

# CDMA 체계하에서의 절전형 셀영역 결정

정희원 차 동 완\*, 강 석 연\*, 마 중 수\*\*

## Power-Efficient Cell Coverage Control in a CDMA System

Dong-wan Tcha\*, Suk-yon Kang\*, Joong-soo Ma\*\* *Regular Members*

### 요 약

CDMA시스템의 가장 큰 특징은 모든 기지국이 동일한 주파수 대역을 공유하여 사용할 수 있다는 점이며, 시스템의 전체 용량은 기지국 및 이동국이 받는 간섭에 의해서 제한받는다. 따라서, 각 기지국과 이동국이 받는 간섭을 최소화하여 시스템의 용량을 최대화할 수 있도록 각 기지국의 통화권(Coverage) 및 이동국과 기지국의 송출전력을 설계하여야 한다. 이와 같은 취지에서 본 연구에서는 전체 서비스 지역을 작은 단위지역으로 나누었을 때 각 단위지역에 있는 이동국이 어떤 기지국에 접속하여야 하며, 이때 이동국의 송출전력과 기지국이 각 이동국에게 송출할 전력을 결정하는 문제에 대해 다룬다.

### ABSTRACT

In the cellular wireless system, transmitted power is regulated to provide each user an acceptable connection while limiting the interference from other users. This work addresses the power budgeting problem in association with base station assignment. In the context of CDMA system, we minimize the total transmitted power subject to maintaining an individual target SNR(Signal to Noise Ratio) for each mobile and base station. We formulate the optimization model and a solution method is proposed.

### I. 서 론

이동통신에 대한 수요가 증가함에 따라 이동통신 시스템용으로 할당된 무선자원을 효율적으로 사용하여 가입자 수용용량(Capacity)을 증대시키기 위한 기술개발이 지속적으로 진행되어 왔다. 기존 아날로그 시스템에서는 이동통신 수요증가에 대응하여 위하여 셀 분할(Cell splitting), 섹터화(Sectorization)와 주파수 재사용(Frequency reuse) 등과 같은 전통적인 기법을 적용하여 왔지만 그 기술적 한계에 이르렀다. 또한, 생활양식의 다양화, 광대역화로 인해 증가하는 데이터 통신, 화상통신 등 다양한 종류의 서비스 수요를 아날로그 시스템으로 충족시키기에 기술적 어려움이 많다. 또한, 음성외의 디지털화 기술, 압축기술 등 디지털 기술의 발달로 디지털 이동통신 시스템의 용량은 아날로그의 3-10배로 추정되며,

디지털방식의 전환이 세계적인 추세이다. 특히 CDMA(Code Division Multiple Access)시스템은 우리 나라의 디지털 이동통신시스템 표준으로 채택되어 96년 초부터 상용서비스가 제공되고 있다. 다른 시스템과 구별되는 CDMA시스템의 가장 큰 특징은 모든 기지국이 동일한 주파수 대역을 공유하여 사용할 수 있다는 점이며, 시스템의 전체 용량은 기지국 및 이동국이 받는 간섭에 의해서 제한받는다. 따라서, 각 기지국과 이동국이 받는 간섭을 최소화하여 시스템의 용량을 최대화할 수 있도록 각 기지국의 통화권(Coverage) 및 이동국과 기지국의 송출전력을 설계하여야 한다. 물론 이 때 전력수준과 통화권 결정은 각 무선접속의 순방향 및 역방향 링크의 통화 품질을 유지하는 범위 내에서 이루어져야 한다. 이와 같은 취지에서 본 연구에서는 전체 서비스 지

\* 한국과학기술원(tchadw@sorak.kaist.ac.kr)

\*\* 한국정보통신대학교

논문번호 : 97214-0624, 접수일자 : 1998년 6월 24일

역을 작은 단위지역으로 나누었을 때 각 단위지역에 있는 이동국이 어떤 기지국에 접속하여야 하며, 이때 이동국의 송출전력과 기지국이 각 이동국에게 송출할 전력을 결정하는 문제에 대해 다룬다.

## II. CDMA 시스템의 무선망 계획

### 2.1 CDMA 시스템에서의 무선망 계획

현재 개발중이거나 서비스가 이루어지고 있는 CDMA 셀룰러 시스템에서는 직접확산대역 방식(Direct sequence spread spectrum)과 다원접속 방식(Multiple access scheme)을 사용하여, 음성신호를 넓은 주파수 대역(1.25MHz)에 확산시켜 공유하고, 각 가입자에게 고유한 코드(Code)를 부여하여 다원화한다. CDMA는 각기 고유한 언어를 사용하는 여러 나라 사람들이 일정한 공간에 모여 동시에 대화를 할 때, 동일한 언어(Code)를 사용하는 사람들끼리는 큰 무리 없이 대화할 수 있는 원리와 같다. 이와 같이 CDMA 시스템의 가장 큰 특징은 다수의 가입자가 하나의 기지국 내에서 동일한 반송파(Carrier)를 사용하며, 또한 동일한 반송파를 인접한 기지국에서도 사용할 수 있다는 점이다<sup>[4]</sup>. CDMA 시스템의 무선망을 효율적으로 계획하고 운용하기 위해서는 이러한 특성을 최대한 반영하여야 한다. CDMA 시스템에서 무선망 계획(Radio network planing)이란 기지국을 어디에 설치하며 각 기지국이 담당할 서비스 지역은 어느 정도인가, 또 그렇게 하기 위해서는 이동국과 기지국의 송출전력은 어느 정도로 하는 것이 경제적으로 서비스를 제공할 수 있는가를 결정하는 것이다. 위의 과정은 상호 연관되어 있으며, 따라서 무선망 계획을 위한 도구(Tool)나 모형은 이 모두를 동시에 고려하여야 한다. 즉, 기지국 위치를 선정하고자 할 때에는 기지국이 담당할 서비스 영역을 미리 고려하여야 하고, 서비스 영역 결정 시에는 이동국과 기지국의 송출전력을 동시에 고려하여야 한다. 그러나 이 모두를 포함하여 모형화하고 그 해를 구하는 것은 현실적으로 불가능하므로, 본 연구에서는<sup>[5]</sup>와 같은 방법으로 기지국의 위치가 외부적 자료로 이미 주어질 있을 때 각 기지국의 통화권과 이동국 및 기지국의 전력수준을 결정하는 문제를 모형화하고 해법을 제시한다.

### 2.2 통화권 및 전력수준 결정 시 고려사항 - 전력제어와의 차이점

CDMA 시스템에서는 각 가입자마다 고유한 코드를 부여하여, 각 기지국의 모든 가입자가 동일한 반송파를 공유할 수 있지만, 특정 가입자에게 전송되는 신호는 같은 반송파를 사용하는 다른 가입자에게 간섭으로 작용한다. 같은 반송파를 사용하는 사용자가 너무 많거나 송출하는 전력 수준이 높으면 간섭이 증가하여 적절한 통화품질을 유지할 수 없게 된다. 반면 전력수준이 너무 낮아도 통화 품질은 나빠지게 된다. 따라서, 한정된 주파수 자원을 사용하여 보다 많은 가입자에게 양질의 서비스를 제공하기 위해서는, 모든 이동국 및 기지국이 최소한의 송출전력으로 통화품질을 유지하도록 하여야 한다. 또한, 송출전력의 결정은 이동국이 어느 기지국에 접속하느냐에 의해서도 영향받는다. 즉, 한 이동국이 거리가 먼 기지국이나 많은 통화가 진행중인 기지국에 접속하면, 이동국과 기지국에서 소모하는 전력수준은 높아진다. 따라서 전체적으로 시스템의 송출전력을 최소화하기 위해서는 각 이동국이 접속해야 할 기지국, 즉 각 기지국의 통화권과 이때 필요로 하는 이동국 및 기지국의 전력을 동시에 결정하여야 한다.

CDMA 시스템의 용량을 분석하거나 무선망 설계를 위한 기존의 연구는 역방향 링크만을 대상으로 하였다<sup>[1][3]</sup>. 일반적으로 사용자 단말기에서 송출 가능한 전력은 기지국에서 송출 가능한 전력보다는 약하기 때문에, 역방향 링크가 열악한 무선환경을 상대적으로 극복하기 어렵다고 보아 이를 기준으로 하여 연구가 진행되었다. 그러나, 전체 시스템의 용량은 역방향 링크뿐만 아니라 순방향 링크의 상태에 의해서도 제한받는다. 이동통신에 대한 수요가 증가하면, 기지국을 증설하여 증가된 수요를 수용하게 된다. 이에 따라 기지국 사이가 가까워져, 시스템 용량은 최대 송출전력이 아니라, 이동국/기지국 상호간의 간섭에 의해 제한받는다. 즉 기지국과 이동국간 거리가 충분히 가까운 상황하에서는, 역방향 링크뿐만 아니라, 순방향 링크에서의 간섭 정도도 함께 고려되어 무선망 설계가 이루어져야 한다. 또한, 순방향 링크의 경우 역방향 링크와는 달리 트래픽 채널(Traffic channel) 외에도 파일럿(Pilot), 동기(Synchronization), 페이징(Paging) 채널 등 여러 종류의 채널이 사용되고 있다. 특히, 파일럿 채널은 항상 송출되고 있으며 접속할 수 있는 기지국에 대한 정보를 이동국에 제공하여 이동국의 접속을 제어하는 수단으로 활용되고 있는 아주 중요한 채널이다. 따라서 본고에서는 시스템의 용량에 대한 기

준으로서 역방향 및 순방향 링크의 송출전력을 동시에 고려하고, 역방향 링크의 트래픽 채널과 순방향 링크의 트래픽 채널과 파일럿 채널을 간섭 항목에 포함하였다.

본 연구에서는 그림 1과 같이 기지국의 위치는 이미 결정되어 있으며 전체 서비스 지역을 작은 지역(단위지역; Unit Area 이하 UA로 표시)으로 나누고, 이 UA 단위로 통화권영역이 설정된다고 가정한다. 또한, 각 UA 내의 무선특성은 유사하여, UA내 각 지점에서 특정 기지국까지의 전파손실은 비슷한 것으로 가정하였다.

본 연구에서는 기지국의 위치와 각 UA의 트래픽이 주어져 있을 때, 각 UA를 어떤 기지국에서 커버하고 각 UA에 있는 이동국에서 요구되는 평균 송신전력(트래픽 채널)과 기지국에서 각 UA에 있는 이동국으로 송신하는 전력수준(트래픽 채널 및 파일럿 채널)을 결정하는 문제에 대해 다룬다. 시스템의 용량을 최대화하기 위하여 송출전력을 최소화하는 것을 목표로 하였다.

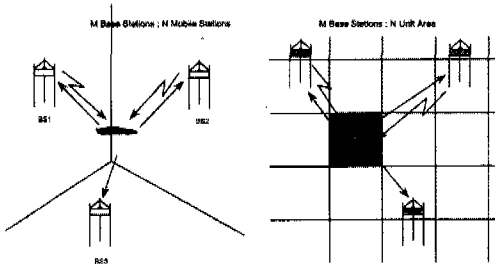


그림 1. UA 단위로의 변경  
Fig. 1 Modification of the service area into Unit Area

### III. 수리적 모형화

#### 3.1 가정사항

전체지역을  $N$ 개의 UA로 나누고,  $M$ 개의 기지국이 설치되어 있다. 각 UA의 트래픽은 그 지역에서 사용자들이 통화하고 있을 평균밀도로서  $\lambda_i$ 로 표시한다.  $g_{ij}$ 는 UA  $i$ 와 기지국  $j$  사이의 전송손실을 나타내는데 본 연구에서는 순방향과 역방향 링크의 전송손실은 동일하다고 가정한다.  $x_j$ 는 기지국의 통화권을 표시하는 이진변수로서 UA  $i$  내의 이동국이 기지국  $j$ 에 접속하여 통화중이면 1, 아니면 0의 값을 가진다.  $p_i^U$ 는 UA  $i$  내의 한 이동국이 기지국으로 송신하는 역방향 링크의 송신전력이고

$p_j^D$ 는 기지국  $j$ 에서 UA  $i$  내의 이동국에 전송하는 순방향 링크 트래픽 채널의 송신전력이다. 기지국  $j$ 에서 송출하는 파일럿 채널의 전력은  $p_0^D$ 로 나타낸다.

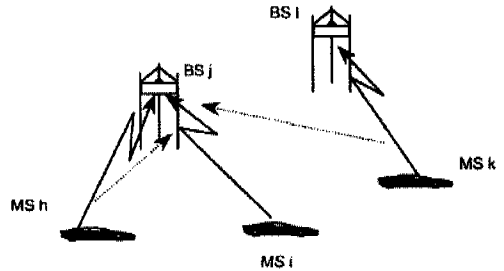


그림 2. 역방향 링크에서의 간섭  
Fig. 2 Interference of the uplink

#### 3.2 역방향 링크의 통화품질

통화품질을 평가하는 기준으로써 신호 대 잡음비(SNR, Signal to Noise Ratio)를 사용하였다. UA  $i$ 에서 한 이동국이  $p_i^U$ 의 전력으로 송신하고 있을 때, 기지국  $j$ 에서 수신하는 전력은  $p_i^U g_{ij}$ 이다(그림 2의 실선에 해당하는 링크). 기지국  $j$ 가 UA  $i$ 로부터 받는 간섭은  $\lambda_i p_i^U g_{ij}$ 이므로 기지국  $j$ 가 모든 이동국으로부터 받는 간섭은

$$\sum_{k=1}^N \lambda_k p_k^U g_{kj} - p_i^U g_{ij} + \sigma_j^U$$

로 표현된다. 여기서  $\sigma_j^U$ 는 기지국  $j$ 의 수신장치에서 발생하는 열잡음(Thermal noise)이다. 즉 총간섭은 원하는 신호(UA  $i$ 의 한 이동국에서 보내는 신호)를 제외한 수신전력과 열잡음의 합으로 표시된다.

그러므로, UA  $i$ 가 기지국  $j$ 에서 서비스를 받는다고 가정하였을 때, UA  $i$ 내 이동국의 역방향 링크 트래픽 채널의 신호 대 잡음비( $SNR_{ij}^U$ )를 수식화하면 다음과 같다.

$$SNR_{ij}^U = \frac{p_i^U g_{ij}}{\sum_{k=1}^N \lambda_k p_k^U g_{kj} - p_i^U g_{ij} + \sigma_j^U}$$

#### 3.3 순방향 링크의 통화품질

순방향 링크의 경우, UA  $i$ 의 한 이동국이 받는 총 간섭은

$$\sum_{k=0}^M \sum_{i=0}^N \lambda_k p_{ki}^D g_{ii} - p_{ij}^D g_{ij} + \sigma_i^D \quad i=1, \dots, N; j=1, \dots, M \quad (1)$$

가 된다. 즉 모든 기지국에서 송출 전력 중에서 자신에게로 전송되는 신호를 맨 전력이 간섭으로 작용하게 된다. 따라서 총 간섭은 이 간섭과 이동국의 수신장치에서 발생하는 열잡음( $\sigma_i^D$ )을 합한 형태가 되고 UA  $i$ 내의 한 이동국이 기지국  $j$ 에 접속하였을 때 순방향 트래픽 채널( $i=1, \dots, N$ 일 경우) 및 파일럿 채널( $i=0$ 일 경우)의 신호 대 잡음비( $SNR_{ij}^D$ )는 다음과 같다.

$$SNR_{ij}^D = \frac{p_{ij}^D g_{ij}}{\sum_{k=0}^M \sum_{i=0}^N \lambda_k p_{ki}^D g_{ii} - p_{ij}^D g_{ij} + \sigma_i^D}$$

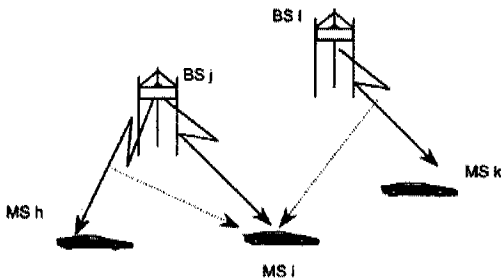


그림 3. 순방향링크에서의 간섭  
Fig. 3 Interference of the downlink

### 3.4 수리적 모형화

CDMA시스템에서는 모든 기지국이 동일한 주파수 대역을 공유하여 사용하고 있으며, 시스템의 전체 용량은 기지국 및 이동국이 받는 간섭에 의해 제한 받는다. 따라서, 각 기지국과 이동국이 받는 간섭을 최소화하여 시스템의 용량을 최대화할 수 있도록 각 기지국의 통화권 및 이동국과 기지국의 송출전력을 설계하여야 한다. 하지만, 용량의 증대를 위해 송출전력을 너무 낮추면 통화품질이 저하되므로, 적절한 수준으로 결정하여야 한다<sup>[1][2]</sup>. 위의 사항을 고려하여, 순방향/역방향 링크에서의 통화권 및 송출전력의 결정하는 과정을 최적화 문제로 모형화하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \min \quad & \delta_1 \sum_{i=1}^N p_i^U + \delta_2 \sum_{j=1}^M \sum_{i=0}^N p_{ij}^D \\ \text{s.t.} \quad & \frac{(1-x_{ij}) \cdot L + p_{ij}^U g_{ij}}{\sum_{k=1}^M \lambda_k p_{ki}^U g_{ii} - p_{ij}^U g_{ij} + \sigma_i^U} \geq \gamma^U, \end{aligned}$$

$$\frac{(1-x_{ij}) \cdot L + p_{ij}^D g_{ij}}{\sum_{k=1}^M \sum_{i=0}^N \lambda_k p_{ki}^D g_{ii} - p_{ij}^D g_{ij} + \sigma_i^D} \geq \gamma^D, \quad i=1, \dots, N; j=1, \dots, M \quad (2)$$

$$\frac{(1-x_{ij}) \cdot L + p_{ij}^D g_{ij}}{\sum_{k=1}^M \sum_{i=0}^N \lambda_k p_{ki}^D g_{ii} - p_{ij}^D g_{ij} + \sigma_i^D} \geq \gamma^P, \quad i=1, \dots, N; j=1, \dots, M \quad (3)$$

$$\sum_j x_{ij} = 1, \quad i=1, \dots, N \quad (4)$$

$$P_i^U \leq P_{\max}^U, \quad i=0, \dots, N \quad (5)$$

$$\sum_i P_{ij}^D \leq P_{\max}^D, \quad j=1, \dots, M \quad (6)$$

$$p_i^U \geq 0, \quad i=1, \dots, N \quad (7)$$

$$p_{ij}^D \geq 0, \quad i=0, \dots, N; j=1, \dots, M \quad (8)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i=1, \dots, N; j=1, \dots, M \quad (9)$$

식 (1)과 (2)는 UA가 특정 기지국의 통화권에 포함될 때, 즉  $x_{ij}$ 가 1일 때 역방향 및 순방향 링크의 통화품질(신호 대 간섭비)이 일정수준( $\gamma^U, \gamma^D$ ) 이상이어야 한다는 조건이다. 식 (3)은 UA가 특정 기지국의 통화권에 포함될 때, 즉  $x_{ij}$ 가 1일 때 순방향 링크의 파일럿 채널의 신호 대 간섭비가 일정수준( $\gamma^P$ ) 이상 되어야 한다는 조건이다. 여기서  $L$ 은 아주 큰 수를 나타내는 것으로서  $x_{ij}$ 가 0일 때에는 분자가 큰 값을 가지게 하여 제약식은 자동으로 만족된다. 이는 이동국과 기지국이 상호 접속이 되지 않을 경우, 통화품질제약을 만족할 필요가 없기 때문이다. 순방향 링크와 역방향 링크에 대해 통화를 위하여 요구되는 최저 통화품질은 각기 다른 것이 일반적이다. 식 (4)는 각 UA가 모두 하나의 기지국에 연결되어야 한다는 조건이다. 식 (5) (6)은 역방향 링크와 순방향 링크의 송출전력이 일정 기준치( $P_{\max}^U, P_{\max}^D$ ) 이하이어야 한다는 조건이다.

이러한 제약 하에서 이동국 및 기지국 송출 전력의 가중평균을 최소화하도록 통화권( $x_{ij}$ )과 이동국 및 기지국의 송출전력( $p_i^U, p_{ij}^D$ )을 구한다. 이동국과 기지국에서 각각 전송할 수 있는 전력수준 사이에는

현격한 차이가 있기 때문에, 역방향과 순방향에 대해 각기 다른 가중치( $\delta_1, \delta_2$ )를 부여한다.

#### IV. 수행결과

본 모형은 혼합 정수 계획법으로 분류되는 최적화 문제이며, 이를 해결하기 위해 분할 탐색법(Branch and bound method)을 적용하였다. 분할 탐색법은 규모가 큰 문제에 대해서는 많은 계산시간과 저장공간(Memory)이 필요하지만, 소규모 문제에 적용하는 경우 항상 최적해를 구할 수 있다는 장점이 있다. 기지국과 UA의 개수를 증가시키면 CDMA 시스템을 보다 정확히 표현할 수 있지만, 만족할 만한 시간내에 해를 구하는 것은 매우 힘들다. 본 절에서는 최적해를 분석하여 CDMA 시스템의 통화량과 시스템 모수(통화권, 송출전력)에 관련된 여러 특성을 도출하고자 하였으며, 합리적인 시간내에 최적해를 구하기 위하여 그림 4와 같이 기지국이 2개이고 16개의 UA를 갖는 간단한 시스템을 대상으로 분할 탐색법을 적용하였다.

CDMA 시스템의 무선망 설계를 위한 기존의 연구는 역방향 링크를 대상으로 하였으며, 이와 같은 접근법은 기지국사이의 거리가 먼 경우에는 적용할 수 있다. 하지만, 대도시 도심과 같이 기지국사이의 거리가 가까운 환경에서는 역방향/순방향 링크의 상황을 동시에 고려하여야 하며, 이를 예제를 통해 살펴본다.

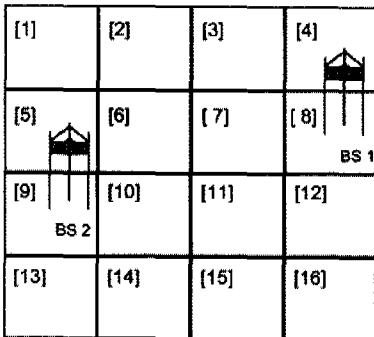


그림 4. 16개 UA와 2개의 BS로 구성된 시스템  
Fig. 4 2-BS system with 16 unit areas

##### 4.1 UA당 통화 요구량이 균등한 경우의 수행 결과

본 절에서는 전체 서비스 지역 내의 통화 요구량(Offered traffic per UA)이 균등(Homogeneous)하

게 분포한다고 가정하였다. 즉 서비스 지역내의 모든 UA의 UA당 통화 요구량이 동일할 경우, 각 단말기와 기지국에서 송출하는 전력과 통화권을 결정하였으며, 이를 도표로 정리한 것이 그림 5, 그림 6, 그림 7이다.

수행결과는 분할 탐색법을 적용할 수 있는 상용 패키지인 CPLEX<sup>[6]</sup>를 이용하여 구하였다. 분할 탐색법은 변수가 정수이어야 한다는 성질을 이용하여 실행 가능해(Feasible solution)를 여러 소그룹으로 나누고(Branch), 각 그룹에서의 목적 함수 값의 상한과 하한(Bound)을 구하여, 이를 만족하지 못하는 소그룹은 고려대상에서 제거함으로써 불필요한 계산을 줄이는 방법이다<sup>[7][8]</sup>. 대역폭이 1.23MHz, 통화채널의 전송속도가 9600bps인 시스템 모수를 사용하고 있으며, 역방향 링크와 순방향 링크의 SNR이 각각 -11dB, -14dB이상인 CDMA 시스템을 대상으로 하였다. 또한 기지국/이동국의 안테나 높이가 각 32 m/1.5 m이고, Carrier Frequency가 900MHz인 Hata의 Urban Area 전파 전파 모형(Radio propagation model)을 사용하였다.

그림 5는 모든 UA의 통화 요구량이 모두 3.25 Erlang이고, UA 크기가 1.07km일 때, 각 기지국의 통화권을 나타내는데, 음영으로 표시된 UA의 단말기는 기지국 2와 통화하는 것을, 밝게 표시된 UA는 기지국 1과 통화하는 것을 각각 표시한다. 또한 각 격자 상단의 숫자는 UA 번호를, 하단은 UA의 통화 요구량을 의미한다.

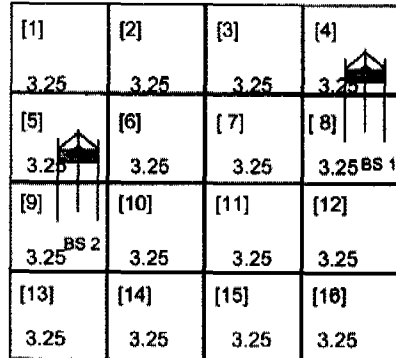


그림 5. 통화요구량이 3.25 Erlang으로 균등한 경우의 통화권  
Fig. 5 The coverage for homogeneous traffic with 3.25 Erlang

그림 6에서는 UA당 통화 요구량이 모두 1.0 Erlang과 3.5 Erlang 범위에서 변동할 때, 단말기와 기지국의 송출전력을 표시하였다. 모든 단말기(기지

국)들의 송출전력 중 최대치가 하드웨어에서 감당할 수 있는 수준(Maximum transmittable power; 이하  $p^{\max}$ 로 표시)보다 작다면, 다른 단말기(기지국)들은  $p^{\max}$ 이하로 통화하는 것을 의미한다. 따라서, 그림 6, 그림 7에서는 송출전력이 가장 큰 단말기와 기지국만을 선택하여 표시하고, 이를  $p^{\max}$ 와 비교보통 하였다. 예를 들어 모든 UA에서 발생하는 통화 요구량이 모두 3.0 Erlang으로 동일할 때, 여러 단말기와 기지국에서 송출하는 전력수준 중 가장 큰값(181mW, 11.13W)만을 선택하여 표시하였다. 그림에서는 UA당 통화 요구량이 증가함에 따라 단말기와 기지국의 송출전력도 증가함을 알 수 있다.

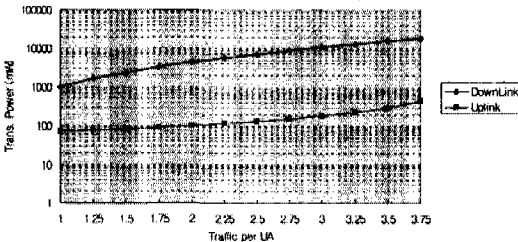


그림 6. UA 크기가 큰 경우 통화량에 따른 전력수준의 변화  
Fig. 6 Traffic of large size UA

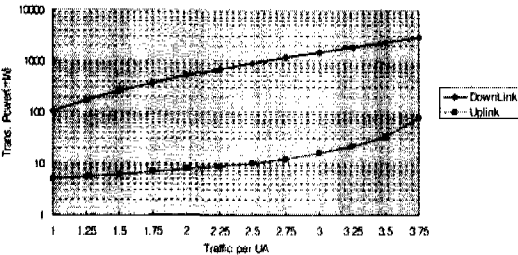


그림 7. UA 크기가 작은 경우 통화량에 따른 전력수준의 변화  
Fig. 7 Traffic of small size UA

그림 6은 UA 크기가 큰 경우, 그림 7은 크기가 작은 경우의 수행결과이다). 그림 6과 같이 기지국 사이의 거리가 먼 경우, 역방향 링크의  $p^{\max}$ (200mW)에 의해 수용가능한 UA 당 통화 요구량이 결정된다. 즉, UA 당 통화 요구량이 3.25 Erlang 이상이면, 순방향 링크는  $p^{\max}$  범위 안에서 전력수준이 결정되지만, 역방향 링크는  $p^{\max}$ 를 초과한다.

기지국간의 거리가 비교적 가까울 때, 통화량과

통화권은  $p^{\max}$ 가 아닌 다른 요인-순방향/역방향 링크의 간섭-에 의해 제약받음을 알 수 있다. 그림 7의 경우 시스템에서 최대도 수용할 수 있는 UA 당 통화 요구량은 3.75 Erlang인데, 이는 (1)-(3)제약식을 위배하는 지점(즉 역방향 링크와 순방향 링크의 통화품질을 만족시키지 못하는 지점)의 통화 요구량이다. 그러므로, 대도시 도심과 같이 기지국이동국간 거리가 가까운 환경하에서의 무선망 설계시에는 역방향 링크와 순방향링크의 상황을 함께 고려하여야 한다.

#### 4.2 UA당 통화 요구량이 불균등한 경우의 수행결과

본 절에서는 서비스 지역의 통화 요구량이 불균등(Nonhomogeneous)할 경우, 기지국의 통화권과 각 단말기/기지국에서 송출하는 전력을 구하였다. UA당 통화 요구량이 불균등한 경우, 통화요구량으로서 다른 UA들을 동일한 조건으로 변환시키는 과정이 선행되어야 한다. 그런데, 이에 대한 합리적인 변환 방법론이 정립되어 있지 않아서, 통화 요구량 변화에 따른 송출전력의 변동을 4.1절에서와 같이 분석하는 것은 매우 어렵다. 본 절에서는 UA당 통화요구량이 특정 기지국에 편중되어 있는 한 예(Instance)를 대상으로, 수행 결과를 분석한다. 표 1은 순방향과 역방향 링크의 송출전력을 나타내며, 그림 8은 각 기지국의 통화권을 나타낸다. 본 예에서는 기지국 2 주변 UA에 통화 요구량이 집중되어 있는 자료를 대상으로 통화권과 송출전력을 계산하였다.

[1] 3	[2] 2	[3] 2	[4] 2
[5] 5	[6] 5	[7] 3	[8] 3 BS 1
[9] 4 BS 2	[10] 5	[11] 2	[12] 2
[13] 4	[14] 4	[15] 3	[16] 3

그림 8. 통화요구량이 불균등한 경우의 통화권

Fig. 8 The coverage for nonhomogeneous traffic

그림 8은 본 모형이 기지국의 통화 요구량을 고

1) UA 크기가 큰 경우의 한변의 길이는 1.07Km, 작은 경우는 0.5Km로 하였다. UA 크기가 커지면 기지국간의 거리가 멀어진다.

