

# 하향링크 고속 패킷 전송을 위한 계층적 셀 구조에서의 기지국간 부하 분배

## (Load Sharing in Hierarchical Cell Structure for High Speed Downlink Packet Transmission)

정 동 근 <sup>†</sup> 전 화 속 <sup>\*\*</sup>

(Dong Geun Jeong) (Wha Sook Jeon)

**요 약** 본 논문에서는 계층적 셀 구조에서 umbrella 셀과 overlaid 셀 사이의 부하 분배 문제를 연구한다. 부하 분배 정책을 제안하고 HSDPA에서 인터넷 트래픽을 전달하는 경우를 시뮬레이션하여 제안된 정책의 성능을 평가한다. 평가 결과, 마이크로 셀이 피코 셀의 부하를 잘 분담해주는 것으로 나타났으며, 특히 특정한 피코 셀 집단에 큰 부하가 가해졌을 경우에 그 효과가 크게 나타났다. 이 정책을 사용할 경우, 비정상적인 큰 부하에 대처하기 위해 필요한 용량을 확보할 필요가 없으므로 시스템 설치비용을 줄일 수 있게 된다.

**키워드** : 이동통신, 계층적 셀 구조, 기지국간 부하분배, 고속 패킷 전송

**Abstract** We investigate the load sharing problem between the umbrella cell and the overlaid cells in hierarchical cell structure. A load sharing strategy is proposed and its performance is evaluated by simulation when it is used for transmission of the mobile Internet traffic using the High Speed Downlink Packet Access scheme. The results show that, with the proposed strategy, the microcell backs well the overlaid picocells up, especially when a specific picocell cluster suffers unusual heavy load condition. By using the strategy, we can reduce the installation cost, otherwise needed for increasing the system capacity of every picocell cluster to cope with the unusual heavy load.

**Key words** : mobile communications, hierarchical cell structure, load sharing strategy, high speed downlink packet transmission

### 1. 서 론

진보된 이동통신 시스템은 다양한 멀티미디어 서비스를 제공해야하며, 서로 다른 이동성을 가지는 사용자들을 지원하고, 무선 자원을 효율적으로 사용해야 한다. 위와 같은 조건을 충족시키기 위하여 수많은 기술적 문제들이 해결되어야만 한다. 이 논문에서는 그러한 문제들 중에서 계층적 셀 구조를 가진 망에서의 고속 하향 패킷 전송에 초점을 맞춘다. 이 연구의 주된 동기는 다음과 같

이 세 가지로 요약될 수 있다.

#### 1.1 계층적 셀 구조

차세대 이동통신 시스템은 음성, 화상 전화, 고속 인터넷 접속, 이동 컴퓨팅 등의 멀티미디어 서비스를 제공해야한다. 동시에 다양한 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해서는 작은 셀들이 몇 개의 큰 셀들 위에 중첩된 구조가 효과적이다. 이러한 셀 구조를 중첩 셀 구조, 혹은 계층적 셀 구조(HCS: hierarchical cell structure)라고 한다[1].

HCS에서 umbrella 셀과 smaller 셀이 같은 서비스를 제공할 수 있을 경우, 두 가지 셀 사이의 부하 분배가 중요한 과제가 된다. 예를 들어, umbrella 셀 위에 smaller 셀이 중첩되어 있기 때문에 부하 분배 문제가 있어서 smaller 셀을 기본 셀로 사용하고 umbrella 셀을 smaller 셀의 백업(backup) 용도로 사용할 수 있다.

· 이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음 (KRF-1999-041-E00216).

<sup>†</sup> 종신회원 : 한국외국어대학교 전자정보공학부 교수  
dgjeong@hufs.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 서울대학교 컴퓨터공학부 교수  
jeon@cse.snu.ac.kr

논문접수 : 2002년 5월 24일  
심사완료 : 2002년 6월 26일

다시 말하면, smaller 셀 내부의 사용자는 smaller 셀에 통상적인 부하가 인가된 경우에는 smaller 셀로부터 서비스를 받고, smaller 셀이 비정상적으로 큰 부하를 받을 경우는 umbrella 셀로부터 서비스를 제공받을 수 있다. 이 논문에서는 smaller 셀과 umbrella 셀 사이의 부하 분배 방법에 대해 연구한다.

**1.2 고속 데이터 전송**

진보된 이동통신 시스템에서는 고속 데이터 전송 서비스를 위해 패킷 기반의 데이터 전송이 널리 사용된다. 패킷 데이터 통신에서는 한 호(정확히 말하면 한 세션)가 오랜 기간 유지되며 그 세션동안 여러 개의 패킷이 버스트(burst)하게 전달 되게 된다. 이러한 상황에서는 시스템에 가해지는 부하를 세션 단위가 아닌 패킷 단위로 나타낼 수 있다. 그러므로 패킷 형태의 통신에서는 자원을 패킷 단위로 관리해야 한다.

고속 패킷 데이터 전송에서는 하향링크와 상향링크 트래픽의 비대칭성이 또 다른 중요한 특성이다[2],[3]. 예를 들어 인터넷 접속시 하향링크를 통해서는 큰 파일이 전송되게 되는 반면, 상향링크를 통해서는 상대적으로 짧은 명령어가 전달 되게 된다. 이로 말미암아 두 링크 사이에 심각한 트래픽 불균형이 유발된다. 위와 같은 상황에서 최소한 전파 자원을 효율적으로 이용하여 패킷 데이터를 전달하기 위해서는 하향링크 용량이 증가되어야만 한다. 고속 하향 패킷 전송을 지원하기 위해 3GPP2(3rd Generation Partnership Project 2)의 HDR(High Data Rate)[4], 1xEV-DV[5]와 3GPP의 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)[6] 등의 여러 시스템 표준이 제안되었다. 이들 시스템은 공통적으로 고속 하향링크 채널을 여러 사용자가 공유하도록 하고 있다. 반면 상향링크는 하향링크에 비해 매우 낮은 전송 속도를 지원한다. 이 논문에서는 보다 중요한 하향링크를 중점적으로 다루도록 한다. 또한 위의 여러 시스템을 대표하여 HSDPA의 동작을 단순화시킨 모델을 사용하도록 한다. 비록 HSDPA를 기반으로 한 모델을 사용하지만 이 논문의 논의와 결과들은 작은 수정만으로 3GPP2의 1xEV-DV 시스템 등의 다른 무선 시스템에도 적용될 수 있을 것이다.

**1.3 인터넷 트래픽**

HSDPA로 제공할 수 있는 서비스 중에서 웹 브라우징, 전자 메일, 파일 전송 등의 이동 인터넷 접속이 큰 비율을 차지할 것으로 보인다. 이 논문에서는 고속 하향 패킷 전송을 요구하는 서비스 중에서 대표적으로 인터넷 서비스를 다루기로 한다.

이 연구에서는 위에 언급된 세 가지 기술적 과제를

고려하여 고속 하향 패킷 전송에서의 무선자원관리, 그 중에서도 HCS구조 내에서 umbrella 셀과 overlaid 셀 사이의 부하 분배 문제에 관하여 연구하고 합리적인 부하 분배 정책을 제시한다. 또한 제안된 부하 분배 정책이 이동 인터넷 트래픽을 전송하는데 적용되었을 경우의 효율성을 평가한다.

이 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되어 있다. 다음 절은 이 논문에서 다루는 시스템 모델 및 시뮬레이션 모델을 설명하고, 3 절에서는 부하 분배를 위한 정책을 제시한다. 4 절에서는 시뮬레이션 결과를 보여주고 그에 대해 토의한다. 마지막 5 절은 이 논문의 결론이다.

**2. 시스템 모델**

이 단락에서는 연구에 사용된 시스템 모델을 설명한다. 3 절에서 제시할 부하 분배 정책의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 파라미터 일부는 편의를 위해 이번 단락에서 미리 제시하도록 한다. 나머지 시뮬레이션 모델과 파라미터들은 4 절에서 다루도록 한다.

**2.1 계층적 셀 구조**

HCS는 전파 자원을 효율적으로 사용하여 다양한 종류의 서비스를 제공하기 위해 채택된다. HCS는 주로 도시지역에서 필요하기 때문에 이 논문에서도 도시지역만을 고려하도록 하겠다. 전형적인 도시지역에서의 HCS는 실외 마이크로 셀(큰 규모의 셀)과 실내 피코 셀(작은 규모의 셀)의 두 계층으로 구성된다.

실외 마이크로 셀은 보통 거리에 설치된다. 이 셀들은 기본적으로 도로에 있는 행인들과 (저속의) 자동차 탑승 사용자들을 서비스하게 된다. 또한 마이크로 셀들은 가능하다면 건물 내의 사용자들에게도 서비스를 제공한다. 반면 중첩된 피코 셀들은 통신 부하가 집중되는 핫스팟(hot-spot)에 설치된다. 이러한 핫스팟에는 버스나 지하철 정류장, 호텔, 쇼핑몰 등이 포함될 수 있으며 대부분 큰 빌딩 안에 위치하게 된다. <그림 1>은 두 계층으로 이루어진 HCS의 한 예이다. 지금부터 마이크로 셀(umbrella cell)의 기지국을 마이크로-기지국이라 하고, 피코 셀(overlaid cell)의 기지국을 피코-기지국이라 부르기로 한다.

하나의 마이크로 셀 위에 여러 개의 피코 셀들이 중첩되어 있는 구조를 고려해 보자. 모든 피코 셀들은 같은 주파수 영역에서 동작한다고 가정한다. 그러나 마이크로 셀과 피코 셀들은 서로 다른 주파수를 사용한다고 가정한다. <그림 1>은 시뮬레이션에 사용된 셀 구조의 한 예이다.

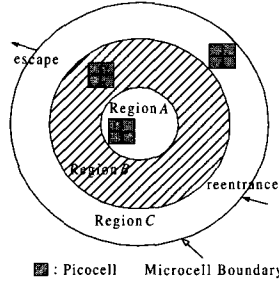


그림 1 계층적 셀 구조의 예

모든 피코 셀들은 빌딩 내에 위치하며, 한 빌딩을 다수의 피코 셀이 서비스한다. 또한 피코 셀들은 빌딩 내의 한 층에만 설치된다고 가정한다. 이 논문에서 서로에게 간섭을 주는 피코 셀들의 집단을 피코 셀 클러스터라고 부르기로 한다. 시뮬레이션에서 피코 셀들은 사각형으로 표현되며 한 피코 셀 클러스터는 <그림 1>에서처럼 네 개의 피코 셀로 구성된다. 피코 셀의 한 변의 길이는 20 m로 한다. 그러므로 피코 셀 클러스터의 서비스 지역은 한 변의 길이가 40 m인 정사각형이 된다. 마이크로 셀의 서비스 지역은 반지름이 1000 m인 원형으로 한다. 기지국은 각각의 피코 셀과 마이크로 셀의 중심에 위치한다. 마이크로 셀의 서비스 지역을 지역 A, 지역 B, 지역 C의 세 부분으로 나눈다. 중심에서 지역 A와 지역 B의 경계선까지의 거리는 100 m가 되며 중심에서 지역 B와 지역 C의 경계선까지의 거리는 900 m로 한다.  $R \in \{A, B, C\}$  일 때 지역 R에는  $M_R$ 개의 피코 셀 클러스터가 균일하게 분포하게 된다. <그림 1>은  $M_A=1, M_B=1, M_C=1$ 인 경우이다.

기지국은 BTS(base station transceiver system)와 BSC(base station controller) [or RNC(radio network controller)]로 구성된다. 앞으로 특별히 언급해야 할 경우가 아니라면 BTS 대신에 기지국이라는 용어를 쓰도록 한다. 한 마이크로 셀 안에 속하는 마이크로-기지국과 마이크로 셀 위에 중첩되어 있는 모든 피코-기지국은 같은 RNC에 의해 통제된다. 피코 셀 범위 밖에 있는 단말기는 오직 마이크로-기지국에서만 서비스를 제공받을 수 있다. 피코 셀 범위 안에 있는 단말기는 피코-기지국이나 마이크로-기지국에서 서비스를 받을 수 있다. 단말기가 피코-기지국에서 서비스를 받을 때 가장 좋은 채널 품질을 제공하는 피코-기지국을 선택할 수 있다. 따라서 단말기에게 서비스를 제공하는 피코-기지국은 지리적으로 단말기에서 가장 가까운 피코-기지국이 아닐 수도 있다. 이러한 관점에서 피코 셀 사이의 경

계는 진정한 의미의 셀 경계라고 보기는 어렵다.

2.2 이동 인터넷 접속의 전체적인 구조

<그림 2>는 HCS에서의 전형적인 이동 인터넷 접속을 나타내고 있다. 이 경우 인터넷 접속 모델은 단말기가 인터넷 서비스의 클라이언트인 서버-클라이언트 모델이라 볼 수 있다. 서버와 단말기 사이의 인터넷 연결은 코어 네트워크와 기지국을 통해 이루어진다. 종단간 연결에서 HSDPA는 하향 무선 접속 시스템(radio access system)의 역할을 한다.

이 논문에서는 여러 인터넷 서비스 중 대표적으로 웹 브라우징만을 고려하도록 한다. 단말기가 HTTP(Hypertext Transfer Protocol)를 통해 웹 페이지를 전송 받는 웹 브라우징 세션을 생각해보자. HTTP는 TCP를 전송 계층 프로토콜로 사용하기 때문에 웹 페이지 전송 전에 단말기와 서버 사이의 TCP 연결이 먼저 이루어져야 한다. TCP 연결이 성립되면, HTTP의 데이터는 TCP 서비스 데이터 단위(세그먼트)로 나누어지게 된다. 그 다음으로 TCP 세그먼트는 IP 패킷을 형성한다. IP 패킷은 IP 주소와 적절한 라우팅 정책에 따라 코어 네트워크를 통해 목적지 단말기를 서비스하고 있는 기지국으로 전달된다. 단말기가 피코 셀에 있을 경우 패킷이 전달되는 기지국은 마이크로-기지국이나 피코-기지국이 될 것이다. 기지국에서 IP패킷은 다시 몇 개의 HSDPA PDU(protocol data unit)로 나누어지게 된다. 기지국은 그 PDU들을 목적지 단말기로 전송한다. 트래픽 흐름에서 기지국은 무선 전송 구간과 코어 네트워크 사이의 게이트웨이 역할을 하게 된다. 그러므로 기지국은 HSDPA 프로토콜 스택과 코어 네트워크 액세스 프로토콜을 모두 가지고 있어야만 한다. 기지국은 또한 IP 계층을 가진다.

2.3 인터넷 트래픽 모델

<그림 2>에 예시된 것과 같은 HTTP/TCP 프로토콜 스택을 사용하는 웹 브라우징이나 다른 유사한 인터넷 접속을 트래픽 모델로서 고려할 수 있다. 그러나 이 는

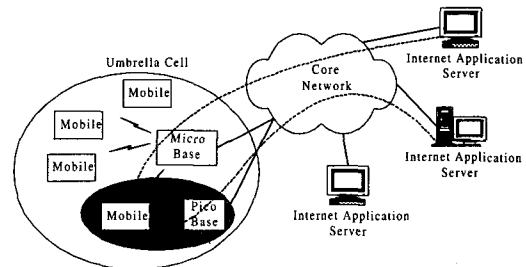


그림 2 이동 인터넷 액세스의 전체 구조

문에서는 RNC에 도달하는 트래픽 도착 과정만을 고려한다. 다시 말해, 서버에서의 실제 트래픽 생성과정을 포함시키지 않아도 제안된 부하 분배 정책의 상대적인 장점과 단점을 비교할 수 있기 때문에 트래픽 생성과정은 고려하지 않는다. 이러한 형태의 웹 트래픽 모델을 "open-loop" 모델 [6]이라 한다.

하나의 웹 세션 중에는 "패킷 콜(packet call)"과 "읽는 시간(reading time)"이 번갈아 가면서 나타난다. 패킷 콜은 하나의 웹 페이지에 상응하는 트래픽으로, 여러 개의 패킷으로 구성된다. 패킷 콜 지연은 사용자가 웹 페이지를 요청했을 때부터 전체 페이지가 도착 할 때까지 걸리는 시간을 의미하므로 사용자 입장에서는 가장 중요한 성능의 척도가 된다.

시뮬레이션에서 각각의 패킷 콜은 평균이 25 kbytes 인 절단된 파레토 분포(Truncated Pareto distribution)를 따르도록 한다. '읽는 시간'은 평균이 5초인 기하 분포(geometric distribution)를 따르는 모델을 사용한다. 읽는 시간은 단말기가 한 패킷 콜에서 요구한 모든 패킷을 전송 받았을 때 시작된다. 각각의 패킷 콜은 최대 크기가 1500 bytes인 개별적인 패킷들로 나누어진다. 두 개의 연속된 패킷 사이의 시간 간격은 기하 분포를 따르는 것으로 한다. 해당 파라미터 값은 [6, Table 37]에 제시되어 있다.

위에서 설명했듯이 RNC는 하나의 패킷을 무선 인터페이스(즉, HSDPA)의 PDU로 분할해서 전송한다. 예러가 발생한 PDU의 최대 재전송 횟수는 8번으로 제한한다. 만일 8번째에도 PDU전송이 실패하면 전송에 실패한 PDU를 포함하고 있는 전체 패킷을 재전송한다.

### 2.4 하향 무선 인터페이스(HSDPA) 모델

이 논문은 [6]에 제시된 HSDPA 모델을 따른다. 이 모델의 구체적인 사항은 [7]에 설명되어 있다.

## 3. 기지국 사이의 부하 분배

### 3.1 패킷 전송 제어

패킷 전송 제어는 RNC에서 서비스를 제공할 기지국을 선택하는 과정과 각각의 기지국에서 전송을 스케줄링하는 과정으로 이루어진다고 가정한다.

먼저 각 기지국의 패킷 전송 스케줄러부터 살펴보도록 한다. 기지국에 하나 이상의 전송해야 할 패킷이 있을 경우에 스케줄러는 패킷들간의 전송 우선 순위를 결정하게 된다. 이 논문에서는 [7]에서 제안된 스케줄러를 사용한다. 이 스케줄러는 TCP 연결에서 slow-start를 유발할 수 있는 과도한 패킷 전송지연을 피하도록 설계되었다. 그러므로 이 스케줄러는 무선 인터페이스의 관

점에서보다 중단간 전송의 관점에서 봤을 때 성능이 최대가 되도록 설계되었다. 스케줄러에 대한 자세한 사항은 [7]에 설명되어 있다.

이 단락의 나머지 부분은 이 논문의 주요 내용인 부하 분배 정책(즉, 패킷 전송시 어느 기지국에서 서비스를 받을지 결정하는 정책)에 초점을 맞춘다. 피코 셀에 속해 있는 단말기는 마이크로-기지국나 피코-기지국로부터 서비스를 받을 수 있다. 그러므로 단말기의 서빙(serving) 기지국이 결정되어야만 한다. 전통적인 회선 연결(예컨대 음성 호)에서는 핸드오프가 서빙 기지국을 바꾸는 과정이 된다. 그러나 인터넷 서비스 세션은 보통 긴 시간 동안 지속되므로 서빙 기지국을 바꿀 확률이 높다. 게다가 인터넷 서비스 세션에서는 보통 시간 간격을 두고 여러 개의 패킷이 뭉쳐서 한꺼번에 도착하게 된다(burst). 그러므로 패킷 전송시에는 각각의 패킷이나 패킷 콜마다 서비스할 셀을 결정하는 것이 더 좋다. 이러한 패킷 기반의 셀 선택 과정은 회선 연결에서의 핸드오프 과정에 해당된다.

하향 패킷이 RNC에 도착했을 때 RNC는 3.2절에서 설명되는 정책에 의해 서비스 받을 기지국을 결정한다. 서빙 기지국이 결정되는 즉시 서빙 기지국로 패킷이 전송된다. 만일 서빙 기지국에 트래픽이 많아서 도착한 패킷을 즉시 전송할 수 없다면 기지국의 큐에서 대기하게 된다. 기지국에서 대기 중인 패킷의 전송 순서는 [7]에 제시된 스케줄러에 의해 결정된다. 서로 다른 기지국에서 전달되는 패킷들은 서로 다른 대기시간을 경험하게 된다. 결과적으로, 단말기는 보통의 경우 순서에 맞지 않게 패킷을 전달받게 된다. 단말기의 링크 계층 프로토콜이 패킷의 순서를 바로 잡는 기능을 한다고 가정한다.

### 3.2 제안된 부하 분배 정책

지금부터 셀 선택 정책을 살펴보자. 기본적인 개념은 피코 셀 지역에서 마이크로 셀이 피코 셀을 뒷받침(backup)하는 역할을 하는 것이다.

정책은 채널 품질의 측정을 기초로 동작한다. 피코 셀 지역의 단말기를 고려해 보자. 각각의 패킷 콜 전송이 끝날 때마다 채널 품질에 따라 서빙 기지국이 바뀌게 된다. 우선적으로 피코-기지국이 단말기의 서빙 기지국이 된다. 단말기는 통신이 가능한 피코-기지국으로 이루어진 액티브 셋(active set)을 관리한다. 단말기는 액티브 셋에 속해 있는 각각의 피코-기지국으로부터의 파일럿(pilot) 신호의 SIR(signal-to-interference ratio)을 측정하여 패킷 콜 지속시간 동안의 평균값을 얻는다. 패킷 콜 전송이 끝나면 가장 높은 평균 SIR을 가진 피코-기지국을 정하게 된다. 그 다음으로 단말기는 가장 좋

은 채널 품질을 가진 피코-기지국과 그 평균 SIR을 네트워크에 보고한다. 지금부터 편의상 '평균 SIR'이란 용어 대신 'SIR'을 사용하도록 하겠다.

피코-기지국으로부터의 SIR을 측정하는 동안 단말기는 마이크로-기지국의 채널 품질 또한 알아야 한다. 그러나 피코-기지국과 마이크로-기지국이 서로 다른 주파수 대역을 사용한다면 단말기가 피코-기지국과 통신하는 도중에는 마이크로-기지국의 하향 채널의 품질을 측정할 수 없게 된다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 피코-기지국이 자신의 영역 안에 있는 단말기를 대신해 마이크로-기지국으로부터의 파일럿 채널의 SIR을 측정하는 방식을 사용한다. 피코-기지국에 의해 측정된 SIR을 단말기에서 측정된 SIR로 간주한다. 피코-기지국은 측정된 SIR을 일정한 기간 동안 평균한다. 본 연구에서는 그 기간을 1초로 설정했다. 이 시간은 빠른 페이딩(fast fading) 효과를 평균해서 사라지게 하기에 충분한 기간이다. 그러므로 평균한 SIR은 거리에 따른 감쇄(pathloss)와 섀도잉(shadowing) 효과만을 반영하게 된다.

또한 마이크로-기지국과 피코-기지국은 각각 하향 전송 큐의 길이를 1초 동안 평균한 값을 계산한다. 이 큐 길이는 각 기지국의 부하의 정도를 나타내는 척도가 된다.

3.2.1 피코-기지국에서 마이크로-기지국으로의 서빙 기지국 변경

패킷 콜 전송이 끝났을 때 가장 채널 품질이 좋은 피코-기지국의 하향 파일럿 채널의 SIR을  $\gamma_p$ 라고 하자. 그리고  $\gamma_M$ 을 가장 최근에 갱신한 마이크로-기지국의 하향 파일럿 채널의 (피코-기지국에서 측정된) SIR이라고 하자. 그리고  $Q_P$ 와  $Q_M$ 을 각각 피코-기지국과 마이크로-기지국의 주기적으로 갱신되는 평균 하향링크의 전송 큐의 길이라고 하자. 패킷 콜 전송이 끝난 후 만약  $\gamma_M/\gamma_P > T_{CH}$ 이고  $Q_P/Q_M > T_Q$ 라면 다음 패킷 콜 전송 때

는 마이크로-기지국이 서빙 기지국의 역할을 하게 된다.

서빙 기지국을 바꾸게 되는 또 다른 경우가 존재한다. 가장 좋은 채널 품질을 가지는 피코-기지국이 선택되었어도 나쁜 채널 품질이나 기지국의 높은 트래픽 부하 때문에 오랜 시간동안 패킷을 전송 받지 못하게 되는 경우가 있다. 만일 피코-기지국이 1초 이상 패킷을 전송하지 못하는 경우에는 단말기는 다른 피코-기지국을 선택하게 된다. 만일 새로 선택된 기지국이 이전의 기지국과 같다면 (이것은 모든 피코-기지국의 채널이 나쁘다는 것을 의미한다.) 다음 패킷 콜 전송에서는 마이크로-기지국이 서빙 기지국으로 동작하게 된다.

서빙 기지국을 변경할 때 네트워크는 컨트롤 채널을 통해 그 사실을 단말기에게 알리게 된다. 또한 네트워크는 변경 직전에 서비스를 제공한 피코-기지국을 기록해 둔다.

3.2.2 마이크로-기지국에서 피코-기지국으로의 서빙 기지국 변경

마이크로-기지국은 피코-기지국을 뒷받침해 주는 시스템이기 때문에 가능한 빨리 서빙 기지국으로서의 역할을 피코-기지국에게 넘겨야 한다. 피코-기지국으로 서빙 기지국을 변경하는 경우는 두 가지가 있다. 첫째로, 패킷 콜 전송이 끝난 후 RNC는 가장 마지막에 서비스를 담당했던 피코-기지국의 전송 큐 길이를 검사한다. 만일 그 기지국의 전송 큐 길이가 줄어들었다면 다음 전송 시 마지막에 서비스를 담당했던 피코-기지국이 서빙 기지국의 역할을 하게 된다. 둘째로, 마이크로-기지국으로 서빙 기지국을 변경한 후 기지국이 일정 시간(이 논문에서는 1초) 동안 아무 패킷도 전송하지 못했다면 마지막에 서비스를 담당했던 피코-기지국이 서빙 기지국이 된다.

4. 시뮬레이션과 결과

제안된 정책의 성능을 평가하기 위해 <그림 1>에 제시된 것과 같은 12개의 피코 셀과 하나의 마이크로 셀 환경에서의 통계 자료를 산출하였다. 지역 A, B, C에 있는 피코 셀 클러스터들을 각각 클러스터 1, 2, 3이라 하자. 이동성 모델, 채널 모델, 전력 할당과 MCS 선택에서의 가정, 그리고 재전송 방법 등의 시뮬레이션 모델은 [7]에 따른다. 단 단말기의 이동 속도는 평균이 2 km/h이고 표준편차가 1 km/h인 균등 분포에 의해 결정되도록 하였다.

우선 백업 시스템(즉, 마이크로 셀)에 의한 부하 분배의 효과를 평가하였다. 시뮬레이션은 특정 피코 셀 클러스터(클러스터 1)에 비정상적인 높은 부하를 가한 상황에서 행하여졌다.  $M_k$  ( $k=1,2,3$ )를 클러스터  $k$ 의 한 셀

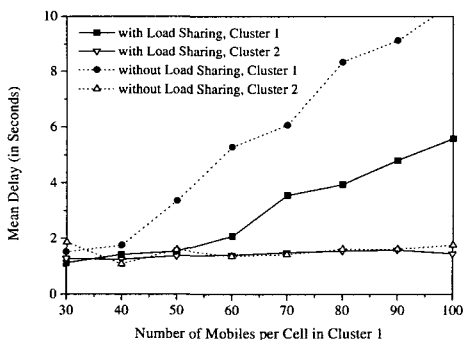


그림 3  $M_1$ 에 따른 각 클러스터에서의 평균 패킷 콜 지연

당 단말기 수라고 하자. 이 시뮬레이션에서  $M_2$ 와  $M_3$ 는 30으로 고정된다. <그림 3>은  $M_1$ 에 따른 각각의 클러스터에서의 평균 패킷 콜 지연을 나타낸 것이다. 피코 셀 바깥의 마이크로 셀 영역에는 단말기가 없다고 가정한다. 부하 분배 정책을 적용하지 않은 경우, 즉 마이크로 셀이 클러스터 1의 단말기를 서비스해 줄 수 없는 경우에는  $M_1$ 이 증가함에 따라 클러스터 1의 지연이 매우 빠르게 증가한다. 그러나 부하 분배 정책이 적용된 경우, 즉 마이크로 셀이 피코 셀을 뒷받침해 줄 수 있을 경우에는  $M_1$ 이 증가함에 따라 지연이 상대적으로 천천히 증가한다. 클러스터 2에 있는 단말기의 지연은 높은 부하가 가해진 상태가 아니기 때문에 부하 분배 정책이 가해진 경우와 가해지지 않은 경우가 별다른 차이를 보이지 않는다.

이 논문의 트래픽 모델에서 패킷 콜은 직전의 패킷 콜이 모두 전송된 다음에야 시작하게 된다. 그러므로 패킷 콜의 지연이 커질수록 낮은 처리량을 보인다. 이것은 <그림 4>에 나타나 있다. <그림 4>는  $M_1$ 에 따른 각 클러스터에서의 총 처리량의 그래프이다. 부하 분배 정책

이 적용된 경우의 클러스터 1의 처리량은 적용되지 않은 경우보다 매우 높은 수치를 보인다.

부하 분배는 마이크로 셀의 지연과 처리량 모두에 영향을 미치게 된다. 부하 분배가 마이크로 셀의 성능에 미치는 영향을 관찰하기 위해서 마이크로 셀에 속해 있는 단말기의 수를 30으로 고정하고 모든 클러스터의 피코 셀의 단말기 수를 변화시켜 부하를 조정하였다. 즉  $M_1 = M_2 = M_3$ 가 파라미터가 된다. <그림 5>는 피코 셀 지역의 부하 증가가 마이크로 셀에 속한 사용자의 평균 지연을 증가시키는 것을 보여준다.

### 5. 결론

하향링크 고속 패킷 전송에서의 umbrella 마이크로 셀과 overlaid 피코 셀 사이의 부하 분배 정책을 제안하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 고속 이동 인터넷 트래픽 전송시 제안된 정책의 성능을 평가하였다. 평가 결과, 제안된 정책 하에서 마이크로 셀이 피코 셀의 백업 시스템으로서의 역할을 잘 수행한다는 것을 보였다. 이동 통신에서는 특정한 피코 셀이 비정상적으로 높은 부하를 받게 될 경우가 많은데, 이 경우 부하 분배 정책을 사용하지 않는다면 높은 부하를 대비해서 모든 피코 셀 클러스터의 시스템 용량을 증가시켜주어야 하나, 이 정책을 사용함으로써 용량 증가에 필요한 설치비용을 줄일 수 있게 된다. 따라서, 제안된 정책을 사용하면 HCS를 이용함으로써 얻는 기본적인 이득(즉, 한 장소에 다양한 종류의 셀을 설치함으로써 다양한 멀티미디어 서비스 제공 가능) 외에 설치비용 절감이라는 또 다른 이득을 얻을 수 있다.

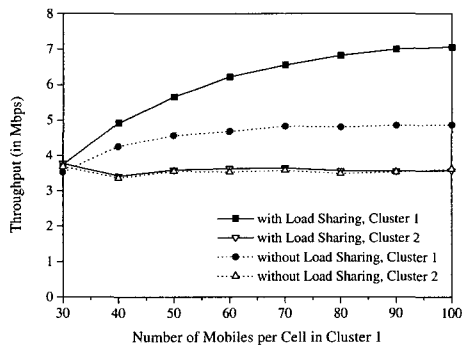


그림 4  $M_1$ 에 따른 한 클러스터 내의 총 처리량

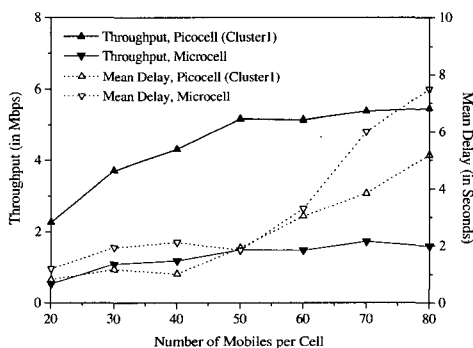


그림 5 부하 분배가 마이크로 셀 단말기에 미치는 영향

### 참고 문헌

- [1] T. Ojanpera and R. Prasad, *Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications*, Artech House, 1998.
- [2] D. G. Jeong and W. S. Jeon, "CDMA/TDD system for wireless multimedia services with traffic unbalance between uplink and downlink," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 17, no. 5, pp. 939-946, May 1999.
- [3] W. S. Jeon and D. G. Jeong, "Comparison of time slot allocation strategies for CDMA/TDD systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 18, No. 7, pp. 1271-1278, July 2000.
- [4] P. Bender et al., "CDMA/HDR: A bandwidth efficient high speed data service for nomadic users," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 38, No. 7, pp. 70-77, July 2000.

- [5] A. Ghosh, L. Jalloul, B. Love, M. Cudak, and B. Classon, "Air-interface for IXTREME/IxEV-DV," in *Proc. VTC 2001-Spring*, May 2001, pp. 2474-2478.
- [6] 3GPP, "Physical Layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access (Release 2000)," 3G TR25.848 V0.6.0, March 2001.
- [7] W. S. Jeon, D. G. Jeong, and B. Kim, "Packet scheduler for mobile Internet access using high speed downlink packet access systems," in *Proc. VTC 2002-Spring*, Birmingham, AL, USA, May 2002, also, in revision, *IEEE Trans. Wireless Commun.*, 2002.

정 동 근

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 29 권 제 3 호 참조

전 화 속

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 29 권 제 3 호 참조