

# 고정 릴레이 기반 셀룰러 시스템에서 QoS를 보장하기 위한 효율적인 자원 할당

## Efficient Resource Allocation to Support QoS in a Fixed Relay Based Cellular System

김 근 배 · 신 희 영\* · 박 상 규

Geun Bae Kim · Hee Young Shin\* · Sang Kyu Park

### 요 약

릴레이 기반 셀룰러 시스템은 사용자의 요구를 충족시키는 서비스를 제공하기 위해 도입되었다. 릴레이 중계기를 사용하는 주된 요인은 서비스 영역 확장 및 요구 서비스를 만족시킬 수 있는 시스템 처리율 증가이다. 본 논문에서는 직교 주파수 분할 다중 접속(OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기술이 적용된 고정 릴레이(fixed relay) 기반 셀룰러 시스템에서 공평성을 고려한 효율적인 부반송파 할당 방안을 제시한다. 릴레이 중계기에 적합한 효율적인 자원 할당 방법을 통해서 사용자의 QoS를 보장할 수 있도록 하며, outage 확률 및 사용자 당 평균 데이터 처리율(throughput)의 관점에서 기존의 비례 공정 알고리즘(proportional fairness algorithm)과의 성능 비교를 통해 제시된 알고리즘의 유용성을 관찰한다.

### Abstract

The relay based cellular system has been introduced to provide the service to satisfy the user requirement. The main reasons of using relay station are to expand a service coverage and to increase a system throughput with satisfying the service requirement level. This paper proposes a new resource allocation algorithm which supports the users' throughput fairness and service coverage in the Fixed Relay Based Cellular system with OFDMA. The performance of proposed algorithm is compared with the performances of proportional fairness(PF) algorithm. The simulation result shows that the proposed algorithm increases the number of active users in the service coverage while paying small amount of throughput loss.

Key words : OFDMA, Relay Station, Outage Probability, Throughput

### I. 서 론

주파수 선택적 채널 환경에서의 다중 사용자 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 시스템에서는 사용자들이 각각 독립적인 페이딩을 겪게 된다. 즉, 특정 부반송파에 대해서 모든 사용자가 동시에 깊은 페이딩을 겪게 될 확률은 매우 낮다.

따라서 한 사용자에서 특정 부반송파가 깊은 페이딩을 겪게 되더라도 다른 사용자에 대해서는 그 부반송파가 깊은 페이딩을 겪지 않는다. 결과적으로 좋은 채널 환경에 있는 사용자가 해당 부반송파를 이용하여 데이터를 전송할 수 있게 되어 다중 사용자 다이버시티 효과를 얻을 수 있고, 단일 사용자에 비해 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있다. 따라서 최

한양대학교 전자통신컴퓨터공학부(Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University)

\*삼성전자 무선사업부(Mobile Communication Division, Samsung Electronics)

· 논문 번호 : 20100625-081

· 교신저자 : 박상규(e-mail : skpark@hanyang.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 10월 13일

근 이러한 다중 사용자 OFDMA 시스템에서 전반적인 채널의 상태를 고려하여 각 사용자에게 채널상태와 전송 속도에 따라 적응적으로 자원을 할당하는 알고리즘에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다<sup>[1]-[3]</sup>. 특히 참고문헌 [1]과 [2]에서 제안된 PF(Proportional Fairness) 알고리즘은 매 할당 시간마다 가장 좋은 채널 상태를 갖는 사용자에게 자원을 할당하는 Max CIR(Carrier to Interference Ratio) 알고리즘의 단점인 사용자간 공평성의 문제점을 개선할 수 있는 할당 기법이며, 참고문헌 [3]에서 제안된 알고리즘은 최대 전송 전력이 제한된 시스템에서 사용자의 QoS(Quality of service)를 만족하면서 스펙트럼 효율을 최대화 하여 자원을 할당할 수 있는 기법이다.

최근 이동 통신 시스템에 주어진 서비스 수준을 만족시키면서 음영 지역의 해소를 통한 기지국(Base Station: BS)의 서비스 커버리지(coverage) 확대와 데이터 처리율(throughput) 향상을 위하여 릴레이 중계기(Relay Station: RS)가 도입되고 있다. RS는 기존의 아날로그 리피터(analog repeater)의 물리 신호 증폭뿐만 아니라 복조 및 변조를 통해 재송신하는 적극적인 방법을 사용하여 셀의 가장자리 부분이나 셀 내의 전파 홀에까지 통신 영역을 확장시킨다<sup>[4]</sup>. 이러한 RS는 중계 방식에 따라 고정형(FRS: Fixed Relay Station), 유목형(NRS: Nomadic Relay Station), 이동형(MRS: Mobile Relay Station)으로 나누어지며, 기존의 기지국 주변에 각각 6개의 중계국을 설치하여 시스템의 데이터 처리율을 향상시키는 방식을 고정 릴레이 셀룰러 망(Fixed Relay Cellular Network)이라 한다<sup>[5],[6]</sup>.

본 논문에서는 이러한 고정 릴레이 및 OFDMA 기반 IEEE 802.16j 셀룰러 시스템의 다운 링크에서 사용자에게 공평성을 고려한 효율적인 부반송파 자원의 할당 방안을 제시하며, 채널 상태에 따른 부반송파의 공평한 할당을 통해서 채널 상태가 좋지 않은 사용자에게도 할당 기회를 부여하여 자원 분배의 불균형을 극복할 수 있도록 한다. 또한, 본 논문에서 제시된 알고리즘과 보편적으로 많은 시스템에서 고려되는 기존 비례공정 알고리즘(proportional fairness algorithm)을 outage 확률과 사용자 당 평균 데이터 처리율(throughput) 관점에서 성능을 비교하고 분석하여 제시된 알고리즘의 유용성을 관찰한다. 논문의

구성은 다음과 같다. 2장에서 이 논문에서 사용되는 릴레이 기반 셀룰러 시스템 모델과 기존의 스케줄링 알고리즘을 설명하고, 3장에서 제안된 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 모의실험을 통해서 성능 분석을 수행하며, 5장에서 결론을 논하도록 한다.

## II. 시스템 모델 및 기존 자원할당 알고리즘

### 2.1 시스템 모델

시스템의 처리율 보장과 셀 외곽 지역과 음영 지역에 위치한 사용자의 QoS를 보장하는 것은 차세대 통신에서 매우 중요한 이슈이다. 단순히 BS(Base Station)의 증설만으로는 비용적인 측면에서 손실이 큰 방법이다. 이러한 문제를 극복하기 위해서 중계기를 통한 멀티홉 시스템이 제안되었고, IEEE 802.16j를 통해 활발한 연구가 진행 중이다<sup>[7]</sup>.

이 논문에서 사용한 시스템 모델 역시 셀룰러 시스템에서의 중계기를 도입한 모델로 가정하며, 이동성이 없는 고정형 중계기를 기본으로 한다. 셀 분할은 셀룰러 시스템의 일반적인 경우와 마찬가지로 6각 셀 구조의 19셀 분할 기법을 기본으로 하고, 각 셀은 단 반경 866 m, 장반경 1,000 m의 크기로 한다<sup>[8]</sup>. RS 위치는 BS와 500 m 떨어진 지점으로 하며, 60° 간격으로 섹터 당 2개씩 위치하게 된다. 본 논문에서는 이러한 고정 릴레이 기반의 셀룰러 모델을 바탕으로 OFDMA의 접속 방식을 채택하게 된다. OFDMA 접속 방식은 전체 대역폭을 수백에서 수천 개의 직교 부반송파로 나누고, 이들을 각 사용자에게 중첩되지 않게 할당하는 방법이다. 시간-주파수 자원의 2차원 할당 구조를 이용하게 되면 각 사용자의 부반송파는 데이터를 할당받은 후 하나의 OFDMA 심볼을 통해 동시에 전송된다. 이 때, OFDMA 시스템에서 부반송파는 단일 사용자에게만 할당되므로 각 사용자의 부반송파 인덱스 집합은 서로 동일한 부반송파를 포함하지 않는다. 또한, 1,024개의 부반송파를 사용하는 OFDM을 기준으로 부반송파 집합을 동일한 개수의 부반송파를 갖는 3개의 부반송파 집합으로 분할하며, 일정한 패턴으로 셀 내의 BS와 RS의 섹터 간 간섭을 최소화하여 서비스 영역 간에 부반송파 집합을 분배하도록 한다. 그림 1은 본 논문에서 사용되는 6각 19셀 2tier 구조의 셀 분할 형태

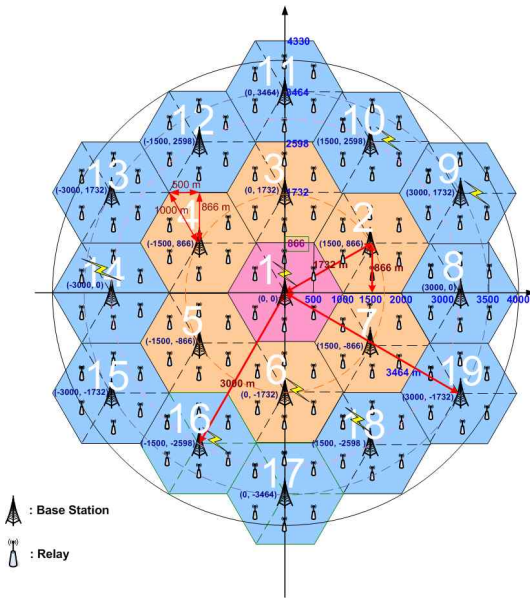


그림 1. 고정 릴레이 시스템의 6각 19셀 2tier 구조 및 릴레이 배치  
 Fig. 1. Relay arrangement and the structure with two-tier 19 cells in the fixed relay based cellular system.

와 릴레이의 간격 및 배치를 보여주는 한 예이다.

### 2-2 기존의 자원할당 알고리즘

다중 접속 무선 채널 환경에서 각 사용자들의 채널은 비동기적으로 변한다. 다중 사용자 다양성은 사용자들의 이러한 채널 특성을 잘 이용함으로써 사용자들의 다양성 이득을 얻을 수 있다는 것이다. 그러나 실제 통신 환경에서는 다중 사용자 다양성 이득을 이용하여 시스템의 데이터 처리율 이득을 높이는 것도 중요하지만 사용자들의 공평성을 고려해서 부반송파를 할당하는 것 또한 중요하다.

시스템 데이터 처리율은 시스템에서 관찰된 평균 데이터 전송률을 말하고, 공평성(fairness)이라 함은 각 사용자들의 데이터 전송률이 얼마나 공정한가를 나타내는 지표이다. 일반적으로 다양성 이득을 이용할 때 시스템의 데이터 처리율을 높이기 위해 부반송파를 할당하다 보면 사용자들의 공평성이 떨어질 수가 있고, 반대로 공평성에 맞추어 부반송파를 할당하다 보면 시스템 처리율이 조금 떨어지는 경향이 있다. 그러므로 이 두 가지를 고려하여 시스템의 요

구 조건에 맞게 사용자에게 자원을 할당해 주어야 한다. 즉, 전체 공유 자원에 대해 효율적이고 공정한 관리가 필요한데, 이것이 이 장에서 다루고자 하는 사용자들의 공평성에 초점을 맞추는 자원 할당 즉, 사용자 QoS를 고려한 자원 할당 방법의 핵심이다.

부반송파의 할당은 사용자들이 서로 공유하는 자원을 어떤 사용자에게, 어떤 방식으로 분배하여 할당할 것인가를 결정하는 과정이다. 효율적인 할당 방법은 시스템의 데이터 처리율과 사용자 공평성을 높일 수 있는 효과적인 방법 중 하나이다. 적절한 할당 방법을 사용함으로써 시스템이 요구하는 요구 조건을 만족시킬 수 있다.

#### 2-2-1 Max C/I(Maximum C/I)

Max CIR 기법은 매 스케줄링 시간에서 채널 상태를 보고 가장 좋은 채널을 가진 사용자에게 채널을 할당하는 방식이다<sup>[9]</sup>. 이 경우, 전체 데이터 처리율을 높일 수 있지만, 오랜 시간 동안 채널 상태가 좋은 사용자가 있고 그렇지 못한 사용자가 있다면, 채널이 좋지 못한 사용자의 경우 서비스 받을 확률이 떨어지므로 공평성은 다소 떨어지는 단점이 있다. 시간  $t$ 에서  $n$ 번째 부반송파를 할당 받게 될 사용자 터미널을 결정하는 간단한 방법으로 순간 성능이 가장 우수한 사용자를 선택하는 것을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$i_n^* = \arg \max_i R_{i,n}(t) \tag{1}$$

여기서  $R_{i,n}(t)$ 은  $i$ 번째 사용자의  $n$ 번째 부반송파에서의 순간 데이터 전송률이다. 이와 같은 서비스 방식은 시스템 데이터 처리율의 최대화를 얻을 수 있지만, 사용자들 간의 공평성은 고려하지 않게 되어, 평균적으로 채널 상황이 좋지 못한 사용자들은 데이터 처리율에서 극심한 기아(starvation) 현상을 겪게 된다.

#### 2-2-2 PF(Proportional Fairness)

PF 알고리즘은 매 할당 시간마다 가장 좋은 채널 상태를 갖는 사용자에게 자원을 할당하는 Max CIR 알고리즘의 단점인 사용자간 공평성의 문제점을 개선할 수 있는 할당 기법이다. 이 알고리즘은 TDD-

OFDMA에서 각각의 사용자에게 부반송파를 할당할 때 쉽게 적용 가능하며,  $n$ 번째 부반송파에 할당되는 사용자는 다음과 같다<sup>[1],[2]</sup>.

$$i_n^* = \arg \max_i \frac{R_{i,n}(t)}{T_{i,n}(t)} \quad (2)$$

여기서  $R_{i,n}(t)$ 는  $i$ 번째 사용자의  $n$ 번째 부반송파에서의 순간 데이터 전송률이고,  $T_{i,n}(t)$ 는 평균 데이터 처리율이다. PF 알고리즘은 사용자의 평균적인 채널 환경에 비해 순간적인 전파 특성이 향상되었을 때 부반송파 할당의 기회를 부여하는 알고리즘으로서, 페이딩 채널의 시간적인 변이를 이용하는 알고리즘이다.

### 2-2-3 재할당 알고리즘

Zhang은 사용자의 QoS를 만족하면서 스펙트럼 효율을 최대화 하여 자원을 할당할 수 있는 알고리즘을 제안하였다<sup>[3]</sup>. Zhang의 부반송파 할당 방법은 우선 시스템이 가장 많은 데이터를 전송할 수 있도록 가장 많은 비트를 전송할 수 있는 부반송파들을 가진 사용자에게 할당한다. 다음 단계에서 각 사용자마다 서비스를 이용하기 위해서 요구하는 최소 요구 데이터 율을 만족시켜 주기 위하여 재 할당을 해 준다.

## III. 제안하는 자원할당 알고리즘

PF 알고리즘은 현재 채널 상태에서 데이터 전송률을 고려하여 Max CIR의 장점을 살리고 평균 데이터 전송률이 낮은 사용자에게 할당의 기회를 주게 되어 공정성도 보장할 수 있는 장점이 있다. 하지만 사용자가 RS에 의한 영향을 받기 전에 요구 데이터 율을 만족시키지 못하는 사용자가 증가하게 되면, RS의 영향을 받게 된 사용자의 요구 데이터 율을 만족시킬 수 있게 되어도 전체 사용자의 outage 확률은 증가하게 된다. 이를 위해서는 보다 더 효율적으로 부반송파를 할당하여 셀 영역 안의 사용자에게 대한 QoS를 높일 수 있어야 한다. 또한, 재할당 알고리즘에서는 자원 할당의 효율성을 보다 개선하기 위해서 Max CIR에 의한 자원 할당 후에 요구 데이터 율을 만족시키지 못하는 사용자에게 대한 재할당 알고리즘

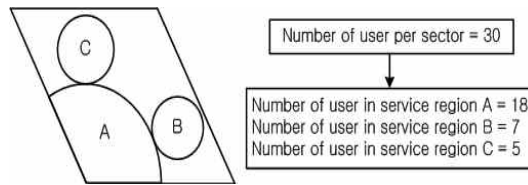


그림 2. 서비스 영역에 의한 사용자 분할의 예  
Fig. 2. User classification by service sector.

을 적용했다. 하지만 재할당 방법은 비용 함수에 의한 재할당이 다시 수행되어야 한다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 공정성을 보장하면서 가능한 한 많은 비트를 전송하도록 하는 알고리즘을 제시한다.

할당 알고리즘의 본격적인 설명에 앞서 우선 셀룰러 시스템 모델에서 가정되어진 고정형 릴레이 기반의 시스템에 할당 알고리즘을 적용하기 위해서는 같은 서비스 영역의 사용자 집합을 분할하는 과정이 필요하다. 사용자의 위치나 간섭, 잡음 등에 의해서 결정되어지는 CINR 값을 통해서 사용자의 서비스 영역이 나누어진다. 그림 2의 예와 같이 각각의 서비스 영역에 사용자가 분포되어지면 할당 알고리즘에 의해서 사용자에게 자원을 할당한다.

우선 표 1과 같이 매 할당 시간마다 업데이트되는 할당표를 만들 수 있으며, 기지국은 사용자들에 대해 각 부반송파의 데이터 전송률 정보를 이용하여 자원 할당을 하게 된다. 그림 3은  $N$ 개의 부반송파에 대한 사용자의 채널 할당 정보를 바탕으로 시간 슬롯마다 부반송파 1번부터  $N$ 번까지 차례로 할당하는 것을 보여준다.

본 논문에서 제안하는 할당 알고리즘은 분할된 서비스 섹터에서 사용자의 부반송파 사용 효율을 높

표 1.  $N$ 개의 부반송파에 대한 사용자들의 자원 할당 정보

Table 1. Resource allocation information of  $N$  subcarriers.

Sub-carrier	Users			
	1	2	...	$K$
1	$R_{1,1}(t)$	$R_{2,1}(t)$	...	$R_{k,1}(t)$
⋮	⋮	⋮		⋮
$N$	$R_{1,N}(t)$	$R_{2,N}(t)$	...	$R_{k,N}(t)$

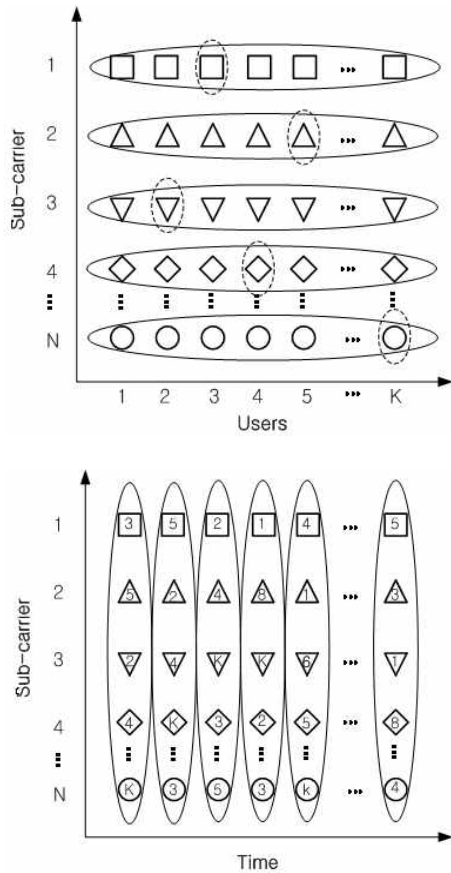


그림 3. N개의 부반송파에 의한 사용자 자원 할당  
Fig. 3. Resource allocation using N subcarriers.

이고, 부반송파가 남는 경우에는 채널 환경의 변화에 따라 순간 데이터 율뿐만 아니라 평균 데이터 율까지 고려하는 PF 알고리즘의 장점을 활용해서 채널의 시간적인 변이를 이용하는 방법이다. 제안하는 할당 알고리즘은 기본적으로 서비스 영역에 의해서 분할된 사용자에 대해서 CINR 값이 가장 큰 사용자에게 부반송파를 할당하게 된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{for } n=1:N, \text{ do} \\
 & \quad K_n \leftarrow \{1,2,\dots,k,\dots,K\} \\
 & \quad k_n^* \leftarrow \arg \max_k (C_{k,n}) \\
 & \quad R_{k^*,n} \leftarrow \sum_{k=1}^{k_n^*} r_{k,n} \\
 & \quad R_K \leftarrow R_K \cup R_{k^*,n} \\
 & \text{end for} \tag{3}
 \end{aligned}$$

여기서 N은 한 서비스 섹터에서 사용하게 되는 총

부반송파 수이며,  $K_n$ 은 서비스 영역에 의해 분할된 사용자 인덱스(index) 집합이며,  $k_n^*$ 은 n번째 부반송파에서 CINR 값인  $C_{k,n}$ 이 가장 큰 사용자를 가리킨다.  $r_{k^*,n}$ 은 선택되어진 사용자  $k_n^*$ 이 부반송파 n에서 보낼 수 있는 데이터 율이며,  $R_{k^*,n}$ 은 선택된 사용자  $k_n^*$ 이 n까지 할당된 부반송파를 이용해서 보낼 수 있는 사용자 데이터 율이다.  $R_K$ 는 부반송파 n까지 할당했을 때, 사용자 데이터 율의 집합이다.

위와 같은 가장 큰 CINR을 갖는 사용자에게 부반송파를 할당하게 되면 시스템의 데이터 처리율을 높일 수 있지만, 일부 사용자에게만 부반송파가 몰릴 수 있게 되고, 간섭이 많이 일어나는 음영 지역 혹은 외곽 지역의 사용자는 자원 할당의 기회가 적어지는 불균형이 일어나게 된다. 제안하는 알고리즘은 두 가지 조건으로 나누어 자원 할당을 하게 된다. 우선 첫 번째는 앞서 보았던 가장 큰 CINR 값에 의한 자원 할당을 위해 아래와 같은 조건을 부여한다.

$$\begin{aligned}
 & \text{if } R_{k^*} < \text{request\_data\_rate...} \\
 & \quad \| \text{sum}(\text{request\_data\_rate} \leq R_K) = K
 \end{aligned}$$

위의 조건은  $R_{k^*}$ 가 사용자의 요구 데이터 율보다 작은 경우 또는 집합  $R_K$ 의 원소인 사용자 모두가 요구 데이터 율을 만족하는 경우를 뜻한다. 두 번째 조건은 사용자 중에서 요구 데이터 율을 만족시키지 못하는 사용자가 있는 경우를 말한다. 이런 경우에는 PF 알고리즘을 사용으로 채널 환경의 변이를 따를 수 있게 하여 사용자의 자원 할당에서 공평성을 높이게 된다. 두 번째 조건에서의 PF 알고리즘 적용은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 & K_n \leftarrow K_n - k_n^* \\
 & k_n^* \leftarrow \arg \max_k \left( \frac{R_{k,n}(t)}{T_{k,n}(t)} \right) \\
 & R_K \leftarrow R_K \cup R_{k^*} \tag{4}
 \end{aligned}$$

여기서 사용자 인덱스 집합인  $K_n$ 에서 사용자 요구 데이터 율을 만족시키는 사용자를 제외시키고, 나머지 사용자에게 대해서 PF 알고리즘에 의한 할당을 적용시키게 된다. 이와 같은 조건에 의해서 부반송파를 할당하게 되면 부반송파가 남는 경우의 자원 할당 효율도 높이고, 사용자가 많은 경우에는 사용자

의 최소 요구 데이터 율을 만족시킬 수 있기 때문에 사용자의 공평성도 만족시키게 된다.

#### IV. 모의실험 결과 및 성능 분석

본 모의실험에서는 자유공간상과 도심에서의 경로 손실(path loss)을 고려하여 BS와 RS로부터 각각 100 m 이내의 거리에 있는 경우는 LOS(Line of Sight), 그 이후의 거리에는 NLOS(Non Line of Sight)로 가정하는 Hybrid 타입의 손실 모델을 가정하며, 잡음 전력 밀도는  $-174$  dBm/Hz로 설정한다. 표 2는 사용되는 파라미터이고, 표 3은 모의실험에서 사용되는 변, 부호 구조 MCS level table이다.

그림 4와 그림 5에서 나타낸 두 가지 알고리즘을 비교했을 때 사용자가 늘어나면서 RS의 영향을 받는 사용자가 있을 때는 두 가지 경우 모두 outage 확률이 줄어들게 되지만, PF 알고리즘의 경우는 RS의 영향 범위 영역보다 앞서서 사용자들의 outage 확률이 줄어들어 RS의 영향을 받아도 전체 사용자의

표 2. 시뮬레이터 파라미터  
Table 2. Simulation parameters.

Cell layout	Hexagonal 19 cell
Cell radius	866 m
Relay distance	500 m
Carrier frequency	3.7 GHz
Bandwidth	10 MHz(9.8 kHz/carrier, 1,024 subcarrier)
Tx power	BS: 18 dBi, RS: 12 dBi
BS/RS ant. gain (height)	18 dBi(30 m)/12 dBi(10 m)

표 3. MCS level Table  
Table 3. MCS level Table.

Cell layout	Hexagonal 19 cell
Cell radius	866 m
Relay distance	500 m
Carrier frequency	3.7 GHz
Bandwidth	10 MHz(9.8 kHz/carrier, 1,024 subcarrier)
Tx power	BS: 18 dBi, RS: 12 dBi
BS/RS ant. gain (height)	18 dBi(30 m)/12 dBi(10 m)

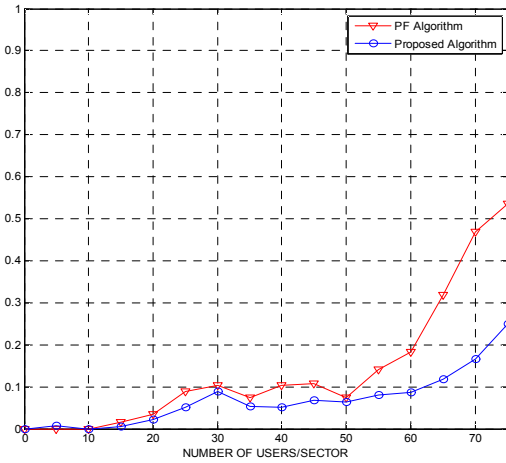


그림 4. 64 kbps의 요구 데이터 율에서 outage 확률  
Fig. 4. Outage probabilities at the minimum data rate requirement of 64 kbps.

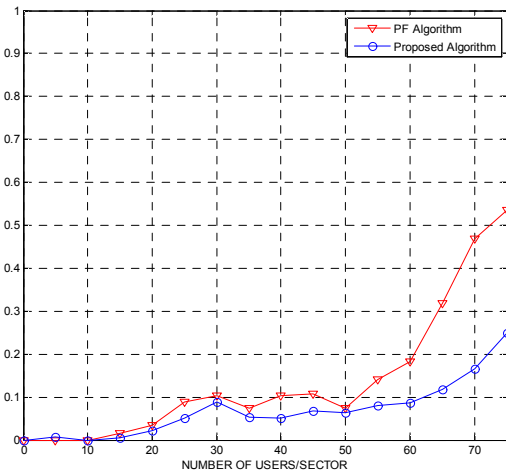


그림 5. 128 kbps의 요구 데이터 율에서 outage 확률  
Fig. 5. Outage probabilities at the minimum data rate requirement of 128 kbps.

outage 확률이 크게 감소하지 못하게 된다. 이런 결과는 사용자의 요구 데이터 율이 커졌을 때 확연하게 나타나게 되어 128 kbps의 사용자 요구 데이터 율에서는 섹터 내 사용자가 증가함에 따라서 outage 확률의 증가 폭이 커지며 RS의 이득을 최고로 받아도 50 % 이상의 큰 outage 확률을 보였다.

그림 6와 그림 7에서는 사용자의 평균 데이터 처리율을 나타내었다. 그림 6에서 보는 것과 같이 64 kbps의 요구 데이터 율을 고려하였을 경우, 제안된 알고리즘은 사용자의 수가 적을 때 PF보다 항상 우

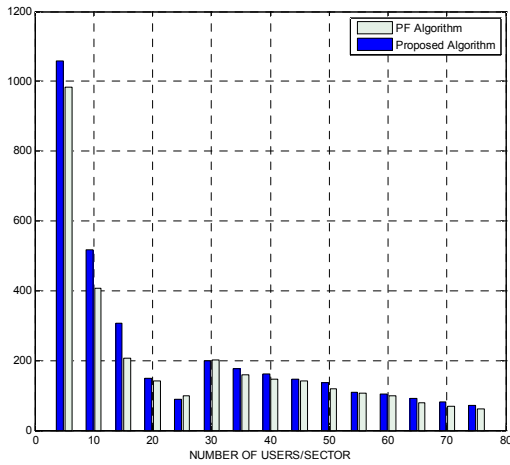


그림 6. 64 kbps의 요구 데이터 율에서 throughput  
Fig. 6. Throughput at the minimum data rate requirement of 64 kbps.

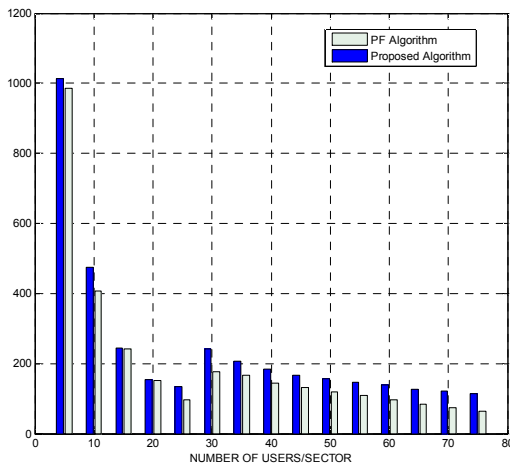


그림 7. 128 kbps의 요구 데이터 율에서 throughput  
Fig. 7. Throughput at the minimum data rate requirement of 128 kbps.

수한 성능을 보인다. 그림 7은 요구 데이터 율을 128 kbps로 한 경우로 사용자가 적을 경우에 제안된 알고리즘은 사용자가 증가할수록 재할당 알고리즘보다 우수한 성능을 보인다. 뿐만 아니라 이 경우에도 항상 PF 알고리즘보다는 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

### V. 결 론

IEEE 802.16 기반의 FRS를 셀룰러 시스템에 적용하여 기존 알고리즘과 제안하는 자원 할당 알고리즘

을 모의실험을 통해서 비교하였다. 결과를 통해서 분석한 결과, 사용자가 점차 늘어나면서 고정된 위치에 있는 RS의 영향 영역에 있는 사용자가 늘어날 확률이 커질수록 outage 확률이 줄어드는 결과를 보인다. 하지만 제안된 알고리즘의 경우, 사용자의 요구 데이터 율을 만족시킬 수 있는 영역이 FRS의 영향 범위까지 미치게 되어서 사용자가 늘어나도 낮은 outage 확률을 갖는 서비스 영역을 넓힐 수 있었다. 10 % outage 확률을 기준으로 했을 때 64 kbps의 경우에는 PF 알고리즘의 약 25 % 정도의 서비스 가능 사용자 수 증가율을 보였고, 128 kbps의 경우에는 각각 35 %의 증가율을 보였다. 사용자의 요구 데이터 율이 128 kbps로 커졌을 때의 모의실험 결과에 의하면 제안 알고리즘이 보다 안정적인 자원 할당을 수행하며, 수율 역시 더 큰 요구 데이터 율에서 개선되는 것을 알 수 있었다. 즉, 높은 요구 데이터 율의 조건에서 outage 확률 개선이 사용자의 수가 증가하였을 때 두드러지게 나타나며, 이것은 평균 사용자 데이터 처리율에서 비교했을 때에도 마찬가지로 50명 이상의 많은 사용자 조건에서 다른 자원 할당에 비해서 크게 감소하지 않는 것으로 나타났다. 본 알고리즘은 사용자 요구에 따라서 효율을 증대시킬 수 있으므로 RS를 사용한 셀룰러 시스템의 서비스 커버리지 확대에 용이할 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] P. Bender, P. Black, "CDMA/HDR: A bandwidth-efficient high-speed wireless data service for nomadic users", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 38, no. 10, pp. 70-77, Jul. 2000.
- [2] A. Jalali, R. Padovani, and R. Pankaj, "Data throughput of CDMA-HDR a high efficiency-high data personal communication wireless system", in *Proc. IEEE VTC-Spring 2000*, Tokyo, Japan, May 2000.
- [3] Y. J. Zhang, K. B. Letaief, "Multiuser adaptive subcarrier-and bit allocation with adaptive cell selection for OFDM systems", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 3, no. 5, Sep. 2004.
- [4] 김영일, 안동현, 김현재, 이용수, 채수창, 김석찬, 박동찬, "WiBro용 mobile 기술 동향", 한국통신

학회지(정보와 통신), 24(5), pp. 15-26, 2007년 5월.

- [5] R. Pabst et al., "Relay-based deployment concepts for wireless and mobile broadband radio", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 9, pp. 80-89, Sep. 2004.
- [6] S. Shakkottai, T. S. Rappaport, "Cross-layer design for wireless networks", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 41, no. 10, pp. 74-80, Oct. 2003.
- [7] J. Cho, Z. J. Hass, "On the throughput enhancement of the downstream channel in cellular radio networks through multihop relaying", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 22, no. 7, pp. 1206-1219, Sep. 2004.
- [8] 3GPP TR 25.814 V7.1.0, 3rd Generation Partnership Project, *Technical Specification Group Radio Access Network; Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access(UTRA)(Release 7)*.
- [9] J. Laiho, A. Wacker, and T. Novosad, *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*, 2002.
- [10] P. Piggan, K. L. Stanwood, "Standardizing WiMAX solutions for coexistence in the 3.65 GHz band", in *Proc. 3rd IEEE Symposium on DySPAN 2008*, Chicago, IL, pp. 1-7, Oct. 2008.
- [11] F. Berggren, R. Jantti, "Asymptotically fair transmission scheduling over fading channels", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 3, pp. 1934-1938, Jan. 2004.

### 김 근 배



1991년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)  
 1993년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)  
 2001년 3월~현재: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 박사과정  
 [주 관심분야] 차세대 이동 통신,

OFDM, MIMO 등

### 박 상 규



1974년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
 1980년 5월: 미국 Duke University 전기공학과 (공학석사)  
 1987년 5월: 미국 University of Michigan 전기공학과 (공학박사)  
 1987년 3월~현재: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 교수

[주 관심분야] 디지털 통신, 확산 대역 통신, MIMO, OFDM 시스템 등

### 신 희 영



2006년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)  
 2008년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 (공학석사)  
 2008년 3월~현재: 삼성전자 무선사업부  
 [주 관심분야] 차세대 이동 통신 시

스템, OFDM, Cognitive Radio 등