

TD-SCDMA에서 셀 간 교차 타임-슬롯 문제 해결을 위한 스마트 안테나 기반의 동적 채널 할당 방안

준회원 김은현*, 박재현*, 정회원 김덕경*

A Dynamic Channel Allocation Employing Smart Antenna to Resolve a Crossed Time-slot Problem in TD-SCDMA

Eun-Heon Kim*, Jae-Hyun Park* *Associate Members*,
Duk-Kyung Kim* *Regular Member*

요 약

TDD를 기반으로 하는 TD-SCDMA 시스템은 상·하향링크를 시간 영역으로 나누기 때문에 상·하향링크에 대한 트래픽을 비대칭으로 적용할 수 있다. 따라서 높은 주파수 효율성을 가질 수 있지만 셀 간 상·하향링크가 엇갈리는 타임 슬롯이 발생하게 된다. 이러한 타임 슬롯이 존재하는 인접한 셀 간의 간섭은 시스템 성능을 저하시키는 주요한 원인으로 대두되었다. 일반적으로 이런 간섭을 억제하기 위한 방법으로 동적 채널 할당 방안이 고려된다. 본 논문에서는 스마트 안테나가 적용된 TD-SCDMA 시스템에서 사용자의 위치와 인접한 셀과의 빔 특성을 고려한 새로운 타임 슬롯 할당 방법을 제안한다. 또한, 모의실험을 통해 기존의 동적 채널 할당 방안과 제안된 동적 채널 할당 방안에 대한 셀의 수용용량을 측정하였다. 그 결과를 통해 제안된 동적 채널 할당 방안이 셀의 수용용량 면에서 기존에 제시된 동적 채널 할당 방안에 비해 좋은 성능을 가지는 것을 알 수 있었다.

Key Words : TD-SCDMA (Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access), Dynamic Channel Allocation (DCA), TS Opposing, Smart antenna

ABSTRACT

Since the TD-SCDMA (Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access) system is based on TDD (Time Division Duplexing), the uplink and downlink can be allocated asymmetrically according to the traffic e.g. Web browsing. Although this asymmetric allocation can increase the frequency utilization, it may cause time slot opposing, which implies the time slot is assigned in opposing direction between cells. The time slot opposing can generate significant interference between cells, which results in severe performance degradation. In the paper, a novel dynamic channel allocation (DCA) is proposed in the TD-SCDMA system, to mitigate the impact of time slot opposing considering smart antenna. When the smart antenna is applied in the system, the inter-cell interference is largely affected by beam pattern and beam direction between neighboring cells. Therefore, the time slot opposing and smart antenna should be considered together in the DCA. The intensive simulations show that the proposed scheme can improve the system capacity compared to the conventional DCA schemes.

※ 본 연구는 인하대학교 지원에 의해 이루어졌음.

* 인하대학교 정보통신공학과 무선통신 연구실(bluekeh77@inha.ac.kr, kdk@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-08-367, 접수일자 : 2007년 8월 17일, 최종논문접수일자 : 2007년 11월 28일

I. 서 론

최근 중국에서는 제 3세대 이동 통신 표준 기술로 TD-SCDMA 방식이 정부의 강력한 의지로 크게 부각되고 있으며, 이에 따라 TD-SCDMA 시스템은 세계 최대 시장인 중국에서 중요한 이슈로 등장하게 되었다^[1]. TDD(Time Division Duplexing)를 기반으로 한 TD-SCDMA 시스템은 상·하향링크의 트래픽이 타임 슬롯으로 구분된 시간영역으로 나뉘기 때문에 각 링크의 트래픽이 비대칭으로 할당될 수 있다. 그래서 상·하향 트래픽의 비율이 다른 경우 무선 자원을 효율적으로 사용할 수 있다. 그 예로 Web browsing과 같은 경우에 더 많은 트래픽이 요구되는 하향링크에 더 많은 타임 슬롯을 할당할 수 있다. 반면에, 비대칭적인 상·하향 트래픽의 할당으로 인해 인접한 두 셀 간 상·하향링크가 엇갈리는 타임 슬롯이 발생하게 된다. 그 결과, FDD(Frequency Division Duplexing)를 기반으로 한 시스템에서는 발생하지 않은 추가적인 간섭이 발생하게 된다.

그림 1은 TDD를 기반으로 한 시스템에서 상·하향링크가 엇갈리는 두 셀 간 간섭을 나타낸다. 여기서 NB(Node B)는 기지국이고, UE(User Equipment)는 각 셀에 있는 NB에 연결된 사용자이다. 설명의 편의상 UE1과 UE2는 셀 가장자리에 위치한 경우를 생각한다. 상향링크로 연결된 UE1은 멀리 떨어진 NB1까지 신호를 전송하기 위해 높은 전송 전력으로 송신한다. 이 때 NB2로부터 신호를 수신하는 UE2는 상대적으로 낮은 수신 전력을 갖게 되므로 UE1의 상향 송신 신호는 UE2의 간섭이 된다. 또한, UE1으로부터 상향 신호가 NB1에 수신하는 경우에 NB2로부터 UE2로의 하향 신호가 간섭이 된다. 일반적으로 UE1과 NB1 사이의 거리에

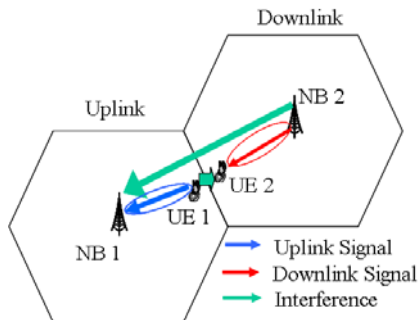


그림 1. TDD를 기반으로 한 시스템의 간섭

비해 NB1과 NB2 사이의 거리가 훨씬 크기 때문에 이러한 간섭의 영향은 크지 않다. 그러나 전방향 안테나를 가진 UE와 달리, NB에 스마트 안테나가 적용된 경우, 그림과 같이 NB2의 스마트 안테나의 빔 패턴 방향이 NB1을 향할 때 NB간 간섭은 무시할 수 없을 정도로 증대된다.

TDD를 기반으로 하는 시스템에서 인접한 셀과 상·하향링크가 엇갈리는 타임 슬롯에 대한 간섭을 줄이기 위해 동적 채널 할당 (Dynamic Channel Allocation - DCA) 방안이 활발히 연구되고 있다^{[2][3][4]}. 대부분의 DCA는 최소 전송 전력을 요구하거나(하향링크) 최소 간섭을 요구하는(상향링크) 타임 슬롯에 채널을 할당한다^[5]. 그러나 실제 환경에서 빈번한 채널 할당에 따른 높은 복잡도 및 부정확성의 문제점을 가진다. 따라서 실제 Wibro와 TD-SCDMA와 같은 시스템은 각 셀의 상·하향링크의 비율을 동일하게 적용해서 인접한 셀 간 엇갈리는 링크가 존재하지 않도록 운영하고 있다. 그렇지만 도심 지역과 외곽 지역의 경계 지점에서는 상·하향링크의 비율이 변하기 때문에 엇갈리는 타임 슬롯이 발생한다고 보고되었던^[6].

[7]은 NB의 거리에 따라 셀을 내부 영역과 외부 영역으로 구분한 후 상대적으로 간섭이 적은 내부 영역에는 인접한 셀과 엇갈리는 타임 슬롯에 높은 우선 순위를 주어 UE를 할당하고, 외부 영역은 인접 셀과 동일한 링크를 가진 타임 슬롯에 높은 우선 순위로 할당하는 방안을 제안하였다. 그러나 이 방안은 전방향 안테나를 적용했기 때문에 스마트 안테나 이득이 고려되지 않았다.

[8]에서는 스마트 안테나가 적용된 시스템에서 NB와의 거리와 인접 셀의 방위각에 따라 셀을 9개의 영역 혹은 4개의 영역으로 나누어 각 영역 별로 다른 타임 슬롯을 할당하는 방안을 제안하였다. 이 경우에 UE가 이동하더라도 스마트 안테나의 빔 패턴 방향에 따른 이득을 고정된 값으로 가정함으로써 스마트 안테나에 따른 영향이 반영되지 못하였다.

본 논문에서는 스마트 안테나의 빔 패턴 및 방향성에 의한 영향을 고려한 동적 채널 할당 방안을 제안한다. 상대적으로 좁은 빔 패턴을 가지는 스마트 안테나에서는 각 UE마다 개별적인 빔을 가지게 되며, 빔의 방향성에 따라 인접 셀로부터 간섭의 영향이 증폭되거나 감쇄될 수 있다. 예로, 기준 셀에서 UE로의 빔과 인접 셀로부터의 빔이 일정 각도 이상 어긋나는 경우, 인접 셀로부터의 간섭은 안테나 이득으로부터 상당히 감쇄되어 수신되게 된다.

이런 스마트 안테나의 특성을 이용하여 인접한 셀 간 상·하향링크가 엇갈리는 타임 슬롯에 영향을 주는 간섭을 억제시킬 수 있을 만큼 스마트 안테나 이득이 발생하는 영역과 그렇지 않은 영역으로 구분한다. 그리고 안테나 이득이 많은 영역에 위치한 UE는 인접한 셀 간 상·하향링크가 엇갈리는 타임 슬롯에 할당하고, 안테나 이득이 적은 영역에 UE가 있는 경우는 인접한 셀 간 상·하향링크가 같은 타임 슬롯에 할당한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 동적 채널 할당 방안과 스마트 안테나가 적용되었을 때 발생할 수 있는 문제점을 간략히 설명하고, III장은 제안된 동적 채널 할당 방안에 대해 기술한다. IV장은 모의 실험 환경 및 성능 분석을 고찰한다. 그리고 V장은 결론 부분이다.

II. 기존의 동적 채널 할당 방안

대표적인 DCA로 상향링크에서의 최소 간섭 기반의 동적 채널 할당 방안과 하향링크에서의 최소 전송 전력 기반의 동적 채널 할당 방안에 대해 소개한다. 더불어 TD-SCDMA 시스템에서 제안된 고정된 위치 기반의 방식을 설명한다. 이 때, 동적 채널 할당은 RNC(Radio Network Controller) 레벨에서 동작하며 RNC는 UE로부터 전송 전력 및 간섭 정보를 수신 받는다. 그리고 NB가 스마트 안테나를 사용하기 때문에 UE로부터 상향링크로 수신된 신호의 방향과 세기로 UE의 위치를 알 수 있다고 가정한다⁹⁾.

2.1 최소 전송 전력 기반의 동적 채널 할당 ⁽⁵⁾

하향링크의 시스템 수용 용량과 부하는 NB의 전송 전력의 세기로 결정할 수 있다. 따라서 NB는 가장 적은 전송 파워를 가진 타임 슬롯에 UE를 할당함으로써 가장 적은 부하를 가진 타임 슬롯에 UE를 할당하게 된다. 만약 모든 타임 슬롯의 전송 전력이 최대값에 도달하거나 더 이상 타임 슬롯에 UE를 할당할 수 없다면 그 UE는 NB와의 연결에 실패한다.

2.2 최소 간섭 기반의 동적 채널 할당 ⁽⁵⁾

최소 간섭 기반의 동적 채널 할당은 상향 링크에서 인접한 셀에 의해 발생된 간섭의 영향을 분산시킬 수 있도록 하기 위해, 가장 적은 간섭의 세기를 가지는 타임 슬롯에 UE를 할당한다. 만약 모든 타임 슬롯에 UE를 할당할 수 없을 경우에 그 UE는

NB와의 연결에 실패하게 된다.

2.3 고정된 위치 기반의 동적 채널 할당 ⁽⁷⁾

기존의 고정된 위치 기반의 동적 채널 할당 방안의 적용을 위해 NB와의 거리에 따른 임계거리 (Threshold Distance)를 결정한다. 이렇게 결정된 임계거리에 따라 셀을 외부와 내부로 구분하여 셀의 외부 영역을 Outer Zone이라 하고, 내부 영역을 Inner Zone이라고 한다. 또한 인접한 셀과 엇갈리는 링크를 가진 타임 슬롯이 존재할 경우에 그 타임 슬롯을 Cross-TS이라 하고, 그 외의 타임 슬롯을 Normal-TS라 한다. 여기서 UE가 Outer Zone에 있다면 셀 간 간섭이 크므로 Normal-TS에 우선 할당된다. 그리고 더 이상 UE를 Normal-TS에 할당할 수 없을 때 Cross-TS에 할당된다, 반대로 Inner Zone에 UE가 위치할 경우에 Cross-TS에 우선 할당되며, Cross-TS에 더 이상 UE를 할당할 수 없다면 Normal-TS에 할당된다. 모든 타임 슬롯에 더 이상 UE를 할당할 수 없다면 NB와의 연결이 실패한다. 이 때 임계거리에 따라 Cross-TS와 Normal-TS에 할당된 UE의 수가 달라진다. 특히, 각 타임 슬롯에 할당된 UE의 수에 따라 시스템 성능이 달라지기 때문에 적절한 임계거리를 결정하는 것이 중요하다. 예로 Inner Zone에 비해 Outer Zone에서 더 많은 UE가 있다면 상대적으로 Normal-TS에 더 많은 UE가 할당된다. 이때, Normal-TS에 할당된 UE는 주로 셀의 외곽에 위치하기 때문에 상·하향 링크로 신호를 전송할 때 높은 전력이 요구된다. 그러므로 상대적으로 Normal-TS의 성능이 감소된다.

일반적으로 위치 기반의 동적 채널 할당 방안은 UE의 정확한 위치 추정을 가정하지만 실제 시스템에는 위치 추정에 대한 오차가 발생한다. 이러한 오차는 UE의 이동성 및 스마트 안테나 성능, 무선 채널 환경 등에 의해 복합적으로 영향을 받는다. 본 논문에서는 이러한 문제에 의한 영향이나 이를 해결하기 위한 추가적인 방안에 대해 다루지는 않는다.

III. 제안된 동적 채널 할당 방안

그림 2는 도심과 외곽의 경계에서 인접 셀 간 엇갈리는 타임 슬롯이 발생하는 상황을 나타낸다. 한 셀을 3개의 섹터로 구분하여 각 섹터마다 전방향 안테나가 일렬로 정렬되어 있는 ULA(Uniform Linear Array)를 적용하였다¹⁰⁾.

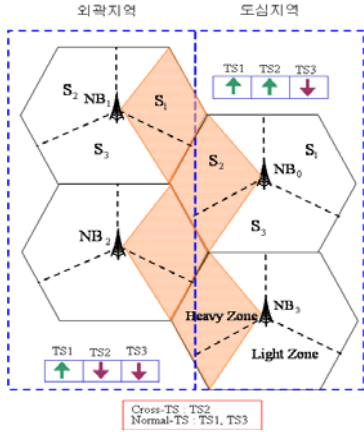


그림 2. 제안된 동적 채널 할당 방안의 셀 레이아웃

일반적으로 도심과 외곽, 각각에서는 동일한 상·하향링크의 할당을 통하여 엇갈리는 타임 슬롯이 발생하지 않도록 운영하고 있으나, 도심과 외곽의 경계에서는 엇갈리는 타임 슬롯이 발생한다고 보고되었다. 그림에서는 설명의 편의상 각 영역에서 두 개씩, 총 4개의 셀과 각 셀 당 3개의 타임 슬롯만을 고려하였다. 그리고 한 셀에 3개의 섹터(S_1, S_2, S_3)를 고려하였고 그 경계를 검은 점선으로 표현하였다. 여기서 도심과 외곽의 경계에서 먼 쪽의 섹터는 엇갈리는 타임 슬롯에 의한 문제가 발생하지 않으므로 각 영역에서 두 개의 섹터들만이 엇갈리는 타임 슬롯에 의한 영향을 받는다. 예로, 그림의 NB_0 에서 S_2 와 S_3 은 인접한 NB_1 과 NB_2 의 영향을 받지만 S_1 은 스마트 안테나의 이득으로 인해 인접한 두 셀로부터 거의 영향을 받지 않는다. 각 셀에서 NB와 UE의 방향성에 의해 인접한 두 셀로부터의 빔이 일정 각도 이상 벗어나는 경우 인접한 셀로부터의 간섭은 안테나 이득에 의해 감소되어 그 영향이 작아진다. 본 논문에서는 이러한 영역을 Light Zone이라 부른다. 반대로 인접한 두 셀로부터의 빔이 일정 각도 이하로 떨어진 경우 간섭의 영향이 상대적으로 크며 이러한 영역을 Heavy Zone이라 부른다. 그림에서는 색칠된 영역이 Heavy Zone이며, 그렇지 않은 영역이 Light Zone이다. 각 영역의 크기는 섹터마다 다를 수 있으며, 셀 및 섹터의 배치에 따라 바뀔 수 있으나 일반적으로 그림과 같은 형태를 가진다. 이 때, Heavy Zone과 Light Zone의 경계는 인접한 셀의 스마트 안테나 이득이 없어질 정도로 빔의 각도가 벌어지는 지점으로 결정한다.

특정 타임 슬롯에 많은 부하가 발생되면 그 타임 슬롯의 성능이 급격히 감소하게 된다. 따라서 모든 타임 슬롯에 동일한 수의 UE가 할당되도록 각 타임 슬롯에 할당될 최대 UE의 수(N_{TS})를 다음과 같이 결정한다.

$$N_{TS} = \left\lfloor \frac{N_{UE, Total}}{N_{TS, Total}} \right\rfloor \quad (1)$$

이 때, $N_{UE, Total}$ 과 $N_{TS, Total}$ 은 섹터에 있는 전체 UE의 수와 하나의 서브 프레임에 있는 타임 슬롯의 수를 나타낸다. [A]는 A를 올림한 정수이다.

만약 UE가 Light Zone에 위치한다면 상대적으로 간섭의 영향이 적으므로 Cross-TS에 우선적으로 할당한다. Light Zone에 있는 UE 중에서 Cross-TS에 할당될 UE의 수($N_{Cross, Light}$)는 N_{TS} 와 Light Zone에 있는 UE 수(N_{Light})의 최소값으로 결정된다.

$$N_{Cross, Light} = \min(N_{TS}, N_{Light}) \quad (2)$$

Heavy Zone에 있는 UE가 Normal-TS에 우선적으로 할당되지만 Heavy Zone에 있는 UE의 수가 Normal-TS에 할당될 수 있는 수보다 많을 경우, UE는 Heavy Zone에 있더라도 Cross-TS에 할당되어야 된다. 이 때 Heavy Zone에 있는 UE가 NB와 가까운 거리에 있다면 그 UE는 인접한 셀로부터 간섭의 영향이 상대적으로 크지 않다. 그러므로 UE가 Heavy Zone에 있는 경우에 NB와 거리가 가까운 UE는 우선적으로 Cross-TS에 할당될 수 있도록 Heavy Zone에 있는 UE 중에서 Cross-TS에 할당될 UE의 수($N_{Cross, Heavy}$)를 다음과 같이 결정한다.

$$N_{Cross, Heavy} = N_{TS} - N_{Cross, Light} \quad (3)$$

Heavy Zone에 있는 UE 중에서 NB와 거리가 가까우면 Cross-TS에 할당되지만 그 외의 UE는 Normal-TS에 우선적으로 할당된다. 이 때 Heavy Zone에 있는 UE 중에서 Normal-TS에 할당될 UE의 수($N_{Normal, Heavy}$)는 Heavy Zone에 있는 UE의 수(N_{Heavy})에서 Cross-TS에 할당되고 남은 수로 결정한다. 특히 Heavy Zone에서 Normal-TS에 할당된 UE의 수가 동일하게 되도록 서브프레임 내의 Normal-TS의 수($N_{Normal-TS}$)로 나누어서 Heavy

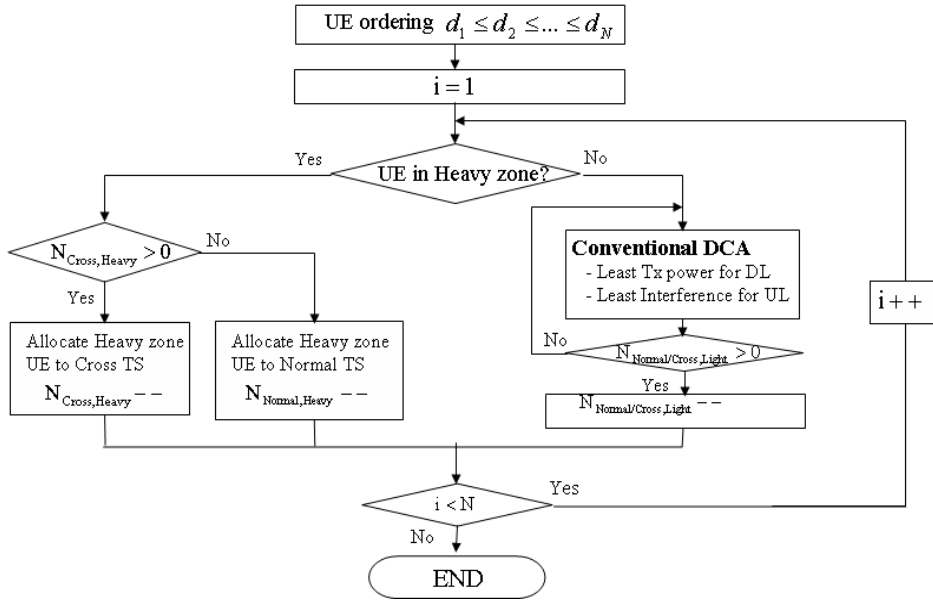


그림 3. 제안된 동적 채널 할당 방안의 알고리즘

Zone에서 Normal-TS에 할당될 UE의 수가 동일한 값을 가지도록 한다.

$$N_{Normal, Heavy} = \left\lceil \frac{N_{Heavy} - N_{Cross, Heavy}}{N_{Normal - TS}} \right\rceil \quad (4)$$

Light Zone에 있는 UE의 수가 Cross-TS에 할당될 수보다 많을 경우, Cross-TS에 할당되지 않은 나머지 UE는 Normal-TS에 할당된다. 이 때 Light Zone에 있는 UE 중에서 Normal-TS에 할당될 UE의 수($N_{Normal, Light}$)는 다음과 같이 구한다. 여기서 N_{Light} 는 Light Zone에 있는 UE의 수이다.

$$N_{Normal, Light} = \left\lceil \frac{N_{Light} - N_{Cross, Light}}{N_{Normal - TS}} \right\rceil \quad (5)$$

그림 3은 제안된 동적 채널 할당 방안에 대한 알고리즘을 나타낸다.

제안된 알고리즘에서 NB와 UE의 거리를 d_i 로 나타낸다. Heavy Zone에 있는 UE 중에서 NB와 가까운 거리에 위치한 UE는 Cross-TS에 할당되더라도 인접한 엇갈리는 링크를 가진 셀로의 간섭의

영향을 크게 받지 않기 때문에, Heavy Zone에 있는 UE 중에서 NB와 가까운 거리에 있는 UE는 우선적으로 Cross-TS에 할당된다. 그러므로 제안된 알고리즘에서 UE를 NB와의 거리에 따라 정렬한 후 Heavy Zone에 있는 UE를 우선적으로 Cross-TS에 할당한다. 그리고 Cross-TS에 할당된 UE의 수가 $N_{Cross, Heavy}$ 보다 많아지게 되면 Normal-TS에 할당한다. UE가 Light Zone에 있을 경우에 Normal-TS와 Cross-TS의 구분없이 전통적인 동적 채널 할당 방안을 수행하되 선택된 타임 슬롯에 할당된 UE의 수가 $N_{Normal, Light}$ 혹은 $N_{Cross, Light}$ 보다 많다면 그 타임 슬롯을 제외한 타임 슬롯을 이용하여 다시 전통적인 동적 채널 할당 방안을 수행한다. 이는 타임 슬롯에 할당된 UE의 수가 식 2와 식 5의 값을 초과하지 않도록 하기 위함이다. 이렇게 함으로써 모든 타임 슬롯에 UE가 균일하게 할당됨은 물론, Heavy Zone에 있는 UE중에서 NB와 가까운 거리에 있는 UE가 Cross-TS에 할당되기 때문에 큰 성능저하가 발생되지 않는다.

IV. 성능 분석 및 고찰

본 절은 고정된 위치 기반의 동적 채널 할당 방안과 제안된 스마트 안테나 기반의 동적 채널 할당 방안의 모의 실험에 대해 논한다.

4.1 모의 실험 파라미터

그림 4는 모의 실험을 위한 셀 배치도를 나타낸다. 여기서 NB_0 과 NB_5 를 관측 셀로 하고 나머지 셀은 관측 셀에 있는 UE에게 간섭이 되도록 하였다. 또한 모의 실험 시간을 줄이기 위해 위의 그림과 같이 3개의 타임 슬롯만을 고려하였다. NB_0 를 포함한 오른쪽의 5개의 셀은 NB_0 와 같은 상·하향링크를 가지고, NB_5 를 포함한 왼쪽의 5개의 셀은 NB_5 와 같은 상·하향링크를 가진다. 이 셀들의 영역을 각각 도심과 외곽 지역으로 구분했다. TD-SCDMA 시스템은 음성 트래픽을 위해 한 타임 슬롯에 최대 8명의 UE가 할당될 수 있고, 한 셀이 3개의 섹터로 나뉘지기 때문에 셀 내의 한 타임 슬롯에 할당될 수 있는 UE의 수는 최대 24명이 된다.

본 모의 실험은 셀 단위로 DCA를 수행하는 방식 대신에 다음과 같이 각 셀의 UE를 차별로 선택하여 전체 셀의 부하를 동일하게 증가시키면서 수행하는 방법을 이용한다. 이때, 통화 단절 확률(Outage Probability)에 대한 결과를 얻기 위해 snap-shot 모의 실험을 충분히 반복하여 수행한다. 이 때 한 snap-shot 모의 실험 동안 UE는 이동하지 않고 주위의 환경 또한 변하지 않는다고 가정한다^[11].

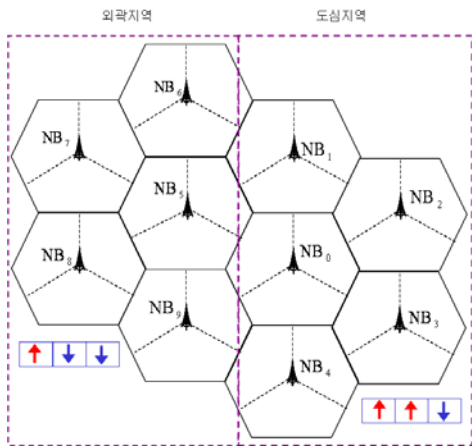


그림 4. 모의 실험을 위한 셀 배치도

그림 5는 모의 실험 순서도이다. 모든 섹터에 UE를 균등하게 발생시킨 후 경로 손실과 웨도잉을 이용하여 홈섹터를 선택한다. NB_0 의 첫 번째 섹터에 연결된 UE 중에서 NB와 거리가 가까운 순서에 따라 하나의 UE를 선택하여 동적 채널 할당을 수행한 후 타임 슬롯에 할당된 UE의 수신 SIR을 측

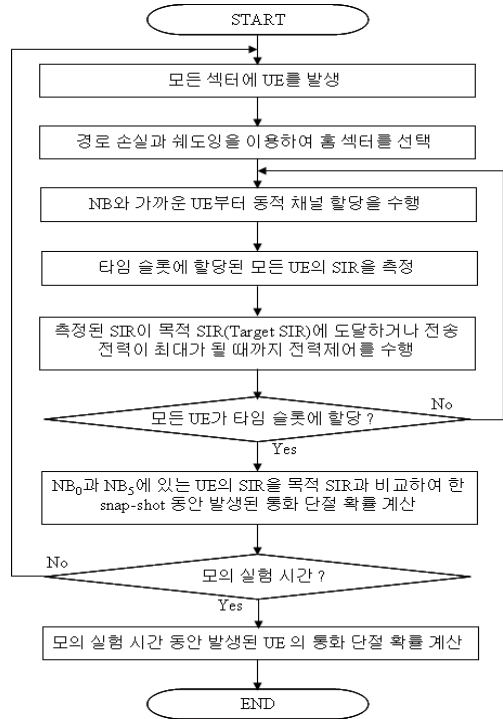


그림 5. 모의 실험 순서도

정한다. 수신된 SIR이 목적 SIR(Target SIR)에 도달하거나 전송 전력이 최대가 될 때까지 전력 제어를 수행한다. 그리고 발생된 모든 UE가 타임 슬롯에 할당될 때까지 이 과정을 반복한다. 모든 UE가 타임 슬롯에 할당되면 목적 SIR과 비교하여 수신 SIR이 목적 SIR보다 적은 UE는 통화 단절로 판단한다. 이 과정을 설정된 모의 실험 시간동안 수행하고 난 후 그동안 발생된 통화 단절 확률을 계산하고 모의 실험을 종료한다.

표 1은 모의 실험 파라미터를 나타낸다. 본 모의 실험에 적용된 섹터 스마트 안테나는 ULA에 의한 어레이의 이득과 각 섹터 안테나 이득의 곱으로 표현할 수 있다. 이 때 섹터 안테나의 반전력빔폭(Half Power Beam Width - HPBW)을 70° 로 적용하였고 후방 감쇄(Backward attenuation)를 64dB로 하였다^[10].

상대적으로 NB는 UE보다 높기 위치하기 때문에 NB와 UE 간의 최소 경로 손실인 Minimum Coupling Loss (MCL)은 70dB로 한다. 본 모의 실험을 위한 경로 손실 모델은 다음과 같다.

$$L = 128.1 + 37.6 \log_{10}(d) + \log_{10} F \quad (6)$$

표 1. 모의 실험 파라미터

파라미터	값
MCL macro	70dB
안테나 이득	22.5dBi
안테나 수	8
안테나 종류	ULA
섹터 안테나 반전력범폭	70°
backward attenuation	64dBi
셀의 반지름	700m
쉐도잉 표준편차	10dB
MUD Factor	0.9
측정 시간	25s
전력 제어	SIR-based PC
통화 단절 확률(%)	5%
최대 전송 파워	21dBm (UE)
	30dBm (NB)
목적 SIR	-0.12dB (UL)
	0.98dB (DL)
Noise power	-106dBm(UL)
	-104dBm(DL)
임계 거리	350m

이 때, d의 단위는 km이며 NB와 UE 사이의 거리를 나타낸다. F는 쉐도잉이다.

$$SIR = \frac{\widehat{I}_{or}}{I_{oc}} \quad (6)$$

$$(1 - \beta)(N_{CH} - 1) \times \frac{\widehat{I}_{or}}{I_{oc}} + N_{CH}$$

TD-SCDMA 시스템은 결합 검출을 사용하기 때문에 내부 셀 간섭을 MUD Factor의 비율로 줄일 수 있다. 여기서 MUD Factor가 0.9라면, 내부 셀 간섭을 90%까지 감소시킬 수 있는 것을 의미한다^[12]. 또한 본 모의 실험에서 수신 신호의 쉐도잉과 경로 손실을 보상할 수 있도록 SIR 기반의 전력 제어를 수행하였다^[13]. 여기서 목적 SIR값은 [14]에서 언급한 Channel case1의 환경으로 수행된 링크 레벨의 BLER (BLock Error Rate) 성능이 1%인

표 2. 링크 레벨에서 시스템 레벨 모의 실험 SIR에 대한 매핑 결과 및 파라미터[14]

	상향링크		하향링크	
	\widehat{I}_{or}/I_{oc}	SIR	\widehat{I}_{or}/I_{oc}	SIR
Channel Mapping	7.4dB	-0.12dB	19.1dB	0.98dB
링크 레벨 모의 실험 파라미터	N : 4명 Rx Diversity : ON target BLER : 10 ⁻² Codes/User : 1 Spreading Fator:8		N : 4명 Rx Diversity : OFF target BLER : 10 ⁻² Codes/User : 2 Spreading Fator:16	

\widehat{I}_{or}/I_{oc} 값을 시스템 레벨의 SIR로 매핑한 값이다.

여기서 \widehat{I}_{or}/I_{oc} 은 같은 섹터의 내부 셀 간섭을 포함한 수신 신호와 노이즈 전력(Noise Power)를 포함한 외부 셀 간섭의 비율이다. β 는 MUD Factor이며 N_{CH} 는 타임 슬롯 내에서 사용된 총 물리적 채널의 수를 의미한다. 링크 레벨에서 상·하향링크는 동일하게 결합 검출을 사용한다고 가정한다. 그러므로 시스템 레벨에서 SIR로의 매핑을 위해 상·하향링크 동일하게 위의 식을 적용할 수 있다.

표 2는 본 모의 실험을 위해 적용된 링크 레벨 모의 실험에서 시스템 레벨 모의 실험으로 매핑된 결과 및 링크 레벨 모의 실험에 대한 변수(parameter)이다. 12.2kbps의 음성 신호의 경우, 하향링크를 위해 확산지수 16을 가지는 두 개의 코드가 각 UE에게 할당되고, 상향링크는 확산 지수 8을 가지는 하나의 코드가 할당된다. 또한 상향링크로 전송되는 신호가 NB로 수신될 때 수신 다이버시티(Rx Diversity)를 적용하지만 하향링크는 UE가 하나의 안테나를 사용하기 때문에 수신 다이버시티의 이득을 얻을 수 없다. 따라서 하향링크보다 상향링크가 더 우수한 성능을 가진다.

고정된 위치 기반의 동적 채널 할당 방안의 임계 거리는 350m이다. 따라서 Inner Zone과 Outer Zone의 면적은 전체 셀의 50%씩 차지한다.

4.2 모의 실험 결과

그림 4와 그림 5는 Cross-TS과 Normal-TS에 대한 통화 단절 확률을 구하였다.

그림 4에서 고정된 위치 기반의 동적 채널 할당 방안이 가장 좋은 성능을 보이는데 이것은 상향링크에서 Cross-TS에 할당된 UE는 대부분 Inner Zone에 위치함으로써 간섭의 영향을 가장 적게 받기 때문이다. 반면에 하향링크에서는 Inner Zone의

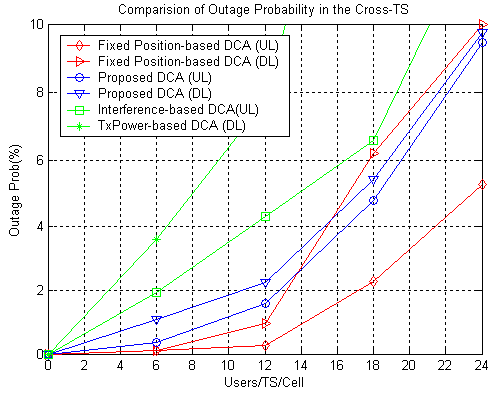


그림 4. Cross-TS의 통화 단절 확률

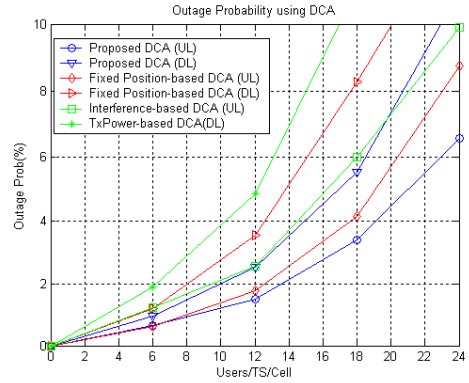


그림 6. 각 타임 슬롯의 평균 통화 단절 확률

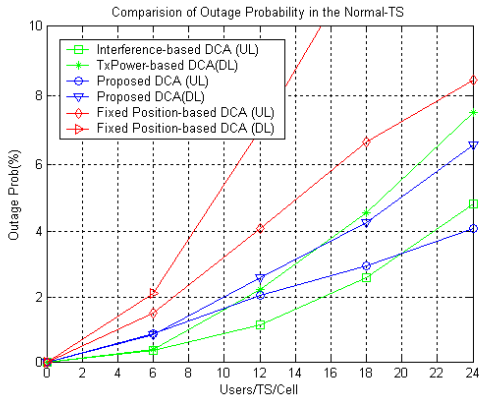


그림 5. Normal-TS의 통화 단절 확률

영역이 제한되어 있기 때문에, 외곽에 UE가 존재하더라도 Cross-TS에 UE를 할당해야 하는 경우가 발생하므로 UE가 증가할수록 제안된 동적 채널 할당 방안이 기존에 비해 성능이 감소한다.

그림 5는 Normal-TS의 성능을 비교한다. 고정된 위치 기반의 동적 채널 할당 방안에서 Cross-TS에 할당된 UE는 주로 Inner Zone에 위치하는 반면, Normal-TS에 할당된 UE는 Outer Zone에 있게 된다. 이 때 셀의 외곽에 위치한 UE는 인접한 셀로부터 간섭의 영향이 크므로 가장 나쁜 성능을 보인다. 반면에 제안된 동적 채널 할당 방안에서는, Heavy Zone에 있는 UE는 Normal-TS에 높은 우선 순위를 갖지만, Heavy Zone에서 NB와 가까운 UE가 Cross-TS에 할당되도록 미리 설정하였기 때문에 Heavy Zone에 있는 UE가 Normal-TS에 지나치게 많이 할당되는 것을 막을 수 있다. 또한 Normal-TS에 할당된 UE가 주로 셀의 외곽에 위치하는 고정

표 3. 셀 수용 용량의 비교 (Unit : Users/TS/Cell)

동적 채널 할당 방안	DL	UL
Cross-TS 통화 단절 확률		
최소 간섭 및 최소 전력 기반 DCA	8	14
고정된 위치 기반 DCA	16.5	23.5
제안된 DCA	17.3	18
Normal-TS 통화 단절 확률		
최소 간섭 및 최소 전력 기반 DCA	19	24
고정된 위치 기반 DCA	9	14
제안된 DCA	20	24
평균 통화 단절 확률		
최소 간섭 및 최소 전력 기반 DCA	12	16
고정된 위치 기반 DCA	13.5	19
제안된 DCA	17	21

된 위치 기반의 동적 채널 할당 방안과 달리 Cross-TS와 Normal-TS의 구분없이 간섭과 전송 전력에 따라 채널을 할당함으로써 상대적으로 좋은 성능을 보인다.

그림 6은 Normal-TS와 Cross-TS를 포함하는 전체 타임 슬롯에 대한 평균 통화 단절 확률을 구하였다. 제안된 동적 채널 할당 방법이 전체적으로 좋은 성능을 보인다. 기존의 다른 동적 채널 할당 방법은 Cross-TS와 Normal-TS 중에서 한 타임 슬롯의 성능이 우수하면 다른 타임 슬롯의 성능이 나빠기 때문에 제안된 동적 채널 할당 방법에 비해 성능이 떨어지게 된다.

표 3은 그림 4에서 그림 6까지의 결과에서 통화 단절 확률이 5%를 만족하는 경우, 타임 슬롯에 할당될 수 있는 최대 UE의 수를 나타낸다. 제안된 동

적 채널 할당 방안은 Cross-TS에서 상향링크로 연결된 경우를 제외하고 모두 가장 좋은 성능을 보인다. 제안된 동적 채널 할당 알고리즘을 사용할 때 하향링크의 결과에서 전통적인 동적 채널 할당 방안에 비해 5명, 고정된 위치 기반의 동적 채널 할당 방법에 비해 3.5명의 이득이 발생하고 상향링크의 결과에서 5명과 2명의 성능 이득을 보인다.

V. 결 론

본 논문에서는 TD-SCDMA 시스템에서 비대칭 트래픽에 따른 간섭을 억제하기 위한 방안으로 동적 채널 할당을 이용하였다. TD-SCDMA에 적용된 스마트 안테나 이득을 이용하여 인접한 셀 간 간섭이 억제되는 영역과 그렇지 않은 영역으로 구분한 후 각 영역에 위치한 UE에 따라 타임 슬롯에 할당하는 방안을 제안하였다. 또한 각 타임 슬롯에 할당할 UE의 수가 동일하도록 미리 결정하여 특정 타임 슬롯에 지나치게 많은 UE가 할당되어서 성능이 저하되는 것을 막을 수 있었다. 모의 실험 결과, 기존의 동적 채널 할당 방안은 Cross-TS의 성능이 증가되는 반면 다른 타임 슬롯의 성능이 크게 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 제안된 동적 채널 할당 방안은 스마트 안테나 특성을 활용한 동적 채널 할당으로 전체적인 성능이 향상되는 것을 알 수 있었다. 제안된 동적 채널 할당 방법은 기존의 전통적인 동적 채널 할당 방법과 고정된 위치 기반의 동적 채널 할당 방법에 비해 하향링크는 41.6%와 25.9%의 이득을 얻을 수 있고, 상향링크는 31.3%와 10.5%의 이득을 얻을 수 있었다.

제안된 동적채널할당 방식은 다음과 같은 사항을 추가로 고려하여 추후 연구로 진행될 수 있다. (1) 무선채널 환경의 변화 등에 따른 위치추정결과 향상 방안 및 위치추정 부정확성에 따른 성능 저하 정도, (2) 동적채널할당을 구현하기 위한 RNC 또는 NB 기능 및 프로토콜, (3) 다양한 트래픽을 고려한 환경에서 제안된 동적채널할당 방식의 성능 평가.

참 고 문 헌

[1] B. Li, D. Xie, S. Cheng, J. Chen, P. Zhang, W. Zhu, "Recent Advances on TD-SCDMA in China," *IEEE Communi. Mag.*, pp.30-37, Jan. 2005
 [2] I. Spyropoulos, James R. Zeidler, "Dynamic

Channel Allocation and Space-Time LMMSE Joint Detection in a TDD/CDMA Cellular Network with Traffic Asymmetry," *IEEE VTC*, pp.3066-3070 Apr. 2007
 [3] H. Haas, S. McLaughlin, "A Dynamic Channel Assignment Algorithm for a Hybrid TDMA/CDMA-TDD Interface Using the Novel TS-Opposing Technique," *IEEE JSAC*, Vol.19, pp.1831-1846 Oct. 2001
 [4] H. Yomo, S. Hara, "An Up-link/Down-link Asymmetric Slot Allocation Algorithm in CDMA/TDD-Based Wireless Multimedia Communications Systems," *IEEE VTC*, Vol. 2, pp.781-791 Oct. 2001
 [5] A. Sivarajah, H.S. Al-Raweshidy, "Dynamic channel allocation for ongoing calls in UTRA TDD system," *IET*, pp.1197-1198, Sep. 2004
 [6] Seminar on TD-SCDMA Network Planning and Optimization, "http://www.tdscdma-forum.org," Nov. 2006
 [7] M. Peng, J. Zhang, X. Zhu, W. Wang, "A Novel Dynamic Channel Allocation Scheme to Support Asymmetrical Services in TDD-CDMA Systems," *ICCT*, Vol.2, pp794-798, Apr. 2003.
 [8] L. Jin, B. Wang, P. Zhang, "A Novel TD-SCDMA Fast DCA Algorithm Based on the Positions of Users," *ISCIT*, Vol. 2, pp.836-839, Oct. 2005
 [9] 3GPP TR25.922 v7.0.0, "Radio resource management strategies," Dec. 2006
 [10] A. Czylik, A. Dekorsy, "System-Level Performance of Antenna Arrays in CDMA-Based Cellular Mobile Radio Systems," *EURASIP JASP*, pp.1308-1320, Sep. 2004
 [11] 3GPP TR 25.942 v6.4.0, "Radio Frequency(RF) systems scenarios," Mar. 2005
 [12] M. Peng, W. Bao, W. Wang, W.Hu, "Investigation of Uplink Admission Control Schemes for TDD-CDMA Systems," *ICCA*, Vol.1, pp.443-446, Jun. 2004
 [13] B. Wegmann, M. Hellmann, "Analysis of power control target levels in TURA-TDD," *IEEE PIMRC*, Vol 2, pp.1216-1220, Sept.2000
 [14] 3GPP TR 25.945 v6.4.0, "RF requirements for 1.28Mcps UTRA TDD option," Apr. 2004

김 은 현 (Eun-Heon Kim)

준회원



2004년 2월 영남대학교 정보통신
공학과 졸업
2005년 9월~현재 인하대학교 정
보통신공학과(석사과정)
<관심분야> MIMO, CDMA,
OFDM

박 재 현 (Jae-Hyun Park)

준회원



2006년 2월 인하대학교 정보통신
공학과 졸업
2006년 2월~현재 인하대학교 정
보통신공학과(석사과정)
<관심분야> CDMA, OFDM

김 덕 경 (Duk-Kung Kim)

정회원



1992년 2월 연세대학교 전기공학
과 졸업
1994년 2월 한국과학기술원 전기,
전자 공학과(석사)
1999년 2월 한국과학기술원 전기,
전자 공학과(박사)
2000년 3월 일본 NTTDoCo- Mo

박사 후 연구 과정

2002년 2월 SK 텔레콤 연구원

2002년 3월~현재 인하대학교 정보통신공학부 조교수

<관심분야> CDMA, OFDM, UWB, MIMO