

## 무선 메쉬 네트워크에서 게이트웨이 병목 회피를 위한 우선순위 타임 스케줄링 기법

류 민 우\* · 김 대 영\* · 차 시 호\*\* · 조 국 현\*

### *A Priority Time Scheduling Method for Avoiding Gateway Bottleneck in Wireless Mesh Networks*

Ryu, Min Woo · Kim, Dae Young · Cha, Si Ho · Cho, Kuk Hyun

#### 〈Abstract〉

In existing wireless ad-hoc networks, how to distribute network resources fairly between many users to optimize data transmission is an important research subject. However, in wireless mesh networks (WMNs), it is one of the research areas to avoid gateway bottleneck more than the fair network resource sharing. It is because WMN traffic are concentrated on the gateway connected to backhaul. To solve this problem, the paper proposes Weighted Fairness Time-sharing Access (WFTA). The proposed WFTA is a priority time scheduling scheme based on Weighted Fair Queuing (WFQ).

Key Words : Wireless Mesh Network, Gateway, Bottleneck, Network Traffic

### I. 서론

최근 WLAN 기술의 발전에 따라 유선 백본망에 의존하지 않고 무선 노드들끼리 백본을 구성하고 무선으로 통신을 할 수 있는 무선 메쉬 네트워크(WMN)에 대한 관심과 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 WMN은 기존의 ad-hoc 네트워크와 유사한 특징을 가지기 때문에 ad-hoc 네트워크에서 활용한 기술들을 WMN 환경에 적용하기 위한 연구가 진행 중이다[1]. 그 중에서도 다중 홉으로 이루어진 네트워크에서의 중단 간 지연을 해결하

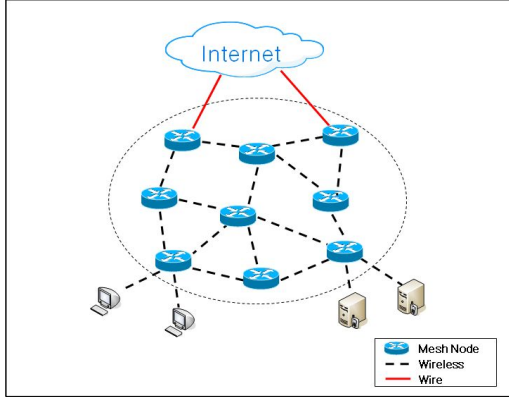
기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, ad-hoc 네트워크에서 사용되었던 라우팅 메트릭, 게이트웨이 배치 방법 등을 변형한 방법들이 제안되었다. 그러나 이러한 라우팅 메트릭이나 게이트웨이 배치 방법 등은 다중 홉 방식의 WMN의 규모가 커짐에 따라 성능이 저하되는 결과를 가져온다[2].

기존 ad-hoc 네트워크에서는 여러 사용자들 간의 데이터 전송을 최적화 하는데 초점을 맞추어 네트워크 자원을 어떻게 균등하게 분배할 것인가가 연구의 초점이 되어왔지만 WMN의 경우 <그림 1>과 같이 다중 홉 방식을 사용하기 때문에 네트워크에서 고르게 데이터가 전송되기 보다는 여러 메쉬 라우터들과 유선 인터넷에 연

\* 광운대학교 대학원 컴퓨터학과

\*\* 청운대학교 멀티미디어학과 교수(교신저자)

결되는 게이트웨이 간에 데이터 전송이 이루어짐으로써 네트워크 트래픽이 소수의 게이트웨이에 집중된다.



<그림 1> WMN 구조

그렇기 때문에 이러한 트래픽 경향을 고려해서 게이트웨이로 집중되는 트래픽을 적절하게 경로에 따라 분배하는 기술이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 게이트웨이 병목 현상을 해결하기 위하여 WFQ(Weighted Fair Queuing)와 TSS(Tim-sharing System) 기법을 기반으로 한 WFTA(Weighted Fairness Time-Sharing Access) 스케줄링 기법을 제시한다.

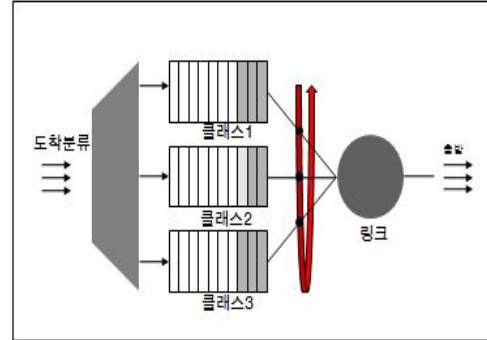
본 논문의 2장에서는 관련 연구에 대하여 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 WFTA 스케줄링 기법을 제시한다. 그리고 4장에서는 본 연구에서 제안한 WFTA 스케줄링을 NS-2 시뮬레이터를 통한 분석과 그 타당성을 증명한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대하여 기술한다.

## II. 관련연구

### 2.1 WFQ(Weighted Fair Queuing)

WFQ 스케줄링[3]은 라운드 로빈 큐잉의 일반화된 개념

을 적용한 규칙으로서 순환방식으로 클래스들을 서비스 한다. 즉 세 개의 클래스가 있을 경우 클래스 1부터 차례로 클래스 3까지 서비스한 다음에 다시 이런 서비스를 반복하는 방식이다.



<그림 2> WFQ 동작 구조

이러한 WFQ는 작업 보존 큐잉 규칙이기 때문에 빈 클래스 큐를 보면 서비스 순서에서 다음 클래스로 즉시 이동하는 특징을 가지고 있다. <그림 2>는 WFQ의 동작을 나타낸 것이다.

WFQ는 각 클래스마다 다른 양의 서비스 시간을 부여하며 각 클래스는 가중치(weight)  $w_i$ 를 할당 받는다. 클래스  $i$ 는 전송할 패킷이 있는 동안에는  $w_i / (\sum w_j)$ 의 서비스 시간을 보장받게 된다. 여기에서  $(\sum w_j)$ 는 전송을 위해 큐에 패킷이 있는 모든 클래스에 대한 합이 된다.

WFQ의 장점으로는 모든 flow가 우선순위를 가지기 때문에 기아 현상이 발생하지 않는다. 그리고 fair 큐잉 방식에서의 차등화된 서비스를 제공하지 못하는 현상을 해소하였다. 하지만 단점으로는 이벤트 발생이 빈번할 경우에 시간 계산이 복잡해질 수 있고, 서버의 부하가 증가할 수 있다. 또한 backlogged flow들에 대한 추적이 필요하기 때문에 오버헤드의 발생을 초래할 수도 있다 [4]. 따라서 본 논문에서는 게이트웨이에 weighted fairness의 개념을 적용한 타임 스케줄링 기법에 대하여 논하고자 한다.

### III. WFTA 스케줄링 기법

본 절에서는 게이트웨이의 병목 현상을 해결하기 위한 WFTA(Weighted Fairness Time-Sharing Access) 스케줄링 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안된 WFTA는 소수의 게이트웨이에 다수의 메쉬 라우터가 연결되기 때문에 다중 채널 구조의 WMN을 사용할 경우 최적화의 채널을 찾기 위한 제어 트래픽의 과다 발생을 피하기 위하여 다중 채널의 WMN 구조가 아닌 단일 채널 WMN 구조에서 다루어진다고 가정한다. 이를 위해 먼저 기호를 정의하고, WFTA의 모델 구조와 WFTA의 큐의 구조에 대해서 이야기한다.

#### 3.1 기호 정의

다음 <표 1>은 본 논문에서 제안하고 있는 WFTA 스케줄링을 정의하기 위한 기호를 표현한 것이다.

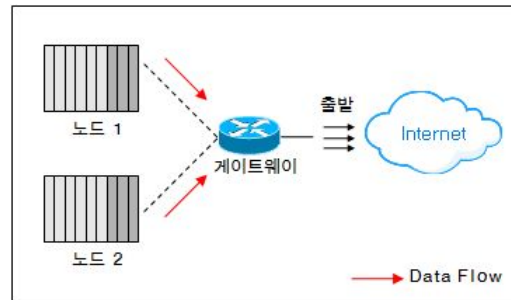
<표 1> 기호 정의

$R_i$	임의의 노드 1의 연결 속도
$R_j$	임의의 노드 2의 연결 속도
$R_{th}$	병목 링크 처리량
$T$	최대 대역폭 사용 시간
$F$	데이터 파일의 크기
$R$	초당 패킷 수 단위의 링크 전송률
$W_i$	가중치
$(\cdot w_j)$	큐에 패킷이 있는 모든 클래스에 대한 합
$d_{max}$	최대 지연시간
$b_i$	패킷의 숫자

#### 3.2 WFTA 스케줄링 모델

WFTA는 기존의 WFQ 스케줄링 개념을 적용하여 게이트웨이와 메쉬 라우터간의 병목현상을 시간에 따른 시분할 방식으로 처리하는 스케줄링 기법이다. 따라서 대

역폭을 메쉬 라우터의 채널 개수로 나누지 않고 해당 시간 동안 대역폭 전체를 사용하여 실제 게이트웨이에서 발생할 수 있는 병목 현상을 해결하기 위한 스케줄링 기법이다. 또한 패킷에 우선순위를 적용하여 차등적인 서비스를 제공할 수 있도록 한다.



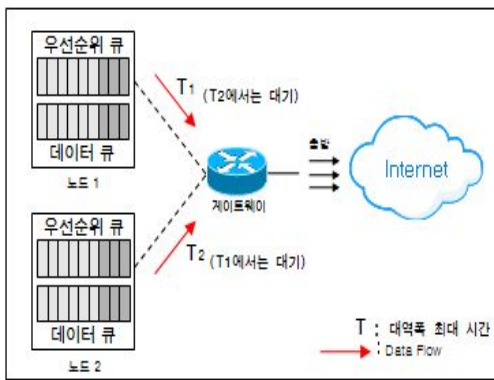
<그림 3> 단일 채널 WMN의 병목 현상 모델

<그림 3>에서 게이트웨이에 연결된 두 개의 메쉬 라우터(노드1, 노드2)의 연결 속도를 각각  $R_i, R_j$ 라고 할 때  $(R_i + R_j) = B$ 라고 하고, 이에 따른 대역폭은  $\frac{B}{2}$ 로 나타낼 수 있다. 또한 게이트웨이에서 병목 링크 처리량이  $R_{th}$ 라고 한다면, 병목 처리량  $R_{th}$ 는  $R_{th} = \min\{R_i, R_j\}$ 로 나타낼 수 있다. 따라서  $R_i, R_j$ 는  $\frac{B}{2}$  bps 보다 빠른 속도로 게이트웨이로 비트들을 보낼 수 없다. 만약에  $R_i < \frac{B}{2}, R_j < \frac{B}{2}$ 이면 각각의 메쉬 라우터가 배출한 비트들은 각각  $R_i, R_j$  bps의 속도로 도착하며  $R_{th}$  bps의 처리율을 나타낼 것이다. 하지만  $R_i < \frac{B}{2}, R_j < \frac{B}{2}$  이면 각각의 라우터는 자신들이 수신하는 비트만큼 빠르게 그 비트를 전달할 수 없을 것이다. 이 경우 각각의 라우터에서는  $R_i, R_j$ 의 속도로 계속해서 게이트웨이에 데이터를 전송하게 되고 게이트웨이에서는  $\frac{B}{2}$  bps의 속도로 데이터를 처리하기 때문에 병목현상이 발생하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 각각의 메쉬 라우터에서 게이트웨이로 데이터를 전달할 때  $R_i = B, R_j = B$ 가 되는 멀티채널 WMN의 형태가 되어야 한다. 하지만 단일 채널 WMN에서는  $R_i = B, R_j = B$ 를 만족시킬 수 없기 때문에 본 논문에서는 시분할 시스템을 이용하여

WFQ 기반의 WFTA 스케줄링 기법을 적용하였다.

<그림 4>는 WFTA 모델을 나타낸 것으로 각각의 메시 라우터(노드1, 노드2)의 연결 속도를  $R_i, R_j$ 라 하고 대역폭은  $(R_i + R_j) = B$  라고 가정한다. WFTA는 노드1과 노드2가 게이트웨이로 데이터를 동시에 전송하는 것이 아니라 주어진 시간  $T$ 동안 게이트웨이에 데이터를 전송하고 다른 노드(노드 2)는 대기 하게 된다.



<그림 4> WFTA 스케줄링 모델

이것은 각각의 메시 라우터가 동시에 데이터를 전송하여 대역폭을 나누어 사용하는 것을 방지하기 위한 방법으로, 시분할 시스템을 사용한 것이다. 즉, 노드1과 노드2는  $T$ 동안 각각  $R_i \leq B, R_j \leq B$ 의 속도로 데이터를 전송할 수 있다. 각 메시 라우터가 사용할 수 있는 최대 대역폭의 시간  $T$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

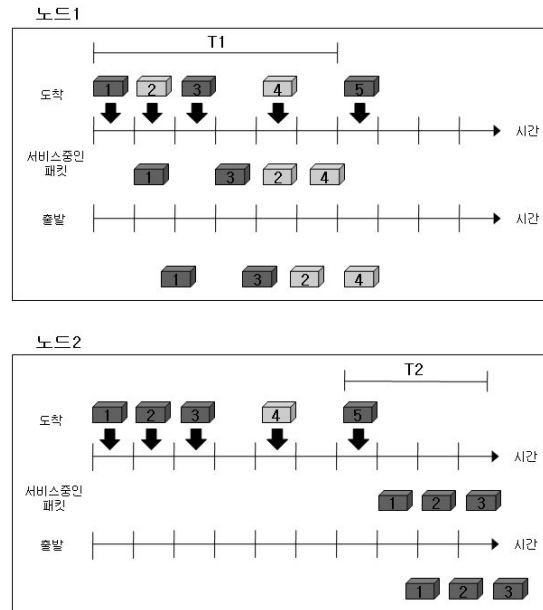
$$T = \frac{F}{R_{th}} < d_{max} \quad (1)$$

또한  $T$ 는 데이터 전송이 완료되기 까지 최대 지연 시간  $d_{max}$ 를 넘을 수 없으며  $d_{max}$ 는 다음과 같이 나타낸다 [6].

$$d_{max} = \frac{b_i}{R \cdot W_i / \sum w_j} \quad (2)$$

### 3.3 WFTA 큐의 동작 구조

본 절에서는 앞 절에서 설명했던 WFTA 스케줄링 모델에서 큐의 동작 구조를 설명한다. WFTA 스케줄링 모델에서의 각 노드는 <그림 4>와 같이 높은 우선순위 큐와 데이터 큐를 가지고 있다. 이것은 실제 데이터가 게이트웨이로 전달 될 때 먼저 처리해야할 데이터를 고려하여 우선순위 큐잉 기법을 적용하였으며, 우선순위 큐는 전송할 패킷을 선택할 때, 비어 있지 않은 큐를 갖는 가장 높은 우선순위 클래스의 패킷을 전송한다. 만약 같은 우선순위 클래스에 있는 패킷을 선택 할 때는 일반적으로 FIFO(First Input First Output) 방식을 사용하는 것을 전제로 한다.



<그림 5> WFTA 스케줄링 큐의 동작

<그림 5>는 WFTA 스케줄링 큐의 동작과정을 나타낸 것으로 노드 1의 패킷 1, 3, 5는 높은 우선순위 큐에 속하고 2, 4는 데이터 큐에 속한다. 패킷 1이 도착하고 링크의 사용 유무를 확인한 후 데이터 전송을 시작한다. 패킷

1을 전송하는 동안에 패킷 2와 3이 도착하면 이 패킷들을 각각 데이터 큐와 우선순위 큐에 들어간다. 패킷 1을 전송한 다음에는 우선순위 큐에 있는 패킷 3이 먼저 전송되기 위해 선택이 된다. 패킷 3을 전송한 다음에야 패킷 2의 전송이 시작된다. 이때 노드 2는 노드 1이  $t_1$ 만큼의 시간동안 게이트웨이로 데이터를 전송할 때 패킷을 각각 우선순위 큐와 데이터 큐에 저장하였다가  $t_1$ 만큼의 시간이 지나면 그때 데이터를 전송하고 노드 1의 데이터 큐와 우선순위 큐에서는 노드 2가  $t_2$ 시간 동안 데이터를 전송할 때 까지 패킷을 저장한다.

#### IV. 분석 및 검증

본 장에서는 NS-2를 이용한 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석하고 검증한다. 본 연구의 타당성을 증명하기 위해서 단일 채널에서의 일반적인 WMN 모델과 본 연구에서 제안하는 WFTA 스케줄링 기법을 적용한 WMN 모델을 비교하여 성능 평가를 하였다. 또한 성능 평가의 특징으로 노드 숫자 증가에 따른 처리량, 지연 시간, 전송된 패킷 숫자를 고려하여 시뮬레이션을 실시하였다. 실험은 200초 동안 지속되며, 노드의 숫자를 20개씩 증가시켰다. 데이터의 패킷 크기는 1000byte로 전송된다. 실험은 3번 수행하여 평균값을 이용하였다.

##### 4.1 게이트웨이 성능 평가

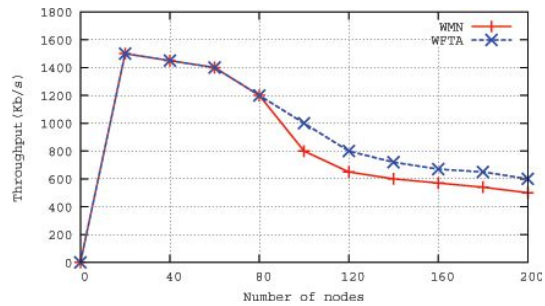
<그림 6>은 노드의 숫자 변화에 따른 게이트웨이의 처리량을 나타낸 것이다. 그래프에서 보듯이 노드의 숫자가 늘어남에 따라 게이트웨이의 병목 현상으로 인하여 처리량이 감소하는 것을 알 수 있다. 하지만 일반적인 WMN의 네트워크의 모델과 비교 하였을 때 본 연구에서 제안하는 WFTA 기법을 적용한 네트워크 모델의 처리량은 성능 감소치가 낮다는 것을 확인 할 수 있다.

<표 2> 시뮬레이션 파라미터

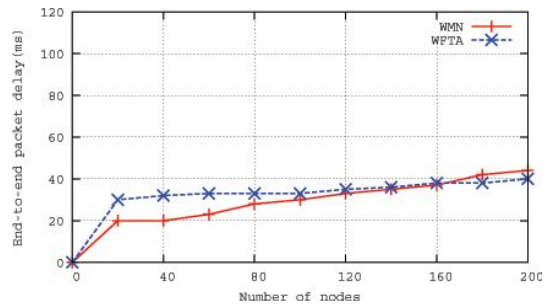
변수	값
시뮬레이션 환경	NS-2
토폴로지 사이즈	1000 * 1000
전송 범위	250
게이트웨이 수	1
트래픽 타입	CBR
MAC Protocol	802.11
노드수	20개씩 증가
Packet Size	1000byte
대역폭	5 Mbps

##### 4.2 지연 시간 및 전송 패킷 수 분석

노드 증가에 따른 네트워크 지연 시간은 <그림 7>과 같다. 단일 채널 WMN 모델과 비교하였을 때 본 연구에서 제안하는 WFTA 기법을 적용한 네트워크 모델은 다소 높은 지연 시간을 초래하는 것을 확인 할 수 있다.



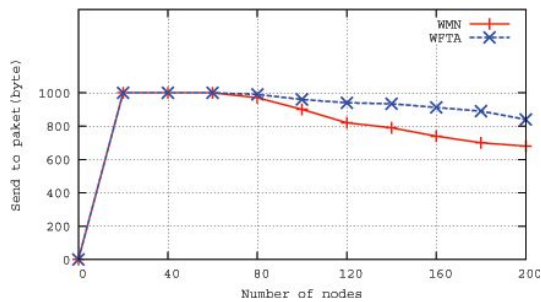
<그림 6> 노드 증가에 따른 게이트웨이 처리량



<그림 7> 노드 증가에 따른 네트워크 지연 시간

특히 노드 20개부터 160개 사이에서는 단일 채널 WMN과 비교하였을 때 더 높은 네트워크 지연시간을 초래하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 시분할 방식에 의해 나타난 것으로 본 연구에서 제안하는 일정 시간 T만큼 게이트웨이와 연결된 노드의 지연이 발생하기 때문에 나타난다. 하지만 일반 적인 단일 채널 WMN 모델은 네트워크의 전체 노드 수가 증가될수록 지연 시간이 증가하는 것을 볼 수 있으며, 본 연구에서 제안하는 WFTA 기법을 적용한 모델은 노드의 숫자가 증가 되더라도 지연 시간이 일정함을 확인 할 수 있다. 또한 패킷 손실율에서도 단일 채널 WMN 모델과 비교하였을 때 적은 손실률을 확인 할 수 있다.

<그림 8>은 노드 증가에 따른 패킷 손실률을 나타낸 것이다. WFTA 큐에서의 우선순위 패킷 처리와 일정 시간 동안의 전체 대역폭을 사용하기 때문에 그래프에서 보는 것과 같이 전송 패킷 손실이 적은 것(전송되는 패킷의 양이 증가함)을 확인 할 수 있다. 위에서 측정된 결과들을 통해 WFTA 기법의 적용한 네트워크 모델이 일반적인 단일 채널 WMN 모델과 비교하여 더 좋은 성능을 가짐을 확인 할 수 있다.



<그림 8> 노드 증가에 따른 패킷 손실률

## V. 결론

본 연구에서는 WMN의 게이트웨이 병목 현상을 해결하기 위하여 WFQ와 시분할 시스템을 적용한 WFTA 스

케줄링을 제시하였다. 단일 채널 WMN에서의 대역폭 사용을 기존의 채널의 숫자에 따른 분배가 아닌 시분할 시스템 방식으로 각 노드가 주어진 시간동안 최대 대역폭을 사용하여 병목현상으로 인하여 발생하는 전송 지연, 데이터 패킷 손실, 낮은 처리율의 문제를 기존의 단일 채널 WMN 모델과 비교하여 더 높은 성능을 증명하였다. 하지만 노드 숫자의 증가에 따른 네트워크 성능의 감소 문제는 여전히 남아있다. 이것은 노드의 숫자가 증가함에 따른 처리량의 한계점으로 이것을 해결하기 위해서는 우선적으로 무선 메시 백본에서의 효율적인 채널 할당 및 QoS가 이루어져야 한다. 따라서 추후 연구에서는 무선 메시 백본에서의 효율적인 채널 할당 기법과 모든 노드에게 공평한 QoS를 제공할 수 있는 방법에 대하여 연구를 수행할 것이다.

## 참고문헌

- [1] S. M. Faccin et al., "Mesh WLAN Networks: Concept and System Design", IEEE Wireless Communications, Vol. 13, No. 2, Apr. 2006, pp. 10-17.
- [2] T. Nandagopal, S. Lu. and V. Bharghavan, "A Unified Architecture for the Design and Evaluation of Wireless Fair Queuing Algorithms", Wireless Networks, Vol. 8, No. 2-3, Mar. 2002, pp. 231-247.
- [3] J. Robinson and E. Knightly, "A Performance Study of Deployment Factor in Wireless Mesh Network," Proceedings of IEEE INFOCOM 2007, May 2007, pp. 2054-2062.
- [4] L. Zhang, "Virtual Clock: a new traffic control algorithm for packet switching network," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 20, No. 4, Sep. 1990, pp. 19-29.
- [5] A. B. Lindquist, R. R. Seeber, and L. W. Comeau,

"A Time Sharing System Using an Associative Memory," Proceedings of the IEEE, Vol. 54, No. 12, Dec. 1996, pp. 1774-1779.

- [6] P. Goyal, H. M. Vin, and H. Cheng, "Start-Time Fair Queueing: A Scheduling Algorithm for integrated Services Packet Switching Networks," IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 5, No. 5, Oct. 1997.



조 국 현  
Cho, Kuk Hyun

1984년 3월-현재  
광운대학교 컴퓨터공학부 교수  
1984년 2월 일본 동북대학교 대학원 (공학박사)  
1981년 2월 일본 동북대학교 대학원 (공학석사)  
1977년 2월 한양대학교 전자공학과 (학사)  
관심분야 : 네트워크 관리, 분산처리, 정보통신  
의 표준화, WMN 등  
E-mail : chokh@kw.ac.kr

논문접수일 : 2009년 3월 5일
수 정 일 : 2009년 3월 30일
게재확정일 : 2009년 4월 5일

■ 저자소개 ■



류 민 우  
Ryu, Min Woo

2007년 9월-현재  
광운대학교 컴퓨터학과 석사과정  
2007년 2월 여주대학 인터넷응용학과  
(전문학사)  
관심분야 : 네트워크 관리, QoS, WMN, USN,  
E-mail : minu0921@kw.ac.kr



김 대 영  
Kim, Dae Young

2004년 3월-현재  
광운대학교 컴퓨터학과 박사과정  
2004년 2월 광운대학교 컴퓨터학과 (석사)  
2002년 2월 남서울대학교 컴퓨터학과 (학사)  
관심분야 : 네트워크관리, QoS, USN, WMN  
E-mail : com@kw.ac.kr



차 시 호  
Cha, Si Ho

2009년 3월-현재  
청운대학교 멀티미디어학과 교수  
2004년 2월 광운대학교 컴퓨터학과(박사)  
1997년 7월-2000년 2월  
대우통신 종합연구소 선임연구원  
1997년 8월 광운대학교 전자계산학과(석사)  
1995년 2월 순천대학교 전자계산학과(학사)  
관심분야 : 네트워크 관리, WSN, WMN,  
유비쿼터스 컴퓨팅  
E-mail : shcha@chungwoon.ac.kr