

무선통신 네트워크에서 동적채널할당을 위한 진화프로그램의 개발

김성수¹ · 한광진¹ · 이종현²

¹강원대학교 산업공학과 / ²한국통신연구소

Development of Evolution Program for Dynamic Channel Assignment in Wireless Telecommunication Network

Sung-Soo Kim · Kwang-Jin Han · Jong-Hyun Lee

There is a rapidly growing demand for wireless telecommunication. However, the number of usable channel is very limited. Therefore, the problem of channel assignment becomes more and more important to use channels as efficiently as possible.

The objective of this paper is to develop an evolution program (EP) to find an efficient dynamic channel assignment method for minimum interference among the channels within reasonable time. The series of specific channel number is used as a representation of chromosome. The only changed chromosomes by crossover and mutation are evaluated in each generation to save computation time and memory for the progress of improved EP. We can easily differentiate the fitness value of each chromosome using proposed evaluation function. We also control the weighting factor of the mutation rate and the used number of elitist chromosomes for the speed of convergence to the optimal solution.

1. 연구의 배경 및 목적

최근 무선통신 네트워크에서 채널의 수요는 폭발적으로 증가하고 있다. 그렇지만 수요에 맞는 충분한 채널을 제공하기는 힘든 것이 현실이다. 이러한 수요를 충족시키기 위해서는 채널들을 간섭 현상이 없도록 재사용함으로써 효율적으로 이용할 수 있도록 각 셀의 수요에 맞게 최적으로 할당하는 것이 요구된다.

무선통신 네트워크상에서 셀이란 네트워크상의 특정한 지역으로서 각각의 셀은 일정한 채널의 수요를 가진다. 본 논문에서는 보다 현실에 가까운 모델, 즉 각각의 셀에서 요구하는 채널의 수가 모두 다른 네트워크로서 균일하지 않은 채널의 수요를 가지는 셀들로 구성된 네트워크 환경에서 채널 최적 할당방법을 개발할 것이다.

<그림 1>은 일반적인 무선통신 네트워크를 나타내고 있다. 무선통신 서비스 지역은 다수의 셀로 구성되어 있다. 각 셀의 중심에는 MTSO(Mobile Telephone Switch Office)와 셀 내에서 이동중인 이동체들을 무선으로 연결시켜 주는 역할을 하는 기지

국이 위치하고 있다. 각각의 MTSO는 할당된 지역의 셀들을 관리하고 적절히 채널을 할당하며 PSTN (Public Switching Telephone Network)과 연결되어 진다(Das, *et al.*, 1996; Sandalidis, *et al.*, 1998).

현실적인 문제로서 무선통신시스템의 제약에 의해 사용 가능한 채널의 범위는 한정되어 있다. 사용 가능한 채널의 범위 내에서 채널의 효과적인 사용을 보장하기 위해선 각 셀에 할

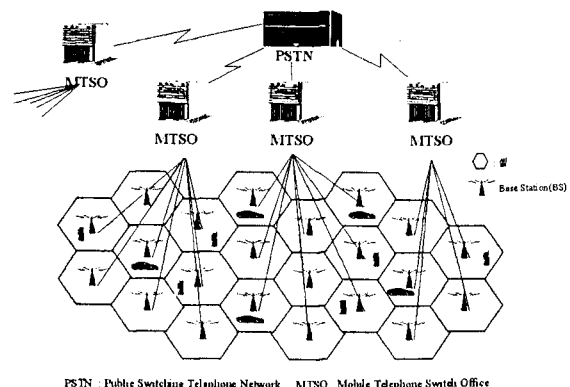


그림 1. 일반적인 무선통신 네트워크.

당될 채널들의 최적설계가 필요하다. 이와 같이 무선통신 네트워크의 설계자들은 최적의 채널할당을 위하여 사전에 정의된 채널 간의 간섭이 일어나지 않는 정도 내에서 가능한 채널 범위를 특정지역의 사용자에게 할당하는 것이 요구된다. 셀 내에서 또는 셀간의 할당된 각각의 채널들끼리 서로 간섭현상을 일으키는데, 이러한 간섭현상은 다음의 세 가지로 분류해 볼 수 있다. 즉, co-channel interference(CCI), co-site interference(CSI), adjacent-channel interference(ACI)이다. CCI는 서로 다른 셀에서 사용자들이 같은 채널을 사용할 경우 발생하는 간섭 문제이다.

CSI는 같은 셀 내에서 사용자들이 서로 다른 채널을 사용할 경우의 채널 간의 간섭의 정도를 나타내는 것이다. ACI는 서로 다른 셀간에 할당되어 있는 서로 다른 채널 간의 간섭의 정도를 나타낸다. 위의 세 가지의 간섭 현상이 무선통신 네트워크 상에서 최적 채널 할당시 고려되어야 한다. 이 간섭 현상들은 채널 할당시 적합 행렬을 사용하여 표현되어지는데, 셀의 수를 행과 열로 가지는 2차원 행렬로 세 가지 간섭 현상이 나타나지 않는 최소의 채널 간격을 표현한다(Smith, 1998).

본 논문의 목적은 무선통신 서비스 지역에 따라 채널 수요에 대한 변화가 불확실하고, 시간에 따라 변화가 심한 무선통신 네트워크에서 각 셀이 채널을 필요로 할 때 필요한 채널 수만큼 동적으로 빠른 시간에 최적 할당하는 것이다. 이 목적을 달성하기 위하여 진화프로그램(Evolution Program, EP)을 사용하여 채널 간의 간섭 정도를 최소화하는 동적 채널 할당방법을 개발하는 것이다.

본 논문에서 제안하는 채널 할당방법의 특징은 첫째, 채널 할당문제에서 고려하는 조건 중에 한가지는 각 셀의 수요를 만족시키는 것이고, 다른 한가지는 시스템의 전체 간섭의 정도를 최소화하는 것이다. 본 논문에서 염색체를 1차원으로 표시할 때 각 셀의 수요량만큼 유전인자로 표시하였기 때문에 자동적으로 모든 셀의 수요량을 만족시킨다. 따라서, 모든 셀이 수요가 만족하는 상태에서 채널 간의 간섭의 정도의 합을 최소화한다. 이것은 수요와 간섭을 동시에 고려하여 최적채널을 구하는 방법보다 계산시간과 기억용량의 효율적 사용 측면에서 우월성을 갖고 있다. 둘째, 채널 할당을 나타내는 염색체 간의 차이를 뚜렷하게 해주는 평가함수를 제시하였다. 셋째, 채널 할당을 채널의 고유번호를 사용한 1차원배열로 나타냄으로써 계산시간과 기억용량의 효율성을 강조하였다. 넷째, 변형된 Elitist Pool 교배 방법과 돌연변이율을 적절히 조절함으로써 진화프로그램의 초기 진행과정에서는 다양성을 추구하고 세대가 거듭될수록 수렴성을 강조함으로써 최적해를 얻는데 효율성을 증가시켰다.

2. 유전자 알고리즘과 기존 최적 채널할당에 관한 연구

채널할당문제는 고정채널할당(Fixed Channel Assignment, FCA)

과 동적채널할당(Dynamic Channel Assignment, DCA)으로 나눌 수 있다. FCA는 각 셀이 필요로 하는 채널수를 고정적으로 할당하는 것이고, DCA는 각 셀이 채널을 필요로 할 때 필요한 채널 수만큼 동적으로 할당하는 것이다. DCA는 무선통신 네트워크의 각 셀의 채널 수요에 대한 변화가 불확실하고, 시간에 따라 변화가 심할 때 효율적이다.

채널할당문제는 NP-hard로 간주되어 최적값의 근접값을 찾아내는 알고리즘이 적용되어 왔다. 최근에는 simulated annealing, neural networks 그리고 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)과 같은 탐색기법을 사용하여 최적 해를 구하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있다(Kunz, 1991; Duque-Anton, *et al.*, 1993; Lai, *et al.*, 1996; Kim, *et al.*, 1997; Smith, *et al.*, 1997; Chakraborty, *et al.*, 1999; Beckman, *et al.*, 1999). 특히, 지역 최적치에 수렴하는 문제를 극복하기 위해 simulated annealing이 사용될 수 있으나, 이 방법은 수렴성의 속도가 빠르지 못하고 신중한 파라미터의 선택이 요구된다. 본 논문에서는 대규모 조합문제인 DCA 문제에서 채널의 수요에 따른 계산의 부담과 기존의 최적 할당방법의 한계를 극복하기 위하여 지역 최적치에 수렴하지 않고 무선통신 네트워크의 각각의 셀에서 요구하는 채널 수를 제한된 시간 내에 만족시켜줄 수 있는 최적 채널할당방법을 EP를 적용하여 개발하고자 한다.

채널할당문제에 EP를 적용할 때 주요 핵심사항은 다음과 같다. 첫째, 각각의 셀에 필요한 채널만큼 어떤 고유번호의 채널을 할당할지를 나타내는 것이다. 즉, 채널을 할당한 해를 어떻게 염색체로 표현할 것인가? 둘째, 각 채널할당 해의 간섭정도(CCI, CSI, ACI)를 평가할 수 있는 정확한 평가함수는 무엇인가? 셋째, 각 셀에 같은 채널을 할당할 수 없다는 제약은 만족하면서 어떻게 효율적으로 염색체 선택 및 재생성방법, 교배와 돌연변이를 할 것인가? 이밖에도 염색체집단의 크기, 교배율과 돌연변이율, 종료조건 등 일반적인 GA와 EP의 파라미터를 정해야 한다. 이 절에서는 채널할당문제에 EP를 적용한 주요 연구 논문에 대하여 위의 주요 핵심사항들을 중심으로 장점과 단점을 분석하였다.

Lai와 Coghill(1996)은 염색체의 표현을 각각의 셀에 필요한 채널 수의 합을 길이로 하고 각 유전자는 그 지역에 할당된 채널번호를 갖는 염색체로 표현하였다. 모든 염색체의 길이는 같고 진화해 가는 과정에서도 변할 수 없다. 교배는 단순교배에서 발생하는 셀 내에서의 채널의 중복을 피하기 위하여 PMX(Partially Matched Crossover)교배를 사용하였다. 돌연변이는 하나의 염색체를 선택하여 랜덤하게 변환하여 주었다. PMX 방식은 두 개의 선택된 부모 염색체에서 교배가 이루어질 때, 교배된 자손 세대의 염색체에서 교배로 인해 같은 셀 내에서 유전자의 중복이 생기지 않도록 하는 방법이다. 따라서, 교배가 완성되면 각 염색체 내(또는 셀 내)에서 채널의 값이 중복되는 유전자가 생기지 않게 된다. 이 논문의 장점은 염색체의 유전인자를 고유 채널번호로 사용하고 있고, 하나의 염색체를 1차원 배열로 표시함으로써 유전자 알고리즘의 진행과

정(교배, 돌연변이 등)에서 연산 시간과 기억용량의 효율성이 좋다는 것이고, 단점은 염색체의 적합도를 평가하는 함수가 단지 염색체 내에서 적합행렬(compatibility matrix)에 위배되는 채널이 몇 개가 발견됐는지를 계산하기 때문에 적합도 값이 높고 낮은 염색체 간의 변별력이 떨어진다는 것이다.

Smith의 논문(1998)에서는 하나의 염색체를 나타내는데 이차원의 행렬을 사용하였다. 특정 셀에 특정 채널이 할당되면 1을 할당하고, 채널이 할당되지 않으면 0으로 표현하였다. 이 논문에서 셀 사이의 간섭이 일어나지 않는 채널 간의 차이는 N개의 셀일 경우 N×N인 적합행렬을 사용하였다. 이 논문에서 염색체의 적합도 평가는 CCI, CSI, ACI등의 채널 간의 간섭을 벌점으로 표현한 것인데 각 셀의 수요를 만족시키면서 간섭의 정도를 최소화해야 한다. 이 논문의 장점은 염색체의 적합도를 표현하는 함수가 각각의 염색체간의 채널의 차이를 계산함으로써 적합도의 차이를 찾아내는 데 변별력이 우수하고, 염색체의 표현을 각 셀과 채널의 고유번호의 2차원 배열로 표시함으로써 채널 할당 상황이 이해가 쉽다. 그러나 2차원 배열의 염색체를 이용하여 각각의 채널의 할당이 0과 1의 이진 벡터로 표현됨으로써 셀과 채널의 수가 증가하거나, 염색체군의 수가 증가하면 진화프로그램을 진행하는 과정(교배, 돌연변이 등)에서 계산시간과 기억용량이 지수함수 형태로 증가하므로 비효율적이라는 단점이 있다.

3. 진화프로그램을 이용한 개선된 최적 채널할당방법

본 논문의 2절에서 채널할당문제에 EP를 적용할 때 주요 핵심 사항을 언급하고 관련 논문의 장점과 단점을 분석하였다. 이 분석 결과를 토대로 본 절에서는 본 논문에서 제시하는 최적 채널할당방법에 대하여 서술하고자 한다.

3.1 염색체 표현방식과 초기 염색체의 생성방법

염색체 표현방식은 각각의 셀들에서 필요로 하는 채널의 수만큼 연속적으로 채널의 고유 번호를 1차원 배열로 나열함으로써 표현한다. 이러한 표현방식은 2차원 행렬로 염색체를 표현하는 방식보다 진화프로그램의 교배, 돌연변이 등의 진행과정에서 계산시간과 기억용량의 효율성이 뛰어나다.

초기 염색체의 생성단계에서 염색체 내에는 사용할 수 있는 채널 수 범위 내에서 랜덤으로 발생된 채널의 고유번호를 할당하게 되는데, 각각의 셀 내에서 같은 고유의 값을 가지는 채널의 할당이 되지 않도록 한다.

<그림 2>는 N개의 셀로 형성된 염색체로서 첫 번째 셀은 1개의 채널이, 두 번째 셀에는 3개의 채널이 필요하다는 것을 나타내고 있고, 전체 셀에 어떤 고유번호의 채널이 할당되어야 하는지 본 논문은 진화프로그램을 사용하여 찾고자 한다.

염색체에 할당된 채널이 채널 간섭정도를 나타내는 적합 행

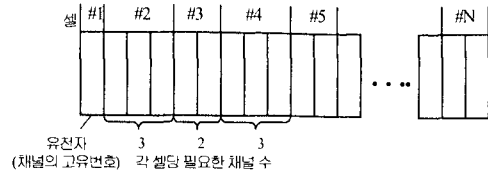


그림 2. 일차원 배열에 의한 염색체 표현의 예.

렬에 대하여 만족한 정도를 계산하여 제약을 위반한 채널의 차이만큼의 벌점을 주어 식 (1)과 같이 각각의 염색체의 간섭의 정도 합(또는 적합도)을 산정한다. 각각의 염색체에 대하여 몇 개의 셀이 있는지의 정보와 각각의 셀에 필요한 수요의 정보를 가지고 염색체 안에서 발생하는 CSI와 CCI, 그리고 ACI에 대한 벌점을 계산하게 된다.

3.2 채널 간의 간섭의 정도에 따른 적합도 평가

특정 채널할당을 표현하는 염색체를 평가하기 위해서는 염색체의 어느 하나의 채널을 기준으로 그 채널이 다른 각각의 채널들과의 간섭의 정도를 나타내는 식 (1)로 평가함수를 나타낼 수 있다. 즉, 적합행렬을 위반하는 채널 간의 차이를 최소화하는 것이다. 식 (1), 식 (2), 식 (3)은 Smith(1998)가 제안한 평가 함수에서 염색체의 표현방식을 2차원이 아닌 1차원 배열에 적합한 형태로 본 논문에서 평가함수를 수정 제안하였다. 따라서, 본 논문의 평가함수는 염색체 간의 평가 함수값을 차별하여 쉽게 평가할 수 있고 또한, 1차원 배열의 염색체를 적용함으로써 불필요한 계산 시간과 기억 용량을 상당히 감소시킬 수 있다.

본 논문의 평가함수를 정의하여 보면 아래의 식 (1)과 같다.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{D_i} \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{D_j} P_{ij}(1X_{ik} - X_{jl} + 1) \quad (1)$$

제한식

$$P_{i,j,m+1} = \max(0, P_{i,j,m} - 1) \quad (2)$$

$$P_{i,j,1} = \begin{cases} C_{ij} & \text{if } i \neq j \\ 0, & \text{if } i = j \end{cases} \quad (3)$$

$$i, j = 1, 2, 3, \dots, N$$

$$k = 1, \dots, D_i$$

$$l = 1, \dots, D_j$$

위의 식에서,

N : 셀의 갯수

X_{ik} : i 번째 셀의 k 번째 유전자에 할당 된 고유 채널번호, 사용할 수 있는 채널의 범위에서 선택, 만약 채널수가 M 개라면 1, 2 ... M 중에서 선택

P_{ijm} : 채널 X_{ik}와 X_{jl} 채널 간의 채널차이 (m-1)가 적합행렬에 위반될 때 갖는 벌점

C_{ij} : 적합행렬

D_i : 셀 i 의 채널 수요량

식 (2)에서 $P_{i,j,m+1} = \max(0, P_{i,j,m} - 1)$ 은 셀 i 와 j 의 채널 간에 채널의 차이가 하나 더 벌어졌을 경우 벌점이 1만큼 감소한다고 가정한 것이다(간섭의 정도가 감소한다). 만약 $i \neq j$ 이면, 다른 셀에서 다른 채널 간의 간섭의 정도, 즉 ACI를 나타낸다. 만약 $i = j$ 이면, 같은 셀에서 다른 채널 간의 간섭의 정도, 즉 CSI를 나타낸다. CSI를 계산하기 위해서 $P_{i,i,m+1}$ 또는 $P_{j,j,m+1}$ 을 계산할 때 식 (2)에서 $P_{i,i,1}$ 또는 $P_{j,j,1}$ 값은 식 (3)의 값 대신에 C_{ii} 또는 C_{jj} 값을 적용한다.

식 (3)에서 P_{ij} 에서 $i = j$ 이면 P_{ij} 값은 0이 되는데, 이것은 같은 셀에서 같은 채널은 존재할 수 없다고 가정하고 두 채널 간의 비교를 하지 않기 위해서이고, $i \neq j$ 이면, $P_{ij} = C_{ij}$ 로서 같은 두 채널이 서로 다른 셀에 위치하고 있다면, 그때는 적합행렬 안에 표시되어 있는 그 두 셀 간의 간섭 현상에 대한 벌점이 주어진다라는 의미로서, 다른 셀에서 같은 채널 간의 간섭정도, 즉 CCI를 나타낸다.

3.3 염색체 선택 및 재생성 방법과 개선된 Elitist Pool 방식의 적용

유전자 탐색의 진화 과정에서 두 가지의 중요한 요인은 염색체 집단의 다양성과 선택강도이다. 이 두 요인은 매우 밀접한 관계를 가지고 있어, 선택 강도의 증가는 염색체 집단의 다양성을 감소시키는 반면, 선택 강도의 감소는 염색체 집단의 다양성을 증가 시킨다. 다시 말해 강한 선택 압력은 유전자를 탐색하는 과정에서 조기 수렴을 일으키나 최적의 해를 보장하기 어렵고, 반면에 약한 선택 강도는 탐색의 기능을 저하시킨다. 그러므로 이 두 요인 사이의 균형을 유지하는 것이 염색체 선택 및 재생성 방법에 매우 중요한 영향을 미친다. 따라서, 본 논문에서는 무선통신 네트워크시스템에서 채널할당을 위한 진화 프로그램 적용에 있어서, 초기 세대에서는 염색체 집단의 다양성의 강도를 강하게, 선택의 강도를 상대적으로 약하게 시작하여 가능한 다양한 염색체들을 고려하여 지역 최적치가 문제의 해로 선택될 확률을 줄이고 전역 최적치가 문제의 해로 선택될 확률을 높였다. 세대가 진행되면서 선택강도를 증가시키고 다양성의 강도를 줄여나가 가능한 빠른 시간에 최적치에 수렴할 수 있도록 하는 방법을 적용하였다.

이 방법을 구체적으로 설명하면 염색체가 좀더 빨리 최적해에 수렴할 수 있도록 도와주면서도 해가 지역 최적값에 빠지는 것을 방지하는 방법으로 Elitist Pool 방식을 사용하였다. 식 (4)에서 표현한 것처럼 선택강도의 증가를 위해 재생성 과정에서 열성 염색체(염색체의 적합도 함수값이 낮은 것)를 제거하고 우성 염색체(염색체의 적합도 함수값이 높은 것)의 수를 세대가 거듭할수록 많이 사용하는 방법을 적용하여 우성 염색체의 교배확률을 높이도록 하였다. Elitist Pool 방식에서 교환될 염색체 수의 증가는 가중치(weighting factor) 값의 선택에 따라

조정됨으로 진화프로그램의 수렴 속도를 조절할 수 있다.

$$F_E = E - \text{정수화}(E \times \beta^G) \tag{4}$$

- F_E : G 세대에서 적용할 Elitist Pool의 염색체 적용 수
- E : Elitist Pool 최대적용 수
- β : 가중치, $0 < \beta < 1$,
- G : $0, 1, 2, 3, \dots, N$ 세대
- 정수화: 사사오입하여 실수를 정수로 바꾸는 함수

3.4 교배방식

교배는 두 점 교배(two-point crossover)를 시행하는데 교배될 두 염색체를 조합하고 랜덤으로 교배될 위치를 선택하여 두 염색체 간에 교배 위치 안에 있는 유전자들을 교환한다. 그리고 PMX방식에 의하여 교배되어 들어온 유전자의 고유채널 번호들과 원래 있던 다른 유전자들이 같은 고유의 채널 번호를 같은 셀 내에서 가지면 중복된 유전자의 번호를 교배되어 빠져나간 유전자 번호로 변환하여 준다.

본 논문에서 적용된 PMX 교배 방식을 <그림 3>과 <그림 4>를 이용하여 살펴보면 우선 교배될 두 점 사이에 여러 셀이 포함되어 있다면, <그림 3>의 셀 #3과 셀 #4은 완전한 셀의 교환이 이루어지므로 같은 셀 내에서 채널의 중복이 발생하게 되지 않는다.

그러나 교배점으로 선택된 두 개의 유전자(셀 #2의 세 번째 유전자와 셀 #5의 두 번째 유전자)를 기준으로 같은 셀에 같은 유전자(또는 고유채널번호)가 할당된 염색체가 <그림 4>와 같이 생성될 수 있다. 따라서, <그림 3>의 교배점이 시작되는 부분(셀 #2의 세 번째 유전자)과 끝나는 부분(셀 #5의 두 번째



그림 3. PMX교배 전의 1차원 배열행태의 염색체.

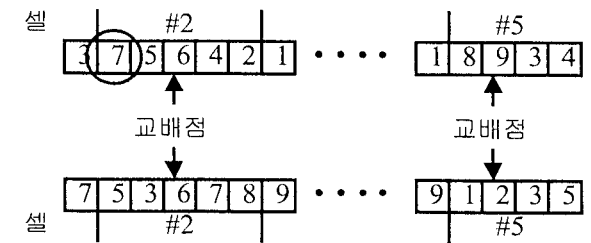


그림 4. PMX교배 후의 염색체(같은 셀 내에서 같은 채널의 중복할당 방지).

유전자)을 체크하여 같은 셀 안에 같은 채널이 할당되지 않도록 한다.

그러므로 예제에서 교배되어 생성된 자손염색체1과 2의 2번과 5번 셀의 채널이 중복되는지 검사한다. 자손 염색체1의 2번 셀에서 고유채널번호 4가 중복되므로 자손염색체1의 2번 셀의 첫 번째 고유채널번호 4를 대응되는 채널번호 7로 바꾸어 채널의 중복을 방지한다.

3.5 돌연변이 방식과 돌연변이율의 변환

돌연변이는 돌연변이율에 따라 염색체 내에서 랜덤하게 유전자(채널의 고유번호)를 선택하여 랜덤으로 생성된 다른 채널값으로 바꾸어 주어 염색체의 다양성을 추구하는 작업이다. 이때도 돌연변이 될 유전자가 속해있는 셀 내에 바뀌는 채널의 번호와 같은 채널의 번호가 있을 경우 다시 채널을 랜덤으로 생성하여 같은 셀 내에서 같은 채널번호를 가지는 유전자가 발생하지 않게 한다.

본 논문에서 돌연변이 진행과정은 돌연변이가 발생할 염색체를 선택하고, 염색체 내에서 돌연변이될 유전자가 몇 번째 셀에 있는지를 랜덤하게 결정하고, 셀 내에서 몇 번째 유전자를 돌연변이 시행할 것인가를 랜덤하게 결정한다. 마지막으로 바뀌게 될 채널을 랜덤하게 생성하여 셀 내의 다른 유전자의 고유채널들과 비교하여 같은 채널이 셀 내에 존재하는지 확인하고, 같은 채널이 존재하고 있을 경우에는 다시 생성하고, 없을 경우에는 확정되어 채널이 바뀌게 된다.

돌연변이를 수행하는 것은 선택되는 염색체의 함수값이 지역 최적값에서 결정되는 것을 방지하기 위하여, 각각의 염색체값의 다양성을 추구하기 위함이다. 그러나 세대가 진행하는 과정에서 처음에는 다양성을 추구하면서 여러 염색체값을 다양하게 유도하는 것이 좋은 방법이지만, 해가 최적해 근처에 접근했는데도 다양성을 추구하는 것은 염색체값의 수렴성을 저해함으로써 최적값의 근접해를 구하기 어렵다. 그리고, 적합도 함수값의 차이가 미미한 경우에는 가장 좋은값을 갖는 염색체가 선택될 확률이 그만큼 낮아지므로, 돌연변이에 의하여 해가 최적해로 수렴하는 데 지장을 줄 수도 있다. 그래서 어느 정도까지는 다양성을 추구하지만 세대가 진행되어감에 따라 돌연변이율을 감소시켜 나감으로서 자연스럽게 수렴하도록 하기 위하여 식 (5)를 적용하여 돌연변이율을 세대가 증가함에 따라 줄여나가는 방식을 사용하였다.

$$F_m = m - \alpha^G \quad (5)$$

F_m : G 세대에서 적용할 돌연변이 확률

α : 가중치, $0 < \alpha < 1$

m : 초기에 주어지는 돌연변이 확률

G : 0, 1, 2, 3, ..., N 세대

위의 식 (5)는 초기 세대에 다양성을 강조하여 다양한 염색

체 집단을 형성하기 위해서 돌연변이율을 크게 하였고, 세대가 진행됨에 따라 다양성을 감소시키고 선택의 강도를 높이기 위해 돌연변이율을 작게 하였다. 돌연변이율을 작게하는 비율은 가중치(weighting factor) α 에 의하여 변화율이 조정되므로 진화프로그램의 다양성 고려 정도를 조절할 수 있다.

4. 개선된 진화프로그램을 사용한 채널할당방법의 적용

4.1 개선된 최적 채널할당방법

지금까지 무선통신 네트워크의 각 셀의 수요를 만족시키면서 간섭의 정도를 최소화하는 채널할당에 대하여 설명하였는데 최적 채널 할당을 위한 개선된 진화프로그램의 수행 절차를 <그림 5>의 흐름도로 정리할 수 있다. <그림 5>의 흐름도의 진행 절차에 따라 기존 연구 논문에서 많이 사용한 예제를 사용하여 채널할당방법을 다음과 같이 설명할 수 있다.

4개의 셀로 구성된 무선통신네트워크에서 각 셀에서 필요로 하는 채널의 수요는 [1, 1, 1, 3]으로 총 6개의 채널이 필요하고, 현재 할당 가능한 고유 채널번호는 0번에서 10번까지 11개이다. 또한, 적합행렬은 다음과 같이 주어 진다.

$$C = \begin{pmatrix} 5 & 4 & 0 & 0 \\ 4 & 5 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 5 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 5 \end{pmatrix}$$

위의 적합행렬에서 행과 열은 셀을 나타내며, 행렬안의 숫

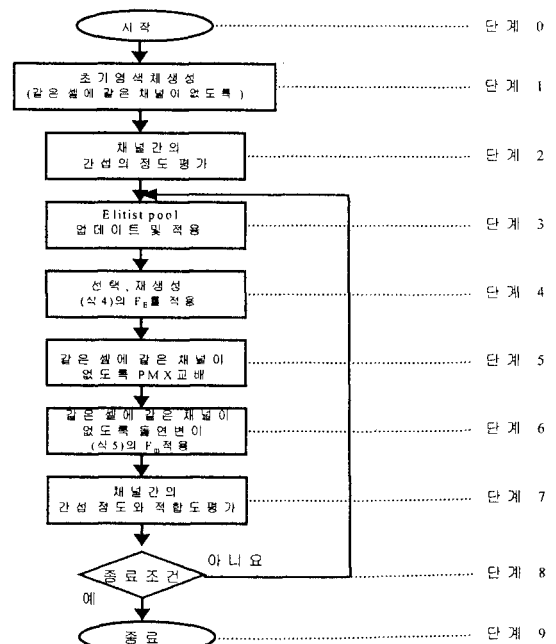


그림 5. 채널할당을 위한 진화프로그램의 흐름도.

표 1. 초기 염색체군

개체	할당 채널	간섭의 정도	적합도 함수값
v_0	0 6 2 8 6 5	10	0.100000
v_1	3 9 9 8 1 9	8	0.125000
v_2	7 5 3 0 1 4	10	0.100000
v_3	1 1 10 4 1 0	12	0.083333
v_4	0 4 5 6 1 7	5	0.200000
v_5	4 3 0 6 8 5	12	0.083333
v_6	3 9 7 10 5 1	1	1.000000
v_7	5 2 9 2 8 9	9	0.111111
v_8	10 10 6 4 2 3	15	0.066667
v_9	9 0 4 1 7 0	5	0.200000
합계		87	2.069444

자는 각각의 셀 간에 간섭 현상이 일어나지 않는 채널 간의 최소한의 채널 간의 간격을 나타내고 있다.

본 논문에서는 최적해를 찾기 위하여 초기 10개의 염색체군을 형성하였으며, 교배와 돌연변이 확률은 두가지 경우 다 0.3으로 하였다. 그러나 돌연변이 확률은 앞에서 언급한 바와 같이 세대가 진행하면서 수렴성을 강조하기 위해서 3.5절의 식 (5)를 적용하여 점차 감소하게 된다. 진화프로그램상에서 초기 염색체군, 즉 초기 염색체집단이 <표 1>과 같이 형성되었다. 초기 염색체를 생성할 때에는 같은 셀에 같은 채널이 할당되지 않도록 한다(단계 1). 염색체 평가단계에서 3.2절의 식 (1), 식 (2), 식 (3)을 적용하여 각 염색체의 간섭의 정도를 얻을 수 있었다. 적합도 함수값은 룰렛 휠 선택방식을 적용하기 위해 간섭의 정도의 역수를 취한 값이다(단계 2).

채널의 할당문제에서 본 논문의 3.2절의 식 (1)과 같이 평가 함수값을 채널 간의 간섭현상을 일으키는 정도를 별점으로 하였으므로 별점의 총합의 최소화가 목적이다. 간섭의 정도는 적합행렬에서 표시한 간섭이 발생하지 않는 최소의 채널의 차이를 위반하는 채널들 간의 차이를 나타내는 것이다.

열성 염색체를 우성 염색체로 교환하기 위한 자료를 저장하기 위하여 가장 좋은 적합도 함수값을 가지는 염색체를 Elitist Pool 공간에 저장하여 매 세대마다 적합도가 가장 높은 순으로 업데이트해 나가고 Elitist Pool 적용이 필요한 시점에 본 논문의 3.3절의 식 (4)를 적용하여 우성 염색체와 열성 염색체를 교환하여 진화프로그램의 수렴성을 증가시킨다(단계 3).

이제 룰렛 휠 선택 방법으로 새로운 염색체 집단을 선택하여 최종적으로 선택된 염색체 집단은 다음과 같이 구성된다. 이 단계에서 식 (4)를 사용하여 각 세대에서 적용할 Elitist Pool의 염색체 적용수 F_E 를 결정하여 열성 염색체와 우성 염색체를 F_E 만큼 교환하게 된다(단계 4).

- 새 염색체 v_0' : 0 6 2 8 6 5 (v_0)
- 새 염색체 v_1' : 9 0 4 1 7 0 (v_9)
- 새 염색체 v_2' : 0 4 5 6 1 7 (v_4)

- 새 염색체 v_3' : 0 4 5 6 1 7 (v_4)
- 새 염색체 v_4' : 3 9 7 10 5 1 (v_6)
- 새 염색체 v_5' : 3 9 7 10 5 1 (v_6)
- 새 염색체 v_6' : 5 2 9 2 8 9 (v_7)
- 새 염색체 v_7' : 3 9 7 10 5 1 (v_6)
- 새 염색체 v_8' : 3 9 7 10 5 1 (v_6)
- 새 염색체 v_9' : 0 4 5 6 1 7 (v_4)

이제는 염색체값이 더 좋은값을 갖도록 하기 위한 재조합 연산자인 교배연산자를 새로운 염색체집단의 염색체들 v_i' 에 적용할 준비가 되었다. 교배확률은 0.3이고 교배연산은 다음의 방법으로 행하여진다. 새로운 염색체집단의 각각의 염색체에 대하여 범위 [0, 1] 사이의 난수 b 을 발생하여 만일 $b < 0.3$ 이면, 그 염색체를 선택하여 교배한다. 본 논문에서 제시한 예제에서는 교배를 위하여 1개의 염색체가 선택되었다. 그러나 교배는 두 쌍의 염색체 간에 발생하므로 교배될 염색체가 홀수일 경우는 하나의 염색체를 제거하므로 이 경우 교배는 발생하지 않는다. 두 개 이상의 염색체가 교배를 위하여 선택되었을 경우에는 염색체 간에 유전자의 교환이 이루어져 새로운 염색체가 만들어지게 된다(단계 5).

이제는 염색체값이 좀더 다양한 값을 갖도록 하기 위한 연산자인 돌연변이 연산자를 새로운 염색체집단의 염색체들 v_i 에 적용할 준비가 되었다. 돌연변이 확률은 0.3이고 돌연변이 연산은 다음의 방법으로 행하여진다. 새로운 염색체 집단의 크기만큼 범위 [0, 1] 사이의 난수 b 을 발생하여 만일 $b < 0.3$ 이면, 돌연변이를 발생시킨다. 본 논문에서 제시한 예제에서는 돌연변이를 위하여 3개의 염색체들이 선택되었다. 각 염색체 내에서 돌연변이 될 유전자가 몇 번째 셀에 있는지를 랜덤하게 결정하고, 셀 내에서 몇 번째 유전자에 돌연변이를 시행할 것인가를 랜덤하게 결정한다. 또한, 바뀌게 될 채널을 랜덤하게 생성하여 셀 내의 다른 유전자의 고유채널들과 비교하여 같은 채널이 셀 내에 존재하는지 확인하고, 같은 채널이 존재하고 있을 경우에는 다시 생성하고, 없을 경우에는 확정되어 채널이 바뀌게 된다. 이러한 방법으로 돌연변이 된 유전자가 다음과 같이 주어졌다. 첫 번째 돌연변이는 10개의 염색체 중에서 3번째인 v_2' 에서 랜덤하게 선택된 2번째의 유전자에 할당되어 있는 채널 4를 채널 4와 중복되지 않는 채널 5로 바꾼다는 것을 의미하고, 두 번째 돌연변이는 염색체 v_6' 에서 랜덤하게 선택된 2번째 유전자에 할당되어 있는 채널 2를 랜덤하게 선택되고 채널 2와 중복되지 않는 7로 돌연변이 시킨다는 것을 의미한다. 세 번째 돌연변이는 염색체 v_9' 에서 랜덤하게 선택된 1번째 유전자에 할당되어 있는 채널 0을 랜덤하게 선택되고 채널 0과 중복되지 않는 7로 돌연변이 시킨다는 것을 의미한다. 이러한 돌연변이 연산을 거친 후 마지막으로 생성되는 새로운 염색체집단은 <표 2>와 같이 구성된다. 이렇게 세대가 진행되면서 돌연변이율이 식 (5)를 적용하여 서서히 줄어들면서 초기세대에는 다양성을 추구하고 세대가 거듭될수록 상대

표 2. 새로운 염색체 집단

개체	할당 채널	간섭의 정도	적합도 함수값
v_0	0 6 2 8 6 5	10	0.100000
v_1	9 0 4 1 7 0	5	0.200000
v_2	0 5 5 6 1 7	5	0.200000
v_3	0 4 5 6 1 7	5	0.200000
v_4	3 9 7 10 5 1	1	1.000000
v_5	3 9 7 10 5 1	1	1.000000
v_6	5 7 9 2 8 9	9	0.111111
v_7	3 9 7 10 5 1	1	1.000000
v_8	3 9 7 10 5 1	1	1.000000
v_9	7 4 5 6 1 7	6	0.166667
합계		44	4.97778

적으로 수렴성을 강조한다(단계 6).

지금까지 진화프로그램 중 한 세대동안 일어나는 염색체 집단의 평가와 교배 돌연변이 과정을 살펴보았다. 마지막 돌연변이가 끝나고 새로운 염색체집단에 대한 평가단계에서 각각의 염색체에 대하여 할당된 채널의 값을 평가하여 적합도 함수를 계산하여 <표 2>의 결과를 얻었다(단계 7).

각 염색체들의 적합도 함수의 합인 총적합도는 4.97778이고 각 염색체들의 간섭의 정도의 총 합은 44이다. 이것으로 볼때 전 세대에서 총적합도가 2.1에서 5.0으로 개선되었고, 간섭의 정도의 총 합도 87에서 44로 개선되었다. 전체적으로도 염색체들이 전 세대의 염색체에 비교하여 개선되었다는 것을 의미한다. 이 결과에 대하여 종료조건을 확인하여 만족하면 종료하고 그렇지 않으면 다음 세대를 계속 진행한다(단계 8).

이제부터는 선택과정을 다시 거치고, 교배와 돌연변이의 유전연산자를 적용하여 다음세대를 계속적으로 평가하며 세대가 진행될수록 진화된 염색체를 만들어 간다. 룰렛 휠 선택 방법으로 새로운 염색체집단을 선택하여 최종적으로 선택된 염색체집단은 다음과 같이 구성된다.

- 새 염색체 v_0' : 3 9 7 10 5 1 (v_5)
- 새 염색체 v_1' : 0 5 5 6 1 7 (v_2)
- 새 염색체 v_2' : 7 4 5 6 1 7 (v_9)
- 새 염색체 v_3' : 3 9 7 10 5 1 (v_7)
- 새 염색체 v_4' : 3 9 7 10 5 1 (v_4)
- 새 염색체 v_5' : 3 9 7 10 5 1 (v_8)
- 새 염색체 v_6' : 3 9 7 10 5 1 (v_8)
- 새 염색체 v_7' : 3 9 7 10 5 1 (v_7)
- 새 염색체 v_8' : 3 9 7 10 5 1 (v_4)
- 새 염색체 v_9' : 3 9 7 10 5 1 (v_4)

전 세대에서 교배가 이루어지지 않았는데 두 번째 세대에서 발생하는 교배과정을 살펴보면, 교배연산에 선택된 염색체는 염색체 v_2' 와 염색체 v_6' 이다. 교배하게 될 쌍이 정해지면 다시 난수를 발생시켜 교배가 시작될 유전자와 교배가 끝나게될 유

전자를 선택하게 되는데, 첫 번째 쌍(염색체 v_2' 와 염색체 v_6')에서 난수에 의하여 선택된 두 유전자 사이를 교배하게 된다. 여기서 선택된 유전자는 3번째와 4번째 유전자 사이이다. 그러므로 PMX 교배는 다음과 같이 이루어지게 된다.

$$v_2' : 7\ 4\ | 5\ 6\ | 1\ 7 \rightarrow v_2'' : 7\ 4\ | 7\ 10\ | 1\ 7$$

$$v_6' : 3\ 9\ | 7\ 10\ | 5\ 1 \rightarrow v_6'' : 3\ 9\ | 5\ 6\ | 5\ 1$$

교배가 이루어지고 난 후의 새로운 염색체 v_2'' 와 v_6'' 가 기존의 염색체 v_2' 와 v_6' 를 대신하여 염색체군으로 들어가 새로운 염색체군을 형성하게 된다(단계 5).

본 논문에서 최적채널할당을 위해 제안하는 진화프로그램은 몇 세대 후에 더 이상의 개선이 관찰되지 않으면, 그 세대의 가장 좋은 염색체가 최적해를 나타낸다. 흔히 속도와 자원의 기준에 의해 일정한 횟수만큼 반복 수행한 후에 알고리즘을 정지시킨다(Goldberg, 1989; Michalewicz, 1996). 이 예제에서는 진화프로그램의 간섭의 정도값이 0값(적합도 함수값은 최적값이라고 지칭)을 갖는 염색체가 발생하여, 이 문제에서 최적의 간섭의 정도값은 31번째 세대 염색체군의 2번째 염색체에서 발견 되었으며, 그 결과는 <표 3>과 같다.

마지막 세대의 모든 염색체들의 간섭의 정도의 총 합은 13이다. 따라서 이 예제의 각 세대에 따른 염색체들의 간섭의 정도의 총합을 세대수에 따라 표시해 보면 다음 <그림 6>과 같다.

31번째 세대에서 가장 좋은 적합도 함수값을 갖는 염색체는

표 3. 최종 염색체 집단

개체	할당 채널	간섭의 정도	적합도 함수값
v_0	2 8 7 10 5 1	1	1.000000
v_1	3 8 7 10 5 0	0	최적값
v_2	2 8 7 10 5 1	1	1.000000
v_3	3 8 7 10 5 1	1	1.000000
v_4	1 8 7 10 5 1	1	1.000000
v_5	3 8 10 10 5 1	3	0.333333
v_6	3 8 7 10 5 1	1	1.000000
v_7	5 8 7 10 5 1	2	0.500000
v_8	3 8 7 10 5 1	1	1.000000
v_9	5 8 7 10 5 1	2	0.500000
합계		13	4.97778

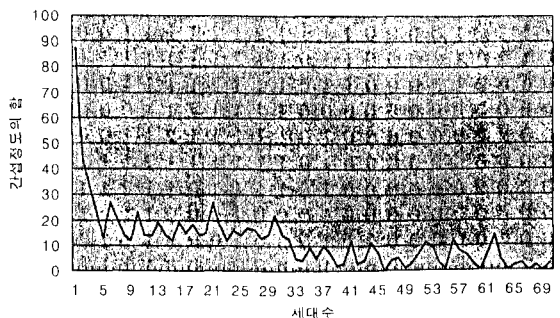


그림 6. 각 세대 모든 염색체의 간섭 정도의 합.



그림 7. 4개 셀에서의 채널할당 예.

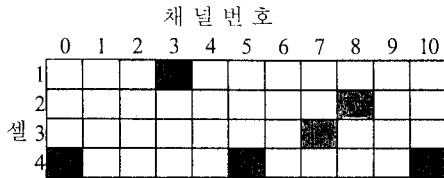


그림 8. 4개 셀에 11개 채널 할당문제 최적해의 2차원 행렬 표현.

검색채 c_1 으로 이 검색채에 할당된 채널을 보면 <그림 7>과 같다. 즉, 1, 2, 3번 셀에 채널의 고유번호로 3, 8, 7을 각각 할당하고 4번 셀에는 0, 5, 10번의 채널을 할당하여야 한다.

이 최적해를 셀과 채널의 2차원 행렬로 표현하면 <그림 8>과 같다.

4.2 25개 셀의 무선네트워크에서 최적 채널할당 결과분석

Lai와 Coghill의 논문(1996)과 Funabiki와 Takefuji의 논문(1992)에서 예제로 사용한 25개의 셀로 구성된 무선통신네트워크에서 각 셀에서 필요로 하는 채널의 수효는 총 167개이고, 이것을 각각의 셀별로 보면 [10, 11, 9, 5, 9, 45, 7, 4, 8, 8, 9, 10, 7, 7, 6, 4, 5, 5, 7, 6, 4, 5, 7, 5]이고, 현재 할당 가능한 고유 채널번호의 수는 73개이다. <그림 9>는 이 문제의 적합 행렬을 나타낸다.

2	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
1	1	1	0	2	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	1	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	1	1	0	1	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	0	1	1	1	1	2	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	2	1	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2

그림 9. 적합행렬 (Compatibility matrix).

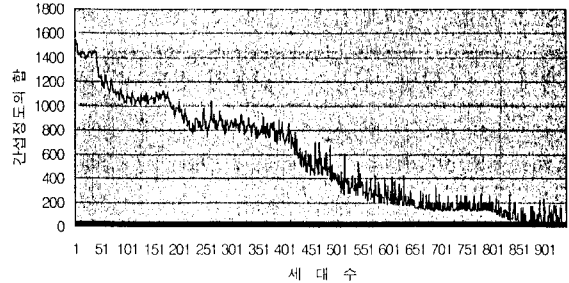


그림 10. 각 세대 모든 검색채의 간섭 정도의 합.

이 예제의 각 세대에 따른 검색채들의 간섭 정도의 총합을 그림으로 표시해 보면 다음 <그림 10>과 같다.

25개 셀 무선통신네트워크에서 셀 별로 고유 채널 번호 할당 최적해를 분류해보면 <표 4>와 같다.

표 4. 25개 셀 채널할당 최적해의 예

0	10	1 14 9 25 44 39 70 60 46 18
1	11	34 36 49 58 69 10 53 40 27 12 3
2	9	61 64 21 11 29 52 13 32 6
3	5	34 23 1 27 18
4	9	22 63 30 50 5 56 65 47 67
5	4	1 7 3 9
6	5	47 17 8 50 30
7	7	57 55 63 45 22 5 59
8	4	2 20 12 4
9	8	28 24 42 37 54 68 71 31
10	8	35 38 7 9 25 14 19 33
11	9	3 73 33 43 35 7 19 62 15
12	10	66 20 41 48 72 2 16 51 4 26
13	7	55 8 17 23 59 45 57
14	7	61 52 73 29 11 43 64
15	6	13 32 15 27 40 6
16	4	9 7 1 3
17	5	28 5 21 24 30
18	5	31 42 10 36 39
19	7	37 12 1 22 3 34 18
20	6	6 13 16 4 21 23
21	4	5 27 20 2
22	5	28 15 24 11 8
23	7	29 32 21 13 6 26 16
24	5	30 22 17 3 10

5. 결론

본 논문에서는 각 셀마다 채널 수요가 균일하지 않은 무선 통신네트워크에서 서비스 지역과 시간에 따라 채널 수요 변화가 불확실하고, 심할 때 각 셀에서 필요로 하는 채널 수요와 필요로 하는 시간에 동적으로 빠르게 채널을 최적 할당하는 것이 주요 목표이다.

동적채널할당을 할 때 진화프로그램을 사용하여 채널 간의 간섭정도를 최소화할 수 있도록 평가함수를 설정하였고, 같은 셀에 같은 채널이 할당되지 않도록 교배와 돌연변이를 적용하였다. 개선된 Elitist-Pool방법과 돌연변이를 적용을 통하여 진화프로그램 초기에는 지역 최적치에 빠지지 않도록 다양성을 추구하였고, 진화프로그램을 진행시키면서 수렴성을 강조하였다. 본 논문에서 개발한 동적 채널할당방법을 기존 연구논문에서 사용한 벤치마킹 문제에 적용하여 최적할당해로 수렴함을 검증하였다.

참고문헌

공성곤 (1996) 외 4명, 유전자 알고리즘, 그린.
 공성곤 (1997) 외 4명, 유전자 알고리즘 입문, 진영사.
 Bechmann, D. and Killar, U. (1999), A new strategy for the application of genetic algorithms to the channel-assignment problem, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 48(4), 1261-1269.
 Chakraborty, G. and Chakraborty, B. (1999), A Genetic Algorithm Approach to Solve Channel Assignment Problem in Cellular Radio Networks, *IEEE Midnight-Sun Workshop on Soft Computing Method in Industrial Applications*, 34-39.
 Das, S. K., Sen, S. K. and Jayaram, R. (1996), A Dynamic Load Balancing Strategy for Channel Assignment Using Selective Borrowing in Cellular Mobile Environment: Center for Research in Parallel and Distributed Computing Department of Computer Sciences University of North Texas,

ACM 0-89791-872-X, 73-84.
 Duque-Anton, M., Kunz, D. and Ruber, B. (1993), Channel Assignment for Cellular Radio Using Simulated Annealing, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 42(1), 14-21.
 Funabiki, N. and Takefuji, Y. (1992), A Neural Network Parallel Algorithm for Channel Assignment Problems in Cellular Radio Networks, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 41(4), 430-437.
 Goldberg, D. E. (1989), Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley publishing company, Inc.
 Kim, J. S., Park, S. H., Dowd, P. W. and Nasrabadi, N. M. (1997), Cellular Radio Channel Assignment Using a Modified Hopfield Network, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 46(4), 957-967.
 Kunz, D. (1991), Channel Assignment for Cellular Radio Using Neural Networks, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 40(1), 188-193.
 Lai, W. K. and Coghill, G. G. (1996), Channel Assignment Through Evolutionary Optimization, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 45(1), 91-96.
 Michalewicz, Zbigniew (1996), Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer.
 Sandalidis, H. G., Stavroulakis, P. P. and Rodriguez-Tellez, J. (1998), An Efficient Evolutionary Algorithm for channel Resource Management in Cellular Mobile Systems, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2(4), 125-137.
 Smith, K. A. (1998), A Genetic Algorithm for The Channel Assignment Problem, *Proceedings of the Globecom*, 4, 2013-2018.
 Smith, K. A. and Palaniswami, M. (1997), Static and Dynamic Channel Assignment Using Neural Networks, *IEEE Journal on Selected areas in Communications*, 15(2), 238-249.



김 성 수
 한양대학교 산업공학과 학사
 일리노이대 산업공학과 석사
 애리조나주립대 산업공학 박사
 현재: 강원대학교 산업공학과 조교수
 관심분야: 네트워크시스템, 물류정보 및 SCM



이 중 현
 홍익대학교 전산학과 학사
 한국과학기술원 전산학과 석사
 한국과학기술원 전산학과 박사
 현재: 한국통신 m-Biz 연구실장
 관심분야: 무선, 이동 인터넷, Mobile Computing, IPv6



한 광 진
 강원대학교 산업공학과 학사
 강원대학교 산업공학과 석사
 현재: Soft Power 정보지식연구소 연구원
 관심분야: ERP, 물류정보 및 SCM