Regular paper http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2015.10.2.289

무선 멀티미디어 센서 네트워크에서 효율적인 네트워크 환경을 위한 혼잡 제어 메커니즘

박정현* · 이성근** · 오원근*

Congestion Control Mechanism for Efficient Network Environment in WMSN

Jeong-Hyeon Park* · Sung-Keun Lee** · Won-Geun Oh*

요 약

대용량 멀티미디어 데이터를 센싱 및 전송하기 위한 무선 멀티미디어 센서 네트워크는 지연에 민감한 특징을 가진다. 본 논문은 멀티미디어 데이터를 전송하기위한 효율적인 네트워크 환경을 위해 트래픽에 따른 우선순위 라우팅 방법을 통한 지연을 최소화 시키는 메커니즘을 제안한다. 또한 노드에 도착하는 패킷들의 도착, 처리 되는 시간차와 버퍼 점유율을 고려하여 혼잡 제어 메커니즘을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 성능 분석을 수행하여 제안한 라우팅 방법으로 인해 패킷 지연이 감소되는 것을 확인 하였고, 네트워크에 많은 양의 데이터가 유입되었을 때 혼잡을 감지하고 제어하여 안정적인 네트워크 상태를 유지하는 것을 검증하였다.

ABSTRACT

Wireless multimedia sensor network senses and transfers mass multimedia data. Also, it is sensitive to latency. This thesis proposes a routing technique based on traffic priority in order to improve the network efficiency by minimizing latency. In addition, it proposes a congestion control mechanism that uses packet service time, packet inter-arrival time, buffer usage, etc. In this thesis, we verified the reduction of packet latency in accordance with the quality level of packet as a result of the performance analysis through the simulation method. Also, we verified that the proposed mechanism maintained a reliable network state by preventing packet loss due to network overload.

키워드

Priority Routing Based Congestion Control, Packet Service Time, Wireless Sensor Networks, Congestion Detection
우선순위 기반 혼잡제어, 패킷 서비스 시간, 무선 센서 네트워크, 혼잡 감지

Ⅰ. 서 론

센서 기술의 발달에 힘입어 모든 사물들에 지능형 센서들을 부착하여 사물간의 정보 전송이 가능한 사물 인터넷 시대가 열리고 있으며, 스마트 농업, 헬스케어, 지능형 물류관리 등 다양한 분야에 적용을 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.[1] 무선 센서 네트워크 환경에서 이벤트가 발생할 때 순간적으로 많은 양의 데이터가 네트워크에 유입되어 혼잡 상황이 발생할 수 있다. 혼잡은 데이터 패킷의 지연을 발생하거나 최

* 순천대학교 멀티미디어공학과
** 교신저자(corresponding author) : 순천대학교 멀티미디어공학과(sklee@sunchon.ac.kr)
접수일자 : 2014. 12. 02 심사(수정)일자 : 2015. 01. 16 게재확정일자 : 2015. 02. 09

악의 경우 패킷의 손실을 초래한다. 특히, 혼잡 상황은 실시간으로 영상 데이터를 받아야 할 경우 매우 심각한 상황을 나타낸다. 최근 센서 네트워크에서 이미지 등 멀티미디어 정보 전송의 필요성이 제기됨에 따라 혼잡 제어 알고리즘에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문은 무선 센서 네트워크에서 혼잡을 탐지하고 제어하는 기법을 제안하며, 혼잡상황에서 트래픽 종류에 따른 우선순위를 부여하여 차별적인 데이터 전송을 통해 서비스 품질을 보장하는 메커니즘을 제안한다.

II. 관련 연구

무선 센서 네트워크에서 혼잡 제어 기법에 대한 다양한 연구들이 진행되었다. PCCP(Priority-based Congestion Control Protocol)는 센서노드에 부여된 우선 순위에 기반하여 혼잡 제어와 전송률을 보장하는 프로토콜이다[2]. 각 센서노드들의 혼잡 상태를 반영하는 값을 이용하여 혼잡을 탐지한다. 탐지된 혼잡은 무선 네트워크의 브로드캐스팅 특성을 이용하여 혼잡 관련 정보를 데이터 헤더에 피기백하여 이웃한 노드에게 정보를 전달하는 방법이다[3].

CODA(Congestion Detection and Avoidance)는 무선 채널 점유율과 현재 버퍼 점유율을 기반으로 혼잡 상황을 발견하고 제어한다[4]. 특정 패킷을 수신한 싱크 노드가 소스 노드로 ACK 패킷을 전송하게 되고 소스 노드는 일정 시간동안 받은 ACK 패킷의 수가 기준치에 못 미칠 경우 혼잡이라 가정하여 전송률을 제어한다[5].

STCP(Sensor Transmission Control Protocol)는 대부분 기능을 싱크 노드가 수행하고 같은 네트워크 상에서 연속적인 데이터 흐름과 이벤트 기반 흐름을 지원한다[6]. 소스 노드는 패킷 전송 전에 전송률, 흐름 종류, 요구되는 신뢰성 정보를 담은 초기 값을 보내어 세션을 생성한다. 싱크 노드는 ACK 신호 패킷에 혼잡 비트를 설정 한 후 노드들에게 혼잡된 경로를 알려준다. 이를 받은 소스 노드는 다른 경로를 선택하거나 전송 속도를 적절히 낮춘다[7].

III. 혼잡제어 메커니즘 제안

본 논문은 패킷 전송 시 지연을 최소화 하면서 트래픽을 종류에 맞게 제어하여 처리율을 개선하기 위해 패킷의 우선순위에 따른 혼잡 제어 기법을 제안한다. 이는 WMSN 환경에서 발생하는 다양한 트래픽 모델을 신뢰성 있게 전송할 수 있게 한다. 혼잡 제어 알고리즘을 통해 혼잡 상황을 감지, 통보, 제어함으로써 네트워크 상태로 적절하게 유지시킨다. 또한 서로 다른 특성을 지닌 각각의 트래픽에 품질 레벨을 할당하고, 설정된 품질 레벨에 따라 경로를 선택함으로써 혼잡 상황에서도 최소한의 서비스 품질을 보장한다.

3.1. 트래픽 특성에 따른 우선순위 마킹

각각의 센서 노드 안에 있는 분류기에서는 가지고 있는 센싱한 데이터 패킷의 특성에 따라서 품질 레벨을 분류하고 Green Yellow Red 중 하나로 마킹하여 싱크 노드를 향해 전송한다. WMSN 환경에서는 크게 4가지 종류의 트래픽이 존재한다[8]. 첫 번째로 Periodic Monitoring Traffic은 온도, 습도, 조도 같은 주변 환경 정보를 일정 주기로 센싱하여 싱크노드로 전달하는 트래픽이다. 두 번째로 Event Driven Traffic은 센서 노드가 감지할 수 있는 영역 내에서 위험 상태가 감지되거나 침입 상황이 발생 할 경우 이를 신속하게 싱크노드로 전달해야 하는 트래픽이다. 세 번째로 Multimedia Traffic은 영상이나 음성 정보를 연속적으로 전달하는 특성을 갖는 트래픽으로 높은 서비스 품질을 요구하는 키 프레임 데이터와 상대적으로 낮은 서비스 품질을 요구하는 기타 보조 프레임 데이터로 구성되는 특징을 갖는다[9], [10]. 마지막으로 Query-Based Traffic은 싱크 노드의 질의에 대한 응답 데이터로서, 싱크노드에서 서비스 품질의 레벨을 지정한다. 각각 노드들은 위에서 설명한 마킹 방법을 통해 트래픽 패턴에 따라 전송하는 패킷의 품질 레벨을 부여한다. 품질레벨을 Green, Yellow, Red 와 같은 3개의 등급으로 분류되며, 패킷의 Priority field에 포함된다. Green은 가장 높은 중요도를 나타내고, Red는 가장 낮은 중요도를 갖는다. 품질레벨에 따라 라우팅 방법에 차이를 가진다. Green 품질의 패킷은 최단 시간으로 갈 수 있는 경로를 할당 한다 .Red 패킷은 지연이 조금 되더라도 잔여 에너지 레벨이 높은

경로를 우선적으로 설정하여 전체 네트워크의 효율성을 높인다. Yellow 패킷은 랜덤으로 Green, Red 라우팅 방법 중 하나를 선택한다.

3.2. 트래픽 우선순위 기반 혼잡 제어 기법

혼잡 제어 기법은 혼잡 감지, 혼잡 통지, 혼잡 제어로 나누어진다. 혼잡 감지를 위해 PCCP의 평균 패킷 서비스 시간(t_{serv})과 평균 도착 시간(t_{arr})을 이용한다. 패킷 서비스 타임은 패킷이 MAC 계층에 도착한 시간부터 완전히 처리되어 전송될 때까지의 시간을 의미한다. 평균 도착 시간은 노드에 패킷이 도착하고 다음 패킷이 도착하기까지의 시간을 의미한다. 또한, 네트워크 상태를 더욱 정확하게 판단하기 위해 패킷 대기 시간(t_p)을 이용한다. t_p는 노드가 패킷을 수신할 때 계속 갱신되는 값으로 다음으로 처리되어야 할 패킷이 처리 되지 못하고 기다리고 있는 시간을 나타낸다. t_{serv} 값은 특정 패킷이 처리되어 전송된 후에 얻을 수 있다. 만약 데이터의 급격한 유입으로 갑자기 네트워크에 과부하가 발생 했을 때는 패킷이 처리되지 못하여 t_{serv}의 값을 갱신하지 못한다. 이 경우 혼잡 상황 감지가 늦어지므로 t_p를 이용한다. 다음은 혼잡을 판단하기 위한 t_s와 t_a를 구하는 식이다.

$$t^{avg} = \frac{\left\{(t^{i-4}\times 0.6)+(t^{i-3}\times 0.8)\right\}}{\left\{+(t^{i-2}\times 1.2)+(t^{i-1}\times 1.4)\right\}} \over 4$$

$$t_s = (1-w_{serv})t_{serv}^{avg} + w_{serv}t_p^i \quad (1)$$

$$t_a = (1-w_{arr})t_{arr}^{avg} + w_{arr}t_{arr}^{\ i} \quad (2)$$

t_{serv}^{avg}는 최근 처리된 네 번의 t_{serv}값을 최근 값일수록 더 높은 가중치를 준 후 평균을 구한 값이다. 같은 식을 t_a로 바꾸어 계산하면 t_{arr}^{avg}값이다. t_{serv}^{avg}와 t_p에 w와 $1-w$를 곱하여 t_s을 계산하고 t_{arr}^{avg}값과 현재의 t_{arr}값에 w와 $1-w$를 곱하여 t_a을 계산한다. 현재의 네트워크 상태에 좀 더 높은 가중치를 두어 급격한 네트워크 변화에 대비한다. 패킷이 처리될 때 마다 t_{serv}^{avg}값을 갱신하고 도착할 때 마다 식 (1)과 식 (2)를 통해 주기적으로 t_s와 t_a값을 갱신한다. t_s와 t_a값과 버퍼점유율을 통해 네트워크의 상태를 예측한다. t_s가 t_a보다 크고 버퍼점유율이 클 경우 Strong Congestion 상태라고 판단하고 버퍼 점유율이 낮을 경우에는 곧 심각해질지도 모르는 Weak Congestion 상태라고 판단한다. t_s가 더 작을 경우에는 혼잡하지 않으니 Well - Provision 상태라고 정의하고 적절한 네트워크 상태라고 본다. t_s가 t_a보다 작지만 버퍼 사용량이 10% 이하면 Under-Provisioned 상태로 네트워크의 효율성을 고려해 패킷의 생성 속도를 높인다. 혼잡을 통지 하는 방법으로는 크게 ECN(Explicit Congestion Notification)과 ICN(Implicit Congestion Notification)으로 분류된다[11]. 본 논문에서는 ICN 방식을 이용하여 혼잡 상황의 정보들을 이웃 노드에게 전달하게 된다. 혼잡을 통지 받은 노드들은 혼잡 정도에 따라 혼잡을 제어한다.

3.2. 혼잡 제어 알고리즘

그림 1은 혼잡 제어 알고리즘을 나타낸다. 여기서 t_a와 t_s는 식 (1)과 식 (2)로 구한 값과 동일하고 q_i는 노드 i의 버퍼 점유율을 의미한다. $t_s > t_a$인 경우에는 처리되는 시간보다 패킷들이 도착하는 시간이 빠

```
Algorithm Congestion Control
Input : t_a, t_s, q_i
Begin
    If( t_s > t_a && q_i > 0.6 )
        increase packet creation period
    else if( t_s > t_a && (q_i > 0.4 && q_i <=0.6) )
        stop packet creation for a few seconds
    else if( t_s < t_a && q_i <=0.1)
        reduce packet creation period
    else
        continue packet creation
End
```

그림 1. 혼잡 제어 알고리즘
Fig. 1 Congestion control algorithm

르므로 패킷이 버퍼에 쌓이게 될 것이다. 만약 버퍼사용량이 40~60%라면 혼잡상황이 발생할 수 있으므로 Weak Congestion 상태라고 통지한 후 패킷의 생성을 일시적으로 멈추게 한다. 버퍼 사용량이 60% 이상이 된다면 혼잡상황이 곧 발생 할 것이라고 보고 Strong Congestion 상태라고 통지한 후 패킷 생성 주기를 증가시켜 패킷이 유입되는 속도를 줄인다.

$t_s < t_a$이고 버퍼 사용량이 10% 미만일 경우는 under-provisioned 상태라 통지한 후 유입되는 패킷의 속도를 높인다. 나머지 경우는 안정적이라 판단하고 well-provisioned 상태로 통지한 후 유지한다. 상태가 천이될 때 망의 상태가 바뀌기 까지는 시간이 걸리기 때문에 통지를 받은 후 일정 시간동안은 상태 천이를 제한하여 네트워크를 효율적으로 관리한다.

Ⅳ. 성능 평가 및 분석

4.1 시뮬레이션 구성

시뮬레이션은 Visual Studio 2010 환경에서 C++을 이용하여 구현하였다. 구현한 시뮬레이션을 간략히 소개하자면 노드들을 배치한 후 네트워크 상태를 조절하며 가장 멀리 떨어진 노드에서 싱크노드로 패킷을 전송하였을 때 패킷 지연, 패킷 손실률, 데이터 처리율 등을 출력하는 기능을 수행한다. 시뮬레이션의 네트워크는 그림 2와 같은 구성으로 10x10, 100개의 노드를 배치하고 각각 노드들 사이에 링크 품질 값을 설정하여 노드들 간의 전송에 차별을 두었다. 소스 노드는 결과 값을 도출해낼 패킷을 주기적으로 생성하며 가장 멀리 있는 노드로 설정한다. 싱크노드는 패킷들의 목적지 노드로서 도착한 모든 패킷들 에 대한 정보를 가진다. 중계노드는 이웃노드로 부터 받은 패킷을 우선순위에 따라 다음 노드의 경로를 설정한다. 백그라운드 트래픽 노드는 망의 상태를 설정하기 위한 노드로 사용자가 설정한 주기에 따라 패킷을 생성한다.

각각의 노드들은 근접한 위, 아래, 왼쪽, 오른쪽의 이웃노드와 패킷 송수신이 가능하고 싱크노드로 보내기 위하여 왼쪽과 위쪽으로만 송신을 하도록 제한한다. 노드들은 패킷의 우선순위에 따른 라우팅 테이블을 유지하고, 이를 참조하여 패킷을 전송한다. 또한 노드들의 MAC 프로토콜은 802.15.4를 사용한다.

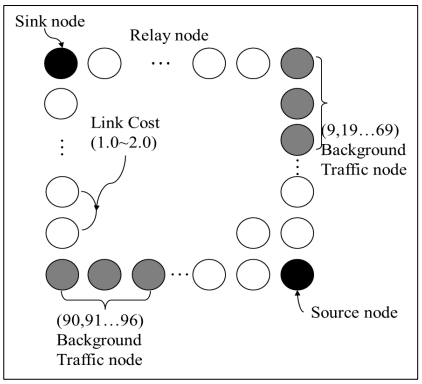

그림 2. 네트워크 망의 구조
Fig. 2 Network topology

4.2 시뮬레이션 환경

시뮬레이션의 각 노드들 사이의 링크코스트 값은 범위내의 랜덤한 값(1.0~2.0사이 0.02단위)으로 설정하였고, 링크 코스트에 따라 전송 시간의 차이를 주었다. 링크코스트가 1.0일 경우 전송시간은 0.96ms 이고 2.0일 경우 1.92ms의 전송시간을 가진다. 이를 통해 우선순위에 따라 차별적인 전송이 가능하게 된다. 노드들의 초기 에너지 값은 1000000(1J)로 설정하였다. 패킷 송수신 및 충돌 대기 시 에너지 소비가 존재하고 싱크노드는 에너지의 소비가 없도록 설정하였다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터들은 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션의 매개변수와 설정 값
Table 1. Simulation parameter

Parameter	Values
Field size	(0m, 0m)~(100m, 100m)
Sink node	(0m, 0m)
Source node	(99m, 99m)
Traffic node	(90m, 90m)~(96m, 96m), (9m, 9m)~(69m, 69m)
Transmission range	1m
Source packet generation cycle	0.1s
Traffic packet generation cycle	0.01s~0.11s
Initial node energy	1J
Transmission energy consumption	185uJ
Receiving energy consumption	83uJ
Standby energy consumption	15uJ
Simulation running time	100ms

4.2 시뮬레이션 결과 분석

본 논문에서 제안한 우선순위 기반 트래픽 제어 및 혼잡 제어의 타당성 검증을 위해 성능 평가를 수행하였다. 네트워크의 상태를 설정하기 위해 백그라운드 트래픽 노드들의 패킷 생성 주기를 10~110ms 까지 10단위로 조정하며 실험 하였다. 주기에 따라 110ms일 경우는 네트워크 부하 정도가 매우 낮은 under-provisioned network 상태, 60ms는 well-provisioned network, 10ms는 매우 혼잡한 상태인 over-provisioned network 상태라고 가정한다. 소스 노드의 패킷 생성 주기는 100ms로 고정하였으며 혼잡 제어를 실행 할 경우와 실행하지 않을 경우로 나누어서 실험하였다.

그림 3와 4의 평균으로 합하여 그린 그래프가 그림 5이다. 그림 3와 4를 보면 Green 패킷의 지연이 Red나 Yellow 패킷보다 적은 지연시간을 가지므로 우선순위 기반 트래픽 제어는 타당하다고 볼 수 있다.

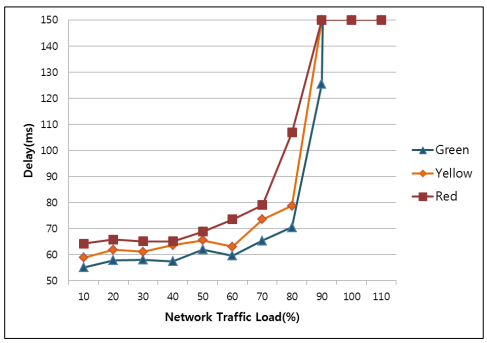

그림 3. 혼잡 제어 비실행 시 패킷 지연
Fig. 3 Packet delay before congestion control

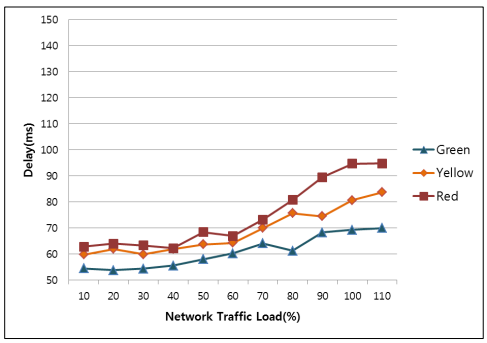

그림 4. 혼잡 제어 실행 시 패킷 지연
Fig. 4 Packet delay after congestion control

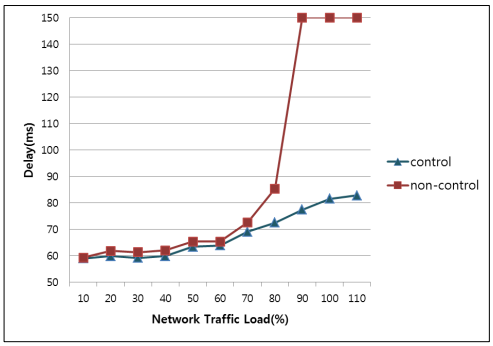

그림 5. 혼잡 제어 여부에 따른 평균 패킷 지연
Fig. 5 Average packet delay as a result of congestion control or non-control

혼잡 제어를 하지 않았을 경우에 유입되는 패킷양이 많을 시, 네트워크가 마비되어 패킷의 지연시간이 기하급수적으로 늘어나는 것이 관찰되는데 본 논문의 혼잡 제어 알고리즘을 적용하였을 경우 혼잡 상황을 성공적으로 제어하여 안정적으로 유지된다. 또한, 그림 6은 혼잡 발생 시 네트워크 과부하로 인한 패킷 손실을 나타낸다. 소스노드에서는 시뮬레이션 시간동안 패킷 생성 주기가 고정되어 있으므로 항상 100 개의 패킷을 생성한다. 혼잡 제어를 하지 않을 경우에는 네트워크 혼잡도가 90%이상이면 패킷 손실이 나타나고 100%이면 42%의 패킷이 손실된다. 하지만 제안한 메커니즘을 적용할 경우 패킷 손실이 0%로 개선된 것을 볼 수 있다.

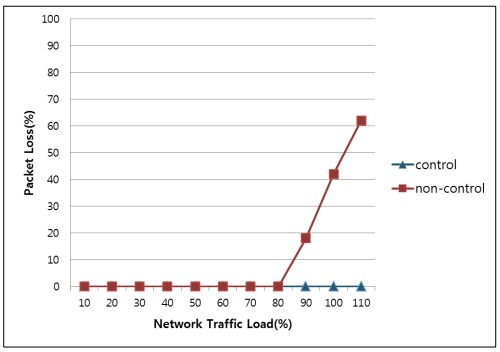

그림 6. 혼잡 제어 여부에 따른 패킷 손실률
Fig. 6 Packet loss as a result of congestion control or non-control

Ⅴ. 결 론

본 논문은 WMSN에서 트래픽 종류에 따른 우선순위 라우팅과 혼잡을 탐지, 공지, 제어하는 기법에 대해 연구를 수행 하였다. 제안 기법은 정확한 혼잡 탐지를 위해 t_p와 버퍼점유율을 사용하였고, t_{arr}와 t_{serv}의 값에 적절한 가중치를 적용했다. 또한 패킷에 우선순위를 부여하여 트래픽을 효율적으로 제어하였다. 소스노드의 트래픽을 고정시킨 채 백그라운드 트래픽을 조정하여 네트워크 망의 상태를 설정 하고 혼잡 제어 실험을 진행하였다. 성능 분석 결과, 제안한 메커니즘을 적용한 네트워크의 네트워크 부하 정도 (Degree of Network Load) 10% 부터 100%까지의 평균 패킷 지연은 제안 메커니즘을 적용하지 않을 때 보다 약 72% 감소했다. 또한, 패킷의 손실률도 42% 에서 0%로 감소했다. 제안한 기법을 실제 적용하는데 발생할 수 있는 문제점들을 분석하고 해결책에 대한 연구가 수행 되어야 할 것이다.

감사의 글

"본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업 의 연구결과로수행되었음" (NIPA-2014-H0401-14-1008).

References

[1] I. F. Akyildiz, T. Melodia, and K. R. Chowdhury, "A survey on wireless multimedia sensor networks", *The Journal of Computer Networks*, vol. 51, no. 4, pp. 921-960, March, 2007.

[2] C. Wang, K. sohraby, V. Lawrence, B. Li, and Y. Hu, "Priority-based Congestion control in Wireless Sensor networks,"*IEEESUTC'*06, vol. 1, pp. 22-31, June, 2006.

[3] Kiran Yedavalli, "Using Wireless Advantage for Congestion Control in Wireless Sensor Networks." *Proc. USC Technicaal Report*, October, 2005.

[4] H. Zhang, A. Arora, Y. Choi, M. G. Gouda, "Reliable bursty convergecast in wireless sensor networks", *ACM MobiHoc* 2005.

[5] Wan, C.-Y., Eisenman, S. B., and Campbell, A. T., "CODA:Congestion detection and avoidance in sensor networks", *Proceedings of ACM SenSys*, pp. 266-279, Nov. 2003.

[6] Iyer, Y.G., Gandham, S., and Venkatesan, S., "STCP : A generic transport layer protocol for wireless sensor networks", *Proceedings of IEEE ICCCN 2005*, pp. 499-454, Otc. 2005.

[7] S. Chen, N. Yang, "Congestion avoidance based on lightweight buffer management in sensor networks", *IEEE Transaction on Parallel and Distributed Systems*, vol. 17, no. 9, pp. 934- 946, 2006.

[8] J. H. Kim, S. K. Lee, J. G. Koh, C. R. Jung, "A Marking Algorithm for QoS Provisioning in WMSN", *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences* vol. 5, no. 2, pp. 193-204, 2010.

[9] Y. J. Jang, S. K. Lee, "An Energy-Efficient Routing Algorithm in WSN," *Fall General Conference of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 4 no. 2, pp. 401-404, Nov. 2010.

[10] J. H. Kim, S. K. Lee, J. G. Koh, J. S. Park, "Traffic Control Algorithm for Periodic Traffics in WSN", *he Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences* vol. 5, no. 1, pp. 44-50, 2010.

[11] C. Wang, B. Li, K. Sohraby, M. Daneshmand, "Upstream Congestion Control in Wireless Sensor Networks Through Cross-Layer Optimization," *Proc. IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, vol. 25, no. 4, May. 2007.

저자 소개

박정현(Jeong-Hyeon Park)

2014년 순천대학교 멀티미디어공학과 졸업(공학사)
2014년~현재 순천대학교 대학원 멀티미디어공학과 재학중
※ 관심분야 : WSN, 멀티미디어 통신, 인터넷 QoS

이성근(Sung-Keun Lee)

1985년 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1987년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1995년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
2004년~2005년 : UC Davis 컴퓨터과학과 방문교수
1997년~현재 순천대학교 멀티미디어공학과 교수
※ 관심분야 : 에너지 효율적인 이더넷, WSN, 멀티미디어 통신, 인터넷 QoS

오원근(Won-Geun Oh)

1989년 한양대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)
1992년 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)
2007년 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학박사)
1997년 ~현재 순천대학교 멀티미디어공학과 교수
※ 관심분야 : 신호처리, 음향시스템, 센서 및 디지털 하드웨어