급성에 따른 QoS 우선순위를 정하여 차별화된 전송을 할 수 있으며, 여러 우선순위가 다른 데이터 사이에 공평성을 지원할 수 있는 cross-layer 방식을 결합한 통합 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜은 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽이 존재하는 응용 혹은 환경 모니터링 응용에서 임계값을 넘는 경우 정보가 필요한 응용 등에 유용하게 사용될 수 있다. 이를 위해 제안된 프로토콜에서는 전송 응급성에 따라 결정된 우선순위에 해당하는 독립의 큐에 저장되며, 저장 시에 동일한 목적지로 향하는 데이터를 재정돈하여 함께 전송함으로써 우선순위의 데이터를 빠르게 전송할 수 있는 장점을 가진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 WSNs에서 QoS 및 트래픽 간 공평성 지원에 대한 관련 연구에 대해 알아보고, 본 논문에서 제안한 FQSM 프로토콜에 대한 설명이 3절에서 이루어진다. 또한 4절에서는 FQSM 프로토콜과 기존의 관련 프로토콜과의 성능 비교가 이루어지며, 마지막으로 결론이 5절에서 이루어진다.

II. 관련연구

제한된 에너지의 공급 및 다양한 목적을 가지는 WSNs에서 지연, 패킷 손실, 대역폭 등 QoS를 지원하기 위해서 기존의 다른 네트워크에서 제안된 프로토콜을 그대로 적용할 수 없다. 따라서 일반적으로 네트워크에서 요구하는 QoS를 지원하기 위해서는 특정 계층에만 의존하지 않고 여러 계층에서의 협업을 통

한, 즉 cross-layer 설계에 의존하는 경우가 많다[3]. 본 논문에서도 MAC 계층 및 네트워크 계층의 일부 기능을 통해 QoS를 지원하는 프로토콜에 초점을 맞추기로 한다.

MAC 프로토콜의 기본 역할은 이웃 노드들끼리 서로 통신하기 위하여 공유 라디오 채널에 어떻게 노드들이 접근하는가를 제어하는 일이다. WSNs에서의 MAC의 역할은 이 외에도 각 노드에서의 에너지 효율적인 사용이라는 중요한 기능도 담당해야 한다. WSNs에서 QoS 지원에 대한 연구가 그 동안 많이 이루어졌다 [7][8][9][10]. 그 중 [6]에서 제안된 프로토콜은 경쟁기반 MAC 프로토콜로써 실시간 전송이 요구되는 멀티미디어 트래픽을 전송함에 있어서 듀티 사이클(duty cycle) 및 충돌 윈도우(contention window)를 능동적으로(dynamically) 조절한다. 이를 위하여 일정 구간 동안 전송된 트래픽 중 지배적인(dominant) 트래픽에 따라 활성화 시간(active time: TA)을 설정하여 듀티 사이클을 조절함으로써 QoS를 지원한다. 그러나 [6]에서 제안된 알고리즘에서는 동일한 지배적인 트래픽일지라도 구성되는 다른 특성의 트래픽을 고려하지 않을 뿐 만 아니라, 측정하는 구간 등의 여러 요소에 의해 제한받는 문제점을 가진다. 또한 [9]에서 제안된 EQ-MAC 클러스터 기반의 MAC 프로토콜로써 전송하는 노드의 결정은 경쟁기반이지만, 데이터 전송에 있어서는 클러스터 헤드가 슬롯을 할당하는 TDMA 방식을 사용함으로써 하이브리드(Hybrid) 구조를 가진다. 그러나 EQ-MAC은 기본적으로 센서 노드들과 헤드 노드 사이의 원 홉(hop) 구조에만 적용 가능하므로 여러 홉으로 구성되는 실제의 WSNs에는 정확히 적용하기 어려운 문제점을 가진다. 이 외에도 [10]에서 제안된 Q-MAC 구조에서는 우선순위에 기반으로 네트워크 서비스를 차별화함으로써 QoS를 지원한다. 여기에서 말하는 우선순위 레벨의 차이는 서로 다른 센서노드들로부터 측정되어진 데이터의 응급성을 반영하여 결정된다. 이를 위하여 내부 노드간(intra-node) 스케줄링 스케줄링과 외부 노드간(inter-node) 스케줄링을 사용한다. 본 논문에서의 우선순위 버퍼의 사용은 바로 이 Q-MAC의 인트라 노드 스케줄링의 방식을 따른다.

공평성 지원에 대한 연구도 꾸준히 이어져 왔다. [11]에서 제안된 공평성 제어 모델에서는 업 스트림 노드의 대역폭이 루트 노드의 자식 노드의 수에 따라 이루어지

는 라우팅 알고리즘에 적용되었다. 또한 [12]에서는 적응적 공평성 제어 모델을 제안하였는데, 제안된 모델에서는 신용(credit)과 예상 신뢰성(expectation reliability)에 기반을 둔다. 이 모델의 기본 아이디어는 혼잡 노드는 모든 업스트림 이웃 사이에 신용과 예상 신뢰성에 기반을 둔 가중치에 따라 대역폭을 할당한다. 이를 통하여 공평성을 얻는다.

III. FQSM 프로토콜

본 논문에서 제안된 FQSM 프로토콜은 우선순위가 다른 데이터 트래픽 사이에 공평성(fairness)을 고려한 데이터 전송을 지원한다. 이 프로토콜은 경쟁기반의 프로토콜이며 다음의 두 요소로 이루어진다. 첫 번째는 데이터의 우선순위 클래스를 구분하여 각각 클래스의 버퍼에 저장하는 것이다. 이 때 cross-layer 개념을 사용하여 동일한 목적지로 향하는 데이터를 인접하게 배치한다. 두 번째는 주기적 데이터의 최소 전송을 지원하면서 트래픽 간 공평성을 제공하기 위하여 부하 예측 알고리즘(load prediction algorithm)을 사용한다. 부하 예측 알고리즘에서 현재의 입력되는 부하에 기반으로 최대 전송에 대한 임계값을 조정한다.

FQSM 프로토콜은 다음과 같이 동작한다. 먼저 각 센서 노드들은 전송 받은 데이터를 클래스로 구분하여 각각의 버퍼에 저장한다. 아래의 그림1은 이웃 노드로부터 전송 받은 데이터를 각 우선순위에 따라 별도의 버퍼에 저장하는 메커니즘을 보여주고 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 이웃 노드로부터 받은 패킷은 패킷의 응급성에 따라 패킷 분류기에서 우선순위 버퍼와 우선순위가 낮은 버퍼로 저장되어 순서에 따라 다음 노드로 전달되어 진다. 데이터의 클래스를 구분하기 위하여 각 센서 노드들은 자신이 측정할 값 혹은 이웃 노드로부터 받은 데이터의 전송 긴급성(transmission urgency) [3]에 따라 우선순위를 부여한다. 전송 긴급성 μ 는 응용계층의 중요성에 따른 패킷 긴급성(C_c), 재전송 비용을 나타내는 전송 홉(transmission hops)(H_c), 잔여 에너지(residual energy)(E_c), 그리고 큐의 비례적인 부하(queue's proportional load)에 영향을 받는데 그 관계식은 다음과 같다.

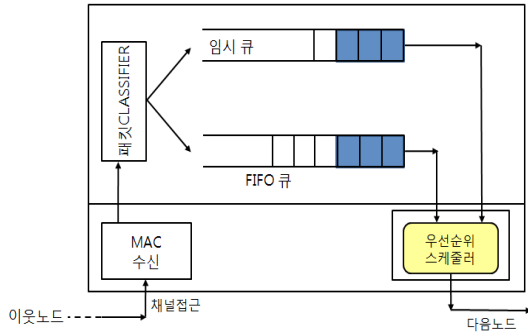


그림 1. 수신된 데이터의 우선순위에 따르는 버퍼할당
Fig. 1 Buffer Allocation of received Data according to the Priority

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

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 식 (1)에서 볼 수 있듯이 전송 긴급성 μ 는 에너지, 큐의 부하, 패킷의 긴급성, 그리고 흡의 수에 영향을 받는다. 따라서 응용 및 환경에 따라 위의 각 항목에 가중치를 다르게 사용함으로써 패킷의 전송에 정확도를 높일 수 있을 것이다. 위의 식을 통해 얻은 값으로 센서 노드의 우선순위 값 ρ 와 충돌 시간 t_{CT} 은 다음의 식 (3)과 (4)로 주어진다. 이들 식에서 μ 값은 위의 식 (1)에서 얻어진 값이고, N 은 우선순위 레벨 값, 그리고 CW 는 충돌윈도우의 크기를 나타낸다.

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

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

여기서 본 논문에서는 편이를 위해 우선순위를 세 종류로 구분하였으나 이는 적용되는 응용에 따라 여러 레벨로 확대되어 질 수 있다. 높은 우선순위의 데이터의 예로써 미리 정해진 임계값보다 높은 비정상적인 측정값을 들 수 있다. 일반적으로 우선순위가 높은 데이터는 지연에 민감한(delay sensitive) 데이터이다. 두 번째 우선순위의 데이터는 응급 신호 발생 시 주변 환경의 상태를 전송하는 영상 데이터이다. 이들 영상 데이터는 주변의 환경 및 응급 상황을 측정하여 싱크 노드로 전송한다. 마지막으로 세 번째 우선순위가 가장 낮은 데이터는 센서 노드에서 주기적으로 측정하여 보내는 주기적 데이터를 말한다.

이들 주기적 데이터는 사전에 미리 정해진 시간에 측정된 값을 싱크 노드로 전달한다. 그러나 이들 데이터는 전송 우선순위가 가장 낮기 때문에 응급 데이터가 발생하였을 경우에 전송되지 않을 수 있다. 그러나 본 논문에서는 비록 우선순위가 낮은 데이터일지라도 일정 시간 이후에는 전송되어야 한다는 필요성을 고려하여 전송한다. 즉, 비록 주기적 데이터일지라도 일정 기간이 지나도록 데이터 전송이 이루어지지 않으면 목적지 노드에서 센서 노드 혹은 네트워크 고장으로 인식할 수 있기 때문이다.

본 논문에서 주기적 데이터의 최소 전송을 지원하면서 트래픽 간 공평성을 제공하기 위하여 부하 예측 알고리즘(load prediction algorithm)을 사용한다. 부하 예측 알고리즘에서 현재의 입력되는 부하에 기반으로 최대 전송에 대한 임계값을 조정한다. 이를 위해서 각 버퍼 길이가 연속적으로 일정기간 동안 모니터링 된다. 이기간 동안의 버퍼 길이 변이에 기반으로 트래픽 부하가 예측되며, 이 예측된 값에 기반으로 전송 순위가 바뀌게 된다. 여기서 $(t_i, t_{i+1}, t_{i+2}, \dots)$ 을 노드 n_i 에서 패킷의 도착 시간으로 가정한다. 또한 QL_{t_i} 를 t_i 에서 노드 n_i 의 버퍼 길이이라고 하면, $QL_{t_i}, QL_{t_{i+1}}, QL_{t_{i+2}}, \dots$ 등은 각 t_i 순간에서의 버퍼의 길이가 된다. 따라서 버퍼 길이의 변이는 다음과 같이 표현된다. $V(t_{i+s}) = QL_{t_{i+s}} - QL_{t_i}$ 여기서 s 는 샘플 구간이다.

따라서 $\Delta V = V_{t_{i+2s}} - V_{t_{i+s}}$ 이며, Δ 는 t_{i+2s} 에서의 버퍼 변이의 예측 값이다. 만약 $\Delta V > 0$ 이면, 버퍼

의 길이가 증가함을 나타낸다. 따라서 가장 우선순위가 높은 트래픽을 모니터링하면서 적절히 버퍼의 최대값 QL_{max} 을 조절함으로써 우선순위가 낮은 트래픽에 대한 전송 기회를 제공함으로써 트래픽간의 공평성을 지원할 수 있다.

IV. 성능분석

본 장에서는 본 논문에서 제안한 FQSM 프로토콜과 기존의 MAC과의 성능을 비교한다. 기존의 MAC과의 차이는 기본적으로 동일한 listen-sleep 구조를 가지므로 지연의 비교에서는 주로 패킷 전송의 스케줄링 부분이다. 그러나 FQSM 프로토콜은 데이터의 전송 응급성에 따르는 QoS의 지원은 물론 트래픽 간 공평성을 지원할 수 있다.

본 논문의 성능 분석을 위하여 대략 100m X 100m 공간에 100 개의 센서 노드가 있다고 가정한다. 아래의 그림에서 얻은 값들은 100 개의 센서노드들을 10번 임의로 분포를 변경하여 얻어진 평균값을 취한다. 표 1은 본 논문에서 사용한 파라미터들의 값을 보여준다.

표 1. 시스템 파라미터들
Table. 1 System Parameters

파라미터	값	설명
Duty Cycle	10	
Data_CW	63	최대윈도우크기
Short_CW	31	최대윈도우크기
QL_{max}	10	버퍼의 최대값
Priority Level	3	우선순위 레벨 수

또한 아래의 성능 비교를 위하여 각 노드들은 전송하는 전체 데이터 중 30%가 우선순위 트래픽 즉, 멀티미디어와 같은 실시간 트래픽 혹은 초기에 설정된 임계값을 초과하는 비정상(abnormal) 데이터를 가진다고 가정하였다. 이 비정상 데이터는 초기 발생 시 전송 응급성에 따른 우선순위에 의해 먼저 전송되어지나, QL_{max} 에 도달될 것이 예측되면, 우선순위의 레벨이 낮아지게 된다. 이때 QL_{max} 의 값은 네트워크 환경에 따라 조절이 가능하다. 또한 우선순위 데이터를 가지는 노드들은 우선순

위 버퍼에 저장되어 있는 데이터를 먼저 전송한 이후에 다른 데이터를 전송한다고 가정하였다.

그림 2는 본 논문에서 제안된 FQSM 프로토콜과 기존 MAC과의 지연에 대한 비교이다. 그림에서 보여 주는 바와 같이 본 논문에서 제안된 FQSM 프로토콜은 우선순위를 가지는 데이터에 대하여 평균지연이 낮음을 볼 수 있다. SMAC 프로토콜은 기본적으로 우선순위를 지원하지 않기에 전송된 전체 데이터의 평균 지연을 나타낸다. 또한 평균 inter-arrival 시간이 늘어감에 따라, 즉 발생하는 트래픽의 양이 줄어들며 따라 세 개의 MAC 성능 차이가 크지 않은 것을 알 수 있다. 이것은 트래픽이 감소할수록 전송을 위해 대기하는 패킷의 수가 줄어들어 트래픽 간 우선순위의 차이가 거의 나지 않기 때문이다.

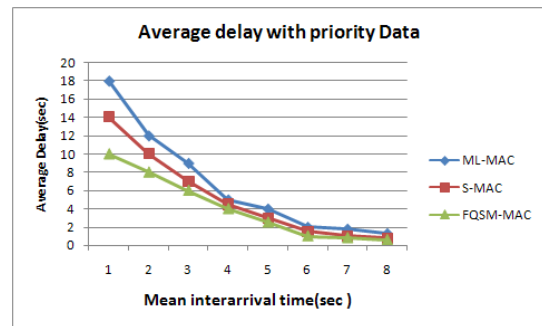


그림 2. 우선순위 데이터의 평균지연
Fig. 2 Average delay with priority data

그림 3은 트래픽 간 공평성(Fairness)에 대한 비교를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 초기 비정상 데이터가 존재하지 않을 경우에는 주기적인 데이터 전송만이 이루어지기 때문에 전송되어지는 전체 트래픽의 100%를 차지한다. 그러나 비정상 데이터가 발생하게 되면 우선순위가 낮은 주기적 데이터의 전송은 이루어지지 않는다. 비정상 상태 데이터 발생 후 일정 시간 지난 후 필요한 영상 정보가 전달되어 진다. 이 경우에도 우선순위가 가장 낮은 데이터는 전송되지 않는다. 그러나 초기 설정되었던 10 번의 프레임 전송($QL_{max}=10$) 이후에는 주기적인 데이터 전송이 이루어져야 하기 때문에 주기적인 데이터의 전체 비율이 일정량 증가하게 된다. 마지막으로 비정상 데이터 발생이 중지되면 다시 초기처럼 주기적인 데이터 전송만이 이루어진다.

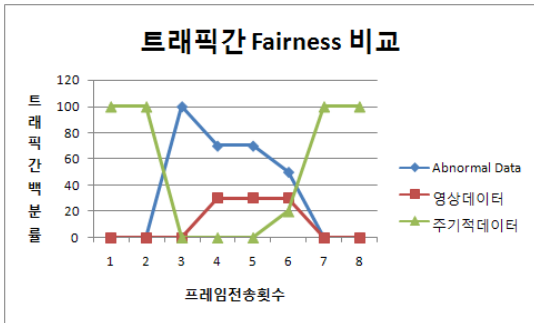


그림 3. 트래픽 간 공평성에 대한 비교
Fig. 3 Comparison of fairness among traffics

V. 결 론

본 논문에서는 기존에 연구된 QoS 지원 프로토콜에서 우선순위가 높은 데이터에 의해서 우선순위가 상대적으로 낮은 다른 데이터들이 전송되지 못함으로 인하여 발생하는 문제들을 보완하여 데이터 트래픽 간의 공평성을 지원할 수 있는 FQSM 프로토콜 제안하였다.

기존의 QoS 지원 프로토콜에서 우선순위가 높은 즉, 긴급성이 요구되는 데이터가 지속적으로 발생할 경우 이런 데이터를 전송하기 위해 상대적으로 우선순위가 낮은 데이터는 전송의 어려움으로 인하여 정보의 유실 혹은 노드 및 네트워크 등 자원 낭비 혹은 잘못된 판단이 내려 질 수 있는 경우가 발생할 수 있다. 본 논문에서 우선순위가 상대적으로 낮은 주기적 데이터의 최소 전송을 지원하면서 트래픽 간 공평성을 제공하기 위하여 부하 예측 알고리즘(load prediction algorithm)을 사용한다. 부하 예측 알고리즘에서 현재의 입력되는 부하를 기반으로 최대 전송에 대한 임계값을 조정한다. 이를 위해서 각 버퍼 길이가 연속적으로 일정기간 동안 모니터링 된다. 이 기간 동안의 버퍼 길이 변이에 기반으로 트래픽 부하가 예측되며, 이 예측된 값에 기반으로 전송 순위가 결정하게 된다. 따라서 우선순위가 낮은 데이터에도 일정한 전송을 지원함으로써 데이터 트래픽 간 공평성을 지원할 수 있음을 알 수 있었다.

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] T. Dam, K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," ACM Sensys'03, Nov 2003, LA, California, USA

[3] 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.

[4] Liu Yang, Elhanany Itamar, Qi Hairong, "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.

[5] Manish Kumar Jha, Atul Kumar Pandey, Dipankar Pal, Anand Mohan, "An energy-efficient multi-layer MAC(ML-MAC) protocol for wireless sensor networks," International Journal of Electronics and Communications, 2010.

[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] 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.

[8] 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.

- [9] 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.
- [10] Nikola Zogovica and Goran Dimic, "Wireless Sensor network: QoS Provisioning at MAC and Physical layers," 17th Telecommunication forum TELFOR 2009, Serbia, Belgrade pp.24-26, Nov. 2009.
- [11] B. Ruzena, E. C. Tien, "Congestion control and fairness for many-to-one routing in sensor networks," *ACM Sensys*, Baltimore, MD, USA, 2004.
- [12] Kuang Zhufang, Yang Guogui, "An Adaptive Fairness Model in Wireless Sensor Networks," *Int. Conference on Electronics and Business Intelligence*, 2009.

저자소개



김성철(Seong Cheol Kim)

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

※ 관심분야 : WLAN, 센서 네트워크, QoS, 멀티미디어
통신