

유전자 알고리즘을 이용한 다중계층 채널할당 셀룰러 네트워크 설계

이 상 현* · 박 현 수*

Hierarchical Cellular Network Design with Channel Allocation Using Genetic Algorithm

Sang-Heon Lee* · Hyun-Soo Park*

■ Abstract ■

With the limited frequency spectrum and an increasing demand for cellular communication services, the problem of channel assignment becomes increasingly important. However, finding a conflict free channel assignment with the minimum channel span is NP hard. As demand for services has expanded in the cellular segment, sever innovations have been made in order to increase the utilization of bandwidth. The innovations are cellular concept, dynamic channel assignment and hierarchical network design. Hierarchical network design holds the public eye because of increasing demand and quality of service to mobile users. We consider the frequency assignment problem and the base station placement simultaneously. Our model takes the candidate locations emanating from this process and the cost of assigning a frequency, operating and maintaining equipment as an input. In addition, we know the avenue and demand as an assumption. We propose the network about the profit maximization. This study can apply to GSM(Global System for Mobile Communication) which has 70% portion in the world. Hierarchical network design using GA(Genetic Algorithm) is the first three-tier (Macro, Micro, Pico) model. We increase the reality through applying to EMC (Electromagnetic Compatibility Constraints). Computational experiments on 72 problem instances which have 15~40 candidate locations demonstrate the computational viability of our procedure. The result of experiments increases the reality and covers more than 90% of the demand.

Keyword : Genetic Fix Algorithm, Hierarchical Cellular Network, Wireless Communication
Fixed Channel Assignment, Base Station Placement

한국경영과학회지 편집 분야 : 정보시스템

* 국방대학교 운영분석학과

원고매수 : 13 표 : 4 그림 : 13

1. 서 론

상업적 핸드폰 이동통신 서비스가 시작된 지 약 20년이 지난 지금, 무선통신에 대한 수요는 기하급수적으로 증가하고 있다. 유선통신 기반 시설과 비교되지 않게 무선통신은 투자 규모가 크므로, 무선통신의 경쟁적 시장에서 경제적인 자원의 사용이 무엇보다도 필요하다.

모든 무선통신은 가용한 통신대역에 의하여 용량을 제한 받는다. 수요가 급증하면서 용량이 제한을 받음에 따라 통신대역의 활용을 증가시키는 방법이 여러 가지 제안되었는데, 그 중 혁신적인 방법 하나가 셀 방식이다. 셀 설계 방법은 송신탑의 출력을 조절하여 간섭되지 않는 적당한 거리에서 다시 채널을 사용할 수 있게 함으로써 통신대역의 활용을 획기적으로 증가시켰다. 셀 디자인의 중요한 결정사항은 지정된 서비스 지역과 잠재적인 수요가 결정된 상태에서의 각 셀의 크기이다.

채널의 효율성을 증가시킬 수 있는 다른 방식으로 동적 채널할당방법(dynamic channel assignment)이 있다. 전통적인 셀 방식에서 채널할당은 채널이 고정되어 있어서, 한번 결정이 되면 다른 셀에서 사용할 수 없다. 그러나 동적 채널할당방법은 할당된 채널을 다른 셀에게 빌려줌으로써 다른 셀의 사용가능한 채널수를 증가시키는 방식이다. 채널을 빌려주는 것은 효율성이 있으나, 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 그 중 가장 문제시 되는 것은 채널을 빌려주기 위해서 송신탑에 여분의 채널을 조절할 수 있는 능력이 필요하다는 점이다. 이 능력에는 송신탑의 장비 할당, 셀룰러 네트워크 설계, 통신 관리 등이 포함된다[12].

세 번째로는 다중계층 셀룰러 네트워크 설계를 적용하여 채널의 효율성을 높이는 방식이다. 다중계층 셀룰러 네트워크에서는 다양한 셀 크기 가운데 최초 macrocell 및 microcell 두 가지 형태(2계층) 크기가 제안되었다. Microcell 은 일반적인 셀의 크기를 가지고 있고,

macrocell은 다수의 microcell을 포함하여 관리한다. Macrocell 방법은 크게 두 가지 이익이 있다. 첫째, macrocell이 어떠한 지역을 담당한다면 그 지역은 microcell이 필요치 않다. 따라서 시골 같이 소규모 수요지가 넓게 흩어져 있다면 전체적으로 microcell로 관리하는 것보다 macrocell 방법을 적용하는 것이 채널의 효율성을 높일 수 있다. 두 번째로 소비자의 이동속도가 빠르면, macrocell에서 관리하는 것이 핸드오버(handover)¹⁾를 줄일 수 있다. 핸드오버를 줄임으로서 통신이 끊기는 위험을 줄임으로써 서비스 질을 높일 수 있다. 일반적인 셀 방식에서는 핸드오버 실패를 방지하기 위해 충분한 채널을 할당해야 한다.

2계층(two tier) 모델은 더 작은 셀(picocell)을 추가시켜 3계층(three tier) 모델로 발전시킬 수 있다[12]. Picocell은 상업도시지역같이 수요가 밀집된 곳에서 쓰여 진다. 따라서 다중계층 설계는 수요가 적은 곳은 macrocell, 수요가 어느 정도 있는 지역은 microcell을 포함한 2계층으로, 도시지역같이 통신수요가 높은 곳은 picocell을 포함한 3계층으로 설계 한다.

핸드폰 네트워크를 설계할 때 네트워크 각각의 셀에 채널의 세트를 할당한다. 채널할당 문제(channel assignment problem)는 가능한 적은 주파수 대역으로 채널간의 간섭을 피하면서 적절한 주파수 간격을 두고 채널을 할당하는 문제이다. 문제가 되는 3가지 EMC (electromagnetic compatibility constraints)²⁾가 있다[4].

- 1) 같은 채널 간섭(co-channel interference) : 인접한 셀 간에 동시에 같은 채널을 할당할 수 없다.
 - 2) 이웃 채널 간섭(adjacent channel interference) : 인접한 셀 간에 이웃 채널을 할당할 수 없다.
 - 3) 셀 간섭(co-site interference) : 셀에서 채널 할당시 최소한의 간격을 두고 채널을 할당해야 한다.
- 채널할당 문제는 대체적인 형식이 그래프 컬

1) 이동국이 서비스 중인 기지국 영역을 벗어나 다른 기지국으로 이동할 때 통화로를 바꾸어 주는 것
2) 전자파 간섭 및 장애

러링 문제(graph coloring problem)로 구현되고 NP-complete 문제로 알려져 있다[8].

채널할당 방법은 두 가지 범주로 구분되어진다. 고정 채널할당(fixed channel assignment)은 각각의 셀에 영구적으로 채널을 할당하는 것이고, 동적 채널할당은 동적으로 요청되는 곳 모든 셀에 할당하는 방식이다. 일반적으로 동적 채널할당은 통화량이 많은 곳을 제외하고는 고정 채널할당보다 우수한 것으로 나타나고 있으나[18], 도시가 발달하고 통신수요가 늘어남에 따라 통신수요가 밀집한 곳에서는 효율적인 고정 채널할당방법이 요구된다. 본 논문에서는 통신량이 많은 도시지역을 바탕으로 고정 채널을 이용한 다중계층 셀룰러 네트워크를 설계한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 다중계층 셀룰러 네트워크와 채널할당에 관한 기존논문을 고찰하고, 3장은 다중계층 셀룰러 네트워크 및 채널할당 정책을 분석한다. 4장은 다중계층 셀룰러 네트워크 모형을 설정하고 수리모형을 제시하며, 5장은 유전자 알고리즘을 적용한 해 절차차를 제시한다. 6장은 실험을 통한 도출결과를 비교 분석하며, 7장은 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

2. 기존연구 고찰

2.1 다중계층 셀룰러 네트워크

다중계층 셀룰러 네트워크는 다양한 소비자를 대상으로 특정한 부분을 여러 가지 주제로 연구되었다. 먼저 Hu 와 Rappaport[10,17]는 다중계층 네트워크 특징 중에 통신거부(call blocking)와 통화 끊김(handover failure) 발생에 관한 확률을 구했으며, 또한 지상과 인공위성을 연계한 혼합적 네트워크 망에 관해서도 연구하였다. Ganz et al.[7]은 전체 비용을 최소화 하는 방향으로 설계하여, 서비스 질은 통화가 끊기(call loss)는 확률로 정하였다. Wu 와 Lin [21]은 서비스 질을 바탕으로 비용을

최소화 하는 방식으로 접근하였다. 이 논문에서는 셀 반경을 독립변수로 하여 서비스 질 및 수요 요구를 충족시켰다. Nakano 와 Sengoku[15]는 multi-hop 무선통신네트워크의 특징을 조사하였는데, 확률적인 배경을 바탕으로 이론적 기술을 사용하였으며, 군집 알고리즘 (clustering algorithm)의 특징을 분석하였다. Ho 와 Lea[9]는 마코브 모델(discrete-time Markov decision model)을 적용하여 새로운 통신 수요를 찾아내는 수정된 선형탐색기술을 발전시켰다. Chung 과 Lee[5]는 microcell 과 macrocell 층에서 통신 거부 확률에 대하여 분석하고, Baek 과 Veciana[2]는 보로노이 조각화(voronoi tessellations)³⁾를 사용하여 다중계층 네트워크에서 에너지 절약방법을 분석하였다. Reed[19]는 PCS (personal communication service) 네트워크의 비용을 측정하고 PCS 서비스 준비에서 경제적인 관점을 연구하였으며, 모든 사용자에게 경제적인 목표에 도달할 수 있는 최소한의 주파수 영역이 있다는 것을 증명하였다. Gavish 와 Sridhar[6]는 셀룰러 시스템에서 셀의 크기 및 채널 할당을 포함한 최적의 형태를 발견하는 비용과 수입에 관한 모델을 제시하였으나 채널할당부분에 EMC를 적용하지는 않았다.

2.2. 유전자 알고리즘을 이용한 채널할당

Srinivas[20]는 고정 채널할당문제에서 유전자 알고리즘(GA)을 이용하여 접근하였는데, 목적함수는 EMC보다 통신수요를 더 높은 제약으로 간주하여 간섭을 최소로 하는 결과치를 얻었다. 또한 교차연산자는 같은 채널과 이웃 채널 간섭을 발생시키나, 돌연변이 연산자는 셀 간섭을 제거 시켜준다는 점을 발견하였다. Ngo 와 Li[16]는 최적의 채널할당표를 만들기 위해서 유전자 고정알고리즘을 적용하였다. 채널할당시 EMC를 고려하였으며, 통신 수요는 각 셀 마다 다르게 적용하여 접근하였다. Chakraborty et al.[3]은 EMC를 충족

3) 유클리드 거리 척도를 기준으로 공간을 분할하는 수학적인 방법

하면서 수요를 만족할 수 있는 필요한 주파수 대역을 최소화 하였다. 이 논문에서는 초기값을 생성하는 알고리즘을 제안하여 돌연변이 연산자를 새롭게 적용하였다. Jin et al.[11]은 가용한 주파수가 고정된 상태에서 셀룰러 네트워크를 구상하였다. 제안된 비용 함수는 각 셀들 간의 간섭과 통신 수요차단에 따른 서비스 질의 손상에 대하여 각각의 채널에 대해 분석하여 EMC 중 셀 간섭과 통화수요에 대한 가감정도를 분석하였다.

이상과 같이 기존 연구들을 고찰해본 결과 유전자 알고리즘을 이용하여 채널할당을 포함한 다중계층 셀룰러 네트워크 모형은 연구되지 않았으며, 그래프 이론을 이용하는 측면에서는 최근에야 비로써 3계층 분야에 대해서 연구가 시작된 바 있다. 본 논문은 다중계층 네트워크 중 3계층 분야에 대해서 이윤을 최대로 하는 방법으로 네트워크를 구성하고, 각각의 계층마다 EMC를 적용하여 채널을 할당한다.

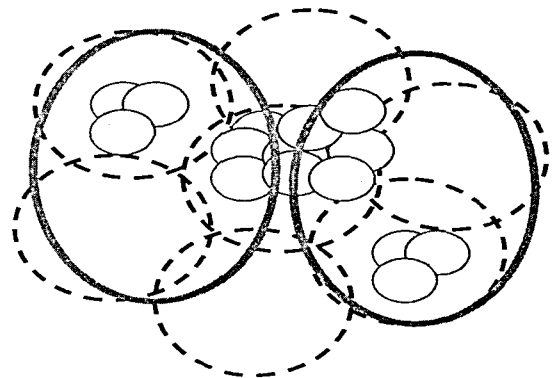
3. 다중계층 셀룰러 네트워크 및 채널할당

3.1 다중계층 셀룰러 네트워크 모형

다중계층 셀룰러 네트워크 시스템의 개념은 기본적으로 셀룰러 시스템의 확장으로 본다 [16]. 통화량이 많은 곳은 크기가 작은 계층이 관리하고 언제나 더 큰 셀이 하위단계를 관리한다. 즉, 통화량이 많은 곳은 여러 계층이 함께 관리한다. [그림 1]과 같이 작은 원은 picocell로서 원안의 지역 채널을 관리하고, 중간원인 microcell은 picocell을 포함하여 원안의 지역을 관리한다. 큰 원인 macrocell은 위의 두 가지 계층을 포함하여 채널을 관리한다. 네트워크 설계시에는 비용을 고려해야 하는데, 통상 picocell의 송신탑을 도시지역에 설치하면 macrocell이나 microcell의 송신탑보다 더 비싸다. 따라서 다중계층을 설계할 때 이러한 모든 것을 상호보완적으로 고려하여 설계해야 한다.

네트워크를 설치할 때는 다음 세 가지 사항을 고려해야 한다.

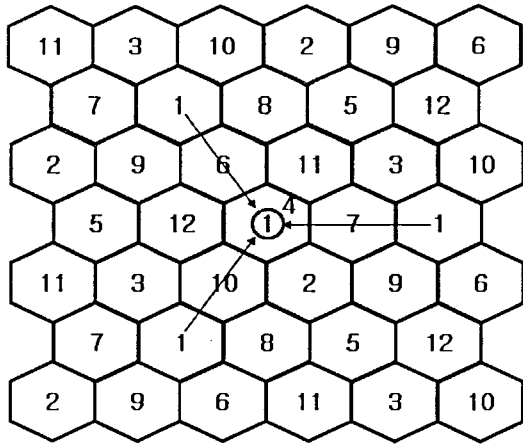
- 1) 네트워크를 운영하는데 있어서 통신수요가 많은 곳을 찾고, 각 계층의 크기를 결정하며, 각 송신탑의 위치를 선정한다.
- 2) 계층 간의 자원관리 : 얼마나 많은 채널을 각 계층에 할당할 것인가? 계층들이 같은 주파수를 사용할 수 있는가?
- 3) 통화수락과 셀 간의 통화 이동수락 (call and handover admission) : 통화품질을 유지하면서 한 계층에서 다른 계층으로 통화를 이동시키는 것이 이득이 있는가?



[그림 1] 다중계층 네트워크 모형

3.2 구역화 되어진 셀을 위한 주파수 공유

제한된 주파수 대역을 가진 운영자를 위해서, 계층들 간의 주파수 전달(frequency carriers)의 구분은 microcell층의 용량을 심하게 감소시키고 심지어는 회선의 효율성 또한 저하시킨다. 구역화 된 microcell을 위해서 macrocell의 채널을 재사용하는 것이 더 효율적일 수 있다[1,13]. [그림 2]는 macrocell에서 채널 4번을 쓰고 있는 상황 하에서 채널 1번을 가지고 있는 microcell의 12가지 패턴을 보여준다. 셀 내의 번호는 셀이 사용하고 있는 채널번호이다. Macrocell이 채널 4번을 사용하고 있는 상태에서 한 개의 microcell의 수행을 살펴보면, 채널 2, 6, 7, 10, 11, 12는 이웃 셀에서 사용하고 있기 때문에 사용할 수 없고, 채널 3과 5도 4번 채널의 이웃 채널이기 때문에 사용할 수 없다. 그러나



[그림 2] 구역화 된 microcell 과 macrocell의 주파수 공유 방법

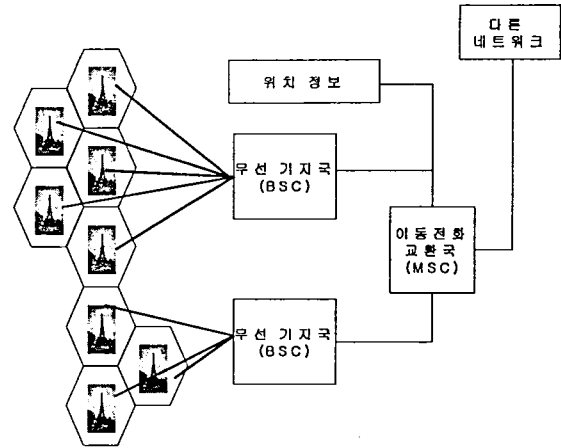
채널 1, 8, 9번은 재사용할 수 있다. 만약, 채널 1번이 재사용되어진다면, 간섭상황을 분석할 수 있다.

3.3. 셀룰러 무선 체계(Cellular Radio Systems)

셀룰러 개념의 출현은 무선통신발전에 주요한 발전사항이다[4]. 셀룰러 기본원칙은 [그림 3]과 같이 지역을 셀 단위로 나누워서 관리한다. 셀의 형태는 원, 사각형, 정삼각형, 육각형 등으로 제시되었는데, 같은 크기의 정육각형이 가장 좋은 것으로 나타났다[14]. 그러나 실제적으로는 지형 및 송신의 전파정도에 따라 크기가 불규칙 적이다. [그림 3]은 셀룰러 네트워크에서 이루어지는 일련의 과정을 도식화한 것이다. 무선 기지국은 단말기와 이동전화 교환국을 연결하며, 이동전화 교환국은 셀룰러 시스템의 심장부로서 각 기지국에서 발, 착신되는 호를 처리하고, 모든 기지국이 효율적으로 운용될 수 있도록 하는 중앙통제기능과 함께 공중전화망의 교환기와도 연결할 수 있게 한다.

3.4 채널 할당 (Channel Allocation)

통화요청이 수락되기 위해서는 먼저 수요자에게 관리자로부터 채널이 할당되어야 한다. 주파수는 한 쌍으로 구성되어 있는데, 하나는



[그림 3] 셀룰러 네트워크 아키텍처

(forward link/downlink) 송신탑에서 수요자에게 연결해주는 주파수, 다른 하나는 (reverse link/uplink) 그 반대가 되는 주파수이다. 채널을 그 셀에서 다시 쓸 수 있는 경우는 사용자가 통화를 종료하거나 통화가 끝나기 전에 다른 셀로 이동할 때이다. 셀룰러 시스템의 용량은 가용한 채널의 수로 표현하거나 지원할 수 있는 소비자의 수로 표시할 수 있다. 가용한 채널의 수는 셀에 할당된 주파수 대역과 관련이 있는데, 점점 이동하면서 통화하는 사람이 늘면서 가용한 채널의 수가 제한되어진다. 따라서 채널의 재사용은 무엇보다도 중요하다. 채널 할당의 주된 목표는 최대한 많은 채널을 셀에 할당하거나, 통화거부나 끊기는 확률을 줄이는 것을 목표로 한다.

4. 다중계층 셀룰러 네트워크 모형

본 논문에서 제시하고자 하는 모형은 아날로그 셀룰러 체계(부분적으로, FDMA를 사용하는 AMPS), 디지털 셀룰러 체계(TDMA를 사용하는 IS-54)와 GSM에서 송신탑을 계획할 때 적용하고자 하는 모형이다. IS-54에서 GSM으로 바꾸는 것은 단순히 채널의 용량 차이이다[12]. 또한 모형은 관리자 입장에서 이윤을 최대화 하는 방식으로 네트워크를 설계한다.

먼저 수요자의 90% 정도를 만족할 수 있는 채널의 수를 먼저 확보하고 이윤을 최대화 하

는 네트워크를 구성한다. 또한 채널할당시 EMC를 적용하여 현실성에 더욱 근접시키며, 3계층 모델에서 각 지역마다 설치해야 될 형태를 제시한다.

4.1 모델 가정 사항

각 셀마다의 수요는 일정하지 않지만, 그 셀 안의 수요는 균일하게 분포되어 있고, 수요자의 이동속도는 고려하지 않으나, 30%는 빠른 이동속도를 가진 수요자이다. 수요자의 이동속도를 고려하지 않기 때문에 셀 간의 핸드오버는 고려하지 않고 통화 수요 및 지속시간은 Erlang-B분포를 따른다. 셀 간의 핸드오버를 고려하지 않는 것은 매 시간 들어오고 나가는 수요를 일정하게 두었기 때문에 핸드오버는 여기에 포함된다. 각 지역의 수요는 매 시간마다 일정하고, 송신탑의 후보지는 선정되어 있으며, 송신탑의 후보지와 수요지는 같다.

4.2 수리모형

채널할당을 포함한 다중계층 셀룰러 네트워크는 그래프 컬러링 이론을 바탕으로 선형계획법(LP)으로 수식화 할 수 있다(Kalvenes et al.[12]). 먼저 수식에 사용된 변수는 다음과 같다.

- L : 송신탑 후보지
- J : 장비 형태(pico, micro, macro)
- M : 수요자 위치
- H : 각 계층간 간섭
- N : 가용한 채널 수
- T_m : 서비스 받는 형태
- d_m : m 지역에서의 서비스 요구 수준
- ρ : 요구되어지는 최소한 서비스
- $b_{\ell j}$: 지역 ℓ 에서 장비 j 의 운영유지비용
- a_{ℓ} : 지역 ℓ 에 송신탑 건설비용
- $y_{\ell j}$: 지역 ℓ 에 장비 j 의 설치 여부
- $c_{\ell j}$: 지역 ℓ 의 장비 j 에서 채널할당비용
- r : 각각의 채널이 소비자에게 할당되면서 발생하는 연간 수입

- q_m : 지역 m 에 채널 할당 여부 (indicator variable)
- $s_{m\ell j}$: 지역 m 의 송출기 ℓ 에 장비 j 로부터 서비스를 받는 수요자 수
- $tt_{\ell j}$: 송출기 ℓ 에 장비 j 에 할당된 채널 수
- z_{ℓ} : 지역 ℓ 에 송출기 건설 여부

위의 변수를 이용하여 이윤을 최대로 하는 수리모형을 제시하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum_{m \in M} \sum_{(\ell, j) \in T_m} r s_{m\ell j} - \sum_{\ell \in L} a_{\ell} z_{\ell} \\ & - \sum_{\ell \in L} \sum_{j \in J} b_{\ell j} y_{\ell j} - \sum_{\ell \in L} \sum_{j \in J} c_{\ell j} t t_{\ell j} \quad (1) \end{aligned}$$

Subject to

$$\sum_{m \in P_{\ell j}} s_{m\ell j} \leq N_{\ell j} y_{\ell j} \quad \forall \ell \in L, j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J_m} \sum_{\ell \in P_{\ell j}} s_{m\ell j} \leq N_{\ell 1} z_{\ell} \quad \forall \ell \in L \quad (3)$$

$$\sum_{m \in P_{\ell j}} s_{m\ell j} = t t_{\ell j} \quad \forall \ell \in L, j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{(\ell, j) \in T_m} s_{m\ell j} \leq d_m \quad \forall m \in M \quad (5)$$

$$q_m \leq \sum_{(\ell, j) \in T_m} t t_{\ell j} \quad \forall m \in M \quad (6)$$

$$N q_m \geq \sum_{(\ell, j) \in T_m} t t_{\ell j} \quad \forall m \in M \quad (7)$$

$$\sum_{m \in M} d_m q_m \geq \rho \sum_{m \in M} d_m \quad (8)$$

$$0 \leq d_{m_{\ell j}}, d_{p_{\ell j}} \leq N \quad \forall (\ell, j, \ell', j') \in H \quad (9)$$

$$0 \leq s_{m\ell j} \leq N \quad \forall m \in M, \ell \in L, j \in J \quad (10)$$

$$y_{\ell j} \in \{0, 1\} \quad \forall \ell \in L, j \in J \quad (11)$$

$$z_{\ell} \in \{0, 1\} \quad \forall \ell \in L \quad (12)$$

목적함수 (1)은 이윤을 최대로 하는 식으로서 소비자로부터 받은 수입과 네트워크를 구성하고 관리하는 비용을 고려한다. 제약식 (2) ~ (4)는 수요자가 통신을 하기 위해서는 송신탑-셀 조합이 수요자 지역을 관리하고 그

지역에 채널이 할당되어야만 통신을 할 수 있다는 것을 의미한다. 식(5)는 지역의 수요자보다 더 많은 채널을 할당하지 못하게 한다. 최소한의 서비스 요구는 식(6)~(8)을 이용하여 제약을 하는데, 먼저 식(6)은 지역 m 을 담당하는 송신탑에서 할당받은 채널이 없다면 m 지역의 소비자는 서비스를 받을 수 없는 것을 의미한다. 식(7)은 반대로 지역 m 을 관리하는 송신탑이 채널할당을 받으면 그 지역의 소비자는 서비스를 받을 수 있고, 식(8)은 지역 m 의 소비자에게 적어도 ρ 비율만큼은 서비스를 제공해야 함을 나타낸다. 식(9) ~ (12)는 각 변수들의 범위를 나타낸다.

Kalvenes et al.[12]은 채널을 할당할 때, 각 셀들의 중간 채널을 비교하여 채널의 간섭유무를 확인하였지만 셀 간섭을 적용했다고 볼 수 없다. 채널을 할당하기 위해서는 채널간의 일정한 간격이 있어야 하고 이웃 채널과의 간섭 유무를 확인해야 하나 Kalvenes et al.[12]은 단지 채널 영역만 할당 했다. 본 논문에서 추가적인 채널할당 문제를 위하여 Ngo 와 Li[16]에서 적용시킨 유전자 고정 알고리즘을 이용하여 최소주파수 채널할당 문제(minimum span problem)를 해결한다. 최소주파수 채널할당 문제는 다음과 같이 수리 모형화 될 수 있다[16].

$$\text{Min } m = \text{Max } s_{ik} \quad (13)$$

Subject to

$$|s_{ik} - s_{jl}| \geq f_{ij} \text{ for } i, j = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

$$k = 1, 2, \dots, d_i, l = 1, 2, \dots, d_j \quad (15)$$

$$(i, k) \neq (j, l) \quad (16)$$

d : 소비자 수

s_{ik} : 셀 i 에 할당된 k 번째 통화의 채널번호

f_{ij} : EMC 형태별 필요한 채널 간격

5. 유전자 알고리즘을 적용한 해 절차.

5.1 해 절차 및 유전자 표현

최적해를 구하기 위해 일반적인 유전자 알고리즘을 이용하나 추가적인 최소 주파수 채널할당 문제를 풀기위해 Ngo 와 Li[16]에서 제시한 유전자 모형을 적용한다.

먼저, 해의 표현은 [그림 4]와 같다. 해의 형태는 3차원으로 표시한다. 여기서 '1'이면 해당되는 셀 형태에 채널이 할당되는 것이고, '0'은 채널이 할당되지 않는다. 또한 셀 형태에 채널이 하나도 할당되지 않으면 그 지역에는 그 형태의 송신탑을 설치하지 않는다. 이러한 사항을 수도코드(pseudo code)로 표현하면 다음과 같다.

T[P][M][J][N]

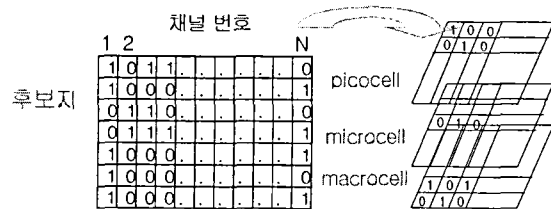
T : 송신탑 유전자형

P : 초기 모집단

M : 송신탑 설치 후보지역

J : 셀 형태(pico, micro, macro)

N : 채널 번호



[그림 4] 유전자 표현

상기 유전자를 이용하여 유전자 고정 알고리즘(genetic fix algorithm)을 적용한다. 유전자 고정 알고리즘은 셀에 할당된 채널수가 고정된 상태에서 유전자를 생성하고 조절한다. 즉, 교차연산과 돌연변이 연산을 하더라도 유전자내에 '1'과 '0'의 개수는 변하지 않고, 다양한 형태의 유전자형을 생성한다.

5.2 초기해 생성 알고리즘

유전자 알고리즘을 이용하여 최적해를 빨리 구하기 위해서는 좋은 초기해를 갖는 것이 중요하다. 특히, 다양한 초기해를 가지고 있어야 해의 범위를 넓게 조사할 수 있다. Chakraborty et al.[3]은 제약식을 위반하지 않는 초기해 생성 알고리즘을 제안하였다. 초

기해를 생성하는데 있어서 EMC(셀 간섭 제외)를 위반하지 않는 초기해를 생성한다. 즉, 실행 가능한 해에서부터 해를 찾기 시작한다. 각각의 해들은 네 가지의 값을 갖는다. '1'은 그 노드에서 채널을 사용하고 있다는 뜻이고, '-1'은 간섭이 있는 노드에서 그 채널을 다른 곳에서 사용하고 있기 때문에 사용할 수 없는 채널을 표시한다. '0' 노드에서 사용하고 있지 않고 다른 노드에서는 사용하고 있으나 간섭이 없는 채널이다. '9'는 모든 노드에서 사용하지 않는 채널을 표시한다.

본 논문에서는 초기해 생성 알고리즘에 셀 간섭을 추가시켜 생성한다. 또한 모델 환경이 도시지역이므로 채널의 공간이 충분하지 못하다. 따라서 지역 m 에 영향을 미칠 수 있는 모든 송신탑을 고려하여 채널을 할당한다. 즉, Chakraborty et al.[3]은 한 셀에만 국한하여 채널을 할당하였으나, 본 논문에서는 한 지역에 영향을 줄 수 있는 후보지 송신탑에게 채널을 할당할 수 있게 하여 초기해를 다양하게 생성한다. 따라서 한 지역의 송신탑이 다른 여러 지역의 수요자를 관리할 수 있으면, 한 지역의 송신탑에서 많은 수의 채널을 할당받아 다른 지역을 관리할 수 있다. 초기해 생성시 제약식(minimum span problem)에서 f_{ij} 는 다음과 같이 적용된다.

- 1) Co-channel constraints : $f_{ij} = 1$
- 2) Adjacent constraints : $f_{ij} = 2$
- 3) Co-site constraints : $f_{ii} = 3$

5.3 유전자 고정 알고리즘의 교차연산

유전자 고정 교차연산자는 채널간의 최소한의 거리를 유지하도록 만들어주는 연산자로서 다음과 같이 행동한다. 주어진 부모 A와 B에서 서로 반대가 되는 유전자 위치를 찾고, FILO(first-in last-out) 공간을 만든다. 위치를 고정시킨 상태에서 이 위치와 반대가 되는 유전자 위치를 찾아서 찾은 위치와 현재의 위치를 바꾼다. 이러한 절차를 선택되어진 위치

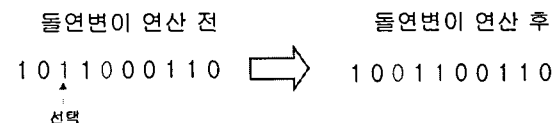
(c_1, c_2)에서 실시를 한다. [그림 5]를 통해 설명하면, $c_1=3, c_2=8$ 에서 3번째 위치가 서로 반대이므로 위치가 결정되며, 이것과 반대가 되는 것이 5번째이다. 그럼으로 5번째가 3번째로 가고 3번째가 5번째로 간다. 5번째와 반대인 것이 7번째이므로 7번째와 5번째가 다시 바뀌고 8번째에는 해당사항이 없으므로 종료시킨다.



[그림 5] 유전자 고정 알고리즘의 교차연산

5.4 유전자 고정 돌연변이 연산자

유전자 고정 돌연변이 연산자도 교차연산자와 마찬가지로 임의의 위치가 설정이 되면 이것과 반대가 되는 위치를 찾는다. 즉 두 개의 유전자의 합이 1이 되는 지점을 찾는 방법이다. 위치를 찾으면 두 개의 위치를 교환한다. [그림 6]을 통해 설명하면, 3번째가 돌연변이 연산위치로 선택이 되면, 3번째와 반대인 '0'을 찾는다. 5번째가 '0'이므로 3번째와 5번째를 바꾸고 돌연변이 연산자를 종료한다.



[그림 6] 유전자 고정 알고리즘의 돌연변이 연산

5.5 적합도 함수

수요자의 90%를 만족하는 채널을 할당하는 것이 먼저 제약되는 조건이므로 적합도함수를 두 가지로 적용하여 유전연산을 한다. 먼저 수요자의 90%를 만족하기 위해 식(17)을 사용하고 수요자의 90%이상을 만족하면 식(18)을 사용한다.

$$\sum_{m \in M} (\sum_{(c,j) \in T_m} I_{S_{mj}}) \tag{17}$$

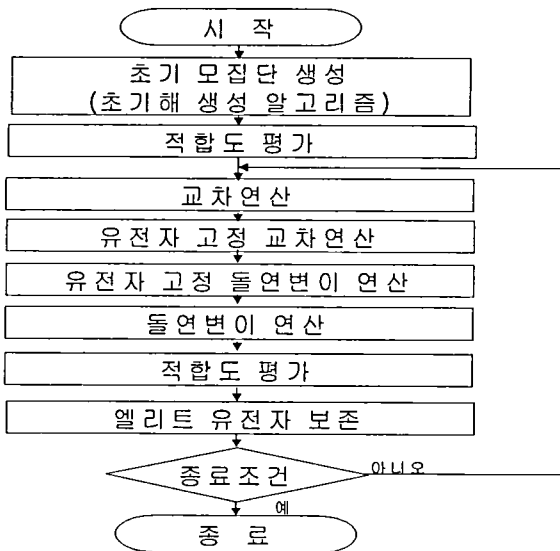
$$\sum_{m \in M} \sum_{(l,j) \in T_m} r_{smj} - \sum_{l \in L} a_l z_l - \sum_{l \in L_j \in J} b_{lj} y_{lj} - \sum_{l \in L_j \in J} c_{lj} t_{lj} \quad (18)$$

h : 가중치(상수값)

식(17)은 할당된 채널수에 가중치를 부여하여 해의 공간의 좁혀주는 역할을 하고 식(18)은 할당된 셀 및 채널을 가지고 이윤을 계산하여 이윤이 높은 모집단을 선별한다.

5.6 유전자 알고리즘 절차

고전적인 유전자 알고리즘에 유전자 고정 알고리즘을 같이 적용하여 문제를 해결한다. 즉, 유전자 고정 알고리즘은 최소 주파수 채널 할당 문제를 해결하기 위하여 적용시키나, 이것은 각 셀에 채널을 증가시키지는 못하므로, 채널을 증가시키는 것은 고전적인 유전자 알고리즘을 적용한다. 본 알고리즘의 순서도는 [그림 7]과 같다.



[그림 7] 유전자 알고리즘 순서도

6. 실험 및 분석

6.1. 실험계획

본 연구에서는 최적해를 구하기 위하여 VC++로 구현을 하고 컴퓨터는 Pentium-IV CPU 1.80 GHz, RAM : 256M를 사용하였다. 실험 데이터는 Kalvenes et al.[12]에서 이용한 데이터를 사용하였다. Kalvenes et al.[12]도 3계층 모델을 이용하여 채널을 할당하였으나 실질적인 EMC를 적용하지 않아 본 논문과 객관적인 비교가 될 수 없으나 참고로 <표 2>와 같이 결과를 제시한다. 또한 이 문제가 NP-Hard 문제이므로 수학적으로 최적해를 구할 수가 없으므로 실험결과 및 분석은 셀의 개수 및 셀의 형태와 수요자를 포함하는 비율, 그리고 계산시간 만을 표시한다. Cell의 개수는 15, 20, 25, 30, 35, 40개까지 검사를 실시하며, 초기 모집단과 가중치를 변화시켜 최적의 값을 도출한다. 실험에 사용한 상수 값은 <표 1>과 같다. 또한 모델에서 적용한 초기 모집단은 100개를 적용하며, 해의 공간이 너무 크기 때문에 돌연변이 확률 및 교차연산자의 확률은 100%를 적용한다. 해의 선택은 룰렛 휠을 적용하고 유전 연산자의 종료조건은 같은 값이 500번 나오면 종료한다.

<표 1> 모델 상수값

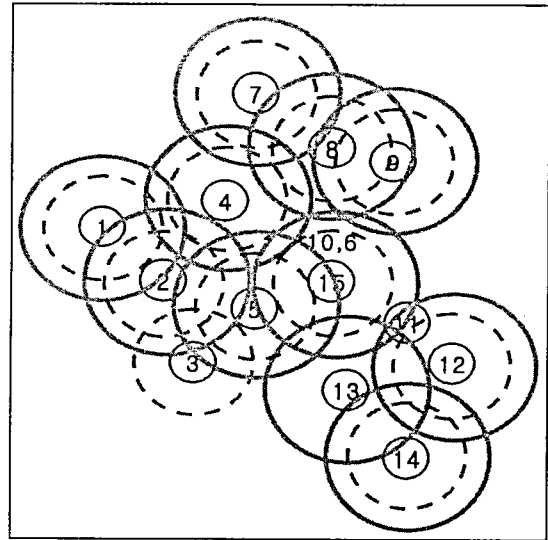
상 수	값
d_m	U[50,230]
p_m	0.3
r	\$64,800
N	500
a_l	\$144,500
b_{li}	\$1,734, \$1,745, \$1,156
c_{li}	\$21,980
h	12.4

6.2 실험결과

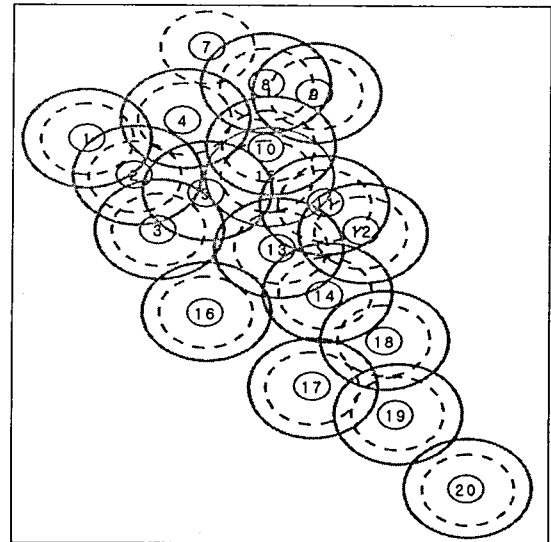
<표 2> 및 <표 3> 결과에서 볼 때, 송신탑 개수가 20개 이하일 때는 그래프 컬러링 알고리즘이 유전자 알고리즘보다 빠르나 25개에서는 유사하고 30개 이상부터는 유전자 알고리즘이 2배~4배 이상 훨씬 빠른 것을 알 수

있다. 계산시간 면에서 유전자 알고리즘은 전체적으로 3.5시간 이내에 모든 문제를 해결할 수 있으나, 그래프 컬러링 알고리즘은 30개 이상부터는 4시간이상 소요 된다. 점점 송신탑의 수가 늘어나고 셀 반경이 작아지고 있으므로 네트워크 설계시 빠른 시간 안에 많은 수의 송신탑을 설계를 할 수 있는 툴이 요구되어지므로 유전자 알고리즘을 이용한 네트워크 설계가 효용성이 있다 할 수 있다.

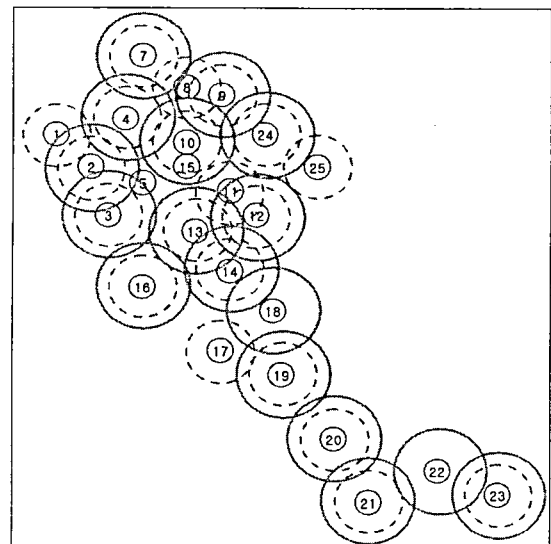
위의 알고리즘을 바탕으로 나온 결과를 도식하면 [그림 8]~[그림 13]과 같이 나타낼 수 있다. 먼저, 작은 원은 picocell을, 중간 원은 microcell을, 큰 원은 macrocell을 의미한다. 원 안에 숫자는 후보지의 번호이다. 원이 그려져 있으면 후보지에 원에 맞는 형태의 셀을 설치하고 원이 없으면 설치하지 않는다. 예를 들면 [그림 8]에서 15개의 송신탑 후보지에 6번 과 10번 지역은 송신탑을 설치하지 않고, 3번 지역에는 macrocell을, 13번 지역에는 microcell



[그림 8] 15개 송신탑 설치시 최적값



[그림 9] 20개 송신탑 설치시 최적값



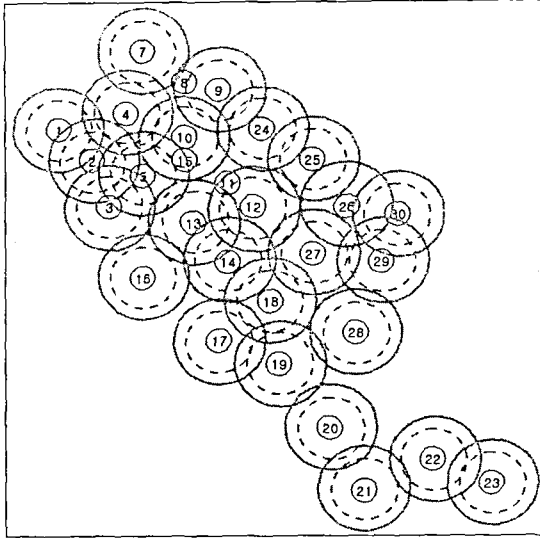
[그림 10] 25개 송신탑 설치시 최적값

<표 2> Kalvenes et al. 결과값 평균

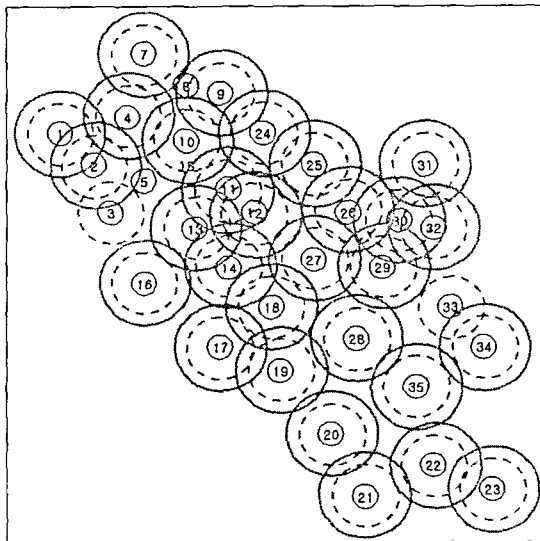
송신탑	개 수		수요자 포함 비율 (%)	시간 (hh:mm:ss)
	형태	총 셀 수		
15	3	45	95.7	00:00:43
20	3	60	93.6	00:04:19
25	3	75	92.1	02:02:16
30	3	90	91.8	04:04:49
35	3	105	90.6	07:49:06
40	3	120	92.8	11:48:35

<표 3> 모델 결과값 평균

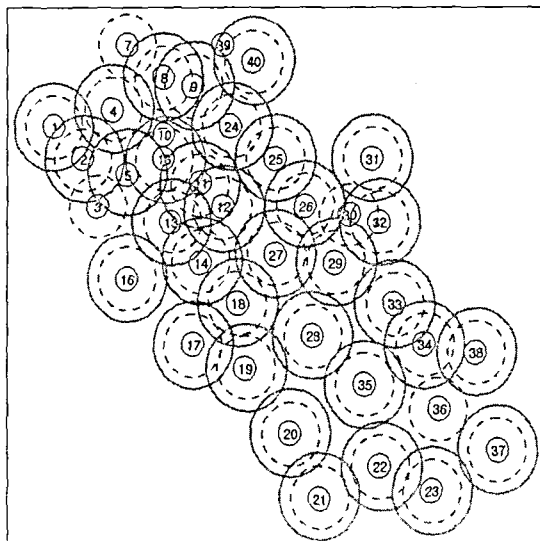
송신탑	개 수		수요자 포함 비율 (%)	시간 (hh:mm:ss)
	형태	총 셀 수		
15	3	45	100	00:26:11
20	3	60	92.1	00:21:26
25	3	75	91.8	02:04:01
30	3	90	92.5	02:29:28
35	3	105	99	02:47:37
40	3	120	98.3	03:27:46



[그림 11] 30개 송신탑 설치시 최적값



[그림 12] 35개 송신탑 설치시 최적값



[그림 13] 40개 송신탑 설치시 최적값

을 11번 지역에는 microcell 과 macrocell을 설치하지 않는다. 그 외 지역은 3계층 모두를 설치한다. 이와 같이 [그림 9]~[그림 13]을 분석할 수 있다.

Kalvenes et al.[12]에서는 셀에 할당된 주파수 영역을 제시하고, 각 지역을 관할할 송신탑만을 결정하였으나 세부적인 채널할당문제는 다루지 않았다. 그러나 본 논문에서는 각 셀당 세부적으로 채널을 할당하였다. [그림 8]의 15개 송신탑 후보지에서 할당된 채널을 <표 4>와 같이 제시하였다. 지면 관계상 채널 500개중 100번 까지만 제시한다.

7. 결론 및 추후 연구 방향

본 연구에서는 다중계층 채널할당 셀룰러 네트워크 설계 문제를 유전자 알고리즘을 이용하여 최대의 이윤을 추구할 수 있는 네트워크를 설계하였다. 기존 연구에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 채널할당과 네트워크 설계부분을 각각 다루었으나, 본 연구에서는 두 가지를 동시에 취급하였다. 특히, 점점 서비스 질 향상 요구가 증가되고 도시지역에 수요가 급진적으로 늘어갈 때, 더욱 부각되는 3계층 셀룰러 네트워크 설계를 제안하였다.

또한, 현실적인 환경에 더욱 근접하기 위해 채널할당시 셀 간섭을 포함한 EMC를 적용하였다. 대부분의 기존 연구에서 제외되었던 셀 간섭을 포함하여 채널 할당을 실시함으로써 활용도를 증가시켰다. 결과로 3.5시간 이내에 40개 타워에 대한 설계를 최적화 할 수 있도록 활용도를 더욱 높였으며, 수요자의 90% 이상을 포함할 수 있게 함으로써 서비스 질을 향상시켰다.

본 논문에서는 고전적인 유전자 알고리즘에 유전자 고정 알고리즘을 적용하여 문제를 해결하였으며, 초기해 생성 알고리즘을 변형 발전시켰다.

본 연구에서는 다음의 관점에서 실험을 수행하였다. 첫째, 유전자 알고리즘과 그래프 컬러링 알고리즘의 계산 시간을 분석하였고 둘째, 채널할당의 현실성을 비교 분석하였으며,

셋째, 제안한 유전자 알고리즘의 효용성을 분석하였다. 실험결과, 셀의 개수가 작을 때는

< 표 4> 송신탑 채널할당 결과

송신탑	형태	채널 번호
1	macrocell	25,35,45,85,92
	microcell	3,8,12,56,61,66,72,89,97
	picocell	29,31,40,50,79
2	macrocell	23,
	microcell	14,100
	picocell	32,37,49,78,80
3	macrocell	설치하지 않음
	microcell	22,30,37,66,72,98
	picocell	2,16,32,38,42,90,94
4	macrocell	87
	microcell	1,7,17,21,27,53,73,83
	picocell	31,40,49,58,66,79,95
5	macrocell	76
	microcell	4,10,34,58,82
	picocell	16,45,94
6	macrocell	
	microcell	설치하지 않음
	picocell	
7	macrocell	11,46,51,93
	microcell	1,7,60,78
	picocell	19,23,30,34,38,42,55,66,71,84,89
8	macrocell	76
	microcell	27,44
	picocell	3,13,18,23,36,48,56,67,81,95
9	macrocell	16,87,
	microcell	5,9,32,53,69,
	picocell	1,20,25,41,59,65,73,78,83
10	macrocell	
	microcell	설치하지 않음
	picocell	
11	macrocell	설치하지 않음
	microcell	
	picocell	3,12,34,48,57,74,
12	macrocell	25,46,54,61,76,100
	microcell	5,20,32,71,88
	picocell	14,42,84
13	macrocell	100번까지 해당사항 없음
	microcell	설치하지 않음
	picocell	3,34,43,51,74,
14	macrocell	8,28,36,59,91
	microcell	18,32,83,87,96
	picocell	1,13,23,42,51,74
15	macrocell	100번까지 해당사항 없음
	microcell	
	picocell	8,20,27,32,44,52,56,68,80,92

그래프 컬러링 알고리즘이 시간적으로 빠르나, 개수가 늘어날수록 유전자 알고리즘이 매우 효용성이 높았으며, 채널할당 부분에서는 각 해당사항에 효율적인 채널할당을 제공함으로써 추가적인 채널할당 과정을 생략할 수 있도록 개선하였다.

본 연구에서는 초기해 알고리즘을 적용하여 초기해를 구하였으나, 그래프 컬러링 알고리즘을 적용하여, 초기해의 영역을 정해주고 그 안에서 해를 구하면 계산시간이 단축될 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서는 지상 네트워크만 구상하였으나, 인공위성과 연계한 네트워크를 구상하여 문제를 해결한다면, 앞으로 네트워크 설계시 효용성을 증대시킬 것으로 판단된다. 또한 수요를 충족시키면서 동시에 이윤을 최대화 할 수 있는 적합도함수 개발이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] Almgren, M., "Channel Allocation and Power Settings in a Cellular System with Macro and Micro Cells Using the Same Frequency Spectrum," *Proc. of the IEEE Vehicular Technology Conf.*, Atlanta, 1996, pp.1150-1154.
- [2] Baek, S.J. and G. Veciana, "Minimizing Energy Consumption in Large Scale Sensor Networks Through Distributed Data Compression and Hierarchical Aggregation," *IEEE Journal on Selected Areas in Commun.*, Vol.22, No.6(2004), pp.1130-1140.
- [3] Chakraborty, G. and B. Chakraborty, "A Genetic Algorithm Approach to Solve Channel Assignment Problem in Cellular Radio Networks," *IEEE Midnight-Sun Workshop on Soft Computing Methods in Industrial Applications*, 1999, pp.34-39.
- [4] Cheng, M., Y. Li, and D.Z. Du, *Combinatorial Optimization in Communication Networks*, Kluwer Academic Publishers, 2005.
- [5] Chung, S.P. and J.C. Lee, "Mobility-

- Dependent Call Admission Control in Hierarchical Cellular Networks," *Computer Commun.*, Vol.25(2002), pp.700-713.
- [6] Gavish, B. and S. Sridhar, "Economic Aspects of Configuring Cellular Networks," *Wireless Networks*, Vol.1, No.1(1995), pp.115-128.
- [7] Ganz, A., C.M. Krishna and D. Tang, "On Optimal Design of Multitier Wireless Cellular Systems," *IEEE Commun. Magazine*, February, 1997, pp.88-93
- [8] Hale, W.K., "Frequency Assignment : Theory and Application," *Proc. IEEE*, Vol.68(1980), pp.1497-1514.
- [9] Ho, C.J. and C.T. Lea, "Call Admission Control in the Microcell / Macrocell Overlaying System," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol.50, No.4(2001), pp.992-1003.
- [10] Hu, L.-R. and S.S. Rappaport, "Personal Communication Systems Using Multiple Hierarchical Cellular Overlays," *IEEE Journal on Selected Areas in Commun.*, Vol. 13, No.2(1995), pp.406-415.
- [11] Jin, M.H., H.K. Wu, J.T. Jorng and C.H. Tsai, "An Evolutionary Approach to Fixed Channel Assignment Problems with Limited Bandwidth Constraint," *IEEE International Conference on Commun.*, Vol.7(2001), pp.2100-2104.
- [12] Kalvenes, J., J. Kennington and E. Olinick, "Hierarchical Cellular Network Design with Channel Allocation," *European Journal of Operational Research*, Vol.160(2005), pp.3-18.
- [13] Kinoshita, Y. and M.A. Henriques, "High Density Space Division Multiple Access: Double Reuse of Frequency Channels," *Proc. of the Int'I Conf., on Universal Personal Commun.*, 1994, pp.552-557.
- [14] MacDonald, V.H., "The Cellular Concepts," *The Bell System Technical Journal*, Vol.58 (1979), pp.15-42.
- [15] Nakano, K., M. Sengoku and S. Shinoda, "Fundamental Characteristics of Multi-hop Wireless Communication Networks," *Telecommunication Systems*, Vol.15(2000), pp.79-91.
- [16] Ngo, C.Y. and O.K. Li, "Fixed Channel Assignment in Cellular Radio Networks Using a Modified Genetic Algorithm," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol.47, No.1(1998), pp.163-172.
- [17] Rappaport, S.S. and L.-R. Hu, "Microcellular Communication Systems with Hierarchical Macrocell Overlays : Traffic Performance Models and Analysis," *Proceedings of the IEEE*, Vol.82, No.9(1996), pp.1383-1392.
- [18] Raymond, P., "Performance Analysis of Cellular Networks," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 39, No. 12(1991), pp.1787-1793.
- [19] Reed, D.P., "The Cost Structure of Personal Communication Services," *IEEE Commun. Magazine*, Vol.31, No.4(1993), pp.102-108.
- [20] Srinivas, M. and L.M. Patnaik, "Genetic Algorithm for the Channel Assignment Problem," *Global Telecommunications Conf., GLOBECOM 1998*, Vol.4(1998), pp.2013-2018.
- [21] Wu, S.-Y. and Y.-S. Lin, "Design and Management of Wireless Communications Networks, in: E. Rolland, N.S. Umanath (Eds.)," *Proceedings of the Fourth INFORMS Conf. on Information Systems and Technology*, 1999, pp.284-306.