

IEEE 802.16j 에서 Load Balancing 을 고려한 동적 프레임 스케줄링

백훈^o, 장주욱

서강대학교 전자공학과

Dynamic Frame Scheduling with Load Balancing for IEEE 802.16j

Hoon Baek^o, Ju Wook Jang

Department of Electronics Engineering, Sogang University

nababo25@eeca1.sogang.ac.kr, jjang@sogang.ac.kr

요 약

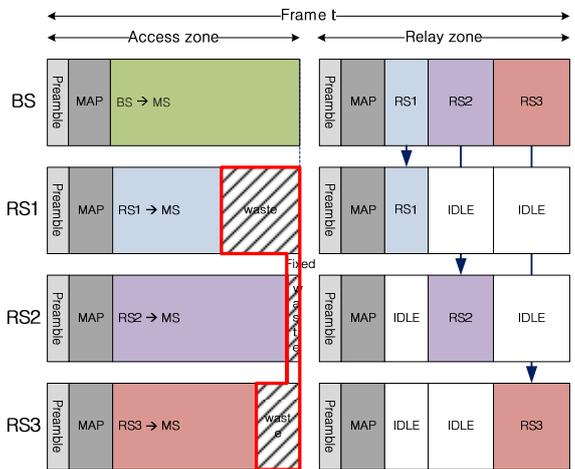
IEEE 802.16j 시스템의 멀티-홉 릴레이(multi-hop relay) 네트워크에서 액세스 구간과 릴레이 구간의 경계가 고정적일 경우, 합리적인 자원 할당을 수행하는데 제약 요소가 될 수 있으며, 각 중계국에 대한 자원 할당이 균형을 이루지 못할 경우, 프레임 구조상의 액세스 구간에서 남는 공간이 발생하게 되고, 이는 무선 자원의 낭비를 야기시킨다. 본 논문에서는 각 중계국에 대한 자원 할당의 균형을 유지하면서 낭비되는 무선 자원을 줄임으로써 시스템의 전송률 향상이 이루어지는 프레임 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘을 통해 액세스 구간과 릴레이 구간의 경계가 동적으로 결정되고 무선 자원 낭비를 방지함으로써, 고정된 경계를 사용하는 시스템에 비해 최대 35%의 전송률 성능 향상이 있음을 보인다.

1. 서론

IEEE 802.16j 표준에서는 셀 외곽부분 및 서비스 불능 지역을 더욱 효과적으로 서비스 하기 위하여 base station(BS)보다 저렴하게 구현할 수 있는 relay station(RS)을 도입하여, 셀 범위 확장 및 전체 시스템 전송률 향상을 목적으로 개발되고 있다[1]. RS 가 도입됨에 따라 하향링크/상향링크 서브프레임은 BS 와 RS 가 통신하는 릴레이 구간과, BS/RS 와 mobile station(MS)가 통신하는 액세스 구간으로 나뉘지게 되고, BS 의 스케줄링 결과에 의해 각 BS/RS 들이 자신 하위의 MS 들에게 독립적으로 서비스하게 된다.

그러나 이러한 RS 의 도입에 따라 기존의 IEEE 802.16e 에서는 제기되지 않았던 두 가지 문제점에 대해 생각해 볼 수 있다. 첫째로, 액세스 구간과 릴레이 구간의 경계가 고정되어 있는 경우, 매 프레임마다 변화하는 액세스 트래픽과 릴레이 트래픽에 대하여 유연하게 처리할 수 없기 때문에 합리적인 자원 할당이 어렵다. 둘째로, 액세스 구간에서의 무선 자원은 모두 RS 에서 재사용 되기 때문에 MS

“본 논문은 서울시가 시행하고 서울시립대학교 지능형 도시 사업단이 주관하는 서울시 산학연 협력 사업에서 지원을 받았습니다.”



의 균일하지 않은 트래픽 분포에 따라 RS 별로 자원 요구사항이 달라지게 될 경우, 부하의 불균형이 발생하게 된다. 즉, 그림 1 에서 보는 것과 같이 상대적으로 적은 트래픽을 서비스하는 RS 는 자신의 서비스 시간이 끝난 이후부터 액세스 구간이 끝날 때까지는 낭비 구간으로 존재하기 때문에, 결과적으로 낭비 구간만큼 무선 자원의 활용성이 떨어지게 된다.

본 논문에서는 이러한 무선 자원의 낭비를 방지

하기 위한 새로운 프레임 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘의 핵심 아이디어는 t 프레임의 릴레이 구간의 자원 할당을 통해 $t+1$ 프레임의 액세스 구간 길이의 부하를 조절할 수 있다는 것이다. 이를 통해 load balancing 을 이루어 프레임 내에서 남는 공간 없이 자원을 할당할 수 있게 되고, 스케줄링에 의한 액세스 구간 길이를 새로운 경계로 결정함으로써 동적 경계 또한 이루어지는 것이다.

시뮬레이션 결과, 제안 알고리즘을 사용할 경우 고정된 경계를 갖는 기존 알고리즘에 비해 전체 시스템 전송률이 최대 35% 정도 향상하는 것을 확인할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 본 논문에서 고려하는 시스템 모델을 설명하고 문제를 정의한다. 3 장에서는 동적 프레임 스케줄링을 제안하며, 4 장에서 알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과를 보인다. 마지막으로 5 장에서는 본 논문의 내용을 요약, 정리한다.

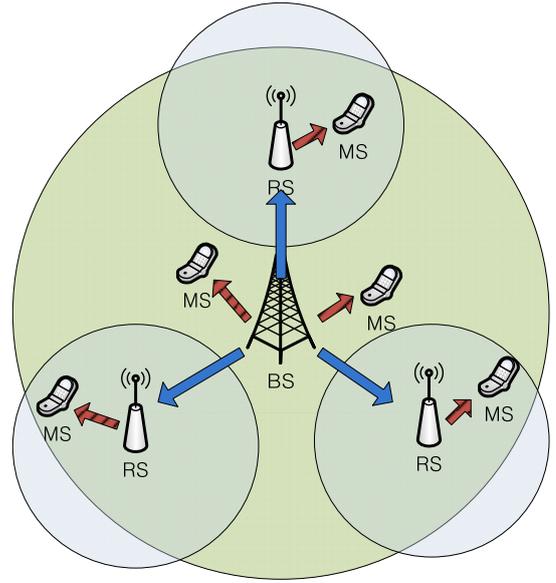


그림 2. IEEE 802.16j 네트워크 모델

2. 시스템 모델 및 문제 정의

2.1 시스템 모델

그림 2 는 전형적인 IEEE802.16j 네트워크 모델을 보여준다. 하나의 셀에는 한 개의 BS 와 원-홉 또는 멀티-홉으로 BS 와 연결되어 있는 여러 개의 RS 로 구성된다. 일반적으로 RS 는 BS 와 두 홉 이상으로 BS 와 연결될 수 있지만, 단순한 릴레이를 고려하기 위해 그림 2 에서는 BS 와 RS, RS 와 MS 가 단일 홉으로 연결되도록 하여 구성되었다.

IEEE 802.16j 의 하향링크 프레임 구조는 액세스 구간과 릴레이 구간의 두 구역으로 나누어져 있다. 액세스 구간은 BS 와 모든 RS 가 하위 MS 들에게 서비스하는 구역이고, 릴레이 구간은 BS 가 RS 들에게 데이터를 전송하는 구역이다. 릴레이 구간에서는 BS 만 전송을 하게 되지만, 액세스 구간에서는 BS 뿐만 아니라 릴레이 구간에서 RS 가 수신한 데이터를 하위 MS 들에게 동시에 전송하게 된다.

자원 할당에 있어서 overlapped resource allocation 방식을 사용하는 시스템의 경우, BS 및 각 RS 가 동일한 양의 무선 자원을 재사용하기 때문에, 각 RS 영역의 트래픽 비율이 균일하지 않는 문제를 야기할 수 있다. 따라서 MS 가 BS 및 여러 RS 중에서 어떤 곳에 접속할 것인지 결정하는 링크 선택의 문제가 고려되어야 한다[5]. 본 논문에서는 스케줄링 알고리즘에만 초점을 맞추기 위해 링크 선택 문제는 따로 고려하지 않는다. 즉, 모든 MS 의 링크 선택은 이미 이루어져 있다고 가정한다.

모든 MS 의 링크 선택이 완료되면, 시스템의 프레임 스케줄러는 각 MS 의 요구량에 따라 자원 할당을 수행하는데, 일반적으로 Proportional Fair(PF) 스케줄러가 가장 널리 사용된다. [3]에서, PF 스케줄러는 $\ln u_k$ 의 합을 최대화 해야 하는 것임을 증명하

고 있다. 수식은 다음과 같다.

$$PF = \arg \max \sum_{k=1}^K \ln u_k \quad (1)$$

여기서, u_k 는 사용자 k 의 전송률(R_k) 또는 평균 전송률(R_k^{avg})이다. PF 스케줄러는 매 스케줄링 주기 시간마다 하나의 사용자를 선택하여 자원을 할당한다. 사용자 k^* 는 다음의 수식에 따라 결정된다[4].

$$k^* = \arg \max \frac{R_k}{R_k^{avg}} \quad (2)$$

2.2 문제 정의

스케줄러에 의한 자원 할당 결과는 액세스 구간과 릴레이 구간의 경계를 가변적으로 결정한다. 만약 경계를 고정시킬 경우, BS 와 RS 의 트래픽 분포에 따라 액세스 구간 또는 릴레이 구간의 자원 부족 또는 자원 낭비가 발생할 수 있다. 그러므로 BS 및 RS 의 액세스 구간에 할당된 자원량과 BS 와 RS 간에 할당된 자원량을 동시에 고려해서 적절한 경계를 동적으로 설정할 수 있어야 한다.

그림 3 은 하향링크에서 액세스 구간과 릴레이 구간의 경계를 동적으로 결정하는 방법을 예시하고 있다. 각 프레임의 하향링크 구간 길이는 T_{down} 으로

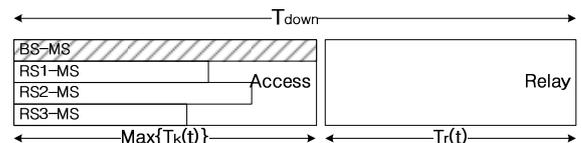


그림 3. 액세스 구간과 릴레이 구간의 동적인 경계 설정

일정하고, T_{down} 은 액세스 구간의 길이와 릴레이 구간 길이의 합이 된다[5]. 그 수식은 다음과 같다.

$$\tilde{T}_r(t) + \max_{N \in \{0, \dots, n\}} \{T_a(N, t)\} \leq T_{down} \quad (3)$$

$\tilde{T}_r(t)$ 은 t 프레임의 릴레이 구간의 전체 길이이고, $T_a(N, t)$ 은 BS(N=0) 또는 RS(N=1,2,...,n)의 액세스 구간 길이이다. 즉, 프레임의 하향링크 구간 길이는 릴레이 구간의 길이와 액세스 구간에서 가장 긴 길이를 갖는 링크의 길이의 합으로 결정된다. 그림 3의 경우, BS-MS 링크의 액세스 구간 길이가 가장 길기 때문에, 전체 액세스 구간 길이로 결정됨을 볼 수 있다.

프레임의 액세스 구간 트래픽에 대한 load balancing 을 위해서는 이전 프레임의 릴레이 구간에서 균형적인 자원 할당이 필요하다. 기본적으로 t 프레임에서 RS_N 에 할당된 릴레이 구간 트래픽 양은 t+1 프레임의 액세스 구간 트래픽 양과 같으며, 그 수식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{R_r(N, t) \times \{T_r(N, t) + T_{reTX}(N, t)\}}{R_a(N, t+1) \times T_a(N, t+1)} \\ & = \frac{R_r(N, t) \times \{T_r(N, t) + T_{reTX}(N, t)\}}{R_a(N, t+1) \times T_a(N, t+1)} \end{aligned} \quad (4)$$

$R_r(N, t)$ 은 t 프레임의 릴레이 구간에서 BS- RS_N 링크의 전송률을 의미하고, $R_a(N, t+1)$ 은 t+1 프레임의 액세스 구간에서 RS_N -MS 링크의 평균 전송률을 의미한다. $T_{reTX}(N, t)$ 은 ARQ(Automatic Retransmit reQuest) 등에 의한 재전송 요청 트래픽에 할당된 길이로써, 고속 전송에 의해 에러가 자주 발생하는 802.16j 시스템에서 정확한 구간 길이를 계산하기 위해서는 재전송 요청 트래픽이 반드시 고려되어야 한다. 식(4)를 변형하면 다음과 같다.

$$T_a(N, t+1) = \frac{R_r(N, t) \times \{T_r(N, t) + T_{reTX}(N, t)\}}{R_a(N, t+1)} \quad (5)$$

식(5)를 통해 t+1 프레임의 액세스 구간의 길이를 t 프레임의 릴레이 구간의 길이와 t 프레임에서 재전송 요청된 트래픽 구간의 길이로부터 구할 수 있다. 즉, t 프레임에서의 릴레이 구간 스케줄링 결과와 재전송되는 트래픽에 의해 다음 프레임의 액세스 구간 길이가 결정된다.

RS-MS 링크의 채널 상태에 의한 MCS(Modulation and Coding Scheme) level 은 일정 주기의 프레임마다 갱신되는데, 그 결과 현재 스케줄링 과정에서의 MCS level 정보와 실제 서비스 되는 프레임의 MCS level 에서 차이가 발생할 수 있다. 그러므로 RS 에는 이전 프레임의 액세스 구간에서 미처 전송하지 못한 트래픽이 버퍼에 남아있는 경우가 발생할 수 있고, 이 트래픽 또한 구간 길이 계산에 고려되어야

하며, 그 식은 아래의 식(6)과 같다.

$$\begin{aligned} T_a(N, t+1) &= \frac{R_r(N, t) \times \{T_r(N, t) + T_{reTX}(N, t)\}}{R_a(N, t+1)} \\ &+ T_{Buff}(N, t+1) \end{aligned} \quad (6)$$

$T_{Buff}(N, t+1)$ 은 t+1 프레임의 RS_N 버퍼에 남아있는 트래픽에 할당된 시간을 의미한다.

제안하는 스케줄링 알고리즘 LB는 각 RS 액세스 구간길이의 곱이 최대가 되도록 하여 load balancing 을 최대화 하는 것이며, 다음의 식을 따른다.

$$LB = \max \left\{ \sum_{n=1}^N \log(T_a(N, t+1)) \right\} \quad (7)$$

3. 제안 스케줄링 알고리즘

제안 알고리즘은 크게 두 단계로 나눌 수 있다. BS 가 릴레이 구간과 액세스 구간의 경계를 결정하기 위해 수행하는 단계와, RS 에서 재전송 트래픽과 MCS level 차이에 의해 버퍼에 남게 되는 트래픽에 대하여 수행하는 단계이다.

3.1 BS 에서의 스케줄링

그림 4의 순서도는 BS 에서의 스케줄링 과정을 나타내고 있다. BS 에서 수행하는 스케줄링의 목적은 액세스 구간의 load balancing 을 보장하면서, 릴레이 구간과 액세스 구간의 경계를 결정하는 것이다.

t 프레임에서의 스케줄링 수행하기 전에 이전 프레임의 재전송 트래픽 및 RS 버퍼에 쌓인 트래픽 정보를 획득한다. 그리고 나서, RS 하위 MS 들에게 서비스 가능한 최소 요구량을 만족하도록 t 프레임

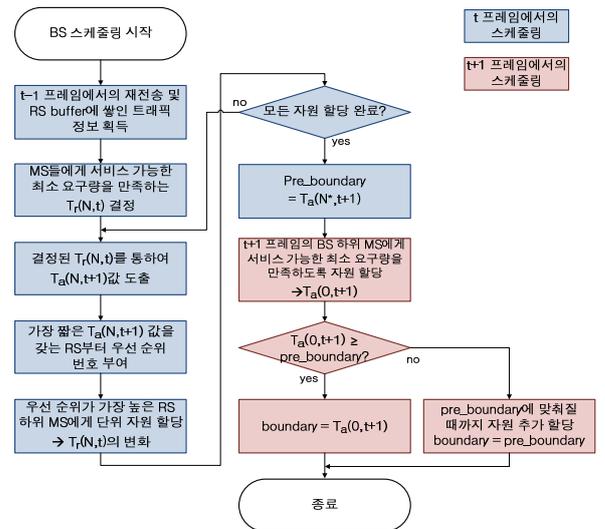


그림 4. BS 에서의 제안 스케줄링 순서도

의 릴레이 구간에 대한 무선 자원을 할당하고 식(6)을 통해 각 RS의 $t+1$ 프레임의 액세스 구간 길이 $T_a(N, t+1)$ 값을 도출한다. 도출된 값 중에서 가장 짧은 길이를 갖는 RS부터 우선 순위 번호를 부여하고, 가장 높은 우선 순위의 RS에게 단위 자원을 할당한다. 이 일련의 과정은 모든 자원의 할당이 완료될 때까지 반복하게 되는데, 가장 짧은 길이의 RS부터 자원을 할당하기 때문에 모든 RS의 액세스 구간 길이는 큰 차이를 보이지 않고 load balancing을 보장하게 된다. 가장 긴 값을 갖는 RS_{N^*} 의 액세스 구간 길이 $T_a(N^*, t+1)$ 는 pre_boundary로 결정된다. 이를 통해 t 프레임에서의 스케줄링 과정이 완료된다.

$t+1$ 프레임에서는 BS하위 MS에게 서비스 가능한 최소 요구량을 만족하도록 무선 자원을 할당한다. 이 때의 액세스 구간 길이는 $T_a(0, t+1)$ 가 되고, pre_boundary와 비교하게 된다. 만약 pre_boundary보다 긴 경우, 최종 boundary는 $T_a(0, t+1)$ 로 결정되며, pre_boundary보다 짧은 경우에는 pre_boundary에 맞춰질 때까지 자원을 추가 할당하고 최종 boundary가 pre_boundary로 결정된다. 이로써 BS에서의 스케줄링 과정이 종료된다.

3.2 RS에서의 스케줄링

그림 5의 순서도는 RS에서의 스케줄링 과정을 나타내고 있다. RS에서 수행하는 스케줄링의 목적은 BS의 스케줄링 결과에 의해서 수신한 데이터를 하위 MS들에게 전송하기 전에 재전송 트래픽 및 MCS level의 차이를 고려하는 것이다.

각 RS들은 $t+1$ 프레임에서 하위 MS들에게 서비스 할 트래픽을 BS로부터 수신한 후, 다음의 두 가지 문제를 고려한다. 첫째로 BS로부터 수신한 트래픽 중, 재전송 받아야 할 트래픽이 있는지에 대한 여부이다. 만약 재전송 받아야 할 트래픽이 존재한다면, 다음 프레임에서 BS에게 요청할 재전송 트래픽 정보를 저장하여 상향링크 시 해당 정보를 BS에게 요청하게 된다.

둘째로 BS로부터 수신한 트래픽의 MCS level과 현재의 RS-MS 링크의 MCS level의 차이를 고려한다.

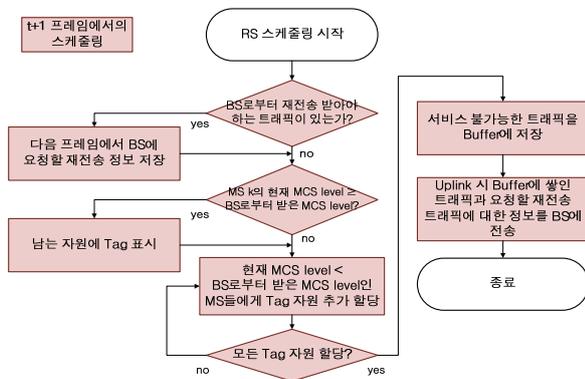


그림 5. RS에서의 제안 스케줄링 순서도

만약 현재 RS-MS 링크의 MCS level이 BS로부터 수신한 트래픽의 MCS level보다 높을 경우, RS에서 더욱 좋은 변조 방식으로 수정하여 전송할 수 있기 때문에 그만큼 무선 자원이 남게 되며, 이 남은 자원에 tag 표시를 하여 관리한다. 반대로, 현재 RS-MS 링크의 MCS level이 BS로부터 수신한 트래픽의 MCS level보다 낮을 경우, RS에서 낮은 변조 방식으로 수정하여 전송해야 하기 때문에 MS에게 서비스 해야 할 트래픽을 전부 처리하지 못하게 된다. 이 경우에는 tag 표시가 된 무선 자원을 이용하여 서비스할 수 있도록 MS에게 추가 할당한다. tag 자원까지 모두 할당한 후에도 서비스 불가능한 트래픽에 대해서는 버퍼에 저장한 후에 다음 프레임에서 서비스해야 하기 때문에, 상향링크 시 해당 정보를 BS에 알려서 다음 프레임의 스케줄링 시 고려할 수 있도록 한다. 이로써 RS에서의 스케줄링 과정이 종료된다.

위에서 보인 두 스케줄링 단계를 통해 액세스 구간의 각 RS 링크 길이의 load balancing을 보장하게 되고, 매 프레임마다 결정되는 boundary에 의해 릴레이 구간과 액세스 구간의 동적인 경계가 이루어진다.

4. 시뮬레이션 결과

단일 셀 내에 단일 홉으로 구성된 IEEE 802.16j TDD-OFDMA 시스템을 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다. 셀 중앙에 위치한 BS를 중심으로 RS가 BS로부터 가장 높은 MCS level(64QAM 5/6)로 수신할 수 있는 최대 거리인 720m에 120도 간격으로 RS 3개를 배치하였다. MS는 임의로 접속 링크를 선택하여 갯수를 변화시키면서 BS 및 RS에 연결되도록 배치하였다. 그 이외의 더욱 자세한 파라미터는 표 1에 표시하였다. 또한 RS-MS 링크의 CINR에 따른 MCS level을 표 2에 표시하였다.

그림 6의 시뮬레이션 결과는 제안 알고리즘으로 스케줄링 시 프레임 수의 증가에 따른 기존 스케줄링 대비 시스템 전송률 성능 향상을 나타낸다. 기존

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Carrier Frequency	2.3GHz
System Bandwidth	10 MHz
Transmit Power	BS : 20W, RS : 10W
Frame Duration	5ms
RS configuration	3 Fixed RS; Each RS located at 720m position from BS
FFT Size	1024
Traffic Model	Full buffer model
Scheduling Algorithm	Proportional Fair or Proposed Algorithm

표 2. CINR 값에 따른 MCS level

MCS level	Coding rate	Required CINR (dB)
QPSK	1/12	-3.95
	1/6	-1.65
	1/3	1.5
	1/2	4.3
	2/3	7.95
16QAM	1/2	9.3
	2/3	13.1
	3/4	15.8
64QAM	2/3	18.45
	5/6	24.8

스케줄링 방식은 고정된 경계를 갖는 PF 스케줄링 알고리즘이다. 프레임 수가 증가함에 따라 성능 향상이 증가하는 것을 볼 수 있으며 약 19%까지 향상하는 것을 확인할 수 있다. 이는 프레임이 진행될수록 낭비되는 무선 자원을 줄임으로써 얻게 되는 결과이다.

그림 7의 시뮬레이션 결과는 MS 수에 따른 시스템 전송률을 보이고 있다. MS 수를 25 개에서 250 개까지 다양하게 변화시키면서 스케줄링을 수행한 결과, 제안 스케줄링 방식이 기존 방식에 비해 항상 높은 성능을 가지며 최대 35%의 성능 향상이 있음을 확인하였다. 그림 8의 링크 자원의 효율성 비교를 통해 낭비 되는 자원의 감소에 의한 시스템 전송률 성능 향상은 더욱 명확해진다.

5. 결론

IEEE 802.16j 시스템에서 릴레이 구간과 액세스 구간이 고정된 경계를 갖는 경우, 무선 자원의 낭비에 의해 전체 시스템 성능이 저하되기 때문에 이를 고려하여 동적인 경계를 갖는 프레임 스케줄링 기법을 제안하고, 그 성능을 살펴보았다. 제안하는 스케줄링 알고리즘은 t 프레임에서의 릴레이 구간 자원 할당에 의해 액세스 구간의 길이가 결정되는 원리를 이용하여 정식화하고, 이를 이용하여 각 링크의 load balancing을 보장하도록 자원 할당을 수행한다. 제안하는 알고리즘은 고정된 경계에 load balancing을 보장하지 않는 기존 스케줄링 알고리즘에 비해 큰 성능 향상이 있음을 보였다. 또한 802.16j 시스템의 고속 전송에 의해 많이 발생할 수 있는 재전송 트래픽 및 변화하는 MCS level을 고려하여 스케줄링을 수행하기 때문에, 실제 구현하는데 있어서 보다 정확한 틀을 제공한다.

6. 참고 문헌

- [1] IEEE 802.16 Working Group's Relay Task Group, IEEE 802.16j-06/026r4, Jun. 2008.
- [2] IEEE 802.16 Working Group's Relay Task Group, Part

16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems – Multihop Relay Specification, Aug. 2007.

- [3] F. D. Kelly et al, "Rate control in communication networks: shadow prices, proportional fairness and stability", *Journal of the Operational Research Society*, vol.9, 237-252, 1998.
- [4] Tien-Dzung Nguyen and Younghan Han, "Schemes for Maximal Throughput and Fairness in Downlink OFDMA Systems", *Communications and Electronics*, 2006
- [5] 김태완, 민태영, 강충구, "무선 멀티-홉 릴레이 시스템에서의 Load Balancing을 고려한 패킷 스케줄링 기법", 한국통신학회 하계학술대회, 6월, 2007년.

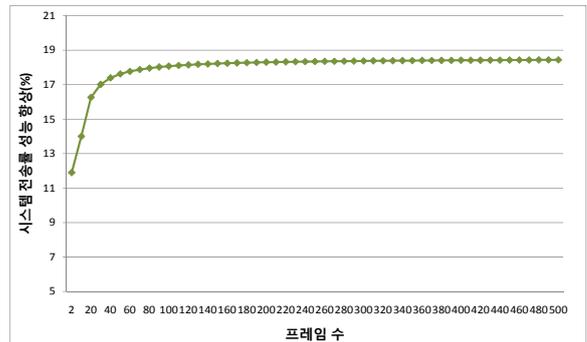


그림 6. 프레임 수에 따른 시스템 전송률 성능 향상

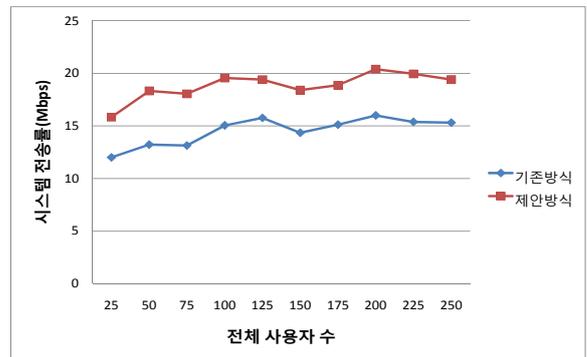


그림 7. 사용자 수에 따른 시스템 전송률 비교

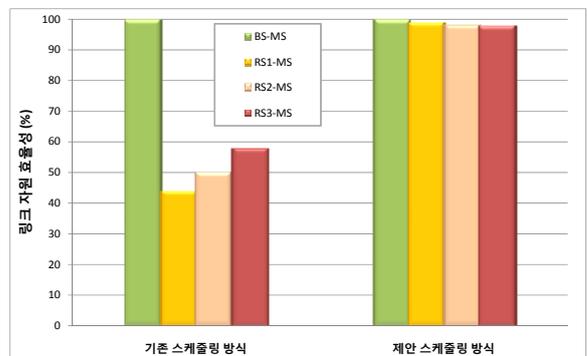


그림 8. 링크 자원 효율성 비교