

# 무선 메쉬 네트워크의 군 환경 적용을 위한 효율적인 위치기반 패킷 스케줄링 방식

정회원 김 영 안\*, 종신회원 홍 충 선\*\*<sup>o</sup>

## An Effective Location-based Packet Scheduling Scheme for Adaptive Tactical Wireless Mesh Network

Young An Kim\* *Regular Member*, Choong Seon Hong\*\*<sup>o</sup> *Lifelong Member*

### 요 약

무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Network) 기술은 유선을 설치하기 힘든 섬지역이나, 군의 전장지역과 같은 넓은 지역에 저렴한 비용으로 인프라를 제공할 수 있다. 그러나 무선 메쉬 네트워크에서는 다중 홉 통신 환경에서 홉 수의 증가로 인한 성능의 급격한 감소는 물론 지연이 급격히 증가되는 결과를 초래하고 있다. 군 환경에 무선 메쉬 네트워크의 적용을 고려할 때 게이트웨이를 통하는 음성이나 동영상과 같은 실시간 데이터 트래픽이 많은 부분을 차지할 것으로 볼 때, 원거리 부대 AP에 연결된 메쉬 단말들은 실시간 서비스 받기가 제한이 된다. 이로 인해 공정성에 대한 문제가 발생하게 된다.

본 논문에서는 이 문제 해결을 위해 각 계대별 AP에 연결된 모든 메쉬 노드에 공정한 QoS를 제공할 수 있고, 군의 특성을 고려한 긴급정보나 Control 패킷에 우선순위(가중치)를 부여할 수 있는 WRR(Weight Round Robin) 방식을 기본으로 동작하는 위치기반 패킷 스케줄링 방식을 제안하여 성능을 검증하였다.

**Key Words** : Wireless Mesh Network, Hop-by-Hop, WRR, Fairless, Location-based Packet Scheduling

### ABSTRACT

The Wireless Mesh Network technology is able to provide an infrastructure for isolated islands, in which it is difficult to install cables or wide area such as battlefield of armed forces. Therefore, Wireless Mesh Network is frequently used to satisfy needs for internet connection and active studies and research on them are in progress. However, as a result of increase in number of hops under hop-by-hop communication environment has caused a significant decrease in throughput and an increase in delay. Considering the heavy traffic of real-time data, such as voice or moving pictures to adaptive WMN, in a military environment, it is restricted for remote units to have their Mesh Node to get real-time services. Such phenomenon might cause an issue in fairness.

In order to resolve this issue, the Location-based Packet Scheduling Scheme, which can provide an fair QoS to each mesh node that is connected to each echelon's AP and operates based on WRR method that gives a priority to emergency message and control packet. The performance of this scheme is validated.

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신 진흥원이 대학 IT연구센터 지원 사업의 연구결과로 수행되었음. (IITA-2007(C1090-0602-0002))

\* 경희대학교 컴퓨터공학과 (roundsun@networking.khu.ac.kr)

\*\* 경희대학교 전자정보학부 (cshong@khu.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2007-10-461, 접수일자 : 2007년 10월 9일, 최종논문접수일자 : 2007년 12월 3일

## I. 서 론

무선 메쉬 네트워크(Wireless Meas Network : WMN)는 점점 그 적용범위가 부각되면서 광범위한 연구 및 개발이 이루어지고 있다<sup>1-3)</sup>. WMN는 기존의 유선 기술이나 다른 무선 기술이 비용적 측면에서 접근하기 힘든 지역, 즉 군 환경을 무선 메쉬를 통해 연결하여 인터넷 등의 서비스를 제공하거나 기존의 네트워크를 확장하는 데 있어 매우 중요한 응용 분야이다. 우리나라와 같이 전 국토의 대부분이 광대역 통신망으로 연결된 나라에서는 그 필요성이 크게 부각되지 않지만, 군 환경처럼 전장이 넓고 인구 밀도가 낮은 환경 즉 전방부대처럼 통신망의 보급이 매우 어렵고, 부족한 지역에서 무선 메쉬 네트워크는 기존 유선망과 멀리 떨어진 지역을 위해 해결책으로 부상하고 있다. 다시 말해, 무선 메쉬 네트워크는 기존 네트워크의 도달 범위를 확장시키는 기술로 유선 기술을 설치하기 힘들거나 비용이 부담되는 지역, 즉 전술훈련을 위한 군 환경이나 비상 대비를 위한 새로운 형태의 접속 망으로 표준화 작업이 한창 이루어지고 있는 새로운 무선 네트워크 기술이라고 할 수 있다. 그러나 무선 메쉬 네트워크에서는 다중 홉 통신 환경에서 홉 수의 증가로 인한 성능의 급격한 감소는 물론 지연이 급격히 증가되는 결과를 초래하고 있다. 이러한 무선 메쉬 네트워크를 군 환경에 적용을 고려할 때 게이트웨이를 통하는 음성이나 동영상과 같은 실시간 데이터 트래픽이 많은 부분을 차지할 것으로 볼 때, 멀리 떨어진 독립부대 AP에 연결된 단말들은 실시간 서비스 받기가 제한이 되어 이로 인해 부대간 공정성(Fairness)에 대한 문제가 발생하게 된다<sup>2-3)</sup>.

본 논문에서는 이 문제 해결을 위해 각 제대별 AP에 연결된 모든 메쉬 노드에 공정한 QoS를 제공할 수 있고, 군의 특성을 고려한 긴급정보나 Control 패킷에 우선순위(가중치)를 부여할 수 있는 WRR(Weight Round Robin) 방식을 기본으로 동작하는 위치기반 패킷 스케줄링 방식을 제안한다.

제안한 방식들은 NS-2를 통해서 시뮬레이션을 하였으며, 기존에 Ad-hoc 네트워크에서 무선 멀티홉 통신을 위한 라우팅 기법으로 전체 네트워크의 토폴로지 정보를 가지는 Proactive 라우팅 기법의 대표적인 DSDV(Destination Sequenced Distance Vector Routing)<sup>4)</sup>와 OLSR(Optimized Link State

Routing)<sup>5)</sup> 기법에 제안한 위치기반 패킷 스케줄링을 적용하여 성능을 측정하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 연구로 군 환경 적용을 위한 무선 메쉬 네트워크에 대한 기본적인 환경 설명과 기존의 패킷 스케줄링 기법의 종류에 대해 설명하고, III장에서는 제안하는 위치기반 패킷 스케줄링 기법에 대해 설명한다. IV장에서는 제안모델에 대한 성능평가 결과를 보여주고, V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 2.1 군 환경 적용을 위한 무선 메쉬 네트워크

무선 메쉬 네트워크는 Ad-hoc네트워크와 달리 하위 노드들에게 인터넷에 접속할 수 있는 인프라 스트럭처를 제공하기 위해 연구되고 있는 네트워크의 형태로 WMN를 이용함으로써 전송속도와 링크의 신뢰성을 높이는데 목적을 두고 있다.

그림 1에서 보논바와 같이 군 환경 적용을 위한 무선 메쉬 네트워크 기술을 적용하기 위해서 우선 사단급이상 제대에 구축되어 있는 유선망을 이용하여(미래 WiBro로 구축) 연대급 이하 특히, 전방지역에 배치되어 있는 중대급 이상에 메쉬 AP를 설치하고 인접부대간 메쉬망을 구축하여 실시간 정보 공유가 가능한 환경을 구축하여 평·전시를 대비하므로써 군에서도 저비용 고효율을 지향할 수 있을 것이다. 이러한 군에서 추구하는 목표는 거리와 관계없이 긴급하고 중요한 정보를 우선적으로 수집하고 전파할 수 있는 체계와 QoS를 보장하는 프로토콜 기법이 필요하다.

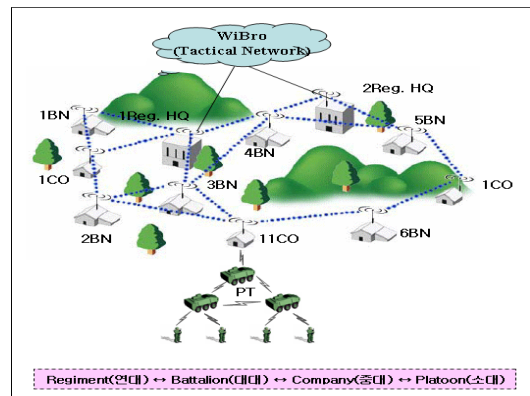


그림 1. 군 환경 적용을 위한 무선 메쉬 네트워크

## 2.2 기존 패킷 스케줄링 기법

### 2.2.1 Drop Tail

일반적으로 가장 많이 사용되는 기법으로 모든 프로우를 하나의 FIFO(First In First Out) 버퍼(Buffer) 관리를 한다. 동작이 단순하고, 큐의 크기에 따라 최대 큐잉 지연 시간이 결정되므로 구현이 쉽다<sup>6)</sup>.

### 2.2.2 RR & DRR(Deficits Round Robin)

RR(Round Robin)은 블루투스의 기본적인 MAC 스케줄링 방식으로써 모든 슬레이브들에게 순서대로 동일한 데이터 전송 기회를 주는 방식이다. 모든 마스터-슬레이브 쌍에게 공평한 서비스 기회를 줄 수 있는 형평성이 뛰어나 일반적으로 이용되는 스케줄링 기법이다. 정해진 순서에 의해서 차례로 마스터의 스케줄러에 의한 폴링(Polling)이 일어나고 슬레이브들은 이것에 응답하여 데이터를 전송하는 방식이다<sup>7)</sup>. 이러한 단점을 보완한 것이 DRR(Deficit Round Robin) 스케줄링 기법이다<sup>6)</sup>. 이 기법은 기존의 RR 기법을 바탕으로 각 슬레이브를 순서대로 폴링 하는데, 이 때 다양한 크기의 패킷을 전송하도록 하여 효율성을 높인다. DRR 기법의 기본 개념은 각 큐에 주어진 고정된 쿼텀(Quantum)값 만큼 서비스된다.

### 2.2.3 우선순위 기법(PP : Priority Policy)

PP 기법은 마스터가 슬레이브에 큐에 대한 이진 정보를 가질 수 있음을 가정한 상태에서 출발한다. 이러한 가정은 페이로드 헤더(Payload Header)의 일부 비트를 슬레이브에 대한 백로그(Backlog) 정보를 전달하는 데 이용될 수 있기 때문에 가능하다. 이렇게 마스터에서는 마스터 및 슬레이브의 큐에 보낼 데이터가 있으면 1, 없으면 0으로 표시하여 마스터-슬레이브 쌍을 1-1, 1-0, 0-1, 0-0인 상태로 분류한 후, 그 각각에 대해 우선순위를 두어 스케줄링 한다. 이 때문에 PP 기법을 마스터-슬레이브 큐 상태에 의존한 패킷 스케줄링 기법이라고도 한다<sup>8)</sup>.

### 2.2.4 WRR(Weighted Round Robin)

WRR 스케줄링 기법은 지연(Delay)과 지터(Jitter) 그리고 데이터 손실 등과 같은 여러 가지 요구사항에 기초하여 패킷들 사이에 서비스를 차별화하기 위해 사용되는 기법이다. 각 흐름 또는 큐에는 가중치(Weight)가 할당되고, 그 할당된 가중치에 비례하여 Round Robin 방식으로 서비스 된다. 따라서 각

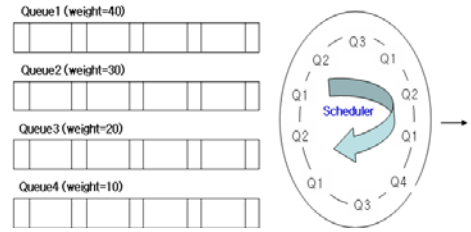


그림 2. 가중치 라운드 로빈(Weight Round Robin)

흐름 또는 큐는 라운드 당 한번 비어있지 않으면 패킷이 서비스 된다. 각 큐에 할당되어지는 가중치는 스케줄링 라운드 동안에 큐가 전송할 수 있는 트래픽의 양이다. 이 기법은 서비스 라운드 주기마다 각각의 큐에서 적어도 하나의 패킷은 서비스를 받을 수 있고, 가중치에 따라서 서비스 횟수를 서로 다르게 함으로써 다양한 QoS를 제공할 수 있다. 그림 2는 WRR에 대한 예이다<sup>6)</sup>.

## 2.3 ETR(Expected Transmission Rate)

ETR은 다음 홉으로 전달 기대되는 링크의 전송 속도를 의미한다. 고려되는 요소로는 신호의 세기로 결정되어지는 채널 전송 속도와 링크 채널의 오류율, 그리고 이전 시간 동안 해당 메쉬 노드가 생성한 트래픽 볼륨(Traffic Volume) 그리고 이웃들로부터 데이터를 받아 전달한 트래픽 볼륨의 요소를 이용해서 다음과 같은 값을 구할 수 있다.

$$ETR(\text{Expected Transmission Rate}) = \frac{\sum(\text{Bandwidth}_i * (1-\text{PER}_i))}{(\text{Traffic Volume}_i + \sum \text{Relay Traffic Volume}_n)}$$

- Bandwidth : 물리적 신호의 세기를 기반으로 변조 방법 결정 후 설정으로 인해 결정된 대역폭
- PER(Packet Error Rate) : 무선 링크 오류율
- Traffic Volume : 해당 노드가 단위시간당 전송한 데이터의 양(또는 예약한 양)
- Relay Traffic Volume : 다른 노드에 의해 예약하지는 않았지만 경유한 단위시간당 트래픽의 양을 의미한다<sup>9)</sup>.

## Ⅲ. 제안하는 위치기반 패킷 스케줄링 기법

무선 메쉬 네트워크 환경에서 데이터를 전달하기 위한 루프가 없는 다중 경로 설정 알고리즘과 Hop-by-hop 라우팅기법을 기반으로 경로설정을 하고 물리적인 링크의 성능과 부하분산을 고려한

ETR(Expected Transmission Rate)를 이용해서 데이터를 다음 홉으로 전달하는 방법에 대해서 연구한 결과 다중 홉 통신 환경에서 홉 수의 증가로 인한 성능(Throughput)의 감소 및 지연(Delay)의 증가라는 결과가 생기는 것을 확인하였다.

무선 메쉬 환경에서는 게이트웨이를 통하는 음성이나 동영상과 같은 실시간 데이터 트래픽이 많은 부분을 차지할 것으로 볼 때, 게이트웨이에서 멀리 떨어진 무선 AP에 연결된 단말들은 실시간 서비스를 받기가 제한이 된다.

게이트웨이로부터 원거리에 있기 때문에 성능(Throughput) 저하나 지연(Delay) 증가라는 불공정(Unfairness) 문제를 해결하기 위해 긴급정보나 원거리 AP에 가중치를 부여하는 WRR 기법을 기본으로 각 AP에서 동작하는 패킷 스케줄링 방식을 제안한다. 이 방식은 모든 무선 AP의 계층 2에서 이루어지며, 제안하는 스케줄링과 계층 3에서는 ETR 라우팅 기법의 경로선택 및 전달방식을 결합하여 수행하는 무선 메쉬 AP를 제안한다.

경로 선택 방식 중에는 어떤 방식을 사용해도 무방하지만 본 논문에서는 ETR 방식을 조금 응용해서 채널 상태와 대역폭 정보를 기반으로 경로 선택을 한다. 채널 상태가 좋지 않으면 재전송을 해야 하기 때문에 재전송을 줄이고 좋은 채널 상태에 있는 것의 데이터를 전송함으로써 성능을 높이기 위해 채널 상태를 우선적으로 보고 경로를 선택한다. 채널 상태를 기반으로 경로를 선택할 때 채널 상태가 좋지 않으면 데이터를 전송하지 않고 다음으로 기회를 넘긴다. 오히려 채널 상태가 좋지 않을 때 패킷 전송 기회를 다른 채널 상태가 좋은 데이터 전송에 넘김으로써 좋은 상태의 채널을 효율적으로 사용할 수 있으며 성능을 높일 수 있다. 그리고 채널 상태가 나빠서 전송을 하지 못했던 데이터는 따로 그 정보를 저장해 주고 다른 데이터를 보다 우선권을 가지고 서비스 받을 수 있도록 하여, 채널 상태가 나빠기 때문에 서비스를 받지 못하여 발생하는 또 다른 불공정(Unfairness) 문제를 해결한다.

### 3.1 채널 상태와 대역폭 정보 기반 선택

계층 2 측정 정보를 바탕으로 하여 경로를 선택하는 방식으로 채널 상태를 이용한다. 대역폭이 큰 쪽을 선택해서 보낸다 하더라도 채널 상태가 나쁘다면 그 패킷은 손상되고 만다. 그러면 재전송이 일어나게 되고, 지연(Delay)이 커지게 된다. 그러므로 여러 경로 중에 채널 상태가 좋은 쪽을 우선 선택

해서 보내도록 하는 방식을 제안한다.

채널 상태 정보는 802.11k의 RRM(Radio Resource Measurement)을 바탕으로 이웃 무선 메쉬 AP에서 주고받는 정보가 아닌 링크 계층에서 바로 알 수 있는 정보이다<sup>6)</sup>. 이 정보를 사용하여 데이터를 보내기 직전의 링크 상태 정보를 이용하여 라우팅을 한다.

제안하는 방식은 포워딩 테이블의 목적지로 갈 수 있는 여러 다음 홉 중에서 채널 상태가 좋은 것을 우선적으로 선택하고, 채널 상태가 좋은 것이 여러 개 있을 때에는 그 중에서 대역폭이 가장 큰 것을 다음 홉으로 선택한다. 모든 다음 홉의 채널 상태가 좋지 않다면, 임의의 다음 홉에서 대역폭의 큰 것을 선택해서 보낸다. 모든 다음 홉의 채널 상태가 좋지 않을 경우 경로 선택을 하지 않고, 제안하는 스케줄링 방식에서 스케줄링에 채널 상태를 반영함으로써 해결할 수 있다. 데이터를 보내기 직전 다중 경로상의 채널 상태를 살펴보고, 상태가 좋은 경로에 우선적으로 보내어 패킷이 전송 중에 오류가 나는 것을 막아 재전송 수를 줄임으로써 이득을 얻을 수 있다.

### 3.2 위치기반 패킷 스케줄링 기법

제안하는 위치기반 스케줄링 방식은 기본적으로 WRR(Weighted Round Robin) 방식을 통해서 원거리에 있는 메쉬 AP에게 더 높은 가중치(Weight)를 주어 스케줄링하는 방식이다.

위치(Location) 즉, 출발지와 목적지 사이 떨어진 거리에 따라 가중치를 주는 방식은 그림 3과 같다.

그림 3에서와 같이 control 패킷과 군에서 긴급정보 패킷이 가장 높은 우선순위를 가진다. 무선 환경의 특성상 이동성이나 라우팅 테이블 갱신 정보, HELLO 메시지와 같은 control 패킷 그리고 군에서 사용되는 상황보고, 사건사고 보고용 및 지휘관 위주 정보 패킷이 우선순위를 가지게 된다. 나머지 데이터 패킷들은 홉 수에 따른 가중치를 가지게 된다.

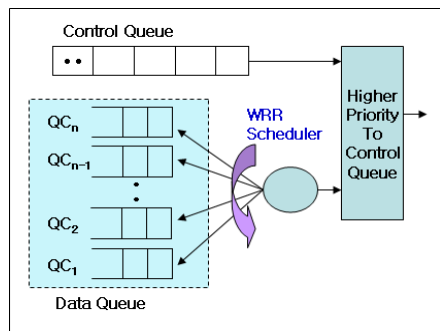


그림 3. 위치기반 WRR 스케줄링 기법

데이터는 출발지부터 목적지까지  $h$ 의 홉 수를 가지게 된다. 데이터 큐는  $QC_1$ 부터  $QC_n$ 까지 있으며 출발지부터 목적지까지 홉 수가 1인 경우( $h=1$ )는  $QC_1$  큐로 가게 되고  $W_1$ 의 가중치를 가지게 된다. 마찬가지로 출발지부터 목적지까지 홉 수가  $n$ 인 경우( $h=n$ )는  $QC_n$  큐로 가게 되고  $W_n$ 의 가중치를 얻게 된다. 출발지부터 목적지까지 홉 수가  $n$ 보다 큰 경우에도 홉 수가  $n$ 인 경우와 동일하게 된다. 결과적으로 데이터들이 출발지와 목적지 사이에 1부터  $n$ 인 홉수를 가진다고 할 때, 한 메쉬 라우터에서 WRR 스케줄링을 위한 가중치는 식(1)과 같다.

$$W_i = \frac{hi}{\sum_{i=1}^n hi} \quad (1)$$

이 방식은 홉 수가 클수록 높은 가중치를 가지게 되는 효과를 가지며, 각 메쉬 라우터에서 출발지와 도착지 사이가 오래 걸리는 것을 우선순위를 가지고 선택하여 위치가 먼곳의 데이터를 우선적으로 처리해 주는 효과를 얻는다. 이를 위한 메쉬 라우터는 그림 4에서 보는 것과 같이 계층 2에서 위치기반 WRR 스케줄링을 하고, 그 방식에 의해 선택된 패킷을 계층 3의 ETR 방식으로 경로 선택 및 전달하는 역할을 한다. 스케줄링과 경로 선택 및 전달이 각각 동작하는 것이 아니라 연결되어 동작한다.

출발지와 목적지 사이에 몇 홉만큼 떨어져 있는지를 상대적인 위치로 보고 그 위치 정보에 따라 전체적인 스케줄링을 통해서 원거리에 있기 때문에 근거리에 있는 메쉬 AP에 비해 성능(Throughput)이 떨어지고, 지연(Delay)이 커지는 불공정(Unfairness) 문제가 극복된다.

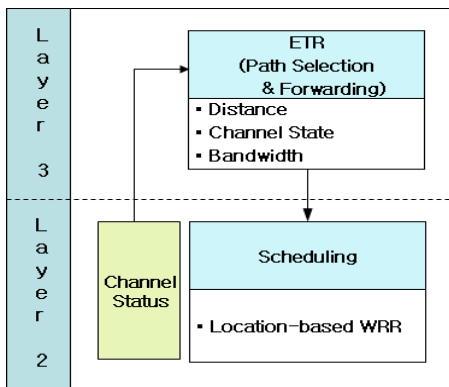


그림 4. 스케줄링 메쉬 라우터 원리

### 3.2.1 이론적 해석

모든 노드들은 계층적인 큐  $QC_1, QC_2, \dots, QC_n$ 에 대해 각각  $w_1, w_2, \dots, w_n$  가중치를 식(1)과 같이 가지게 된다. 중간노드 서비스율을  $\mu$ 라고 가정하고 일반분포를 가진다면, 서비스율  $\mu$ 와 가중치  $w_i$ 와의 관계는 식(2)와 같다.

$$\mu_i = \mu * w_i \quad (2)$$

만약 큐  $QC_i$ 의 도착율을  $\lambda_i$ 라고 가정하고, 또한 서비스율의 변화를  $\sigma_i^2$ 라 가정하면 큐  $QC_i$ 내의 패킷의 기대수  $E[L_i]$ 는 Pollaczek-Khinchin<sup>[10]</sup> 공식에 의해 식(3)과 같다.

$$E[L_i] = \rho_i + \frac{\rho_i^2 + \lambda_i \sigma_i^2}{2(1-\rho_i)} \quad (3)$$

여기서  $\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$ 이며, 큐  $QC_i$ 내의 노드의 대기수는 Little's 공식에 의해 식(4)와 같다.

$$E[d_i] = \frac{E[L_i]}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda_i} [\rho_i + \frac{\rho_i^2 + \lambda_i \sigma_i^2}{2(1-\rho_i)}] = \frac{\rho_i}{\lambda_i} + \frac{\rho_i^2 + \lambda_i \sigma_i^2}{2(1-\rho_i)\lambda_i} \quad (4)$$

식(4)에서  $\rho_i$ 의 값으로 대치하면 식(5)와 같다.

$$E[d_i] = \frac{\lambda_i}{\mu_i} * \frac{1}{\lambda_i} + \frac{\frac{\lambda_i^2}{\mu_i^2} + \frac{\lambda_i^4 \sigma_i^2}{\mu_i^2}}{2(1 - \frac{\lambda_i}{\mu_i})\lambda_i} = \frac{1}{\mu_i} + \frac{\lambda_i^2 + \lambda_i^4 \sigma_i^2}{\mu_i^2 * 2 * \frac{\mu_i - \lambda_i}{\mu_i} * \lambda_i} = \frac{1}{\mu_i} + \frac{1}{\mu_i} * \frac{\lambda_i + \lambda_i^3 \sigma_i^2}{2(\mu_i - \lambda_i)} = \frac{1}{w_i \mu} + \frac{1}{w_i \mu} * \frac{\lambda_i + \lambda_i^3 \sigma_i^2}{2(w_i \mu - \lambda_i)} \quad (5)$$

결과적으로 지연에 대한 홉수와 가중치는 반비례하므로 원거리 AP들에 우선순위가 높게 부여되므로 지연이 감소하게 된다는 결과를 얻었다.

### IV. 성능 평가

본 장에서는 ns-2를 이용한 시뮬레이션을 통해서 성능 평가를 한다. 5×5 토폴로지와 표 1의 파라미터 값으로 진행하였고, 채널 모델은 First-order Markov model<sup>[11]</sup>을 사용하였으며, 여기서 연속 성공확률을 0.8(20% channel error rate)로 정해놓고 시뮬레이션을 하였다. 기존방식은 DSDV와 OLSR의 성능을 평가했으며, 제안방식은 기존방식에 위치 기반 패킷 스케줄링 기법을 추가한 방식이다.

본 논문에서는 제한사항으로 고대역의 무선 네트워크 환경으로 구성 장비의 성능에 대한 제약이 없기 때문에, 전파지연 및 네트워크 디바이스로 인한 지연은 상당히 작은 변수이기 때문에 고려하지 않는다. 성능평가 항목에는 네트워크 신뢰성, 관리 메시지의 수, 중간 노드의 로드 변화, 게이트웨이에서의 성능평가를 수행한다. 무선 메쉬 네트워크의 채널 사용 및 매체 접근 방법에 대한 표준화가 진행 중인 관계로 인해서 표준화된 방법이 존재하지 않고, 성능에 커다란 변화를 가져오지 않으므로, 이에 관한 요소들은 생략하였다.

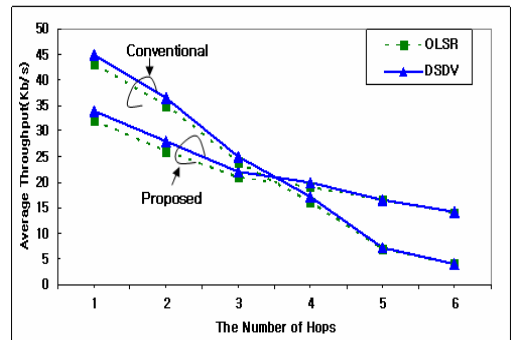
표 1. 시뮬레이션 파라미터

주요 변수		값		
General Parameter	Topology	5×5		
	The Number of Nodes	25		
	Node Distance	50 m		
	Transmission Range	50 m		
	Queue Size	48~112 frames		
	MAC Protocol	802.11a		
	Packet Size	1024 byte		
	Bandwidth	54 Mbps		
	Simulation Time	450 s		
	Routing Protocol	DSDV	Full Dump Interval	15 s
			Incremental Interval	6 s
OLSR		HELLO Interval	2 s	
		TC Interval	5 s	
		Neighbor Hold Time	6 s	
		Topology Hold Time	15 s	

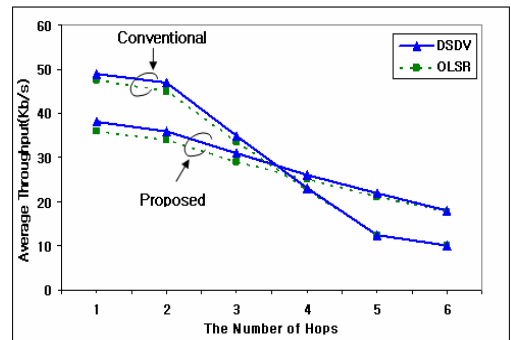
4.1 홑 수 및 큐의 크기에 따른 성능(Throughput) DSDV 및 OLSR 기법에 대한 성능에 대해 위치 기반 패킷 스케줄링이 적용한 방식과 적용하지 않은 라우팅 프로토콜에 대한 성능의 시뮬레이션 결과를 비교해서 보여주고 있다.

그림 5에서는 홑 수에 따른 성능의 변화를 보여 준다. 전체 메쉬 AP(라우터)에서 64Kbps의 data rate의 48 frame의 큐 크기를 가지고 데이터를 발생 시켰으며, 각 홑 별로 성능을 평균하였다. 그림 5에서 보는 것과 같이 제안하는 방식을 적용하면 홑 수가 증가할수록 성능이 감소하기는 하지만 감소폭이 기존방식보다 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

4홑 수가 지날수록 제안방식이 기존방식에 성능이 약간 감소된다. 하지만 군 환경에서는 불공정성 문제 해결이 우선이기 때문에 전체적으로 성능 향상이 보장되는 제안방식이 더 적절함을 확인 하였다. 이는 공정성 문제 해결 및 군 환경에서 QoS를 만족시킬 수 있는 결과이다.

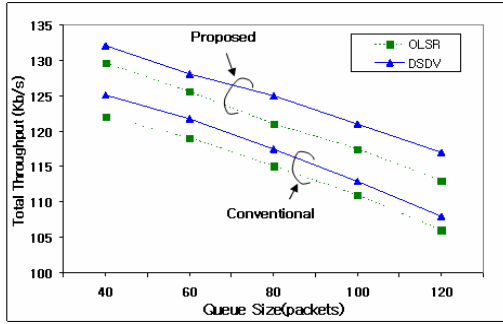


a) Gateway에서 Mesh AP로의 데이터

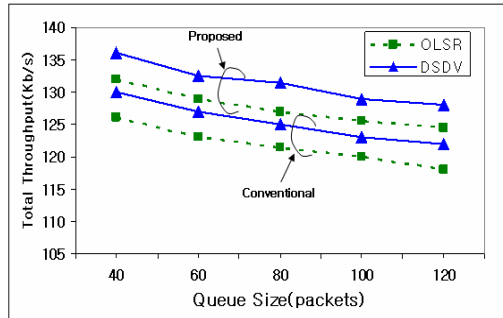


b) Mesh AP에서 Gateway로의 데이터

그림 5. 홑 수 변화에 따른 평균 성능 비교



a) Gateway에서 Mesh AP로의 데이터



b) Mesh AP에서 Gateway로의 데이터

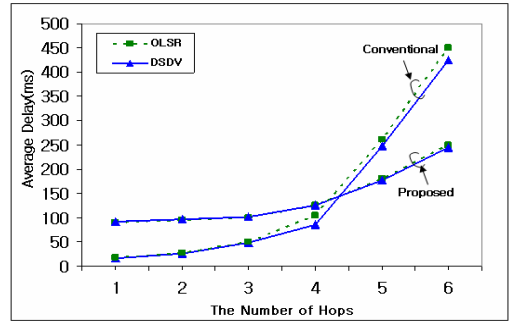
그림 6. 큐사이즈에 따른 성능변화 비교

그림 6에서는 스케줄링을 적용했을 때의 큐의 크기에 따른 성능을 보여준다. 전체 성능은 목적지에서 받은 패킷 수에 패킷크기를 곱하고 시뮬레이션 시간으로 나누었다. 스케줄링을 적용하게 되면 멀리 떨어진 것을 먼저 서비스하기 때문에 상대적으로 가까이 있는 것의 성능이 감소하게 된다. 또한 가까이 있는 메쉬 라우터의 성능의 감소폭이 멀리 있는 메쉬 라우터의 성능 증가폭보다 크기 때문에 전체적으로 스케줄링을 적용했을 때 그렇지 않을 때보다 전체 성능이 약간 좋아지는 것도 확인할 수 있다.

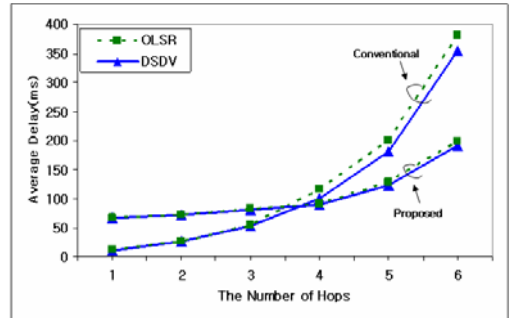
#### 4.2 홑 수 및 큐의 크기에 따른 지연(Delay)

DSDV 및 OLSR 기법에 대한 지연(Delay)에 대한 위치기반 패킷 스케줄링이 적용한 방식과 적용하지 않은 라우팅 프로토콜에 대한 지연(Delay)의 시뮬레이션 결과를 비교해서 보여주고 있다.

그림 7에서는 모든 메쉬 AP(라우터)가 64Kbps의 data rate의 48 frame의 큐 크기를 가지고 데이터를 발생시켰으며, 각 홑 별로 지연을 평균하였다. 홑 수가 증가할수록 지연은 증가한다. 그러나 스케줄링을 적용하였기 때문에 거리가 멀어질수록 증가하는 지연 폭이 줄어든 결과를 확인할 수 있었다.

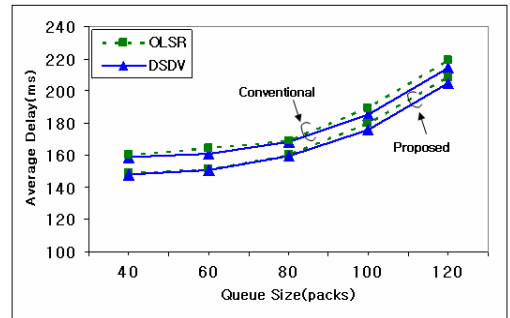


a) Gateway에서 Mesh AP로의 데이터

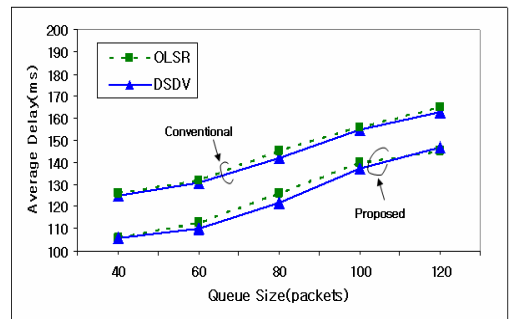


b) Mesh AP에서 Gateway로의 데이터

그림 7. 홑 수 변화에 따른 평균 지연 비교



a) Gateway에서 Mesh AP로의 데이터



b) Mesh AP에서 Gateway로의 데이터

그림 8. 큐사이즈에 따른 평균 지연 변화 비교

그림 8에서는 64Kbps의 data rate을 가지고 홉 별로 매쉬 AP(라우터)에서 데이터를 발생시켰다. 큐 크기를 증가시켜가며 시뮬레이션을 하였는데 여기에 서도 모든 경우 큐 크기가 커지면서 지연이 증가하였는데 이는 큐잉 지연 시간의 증가가 전체 지연 상승으로 이어지기 때문이다.

### V. 결 론

본 논문에서는 군 환경을 고려할 때 게이트웨이를 통하는 음성이나 동영상과 같은 실시간 데이터 트래픽이 많은 부분을 차지할 것으로 볼 때, 원거리 부대 AP에 연결된 매쉬 단말들은 실시간 서비스 받기가 제한이 된다. 이문제로 인해 공정성에 대한 문제가 발생하게 된다. 이 문제 해결을 위해 각 제대별 AP에 연결된 모든 매쉬 노드에 공정한 QoS를 제공할 수 있고, 군의 특성을 고려한 긴급정보나 Control 패킷에 우선순위를 부여할 수 있는 WRR 방식을 기본으로 동작하는 위치기반 패킷 스케줄링 방식을 제안하여 성능을 검증한 결과 제안방식이 홉 수 및 큐 크기가 증가하여도 원거리에 있는 매쉬 AP의 성능의 감소의 폭이 적어 전체적으로 성능이 향상되었다. 또한, 홉 수 및 큐 크기가 증가할 수록 지연은 증가한다. 그러나 제안방식 적용한 평가 결과 거리가 멀어질수록 증가하는 지연 폭이 감소됨을 확인할 수 있었다.

결론적으로 제안하는 스케줄링 방식을 적용한 경우 전체적인 성능 및 평균적인 지연 감소의 폭을 줄일 수 있으므로, 거리에 관계없이 긴급정보를 우선적으로 처리해야하는 군 환경에서 QoS를 만족시킬 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] Lan F. Akyildiz, Georgia Institute of Technology, Xudong Wang, Kiyon, INC “A Survey on Wireless Mesh Network”, IEEE Radio Communication, pp.23-30, Sep. 2005.  
 [2] S. Mueller, R. p. Tsang and D. Ghosal, “Multipath Routing in Mobile Ad Hoc Networks: Issues and Challenges”, LNCS, vol.2965, pp.209-234, Apr. 2004.

[3] L. Chen and W. B. Heinzelman, “QoS-aware Routing Based on Bandwidth Estimation for Mobile Ad Hoc Networks”, IEEE Journal on Selected Area in Communications(JSAC '05), vol.23, pp.561-572, Mar. 2005.  
 [4] C. E Perkins and P. Bhagwat, “Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile computers”, Computer Communication, pp.234-244, Oct. 1994.  
 [5] P. Jacquet, P. Muhlethaler, T. Clausen, A. Laouiti, A. Qayyum, and L. Viennot, “Optimized Link State Routing Protocol for Ad Hoc Networks”, Proceedings of IEEE International Multi Topic Conference, pp.62-68, 2002.  
 [6] L. Wischhof and J. W. Lockwood, “Packet Scheduling for Link-Sharing and Quality of Service Support in Wireless Local Area Networks”, Technical Report WUGS-01-35, Washington Univ., Nov. 2001  
 [7] N. Ben Salem and Jean-Pierre Hubaux, “A Fair Scheduling for Wireless Mesh Networks”, In: Proc. of IEEE Workshop on WiMesh, Sep. 2005.  
 [8] M. Kalia, D. Bansal and R. Shorey, “Data Scheduling and SAR for Bluetooth MAC”, IEEE VTC, Vol.2, pp.716-720, MAY 2000.  
 [9] 김영안, 박철현, 홍충선, “무선 매쉬 네트워크 환경에서 효율적인 다중 홉 전달 기법”, 한국통신학회논문지 제31권 10B호, pp.872-882, 2006. 10.  
 [10] Leonard Kleinrock, “Queueing System”, Volume1 : Theory, John Wiley & Sons, New York, 1975.  
 [11] M. Zorzi, R.R. Rao, and L. B. Milstein, “On the accuracy of a first order Markov model for data transmission on fading channels”, ICUPC TOKYO, JAPAN, pp.211-215, Nov. 1995



김 영 안 (Young An Kim)

정회원



1988년 2월 금오공과대학 전산  
공학과 졸업

1996년 3월 Keio University,  
Department of Information and  
Computer Science(공학석사)

2000년 3월~현재 경희대학교  
컴퓨터공학과(박사과정)

<관심분야> 무선 메쉬 네트워크, MAC Protocol

홍 총 선 (Choong Seon Hong)

종신회원



1983년 경희대학교 전자공학과  
졸업(학사)

1985년 경희대학교 전자공학과  
(공학석사)

1997년 Keio University, Depart-  
ment of Information and Com-  
puter Science(공학박사)

1988년~1999년 한국통신 통신망 연구소 수석연구원/  
네트워킹연구실장

1999년~현재 경희대학교 전자정보학부 부교수

<관심분야> 인터넷 서비스 및 망 관리 구조, 분산 컴포  
넌트관리, IP 프로토콜, Sensor Networks, Network  
Security