

논문 2010-5-42

# 무선 센서망을 위한 새로운 동적 가중치 할당 알고리즘 개발

## The Development of New dynamic WRR Algorithm for Wireless Sensor Networks

조해성\*, 조주필\*\*

Hae-Seong Cho\*, Ju-Phil Cho\*\*

**요 약** 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network) 기술의 핵심은 저전력 무선 통신기술과 효율적 라우팅을 위한 적절한 자원할당 기술이다. 센서 네트워크에서 효율적인 자원할당을 위해서는 서비스에 따른 차별화된 자원할당 방식이 필요하다. 이를 위하여, 본 논문에서는 유선망에 사용되는 PQ와 WRR의 단점을 보완하여 USN에 적용이 가능한 스케줄러 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 센서 네트워크에서 각 클래스의 큐 상태를 체크하여 퍼지 이론을 적용한 제어 정책에 따라 WRR 스케줄러의 가중치를 동적으로 할당하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 알고리즘은 EF 클래스의 패킷 손실률에서 WRR 스케줄러 방식보다 평균 6.5% 향상되었으며, AF4 클래스에서는 PQ 방식보다 평균 45% 향상된 결과를 보였다.

**Abstract** The key of USN(Ubiquitous Sensor Network) technology is low power wireless communication technology and proper resource allocation technology for efficient routing. The distinguished resource allocation method is needed for efficient routing in sensor network. To solve this problems, we propose an algorithm that can be adopted in USN with making up for weak points of PQ and WRR in this paper. The proposed algorithm produces the control discipline by the fuzzy theory to dynamically assign the weight of WRR scheduler with checking the Queue status of each class in sensor network. From simulation results, the proposed algorithm improves the packet loss rate of the EF class traffic to 6.5% by comparison with WRR scheduling method and that of the AF4 class traffic to 45% by comparison with PQ scheduling method.

**Key Words :** Ubiquitous Sensor Network, Resource Allocation, WRR, Fuzzy theory

### 1. 서론

최근 많은 관심이 집중되고 있는 유비쿼터스 컴퓨팅 기술의 핵심 기반기술로서 무선 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network) 기술은 그 중요성이 점차 대두되고 있다<sup>[1]</sup>. USN 기술은 유무선 네트워크 기반의

다양한 Sensor 기기들에 의해 감지된 데이터를 응용서비스에 제공하는 시스템과 연동하는 기술이다. USN의 센싱 데이터를 응용프로그램에 이용하기 위해서 근거리 저전력 통신기술, 효율적인 라우팅 알고리즘 기술과 적절한 자원할당 기술들이 연구되고 있다[2]. 적절한 자원할당을 위해서는 무선 채널의 QoS에 따른 자원할당 하는 방법들이 연구되고 있다. QoS에 관련된 많은 연구 중에서 모든 패킷 흐름에 대해서 QoS를 제공해주기 위한 IntServ 모델은 현실적으로 구현이 복잡하고 오버헤드가 많기 때문에 확장성이 나쁜 단점이 있다. 이러한 단점을

\*정희원 건양대학교 전자정보공학과

\*\*정희원, 군산대학교 전자공학과

(교신저자:stefano@kunsan.ac.kr)

접수일자 2010.10.1 수정일자 2010.10.20

극복하기 위해 IETF(Internet Engineering Task Force)에서는 각기 다른 사용자 그룹에게 서로 다른 수준의 서비스를 제공할 수 있는 DiffServ 모델을 제안하게 되었다<sup>[3]</sup>.

DiffServ는 복잡한 기능의 처리는 경계(edge) 라우터에서 수행하게 하고 코어(core) 라우터는 각 클래스의 PHPs(Per-Hop Behaviors)에 따라 패킷을 전달함으로써 확장성을 향상시켰다<sup>[4]</sup>. DiffServ에서 제공하는 서비스는 일반적으로 EF(Expedited Forwarding), AF(Assured Forwarding), DE(Default) 클래스로 나뉘어진다. EF 클래스는 가장 우선순위가 높은 클래스로서 작은 패킷 지연시간과 지터, 작은 패킷 폐기율을 제공받는다. AF 클래스는 지연시간과 지터에 민감하지 않고 최선형 서비스보다는 좋은 서비스를 제공받으며, DE 클래스는 인터넷 최선형 서비스와 같은 수준의 서비스를 제공받을 수 있다. 이러한 차별화된 서비스를 받기 위해서 가입자는 미리 ISP(Internet Service provider)와 SLA(Service Level Agreement)를 맺어야 한다.

현재 DiffServ에서 많이 거론되고 있는 대표적인 스케줄링 기법으로는 PQ(Priority Queue), WRR(Weighted Round Robin)와 WFQ (Weighted Fair Queueing)등의 스케줄링 기법이 연구되어져 있다. PQ는 클래스의 우선순위에 따라서 서비스해주는 방식이므로 EF 클래스에 높은 수준의 QoS를 제공할 수 있으나 EF 클래스의 트래픽이 증가하면 우선순위가 낮은 클래스들의 QoS를 보장해 주지 못한다는 단점이 있다. 또한, WRR은 각 클래스의 가중치에 따른 서비스를 제공하기 때문에 각 클래스가 공평하게 서비스를 받을 수 있는 장점이 있지만, EF 클래스의 트래픽이 집중되는 경우에 EF 클래스의 QoS를 보장해 줄 수 없는 단점을 가지고 있다.

따라서, 본 논문에서는 무선 센서망에서 사용할 수 있도록 하기 위하여 PQ와 WRR의 단점을 보완할 수 있는 스케줄링 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 유동적으로 변화하는 각 클래스의 큐 상태를 체크하여 큐의 상태에 따라 각 클래스 큐의 가중치를 동적으로 할당함으로써 보다 효율적인 서비스가 가능하다. 유동적으로 각 클래스의 큐 상태를 체크하기 위하여 퍼지이론을 적용하였으며, 퍼지이론을 통하여 퍼지 제어를 생성하여 클래스가 가지고 있는 큐의 가중치를 효율적으로 할당하도록 하였다.

본 논문의 구성은 제 2장에서 스케줄링 방법에 대하여

진행된 연구에 대하여 살펴보고 문제점을 분석하여, 제 3장에서는 스케줄링 알고리즘을 제안하고 설명한다. 제 4장에서는 ns-2 시뮬레이터를 이용하여 기존 연구 및 제안된 알고리즘의 성능을 비교 분석한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 스케줄링 방법

스케줄러는 자원 할당이 필요한 곳에서 널리 사용되고 있다. DiffServ에서는 각 클래스(EF, AFs, DE) 간에 링크 자원을 할당하기 위해서 스케줄러가 사용된다<sup>[5]</sup>. 그림 1은 스케줄링의 기본적인 문제를 표현하고 있다. 스케줄러는 각 클래스의 흐름을 분리하여 네트워크의 협약사항을 준수하지 않는 연결은 다른 연결들의 서비스를 가로채거나 방해하지 말아야 한다. 그리고 링크자원을 공평하게 분배하고 자원의 이용 효율성을 높일 수 있어야 한다.

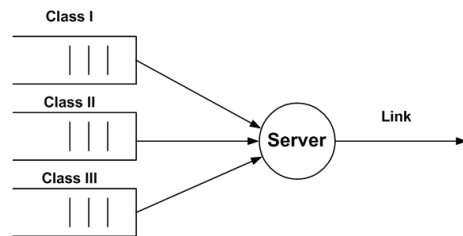


그림 1. 패킷 스케줄링의 기본적인 문제  
Fig.1 Basic Problem of Packet Scheduling

여기서는 DiffServ에서 고려되고 있는 PQ(Priority Queue)와 WRR(Weighted Round Robin) 스케줄러에 대해서 알아보고, 각각의 문제점에 대해서 살펴보고자 한다.

PQ 방식은 우선순위가 높은 클래스 큐가 항상 먼저 서비스 받는 방식이다. 따라서 이 방식은 우선순위가 높은 트래픽에게는 짧은 지연과 작은 지터를 보장해 주고, 링크 용량도 많이 할당 받을 수 있도록 해준다. DiffServ에서의 우선순위는 EF, AFs, DE 순 이므로, PQ는 EF PHP를 구현하기에 매우 좋은 스케줄링 기법이다. 그러나 그림 2.3에서와 같이 EF 트래픽의 폭주가 발생할 경우에 상대적으로 우선순위가 낮은 AF4, DE 클래스 트래픽이 서비스 받지 못 할 수 있다. 특히, AF4 클래스는 최

소 대역을 보장해 주어야 하는 클래스이므로 DiffServ 네트워크 전체에 나쁜 영향을 줄 수도 있다.

WRR에서는 각각 클래스 큐에는 가중치(weight)가 주어지고 round robin 방식으로 서비스를 받게 된다. 즉, 링크 용량을 가중치와 평균 패킷 크기에 따라 분배해서 사용하는 것이다. 따라서, WRR은 어느 특정 클래스가 링크 용량을 독점하는 것을 방지한다. 따라서 우선순위가 높은 클래스의 양에 상관없이 각각의 클래스는 자신의 링크 용량을 사용할 수 있어서 각 클래스 별로 QoS를 보장해 줄 수 있다. 하지만 WRR은 그림 2에서와 같이 EF 트래픽의 폭주가 발생할 경우에 EF의 QoS를 보장해 줄 수 없다는 단점이 있다.

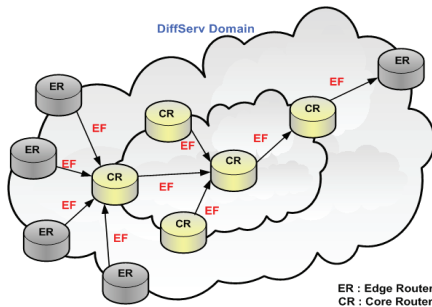


그림 2. PQ와 WRR의 문제점  
Fig.2 Problems of PQ & WRR

이러한 문제를 해결하기 위한 관련 연구는 EF 트래픽의 폭주상황이 발생하면 PQ 방식을 사용하고 그렇지 않을 경우에는 WRR 방식을 사용하는 방법<sup>[6]</sup>, 트래픽 상태와 정책에 따라 PQ와 WFQ 방식을 혼합하여 사용 방법, 각 클래스 트래픽 입력 상황에 따라 가중치를 동적으로 변화시키는 방법 등이 제안되었다.

### III. 제안된 스케줄링 알고리즘

센서 망에 적용할 수 있도록 DiffServ 구조에서 트래픽 분석에 퍼지이론을 적용한 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 2장에서 설명 했던 바와 같이 PQ는 EF 클래스의 서비스를 중점으로 하기 때문에 우선순위가 낮은 나머지 클래스는 서비스를 제대로 받지 못하는 단점을 가지고 있고, WRR은 특정 클래스가 링크 용량을 독점하는 문제는 없지만 DiffServ인 경우에는 망 안에서 EF 트래픽이 집중되는 경우에 EF 클래스의 QoS를 보장해줄 수

는 단점을 보이고 있다.

이러한 문제점들을 보완하여 보다 효율적으로 각 클래스별로 QoS를 보장해주고자 퍼지 이론을 이용하여 각 클래스 큐의 상태정보를 구한다. EF 클래스에 폭주 상태가 되어 자원이 부족하게 되는 경우에는 AFs 클래스나 DE 클래스의 가중치를 임시로 빌려와서 EF 클래스의 폭주 상태를 완화 시키고, EF 클래스의 폭주상태가 완화되면 임시로 빌려온 가중치를 다시 되돌려 주는 스케줄러 알고리즘을 제안함으로써 기존의 방법보다 향상된 성능을 보여주고자 한다.

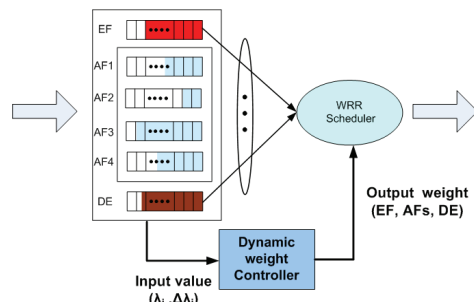


그림 3. 제안된 스케줄러 구조  
Fig.3 Proposed Scheduler Architecture

그림 3은 제안된 스케줄러의 구조를 나타내고 있다.

동적 가중치 제어기는 각 클래스 큐의 셀 수( $\lambda$ )와 변화량( $\Delta\lambda$ )이 입력되면 퍼지 이론을 이용하여 큐의 상태정보 값을 계산하고 클래스의 우선순위와 상태정보에 따라서 각 클래스 큐의 가중치를 제어한다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 퍼지 이론을 이용하여 각 클래스 큐의 상태정보를 구하고, 상태정보에 따라 각 클래스 큐의 가중치를 동적으로 제어함으로써 PQ와 WRR의 단점을 보완하고, EF 클래스에만 서비스가 집중되는 것을 방지하고 나머지 우선순위가 낮은 클래스에도 서비스 지원을 향상시켰다.

DiffServ 모델에서 사용자 패킷은 트래픽 특성에 따라 EF, AFs, DE 클래스로 집합화 되고 서비스 받는다. EF 클래스는 우선순위가 가장 높은 클래스로서 최소의 손실과 지연을 보장해야 한다. 다음으로 AFs 클래스는 3개의 페기 우선순위에 따라서 서비스 되며, 약정 대역폭을 초과하는 트래픽은 전송되지 않을 가능성이 높다. 마지막으로 DE 클래스는 best effort 방식으로 전달되며 DiffServ를 지원하지 않는 사용자를 허용하기 위한 형태이다.

제안된 스케줄러 알고리즘은 우선순위가 가장 높은 EF 클래스를 기준으로 한다. EF 클래스의 큐 상태 정보 값이 임계치(thHigh) 보다 크다면 폭주가 발생하여 패킷 손실이 발생할 수 있으므로 AF 클래스 내에서 남은 가중치가 있는지 찾는다. 만약에 AF 클래스 큐의 상태 정보 값이 임계치(thLow) 보다 작다면 AF 클래스의 가중치를 감소시키고, EF 클래스의 가중치를 증가 시켜준다. 만약에 AF 클래스에 남은 자원이 없다면 DE 클래스의 가중치를 감소시켜 EF 클래스의 가중치를 증가 시켜 준다. 이러한 방식으로 각 클래스 큐의 상태정보에 따라서 대역에 여유가 있는 AF 클래스나 우선순위가 낮은 DE 클래스의 가중치를 빌려옴으로써 EF 클래스의 폭주를 완화시킬 수 있고, 폭주가 완화되면 가중치를 반환하게 된다. EF 클래스 가중치의 반환과정은 AF 클래스에서 빌려온 가중치가 있다면 AF 클래스에 반환하고 AF 클래스에서 빌려온 가중치가 없다면 DE 클래스에 반환하게 된다. 그림 4는 제안된 알고리즘의 흐름도 이다.

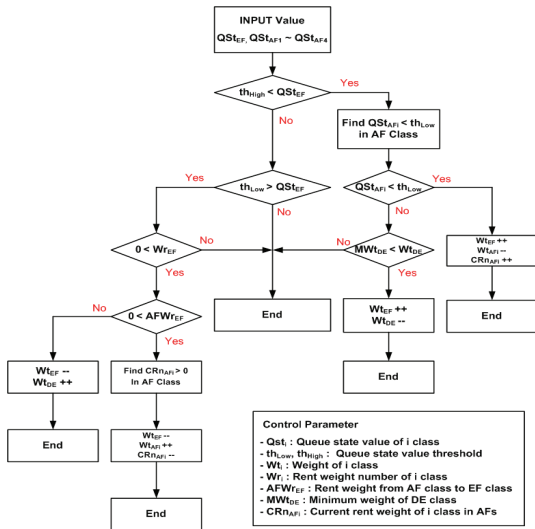


그림 4. 제안된 알고리즘 흐름도  
Fig. 4 Proposed Algorithm Flowchart

## IV. 제안된 스케줄링 알고리즘

### 4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안된 알고리즘의 시뮬레이션은 NS-2의 DiffServ 노드를 기반으로 그림 5와 같은 무선 망을

구성해서 시뮬레이션 하였다. 그림 5에서 Source 1~ Source 6은 트래픽을 발생시키는 노드로서 트래픽은 포아송 과정으로 발생되며, Dest 1 ~ Dest 6은 발생된 패킷을 받는 노드이다. R1, R2, R3은 DiffServ 기능을 가지고 있는 라우터로서 R1, R3은 edge 라우터이고 R2는 core 라우터이다. 즉, R1, R3은 소스 노드로부터 패킷을 받으면 그 패킷을 분류, 측정, 표시, 웨이핑/폐기를 하고 R2로 넘겨준다.

R2~R3 사이의 링크에 bottleneck을 두고, R2의 큐의 크기를 50packets로 해서 패킷 폐기와 지연이 발생하게 하였으며, 나머지 링크는 용량을 크게 하여 시뮬레이션에 영향을 주지 않도록 하였다.

R1 라우터에 6개의 클래스가 접속되어 있다. 클래스의 구성은 가장 우선순위가 높은 EF 클래스와 AF1~AF4까지 4개의 클래스로 구성되어 있는 AF 클래스와 우선순위가 가장 낮으면서 최저 서비스만을 기다리는 DE 클래스로 구성 되어있다. 모든 라우터에서 큐를 관리하기 위한 방법으로는 EF 클래스에서는 Drop Tail, AF 클래스에서는 RED, DE 클래스에서는 Drop Tail 방법을 사용하였으며 시뮬레이션은 100초 동안 수행하였다.

그림 6은 입력되는 트래픽의 양과 라우터 내부의 큐의 상태를 보여주고 있다. EF 클래스의 입력 트래픽은 EF 클래스의 링크 용량 6.7Mbps를 기준으로 입력 부하가 0.6에서 1.1까지 시뮬레이션 하였으며, 특히 AF4 클래스의 입력율은 1.5Mbps인데, 이는 AF4 클래스의 남은 영역이 발생하게 된다. 이와 같이 어떤 클래스에 남은 영역이 있을 경우에는 남은 영역을 어떻게 하면 효율적으로 사용할지가 중요한 관점이다. 일반적으로 WRR 방식은 남은 영역이 발생할 경우에 가중치에 비례하는 양 만큼 분배하여 사용 되는데, 제안된 알고리즘에서는 우선순위가 가장 높은 EF 클래스에 할당하여 WRR 방식의 단점을 보완하였다.

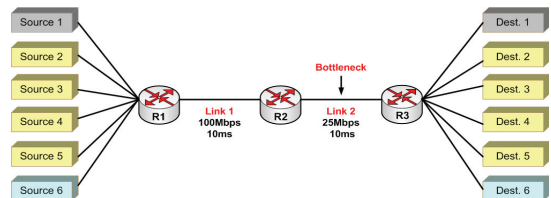


그림 5. NS-2로 구성한 시뮬레이션 네트워크 모델  
Fig. 5 Simulation Network Model Composed of NS-2

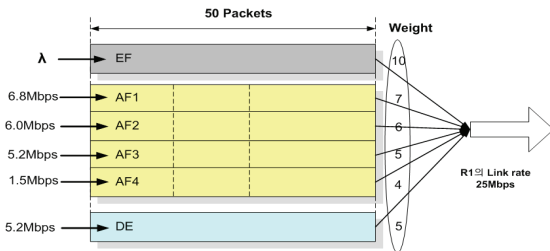


그림 6. 라우터 내부 큐 상태  
Fig. 6 Status of Router Inner Queue

#### 4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션 결과는 DiffServ에서 많이 사용되어지고 있는 방식인 PQ방식과 WRR 방식, 그리고 제안된 방식을 비교분석하여 나타낸다. 제안된 방식은 표 1과 같은 퍼지 제어 파라미터에 따라 4가지 방식을 사용하였다. 표 1에서 제어 주기는 라우터에서 각 클래스 큐의 가중치를 동적으로 할당하기 위한 시간이며, Min Wt DE와 Min Wt AF는 DE 클래스와 AF 클래스에 할당된 최소 가중치이다. 따라서, EF 클래스에 폭주가 발생하여 AF 클래스나 DE 클래스에서 가중치를 할당 받을 수 없으려면 AF 클래스나 DE 클래스에서 최소 가중치 이상을 가지고 있어야 한다. 이는 우선순위가 낮은 AF 클래스와 DE 클래스의 최소 QoS를 보장하기 위한 파라미터이다.

표 1. 퍼지 제어 파라미터  
Table 1. Fuzzy Control Parameter

Parameter	PRO	PRO_1	PRO_2	PRO_3
제어 주기	50ms	50ms	50ms	50ms
Min Wt DE	3	4	4	5
Min Wt AF	3	2	1	0

그림 7은 EF 클래스의 평균 패킷 폐기율을 보여주고 있다. PQ의 경우에는 링크의 가중치를 우선순위가 가장 높은 EF 클래스에서 우선적으로 사용할 수 있기 때문에 PQ에서의 성능은 현저하게 좋으나 WRR의 경우 입력이 많아질수록 EF 클래스의 폐기율이 증가하는 것을 볼 수 있다. 제안된 알고리즘의 파라미터 특성을 보면, 최소 가중치 값이 작을수록 EF 클래스의 패킷 손실률은 줄고, DE 클래스의 손실은 증가하는 특성을 보이고 있다. 이는 최소 가중치 값이 작을수록 EF 클래스에 폭주가 발생할 경우 더 많은 가중치를 EF 클래스에 할당할 수 있기 때문이다. 아래 표 2는 각 클래스별 패킷 폐기율을 나타

내고 있다.

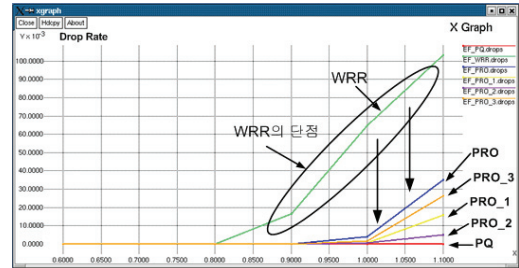


그림 7. EF 클래스의 패킷 폐기 확률  
Fig. 7 Probability for Packet Drop of EF Class

표 2. 패킷 폐기율 비교

Table 2. Comparison of Packet Drop Probability

Scheduler \ Class	EF	AF1	AF2	AF3	AF4	DE
PQ	0%	0%	0%	12%	48%	92%
WRR	6.7%	21%	26%	32%	0%	31%
PROposed	0.3%	21.5%	26.5%	32%	0%	35%

제안된 알고리즘은 WRR을 기반으로 가중치를 동적으로 제어하여 WRR의 단점인 EF 클래스의 손실율을 줄일 수 있고, PQ의 단점인 AF4 클래스의 손실율을 줄일 수 있었다. DE 클래스는 최소 보장 서비스만을 하고 있기 때문에 효과가 조금은 감소하였다. 그 이유는 EF 클래스와 AF 클래스의 효과가 증가한 만큼 조금의 감소를 보이게 된 것이다. 하지만 제안된 알고리즘은 EF와 AF 클래스의 QoS를 보장해주면서도 DE 클래스도 PQ 방식과 비교하면 많은 성능 향상을 보이고 있다.

따라서, 우선순위가 높은 클래스의 패킷 폐기율이 낮으면서 우선순위가 낮은 클래스에서도 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 따라서 남은 가중치를 효율적으로 분배하여 사용하고 있음을 알 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 센서 네트워크를 위한 스케줄링 알고리즘을 개발하였다. 기존에 차별화 서비스를 위한 스케줄러로서 다양한 스케줄러들이 있지만 그 중에서 PQ(Priority Queue)와 WRR(Weighted Round Robin)이 사용되어질 때의 단점들을 보완하고자 각 클래스에 입력



되는 큐의 상태에 따라 각 클래스의 가중치를 공평하게 할당하는 방법을 제안하여 무선 센서 망에서의 무선 자원 할당에 사용될 수 있도록 알고리즘을 개발 하였다.

본 논문에서는 WRR기반의 스케줄러에 동적 가중치 할당 알고리즘을 적용시킴으로써 DiffServ 구조에서 가장 우선순위가 높은 EF 클래스의 QoS를 보장해 주기 위하여 AF 클래스 중에서 남는 영역의 가중치를 우선 할당하고 남는 영역이 없는 경우에 DE 클래스의 가중치를 할당하여 EF 클래스의 QoS를 제공하였다. 이렇게 함으로써, 무선 통신 환경에서 우선순위가 높은 클래스에 QoS를 보장 할 수 있도록 알고리즘을 개발하였다.

현재 유선망에서 사용이 되어지고 있는 스케줄러 방식인 PQ 보다는 DE 클래스에서 패킷 폐기율은 대략 55% 정도의 성능 향상을 보였다. 그리고 기존 WRR 방식 보다는 EF 클래스에서 패킷 폐기율이 평균 6.5% 정도의 성능 향상을 보였다.

향후 연구과제는 개발된 알고리즘을 센서 네트워크에 적용하여 각 클래스별 QoS를 보장할 수 있도록 많은 기능들의 적용이 계속 이루어져야 할 것이다. 무선 센서 네트워크 환경에서 발생하는 bandwidth broker 또는 수락 제어(admission control), 자원예약(resource reservation) 등과 같은 기능을 적용시켜 스케줄러의 성능을 향상시키는 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] Lei Xie, Yongjun Xu, Xiaowei Li, Yuefei Zhu, "A Lightweight Scheme for Trust Relationship Establishment in Ubiquitous Sensot Networks", Computer and Information Technology, 2006. CIT apos; 06. The Sixth IEEE international Conference on Volume, Issue, Sept. 2006 Page:229-239.
- [2] Heinzelman, W.B Murphy, "Middleware to Support Sensor Network Applications", IEEE Network, Vol. 18, no.1, pp.6-14, Jan. 2004.
- [3] S. Blake, D. Black, M. Carlson, Wang and Weiss, "An Architecture for Differentiated Services," RFC 2475, Dec. 1998.
- [4] K. Nichols, S. Blake, F. Baker, D. Black, "Definition of the Differentiated Services Field(DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers," RFC 2474, Dec. 1998.
- [5] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss, J. Wroclawski, "Assured Forwarding PHB," RFC 2597, June 1999
- [6] Jianmin Mao; Moh, W.M.; Wei, B., "PQWRR scheduling algorithm in supporting of diffserv", Communications, 2001. ICC 2001. IEEE International Conference on, Volume: 2, 2001.

## 저자 소개

### 조 해 성(정회원)



공학과 교수

- 1994년 2월 : 전북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 전북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 전북대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2009년 현재 : 건양대학교 전자정보

<주관심분야> RFID/USN 기술, 통신 자원할당 기술, 센서 네트워크, Ad-Hoc Network, BcN>

### 조 주 필(정회원)



선임연구원.

- 1992년 2월 : 전북대학교 정보통신학과 졸업
- 1994년 2월 : 전북대학교 전자공학과 석사
- 2001년 2월 : 전북대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년~2005년 ETRI 이동통신연구단

• 2005년~현재 군산대학교 전파공학과 부교수.

• 2006년 ~ 2007년 ETRI 초빙연구원.

<관심분야> 통신신호처리, 적응신호처리, 4세대 이동통신기술, Cognitive Radio, UWB