

CDMA 체계하에서의 절전형 셀영역 결정 (Power-Efficient Cell Coverage Control in a CDMA System)

강석연, 정용주, 차동완

한국과학기술원 테크노경영 대학원

Abstract

In cellular wireless system, transmitted power is regulated to provide each user an acceptable connection while limiting the interference from other users. In this work, we integrate power budgeting and base station assignment. In the context of CDMA system, we minimize the total transmitted power subject to maintaining an individual target CIR for each mobile and base station. We formulate the optimization model and a solution method is proposed.

1. 서론

이동통신에 대한 수요가 증가함에 따라 이동통신 시스템용으로 할당된 무선자원을 효율적으로 사용하여 가입자 수용용량(Capacity)을 증대시키기 위한 기술개발이 지속적으로 진행되어 왔다. 음성의 디지털화 기술, 압축기술 등 디지털 기술의 발달로 디지털 이동통신 시스템의 용량은 아날로그의 3-10배로 추정되며, 디지털방식으로의 전환이 세계적인 추세이

다. 특히 CDMA(Code Division Multiple Access)시스템은 우리 나라의 디지털 이동통신시스템 표준으로 채택되어 96년 초부터 상용서비스가 제공되고 있다.

CDMA시스템의 전체 용량은 기지국 및 이동국이 받는 간섭에 의해서 제한 받는다. 따라서, 각 기지국과 이동국이 받는 간섭을 최소화하여 시스템의 용량을 최대화할 수 있도록 각 기지국의 통화권(coverage) 및 이동국과 기지국의 송출전력을 설계하여야 한다. 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.

2. CDMA 시스템의 무선망 계획

CDMA 시스템에서 무선망 계획이란 기지국을 어디에 설치하며 각 기지국이 담당할 서비스 지역은 어느 정도인가, 또 그렇게 하기 위해서는 이동국과 기지국의 송출전력은 어느 정도로 하는 것이 경제적으로 서비스를 제공

할 수 있는가를 결정하는 것이다. 위의 과정은 상호 연관되어 있으며, 따라서 무선망 계획을 위한 모형은 이 모두를 동시에 고려하여야 한다. 그러나 이를 모두 포함하여 모형화하고 그 해를 구하는 것은 현실적으로 불가능하다. 본 논문에서는 기지국의 위치가 외부적 자료로 이미 주어질 때 각 기지국의 통화권과 이동국 및 기지국의 전력수준을 결정하는 문제를 모형화하고 해법을 제시한다.

본 논문에서는 기지국의 위치는 이미 결정되어 있으며 전체 서비스 지역을 작은 지역(단위지역; Unit Area 이하 UA로 표시)으로 나누고, 이 UA 단위로 통화권영역이 설정된다고 가정한다. 기지국의 위치와 각 UA의 트래픽이 주어질 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.

3. 수리적 모형화

전체지역을 N 개의 UA로 나누고, M 개의 기지국이 설치되어 있다. 각 UA의 트래픽은 그 지역에서 사용자들이 통화하고 있을 평균 밀도로서 λ_i 로 표시한다. g_{ij} 는 UA i 와 기지국 j 사이의 전송손실을 나타내는데 본 연구에서는 순방향과 역방향 링크의 전송손실은

동일하다고 가정한다. x_{ij} 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.

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. 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 σ_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.

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

순방향 링크의 경우, UA i 의 한 이동국이 받는 총 간섭은

$$\sum_{i=1}^M \sum_{k=0}^N \lambda_k p_{ki}^D g_{ii} - p_{ij}^D g_{ij} + \sigma_i^D$$

가 된다. 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.

$$SNR_{ij}^D = \frac{p_{ij}^D g_{ij}}{\sum_{i=1}^M \sum_{k=0}^N \lambda_k p_{ki}^D g_{ii} - p_{ij}^D g_{ij} + \sigma_i^D}$$

순방향/역방향 링크를 통합한 통화권 및 전력수준 결정문제를 최적화 문제로 모형화하면 다음과 같다.

$$\min \delta_1 \sum_{i=1}^N p_i^U + \delta_2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=0}^N p_{ij}^D$$

s. t.

$$\frac{(1-x_{ij}) \cdot L + p_i^U g_{ij}}{\sum_{k=1}^N \lambda_k p_k^U g_{kj} - p_i^U g_{ij} + \sigma_j^U} \geq \gamma^U, \quad i=1, \dots, N, \quad j=1, \dots, M \quad (1)$$

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

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

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

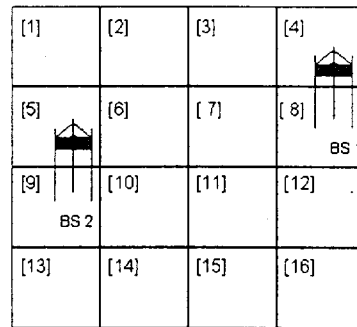
$$p_i^U \geq 0, \quad i=1, \dots, N \quad (5)$$

$$p_{ij}^D \geq 0, \quad i=0, \dots, N, \quad j=1, \dots, M \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i=1, \dots, N, \quad j=1, \dots, M \quad (7)$$

식 (1)과 (2)는 UA가 특정 기지국의 통화

권에 포함될 때, 즉 x_{ij} 가 1일 때 역방향 및 순방향 링크의 통화품질(신호 대 간섭비)이 일정수준(γ^U, γ^D)이상 이어야 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(γ^F)이상 되어야 한다는 조건이다. 식 (4)는 각 UA가 모두 하나의 기지국에 연결되어야 한다는 조건이다. 이러한 제약 하에서 이동국 및 기지국 송출 전력의 가중평균을 최소화하도록 통화권과 이동국 및 기지국의 송출전력을 구한다.



<그림 1> 대상 예제

4. 수행결과

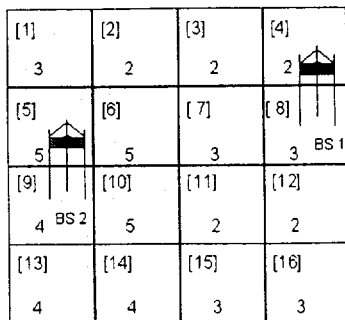
본 모형은 혼합 정수계획법으로 분류되는 최적화 문제이며, 이를 해결하기 위해 분할 탐색법(Branch and Bound Method)을 적용하였다. 본 절에서는 <그림 1>과 같이 비교적 간단한 예제를 대상으로 분할 탐색법을 적용하여 최적해를 구하였으며, 향후 개발될 알고리즘을 평가할 수 있는 기준을 마련하였다. 대역폭이 1.23MHz이고, 통화 채널의 전송속도가 9600bps이고, SNR 값은 역방향의 경우

-11dB, 순방향의 경우 -14dB인 CDMA 시스템을 대상으로 하였다. Hata의 Urban Area 전파 전파 모형을 사용하였다.

전체 서비스 지역의 통화량이 불균등할 경우, 수행결과는 <그림 2>, <표 1>과 같다. <그림 2>는 기지국에 접속하여 통화중인 각 UA의 접속상황을 나타내며, <표 1>은 순방향/역방향 링크의 송출전력을 나타낸다.

<표 1> 불균형 트래픽 하에서 전력수준 (단위: mW)

UA	Down Link	Up Link	UA	Down Link	Up Link
1	707.4	185.6	9	27.0	5.4
2	1089.4	160.1	10	138.2	16.2
3	157.2	32.1	11	271.2	32.1
4	40.2	9.9	12	46.0	9.9
5	103.7	16.2	13	77.2	16.6
6	528.2	52.5	14	290.4	53.7
7	85.9	9.7	15	1379.2	156.2
8	19.9	3.1	16	664.6	105.6
BS 1의Pilot		2059.08			
BS 2의Pilot		891.36			



<그림 2> 통화권역 할당 결과

5. 결론

한정된 무선 자원을 효율적으로 활용하기 위하여, 시스템의 특성이 반영된 적절한 무선 망을 구축하여야 한다. 특히 CDMA시스템의 경우 각 기지국에서 같은 반송파를 사용함으로 인해 특정 이동국에 대해 다른 이동국들의 신호가 간섭으로 작용한다는 점을 반영하여 전력수준 결정이 이루어져야 한다. 본 고에서는 순방향/역방향 링크를 동시에 고려하였을 때 한 UA내의 이동국이 어느 기지국과 접속할지 결정하고, 또 UA/기지국 송출전력의 결정 모형을 제시하였다. 이를 통해 송신 전력 감소를 통한 CDMA시스템 용량증대 방안을 모색하였다.

참고문헌

- [1] R. D. Yates, C. Huang, "Integrated Power Control and Base Station Assignment", IEEE Trans. Veh. Technol. Vol. 44, AUG. 1995
- [2] S. V. Hanly, "An Algorithm for Combined Cell-Site Selection and Power Control to Maximize Cellular Spread Spectrum Capacity", IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 13 SEP. 1995
- [3] J. Zander, "Performance of Optimum Transmitter Power Control in Cellular Radio Systems," IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 41, Feb. 1992
- [4] M. Frodigh, J. Zander, "Joint Power Control in Cellular Radio Systems", IEEE PIMRC, 1995
- [5] 차동완, "개념으로 풀어 본 정보통신세계", 영지문화사, 1996