

논문 2007-44TC-9-3

# OFDMA기반 Relay시스템에서 Throughput과 Fairness 성능 향상을 위한 Reuse Partitioning 기법

(Reuse Partitioning for Throughput and Fairness Improvement in OFDMA Based Relay System)

심 민 규\*, 최 호 영\*\*, 홍 대 형\*

(Minkyu Shim, Hoyoung Choi, and Daehyoung Hong)

## 요 약

본 논문에서는 멀티 홉 OFDMA 시스템에서 relay간 무선자원을 효율적으로 재사용하기 위한 방법으로 sub-cell reuse partitioning 기법을 제안한다. 셀 내에서 relay 들에 주파수 자원을 더 많이 재사용을 할수록 사용 가능한 자원이 늘어나 셀 용량을 증가시킬 수 있다. 하지만 이 경우 자원이 재사용되면서 동시에 발생하는 간섭이 많아져 Relay Station (RS) sub-cell edge에서 SINR 성능이 나빠질 수 있으며 결과적으로 fairness 성능을 나쁘게 만들 수 있다. 본 논문에서는 throughput 및 fairness 성능을 모두 좋게 만들기 위해 RS sub-cell을 내부와 외부로 나누어 내부에서는 재사용을 더 많이 하고, 외부에서는 재사용을 덜 적용하는 sub-cell reuse partitioning 기법을 제안하였다. 제안한 기법의 성능을 분석하기 위하여 모의실험을 구성하였다. Fairness 분석을 위하여 reuse partitioning과 함께 적용할 수 있는 스케줄링 알고리즘도 구현하였다. 도출된 성능 결과를 분석하여 sub-cell reuse partitioning 기법을 적용하여 throughput 성능과 fairness 성능을 함께 개선할 수 있음을 확인하였다. 특히, 스케줄링을 fairness 성능을 개선하는 방향으로 적용할 때, sub-cell reuse partitioning 기법을 적용하여 얻어지는 throughput 성능의 개선 효과가 더 크게 됨을 확인하였다.

## Abstract

In this paper, we propose the sub-cell reuse partitioning among relays as an efficient resource reuse scheme in the relay-based OFDMA systems. If the frequency resource is reused among relays aggressively, we can increase the cell throughput. However, the interferences due to the frequency reuse may cause the fairness decrease due to the SINR degradation especially at the edge of RS sub-cells. In this paper, to make the cell throughput and fairness performance improved at the same time, we propose a sub-cell reuse partitioning scheme that divides a relay sub-cell into inner zone for aggressive reuse and outer zone for sparse reuse. The performance of the proposed scheme has been analyzed by computer simulation. We also applied a scheduling algorithm that can work together with the proposed sub-cell reuse partitioning scheme. Simulation results show that the proposed scheme can improve both the throughput and the fairness performances. In particular, when the scheduling is applied for the improvement of fairness, it is shown that the throughput performance can be enhanced more efficiently by the proposed scheme.

**Keywords:** Relay, Multi-hop, Frequency reuse, Reuse partitioning, Fairness.

## I. 서 론

차세대 이동통신 시스템에서는 음성 통화 서비스뿐

만 아니라 인터넷, 멀티미디어, 대용량 파일 전송 등과 같은 데이터 서비스에 대한 수요가 증가하고 있다. 이와 같은 요구에 따라 OFDMA 전송 방식을 사용하는 휴대 인터넷(IEEE 802.16e/WiBro) 시스템이 상용화 되었다. 또한 휴대인터넷 시스템의 진화를 위한 다양한 성능 증대 기술들이 연구되고 있다. 이러한 성능 증대 기술 중의 하나로 다중 홉 중계(Multi-hop Relay /Mesh) 전송 기술이 있고, 이를 위한 IEEE 802.16j 규

\* 정회원, \*\* 학생회원, 서강대학교 전자공학과  
(Department of Electronic Engineering, Sogang University)

※ 본 연구의 일부는 2000년도 서강대학교 교내 연구비 지원에 의하여 이루어 졌음  
접수일자: 2007년5월6일, 수정완료일: 2007년9월6일

격의 표준화가 현재 진행 중이다.

Relay를 통한 다중 홉 중계 전송은 셀 경계 및 coverage hole에 RS를 설치해 신호 품질을 향상시킬 수 있다. 이는 coverage 증대 및 용량 향상을 위해 효과적인 기술이다<sup>[1]</sup>. 그러나 다중 홉 시스템은 기존 단일 홉 시스템과 달리 주어진 전체 자원의 일부를 relay link에서의 전송을 위해 할당해 주어야 한다. 이러한 다중 홉 시스템은 가용 자원의 손실을 초래하고 이는 결국 용량의 손실을 야기 시킨다<sup>[2]</sup>. 기존 연구에서는 이러한 용량 손실을 극복하기 위해 relay간 무선자원을 재사용하는 기법을 제시하였다. 그 중 하나로 co-channel interference를 최소화하는 정해진 패턴으로 RS에서 사용되는 채널을 이웃 셀의 Base Station (BS)에서 사용되는 채널과 재사용하여 2-hop전송에 추가적으로 자원을 할당하지 않는 방안을 제시한 연구가 있었다<sup>[2]</sup>. IEEE 802.16j 연구에서도 셀 내 할당된 자원을 BS와 RS에서의 전송에 재사용하는 기법을 제안하였다<sup>[3]</sup>. 이와 같이 기존 relay 시스템에서의 자원 재사용에 관한 연구들에서는 셀 내 BS-MS, BS-RS, RS-MS link전송에 필요한 자원을 적절히 재사용하여 시스템 용량을 증대시켰다.

기존 연구에서 제시한 바와 같이 RS간 자원 재사용을 많이 할수록 가용 자원량이 늘어나 셀 용량은 증가하게 된다. 하지만 동시에 이로 인한 간섭도 커지게 된다. 특히, 간섭이 증가하면 RS sub-cell edge 근처에 위치한 사용자들의 SINR 성능 저하가 더 심하게 나타난다. 이는 셀 내 사용자 간 SINR 성능 격차를 커지게 해서 fairness 성능 저하를 일으킨다. 반대로 셀 내에서 RS간의 재사용을 적용하지 않게 되면 fairness 성능은 개선된다. 그러나 셀 용량은 relay의 사용에 따른 추가 자원 소모로 인해 더 적어질 수 있다는 단점이 있다. 본 연구에서는 relay가 적용된 OFDMA 시스템에서 cell throughput의 향상과 동시에 fairness 성능을 개선하기 위한 효율적인 relay간 무선자원 재사용 방법으로 sub-cell reuse partitioning 기법을 제안한다. Sub-cell reuse partitioning 기법에서는 기존 single-hop 시스템에서 cell edge에서의 SINR 성능 개선을 위해 연구된 reuse partitioning 개념을 응용하여 이를 relay 시스템의 RS sub-cell에 적용하였다<sup>[5-6]</sup>. 즉, RS sub-cell을 내부와 외부로 나누어 내부에서는 최대한 재사용을 많이 하여 가용 자원을 늘린다. 따라서 셀 용량은 증가하게 된다. 그리고 RS sub-cell 외부에서는 재사용을 적용하지 않고 SINR 성능을 향상시켜 fairness 성능을 개

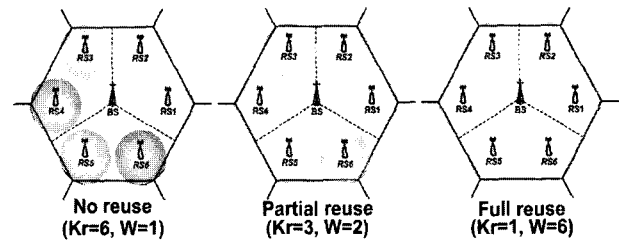


그림 1. RS간 재사용이 적용된 relay system

Fig. 1. Example of reusing the frequency resources among RSs.

선한다. 제시한 sub-cell reuse partitioning 기법의 적용으로 relay가 적용된 시스템의 throughput 증대와 함께 fairness 성능도 개선이 가능하다.

II장에서는 본 연구에서 사용한 시스템 모델과 throughput/fairness 성능 분석을 위한 스케줄링 및 부채널 할당 모델에 대해 기술한다. III장에서는 제안하는 sub-cell reuse partitioning의 구체적인 적용 방안에 대해 설명한다. IV장에서는 성능 도출을 위한 모의실험 환경을 기술한다. V장에서는 RS간 자원 재사용 시 재사용 정도에 따른 성능을 비교하고 sub-cell reuse partitioning 기법 적용에 따른 성능을 분석하였다. 마지막으로 VI장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

본 연구에서 셀 간 재사용은 모든 셀이 동일한 주파수 대역을 사용하는 셀 간 주파수 재사용 계수 1을 가정한다. 셀 내에서는 공간적으로 떨어져 배치된 RS들이 RS-MS link에 필요한 자원을 재사용하는 것으로 가정하였다. RS간 재사용 정도를 나타내는 지표로써 RS간 reuse factor,  $K_r$ 를 정의한다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 no, partial, full reuse, 세 가지  $K_r$  값을 제안하는 기법의 비교 대상으로 고려한다. Relay를 통한 데이터 전송 시, BS-RS 와 RS-MS link전송은 모두 한 frame 내에서 이루어진다고 가정한다. 셀 내 RS들의 자원 재사용 정도에 따라 변화하는 간섭은 다음과 같은 가정을 통해 반영한다. 우선 각 셀에 배치된 RS수와 위치는 동일하고 같은  $K_r$ 값이 적용되는 것으로 가정한다. 또한, 각 셀의 BS-MS, BS-RS, RS-MS link 전송에 할당되는 frame 내의 자원은 모든 셀에서 동일하다고 가정하였다. 이러한 가정 하에 RS-MS 하향링크의 수신 SINR은 현재 사용자가 연결된 RS와 동일한 자원을 사용하는 셀 내부와 이웃 셀의 RS들로부터 받는 간섭에 의해 결정된다.

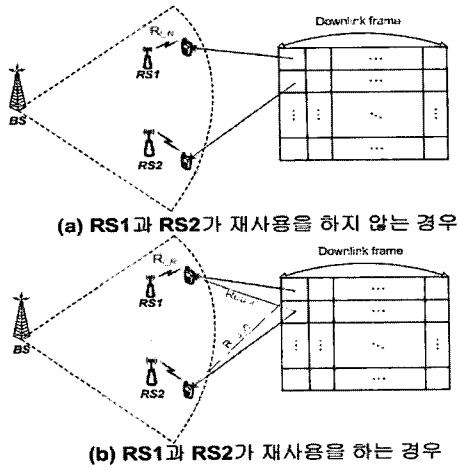


그림 2. 재사용 정도에 따른 가용 자원량의 증감, (W=2)  
Fig. 2. Increase/decrease of available resources according to the frequency reuse strategies.

재사용 기법에 따른 throughput 및 fairness 성능 도출을 위해 적용한 스케줄링 및 자원할당 모델에 대하여 기술하겠다. 스케줄링 및 자원할당 모델을 통해 다양한 fairness를 제공 가능하다. 이러한 자원할당 모델을 기술하기에 앞서 각 사용자 별 부채널 당 전송 가능한 bit 수를 나타내는  $U$ (effective transmitted bits per subchannel)를 정의한다. Single-hop 시스템에서  $U$ 는 사용자의 수신 SINR에 따른 MCS level에 의해 결정된다. 반면, 재사용 기법이 적용된 relay 시스템에서  $U$ 는 사용자에게 적용되는 MCS level과 함께 증가한 가용 자원 및 RS를 통해 2-hop 전송에 따라 결정된다.  $U$ 를 계산하기 위해 우선 셀 내 RS간 재사용에 따른 가용 자원량의 증감을 반영하는 weighting factor,  $w$ 를 결정한다.  $w$ 는 셀 내에서 동일 자원을 재사용하는 RS수와 같다. 즉,  $w$ 는 셀 내 RS수  $N$ 과 RS간 reuse factor  $K_r$ 에 따라 식 (1)과 같이 결정된다.

$$W = N/K_r \quad (1)$$

그림 2의 예는 셀 내 2개의 RS간 재사용 여부에 따른 가용 자원량의 증감을 나타낸다. RS에 속한 사용자에게 하나의 부채널을 할당할 경우, 재사용이 적용되지 않으면 (a)에서와 같이 사용자는 할당받은 부채널만을 사용한다. 반면에 (b)에서와 같이 재사용이 적용되면 사용자는 할당받은 부채널 이외에 자원을 공유하는 다른 RS에서 사용하는 부채널을 재사용할 수 있으므로 2배 많은 자원 할당이 가능하다. 하지만, 재사용을 하는 경우의 전송률  $R_R^{(i)}$ 는 간섭의 증가로 재사용 하지 않는 경우의 전송률  $R_N^{(i)}$ 에 비해 감소할 수 있다. 다음으로 사용

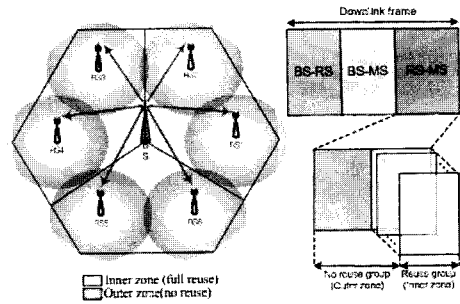


그림 3. RS sub-cell reuse partitioning 기법  
Fig. 3. RS sub-cell reuse partitioning scheme.

자  $i$ 가 RS를 통해 서비스를 받을 경우, 홉 간 자원 분배는 병목현상이 발생하지 않도록 해야 한다. 이를 위해 한 frame 동안 할당받은  $N^{(i)}$ 개의 부채널을 1st hop에서 전송 데이터양과 2nd hop에서 전송 데이터양이 동일하도록 식 (2)와 같이 각 홉에  $N_{1st}^{(i)}$ ,  $N_{2nd}^{(i)}$ 개로 나누어 할당한다. ( $N^{(i)} = N_{1st}^{(i)} + N_{2nd}^{(i)}$ ). 여기서  $R^{(i)}$ 는 사용자별 RS-MS link에서의 전송률,  $R_{relay}$ 는 BS-RS link에서의 전송률로 각 link에서 적용되는 MCS level에 따라 결정되는 부채널 당 전송 bit수이다.

$$N_{1st}^{(i)} \cdot R_{relay} = N_{2nd}^{(i)} \cdot W \cdot R^{(i)}$$

식 (2)로부터  $i$ 번째 사용자의  $U$ 값은 전송된 총 데이터양을 할당받은 부채널 수로 나누어 식 (3)과 같이 유도되고 그 단위는 bits/부채널이 된다.

$$U^{(i)} = \begin{cases} R^{(i)} & i \in BS \\ 1 / \left( \frac{1}{W \cdot R^{(i)}} + \frac{1}{R_{relay}} \right) & i \in RS \end{cases} \quad (3)$$

다음으로 사용자 간 fairness 성능 도출을 위해 다양한 스케줄링 알고리즘이 구현 가능한 부채널 할당모형을 제시한다. 본 논문에서는 802.16e 시스템의 diversity 부채널 mode를 가정한다. 그러므로 부채널 할당은 frame 내 어떤 부채널을 할당하는지와 관계없이 전체 부채널 중 임의의 사용자에게 할당 가능한 부채널 수를 결정하는 것으로 스케줄링을 수행한다. 사용자  $i$ 에게 한 frame동안 할당되는 부채널 수  $N^{(i)}$ 는 사용자별 성능  $U^{(i)}$ 와 fairness control parameter  $\rho$ 에 따라 식 (4)와 같이 결정된다<sup>[4]</sup>.

$$N^{(i)} = \tau \cdot (U^{(i)})^{-\rho} \quad (4)$$

위 식에서 fairness 성능은  $\rho$ 을 -1에서 1사이의 값으로 변화시킴으로써 조절 가능하며, 이에 따라 다양한 스케줄링 알고리즘의 적용이 가능하다.  $\rho$ 를 0으로 설정할

경우, 사용자 별 성능  $U^{(i)}$ 와 관계없이 모든 사용자에게 동일한 수의 부채널이 할당되는 even scheduling이 구현된다. 한편,  $\rho$ 가 1인 경우에는  $U^{(i)}$ 에 반비례하여 부채널이 할당되므로, 모든 사용자가 한 frame동안 동일한 bits을 전송하게 된다. 즉, 모든 사용자에게 동일한 user throughput이 제공되는 fair scheduling이 구현된다. 반면,  $\rho$ 가 -1일 경우에는  $U^{(i)}$ 에 비례하여 부채널이 할당된다. 따라서 채널 상태가 좋은 사용자에게 더 많은 자원이 할당되는 C/I based scheduling이 구현된다[4]. 식 (4)에서  $\tau$ 값은 모든 사용자들의  $U^{(i)}$ 값들과  $\rho$ 에 따라 식(5)과 같이 정해진다. 여기서  $N_{Frame}$ 은 한 frame내 총 부채널 수를 나타낸다.

$$\tau = \frac{N_{Frame}}{\sum_{i=1}^M (U^{(i)})^{-\rho}} \quad (\because N_{Frame} = \sum_{i=1}^M N^{(i)}) \quad (5)$$

### III. sub-cell reuse partitioning 기법

본 논문에서 제안하는 sub-cell reuse partitioning 기법은 RS sub-cell을 inner zone과 outer zone으로 나누어 각 zone에 서로 다른 RS간 reuse factor, Kr을 적용하는 기법이다. Inner zone에 위치한 사용자들은 재사용 기법을 적용해서 간섭이 증가하여도 여전히 높은 MCS level이 적용 가능한 수신 SINR 성능이 유지되도록 한다. 따라서 full reuse를 적용해 사용 가능한 전체 가용 자원량을 증가시키는 것이 효과적이다. 반면, outer zone에 위치한 사용자들은 재사용 정도가 증가함에 따라 간섭의 영향으로 SINR 성능이 크게 저하된다. 그러므로 inner zone과 반대로 no reuse를 적용하여 SINR 성능을 높여준다. 이 경우, 사용자가 inner zone과 outer zone중 어디에 속하는지에 대해 결정하는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 사용자 별로 no reuse와 full reuse중 어떤 reuse factor를 적용할 지를 결정하는 decision metric으로 spectral efficiency를 사용한다. Spectral efficiency는 부채널 당 실제로 전송 가능한 bit 수  $U^{(i)}$ 를 symbol duration,  $T_{symbol}$ 과 부채널 bandwidth,  $W_{CH}$ 로 나누어 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$SE^{(i)} = U^{(i)} / T_{symbol} / W_{CH} \quad (bps/Hz) \quad (6)$$

BS는 RS에 속한 사용자들의 reuse factor 별 SINR 성능과 weighting factor 등의 정보를 통해 no reuse와 full reuse 적용에 따른 각각의 spectral efficiency  $SE_N^{(i)}$

와  $SE_F^{(i)}$ 을 계산한다. 그리고 이 두 값을 비교해 높은 spectral efficiency를 가지는 reuse factor를 선택하여 사용자에게 적용한다. 예를 들어, 어떤 사용자의  $SE_N^{(i)}$ 이  $SE_F^{(i)}$ 보다 높을 경우, BS는 이 사용자가 outer zone에 위치한다고 판단하여 no reuse를 적용한다. 반대의 경우에는 inner zone 사용자로 인식해 full reuse를 적용한다. Spectral efficiency는 재사용 정도에 따라 변화하는 SINR 성능과 가용 자원량의 증감이 반영되어 실제 사용자가 가지는 단위 자원 당 전송률(bps/Hz)을 나타낸다. 그러므로 reuse partitioning을 위한 효과적인 decision metric으로 사용될 수 있다. 제안하는 기법의 적용을 위해서 BS는 사용자 별로 no reuse와 full reuse가 적용된 경우 각각의 수신 SINR 성능 정보를 알 수 있다고 가정한다.

## IV. 모의실험 구성 및 성능 분석 지표

### 1. 모의실험 구성

본 논문에서는 macro hexagonal cell 환경에서 하향 링크 성능을 분석하였다. BS 배치로 2-tier, 19셀을 고려하였으며, 송신 전력은 43dBm, 셀 반경은 1km로 설정하였다. 한 셀은 3개의 섹터로 구성하는 것을 고려하였다. RS는 각 sector당 2개씩 총 6개를 반지름이 셀 반경의 2/3인 동심원 상에 규칙적으로 배치하였다. RS 전송 전력은 BS 전송 전력의 절반인 40dBm으로 설정하였다. 단말 분포는 중심 셀에서만 50명의 사용자를 uniform하게 발생시켰다. 셀 내에 uniform하게 발생된 사용자는 중심 셀과 이웃 셀의 모든 BS와 RS들로부터 수신되는 preamble SINR값을 측정해 가장 높은 값을 가지는 BS 또는 RS에 연결된다.

모의실험에서 사용된 pathloss model은 아래 식 (7)과 같이 정의된다<sup>[9]</sup>. R은 송신기와 수신기 사이의 거리(km)를 나타낸다.

$$L = 129.4 + 37.6 \log_{10}(R) \quad (7)$$

Shadowing은 평균 0이고 표준편차가  $\sigma$ dB인 대수 정규 분포로 모델링 하였다. Shadowing은 기지국 주변과 단말기 주변의 지형지물에 의한 shadowing으로 구분 가능하다. 이 두 값들은 식 (8)과 같이 서로 상관관계를 갖는다.

$$r = a\zeta_{BS} + b\zeta_{MS}, \quad a = b = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

Fast fading과 frequency selective fading은 ITU에서 제안한 모델을 활용하였다<sup>[8~9]</sup>. 모의실험에 적용된 안테나 패턴으로 BS송신 안테나는 3 sectorization을 위한 directional 안테나(14dBi)를 가정하였으며, RS송신 안테나는 Omni안테나를 가정하였다. 수신 안테나의 경우 MS에는 Omni안테나를 적용하였다. RS가 BS로부터 수신할 때는 high gain directional antenna를 사용하여 BS-RS link는 항상 가장 높은 MCS level(64QAM, 5/6)의 required SINR 이상이 유지된다고 가정하였다. 하향링크 전송률 제어는 BS가 RS 또는 MS를 통해 보고 받은 CQI정보를 이용해 MCS(Modulation and Coding Scheme) level을 적용한다<sup>[10]</sup>. 이 때, BS는 셀 내 모든 MS의 채널상태 정보를 알 수 있다고 가정한다. 그 외의 모의실험에 사용한 기본 시스템 파라미터는 휴대 인터넷(IEEE 802.16e/WiBro) 시스템의 파라미터를 적용하였다.

2. 성능 분석 지표

본 절에서는 시스템의 throughput과 fairness 성능 평가를 위한 성능 분석 지표에 대해 기술한다. 먼저 cell throughput과 fairness 성능 도출을 위해 user throughput  $r^{(i)}$ 를 계산한다.  $r^{(i)}$ 는 사용자가 한 frame 동안 전송한 데이터양을 frame 시간으로 나누어 식(9)와 같이 계산 가능하다.

$$r^{(i)} = \frac{N^{(i)} \times U^{(i)}}{T_{Frame}} = \frac{(U^{(i)})^{1-\rho}}{\frac{T_{Frame}}{N_{Frame}} \cdot \sum_{i=1}^M (U^{(i)})^{-\rho}} \text{ (bps)} \tag{9}$$

Cell throughput은 user throughput의 총합으로 식(10)과 같이 도출된다.

$$C = \sum_{i=1}^M r^{(i)} \text{ (M: 셀 내 사용자 수)} \tag{10}$$

Fairness의 정량적 성능지표로써, 다음 세 가지 성능지표를 사용한다<sup>[7]</sup>. 첫 번째 fairness 성능지표  $F_{mean/STD}$ 는 user throughput의 평균  $u_r$ 과 표준편차  $\sigma_r$ 에 따라 식 (11)과 같이 정의한다.

$$F_{mean/STD} \equiv 10\log\left(\frac{u_r}{\sigma_r}\right) \tag{11}$$

$F_{mean/STD}$ 는  $\sigma_r$ 이 작아질수록 증가하고  $\rho = 1$ 일 때와

같이 모든 사용자에게 동일한 user throughput을 제공할 경우 무한대 값을 가지게 된다. 한편, 동일한 표준편차를 가질 경우라도 평균값이 커질수록 높은 fairness 성능을 나타낸다. 두 번째 fairness 성능지표,  $F_{min/max}$ 는 user throughput의 최대값과 최소값의 비로 식 (12)와 같이 정의한다.

$$F_{min/max} \equiv 10\log\left(\frac{h_{min}(r, \chi)}{h_{max}(r, \chi)}\right) \tag{12}$$

$h_{min}(r, \chi)$ 는  $\Pr(x \leq \tilde{x}) > \chi$ 을 만족하는  $\tilde{x}$ 중 최소값을 나타내며,  $h_{max}(r, \chi)$ 는  $\Pr(x \geq \tilde{x}) > \chi$ 을 만족하는  $\tilde{x}$ 중 최대값을 나타낸다. 따라서  $h_{min}(r, \chi)$ 와  $h_{max}(r, \chi)$ 는  $x$ 의  $\chi\%$ 값과  $(1-\chi)\%$ 값을 나타낸다. 본 논문에서는  $\chi$ 값을 5%로 설정했다. 세 번째 fairness 성능지표인  $F_{min/STD}$ 는 user throughput의 표준편차와 최소값에 따라 식(13)과 같이 정의한다.

$$F_{min/STD} \equiv 10\log\left(\frac{h_{min}(r, \chi)}{\sigma_r}\right) \tag{13}$$

V. 모의실험 결과

성능 도출을 위해 앞서 기술한 성능분석 방법과 모의 실험 환경을 적용하여 모의실험을 수행하였다. 모의실험 결과는 RS간 재사용 정도에 따른 throughput과 fairness의 정량적 성능 분석과 제안하는 sub-cell reuse partitioning 기법 적용에 따른 throughput과 fairness 성능 분석으로 나누어진다.

첫 번째로 셀 내 RS간 RS-MS link전송을 위해 자원을 재사용할 경우 재사용 정도가 시스템의 성능에 미치는 영향을 분석한다. 앞서 기술한 스케줄링 모델을 적용하여 no, partial, full reuse가 적용된 경우에 fairness control parameter  $\rho$ 값의 변화에 따른 cell throughput과 fairness 성능의 변화를 도출하였다. 또한, 도출 결과를 throughput과 fairness간 trade-off 곡선으로 도시하여 동일한 fairness 성능이 제공되는 환경에서 cell throughput 성능을 비교하였다. 그림 4는 fairness 성능 지표로써  $F_{mean/STD}$ 를 사용하였을 경우 재사용 정도에 따른 throughput과 fairness간 trade-off 특성 곡선을 나타낸다. 다양한 Kr값을 가지는 relay 시스템의 trade-off 곡선들이 single-hop 시스템의 trade-off 곡선에 비해 우 상향에 위치하는 것을 볼 수 있다. 이를 통해서 relay 시스템이 single-hop 시스템에 비해

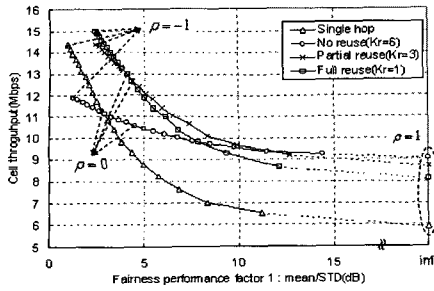


그림 4. 셀 부하가 1인 경우의 N에 따른 C/I 분포  
Fig. 4. C/I distribution according to N in case of cell loading factor of 1.

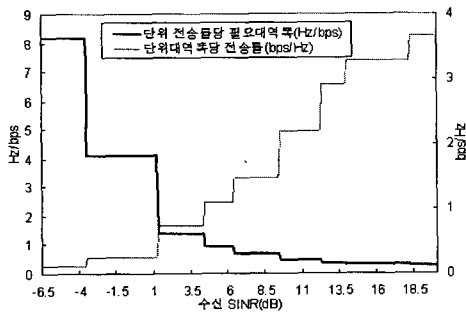


그림 5. SINR성능에 따른 bps/Hz와 Hz/bps의 성능 비교  
Fig. 5. Comparison of SINR performances for bps/Hz vs. Hz/bps.

throughput과 fairness 성능이 개선됨을 알 수 있다. 단,  $F_{mean/STD}$ 가 약 2.5dB이하일 경우, no reuse가 적용된 relay시스템보다 single-hop 시스템이 높은 cell throughput 성능을 보였다. 그 원인은 single-hop 시스템은 스케줄링에서 제공하는 fairness 개선 정도가 작을 경우, 전체 자원 중 많은 부분이 SINR 성능이 높은 사용자에게 할당되기 때문이다. 이 경우 재사용 없이 자원을 2-hop에 나누어 할당하는 no reuse relay 시스템에 비해 throughput 성능이 높아지게 된다. 또한 재사용 정도에 따른 throughput 성능도 스케줄링을 통한 fairness 개선 정도에 따라 달라진다. 스케줄링을 통해 fairness가 개선될수록, 즉  $\rho$ 값이 1에 가까워질수록 no reuse의 성능이 우수해진다. 반면  $\rho$ 가 -1로 작아질수록 full reuse의 성능이 우수해지고 그 중간에서 partial reuse의 성능이 우수한 구간이 나타난다. 이와 같이 RS 간 재사용 정도에 따라 throughput과 fairness간 trade-off 특성이 달라지는 이유는 그림 5을 통해 설명될 수 있다. 그림 5의 SINR에 따른 단위 전송률 당 필요 대역폭(Hz/bps)곡선에서 볼 수 있듯이 사용자 간 fairness를 완벽히 보장해 주기 위해서는 낮은 SINR 성

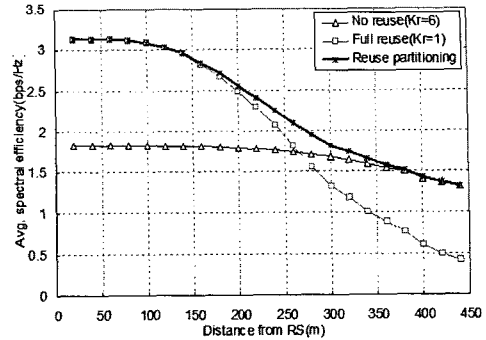


그림 6. RS로부터 거리에 따른 Avg. spectral efficiency  
Fig. 6. Avg. spectral efficiency according to the distance from a RS.

능의 사용자에게 많은 양의 부채널이 할당되어야 한다. 이를 통해 fairness를 개선시켜주는 스케줄링이 적용될 경우 간섭 증가로 인해 SINR 성능 저하가 발생한다. 이를 통해서 full reuse의 cell throughput이 감소하는 이유를 간접적으로 설명 가능하다. 다음으로 sub-cell reuse partitioning 기법 적용에 따른 성능 결과를 분석한다. 먼저 그림 6에서는 sub-cell reuse partitioning 기법 적용에 따른 효과를 RS로부터 거리에 따른 spectral efficiency를 통해 알아보았다. 그림 6에서 sub-cell reuse partitioning 기법의 평균 spectral efficiency 곡선을 통해 inner zone에서는 full reuse가 적용되고 약 200m부분 이후의 outer zone에서는 no reuse가 적용되는 reuse partitioning 효과를 관찰할 수 있다. 즉, sub-cell reuse partitioning 기법에 의해 sub-cell내 위치에 따라 no / full reuse중 spectral efficiency가 상대적으로 높은 reuse factor가 적용된다. 그림 7에서는 sub-cell reuse partitioning 기법 적용에 따른 throughput과 fairness 성능을 분석한다. 그림 7은 sub-cell reuse partitioning 기법 적용 시, throughput을 세 가지 fairness 성능 지표  $F_{mean/STD}$ ,  $F_{min/max}$ ,  $F_{min/STD}$ 의 함수로 도시하여 RS간 재사용패턴 Kr에 따른 성과 비교한 결과이다. 먼저,  $F_{mean/STD}$ 를 fairness 성능 지표로 사용한 경우는 sub-cell reuse partitioning의 trade-off 특성 곡선이 Kr이 다른 세 가지 RS간 재사용 기법의 trade-off특성 곡선들보다 대체로 우 상향에 위치한다. 이를 통해 sub-cell reuse partitioning 적용으로 throughput과 fairness 성능이 개선되었음을 확인할 수 있다. 단,  $F_{mean/STD}$ 가 약 3.5dB 이하인 일부 구간에서만 partial과 full reuse의 성능이 더 우수하였다. 이 구간에서는 스케줄링을 통한 fairness 개선 정도가 작으므로, 대부분의 부채널 자원이 채널 상태가 좋은 사용자들에

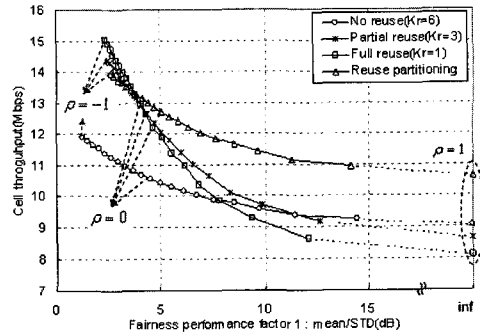
게 할당되어 RS간 재사용 기법의 성능이 높게 나타난 것이다. 도출 결과를 통해 fairness를 개선해 주는 방향으로 스케줄링이 이루어질 경우 sub-cell reuse partitioning 기법 적용에 따른 성능이 적용하지 않았을 경우에 비해 항상 정도가 큼을 알 수 있다. 특히  $F_{mean/STD}$ 가 10dB이상으로 개선될 때 sub-cell reuse partitioning 기법 적용에 따른 cell throughput은 다른 RS간 재사용 기법들에 비해 최소 1.8Mbps 이상 향상되었다. 그리고  $\rho$ 가 1이 적용된 경우에는 no reuse 대비 17.6%, full reuse 대비 31.7%의 cell throughput 증가를 보였다. 반면, 스케줄링에서 fairness 성능 개선 정도를 낮출 경우 sub-cell reuse partitioning과 RS간 재사용 기법의 성능 격차는 점점 줄어든다. 그림 7의 (b)와 (c)에서 다른 두 가지 fairness 성능 지표로  $F_{min/max}$ 와  $F_{min/STD}$ 을 적용했을 경우에도  $F_{mean/STD}$ 을 적용한 결과와 유사한 경향을 보였다. 두 경우에서도 역시, sub-cell reuse partitioning 기법 적용을 통해 throughput과 fairness 성능이 개선됨을 확인할 수 있었다.

VI. 결 론

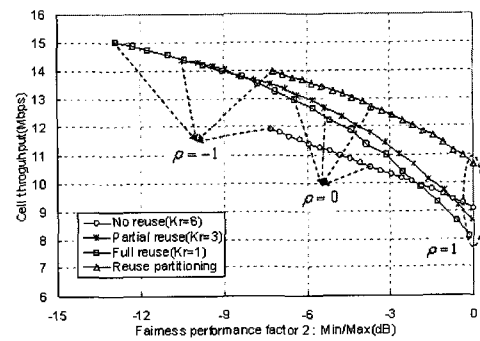
본 논문에서는 relay가 적용된 OFDMA 시스템에서 RS간 무선자원을 효과적으로 재사용하기 위한 방법으로 sub-cell reuse partitioning 기법을 제안하였다. 모의 실험을 통해 다양한 fairness를 제공하는 스케줄링 및 partitioning 기법 적용에 따른 cell throughput 및 fairness 성능을 도출하여 비교, 분석하였다.

셀 내 RS간 재사용 정도에 따른 성능은 fairness를 개선하는 방향으로 스케줄링이 이루어질 경우 no reuse가 가장 높은 cell throughput 성능을 보였다. 반대로 스케줄링에서 fairness 개선 정도가 감소할수록 full reuse의 cell throughput 성능이 우수하였다. 즉, 스케줄링에서 제공하는 fairness의 개선 정도에 따라 높은 cell throughput을 나타내는 재사용 정도가 달라짐을 확인하였다.

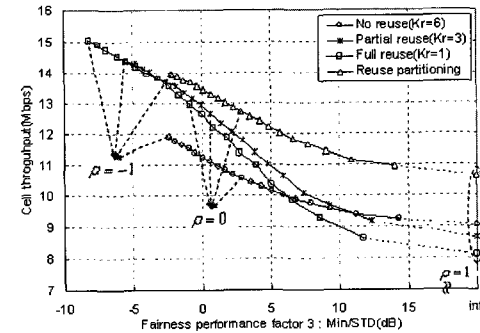
Cell throughput 성능 향상과 함께 사용자 간 fairness 성능을 개선하기 위해서 sub-cell reuse partitioning 기법을 제안하고 그 성능 결과를 제시하였다. 도출한 sub-cell reuse partitioning 기법 적용에 따른 throughput과 fairness 성능 결과로부터 다양한 fairness 성능을 제공하는 스케줄링에 대해 sub-cell reuse partitioning 기법이 RS간 재사용 기법에 비해 향상된 throughput과 fairness 성능을 나타냄을 확인하였



(a) Throughput과  $F_{mean/STD}$ 간 trade-off 특성



(b) Throughput과  $F_{min/max}$ 간 trade-off 특성



(c) Throughput과  $F_{min/STD}$ 간 trade-off 특성

그림 7. sub-cell reuse partitioning의 성능 결과  
Fig. 7. Performances of sub-cell reuse partitioning scheme.

다. 특히, fairness 성능을 개선하는 방향으로 스케줄링이 이루어지는 경우 sub-cell reuse partitioning 기법 적용에 따른 성능이 적용하지 않은 경우에 비해 더 큰 증가를 보였다.

참 고 문 헌

[1] V. Sreng, H. Yanikomeroğlu and D. Falconer, "Coverage enhancement through two-hop relaying in cellular radio systems", in Proc.

- IEEE WCNC, vol.2, Mar. 2002.
- [2] H. Hu, H. Yanikomeroglu and S. Periyalwar, "Range extension without capacity penalty in cellular networks with digital fixed relays," in Proc. IEEE Globecom 2004, vol. 5, Dec. 2004.
- [3] Byoung-Jo, N.K.Shankar, A. Saha, "Simple Infrastructure Multihop Relay Wireless System", IEEE 802.16mmr-05/034\_r0
- [4] J. Cho, Z. J. Haas, "On the throughput enhancement of the downstream channel in cellular radio networks through multihop relaying", IEEE journal on selected areas in communications, vol. 22, no.7, Sept. 2004.
- [5] J. Heo, K. Chang, "A novel transmit power allocation algorithm combined with dynamic channel allocation in reuse partitioning-based OFDMA/FDD system," in Proc. IEEE ICC 2006, June. 2006.
- [6] T. Liu, M. Rong, P.Li, Dan Yu, "Radio resource allocation in two-hop cellular relaying network," in Proc. IEEE VTC 2006 spring, May 2006<sup>[7]</sup> J. Cho, D. Hong, "Tradeoff analysis of throughput and fairness on CDMA packet downlink with location-dependent QoS", IEEE Trans. Veh. Technol., vol.54, pp.259-271, Jan. 2005.
- [8] 3GPP2/TSG-C.R1002, "1xEV-DV Evaluation methodology(V14)", June 2003.
- [9] 3GPP, technical Specification Group Radio Access Network; Feasibility Study for Orthogonal frequency Division Multiplexing for UTRAN enhancement(Release 6), TR 25.892 v6.0.0, 2004.
- [10] 조용수 외, "휴대인터넷[Wibro] 표준기술", 한국정보통신기술협회, 2005, pp166-168

---

 저 자 소 개
 

---



심민규(정회원)  
 2005년 서강대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2007년 서강대학교 전자공학과  
 석사 졸업  
 2007년~현재 (주) 삼성전자  
 정보통신 총괄 연구원

<주관심분야 : OFDMA 시스템, Relay 시스템>



최호영(학생회원)  
 1996년 서강대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1998년 서강대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 1998년~2003년 (주) 삼성전자  
 정보통신 총괄  
 선임연구원

2003년~현재 서강대학교 전자공학과 박사과정  
 <주관심분야 : CDMA, OFDMA 시스템, Mobile  
 Multi-hop Relay 시스템에서의 자원관리 기술,  
 데이터 통신, 무선자원제어기법>



홍대형(정회원)  
 1977년 서울대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1982년 University of New York  
 at Stony Brook,  
 전자공학과 석사  
 1986년 University of New York  
 at Stony Brook,  
 전자공학과 박사

1977년~1981년 공군 사관학교 교수부

1986년~1992년 (미) Motorola 연구소, Senior  
 Staff Research Engineer.

1992년~현재 서강대학교 전자공학과 정교수  
 <주관심분야 : 무선통신 시스템, 무선망 설계 및  
 성능 분석, 무선망 운용 및 제어기술>