

전역 탐색 알고리즘을 이용한 이동 무선 통신 네트워크의 최적화에 대한 연구

김성곤*

A Study on Mobile Wireless Communication Network Optimization Using Global Search Algorithm

Sung-Gon Kim*

요약

이동 무선 통신 네트워크를 설계할 때 기지국(BTS), 기지국 컨트롤러(BSC), 이동 교환국(MSC)의 위치는 매우 중요한 파라미터들이다. 기지국의 위치를 설계할 때는 여러 가지 복잡한 변수들을 잘 조합하여 비용이 최소가 되도록 설계해야 한다. 이러한 문제를 해결하는데 필요한 알고리즘이 전역 최적화 알고리즘이며, 지금까지 전역 최적화 검색 기술로는 Random Walk, Simulated Annealing, Tabu Search, Genetic Algorithm이 사용되어 왔다. 본 논문은 이동 통신 시스템의 기지국, 기지국 컨트롤러, 이동 교환국의 위치 최적화에 위의 4가지 알고리즘들을 적용하여 각 알고리즘의 결과를 비교 분석하며 알고리즘에 의한 최적화 과정을 보여준다.

Abstract

In the design of mobile wireless communication network, BSC(Base Station Location), BSC(Base Station Controller) and MSC(Mobile Switching Center) are the most important parameters. Designing base station location, the cost must be minimized by combining various, complex parameters. We can solve this problem by combining optimization algorithm, such as Simulated Annealing, Tabu Search, Genetic Algorithm, Random Walk Algorithm that have been used extensively for global optimization. This paper shows the 4 kinds of algorithm to be applied to the optimization of base station location for communication system and then compares, analyzes the results and shows optimization process of algorithm.

▶ Keyword : Network Optimization, Mobile Communication, Base Location Optimization

* 부산기능대학 정보통신시스템과

조건들을 고려하여 임의로 기지국 수를 50개로 설정하였다.

무선 전파 모델로 이동통신 환경에 적용되는 로그-노멀 페이딩 모델을 사용하였으며, 기지국으로부터 거리 d 의 전력 손실(dB)은 식 (1)과 같다.

$$P_{loss} = A + B \log(d) + N \dots\dots\dots (1)$$

I. 서론

새로운 이동 무선 통신 네트워크 설계에 있어서 BTS, BSC, MSC는 매우 중요한 요소이며, 이들은 서비스 지역에서의 장비의 가격(기지국 숫자)을 최소화 하거나 서비스 영역(무선 커버리지)을 최대로 하는 방향으로 네트워크를 설계하는데 사용된다. 이동 통신 네트워크 설계와 같이 여러 가지 변수가 복합적으로 이루어져 있는 경우에는 서비스 영역의 트래픽이나 도심지의 복잡도를 고려하여 기지국을 최적화 하여야 한다. 트래픽이 많거나 도심의 복잡도가 큰 경우 기지국의 무선 커버리지가 작아지므로 기지국의 숫자를 늘려야 되고, 트래픽이 작거나 도심의 복잡도가 작은 경우에는 무선 커버리지가 커지기 때문에 기지국의 숫자를 줄여도 된다. 그러나 기존의 알고리즘[1]을 사용하여 최적화를 하면 트래픽과 도심의 복잡도를 고려할 수 없는 최적화가 행해진다. 따라서 본 논문에서는 조합 최적화 알고리즘(Random Walk, Simulated Annealing, Tabu Search, Genetic Algorithm)에 트래픽과 도심지의 복잡도를 고려하여 기존의 알고리즘에 가중치를 부여한 후에 이동 무선 통신 네트워크를 최적화 하였으며 이를 비교 분석 하였다.

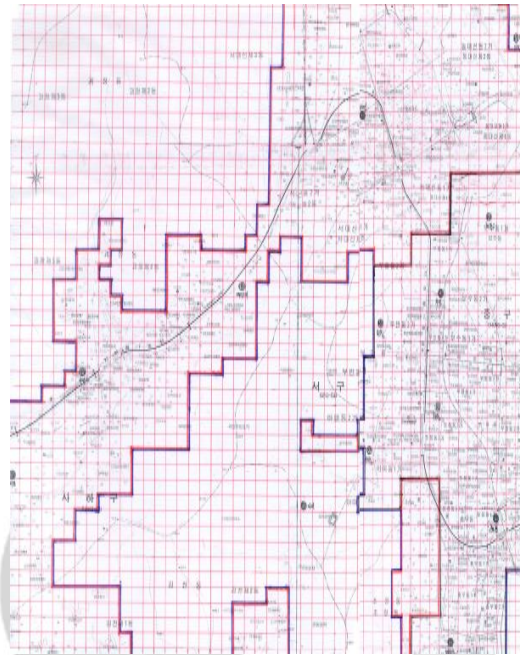


그림 1. 실제 지역과 트래픽에 의한 섹터화
Fig. 1 Actual map and sectorization due to traffic

II. 실제 환경과 파라미터

본 논문에서는 실제로 부산광역시 서구(3km×3km) 주변 서비스 지역의 무선 통신 네트워크를 설계하였다. (그림 1)은 실제 지역의 트래픽에 의한 섹터화를 보여준다. 이 지역을 선택한 이유는 트래픽과 도시의 복잡도가 적절하게 분포되어 있어서 트래픽의 정도나 도시의 복잡도에 따른 최적화의 성능을 잘 살펴볼 수 있기 때문이다. 최적화를 위해 이 지역을 50×50의 격자로 나누었으며, 한 격자의 간격은 60m이다. 기지국의 초기 위치는 지형, 물리적 제약, 기지국 설치의 용이성 등을 고려하여 선정하여야 하며, 이러한

여기서, N 은 분산 $\sigma^2=10$, 평균 0인 가우시안 랜덤 변수이며, A 는 표준지점까지의 전력손실, $B=10n$ 이며 음영환경에서는 통상 $n=4$ 이므로 본 논문에서는 $A=50$, $B=40$ 을 사용하였다.

2500개의 모든 점에서, 각 기지국으로부터 손실전력 P_{loss} 를 계산하고 차단값 $P^*=100$ dB와 비교하여 만약 $P_{loss} \geq P^*$ 이면 그 지역은 감쇠가 심해서 전파가 되지 않는다고 판단한다. 그리고 트래픽이나 도심지의 복잡도에 따라 트래픽과 도심지의 복잡도가 심한 지역, 적당한 지역 그리고 약한 지역으로 나누었으며 이를 (그림 2)에서는 진한 회색과 회색 그리고 흰색으로 각각 표시하였다.

트래픽은 그 서비스 지역의 인구나 통화 발생 확률을 곱한 것이고, 도심의 복잡도는 서비스 지역에서의 전파의 방해 정도를 나타낸다. 기지국에서 수용 가능한 사용자의 수

는 일정하기 때문에 트래픽이 높아질수록 기지국의 커버리지는 작아지고, 도심지의 복잡도가 증가할수록 페이딩이 커져서 전파의 감쇠가 커지기 때문에 커버리지가 줄어들게 된다. 그러므로 트래픽과 도심의 복잡도 거리에 대한 감쇠를 고려하여 트래픽이나 도심의 복잡도가 심한 지역은 커버리지 범위를 300m, 적당한 지역은 600m, 거의 없는 지역은 1.2km로 정하였다. 이와 같이 50개의 모든 점에 대하여 계산하면 기지국 위치 설계에 따른 무선 커버리지를 구할 수 있게 된다.

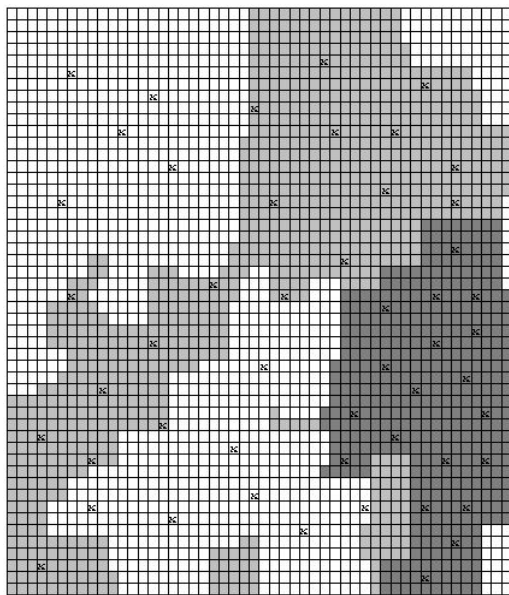


그림 2 기지국 위치의 초기 설정
Fig. 2 Initial setting of base stations

(그림 2)와 같이 50개의 기지국을 선택하면 100 %의 커버리지를 갖게 되지만 다른 기지국과의 오버랩이 많이 생기며, 따라서 기지국 수를 줄여야 할 필요가 있다. 즉 50개 이하의 기지국 숫자로 서비스 지역을 충분히 확보하여야 한다. 50개의 기지국을 2진 스트링으로 묘사할 수 있으며, 만약 그 위치에 기지국이 설치되었다면 그 비트에 1을 표시하고 설치가 되지 않았다면 0을 표시한다. 그리고 모든 알고리즘은 근방정의에 의해서 탐색을 진행하게 되며, 근방 정의란 하나의 점에서 다른 점으로 어떻게 탐색을 진행시킬지를 설명하는 것이다. 본 논문에서는 50개의 기지국을 나타내는 비트 중에서 비트를 랜덤하게 반전시키거나 몇 비트를 교환함으로써 탐색을 진행시킨다. 코스트 함수는 성능을 평가하는 함수로서 위에서 가정한 작은 기지국의 숫자와 큰

커버리지 퍼센트를 만족하기 위해서 기지국의 숫자에 반비례하고 커버리지 퍼센트에는 비례하도록 정해야만 한다. 따라서 식(2)와 같이 기지국의 숫자에는 반비례하고 커버리지 퍼센트에는 비례하는 코스트 함수를 정의하였고 코스트 함수가 작아지도록 설계한다[2].

$$f = K \times \frac{N_{BTS}}{R^\beta} \dots\dots\dots (2)$$

여기서, N_{BTS} 는 선택된 기지국의 숫자, R은 선택된 기지국에 의해서 구해진 무선 커버리지 퍼센트, K는 크기 조정 상수이다.

본 논문에서는 산출되는 코스트의 크기가 0~10 사이의 값을 가지게 하는 $K = 10^8$ 을 사용하였고, β 는 기지국의 숫자를 최소로 하거나 무선 커버리지를 최대로 하는 무계 변수로서 β 의 값이 클수록 무선 커버리지가 큰 것을 우선으로 최적화되며 β 의 값이 작을수록 기지국의 숫자를 최소로 만드는 것을 우선으로 최적화하게 된다. 네트워크 토폴로지 최적화에 사용한 코스트 함수는 식 (3)과 같다.

$$f = \sum_{i=1}^{N_{BTS}} l_{BTS_i > BSC(i)} + \alpha \sum_{j=1}^{N_{BSC}} l_{BSC_j > MSC} \dots\dots\dots (3)$$

여기서, $l_{BTS_i > BSC(i)}$ 는 i번째 BTS와 BSC사이의 직접 링크의 길이이며 BTS가 각 BSC에 할당된다. 그리고 $l_{BSC_j > MSC}$ 는 j번째 BSC와 MSC사이의 직접링크 길이이며 α 는 위에서 설명한 것과 같이 BTS와 BSC사이의 링크에 대한 BSC와 MSC사이의 링크 길이의 가중치이다.

III. 탐색 알고리즘

1. Random Walk

이 알고리즘은 지역 탐색 알고리즘 중에서 가장 간단한 알고리즘이다[6]. 각 반복마다 만들어진 근방은, 현재 시점에서 코스트 함수가 작거나 같으면 조건 없이 받아들이고, 그렇지 않고 더 높은 코스트 값을 가지게 되면 p의 확률로

조건적으로 받아들인다. 이 p의 확률이 국소 최적을 탈출하는데 도움을 주며, 알고리즘의 범위는 순수한 greedy 탐색(p=0)에서부터 Random 탐색(p=1)까지 가능하게 된다. p의 값에 따라서 알고리즘의 성능이 많이 달라지며 p가 너무 크면 알고리즘의 성능이 떨어지고, p가 너무 작으면 국소 최적에 빠질 위험이 있다.

2. Simulated Annealing

물체를 가열하였다가 냉각시키는 과정을 알고리즘에 응용한 것으로 온도를 냉각시키면서 알고리즘을 진행할 때 만약에 한 점이 현재의 코스트보다 낮은 코스트를 가지면 낮은 코스트가 현재 코스트가 되며, 한 점이 현재의 코스트보다 높더라도 Metropolis 기준을 사용하여 확률적으로 그 점을 받아들인다. 여기서 이 허용 확률은 온도 T에 비례하고 이 온도 T는 알고리즘이 진행됨에 따라서 점차 감소된다. 여기서 Metropolis 기준은 식 (4)와 같다[6].

$$P_{x > x'} = \min(1, \exp[-\frac{f(x') - f(x)}{T}]) \dots\dots\dots (4)$$

기타 중요한 변수에는 초기온도 T와 쿨링율 α_c 가 있다. 초기 온도가 높으면 거의 모든 지역을 탐색하게 되고, uphill 확률을 높일 수 있다. 그리고 쿨링율은 알고리즘의 수렴 속도를 결정하며, 쿨링율이 높으면 알고리즘은 느리게 차가워지며 쿨링율이 낮으면 매우 빠르게 차가워진다[4].

3. Tabu Search

Tabu Search는 메모리의 개념을 알고리즘에 도입시킨 것으로 타부 목록에 이전의 값을 일정기간 저장하고 값을 비교하면서 최적화시키는 알고리즘이다[3]. 현재의 해에서 근방탐색에 의해서 타부 목록을 만들며, 그 목록 중 최적해를 구하고 다시 목록을 만들어서 탐색을 진행한다. 이 방법은 현재의 해 값에서 모든 근방을 탐색할 필요가 없다는 점에서 효율적이다. 중요한 변수로는 타부목록크기 V와 보유기간이다. V는 각 탐색마다 얼마나 많은 후보들을 고려할 것인가를 결정하고 보유기간은 목록에 얼마나 오래 동안 보관할지를 나타내는 변수이다.

4. Genetic Algorithm

유전자 알고리즘은 매개변수의 최적화 문제를 자연의 진화원리에 배경을 둔 알고리즘으로서 변수의 표현을 유전자

형태로 바꾼 다음 교차나 돌연변이에 의해서 알고리즘을 진행하는 알고리즘이다[5][6]. 선택도에 비례하도록 부모 P를 구한 다음 P_c 의 확률로 교차를 시키고 마지막으로 돌연변이 확률 P_m 으로 돌연변이 시켜서 다음 세대를 구성한다. 중요한 변수는 집단의 크기 P, 얼마나 많은 부모를 교차에 사용할 것인지를 결정하는 교차 확률 P_c 그리고 다음 세대에서 부모의 형질과는 전혀 다른 형질을 추가해서 유전자의 진화를 꾀하는 돌연변이 확률 P_m 이 있다.

IV. 시뮬레이션 및 결과

초기 기지국 위치 50개 중 랜덤하게 25개의 기지국을 선택하여 시뮬레이션을 시작하였으며 각 알고리즘 당 코스트 평가 횟수는 동일하게 설정하였다. 그리고 모든 알고리즘은 동일한 코스트에서 출발하여 공정성을 더욱 더 높도록 하였다. 변수의 효과를 분석 비교하기 위해서 각 알고리즘은 다른 설정으로 각각 10,000번의 코스트 평가와 이것의 10번의 반복으로 최적의 파라미터를 찾도록 하였다.

1. β 의 크기에 따른 커버리지 퍼센트의 비교

트래픽이나 도시의 복잡도에 따른 커버리지의 제한 때문에 트래픽이나 도시의 복잡도가 높은 지역의 기지국은 알고리즘이 진행되면서 도태될 확률이 높다. 왜냐하면 알고리즘은 작은 기지국 숫자로서 많은 지역을 커버하는 것이 목적이기 때문이다. 그러나 트래픽이 높은 지역에서 통화가 되지 않을 경우 소비자의 불만이 가장 많이 생긴다. 따라서 트래픽이 많은 지역에서 기지국의 커버리지 면적은 좁기 때문에, 이 지역에서는 가중치를 주었다. 가중치를 준 뒤 최적화시킨 결과, 가중치를 사용하지 않고 β 를 5로 놓았을 때 커버리지 퍼센트는 94 %였고, $\beta=4.5$ 로 놓고 가중치를 사용하여 최적화시킨 결과 커버리지 퍼센트는 93 %로 줄어들었다. 그러나 가중치를 주지 않았을 경우는 커버리지 않는 지역이 흰색 5지역, 회색 22지역, 진한 회색 117지역이지만 가중치를 주었을 때는 흰색 64지역, 회색 92지역, 진한회색 19지역으로 변화였다. 따라서 가중치를 주었을 때는, 트래픽이나 도심의 복잡도가 복잡한 지역에서의 커버리지를 우선으

로 하여 최적화된다. 가중치를 주는 것으로 원하는 지역의 커버리지를 우선으로 최적화 할 수 있고 β 를 조절함으로써 기지국 숫자와 무선 커버리지 퍼센트의 우선순위를 조절할 수 있다. β 값을 크게 하면 커버리지를 넓히는 것이 우선으로 최적화되고, β 값을 작게 하면 기지국 숫자를 작게 하는 것을 우선적으로 최적화된다.

2. 기지국 최적화

(그림 3)은 처음 선택된 25개의 랜덤한 기지국 위치와 커버리지를 보여준다. x로 표시된 부분이 기지국의 실제 위치이고 기지국에 의해서 커버가 되는 지역은 1로 표시하고 그렇지 않은 지역은 0으로 표시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 25개의 기지국으로 95.72%를 커버할 수 있다.

그러나 하나 이상의 기지국에 의해 오버랩되는 지역이 많고 트래픽이 많은 지역인 진한 회색 지역에도 서비스가 되지 않는 지역이 많은 것을 확인할 수 있다. 이는 25개보다 더 적은 기지국을 가지고도 이와 비슷한 서비스 면적을 얻을 수 있고, 트래픽이 많은 지역을 우선으로 하여 더 적절하게 최적화시킬 수 있음을 알 수 있다.

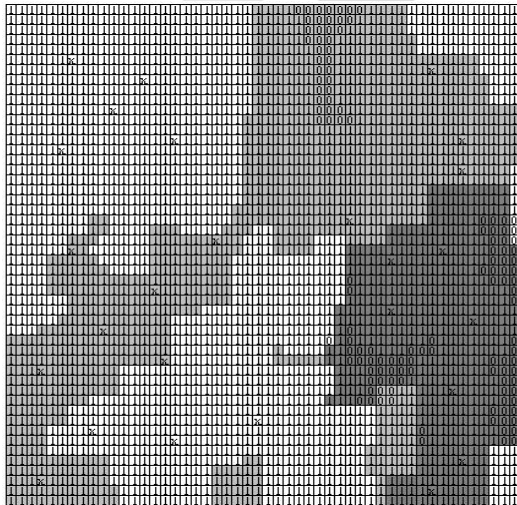


그림 3 최적화 전의 커버리지
Fig. 3 The coverage before optimization

(그림 2)의 코스트를 구해보면,

$$\text{Coverage percent} = 2393/2500 = 95.72\%$$

$\text{Cost} = 10^8 \times \frac{19.4}{95.72^{4.5}} = 23.62$ 이고, 알고리즘은 코스트함수와 같이 커버리지가 최대이면서 기지국 숫자가 최소가 되는 값으로 진행되므로 그림 4와 같이 최적화된다. 그러나 상대적으로 도심의 복잡도가 크고 트래픽이 많이 존재하는 곳에서는 기지국에 의해서 커버가 되지 못한 것을 알 수 있다. 따라서 트래픽이 많은 지역에 가중치를 부기할 필요성이 있다.

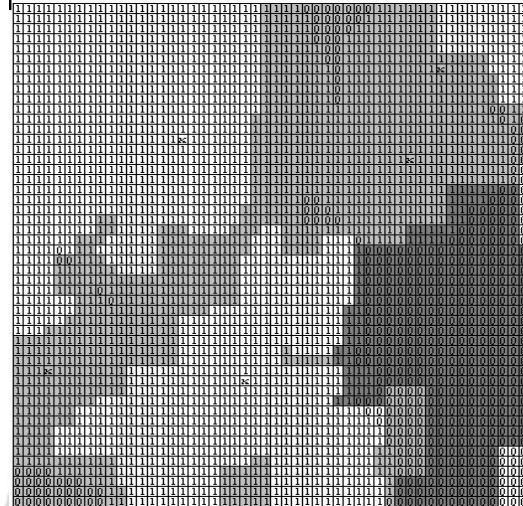


그림 4. 가중치가 없는 경우의 최적화
Fig. 4 The optimization result without weight value

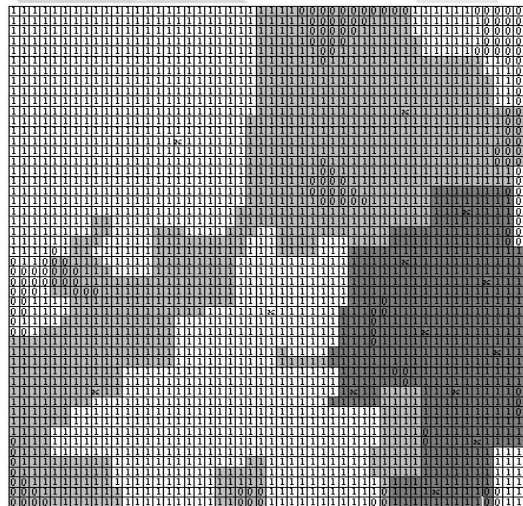


그림 5. 가중치가 존재하는 경우의 결과값
Fig. 5 The optimization result with weight value

(그림 5)는 가중치를 적용한 후의 결과를 보여주며 코스트를 구해보면,

$$\text{Coverage percent} = 2325/2500 \times 100 = 93\%$$

$$\text{Cost} = 10^8 \times \frac{5.8}{93^{4.5}} = 8.0399 \text{ 이다.}$$

결론적으로 보면 기지국 숫자는 25개에서 13개로 줄일 수 있으며, 커버리지 퍼센트는 95.72%에서 93%로 줄어들었고, Cost는 23.62에서 8.0399로 줄어들었음을 알 수 있다.

3. 네트워크 토폴로지 최적화

(그림 6)은 네트워크의 상태를 최적화하기 전의 상태를 보여주며 BTS의 숫자는 위에서 최적화되어진 13이고 MSC=1, MOVE A, B, C의 확률인 $w_1=w_2=w_3=0.3$, $\alpha=2$, MAX_BTS=8로 최적화를 하였다.

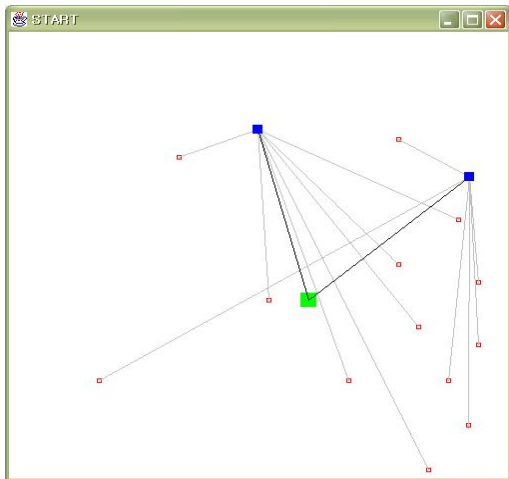


그림 6. 최적화 전의 네트워크
Fig. 6. The network before optimization

최적화 전 초기값에서의 코스트 값은 411.284이고 (그림 6)에서도 알 수 있듯이 BSC의 위치가 MSC와는 많이 떨어져 있고 할당되어 있는 BTS도 거리에는 상관없이 할당되어 있는 것을 알 수 있다. 그러므로 BTS와 BSC의 거리와 BSC와 MSC의 거리의 합이 상당히 큰 수가 되고 이것 때문에 시스템의 비용이 많이 들게 될 것이다. (그림 7)과 같이 최적화 후의 결과를 보면 코스트 값은 169.13로 작아졌으며, 거리가 최소가 되는 BSC의 위치를 설정한 것을 볼 수 있다.

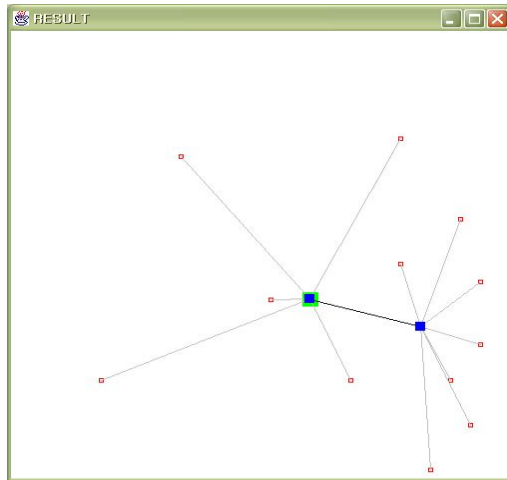


그림 7. 최적화 후의 네트워크
Fig. 7. The network after optimization

4. 실행 결과 비교

(그림 8)은 기지국 최적화에 대한 각 알고리즘의 실행 결과이며 TS와 RW 알고리즘의 성능이 코스트면에서 우수하였다. 그림 9는 네트워크 토폴로지 최적화에 대한 각 알고리즘의 실행 결과이며 GA와 TS 알고리즘의 성능이 뛰어났다.

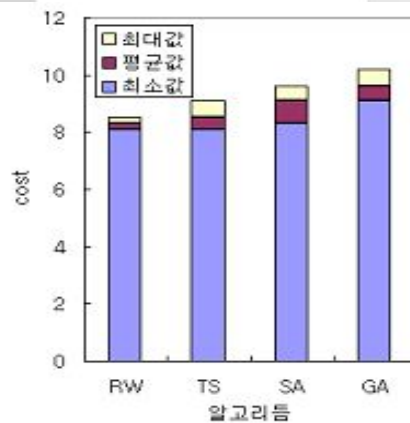


그림 8. 기지국 최적화 결과
Fig. 8. The result of base station optimization

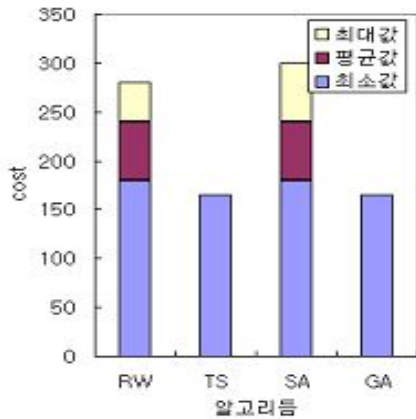


그림 9. 네트워크 토폴로지 최적화 결과
Fig. 9. The result of network topology optimization

IV. 결론

본 논문에서는 이동 무선 통신 네트워크를 설계할 때 트래픽이나 도심의 복잡도를 고려하여서 최적화하는 방안에 대하여 실제 지역을 모델화 하였으며, 최적화 설계 알고리즘에는 RW, SA, TS, GA를 사용하였다. 시뮬레이션 결과 기지국 위치 최적화에서는 TS와 RA 알고리즘이 최적의 성능을 보였지만 네트워크 토폴로지 최적화에서는 GA와 TS 알고리즘이 최적의 성능을 보였다. 일반적으로 TS와 RA 알고리즘은 국소 지역이나 연산량이 작은 경우에는 좋은 성능을 발휘하지만, 전역 탐색이나 연산량이 많은 경우에는 좋은 성능을 발휘하지 못함을 알 수 있었다. 따라서 향후 연구과제로 최적화 근처까지는 GA 알고리즘으로 최적화를 시키고 그 이후에는 TS나 RA 알고리즘을 적용 할 계획이다.

참고문헌

[1] B. Krishnamachari, Global Optimization in the Design of Mobile Communication Systems,

Master's Thesis Electrical Engineering, Cornell University, 1999

[2] Theodore S. Rappaport, Wireless Communications, Prentice Hall, 1996
 [3] B. Krishnamachari and S.B. Wicker, Global search techniques for problems in mobile communications, Telecommunications Optimization : Adaptive and Heuristic Methods, ed D. Come et al., John Wiley and Sons, 1999
 [4] H.R. Anderson, and J.P. McGeehan, "Optimizing Microcell Base Station Locations Using Simulated Annealing Techniques," IEEE 44th Vehicular Technology Conference, vol. 2, pp. 858-862, 1994
 [5] 조성배, GA의 기초, 공학응용 및 인공생명 유전자 알고리즘, 1966
 [6] P. Calegari., "Genetic approach to radio network optimization for mobile systems," IEEE 47th Vehicular Technology Conference vol. 2, pp. 755-9, 1997

저자 소개



김성곤

1997년 2월 동아대학교
전자공학과 졸업
1999년 2월 동아대학교 대학원
전자공학과 석사
2003년 8월 동아대학교 대학원
전자공학과 박사
2002년 4월~2004년 2월
(주) xillix 무선통신 기술연구소
선임연구원
2004년 3월~현재
부산기능대학 정보통신시스템과
<관심분야> 모바일통신, 무선인터넷