

# IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 지향성 안테나를 사용하는 중앙 집중형 하향링크 스케줄링

정회원 이상준\*, 이형우\*\*, 종신회원 조충호\*

## Centralized Downlink Scheduling using Directional Antennas in IEEE 802.16 based Wireless Mesh Networks

Sang-Joon Lee\*, Hyong-Woo Lee\*\* *Regular Members*, Choong-Ho Cho\* *Lifelong Member*

### 요약

본 논문에서는 지향성 안테나를 사용하는 IEEE 802.16 기반 무선 메쉬 네트워크(wireless mesh networks)의 성능 향상을 위한 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 성능은 사용자 수에 따른 시스템의 수율과 각 노드 간의 지연으로 나타낸다. 분석 결과를 통해 제안된 알고리즘이 메쉬 네트워크 시스템의 지연을 줄여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있음을 보인다.

본 논문의 결과는 향후 메쉬 네트워크, 멀티 홉 중계기 등의 다중 홉 시스템에서 각 SS(subscribe station)들의 공정성을 고려한 지향성 안테나 도입 시에 참고할 만한 가이드라인을 제시할 수 있을 것이다.

**Key Words** : IEEE 802.16, Wireless Mesh Networks, Directional Antenna, Centralized, Scheduling

### ABSTRACT

In this paper, we propose a scheduling algorithm to improve the performance of IEEE 802.16 based wireless mesh networks using directional antenna. The performance is presented in terms of throughput of system and delay between each node by varying number of users. The result show that proposed scheduling algorithm improving the performance by reducing the delay of mesh network system.

Our work may be useful as a guideline to control the fairness between SSs for multi-hop systems such as multi-hop relay and mesh networks.

### 1. 서론

최근 이동통신 시스템의 발달로 사용자는 쉽고 빠르게 인터넷에 연결할 수 있게 되었다. 무선 네트워크의 중요성이 커지고, 멀티미디어 서비스가 증가하면서 네트워크에서의 각 서비스들에 대한 효율적인 처리 및 커버리지 확장 문제가 점점 중요해지고 있다. 이러한 요구에 부합하는 기술 중의 하나로 무

선 메쉬 네트워크가 있다. 이와 유사한 연구들이 활발히 진행 중이며, 현재 IEEE 802.11s WG에서 표준화가 진행 중에 있으며, 최근 IEEE 802.16j (MMR, Mobile Multi-hop Relay) WG에서 표준화 작업이 완료되었다<sup>[1],[2]</sup>.

향후 주요 기반 네트워크가 될 것으로 예상되는 무선 메쉬 네트워크의 성능향상을 위해 지향성 안테나를 사용하는 연구의 필요성이 제기되고 있으며,

※ 본 연구는 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-521-D00315)

\* 고려대학교 컴퓨터정보학과 데이터통신및네트워크 연구실 (leesj1124@korea.ac.kr, chcho@korea.ac.kr)

\*\* 고려대학교 전자및정보공학과 B-ISDN 연구실 (hwlee@korea.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-09-402, 접수일자 : 2009년 9월 11일, 최종논문접수일자 : 2010년 1월 15일

이에 대한 연구들도 점차 진행되고 있다<sup>[3],[14]</sup>.

기존의 무선 네트워크에서는 전방향성 안테나와 함께 지향성 안테나를 사용함으로써 전력의 이득을 얻어 공간 재사용의 이점을 얻었다. 또한 무선 메쉬 네트워크의 최근 연구에서는, 지향성 안테나가 전방향성 안테나보다 용량(capacity)이 개선되어 중요한 기여를 할 수 있음을 보여주었다. 전방향성 안테나를 지향성 안테나로 단순히 교체만 해서는 효과적이지 않으므로, 많은 연구들은 MAC 프로토콜을 개선하여 효율적인 성능을 보여주었다. 하지만 개발된 대부분의 프로토콜들은 IEEE 802.11을 기반으로 하고 있으며, 아직 IEEE 802.16기반에서는 연구된 바가 극히 적다<sup>[5],[16]</sup>.

따라서 본 논문에서는 IEEE 802.16기반에서의 중앙집중형 스케줄링 방식으로 무선 메쉬 네트워크의 성능 향상을 위해 지향성 안테나를 사용하는 방법에 대해 연구한다. 네트워크의 라우팅 과정 후의 시점에서의 연구이며, 하나의 채널을 사용하고, 동시 전송을 고려한다. 연구의 초점은 가까운 노드와 먼 노드 간에 공정성이다. 공정성을 보장하기 위한 효율적인 스케줄링 알고리즘을 제안한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 IEEE 802.16 표준의 Mesh mode에 대해 설명하고, 제 3장에서는 공정성 보장을 위한 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 제 4장에서는 알고리즘에 대한 성능을 분석하고, 끝으로 제 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. IEEE 802.16 표준 (Mesh mode)

IEEE 802.16 표준에서 정의된 PMP(point-to-multipoint) mode와 Mesh mode와의 주된 차이점은, Mesh mode에서의 트래픽은 BS-SS 사이에서는 물론, SS-SS 사이에서 발생하고, SS를 통해 트래픽이 이동하는 반면, PMP mode에서의 트래픽은 단지 BS와 SS 사이에서 발생한다는 것이다. 또한 PMP mode와는 다르게 UL 부프레임과 DL 부프레임의 구분이 명확하지 않다. 각 노드는 BS와 통신하는 것 이외에 별도로 다른 SS들과 통신할 수 있기 때문이다. 하지만 BS만이 백홀 링크와 연결된다는 것에는 변함이 없다. 외부 인터넷에 직접 연결해주는 시스템을 메쉬 네트워크에서는 Mesh BS라고 하며, 이 외의 모든 시스템들은 Mesh SS라고 한다.

메쉬 시스템에서 중요한 세 가지 용어가 있다. 첫째로, 임의의 노드에 직접 연결되는 노드를 neighbor라고 한다. 둘째로, neighbor들의 집합을 neighborhood라고

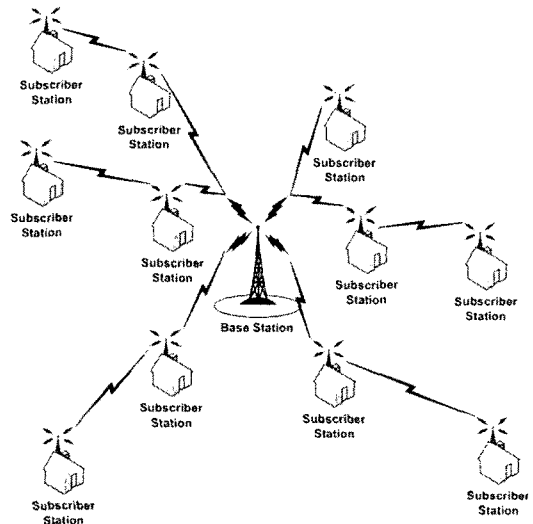


그림 1. 메쉬 네트워크의 예

하고, 마지막으로 extended neighborhood는 이 둘을 합쳐 칭한다.

SS들 간의 통신은 중앙집중형, 분산형 그리고 이들이 혼합된 방식에 의해 제어된다. 본 논문에서는 중앙집중형 방식을 사용하였다<sup>[7]-[9]</sup>.

### 2.1 중앙집중형 스케줄링

Mesh mode에서의 기본 스케줄링 방식으로, Mesh BS가 토폴로지 정보 및 스케줄 알고리즘을 관리하고, 지식 노드에게 정보를 전달하는 방식이다.

Mesh BS는 PMP mode처럼 1-hop SS들까지만 직접 제어한다. 그리고 Mesh BS나 각각의 Mesh SS들은 네트워크 상에 동일한 알고리즘을 사용하여 자원들을 스케줄한다<sup>[10],[11]</sup>.

### 2.2 메쉬 프레임 구조

메쉬 프레임은 제어 및 데이터 부프레임으로 구성된다. 제어 부프레임은 두 가지 기본 기능을 한다. 첫 번째 기능은 다른 시스템들과의 호환에 관련된 기능이다. 그림 2의 “network control”을 나타낸다. 두 번째 기능은 다른 시스템 사이에 데이터 전송의 협력 스케줄이다. 그림 2의 “schedule control”이

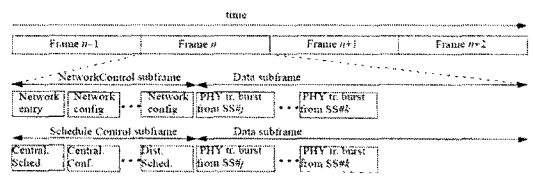


그림 2. IEEE 802.16 OFDM Mesh 프레임 구조

다. 네트워크 제어 부프레임은 Network Descriptor의 내용에 따라 주기적으로 발생한다. 모든 다른 프레임들은 스케줄 제어 부프레임의 성격을 띤다. 제어 부프레임의 길이는 고정되어 있고, 그 길이는 Network Descriptor에 나타난 MSH-CTRL-LEN을 사용한, "MSH-CTRL- LEN\*7 OFDM 심볼"이 된다. 데이터 부프레임은 [(프레임당 OFDM심볼 - MSH-CTRL-LEN\*7) / 256] 크기의 미니슬롯으로 나누어진다. 스케줄의 할당은 하나 이상의 미니슬롯으로 구성된다.

### III. 공정성 보장을 위한 스케줄링 알고리즘

#### 3.1 공간 재사용(Spatial Reuse)

전방향성 안테나와 지향성 안테나는 인접 노드에 미치는 간섭에 큰 차이를 보인다. 그림3는 선형 토폴로지에서 각 안테나가 주변 노드에 미치는 간섭에 대해 보여주고 있다. 전방향성 안테나가 주변에 미치는 영향이 큰 것을 볼 수 있다.

그림 3의 원호로 된 점선은 각 노드의 전송 범위와 간섭 범위를 나타낸다.  $R_T$ 는 전송 범위를 나타내며,  $R_I$ 는 간섭 범위를 나타낸다. 이 둘은 같은 범위를 갖는다. 굵은 화살표는 전송 순간을 나타내며, 굵은 점선은 전송 순간의 전송 범위와 간섭범위를 나타낸다. 지향성 안테나의 경우 부채꼴 모양으로 보임을 알 수 있다. 전방향성 안테나를 사용하는 (a)의 경우, BS가 전송할 때,  $SS_1$ 은 메시지를 받게 된다. 이 때,  $SS_2$ 가 전송을 한다면  $SS_1$ 에서 충돌

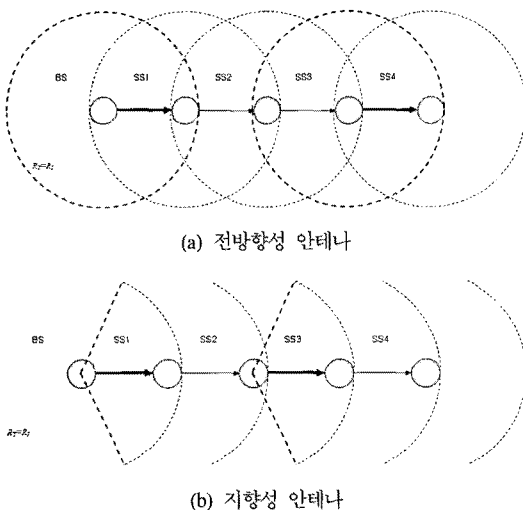


그림 3. 안테나에 따라 인접 노드에 미치는 영향

이 발생하게 된다.  $SS_3$ 는  $SS_4$ 에게 전송이 가능하다. 지향성 안테나를 사용하는 (b)의 경우, BS가 전송할 때,  $SS_1$ 을 메시지를 받게 된다.  $SS_2$ 에서도  $SS_3$ 에게 전송할 수 있다. 안테나가 지향성이므로 부모 노드에 간섭을 일으키지 않는다.

#### 3.2 스케줄링 알고리즘

본 논문에서는 앞에서 언급한 것과 같이 지향성 안테나를 사용하여 BS로부터 가까이 있는 SS와 멀리 떨어진 SS 사이의 지연 편차를 공정하게 하는데 있다. 해결 방안으로는 링크 할당 알고리즘과 패킷 스케줄링 알고리즘을 고려하였다.

##### 3.2.1 링크 할당 알고리즘

링크 할당 알고리즘이란 동시에 활성 가능한 링크를 선택하는 알고리즘으로 데이터량, 홉 수 등에 따른 SS들의 서비스 받는 우선순위를 결정한 뒤, 방향에 가중치를 두어 할당하는 것이다.

그림 4는 제안하는 링크 할당 알고리즘의 흐름도이다. BS가 서비스할 노드일 경우이며, BS 외의 SS들에게도 같은 알고리즘이 적용된다.

알고리즘의 흐름은 다음과 같다. 알고리즘 시작 전에 각 방향에 대해 몇 번 서비스를 해야 하는지에 대한 가중치(ChildCnt) 및 서비스 받은 횟수(PreService), 이전 서비스 유무(PreChk)에 대한 변수가 초기화된다. 그리고 지식 노드들 중 서비스 받아야 할 횟수가 많은 노드부터 서비스를 한다.

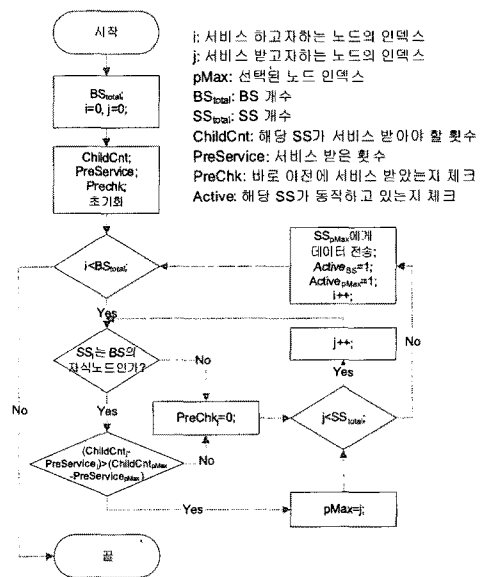


그림 4. 링크 할당 알고리즘의 흐름도

ChildCnt와 PreService의 차이로 남은 서비스 횟수 계산하여 해당 노드를 알 수 있다. 이 선택된 SSpMax와 우선순위를 판단하려고 하는 SSj간에 누가 서비스를 더 많이 받아야 되는가를 체크하게 되고, j가 많다면 pMax는 j로 세팅된다. 이후 패킷 스케줄링 알고리즘을 통해 데이터가 전송되고, PreService가 카운트된다. 보낸 노드와 받은 노드의 링크가 활성상태임을 나타내는 Active를 1로 설정해 주고 이번 프레임을 마치게 된다. 그 다음 프레임에서 아직 더 서비스 받아야 할 노드가 있다면 다시 반복한다. 전부 서비스 받았다면 ChildCnt를 초기화한다.

3.2.2 패킷 스케줄링 알고리즘

홉 당 가중치의 정의는 표 1과 표 2에 따른다. 표 1의 값들은 시간에 따라 서비스 받는 누적 횟수이고, 가로로 {SS1, SS2, SS3, SS4, SS5}는 노드 번호, 세로로 {1, 2, 3, 4, 5}는 시간의 흐름(프레임

표 1. 시간에 따른 각 SS들이 서비스 받는 횟수

시간 \ SSno.	SS1	SS 2	SS 3	SS 4	SS 5
1 (5 ms)	1	0	0	0	0
2 (10 ms)	1	1	0	0	0
3 (15 ms)	2	1	1	0	0
4 (20 ms)	2	2	1	1	0
5 (25 ms)	3	2	2	1	1

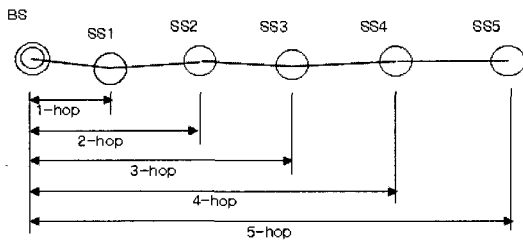


표 2. 홉 당 가중치 정의표

hop	가중치
1	1
2	1
3	2
4	2
5	3

수)을 나타낸다. 윗행부터 아랫행 순서대로 시간이 흐른다. 첫 번째 프레임에 BS-SS1 간에 통신하여 SS1에 서비스 한 번을 받게 됨을 1로 표시하고, 두 번째 프레임에서는 BS-SS1에는 통신하지 못하고, SS1-SS2에서 통신하여 SS1은 아직 1, SS2는 1로 갱신된다. 즉, 동시전송이 가능한 링크 그룹은 BS-SS1, SS2-SS3, SS4-SS5 그룹과 SS1-SS2, SS3-SS4 그룹으로 묶을 수 있다. 이렇게 총 5번의 프레임이 지났을 때, SS1은 3번, SS3는 1번 서비스 받게 된다. 3:1의 비율로, 마지막 노드가 손해를 본다. 이 점을 가중치로 정의하면, 표2과 같다. 붉은 숫자는 각 SS에게 정의된 가중치를 뜻한다. SS1이 서비스를 1번 받을 때, SS3는 3번 받으라는 뜻이다. 결국 SS5에게 자원을 3배만큼 더 할당하게 된다.

가중치를 구하는 식(1)은 다음과 같다.

$$W_i = \frac{DS_i + WS_i}{\frac{TD_i}{2} + \frac{TW_i}{2}} \quad (1)$$

i: SS ID

DS<sub>i</sub>: SS<sub>i</sub>에게 보내야 할 데이터량

w<sub>i</sub>: SS<sub>i</sub>의 가중치

TD<sub>i</sub>: SS<sub>i</sub>로 보내야 할 총 데이터량

WS<sub>i</sub>: 보내야 할 데이터가 있는 SS<sub>i</sub>의 홉 수

TW<sub>i</sub>: SS<sub>i</sub>로 보낼 데이터가 있는 SS<sub>i</sub>들의 총 홉 수

가중치를 얻었다면, 프레임의 총 크기와 곱하여 노드 i에게 할당될 자원량을 구할 수 있게 된다.

3.3 분석 모델

3.3.1 가정

다음은 본 연구의 가정들이다.

- ① 라우팅은 고려하지 않는다. 경로에 변화는 없다.
- ② 한 SS는 최대 두 개의 SS를 자식으로 둔다.
- ③ Mesh SS의 이동성은 고려하지 않는다.
- ④ 전송/간섭 범위는 같다.
- ⑤ 무한 큐로써 큐 오버플로우는 발생하지 않는다.
- ⑥ Mesh BS와 Mesh SS들은 같은 채널을 사용한다. Mesh Client는 고려하지 않는다. Mesh Client들과는 다른 채널을 사용하여 Mesh BS와 Mesh SS에게 간섭은 없다.

3.3.2 비교 알고리즘

앞 장에서 제안한 알고리즘과 비교하는 알고리즘은 일반적으로 쓰이는 RR 알고리즘이다. 가중치를

구하는 식은 식(2)와 같다.

$$W_i = \frac{DS_i}{TD_i} \quad (2)$$

i: SS ID

DS<sub>i</sub>: SS<sub>i</sub>에게 보내야 할 데이터량

W<sub>i</sub>: SS<sub>i</sub>의 가중치

TD<sub>i</sub>: SS<sub>i</sub>로 보내야 할 총 데이터량

### 3.3.3 측정값

다음은 본 연구의 측정값이다. 수율과 지연은 다음 식(3), 식(4)로 정의한다.

$$Throughput(Bytes/ms) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^{sn} DS_{i(s)}}{n * ST} \quad (3)$$

$$Delay(s) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^{sn} DT_{i(s)}}{n * 1000} \quad (4)$$

i: SS ID

n: SS 개수

s: 받는 session 순서

sn: 전부 도착한 session 개수

DS<sub>i</sub>(s): SS<sub>i</sub>의 s번째 받은 session size

DT<sub>i</sub>(s): SS<sub>i</sub>의 s번째 받은 session duration

ST: Simulation time

수율은 단위시간당 SS가 받은 평균 데이터 량으로 정의했다. 각 SS가 받은 전체 총 데이터량을, SS 개수로 나누고, 이 SS가 받은 평균 총 데이터량을 실험 시간으로 나눈다.

지연은 SS가 한 세션을 전부 받는데 걸리는 시간으로 정의했다. 각 SS가 받은 전체 총 지연을, 이 SS가 받은 평균 총 지연 시간을 세션 수로 나눈다.

## IV. 실험 및 분석

본 장에서는 지향성 안테나를 사용하는 OFDM 기반 무선 메쉬 네트워크에서 공정성 보장을 위한 스케줄링 알고리즘의 적용에 따른 공정성 성능을 분석하였다. 실험 톨은 VC++6.0을 사용한다<sup>[12],[13]</sup>.

첫째로, 전방향성 안테나를 사용하는 환경에서 알고리즘을 비교 분석해보고, 둘째로, 제안한 알고

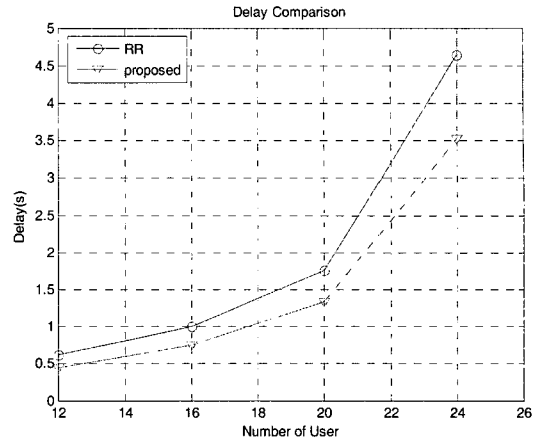


그림 7. 두 알고리즘의 지연 비교

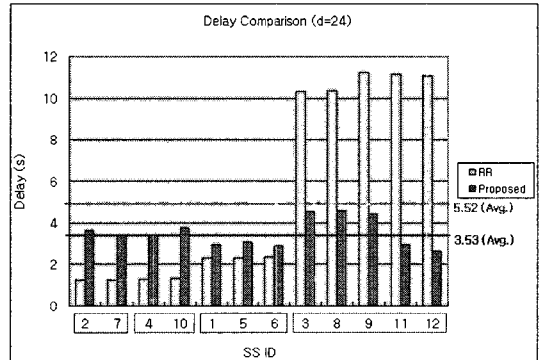


그림 8. 각 노드들의 두 알고리즘에 대한 지연 비교

리즘을 기반으로 전방향성 및 지향성 안테나의 성능을 비교해보고, 끝으로, 지향성 안테나를 사용한 비대칭 토폴로지에서도 알고리즘을 비교 분석해 보았다.

이 세 가지 실험 중에서 본 논문에서의 초점인 공정성 성능 향상에 대한 실험인 마지막 실험 결과를 보인다. 현실적으로 메쉬 네트워크를 구성한다고

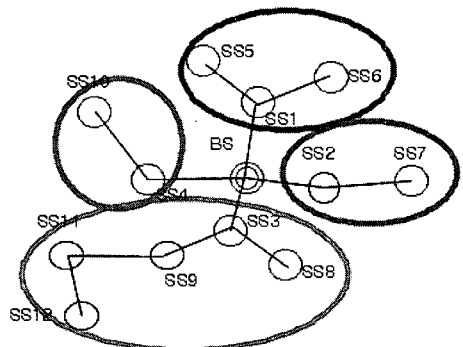


그림 5. 비대칭 토폴로지

가정했을 때 규칙적인 대칭 토폴로지 보다는 불규칙한 비대칭 토폴로지 환경이 구성될 것이기 때문에 그림 5의 비대칭 토폴로지 구성을 사용한다. 위 토폴로지의 특성을 보면 BS로부터 4개의 하향링크가 있고, 각 링크에 연결된 자식노드들의 개수는 2, 3, 5개로 각각 다르다. 각 하향링크에 연결된 자식노드 개수에 관계없이 BS가 순차적으로 서비스하는 일반적인 Round Robin 방식의 스케줄링 방식(RR)을 비교알고리즘으로 하였고, 이와 달리 제안 스케줄링 방식은 자식노드가 많이 연결된 하향링크에 따라 차등 스케줄링을 하는 제안한 방식(proposed)이다. 그림 5는 실험에 사용한 토폴로지를 나타내며, 표 3은 실험 파라미터들이다.

표 3. 실험 파라미터

Simulation Parameters	
Simulation Time	3h
Traffic Model	web
Frame Duration	5ms
Frame Size	3072B
Transmission Range	100m
Interference Range	100m
Channel Capacity	4.69Mbps

#### 4.1 수율 분석

그림 6은 두 알고리즘의 수율을 비교한 결과이다. 사용자 수의 증가에 따른 수율 값을 나타낸다. RR의 경우, 사용자 수 20에서 32 사이에서 수율이 더디게 증가하는 것을 볼 수 있는데 이유는 방향에 따른 가중치를 주지 않았기 때문이다. 제안 알고리즘에서 링크 할당 스케줄은 데이터를 많이 보내야 할 곳에 차등적으로 서비스를 해줌으로써 전체적인 수율을 개선시키는 반면, 방향마다 동일하게 서비스하는 RR은 상대적으로 나쁘게 나온다. 20에서 32는 네트워크에 적당히 부하가 걸려 방향마다 차등적인 서비스를 필요로 하는 때이며, 차등 서비스를 했을 경우와 그렇지 않은 경우의 차이이다. 네트워크에 과부하가 걸리는 32 이상에서는 차등 서비스에 관계없이 수율이 동등하게 나오게 된다. 실험 시간을 충분히 주어진다면 차이를 보이는 구간 역시 RR과 제안 알고리즘의 수율은 동등하게 나올 것이다.

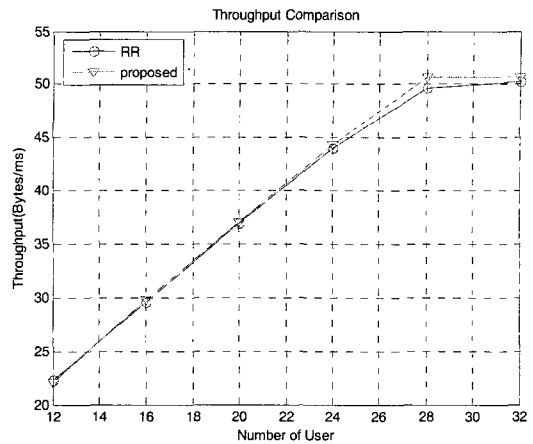


그림 6. 두 알고리즘의 수율 비교

#### 4.2 지연 분석

그림 7은 두 알고리즘의 지연을 비교한 결과이다. 사용자 수의 증가에 따른 지연 값을 나타낸다. 사용자 수가 증가할수록 두 알고리즘 모두 지연이 점점 커지고 있다. 차이가 생기는 것은 RR의 경우 Mesh BS가 주변 SS들에게 순차적으로 서비스하는 반면, proposed의 경우 각 링크 방향의 SS 총 수에 따라 서비스를 다르게 적용하기 때문이다.

#### 4.3 공정성 분석

그림 8은 각 노드들의 지연을 보여준다. 각 SS들의 평균 지연 값을 나타낸다. 그림 5에서 묶은 각 그룹은 그림 8에서 묶은 노드들의 그룹이다. RR과 proposed의 두 알고리즘을 비교했을 때 각 SS 당 지연이 공정하게 분배됐음을 보인다. RR에서 가까운 SS들은 항상 먼저 서비스 받기 때문에 지연 이득을 보는 반면 먼 SS들은 손해를 본다. 제안 알고리즘에서는 홉 당 비율로 자원을 할당하기 때문에 먼 SS가 보는 손해를 최소화하였고, 따라서 가까운 SS가 지연에 약간 손해를 보더라도 먼 SS의 이득이 더 크므로 전체적인 지연도 낮아지고 공정성도 보장하게 된다.

### V. 결론

본 논문에서는 지향성 안테나를 사용하는 IEEE 802.16 기반 무선 메쉬 네트워크의 성능 향상을 위한 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. RR 비교알고리즘의 선택은 메쉬 스케줄링의 기본이지만 많이 다뤄지지 않는 알고리즘이고, 본 연구가 메쉬 스케

줄링 연구의 시작 측면에서 접근하는 연구이기 때문에 본 알고리즘을 선택하였다.

제시한 기법을 통해 전체적인 네트워크 지연을 줄이고, 노드 간의 지연 격차를 해소하는 등, 무선 메쉬 네트워크 환경에서 지향성 안테나를 보다 효율적으로 사용할 수 있음을 보였다. 지향성 안테나 환경에서 제안 알고리즘을 사용할 경우, BS로부터 가까운 노드와 먼 노드 간의 지연 격차가 해소되어 전체적으로 지연이 64% 이득을 보았다.

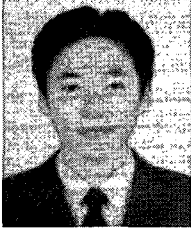
본 논문의 결과는 향후 메쉬 네트워크, 멀티 홉 중계기 등의 다중 홉 시스템에서 각 SS들에 대한 공정성을 고려한 지향성 안테나 도입 시에 참고할 만한 가이드라인을 제시할 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] IEEE Std 802.16-2004, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", 2004.
- [2] IEEE 802.16j-06/013r3, "Multi-hop Relay System Evaluation Methodology (Channel Model and Performance Metric)", 2007.
- [3] Y. Zhang, J. Luo, H. Hu, *Wireless Mesh Networking, Architectures, Protocols and Standards*, Auerbach Publications, 2007.
- [4] S. Ahson and M. Ilyas, *WiMax, Standards and Security*, CRCPress, 2008.
- [5] U. Kumar, H. Gupta and S. R. Das, "A Topology Control Approach to Using Directional Antennas in Wireless Mesh Networks", *Communication, 2006 IEEE International Conferenceon*, Vol.9, pp.4083-4088, 14-16 Jun. 2006.
- [6] Y. Lebrun, F. Horlin, A. Bourdoux and L. V. der Perre, "Feasibility Study of the Mesh Extension for the IEEE 802.16e Communication System", *Communications and Vehicular Technology, 2006 Symposiumon*, pp.93-96, 23-23 Nov.2006.
- [7] P. Du, W. Jia, L. Huang and W. Lu, "Centralized Scheduling and Channel Assignment in Multi-Channel Single-Transceiver WiMax Mesh Network", *Wireless Communications and Networking Conference, 2007. WCNC2007. IEEE*, pp.1734-1739, 11-15 March 2007.
- [8] C. Schwingenschlogl, V. Dastis, P. S. Mogre, M. Hollick and R. Steinmetz, "Performance Analysis of the Real-time Capabilities of Coordinated Centralized Scheduling in 802.16 Mesh Mode", *Vehicular Technology Conference, 2006. VTC 2006-Spring. IEEE 63th Vol.3*, pp.1241-1245, 7-10 May 2006.
- [9] Y. Cao, Z. Liu and Y. Yang, "A Centralized Scheduling Algorithm Based on Multi-Path Routing in WiMAX Mesh Network", *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2006. WiCOM 2006. International Conferenceon*, pp.1-4, 22-24 Sept. 2006.
- [10] S. Xergias, N. Passas and A. K. Salkintzis, "Centralized Resource Allocation for Multimedia Traffic in IEEE 802.16 Mesh Networks", *Proceedings of the IEEE*, Vol.96, Issue 1, pp.54-63, Jan. 2008.
- [11] Y. Wang, Z. Wu, M. Peng and W. Wang, "Performance of Wireless Mesh Networks with Centralized Multihop Scheduling for Intelligent Transportation Systems", *ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6th International Conferenceon*, pp.777-781, June 2006.
- [12] B. Han, F. P. Tso, L. Lin and W. Jia, "Performance Evaluation of Scheduling in IEEE 802.16 Based Wireless Mesh Networks", *Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS), 2006 IEEE International Conferenceon*, pp.789-794, Oct. 2006.
- [13] J. Chen, C. Chi and Q. Guo, "A Bandwidth Allocation Model with High Concurrence Rate in IEEE802.16 Mesh Mode", *Communications, 2005 Asia-Pacific Conferenceon*, pp.750-754, 03-05 Oct. 2005.

이 상 준 (Sang-Joon Lee)

정회원



2005년 2월 고려대학교 전산학과 학사  
2008년 2월 고려대학교 전산학과 전산과학 전공 석사  
2008년~현재 고려대학교 전산학과 데이터통신및네트워크 전공 박사 과정

<관심분야> 무선자원관리, 호수락제어, 메쉬네트워크, 무선통신시스템

이 형 우 (Hyong-Yoo Lee)

정회원



1979년 University of British Columbia Electrical Engineering (학사)  
1983년 University of Waterloo, Electrical Engineering (박사)  
1983~1991년 Carleton University, System and Computer Engineering 조교수

1992~1995년 University of Waterloo, Electrical and Computer Engineering 조교수

1995~현재 고려대학교 전자 및 정보공학과 교수  
<관심분야> 통신망 설계 및 성능 분석, 트래픽 제어, MAC 프로토콜

조 충 호 (Choong-Ho Cho)

종신회원



1981년 2월 고려대학교 산업공학과 학사  
1993년 2월 고려대학교 산업공학과 석사  
1986년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과(석사)  
1989년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과(박사)

1990~1994년 순천향대학교 전산통계학과 조교수

1994~현재 고려대학교 컴퓨터정보학과 교수

<관심분야> 통신망 트래픽 관리기술, 무선통신 시스템, 멀티미디어통신, 인터넷 비즈니스