

# 셀룰러 OFDMA 시스템에서의 부분 주파수 재사용(Fractional Frequency Reuse) 방식을 고려한 패킷 스케줄링 알고리즘

\*민태영, \*손준호, \*\*김현표, \*\*이영학, \*\*\*임민중, \*강충구  
'고려대학교 전자공학과, \*\*KT 휴대인터넷 사업본부, \*\*\*동국대학교 정보통신공학과

## Packet Scheduling Algorithm for Fractional Frequency Reuse (FFR) Scheme in Cellular OFDMA System

Tae Y. Min, Jun H. Son, Hyun P. Kim, Young H. Lee, Min J. Rim, and Chung Gu Kang  
E-mail: {ehozo,sjh,ccgkang}@korea.ac.kr

### 요 약

주파수 재사용도  $K = 1$  을 사용하는 셀룰러 OFDMA 시스템의 셀 경계에서 다른 셀이 미치는 동일 채널 간섭에 의한 성능 열화를 극복하기 위한 방안으로서, 전체 부반송파를 다수 개의 부대역(subband)으로 직교 분할한 후 셀간에 이들 부대역을 적절히 배치하여 각 셀에서 일부 부대역을 사용하지 않음으로써 인접 셀간의 동일 채널 간섭을 완화할 수 있는 부분 주파수 재사용(Fractional Frequency Reuse: FFR) 방식을 고려한다. 본 논문에서는 특정 주파수 재사용도를 갖는 FFR 방식을 적용할 때 신호 대 간섭비에 따라 사용자간의 공정성(fairness)을 고려하면서 동적으로 자원을 사용하기 위한 패킷 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 모의실험을 통해 본 제안 방식을 주파수 재사용도  $K = 3/2$  의 FFR 시스템에 적용할 때 주파수 재사용도  $K = 1$  을 사용하는 시스템보다 셀 경계에서의 성능이 향상되며, 동시에 전체 수율이 증대될 수 있음을 확인한다.

### 1. 서론

다중반송파 방식의 OFDMA 시스템에서는 부반송파로 구성된 부채널 단위로 자원 할당이 수행된다. 즉, 다수의 사용자들이 전체 부반송파를 분할하여 공유하며, 이를 통해 주파수 영역에서 다중 사용자 다이버시티 이득을 확보할 수 있다. WiBro 와 같은 OFDMA 기반의 광대역 이동 인터넷 액세스 시스템에서는 모든 셀에서 동일한 주파수를 재사용하고, 이때 발생하는 수신 신호 세기 및 인접 셀간 간섭에 따라 적응 변조 및 부호화(Adaptive Modulation & Coding: AMC) 방식을 적용함으로써 수율을 극대화하고자 한다. 그러나, 이와 같은 주파수 재사용률 1 인 시스템의 경우 셀 또는 섹터의 경계에서는 인접 셀간 간섭이 극심하여 수율의 저하가 불가피하고, 또한 서비스 불능(outage) 상황에 직면하게 된다. 이와 같이 주파수 재사용률 1 을 사용할 때 셀 경계에서의 성능을 향상시킬 수 있는 방법으로서, 전체 부반송파를 다수의 부대역(subband)으로 직교 분할하고, 이들 부대역을 적절히 배치하여 각 셀에서 일부 부대역을 사용하지 않음으로써 인접 셀간의 동일 채널 간섭을 완화하는 부분 주파수 재사용(Fractional Frequency Reuse: FFR) 기법을 고려할 수 있다 [1].

실제 시스템에서 FFR 을 적용하기 위해서는 각 단말이 자신의 정확한 위치를 추정하여 각 셀에 배치된 주파수 패턴을 기준으로 어떤 대역을 사용할 것인가를 결정해야 한다. 그러나, 실제 상황에서는 페이딩과 단말의 이동성 등에 의해 동일 대역에서의 신호대 간섭비가 지속적으로 변하기 때문에 각 셀에 할당된 대역 중에서 어떤 부대역을 사용할 것인지를 결정하기 위해서는 신호대 간섭비가 동적으로 반영되어야 한다. 이와 같이 셀 단위로 부분적인 부대역이 할당되었을 때 신호대 간섭비에 따라 동적으로 자원을 사용하기 위해서는 주어진 주파수 재사용도(frequency reuse factor: FRF)와 사용자간의 공정성(fairness)이 동시에 반영되어야 한다. 즉, FFR 방식을 적용함으로써 인접 셀간 간섭으로 인한 불능률을 낮추면서도 주어진 주파수 배치에 따른 주파수 재사용 효율을 극대화할 수 있는 자원 할당 방안이 고려되어야 한다. 본 논문에서는 OFDMA 시스템에서 FFR 방식을 운용하기 위해 필요한 패킷 스케줄링

알고리즘을 제안하며, 이와 같은 적절한 알고리즘의 선택과 적용을 통해서만 FFR 방식이 추구하는 성능을 확보할 수 있음을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 OFDMA 시스템을 고려한 부분 주파수 재사용의 개념과 형태에 관하여 알아보고, 3 장에서는 부분 주파수 재사용이 가능하도록 하기 위한 패킷 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 그리고, 4 장에서는 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해 제안된 스케줄링 알고리즘을 적용한 FFR 의 성능을 살펴보고, 5 장에서 결론을 맺도록 한다.

### 2. 주파수 재사용 방식의 개요

OFDMA 시스템에서 전체 부반송파를 직교적으로 분할하여 다수의 부대역을 구성할 때, 이들 부대역을 셀간에 공유하기 위해 다양한 형태의 주파수 재사용 방식을 고려할 수 있다. 본 소절에서는 이들 방식의 개념과 특성에 대해서 살펴본다.

#### 2.1 주파수 재사용 패턴

주파수 재사용도  $K$  가 1 에 가까워지면서 셀 내에서 가용할 수 있는 대역이 증가하고 이에 따라 대역 효율성이 증대되나, 셀 경계 등에서 동일 채널에 의한 셀간 간섭이 높아져서 불능률(outage rate)이 증가하게 된다. 반면, 재사용도가 높을수록 셀간 동일 채널에 의한 간섭은 줄어들지만 가용 대역이 작아져서 대역 효율성이 떨어지게 된다. 그림 1 과 2 는 각각 모든 셀에서 사용 주파수 0 으로 표시된 모든 주파수를 사용하는 주파수 재사용도  $K = 1$  인 경우와 전체 채널을 3개의 부대역으로 나누어 인접한 셀끼리 서로 상이한 부대역을 할당하는 주파수 재사용도  $K = 3$  인 경우를 나타낸다.

$K = 1$  인 경우에는 셀의 용량이 증가하나 동일 채널에 의한 간섭이 셀 경계에서 심각해지며,  $K = 3$  을 사용할 경우에는 셀간 동일 채널 간섭이 거의 없으나 사용할 수 있는 대역이 줄어들어 대역 효율성이 떨어진다. 한편,  $1 < K < 3$  의 경우에는 부분 주파수 재사용을 통해 셀간 간섭을 완화하면서 대역 효율성을 향상시킬 수 있게 된다. 이 경우에는 각 셀에서 특정 주파수를 사용하지 않도록 하며, 이때 인접 셀간의 간섭을 고려한 주파수