

# 고정 릴레이 기반 셀룰러 시스템에서 간섭 회피를 위한 자원 할당기법

정희원 원승찬\*, 임인철\*, 윤동원\*\*, 박상규\*\*

## Resource Allocation Method for a Interference Mitigation in a Cellular System with Fixed Relays

Seungchan Won\*, Inchul Im\*, Dongwoon Yoon\*\*, Sang Kyu Park\*\* *Regular Members*

### 요약

멀티미디어 데이터의 전송영역 확장을 위한 기술로 고정 릴레이 기반 셀룰러 시스템에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 있다. 고정 릴레이 기반 셀룰러 시스템에서 릴레이를 추가함으로써 생기는 셀 간 또는 섹터 간 간섭은 기지국과 단말기 또는 릴레이와 단말기 사이의 높은 링크성능을 보장하지 못하여 성능저하를 가져올 수 있기 때문에 간섭을 회피하기 위한 자원할당은 매우 중요하다. 본 논문에서는 리피터 중계기를 이용한 셀룰러 시스템과 릴레이를 이용한 셀룰러 시스템의 성능을 비교하여 릴레이 중계기를 이용할 때 셀 커버리지 확장을 비교하고자 한다. 비교를 위해 셀룰러 시스템에 고정 릴레이를 설치할 때 셀 간과 섹터 간 간섭을 피하기 위하여 리피터 중계기를 사용하는 경우의 자원할당과는 다른 자원 할당 방법을 제안한다. 제안된 기법은 인접한 기지국들과 릴레이들에게 서로 다른 주파수 자원을 할당하여 간섭을 줄임으로서 높은 데이터 전송영역의 확장이 가능하며, 기지국들과 릴레이들이 동시에 동작할 때 각 섹터에서 전체 주파수 대역을 사용함으로써 주파수 효율성을 높일 수 있다.

**Key Words** : Cell Planing, Fixed Relay, Cellular System, Resource Allocation, OFDMA

### ABSTRACT

A cellular system with fixed relays is considered to be a technology that can support high data transmission service to wide areas. However, either inter-cell interference or inter-sector interference that can be produced by adding relays to the cellular system with fixed relays does not guarantee high link performance to deteriorate function, so that resource allocation for avoidance of interference is very much important. In the paper, the cellular system performance with repeater relay has been compared with the cellular system performance with relay, and cell coverage expansion at the use of relay repeater has been compared. To compare, this paper has suggested resource allocation method to avoid inter-cell interference and inter-sector interference at installation of fixed relay on the cellular system. The proposed method can allocate different frequency resources on adjacent base stations and relays to reduce interference and to expand high data transmission area, and all of frequency bands are used at each sector to elevate efficiency of the frequency when base stations and relays operate simultaneously.

\* 삼성전자 정보통신 총괄, \*\* 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부(dwyoona@hanyang.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-06-282, 접수일자 : 2007년 6월 26일, 최종논문접수일자 : 2008년 7월 29일

## I. 서 론

최근 휴대인터넷, 방송 등 멀티미디어 서비스에 대한 요구를 만족시키기 위한 차세대 통신 시스템에 대한 관심이 높아지면서 새로운 광대역 무선통신 기술이 중요한 이슈로 부각되고 있다<sup>1)</sup>. 이를 구현하기 위해서 OFDM, MIMO, 스마트 안테나 등의 높은 데이터 전송 속도 증가를 위해 다양한 기술들을 적용하고자 하는 연구가 진행되고 있다<sup>2-4)</sup>. 그러나 기존 기술들만으로는 차세대 시스템에서 기대하는 데이터 전송률을 경제적인 방법으로 더 넓은 영역에서 제공하는 데에는 한계를 가진다. 4세대 셀룰러 통신시스템은 현재 사용하고 있는 무선통신주파수 보다 높은 2GHz 이상의 주파수 대역을 사용하게 될 것이므로 높은 대역의 주파수 사용은 불가피한 신호 전송손실을 가져오게 되고 결과적으로 음영지역의 확대를 피할 수 없게 된다<sup>5)</sup>. 이러한 음영지역의 확대는 멀티미디어 서비스를 지원할 수 없는 영역의 확대와 함께 주파수 사용효율의 저하를 가져오게 되며, 기존의 셀룰러 시스템의 구조로는 이러한 음영지역을 해소하는 것에 한계가 있다. 음영지역을 축소하고 데이터 처리율을 높이기 위한 가장 쉬운 방법은 기지국의 수를 증가시키는 것이다. 그러나 기지국 수의 증가는 설치 및 유지 보수하는 비용을 증가시키게 된다<sup>6)</sup>. 이에 대한 해결책으로 중계기를 활용하는 기술이 제시되었다<sup>6)</sup>. 기존의 중계기 시스템의 경우 단순히 수신 신호를 증폭하여 단말에게 전달하는 기능을 갖는 RF 리피터가 주로 사용되는데 구현이 비교적 간단하지만 잡음 또한 증폭되는 단점을 가지고 있다. 다른 기술로는 기존의 셀룰러 시스템에 고정 릴레이를 사용하여 신호를 복조 후 다시 전송하는 기술이 있다. 이 기술은 기존의 리피터보다 지능화된 중계기로 경제적으로 넓은 지역에 높은 데이터 전송 서비스를 제공할 수 있다는 점과 기지국과 릴레이 사이에 무선전송을 사용함으로써 백홀(backhaul)통신망의 유지비용 감소와 함께 비싼 기지국을 증설하는데 드는 많은 비용을 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있어 차세대 이동통신 시스템에 도입이 불가피할 것으로 예상된다. 고정 릴레이를 사용하는 셀룰러 시스템에 있어서 중요한 문제는 기지국(Base Station)에서 릴레이(Relay Station)를 거쳐 단말기(Mobile Station)로 데이터를 전송하는 경우 릴레이에서 한 번의 복조과정을 거친 후 다시 변조하여 신호를 보내기 때문에 기지국과 릴레이 간의 릴레이 링크에서의 주파수와 릴레이

이와 단말기 간의 접속 링크통신에서의 주파수가 달라야 한다는 것이다. 이러한 특성을 이용하여 셀을 운용하면 릴레이를 추가하여 발생하는 간섭을 최소화하고 주파수 대역을 재사용함으로써 자원을 효율적 사용할 수 있다. 특히 직교 주파수 분할 다중 접속(OFDMA)을 기반으로 하는 시스템에서는 같은 주파수를 사용하여 발생하는 충돌로 인한 간섭과 방향성 안테나를 이용하여 섹터화 하였을 경우 추가적으로 발생하는 섹터 간 간섭도 고려해야 한다. 따라서 릴레이를 배치한 셀룰러 시스템에서 셀 내의 자원 운용은 간섭을 피하고 좋은 링크 성능을 유지하는데 있어서 매우 중요하다. 이 논문에서는 각 셀을 3개의 섹터로 나누는 섹터화 기법이 적용된 고정 릴레이를 갖는 셀룰러 시스템과 리피터를 사용한 셀룰러 시스템의 셀 커버리지 확장과 성능을 비교하고자 한다. 그리고 고정 릴레이를 사용하는 셀룰러 시스템에 인접 셀과 섹터로부터 간섭을 회피하면서 높은 데이터 전송 서비스 영역을 확장 시키는 효율적인 셀 자원 할당 기법을 제안하고 모의실험을 통하여 결과를 검증한다.

## II. 시스템 모델

### 2.1 중계기 시스템 모델

기존의 셀룰러 시스템 모델은 셀의 중심에 기지국이 있고, 셀 간 동일채널 간섭과 셀 내에서 간섭을 피하기 위해 방향성 안테나를 사용하여 3개 혹은 6개의 섹터로 나누어 간섭을 최소화 한다. 이 논문에서 고려하는 중계기가 적용된 셀룰러 시스템 구조는 그림 1과 같이 기존의 3섹터로 나누어진 시스템에 기지국과 같은 거리로 떨어져 있는 6개의 중계기(릴레이 또는 리피터)를 배치하였고, 19개의

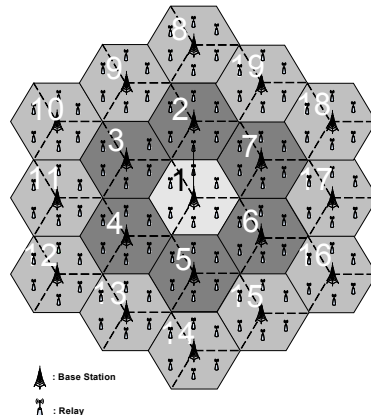


그림 1. 이 논문에서 사용한 2-단 3섹터 6중계기 셀룰러 시스템 구조

셀로 구성된 2-단 형태를 갖는다. 중계기들은 기지국과 가장 좋은 연결 상태를 갖고 완벽한 직시성 (LOS: line-of-sight)을 만족한다. 앞서 언급한 중계기로 이 논문에서 고려하는 중계기로는 단순히 신호를 증폭하는 역할을 하는 리피터와 원하는 신호만 증폭을 하여 높은 SNR을 갖는 릴레이를 적용하고자 한다. 그림 2는 리피터 및 릴레이를 이용한 셀룰러 시스템의 신호 전송 경로를 나타내고 있다. 그림 2. (a)에서 보는 것과 같이 리피터를 사용하였을 때 임의의 지점에 위치한 단말기에서 수신되는 신호는 같은 섹터 내에 있는 기지국에서 전송된 신호와 리피터들을 거쳐 오는 신호 성분들의 합으로 간주하며, 다음 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R_m &= R_{m1} + R_{m2} + R_{m3} & (1) \\
 &= (ah_1 + n_1) + (k_1ah_2h_4 + n_6) + (k_2ah_3h_5 + n_7) \\
 &= a(h_1 + k_1h_2h_4 + k_2h_3h_5) + n
 \end{aligned}$$

여기서  $R_m$ 은 수신자가 원하는 신호,  $R_{m1}$ 은 수신기가 기지국으로부터 바로 받는 신호,  $R_{m2}$ 는 인접 리피터로부터 수신하는 신호,  $R_{m3}$ 는 같은 셀내 다른 리피터로부터 수신하는 신호이며,  $a$ 는 송신 신호이고,  $k_1, k_2$ 는 리피터의 증폭 계수,  $h_1 \sim h_3$ 는 파일럿 신호를 통하여 추정할 수 있는 채널 이득이다. 또한  $n$ 은 그 외 간섭과 잡음이며, 이 논문에서는 충분한 CP(Cyclic Prefix)만 주어진다면 신호검출이 가능하다고 가정한다.

이 논문에서 고려하고 있는 릴레이를 사용하는 시스템의 경우 기지국은 2개의 시간 슬롯 동안 다른 전송전력으로 전송하게 되는데 이는 시분할 (TDM: Time Division Multiplexing)을 적용하여 하나의 시간 슬롯에서는 높은 전송 전력으로 기지국만 동작하고, 다른 하나의 시간 슬롯에서는 기지국과 릴레이가 동시에 같은 전송 전력으로 동작하며 간섭을 줄이기 위해 기지국만 동작했을 경우의 전송 전력보다 낮은 전력으로 동작한다. 릴레이를 사용하는 경우 임의의 지점에 위치한 단말기에서 수신하고자 하는 신호는 그림 2. (b)와 같이 릴레이에서부터 단말까지 여러 경로를 거치고 오는 신호가 아닌 단말기에서 CINR을 측정했을 때 가장 높은 값을 갖는 기지국 혹은 릴레이 신호를 선택하는 것으로 가정하며, 이때 선택된 신호는 다음과 같다. 여기서  $R_m$ 은 수신자가 원하는 신호,  $a$ 는 송신 신호,  $k_1$ 은 증폭계수,  $h_3$ 은 파일럿 신호를 통하여 추정할 수 있는 채널이득이다.  $n$ 은 그 외 간섭과 잡음이다.

$$R_m = k_1ah_3 + n \quad (2)$$

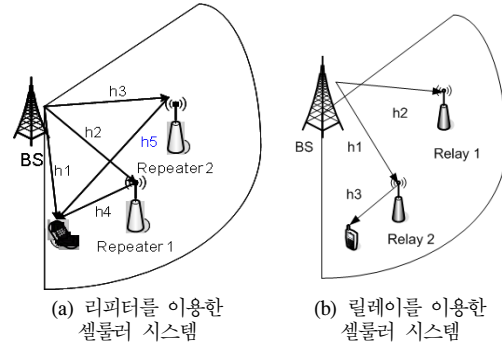


그림 2. 중계기를 이용한 셀룰러 시스템의 신호 전송 경로

일반적으로 2번의 시간 슬롯으로 나누게 될 때 각 시간 슬롯마다 동작하는 목적에서 차이가 난다. 첫 번째 시간 슬롯에서는 오직 기지국만 동작을 하게 되어 높은 전력으로 전송이 가능하다. 이때 기지국은 릴레이에 가장 좋은 성능을 갖는 부반송파들을 이용하여 단말기들에 전달할 메시지와 제어 신호를 전달한다. 또한 남은 부반송파를 활용하여 실시간 서비스를 요구하는 하는 단말기에 필요한 자원을 할당한다. 두 번째 시간 슬롯에서는 릴레이들은 기지국에서 릴레이에 전송된 데이터를 각 부반송파마다 가장 좋은 채널상황을 가진 단말에 자원을 재할당하여 전송 한다. 기지국과 릴레이들은 같은 전송 전력으로 신호를 전송함으로써 인접 기지국이 릴레이에 미치는 영향을 줄이고자 한다. 두 번째 시간 슬롯동안 릴레이들은 기지국과는 다른 주파수 대역을 이용하여 독립적으로 단말기들과 통신하고 이때 전송되는 데이터는 첫 번째 시간 슬롯에서 전송받은 제어정보를 바탕으로 첫 번째 시간 슬롯에서 전송받은 데이터를 단말에게 재 할당한다. 기지국은 기지국에 속한 단말들에게 할당된 주파수 대역을 사용하여 각 단말이 요구하는 데이터를 전송하게 된다.

## 2.2 직교 주파수 분할 다중화 접속(OFDMA) 시스템 모델

하나의 셀에서 사용가능한 전체 주파수 대역을  $W$ 라 하면 전체 주파수 대역을 3개의 OFDM 부반송파 집합으로 나누고 각각은 같은 개수의 부반송파를 갖게 된다. 이때 3개의 부반송파 집합으로 나누는 방법은 여러 가지가 존재할 수 있다. 그림 3은 1024의 부반송파 집합을 3개의 부 집합으로 직교하도록 할당한 한 예를 나타내고 있다. 그림 3에서 보는 것과 같이 단지 각 부반송파 집합이 겹치지 않도록 분할한 다음 인접 섹터 혹은 셀에서 사

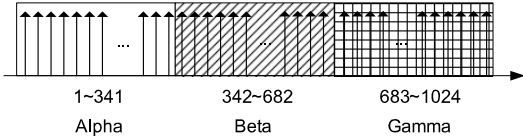


그림 3. 1024의 부반송파 집합을 3개의 부 집합으로 직교하도록 할당할 한 예

용하는 주파수 대역이 겹치지 않도록 다른 집합을 할당하여 간섭을 피할 수 있도록 한다. 하향링크에서 각 단말기는 AWGN 잡음과 인접 셀과 색터로부터 오는 간섭을 겪는다. 하나하나의 부반송파를 단말기에게 할당하는 방법은 셀에 있는 각 단말기가 수신되는 전체 부반송파의 신호 대 잡음과 간섭의 합인 CINR정보를 기지국으로 다시 올려주게 되고 기지국은 전체 사용자로부터 수신된 정보를 바탕으로 가장 좋은 CINR값을 갖는 사용자에게 그 자원을 할당하게 된다.

### III. 제안하는 자원 할당 기법

기준에 리피터 중계기를 사용하고 3개의 색터로 구분된 셀룰러 시스템에 적합한 고정 자원 할당 기법은 그림 4와 같이 고정 자원을 할당하는 경우 인접 색터와 인접 셀에서의 간섭을 효과적으로 줄일 수 있다. 하지만 릴레이를 사용하는 경우에 리피터 중계기를 사용할 때와 같은 형태의 고정자원 할당하는 경우 인접 릴레이 중계기들과 인접한 각 색터에 할당된 기지국들의 자원이 충돌하는 셀들이 발생하게 된다. 본 논문에서 리피터 중계기와 비교하기 위한 고정 릴레이 중계기의 자원할당 기법은 각 셀의 방향성 안테나에 의해 나누어진 기지국들과 6개의 릴레이들이 있는 경우 인접한 셀 간과 색터 간 같은 자원을 사용하여 발생하는 충돌을 회피하면서 셀을 운용하기 위하여 제안한다. 하나의 셀은 3색터로 나누는 색터화 기법과 각각의 릴레이들로

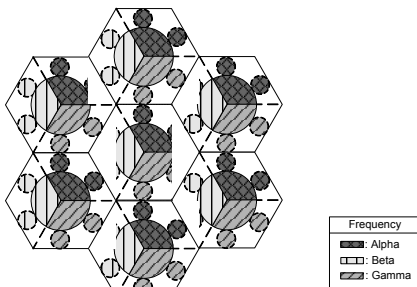


그림 4. 3색터화된 리피터 중계기를 사용하는 셀룰러 시스템의 자원 할당 방법

인해 각 셀을 9개의 미니 셀로 간주할 수 있다. 이 미니 셀들에 자원을 최대한 같은 자원을 쓰는 영역이 인접하지 않도록 할당함으로써 간섭을 최소화하고자 한다. 앞에서 언급한 바와 같이 각 미니 셀에 부반송파 집합을 할당하는 과정은 시간 슬롯에 따라 두 과정, 정상 모드와 릴레이 모드로 나뉜다.

#### 3.1 정상 모드

기지국만 동작하는 과정을 정상모드라 하고 이때는 릴레이에 자원을 할당하고 실시간 데이터를 요구하는 단말기에 자원을 할당한다. 전체 부반송파들을 3개의 부반송파 집합으로 나뉜다. 앞에서 언급한 것처럼 각 집합은 겹치지 않는다. 그림 3과 같이 각 집합을 alpha, beta, gamma 밴드로 하고 기준이 되는 임의의 한 셀의 3색터 기지국 중 한 곳에 3개의 대역 중 하나인 alpha 대역을 할당한다. 할당된 색터 기지국을 기준으로 같은 셀 내의 각 색터에는 반 시계 방향으로 각각 순서대로 beta와 gamma 대역을 할당한다. 인접 셀에 할당하는 경우 위에서 기준으로 삼은 셀의 색터 기지국을 중심으로 하여 시계방향으로 할당한다. 인접 셀의 경우 할당된 색터를 기준으로 같은 할당 알고리즘을 반복한다. 즉, 같은 셀 내에서 반 시계 방향, 다른 셀에서 시계방향으로 할당하게 되고, 그 결과는 그림 5와 같다.

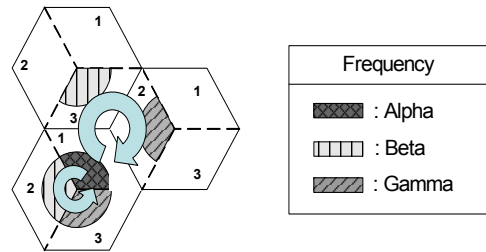


그림 5. 정상 모드에서 제안하는 자원 할당 방법

#### 3.2 릴레이 모드

기지국과 릴레이가 동시에 동작하는 과정을 릴레이 모드라 하고 기지국과 릴레이에 할당된 자원을 요구하는 데이터에 맞춰 단말기에 할당한다. 릴레이 모드에서 각 색터를 담당하는 3개의 기지국에 자원 할당은 정상 모드에서의 할당된 자원 패턴을 그대로 사용한다. 그림 5에서와 같이 정상모드에서 기지국에 자원이 할당 되었다면 다음 릴레이에 부 반송파 집합을 할당 하는 경우에는 각 기지국에 할당된 집합과 겹치지 않으면서 가까운 다른 릴레이에 할당된 주파수 대역 또한 겹치지 않도록 할당을 한다. 각 기지국에 정상모드에서 할당된 부반송파 집합이

릴레이에 자원을 할당하기 위한 기준으로 삼고 기지국을 중심으로 시계방향과 반 시계 방향으로 릴레이에 부반송파 집합을 할당을 하게 되는데 그림 6에서 볼 수 있듯이  $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$  대역 순서대로 할당하게 되는데 임의의 셀의 1번 섹터의 위치에 있는 경우는 반시계 방향으로, 2와 3번 섹터 위치에 있는 경우는 시계방향으로 할당하게 되는데, 위 과정을 반복하면 그림 7과 같이 2-단 19개 셀에 할당할 수 있다. 셀의 자원 할당 결과를 보면 3종류의 동일한 셀 타입이 반복적으로 나타나게 된다.

본 알고리즘의 장점은 릴레이가 적용된 셀룰러 시스템에서 새로운 셀을 추가 할 경우에 있어서 인접한 영역에서 사용하는 자원을 측정, 사용하는 주파수 대역 정보를 알게 되면 제안된 알고리즘을 이용하여 셀 간, 섹터 간 동일한 부반송파를 사용하여 생기는 간섭의 영향을 줄이면서 쉽게 추가되는 셀에 기지국과 릴레이에 할당 할 수 있다.

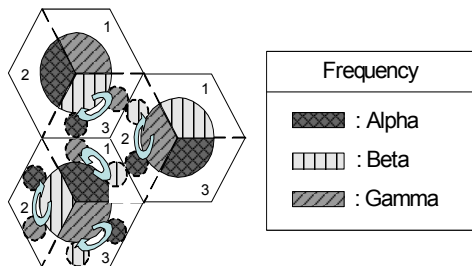


그림 6. 릴레이 모드에서 제안하는 자원 할당 방법

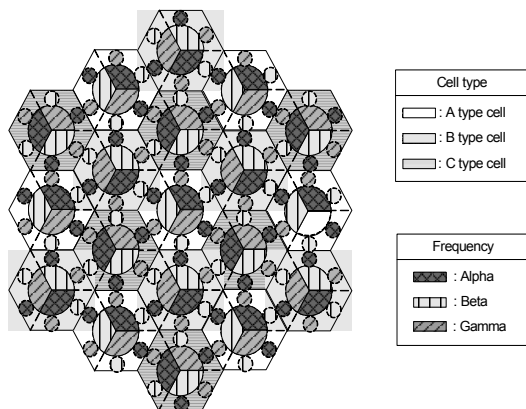


그림 7. 제안된 자원 할당 기법을 적용한 후의 2-단 6각 셀의 자원 할당 분포

#### IV. 시뮬레이션 모델 및 결과

이 장에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 셀 운용

기법이 사용된 릴레이 기반 셀룰러 시스템과 기준 리피터를 사용한 셀룰러 시스템의 성능을 비교, 분석한다. 시스템 성능을 분석하기 위해 사용한 시뮬레이션 모델은 다음과 같다. 각 셀의 중심에 기지국을 갖는 19개 2단 육각 셀들로 가정하고 각 셀은 그림 8과 수식 (3)과 같이 70°에서 3dB 빔 폭을 갖는 안테나를 이용하여 3개의 섹터로 나누고 각 섹터의 중심방향에서 양 쪽으로 30도 정도 떨어진 곳에 6개의 중계기를 설치한다. 각 중계기는 기지국과 같은 거리에 위치하도록 한다<sup>[7]</sup>.

$$A(\theta) = -\min \left[ 12 \left( \frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right), A_m \right] \quad (3)$$

where  $-180 \leq \theta \leq 180$   
 3 Sector:  $\theta_{3dB} = 70^\circ, A_m = 20dB$

우선 높은 데이터 전송 서비스 영역 확대를 비교하기 위한 경우 6각 셀의 크기는 장반경 1000m, 단반경 866m이고 릴레이의 위치를 500m에 위치시켰고 이때 기준이 되는 CINR을 20dB로 하였다. 낮은 데이터 전송 영역의 확대를 비교하기 위한 경우에는 셀의 장반경을 1600m로 릴레이와 리피터의 위치는 각각 1200m와 1100m에 위치시킴으로 기지국과 릴레이 사이를 10dB이상으로 유지하였다. 자유 공간상에서의 경로 손실모델과 도심에서의 경로 손실모델을 고려하여 단말기가 기지국과 릴레이로부터 각각 100m이내의 거리에 있는 경우에는 직시성 임을 가정하고 그 이후의 거리에서는 비직시성을 가정하였다. 또한 기지국과 릴레이 사이는 직시성을 가정하여 항상 좋은 채널만을 할당한다. 기지국과 잡음 밀도는 -174dBm/Hz이고 앞에서 언급한 대로 1024개의 부반송파를 3개의 부반송파 집합에 341개씩 순서대로 나누어 할당하였다. 다른 필요한 시뮬레이션 조건들은 표 1에 요약하였다.

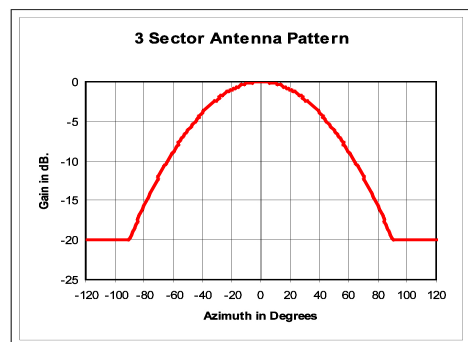


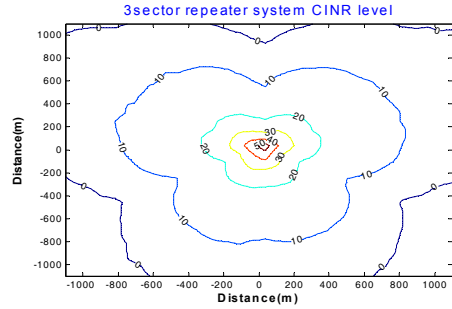
그림 8. 시뮬레이션에서 사용한 안테나 방사 패턴

표 1. 시뮬레이션 모델

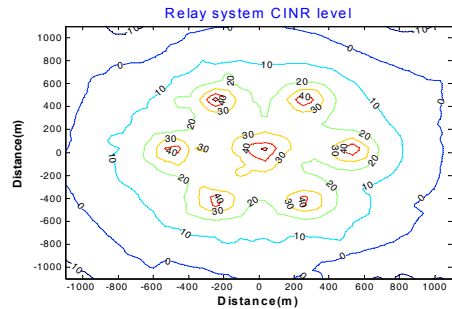
시스템 레벨 파라미터	설정 값	
셀 반경	1000m / 1600m	
중계기 위치	리피터 : 500m /1100m, 릴레이 : 500m /1200m	
기지국 안테나 패턴	방향성 안테나	
중계기 안테나 패턴	전방향 안테나	
중심 주파수	3.7GHz	
대역폭	10MHz (9.8kHz/carrier, 1024subcarrier)	
전 송 모델	LOS	$PL(dB) = -35.4 + 26 * \log_{10}(d) + 20 * \log_{10}(f_c)$
	NLOS	$PL[dB] = (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_{bs})) \log_{10}\left(\frac{d}{1000}\right) + 45.5 + (35.46 - 1.1h_{ms}) \log_{10}(f_c) - 13.82 \log_{10}(h_{bs}) + 0.7h_{ms} + C$
송, 수신 안테나 이득	기지국:18dBi(3sector), 중계기:12dBi, 단말기:0dBi	
자체 손실 (Body loss)	기지국:-3dB, 중계기:-3dB, 단말기:-2dB	
전송 전력	기지국:43dBm, 중계기:33dBm	
기지국 높이	30m	
중계기 높이	10m	

4.1 서비스 영역 비교

하향링크에서 단말기의 위치를 이동하였을 때 주변 기지국과 릴레이들에 의한 간섭과 거리에 따른 신호의 수신 전력과 간섭신호, 잡음을 고려한 신호비를 나타내는 평균 CINR을 기반으로 셀 커버리지 확장을 계산할 수 있다. CINR은 전송 전력대 잡음 전력과 원하는 셀을 둘러싼 18개의 셀에서 발생하는 간섭 신호의 합으로 나눈 값을 사용하였고 CINR을 측정하기위해 좌표(0,0)을 중심으로 원의 반경을 10m씩 증가시키면서 각 원마다 중심에서 30도 씩 회전한 위치들에 단말을 위치시킨다. 단말과 기지국 또는 단말과 릴레이 중계기간 거리를 측정하여 보다 근거리의 기지국 또는 릴레이 중계기로부터 서비스를 제공받는 것으로 단순 모델화하였다. 평균 CINR은 리피터 중계기와는 달리 릴레이 중계기의 경우 정상모드와 릴레이 모드가 번갈아 동작하기 때문에 리피터와 같은 시간동안 미치는 영향을 비교하기 위해 단말기가 위치하는 각 지점에서 두 모드로 번갈아 동작할 때 모든 부반송파들의 각각 CINR을 측정하고 전체 부반송파들의 CINR 값의 합을 전체 부반송파의 개수로 나눈 평균값을 다시 두 모드의 두 값의 평균으로 구한 것이다. 그림 9와 그림 10 그리고 표 2는 3섹터로 나눈 셀들

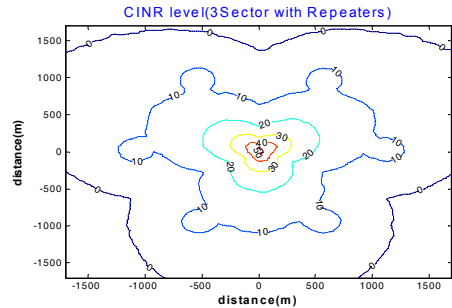


(a) 리피터의 평균 CINR 분포 등고선

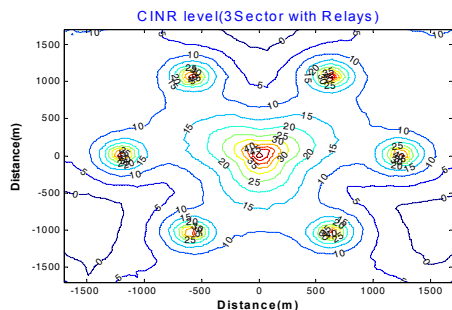


(b) 릴레이의 평균 CINR 분포 등고선

그림 9. 장반경이 1000m일 때 중계기들을 셀의 장반경의 중간에 설치한 경우



(a) 리피터 평균 CINR 분포 등고선



(b) 릴레이의 평균 CINR 분포 등고선

그림 10. 장반경이 1600m일 때 리피터의 경우 1100m, 릴레이의 경우 1200m에 각각 설치한 경우

러 시스템에 각각 리피터와 릴레이 시뮬레이션을 통해 얻은 CINR 데이터를 바탕으로 높은 데이터 전송과 낮은 데이터 전송이 가능한 CINR 영역을 계산하여 비교한 결과이다. 비교를 위한 기준 CINR 레벨을 각각 20dB와 10dB로 설정하였는데 20dB와 10dB를 각각 높은 데이터 전송률을 갖는 타겟 CINR 레벨과 낮은 데이터 전송이 가능한 타겟 CINR 레벨로 설정 하였다<sup>8)</sup>.

그림 9의 경우에서 리피터와 릴레이들을 셀의 장반경이 1000m인 경우에 장반경의 중간 지점에 위치시켰을 경우로 높은 데이터 전송영역이 주로 확장되었다. 그림 10에서는 셀의 장반경을 1600m로 확장하고 중계기들을 기지국에서 보다 멀리 위치하였을 경우 20dB이상의 높은 전송률을 갖는 영역 확대의 장점 보다는 10dB이상의 전송률을 보이는 영역이 확대된 것을 볼 수 있는데 이 영역에서 측정된 수신신호와 간섭신호들을 계산한 결과 기지국 또는 릴레이 중계기와 단말기 사이의 전송 전력 손실이 인접 섹터 또는 인접 셀로부터의 간섭의 합보다 상대적으로 커지기 때문에 CINR은 작아지게 된다. 두 경우에 공통적으로 리피터 중계기는 간섭과 잡음도 같이 증폭하는 취약점을 갖고 있어 높은 데이터 전송영역을 확대하지 못하며, 또한 시뮬레이션의 결과에서 볼 수 있듯이 성능을 높게 향상시킬 수 없다는 것을 확인 할 수 있다. 릴레이는 릴레이 모드에서 작은 전송 전력이지만 간섭을 줄이는 알고리즘을 이용하여 높은 전송 영역과 낮은 전송영역을 확대할 수 있다. 또한 릴레이 혹은 리피터들의 위치를 어디에 놓느냐에 따라 높은 데이터 전송이 가능한 영역과 낮은 데이터 전송이 가능한 영역을 조절할 수 있다.

#### 4.2 데이터 처리율 비교

릴레이 중계기 또는 릴레이 중계기를 사용하는 셀 내에서 실제 자원을 할당 받기 위한 단말들의 분포는 불균형하다고 가정하였다. 섹터 간은 불균형하게 분포하지만 섹터내에서 기지국에 가까운 단말수와 중계기에 가까운 단말 수는 제한하지 않았고 각 섹터 범위 내에서 균등하게 위치하도록 하였다. 각 셀에는 3개의 섹터에 60개의 단말들을 2/3/5의 비로 분포시켰고 각 섹터에 각 단말들은 매 초 불규칙한 위치로 변경하는 과정을 20회 수행하였다. 각 섹터는 내부에서 주파수 재사용을 고려하여 10MHz를 사용하였다. 이때 각 사용자들은 같은 요구 데이터량을 갖도록 하였고 각각 80bits/user/sample time을

표 2. 서비스영역 비교

파라미터	시스템		릴레이 시스템	증가 면적	증가 비율
	기준 CINR	리피터 시스템			
셀반경 : 1000m 릴레이와 리피터 위치 : 500m	10dB	1.615 Km2	2.001 Km2	0.386 Km2	23.9%
	20dB	0.316 Km2	1.047 Km2	0.731 Km2	231%
셀반경 : 1.6Km 릴레이 : 1200m 리피터 : 1100m	10dB	3.11 Km2	4.30 Km2	1.200 Km2	38.0%
	20dB	0.685 Km2	1.023 Km2	0.338 Km2	50.0%

갖도록 고정하였다. 각 섹터 내에서 각 사용자들이 자원을 얻는 방식은 앞에서 설명한 것과 같이 모든 각 부반송파를 단말들이 측정하여 채널정보를 기지국으로 전송하면 기지국은 가장 좋은 CINR 값을 갖는 사용자들에게 할당하고 이때 가장 좋은 채널을 가지고 있더라도 요구 데이터 량을 넘지 않도록 자원을 할당한다. 실제 시스템에서 기지국에 모든 부반송파의 정보를 각 단말이 전달하는 경우 기지국에 과부하가 발생하기 때문에 자원단위를 묶어서 할당한다. 본 논문에서는 기지국이 처리가능한 부하로 가정하였다. 데이터 처리율을 비교하기 위해서 본 논문에서는 채널 환경에 따라 변조기법과 전송율을 변화시키는 AMCS(adaptive modulation coding scheme)를 적용하였다. 이 시뮬레이션에서 사용한 MCS 레벨은 각 부반송파가 1% FER을 만족할 때 측정된 CINR에 의해 결정된다. MCS 레벨은 표 2와 같다<sup>8)</sup>. 수만큼 각 사용자들에게 자원을 할당하는 경우 표 1은 시뮬레이션에 사용된 파라미터이다. 시뮬레이션을 수행한 환경은 셀의 장반경을 1000m, 릴레이와 리피터 중계기들은 500m에 두었다. 다른 설정환경은 위의 표 1과 같다.

표 3. MCS 레벨

MCS level	Parameter	Required CINR[dB]
1	QPSK,1/12	-3.5
2	QPSK,1/6	-1.0
3	QPSK,1/3	1.7
4	QPSK,1/2	5.4
5	16QAM,1/2	10.5
6	64QAM,1/2	15.0
7	64QAM,2/3	20.2
8	64QAM,5/6	28.5

표 4. 각 시스템에서 셀 당 데이터 처리율 비교

System	Throughput
3-sector with repeaters	16.7Mbps
Proposed 3-sector with relays	26.5Mbps

데이터 처리율 측면에서 두 중계기 시스템을 비교하기 위해 같은 조건의 두 시스템에서 데이터 처리율은 20회에 걸쳐 각 단말기의 위치를 변경하여 그 위치에서 각 사용자들이 할당받은 부반송파를 통해 수신한 데이터의 합을 20회의 평균으로 계산하였다. 결과는 표 4와 같이 리피터 중계기를 사용한 경우 16.7Mbps, 릴레이 중계기를 사용한 경우 26.5Mbps로 약 58%정도로 성능이 향상되었다. 이것은 릴레이 중계기의 경우 릴레이로 인해 높은 전송영역이 확대됨으로 셀의 외각이나 중계기 근처에서 각 단말들에 더 나은 신뢰성을 가진 채널 연결을 제공한 결과이다. 만약 중계기가 적당한 위치에 있다면 중계기들로부터 단말들까지의 높은 데이터 전송률이 가능할 것으로 예상된다.

### V. 결 론

멀티미디어 서비스에 대한 관심이 가중되면서 높은 데이터 전송 서비스를 제공하기 위한 다양한 기술들이 소개되고 있으며 중계기를 사용하여 시스템의 데이터 처리율을 높이는 연구 등이 활발히 진행되고 있다. 이 논문에서는 릴레이를 이용한 셀룰러 시스템에서 간섭을 피하여 높은 데이터 전송 및 셀 확장이 가능한 셀 운용 기법을 제안하고 제안한 기법을 릴레이들이 설치된 OFDMA와 TDM을 기반으로 하는 3섹터 셀룰러 시스템에 적용하여 시뮬레이션을 수행하여 결과를 검증하였다. 하향링크에서 기존의 셀룰러 시스템에 두 가지 형태의 중계기를 설치하여 데이터 영역을 비교하였다. 리피터의 경우 수신 신호를 단순 증폭 후 재전송(Amplify and forward)하기 때문에 원하는 신호와 마찬가지로 잡음과 간섭 신호도 같이 증폭이 되는 단점을 갖고 있어 멀티미디어 서비스를 제공하기에 부적합함을 확인하였다. 반면에 릴레이의 경우 제안된 알고리즘을 적용하여 인접 릴레이들 혹은 기지국에서 동일 주파수 사용을 피하도록 하여 잡음과 간섭신호를 줄임으로 우수한 링크성능을 갖게 됨을 확인하였다. 우수한 링크성능으로 인해 주파수 자원을 더 많은 사용자에게 할당할 수 있어 주파수 효율성은 높아

지고 상대적으로 리피터 기반의 셀룰러 시스템보다 성능을 향상시킬 수 있었다. 또한 기존의 셀들이 배치되어 있을 경우에 새로운 셀을 추가하고자 한다면 정상모드 시 주변 셀의 기지국과 릴레이들이 사용하는 주파수 대역을 측정하여 인접 자원 분포 패턴을 파악한 후 제안된 기법을 이용하여 추가하고자 하는 셀의 기지국과 릴레이들에게 자원을 할당할 수 있어 릴레이 시스템에 적용하기 용이할 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] C.Y. Wong, R.S. Cheng, K.B. Letaief and R.D. Murch, "Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit and power allocation," IEEE J. Select Areas Commun., Vol.17, pp.1747-1758, Oct. 1999.
- [2] J. A. C Bingham, "Multicarrier modulation for data trasmission: An idea those time has come," IEEE Comm. Magazine, Vol.28, pp.5-14, May. 1990.
- [3] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," IEEE Comm. Magazine, Vol.33, pp.100-109, Feb. 1995.
- [4] R. Prasad, Universal Wireless Personal Communications, Boston : Artech House, 1998.
- [5] Ralf Pabst et al., "Relay-Based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio," IEEE Comm. Magazine, Vol.42, pp.80-89, Issue 9, Sep. 2004.
- [6] V. Steng, H.Yanikomeroğlu, and D. Falconer, "Coverage enhancement through two-hop relaying in cellular radio systems," IEEE WCNC 2002, Vol.2, pp.881-885, March. 2002.
- [7] 3GPP R1-030042, Update of OFDM SI simulation methodology, Jan. 2003.
- [8] Yeonwoo Lee, Seung Young Park, Sangboh Yun, "Resource Management for Fixed Relay Based Cellular Systems with Sectorization," IEICE Transactions on Communications, Vol. e89-B, pp.625-628, Feb 2006.



원 승 찬 (Seungchan Won)

정회원



2004년 2월 한양대학교 전자전기  
컴퓨터공학부 공학사  
2007년 2월 한양대학교 전자통신  
컴퓨터공학과 공학석사  
2007년 3월~현재 삼성전자 정보  
통신총괄 통신연구소 연구원  
<관심분야> 디지털 통신, OFDM  
시스템

임 인 철 (Inchul Im)

정회원



2005년 2월 한양대학교 전자전기  
컴퓨터공학부 공학사  
2007년 2월 한양대학교 전자통신  
컴퓨터공학과 공학석사  
2007년 3월~현재 삼성전자 정보  
통신총괄 무선사업부 연구원  
<관심분야> 디지털 통신, OFDM  
시스템

윤 등 원 (Dongweon Yoon)

정회원



1989년 2월 한양대학교 전자통신  
공학과 공학사  
1992년 2월 한양대학교 전자통신  
공학과 공학석사  
1995년 8월 한양대학교 전자통신  
공학과 공학박사  
1995년 3월~1997년 8월 동서대  
학교 정보통신공학과 조교수  
1997년 9월~2004년 2월 대전대학교 정보통신공학과  
부교수  
2004년 3월~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부  
교수  
<관심분야> 디지털 통신, 무선통신

박 상 규 (Sang Kyu Park)

정회원



1974년 2월 서울대학교 전기공학  
과 공학사  
1980년 5월 듀크대학교 전기공학  
과 공학석사  
1987년 5월 미시건대학교 전기공  
학과 공학박사  
1987년 3월~현재 한양대학교 전  
자통신컴퓨터공학부 교수  
<관심분야> 디지털 통신, 확산대역통신, MIMO,  
OFDM시스템