디지털산업정보학회 논문지 제13권 제3호-2017년 9월
http://dx.doi.org/10.17662/ksdim.2017.13.3.065

5G 이동통신 셀 설계를 위한 타부 탐색과 유전 알고리즘의 성능

권 오 현*·안 흥 섭**·최 승 원***

Performance comparison of Tabu search and genetic algorithm for cell planning of 5G cellular network

Kwon Ohyun · Ahn Heungseop · Choi Seungwon

〈Abstract〉

The fifth generation(5G) of wireless networks will connect not only smart phone but also unimaginable things. Therefore, 5G cellular network is facing the soaring traffic demand of numerous user devices. To solve this problem, a huge amount of 5G base stations will need to be installed. The base station positioning problem is an NP-hard problem that does not know how long it will take to solve the problem. Because, it can not find an answer other than to check the number of all cases. In this paper, to solve the NP hard problem, we compare the tabu search and the genetic algorithm using real maps for optimal cell planning. We also perform Monte Carlo simulations to study the performance of the Tabu search and Genetic algorithm for 5G cell planning. As a results, Tabu search required 2.95 times less computation time than Genetic algorithm and showed accuracy difference of 2dBm.

Key Words : 5G, Cell Planning, Meta-heuristic, Tabu Serach, Genetic Algorithm

Ⅰ. 서론

최근 가상현실(Virtual Reality), 홀로그램, 무인 자율주행 자동차와 같은 기술이 등장하면서 무선 네트워크에서 사용하는 트래픽 양은 급격하게 증가하고 있다. 시스코(CISCO)의 전 세계 트래픽 예측 보고서에 따르면 2016년의 요구 트래픽이 7EB (Exabyte)인데 비해, 2021년의 요구 트래픽이 49EB 일 것으로 예측됨에 따라 트래픽 요구량이 5년 동안 약 7배 증가할 것으로 전망하고 있다[1, 2]. 이런 급격한 트래픽 증가 추세에 대응하기 위해 5G(5th Generation) 이동 통신에 대한 논의가 국내외에 본격적으로 진행되고 있다[3]. 5G 무선 네트워크의 요구조건인 높은 데이터 전송 속도(high speed), 높은 대량 연결성(massive connectivity), 낮은 지연속도 (low latency)를 만족하기 위해서는 광대역주파수 대역 확보가 필수적이다[4]. 그러나 5G 이전의 기존 이동통신에서 사용하던 3GHz 이하의 낮은 주파수 대역은 이미 포화상태이며, 남아있는 주파수 대역을

* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정
** 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정
*** 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 교수

모두 결합하여 사용한다 해도 5G 이동통신의 요구 사항을 만족 할 수 없다. 따라서 5G 이동통신에서는 광대역 주파수 대역을 확보하기 위하여 6GHz 이상의 높은 주파수 대역을 고려하고 있으며, 국내 5G 포럼(5G Forum)에서는 28GHz~ 29.5GHz, 72GHz를 서비스 주파수 대역으로 검토하고 있다[4]. 하지만 밀리미터파는 5G 이동통신 이전에 사용하던 3GHz 이하의 주파수 대역에 비해 경로손실(pathloss)과 투과손실(penetration loss)이 상대적으로 크다. 특히 지형 특성에 따른 기지국과 단말기 간 링크의 LOS(Line of Sight)/ NLOS(Non Line of Sight) 여부에 따라 큰 경로손실 차이를 가지는 특성이 있다[5]. 이에 따라 5G 이동통신을 위한 셀 설계시 지형 특성을 고려한 기지국 위치 설정이 중요하다. 기지국 위치 설정 문제는 모든 경우의 수를 전부 확인해보는 방법 이외에는 답을 구할 수 없어 해결하기 위해서는 시간이 얼마나 걸릴지 모르는 NP-hard(Non-deterministic Polynomial- time hard) 문제다[6]. 메타 휴리스틱은 NP-hard 문제를 해결하기 위해서는 가장 좋은 방법으로 제시되고 있다[7]. 따라서 본 논문에서는 밀리미터파를 사용하는 5G 이동통신 셀 설계를 위해 실제 지도를 기반으로 후보 기지국 위치 중에서 최적의 기지국 위치 선정하는 방법을 시뮬레이션 한다. 이때 후보 기지국 위치 중에서 최적의 기지국 위치선정을 하는 NP-hard 문제를 풀기 위해 대표적으로 사용되는 메타 휴리스틱 기법인 타부 탐색과 유전 알고리즘의 성능을 비교한다.

Ⅱ. 셀 설계를 위한 메타 휴리스틱

휴리스틱(heuristic)이란 불충분한 시간이나 정보로 인해 합리적인 판단을 할 수 없거나, 합리적인 판단이 굳이 필요 하지 않은 상황에서 빠르게 판단할 수 있는 어림짐작 방법이다[8]. 그러나 휴리스틱은 문제마다 그 특성에 맞추어 개발해야하는 어려움이 있다. 이때 문제마다 특성을 맞추어주지 않아도 판단할 수 있도록 휴리스틱 보다 더욱 고도화된 메타 휴리스틱 기법을 사용 하여 해결 할 수 있는데, 대표적인 메타 휴리스틱 기법에는 유전 알고리즘(genetic algorithm)[9], 타부 탐색(tabu search)[10], 담금질 기법(simulated annealing)[11]이 있다. 각 알고리즘들은 서로 다른 특성을 가지고 있지만 개념과 이론이 단순하여 공학, 자연, 경영, 사회과학 등 최적화를 필요로 하는 많은 분야에서 응용 되고 있다. 보다 적은 연산 시간과 정확도로 인해 유전 알고리즘과 타부 탐색은 셀 설계를 위한 최적화 문제에서 많이 사용되고 있다[12].

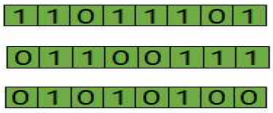
2.1 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 다윈의 적자생존 이론을 바탕으로 최적의 값을 찾아내는 알고리즘이다. 유전 알고리즘은 해결하고자 하는 문제에 대한 해를 점차적으로 진화하면서 전역(global) 최적 점을 찾아낼 수 있는 알고리즘이다. 유전 알고리즘은 최적의 해를 찾아야 하는 상황이면 어떠한 문제에도 적용 할 수 있으며, 다양한 조합 최적화 문제에 적용되어 좋은 퍼포먼스를 제공하기 때문에 다양한 분야에서 많이 사용되고 있다.

2.1.1 초기 개체군의 생성과 개체군 수

개체군이란 생물학적으로는 유전물질을 담고 있는 하나의 집합을 의미하며, 유전 알고리즘에서 어떠한 문제의 해를 찾기 위한 파라미터들의 집합이다. 유전 알고리즘의 가장 첫 번째 단계는 개체군

수(population size)를 정해주는 것 이다. 개체군 수는 사용자에 의해서 선택 될 수 있으며, 개체군 수에 따라 개체군이 무작위로(random)생성된다.



<그림 1> 기지국 배치를 위한 개체군의 형태

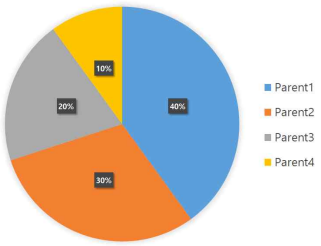
<그림 1>에서는 셀 설계를 위해 기지국의 배치를 위한 개체군의 형태이다. 총 8개의 기지국 설치 후보지(candidate site)가 있다고 가정했을 때, 개체군 요소(element) 중 1의 경우는 기지국을 설치하는 경우, 0의 경우는 기지국을 설치하지 않는 경우이다. 이처럼 사용자에 의해서 개체군의 형태를 구성 할 수 있다. <그림 1>의 경우는 3개의 개체군이 있는 경우이다.

2.1.2 부모선택과 자손생성

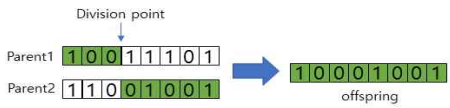
개체군의 해가 얼마나 적합한지를 나타내는 적합도(fitness)를 계산 한 후, 가장 최적의 해(optimal solution)를 찾는다. 그 후 더 좋은 해를 찾기 위해서, 부모가 될 개체군을 선택하게 되는데 <식 1>을 이용하여 개체군에게 확률을 분배한다.

$$p(ch_j) = \frac{f(ch_j)}{\sum_{i}^{N} f(ch_i)} \qquad \text{<식 1>}$$

<식 1>을 이용하여 각 개체군에게 확률을 분배하면, <그림 2>의 룰렛 휠의 원리와 같이 각 개체군에게 확률이 분배된다. 이 확률을 통해 새로운 부모를 선택하고, 부모를 이용해 새로운 해인 자손을 생성할 수 있다. 새로운 자손을 생성하는 과정은 <그림 3>와 같이 사용자가 지정한 디비전 포인트(division point)를 기점으로 부모 개체군을 크로스오버(crossover) 연산하여 생성 할 수 있다. 이때, 유전 알고리즘은 지역(local) 최적점에 빠지는 것을 방지하기 위하여 확률적으로 돌연변이(mutation)연산을 한다. 돌연변이 연산은 <그림 4>처럼 무작위로 개체군의 요소를 선택하여 바꾸는 리버스(reverse)연산을 통해 새로운 돌연변이를 생성한다.



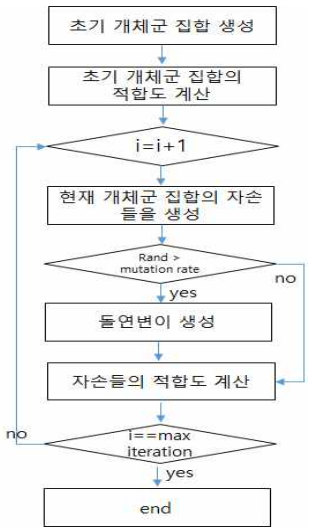
<그림 2> 룰렛 휠 에 따른 각 개체군의 확률 분배



<그림3> 크로스오버 연산의 예시

<그림 4> 돌연변이 연산의 예시

본 논문에서는 <그림 5>의 단계와 같이 유전 알고리즘을 적용하여 후보 기지국 위치 중 최적의 기지국 위치를 구하는 시뮬레이션을 진행하였다.

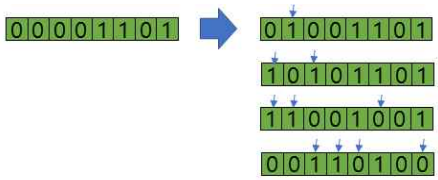


<그림 5> 유전 알고리즘의 흐름도

2.3 타부 탐색

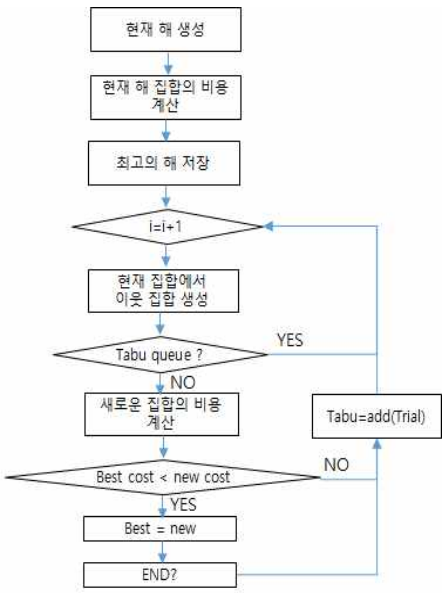
타부 탐색 또한 유전 알고리즘과 같이 최적화 문제를 풀기 위한 메타 휴리스틱 기법의 한 종류다. 타부(tabu)는 영어로 금기라는 뜻을 가지는 단어로 최적의 해를 찾고자 할 때, 해의 후보 집합 중 타부에 해당하는 조합에 대해 벌점을 부여하는 방식으로 문제를 해결 한다.

타부 탐색의 첫 번째 단계는 임의의 초기 최적해 후보인 현재 해(current solution)를 생성하고, 현재 해를 이용하여 비용(cost)을 계산한 후 이를 최고의 비용(best cost)으로 설정한다. 그리고 현재 해를 기반으로 새로운 이웃 (neighborhood)을 생성하는데, 이웃 탐색 연산에는 매우 많은 방법이 있을 수 있어 사용자가 해결하고자 하는 문제에 적합한 연산을 통해 이웃을 생성한다. <그림 6>은 현재 해에서 이웃 생성과정의 예시로 기지국을 추가(add), 제거(remove) 연산을 통해 새로운 이웃을 생성하는 과정이며, 연산과정을 행동양식 테이블에 저장한다. 이때, 해의 요소 중 0-> 1로 바뀌는 경우는 기지국 추가연산이며, 1-> 0으로 바뀌는 경우는 기지국 제거하는 연산이다.



<그림 6> 현재 해에서 새로운 이웃 해 생성 과정의 예시

생성된 이웃의 비용을 계산 한 후 그 중 최고의 비용을 현재 해의 비용과 비교한다. 둘 중 더 최고인 해를 현재 해에 저장하고, 차선의 해를 타부에 저장한다. 또한, 그 이전의 행동양식들을 저장하고, 저장된 행동양식과 타부에 패널티를 적용하여 같은 연산을 할 확률을 낮춘다. <그림 7>는 본 시뮬레이션에서 진행한 타부 탐색의 흐름도이다.



<그림 7> 타부 탐색의 흐름도

Ⅲ. 시뮬레이션 및 결과

3.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 20개의 후보 기지국 위치 중에 9개의 최적의 기지국 위치를 선정하는 5G 셀 설계 시뮬레이션을 가정한다. 최적의 기지국 위치를 선정하기 위해 메타 휴리스틱 기법인 타부 탐색과 유전 알고리즘을 사용하였고 이들의 성능을 비교하기 위해서 약 1km x 1.2km넓이의 교외지역에서 시뮬레이션 하였다. <표 1>은 시뮬레이션을 위해 사용된 파라미터(Parameter)다.

<표 1> 시뮬레이션에 사용된 파라미터

Parameter	Value
주파수	28GHz
대역폭	1000MHz
전송 파워	35dBm
빔포밍이득	20dBm
안테나 높이	3m
안테나 azimuth각도	0, 120, 240°
안테나 tilt각도	0°

경로 손실은 TR 38.900문서의 경로 손실 모델을 사용 하였으며[13], <표 2>에 따라 LOS/NLOS여부를 판단하여 경로 손실을 적용하였다.

<표 2> TR 38.900의 경로손실 식

	Pathloss
LOS	$PL_{UMa-LOS} = \begin{cases} PL_1 & 10\,\text{m} \le d_{2D} \le d'_{BP} \\ PL_2 & d'_{BP} \le d_{2D} \le 5\,\text{km} \end{cases}$ $PL_1 = 32.4 + 20\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c)$ $PL_2 = 32.4 + 40\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c) - 10\log_{10}((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2)$
NLOS	$PL_{UMa-NLOS} = \max(PL_{UMa-LOS}, PL'_{UMa-NLOS})$ for $10\,\text{m} \le d_{2D} \le 5\,\text{km}$ $PL'_{UMa-NLOS} = 13.54 + 39.08\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c) - 0.6(h_{UT} - 1.5)$

시뮬레이션에서 사용된 안테나는 <표 3>에 따라 TR 38.900문서의 7.3장 Antenna modelling 3D 안테나 패턴을 적용하였다[13].

<표 3> TR 38.900의 antenna pattern 식

	Antenna radiation pattern 식
Antenna element vertical radiation pattern (dB)	$A_{E,V}(\theta'') = -\min\left\{12\left(\frac{\theta''-90°}{\theta_{3dB}}\right)^2, SLA_V\right\}, \theta_{3dB} = 65°, SLA_V = 30\,\text{dB}$
Antenna element horizontal radiation pattern (dB)	$A_{E,H}(\phi'') = -\min\left\{12\left(\frac{\phi''}{\phi_{3dB}}\right)^2, A_m\right\}, \phi_{3dB} = 65°, A_m = 30\,\text{dB}$
Combining method for 3D antenna elemen pattern (dB)	$A''(\theta'',\phi'') = -\min\left\{-\left[A_{E,V}(\theta'') + A_{E,H}(\phi'')\right], A_m\right\}$

<표 4>는 각 알고리즘에 대한 입력 파라미터로 <표 4>를 기반으로 시뮬레이션을 진행 하였다.

<표 4> 유전 알고리즘과 입력 파라미터

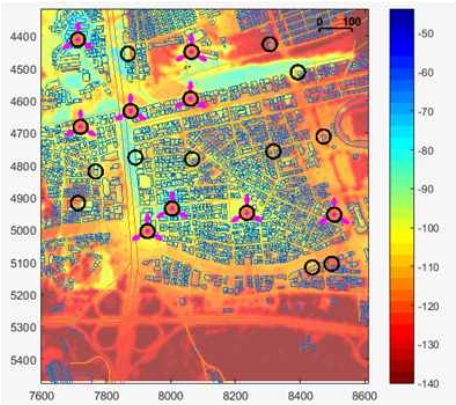
	Genetic	Tabu search
parameter	개체군 수 : 5 돌연변이 비율 : 0.3 크로스 오버 비율: 0.5 반복 횟수 : 1000	초기 해 수 : 5 반복 횟수 : 1000

3.2 시뮬레이션 결과

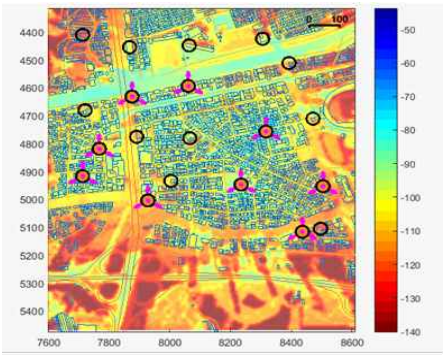
본 논문에서는 5G 이동통신 셀 설계를 위한 타부 탐색과 유전 알고리즘의 성능을 비교하였다. 성능평가의 기준은 기지국을 설치했을 때 지도상에서의 RSRP(Reference Signal Received Power)를 측정하

여 알고리즘을 적용하기 전과 후를 비교 하였다. 또한 각 알고리즘의 반복 횟수에 따른 시간을 비교 하였다.

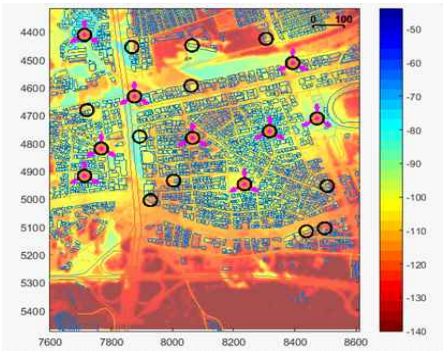
<그림 8>은 유전 알고리즘을 적용하기 전 초기 개체군을 배치한 결과를 보여주고 있다. o모양은 기지국의 설치 후보지역이며, 화살표 모양은 설치 후보 지역에 기지국을 설치한 모습이다. <그림 8>은 유전 알고리즘을 적용하기 전 초기 개체군에 따라 기지국을 배치하였을 때 지도상에서의 RSRP 값을 나타내주는 RSRP 지도의 모습이다. <그림 9>은 유전 알고리즘을 적용한 개체군에 따라 기지국을 배치하였을 때 RSRP 지도의 모습이다. 유전 알고리즘을 적용하기 전과 후의 RSRP를 비교해보았을 때, 전체적으로 -130dBm이하의 영역이 많이 사라진 것을 확인 할 수 있다. <그림 12>를 보면 유전 알고리즘을 적용하기 전과 후의 CDF 그래프가 나타나 있는데. 유전 알고리즘을 적용하기 전에 비해 적용 후의 RSRP가 전체적으로 약 2dBm이 증가하여 성능 향상 한 것을 확인 할 수 있었다.



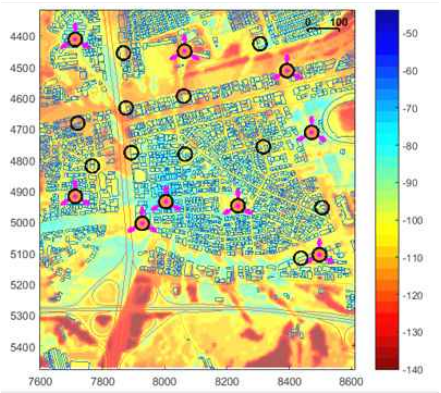
<그림 8> 유전 알고리즘 최적화 전 기지국 배치



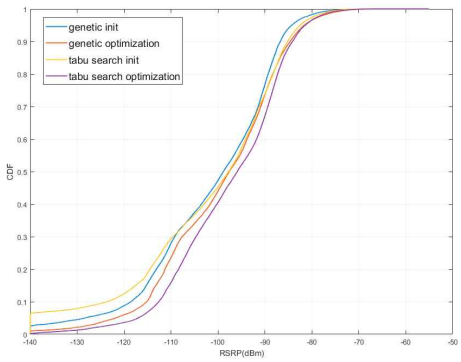
<그림 9> 유전 알고리즘 최적화 후 기지국 배치



<그림 10> 타부 탐색 최적화 전 기지국 배치

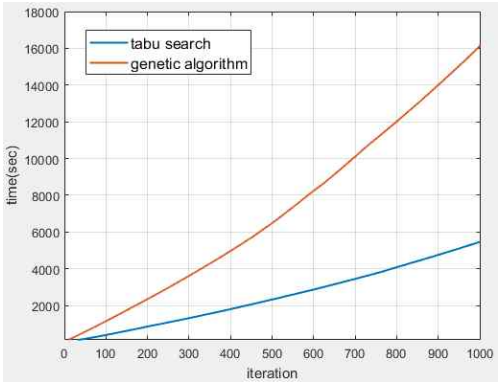


<그림 11> 타부 탐색 최적화 후 기지국 배치



<그림 12> 타부 탐색과 유전알고리즘의 RSRP에 따른 CDF

<그림 10>는 타부 탐색을 적용하기 전 초기 기지국을 배치하였을 때 RSRP 지도의 모습이다. <그림 11> 타부 탐색을 적용 하였을 때의 RSRP 지도를 <그림 10>와 비교 하였을 때 또한 전체적으로 -130dBm이하의 영역이 많이 사라진 것을 확인 할 수 있었으며, <그림 12>에서의 을 적용하기 전과 후의 CDF를 비교하였을 때 약 4dBm이 증가한 것을 확인 할 수 있었다. <그림 8>과 <그림 10>는 각각 유전 알고리즘과 타부탐색을 적용하기 전 초기 기지국의 배치이다. 초기 랜덤한 위치에 기지국이 설치되기 때문에 RSRP가 -130dBm이하의 통신 취약지점을 볼 수 있다. 이에 반해 <그림 9>과 <그림 11>은 각 유전 알고리즘과 타부탐색을 적용한 후의 기지국 배치이다. 최적의 결과를 찾았기 때문에 통신 취약지점이 눈에 띄게 줄어든 것을 확인 할 수 있다. <그림 12>를 이용해 유전 알고리즘과 타부 탐색을 비교하였을 때 타부 탐색이 유전 알고리즘에 비해 약 2dBm의 RSRP가 높게 나온 결과를 보아 이 유전 알고리즘에 비해 더욱 정확하게 최적 해를 찾은 것을 확인 할 수 있었다.



<그림 13> 유전알고리즘과 타부 탐색의 반복 횟수에 따른 시간

<그림 13>는 유전 알고리즘과 타부 탐색의 반복 횟수(iteration)에 따른 각 알고리즘의 시뮬레이션 시간을 나타낸 그래프다. <그림 13>에 따르면 반복 횟수가 증가함에 따라, 유전 알고리즘이 타부 탐색에 비해 급격하게 시간이 증가하는 것을 확인 하였으며, 1000번째 반복 횟수에서의 유전알고리즘의 시간은 16163초로 약 269분, 타부 탐색은 5471.4초로 약91분의 시간이 필요하였다. 결과적으로 약 2.95배의 시간의 차이를 보였다. 다음과 같은 결과의 원인은 타부 탐색의 경우 기억장치를 이용해 한번 적합도를 검사 한 해집합에 대해서는 다시 적합도를 측정 하지 않으며, 우수한 해의 등장 할 가능성을 높여 더욱 좋은 성능을 갖는다. 반면 유전 알고리즘은 여러 해 집합을 비교하고 더 좋은 해를 찾아 새로운 자손을 만드는 과정을 진행하면서 더욱 많은 계산 시간이 필요하게 된다[12]. 논문에서도 타부 탐색이 유전 알고리즘에 비해 더욱 빨리 정확한 최적해를 찾는 것을 주장하였다.

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 5G 이동통신 셀 설계를 위한 메타

휴리스틱 기법의 종류인 타부 탐색과 유전 알고리즘을 이용하여 문제를 해결하였다. 결과적으로 타부 탐색이 유전알고리즘보다 약 2.95배 의 연산속도차이를 보였으며, 최적의 기지국 배치를 찾는 정확도 면에서 타부 탐색이 유전 알고리즘보다 약 2dBm RSRP가 높은 기지국 배치를 찾아냈기 때문에 속도와 정확도면에서 타부 탐색이 더욱 우수한 것을 확인 할 수 있었다.

Acknowledgment

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2017-0-00723, Reconfigurable Radio System 기술을 적용한 소프트웨어 기반 서비스 지향 통합 기지국 플렛폼 개발, 창조씨앗형 R&D 사업)

참고문헌

[1] Cisco, “Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology,” 2016–2021.

[2] Cisco, “Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update,” 2016–2021,

[3] 김문홍, et al. “5G 이동통신기술 발전방향,” 정보와 통신 열린강좌 32.9(별책 1 호), 2015, pp. 46-54.

[4] LG유플러스, “5G White Paper,” http://www.pdf-pages.com/d/LG-5G-White-Paper-image-uplus-co-kr.pdf.

[5] Bai, Tianyang, Vipul Desai, and Robert W. Heath, “Millimeter wave cellular channel models for system evaluation,” Computing, Networking and Communications (ICNC), 2014 International Conference on. IEEE, 2014.

[6] Taufique, Azar, et al. “Planning Wireless Cellular Networks of Future: Outlook, Challenges and Opportunities,” IEEE Access 5, 2017, pp. 4821-4845.

[7] Desale, Sachin, et al. “Heuristic and meta-heuristic algorithms and their relevance to the real world: a survey,” Int. J. Comp. Eng. Res. Trends 2.5, 2015, pp. 296-304.

[8] Heuristic, https://en.wikipedia.org/wiki/Heuristic

[9] Maple, “Carsten, Liang Guo, and Jie Zhang. “Parallel genetic algorithms for third generation mobile network planning,” Parallel Computing in Electrical Engineering, PARELEC 2004, International Conference on, IEEE, 2004.

[10] St-Hilaire, Marc, Steven Chamberland, and Samuel Pierre, “A tabu search algorithm for the global planning problem of third generation mobile networks,” Computers & Electrical Engineering 34.6, 2008, pp. 470-487.

[11] Kirkpatrick, Scott, C. Daniel Gelatt, and Mario P. Vecchi. “Optimization by simulated annealing,” science 220.4598, 1983, pp. 671-680.

[12] M. St-Hilaire, S. Liu, “Comparison of different meta-heuristics to solve the global planning problem of UMTS networks Computer Networks,” The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, Vol. 55, No. 12, 2011, pp. 2705-2716.

[13] 3GPP., “Technical specification group radio

access network; channel model for frequency spectrum above 6 GHz. TR 38.900, 3rd Generation Partnership Project(3GPP)," June. 2016.

[14] 이승학, 김경훈, 안치영, 최승원, "GPU를 이용한 SDR 시스템 용 LTE MIMO 기지국 기능 구현," 디지털산업정보학회 논문지, 제8권, 제4호, 2012, pp. 91-98.

[15] 박종근, 최승원, "GPU를 이용한 TDD LTE MU-MIMO 시스템에서의 재전송 구현," 디지털산업정보학회 논문지, 제13권, 제2호, 2017, pp. 35-42.

■ 저자소개 ■

권 오 현
(Kwon Ohyun)

2016년 3월~현재
한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
석사과정
2016년 2월 안양대학교 정보통신공학과
(공학학사)

관심분야 : 5G, Cell planning, LTE-A etc.
E-mail : kkiy1118@dsplab.hanyang.ac.kr

안 흥 섭
(Ahn Heungseop)

2016년 3월~현재
한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
박사과정
2016년 2월 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
(공학석사)
2013년 2월 한양대학교 융합전자공학부
(공학학사)

관심분야 : 5G, Cell planning, LTE-A etc.
E-mail : ahs90@dsplab.hanyang.ac.kr

최 승 원
(Choi Seungwon)

2012년 3월~현재
HY-MC 연구센터 센터장
2002년~2011년
HY-SDR 연구센터 센터장
1992년 2월~현재
한양대학교 전자전기공학부 교수
1990년~1992년
일본 우정성 통신연구소 선임연구원
1989년~1990년
ETRI 선임 연구원
1988년 12월 미국 Syracuse대학 전기공학
(공학박사)
1985년 12월 미국 Syracuse대학 전기공학
(공학석사)
1982년 2월 서울대학교 전자공학(공학석사)
1980년 2월 한양대학교 전자공학(공학학사)

관심분야 : SDR, 이동통신, 신호처리 etc.
E-mail : choi@dsplab.hanyang.ac.kr

논문접수일 : 2017년 08월 22일
수 정 일 : 2017년 09월 11일
게재확정일 : 2017년 09월 14일