

기지국 위치 문제를 위한 목적함수의 최적해 및 근사해

손 석 원[†]

요 약

이동 통신 시스템의 설계에 있어서 기지국의 위치를 선정하는 문제는 기본적으로 셀 내부 및 외부의 간섭전파에 의한 최소 SIR을 만족하면서 최대한의 사용자를 최소의 기지국에 할당하는 문제로서 NP-hard 이다. 기존에 주로 사용된 목적함수는 창고위치문제에서 사용하던 것으로 CDMA 이동통신 시스템으로 직접 이용하는 단계에서 문제점이 발생한다. 그 문제점들을 해결하는 목적함수와 최적해 및 근사해를 구하는 알고리즘을 제안하고, 그에 따른 시뮬레이션을 하여 본 논문의 제안이 타당성이 있는지 평가 및 분석하였다. 본 논문에서는 기지국의 위치문제를 경험적 탐색방법을 사용하지 않고 혼합정수계획법의 완전해를 이용하여 최적해 및 근사해를 구하였다.

키워드 : 기지국 위치, 이동통신, 혼합정수계획법, 창고위치문제, 근사해

Optimal and Approximate Solutions of Object Functions for Base Station Location Problem

Surgwon Sohn[†]

ABSTRACT

The problem of selecting base station location in the design of mobile communication system has been basically regarded as a problem of assigning maximum users in the cell to the minimum base stations while maintaining minimum SIR, and it is NP-hard. The objective function of warehouse location problem, which has been used by many researchers, is not proper function in the base station location problem in CDMA mobile communication. The optimal and approximate solutions have been presented by using proposed object function and algorithms of exact solution, and the simulation results have been assessed and analyzed. The optimal and approximate solutions are found by using mixed integer programming instead of meta-heuristic search methods.

Key Words : Base Station Location, Mobile Communication, Mixed Integer Programming, Warehouse Location Problem, Approximate Solution

1. 서 론

CDMA 이동 통신 시스템의 초기 설계에서 기지국의 위치를 어떻게 선정하는가 하는 문제는 셀 용량, 기지국 설치 예산, 사용자의 통화품질 등에 크게 관계가 있다. 서비스 지역을 그리드 형태의 격자로 나누고 적당한 곳에 수십 개의 기지국 후보위치를 만들고, 랜덤 함수를 이용하여 무작위로 이동국을 발생시킨 다음 이동국을 최소의 기지국에 할당하는 문제가 기지국 위치 문제이다. 이 할당 문제는 창고위치문제(warehouse location problem)와 유사하여 많은 연구자들이 창고위치문제의 해결방법을 기지국 위치 문제의 해결에 응용하여 왔다. 창고위치 문제는 필요한 창고의 개수와 경로

비용을 최소화 하는 문제로서 목적함수는 설치비용+운송비용이 된다. 따라서 이 비용의 합을 최소화 하는 문제로서 NP-hard 문제가 된다. 따라서 복잡도가 증가하게 되면 정수 계획법(integer programming)으로 완전해(exact solution)를 구하는 것이 어렵게 된다. 그러므로 근사해(approximate solution)를 구하는 방법이 필요하게 되었고 simulated annealing, tabu search, genetic algorithm 같은 meta-heuristic 탐색법을 많이 사용하여 왔다. 그러나 CDMA 이동통신에서는 셀 내부와 외부의 간섭전파를 고려하여 최소로 필요한 신호대 잡음비(minimum SIR)를 만족하여야 하기 때문에 복잡도가 창고위치문제의 경우보다 훨씬 커진다.

본 논문에서는 CDMA 이동통신 환경을 고려한 목적함수와 알고리즘을 제안하고, 혼합정수계획법을 이용하여 최적해 및 근사해를 구한다. 제2장에서는 기존 관련 연구를 간략히 설명하고, 제3장에서는 기지국 위치문제의 모델과 CDMA 환경에 알맞은 알고리즘을 제시하고, 제4장에서는 이론적인

※ 이 논문은 2004년도 호서대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

† 정 회 원 : 호서대학교 뉴미디어학과 부교수

논문접수 : 2006년 8월 8일, 심사완료 : 2007년 2월 21일

셀 용량과 필요한 최소 기지국 수에 대하여 설명한다. 제5장에서는 실험결과 및 평가, 그리고 제6장에서는 결론 및 향후연구를 설명한다.

2. 관련 연구

기지국 위치 문제에 관한 많은 연구를 한 Amaldi 의 논문[1]에 설명된 것처럼 이 문제는 창고위치 문제와 비슷한 문제로 인식되어 왔다. 따라서 목적함수는 기지국의 개수 또는 이동국의 개수를 포함하며[2-6],[8], 이 목적함수를 최소화하는 최적해 및 근사해를 찾는 데 정수계획법[4] 뿐만 아니라 simulated annealing, tabu search[2], 유전자 알고리즘[5]을 이용하였다. 최근에는 제약만족문제(Constraint Satisfaction Problem)로서 모델링하여 해를 구하는 방법도 등장하였다[6].

시뮬레이션 단계에서는 대부분 Hata 전파(propagation) 모델[7]을 사용하여 이동국을 발생시켰으며 기지국의 안테나를 3개의 지향성 안테나로 바꾸어 모델링한 경우도 있다[8]. 이러한 연구들은 모두 시스템내에서 전력제어(power control)가 행하여진다는 것을 전제로 한 것이다. 전력제어 방법에는 두 가지가 있는데, 기지국에서 수신되는 이동국의 전력이 모두 같다고 전제하는 power-based 전력제어와 기지국에서 수신되는 이동국의 SIR 이 같다고 전제하는 SIR-based 전력제어가 있다[2].

근사해의 성능평가를 위해서 한 셀에서 서비스할 수 있는 사용자 용량의 최대값 또는 상한 경계값(upper bound)이 필요하며, 이것은 필요 기지국의 최소값(lower bound)으로 생각될 수 있다. 단일 셀과 멀티 셀의 사용자 용량에 관한 연구는 일반적으로 많이 사용되는 논문[9]에 있는 값을 참고로 하였다.

3. 기지국 위치 모델 및 알고리즘

기지국과 이동국 사이의 전파모델(propagation model)로서 Okumura-Hata[7] 모델을 사용하였다. 이것은 1991년도에 유럽의 COST231 연구단체에 의하여 1500 MHz 이상의 주파수에서도 적용되도록 확장되었다. 이 모델에 의하면 dB로 표시되는 감쇠 이득(attenuation gain) G는 아래 식(1)로 표시된다. 여기서 F를 MHz로 표시되는 주파수, H_b 와 H_m 은 각각 기지국 및 이동국의 안테나 높이를 나타내며 d는 기지국과 이동국간의 거리인데 km 단위로 나타낸다.

$$G = 69.55 + 26.16 \log(F) - 13.82 \log(H_b) - (1.1 \log(F) - 0.7) H_m - (1.56 \log(F) - 0.8) + 44.9 - 6.55 \log(H_b) \log(d) \quad (1)$$

서비스 지역을 정사각형의 그리드 형태로 나누어 그곳에 기지국의 후보지역을 선택하고 상기한 전파모델을 이용하여 필요한 이동국을 발생시키는 필요노드(demand node)방식은 여러 논문에서 채택되었다[2],[4-6]. 서비스 지역을 모두 포

함되도록 하기 위해서 기지국이 설치될 수 있는 모든 후보 지역의 집합을 B라 하면 $B = \{1, \dots, m\}$ 이 되고, j를 기지국이라 하면 $j \in B$ 이다. 이동국의 집합을 M이라 하면 $M = \{1, \dots, n\}$ 이 되고, 이 때 각 이동국은 $i \in M$ 로 표현된다. 또한 i와 j 사이의 링크에서는 식(1)에 의해 전파손실 이득(propagation loss gain) g_{ij} 이 계산되어질 수 있다. 이 때 기지국과 이동국에 대해서 각각 두개의 결정변수(decision variable)를 정의할 수 있다.

$$y_j = 1, \text{ 기지국 } j \text{ 가 설치되었을 경우, } \forall j \in B \\ = 0, \text{ 설치되지 않았을 경우} \\ x_{ij} = 1, \text{ 이동국 } i \text{ 가 기지국 } j \text{ 에 할당된 경우, } \forall i \in M$$

$$\text{그리고 } \forall j \in B \\ = 0, \text{ 할당되지 않은 경우}$$

이 때 목적함수(objective function)와 제약조건 (constraints)을 살펴보면 아래 식 (2),(3),(4),(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\min \sum_{j=1}^m y_j \quad (2)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \forall i \in M \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq y_j, \forall i \in M, \forall j \in B \quad (4)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\}, \forall i \in M, \forall j \in B \quad (5)$$

목적 함수식 (2)는 제약조건식을 만족시키는 범위에서 설치될 기지국의 수를 최소화시킨다. 제약조건식 (3)에서 이동국 i는 항상 하나의 기지국 j에만 할당된다는 것을 의미한다. 즉 셀 경계에서의 soft-handoff를 고려하지 않는다. 식(4)에서 이동국 i는 기지국 j에 선택적으로 할당될 수도 있고 안 될 수도 있다는 것을 의미한다. 이동국 i는 목적함수(2)가 최소화되는 방향으로 기지국 j에 할당된다.

위 문제는 무제한 창고위치문제(uncapacitated warehouse location problem)와 유사하다. 즉 하나의 셀에 이동국이 무제한적으로 할당될 수 있다. 그러나 CDMA 시스템에서는 기지국에서 최소 신호대 잡음비(minimum SIR)를 유지하여야 하므로 유한 창고위치 문제(capacitated warehouse location problem)와 유사하게 되어 셀 안에 할당되는 이동국의 수가 제한된다. 그러나 제한되는 숫자는 창고위치문제와는 다르게 셀의 SIR에 의해 결정된다. 즉 한 셀의 SIR 값이 이웃 셀의 SIR에 영향을 미치게 되므로 기존 창고위치문제와 CDMA 이동통신망은 성격이 약간 다른 용량제한 문제를 갖고 있다. 우리는 이것을 CDMA-capacitated라고 부를 수 있다.

전력제어(power control)가 이루어지는 CDMA의 상향링크(uplink)에서 n 사용자와 m 기지국을 고려한다. 이 때 사용자 i에 대해서 다른 사용자들의 신호는 간섭신호로 간주된다. 사용자 i의 출력전력을 p_i 라 하고 i에서 기지국 j까

지의 전파손실을 g_{ij} 라 한다. 이 때 기지국 j 에서의 수신 전력은 $g_{ij}p_i$ 로 나타내진다. 반면에 다른 사용자들의 간섭전력은 $\sum_{k \neq i}^n g_{kj}p_k$ 로 나타내지며 전력제어 때문에 기지국에서 셀 안의 이동국으로부터 받는 신호의 크기는 p_i 로 모두 같다. 이 때 사용자 i 에 대한 기지국 j 에서의 SIR_{ij} 는 다음 식 (6)으로 표시된다.

$$SIR_{ij} = \frac{g_{ij}p_i}{I_i} = \frac{p_i}{I_i} \quad (6)$$

이 때 간섭전력 $I_i = \sum_{h=1}^n g_{hi}p_h - g_{ii}p_i$ 이다. 또한

$\sum_{h=1}^n p_h = \sum_{h=1}^n \sum_{t=1}^m \frac{p_t}{g_{ht}}$ 이므로 SIR_{ij} 는 다음 식 (7)로 표시된다.

$$SIR_{ij} = \frac{p_i}{\sum_{h=1}^n \sum_{t=1}^m \frac{g_{ht}p_t}{g_{ht}} - p_i} = \frac{1}{\sum_{h=1}^n \sum_{t=1}^m \frac{g_{ht}}{g_{ht}} - 1} \quad (7)$$

기지국에서의 신호대 잡음비는 항상 $SIR_{ij} \geq SIR_{min}$ 을 만족하여야 한다. 또한 결정변수 x 및 y 를 고려하여 식 (8)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{SIR_{min}} \geq y_j \left(\sum_{h=1}^n \sum_{t=1}^m \frac{g_{ht}}{g_{ht}} x_{ht} - 1 \right) \quad (8)$$

이것은 비선형방정식이므로 적당한 수 k 를 사용하여 선형 방정식으로 변형한 것이 식 (9)이다.

$$\frac{1}{SIR_{min}} \{1 + k(1 - y_j)\} \geq \sum_{h=1}^n \sum_{t=1}^m \frac{g_{ht}}{g_{ht}} x_{ht} - 1 \quad (9)$$

식 (9)에서 y_j 값이 1 이면 식 (8)의 값과 같게 된다. 또한 y_j 값이 0 이고 k 값이 충분히 크다면 식 (9) 는 성립한다. 따라서 식 (9)는 식 (8)을 대체하는 선형적인 제약조건식으로 사용될 수 있으며 목적함수 (2) 에 대한 추가 제약조건식이 된다.

위 식 (2)의 목적함수를 혼합정수 계획법을 이용하여 문제를 풀면 NP-hard 문제이기 때문에 복잡도가 증가하면서 짧은 시간에 완전해(exact solution)를 구할 수 없게 된다. 이러한 목적함수식은 논문 [3],[4]에서 사용되었다. 또한 목적함수식에 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}$ 항을 추가하여 최대화시키는 경우[6],[8]도 있는데 이 경우는 기지국 개수의 최소화와 사용자 수의 최대화가 서로 반대되는 값으로 작용하여 해를 구하는데 시간이 오래 걸리게 된다. 즉, 기존연구에서의 목적함수는 다음과 같이 정리된다.

$$\min \sum_{j=1}^m y_j \quad (10)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \forall i \in M$$

$$x_{ij} \leq y_j, \forall i \in M, \forall j \in B$$

$$\frac{1}{SIR_{min}} \{1 + k(1 - y_j)\} \geq \sum_{h=1}^n \sum_{t=1}^m \frac{g_{ht}}{g_{ht}} x_{ht} - 1$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\}, \forall i \in M, \forall j \in B$$

위 목적함수식은 제3장의 첫 부분에서 언급된 식으로 사용자 수가 증가하면 완전해를 구할 수 없는 문제가 있다. 또 다른 방법으로 다음 식 (11)과 같은 목적함수를 사용하는 방법이 있다. 이 방법에서도 사용자 수가 증가하면 완전해를 구할 수 없게 된다. 이것은 실험결과에 나타내었다. 또한 제약조건식은 위와 같다.

$$\min \left(\sum_{j=1}^m y_j - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \right) \quad (11)$$

본 논문에서는 기존의 목적함수인 식 (10)과 식 (11)에서 완전해를 구하지 못하는 단점을 개선하고, 계산 속도를 빠르게 하기 위해서 목적함수(10)에 $\sum_{i=1}^n p_i$ 항을 추가한다. 이것은 목적함수에서 모든 이동국이 출력전압을 최소화하는 방향성을 부여받게 되어 결과적으로 탐색을 빠르게 한다. 즉 탐색에 있어서 강한 방향성을 지시하게 되는 것이다. 따라서 새로운 목적함수식 (12)를 제안한다. 이 경우에도 제약조건식은 식 (10)과 식 (11)에서 사용한 것과 같다.

$$\min \left(\alpha \sum_{j=1}^m y_j + \sum_{i=1}^n p_i \right) \quad (12)$$

첫 번째 항에서 α 는 기지국의 개수를 조정하는 가중치 요소(weight factor) 로 동작한다. 일반적으로 목적함수에 두 개 이상의 다중 항이 포함되게 되면 해를 구하는 계산시간이 커지게 되지만 식 (12)에서는 오히려 해를 구하는 데 있어서 탐색 방향성을 주게 되어 계산 속도를 빠르게 한다.

참고위치문제에서 α 는 설치비용으로 설명된다. 뿐만 아니라 기지국 위치문제에서도 많은 논문[1],[3-6]에서 기지국의 설치비용으로 해석하고 있으나 실제로는 기지국의 개수를 조절하는 기지국 가중치로 동작한다. 이것은 기지국의 설치비용과 이동국의 출력전압은 비교할 수 없는, 즉 차원이 다른 값이기 때문에 α 의 값은 참고위치문제와는 다르게 설치비용으로서는 의미가 없다.

또한 이미 기지국의 개수를 알고 있는 상태에서, 즉 이미 설치된 기지국에서 각 이동국의 출력전력을 최소화시킬 수 있다. 이것은 이동국에게 필요한 최소의 전력을 할당함으로써 이동국을 기지국에게 할당하는 문제(base station assignment) [10,11]와 같게 되며 전체 네트워크의 품질을 향상시킨다. 이것의 목적함수가 아래 식 (13)과 같이 표현된다.

$$\min \sum_{i=1}^n p_i \quad (13)$$

이 목적함수를 사용할 때에는 기지국의 숫자가 고정되므로 기지국의 개수를 하나씩 감소시키면서 최소 기지국 수를

구할 수 있다. 따라서 이것은 식 (12)에서 얻은 값을 고정시키고 실행하는 후처리로서의 역할이 된다. 다만 초기에 기지국의 수를 모르는 문제점이 있다. 따라서 전체 이동국을 서비스할 때 필요한 기지국의 최소 수 (lower bound)를 알 필요가 있다. 논문 [10]과 [11]에서는 전력제어를 이용하여 반복적이고 분산적인 알고리즘을 사용하여 설계단계가 아닌 현재 서비스 중인 네트워크에서 최소전력을 할당하는 점이 본 논문과의 차이점이 된다. 즉, 이미 기지국 개수가 정해진 상태에서의 최소전력 할당이 된다.

4. 이론적인 셀 용량 및 기지국의 최소값

실험결과에서 얻어진 목적함수의 최적해 및 근사해의 품질을 평가할 때 이론적인 셀 용량을 기초로 하여 얻어진 최소 기지국 수 (lower bound)를 이용한다. 이것은 일반적으로 인용되는 Gilhousen 논문[9]의 CDMA 단일 셀 용량과 멀티 셀 용량을 참고할 수 있으며, 기지국에 수신되는 셀 내부의 이동국 출력전압이 같다는 전력제어를 가정한 것이다. 우선 단일 셀에서,

$$I_i = (N-1)P_{rx} \tag{14}$$

$$N-1 = \frac{I_i}{P_{rx}} = \frac{I_{tot}}{P_{rx}} = \frac{W/R}{E_b/N_0} \tag{15}$$

여기서 I_i 는 셀 내부에서의 간섭전력, I_{tot} 는 전체 간섭전력, E_b/N_0 는 비트 에너지대 잡음밀도비(bit energy-to-noise density ratio), W 는 전체 주파수 폭(bandwidth), R 은 사용자 데이터 전송률(user data rate)을 나타낸다. 또한 N 은 전체 이동국의 사용자 수를 나타낸다. 여기서 E_b/N_0 를 6dB로 하고 W 는 1.23MHz, R 은 9.6KHz로 하면 3-sector 되지 않고 무지향성(omni-directional) 안테나 사용시 단일 셀 CDMA에서 최대사용자 수(upper bound)는 33 사용자가 된다. 따라서 사용자 수가 150 이라면 최소로 필요한 기지국 수(lower bound)는 $150/33=4.54$ 가 되어 5 기지국이 필요하게 된다. 그러나 실제로는 멀티 셀 환경이고 다른 인접 셀에 있는 사용자들에 의한 간섭현상이 발생하므로 더 많은 기지국이 필요하게 된다.

멀티 셀에서는 일반적으로 다음과 같이 나타내어진다[9].

$$I_{tot} = I_i + I_o = (1+f)I_i = (N-1)P_{rx} \tag{16}$$

$$N-1 = \frac{I_i}{P_{rx}} = \frac{I_{tot}}{(1+f)P_{rx}} = \frac{W/R}{E_b/N_0} \frac{1}{1+f} \tag{17}$$

여기에서 I_{tot} , I_i , I_o 는 각각 전체 간섭전력, 내부 셀 간섭전력(inner-cell interference), 외부셀 간섭전력(outer-cell interference)을 나타낸다. I_o 는 일반적으로 간섭지수(interference factor) f 로 나타내어지므로 fI_i 로 나타내어 질수 있는데 이 때 f 값은 0.3-0.5 값이 된다. 따라서 식 (17)에서 멀티 셀에서의 최대 사용자 수는 f 를 0.4로 했을 때 23 명이 된다. 따라서 사용

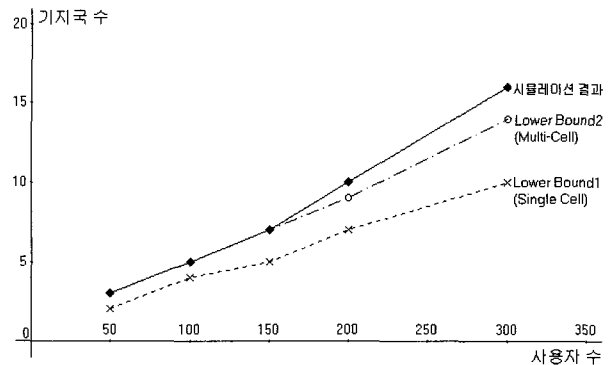
자 수가 150 이라면 최소로 필요한 기지국 수는 $150/33=6.52$ 가 되어 7 기지국이 필요하게 된다.

5. 실험결과 및 평가

시뮬레이션은 2km x 2km 의 서비스 면적을 1m 단위로 세분화하고, 이 곳에 50개의 후보 기지국의 위치를 선정한다. 주파수(F)는 1750MHz, 기지국 안테나의 높이(H_b)는 30m, 이동국의 안테나 높이(H_m)은 1.5m 이다. 이동국의 최대전력은 30dBm, 최소전력은 -30dBm, 그리고 기지국에서 수신되는 이동국의 목표전력(target power)은 -100dBm 으로 하였다. 또한 이동국을 무작위로 발생시킨 다음 혼합정수계획법을 실행시켜 해를 구한다. 혼합정수계획법은 기본적으로 branch and bound 기법을 사용한다. 사용 툴은 ILOG OPL3.7을 이용하였으며 Pentium 4 2.4GHz, 2.5GB RAM 의 컴퓨터를 사용하였다.

식 (9)에서 k 값이 너무 크게 되면 기지국 개수가 줄어들지만 $SIR \geq SIR_{min}$ 조건을 만족할 수 없게 된다. 또한 작은 k 값을 사용하면 필요 이상의 기지국이 선택된다. 일반적으로 사용자 n 이 증가할수록 k 도 큰 값을 사용하여야 올바른 해를 구할 수 있다. (그림 1)은 본 논문에서 제안한 목적함수 식 (12)를 이용하여 알고리즘의 시뮬레이션을 수행해서 얻어진 최소 기지국의 최적해 값과 단일 셀 및 멀티 셀에서의 이론적인 최소값을 나타내었다.

다음 <표 1>은 사용자 수와 목적함수의 변화에 따른 최소 기지국 수의 최적해를 나타낸다. n 은 사용자 수, LB1 은



(그림 1) 사용자 수 증가에 따른 최소 기지국 수의 최적해

<표 1> 사용자 수 증가에 따른 목적함수의 최소 기지국 수 (최적해)

n	50	100	150	200	300
LB1	2	4	5	7	10
LB2	3	5	7	9	14
기준방법 식(10)	3	5	7	n/a	n/a
기준방법 식(11)	3	5	n/a	n/a	n/a
제안방법 식(12)	3	5	7	10	16

단일 셀에서의 최소 기지국 수, LB2는 멀티 셀에서의 최소 기지국 수를 나타낸다. 최적해는 혼합정수계획법을 사용하였다. n/a 는 12시간 내에 최적해를 구할 수 없는 경우를 나타낸 것인데 이 경우에는 근사해를 구해야 한다.

위 <표 1>에서 보듯이 세 목적함수를 이용한 최적해는 모두 같은 경우라도 아래 <표 2>에서 보듯이 사용자 수가 150 이상이 되면 식 (10) 및 (11)의 계산시간이 갑자기 증가하며 사용자 수가 200, 300 일때 12시간 이내에 결과 값을 얻을 수 없었다. <표 1> 및 <표 2>를 고려할 때 제안된 방법의 식 (12)가 가장 성능이 우수한 목적함수임을 알 수 있다.

<표 2> 목적함수에 따른 최적해의 계산시간 (단위:초)

n	50	100	150	200	300
기존방법 식(10)	11.05	19.09	25,123	n/a	n/a
기존방법 식(11)	6.28	47.53	n/a	n/a	n/a
제안방법 식(12)	2.89	6.11	305.78	2,594	31,614

위 <표 1>에서 근사해를 구하기 위해 GAP 이라는 개념을 이용한다. GAP은 식 (18)과 같이 정의된다.

$$GAP = (\text{상한 값} - \text{최적 가능해}) * 100 / \text{상한 값} \quad (18)$$

즉 GAP 이 클수록 branch and bound 의 탐색나무가 빨리 가지를 치게 되어 계산이 빨리 끝나게 되지만, 근사해는 최적해보다 정확성이 떨어지게 된다. 이 GAP 은 10%를 사용하였다. 근사해를 구할 때 식 (12)에서 α 를 적당히 선택하는데, 이동국의 개수에 따라서 α 의 값도 다르게 부여되어야 계산시간을 단축시킬 수 있다. 즉 적당한 α 값에 따라서 기지국의 개수가 조정되는데 일반적으로 동일한 수의 이동국에 대해서 기지국의 개수가 적어짐에 따라 계산시간이 증가하게 된다. 또한 이동국 수가 커짐에 따라 α 값을 작게 하여야 계산시간이 단축된다.

목적함수별 근사해는 <표 3>, 그리고 그 계산시간은 <표 4>에 나타낸다. 근사해는 최적해는 아니지만 빠른 시간내에 해를 얻을 수 있는 장점이 있다. 근사해 계산에서도 식 (12)을 사용한 것이 식 (10), (11)을 사용한 경우보다 빠르게 해를 구하였다.

<표 3> 사용자 수 증가에 따른 목적함수의 최소 기지국 수 (근사해)

n	50	100	150	200	300
기존방법 식(10)	3	5	7	n/a	n/a
기존방법 식(11)	3	5	n/a	n/a	n/a
제안방법 식(12)	3	5	7	11	17

<표 4> 목적함수에 따른 근사해의 계산시간 (단위:초)

n	50	100	150	200	300
기존방법 식(10)	10.89	18.75	24,639	n/a	n/a
기존방법 식(11)	6.25	36.97	n/a	n/a	n/a
제안방법 식(12)	2.94	6.05	153.89	28.03	636.39

<표 5> 근사해를 이용한 사용자의 평균출력 (단위:dBm)

n	50	100	150	200	300
기존방법 식(10)	18.4	14.2	10.7	n/a	n/a
기존방법 식(11)	18.5	14.2	n/a	n/a	n/a
제안방법 식(12)	18.1	11.8	10.0	5.8	4.2

<표 5>는 각각의 목적함수 별 근사해를 이용하여 이동국의 평균 출력을 나타낸다. 사용자가 증가함에 따라서 기지국의 숫자도 늘고 이에 따라 셀의 반지름이 작아져서 사용자 평균출력도 작아짐을 알 수 있다. 또한 제안방법의 근사해에 대한 서비스 품질이 좋음을 알 수 있다.

<표 1>부터 <표 5> 까지를 살펴볼 때 기존의 목적함수를 이용한 식 (10)과 식 (11)의 방법보다 제안한 목적함수 식 (12)를 이용하여 최적해 및 근사해를 구하는데 있어서 성능이 우수함을 알 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 기지국 위치문제를 위해서 기존에 사용되던 창고위치문제의 목적함수와 기존 논문에서 사용되던 목적함수를 고찰하고, CDMA 이동통신 환경에 맞는 새로운 목적함수를 제안하였다. 또한 기존 및 제안된 목적함수별로 시뮬레이션을 하여 얻어진 각각의 최적해와 근사해를 성능평가를 위하여 이론적 최소값과 비교하였다. 또한 각각의 목적함수별 계산시간에 대한 비교를 병행하였으며 그 결과 제안된 목적함수식이 우수함을 보였다.

향후의 연구에는 보다 많은 사용자를 지원하기 위하여 branch and bound를 이용한 경험적 탐색방법(heuristic search)이 필요하다. 또한 음성뿐만 아니라 데이터 서비스도 지원하는 모델의 개발이 필요하다.

참고 문헌

- [1] E. Amaldi, A. Capone, F. Malucelli, "Discrete Models and Algorithms for the Capacitated location Problem arising in UMTS network planning," The 5th Int'l Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications, pp.1-8, ACM, 2001.
- [2] E. Amaldi, A. Capone, F. Malucelli, "Planning UMTS Base Station Location: Optimization Models with Power Control and Algorithms," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol.2, No.5, pp.939-952, Sep., 2003.
- [3] S.A. Ali, "A Set Partitioning Approach for Cellular Planning of Mobile Radio Network," IEEE Int'l Conference on Communications, pp.1028-1032, 2002.
- [4] R. Mathar, M. Schmeink, "Optimal Base Station Positioning and Channel Assignment for 3G Mobile Networks by Integer Programming," Annals of Operations Research, pp.

225-236, 2001.

[5] L. Raisanen, R.M. Whitaker, "Comparison and Evaluation of Multiple Objective Genetic Algorithms for the Antenna Placement Problem," *Mobile Networks and Applications*, Vol.10, pp.79-88, Feb., 2005.

[6] Y. Wu and S. Pierre, "Base Station Positioning in Third generation Mobile Networks," *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, pp.31-34, May 2003.

[7] M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Service," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol.29, pp.317-325, Aug., 1980.

[8] E. Amaldi, A. Capone, F. Malucelli, "Optimizing UMTS Radio Coverage via Base Station Configuration," *The 13th IEEE Int'l Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Sep., 2002.

[9] K.S. Gilhousen, et. al., "On the Capacity of a Cellular CDMA System," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.40, No.2, pp.303-311, May, 1991.

[10] R.Yates, C.Y. Huang, "Integrated Power Control and base Station Assignment," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.44, pp.638-644, Aug., 1995.

[11] R.Yates, C.Y. Huang, "Rate of Convergence for Minimum Power Assignment Algorithms in Cellular Radio Systems," *Baltzer/ACM Wireless Networks*, Vol.4, pp.223-231, 1998.



손 석 원

e-mail : sohn@hoseo.edu

1985년 인하대학교 전자공학과(공학사)

1987년 인하대학교 대학원 전자공학과
정보공학 전공 (공학석사)

2003년 인하대학교 대학원 컴퓨터정보
공학과 박사과정 수료

1999~현재 호서대학교 뉴미디어학과 부교수

관심분야: 센서네트워크, 이동통신, 제약만족문제