

FDMA 무선통신 네트워크에서 채널할당을 위한 HGSL 알고리즘

김성수^{1*} · 민승기²

¹강원대학교 산업공학과 / ²(주)풀무원 SCM본부 생산기획팀

Hybrid Genetic and Local Search (HGSL) Algorithm for Channel Assignment in FDMA Wireless Communication Network

Sung-Soo Kim¹ · Seung-Ki Min²

¹Department of Industrial Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701

²Pulmuone Co., Ltd., SCM Headquarters, Production Planning Team, Seoul, 135-744

The NP-hard channel assignment problem becomes more and more important to use channels as efficiently as possible because there is a rapidly growing demand and the number of usable channel is very limited. The hybrid genetic and local search (HGSL) method in this paper is a hybrid method of genetic algorithm with no interference channel assignment (NICA) in clustering stage for diversified search and local search in tuning stage when the step of search is near convergence for minimizing blocking calls. The new representation of solution is also proposed for effective search and computation for channel assignment.

Keywords: hybrid genetic and local search (HGSL), channel assignment, FDMA

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

무선통신 서비스 수요는 급격히 증가하고 있지만, 사용 가능한 채널의 범위는 한정되어 있다. 따라서, 채널의 사용 가능 범위 내에서 최대한 많은 수요를 충족시키고 채널의 효과적인 사용을 보장하기 위해서는 각 셀에 할당될 채널들의 최적설계가 필요하다.

일반적으로 무선통신 시스템에서 서비스 지역은 다수의 셀로 구성되어 있다. 셀 내에서 또는 셀 간의 할당된 각각의 채널들끼리는 서로 간섭현상을 일으킬 수 있는데, 이러한 간섭현상은 다음의 세 가지로 분류해 볼 수 있다. 즉, co-channel inter-

ference(CCI), co-site interference(CSI), adjacent-channel interference (ACI)이다. CCI는 서로 다른 셀에서 사용자가 같은 채널을 사용할 경우 발생하는 간섭을 나타내는 것이며, CSI는 같은 셀 내에서 사용자가 서로 다른 채널을 사용할 경우 채널 간의 간섭의 정도를 나타내는 것이다. ACI는 서로 다른 셀 간에 할당되어 있는 서로 다른 채널 간 간섭의 정도를 나타낸다. 위의 세 가지 간섭현상은 무선통신 네트워크 상에서 최적 채널할당 시 고려되어야 한다.

이러한 간섭현상들은 채널할당 시 적합행렬을 사용하여 표현되는데, 셀의 수를 행과 열로 가지는 2차원 행렬로 세 가지 간섭현상이 나타나지 않는 최소의 채널간격을 표현한다. Wang and Rushforth(1996) 논문에서 채널할당 문제는 다음과 같은 구성요소를 고려하여 최적 채널할당을 모색한다.

이 연구는 2003년도 강원대학교 학술연구 조성비로 연구되었음.

*연락처: 김성수 교수, 200-701 춘천시 효자 2동 192-1 강원대학교 산업공학과, Fax : 033-255-6281, E-mail : kimss@mail.kangwon.ac.kr
2005년 4월 접수, 2회 수정 후 2005년 8월 게재 확정.

- (1) N : 전체 셀의 수
- (2) 각 셀 i 에 존재하는 채널수요량 $d_i (1 \leq i \leq N)$
- (3) $N \times N$ 의 제한조건 적합행렬 (Compatibility matrix) C_{ij} :
셀 i 와 셀 j 의 채널 간섭이 일어나지 않기 위한 최소 채널간격을 나타내는 행렬
- (4) 셀 i 의 k 번째 수요 a_{ik} 에 할당하는 채널 f_{ik}
($1 \leq i \leq N, 1 \leq k \leq d_i$)
- (5) 할당된 모든 채널은 아래 식을 만족하여야만 채널 간의 간섭이 일어나지 않는다.

$$|f_{ik} - f_{jl}| \geq C_{ij} \text{ for all } i, j, k, l (ik \neq jl)$$

$$1 \leq i, j \leq N, 1 \leq k \leq d_i, 1 \leq l \leq d_j$$

채널할당 문제는 위의 식을 만족하는 모든 채널 중에서 가장 큰 채널번호를 최소화하는 것이다.

$$\text{Minimize} \left[\text{Max}_{i,k} f_{ik} \right] \quad 1 \leq i \leq N, 1 \leq k \leq d_i$$

본 논문의 목적은 FDMA(Frequency Division Multiple Access) 무선통신 네트워크 시스템에서 현재 보유하고 있는 가용 채널수(Z)로 위의 식들을 만족하는 채널할당을 할 때 채널수요량을 만족시키지 못하는 blocking call, b 를 최소화하는 것이다. 이러한 채널할당을 위해 본 논문에서는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm; GA)과 지역탐색(Local Search) 방법을 혼합 사용하여 효율적인 HGLS(Hybrid Genetic and Local Search) 채널할당 방법을 개발하였다. HGLS 알고리즘에서 유전자 알고리즘은 주로 해의 영역에서 다양성과 해의 방향성을 제시하는 역할을 하며, 지역탐색 방법은 특정 영역에서의 튜닝 작업을 통해 해를 빠르게 수렴하게 한다.

따라서, HGLS 알고리즘은 전체 해의 탐색영역에서 다양성과 수렴성을 적절히 고려하여 효율적인 해 탐색이 이루어질 수 있다. 2장에서는 기존 채널할당에 관한 연구들의 장·단점을 비교 분석하였다. 3장에서는 HGLS 채널할당 방법을 자세히 서술하였다. 4장에서는 HGLS 방법의 적용 및 실험 분석을 통하여 이 방법의 성능과 우월성을 검증하였다.

2. 기존 채널할당에 관한 연구

채널할당 문제는 NP-hard로 간주되어 Derek *et al.*(2001), Kunz (1991), Kim *et al.*(1997), Kim and Ryu (1996), Maniezzo *et al.*(2000), Sandalidis *et al.*(1998), Smith *et al.*(1998) 등의 논문들에서 최적값의 근접값을 찾아내는 지역탐색(local search), 유전자 알고리즘(genetic algorithm), 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing), 타부서치(taboo search), 개미 알고리즘(ant algorithm), 뉴럴 네트워크(neural network) 등과 같은 휴리스틱 알고리즘이 적용되어 왔다.

Sivarajan *et al.*(1989)은 Frequency exhaustive assignment(FEA) 방법을 제안하였다. FEA 방법은 채널할당 순위인 채널할당 순서(어떠한 수요부터 채널을 할당할 것인가에 대한 순위정보)에 따라 먼저 할당된 채널들과 간섭이 발생되지 않도록 채널들을 할당하는 방법이기 때문에 최적 해를 찾기 쉽지 않다.

Lai and Coghill(1996)는 유전자 알고리즘을 사용할 때 염색체의 유전인자를 고유 채널번호로 사용하고 있고, 하나의 염색체를 1차원 배열로서 표시하였다. 염색체의 적합도를 평가하는 함수가 단지 염색체 내에서 적합행렬에 위배되는 채널이 몇 개가 발견됐는지를 계산하기 때문에 적합도 값이 높고 낮은 염색체 간의 변별력이 떨어진다. 또한, 고유 채널을 할당하여 간섭의 정도를 평가하기 때문에 비효율적인 탐색 진행과정이 전개되고 연산시간의 효율성이 떨어진다.

Wang and Rushforth(1996)는 지역탐색 방법의 하나인 이웃탐색 기법을 제안하고 CAP3(Channel assignment problem 3)라고 명명하였다. CAP3는 임의로 랜덤하게 하나의 해(채널할당 순서)를 만들어 사용하였고 이웃생성 방법은 가장 큰 채널을 유발시키는 특정 수요와 랜덤하게 선택된 다른 수요와의 순위를 채널할당 순서 내에서 바꾸는 방법을 사용하였다. 이 방법은 하나의 채널할당 순서만을 가지고 세대를 반복하기 때문에 계산량이 많지 않으며, 대규모 문제에 있어서는 특정 탐색영역 안에서 좋은 평가함수값으로 빠르게 수렴되지만 특정 영역에서의 탐색이므로 지역 최적해에 빠질 가능성이 있다.

Smith (1998)는 유전자 알고리즘을 적용할 때, 하나의 염색체를 이차원의 행렬을 사용하여 나타내었다. 2차원 배열의 염색체를 이용하여 각각의 채널의 할당이 0과 1의 이진 벡터로 표현됨으로써 셀과 채널의 수가 증가하거나, 염색체군의 수가 증가하면 유전자 알고리즘을 진행하는 과정(교배, 돌연변이 등)에서 계산시간이 기하급수적으로 증가하게 된다. 또한, 염색체의 적합도를 표현하는 함수가 각각의 고유 채널을 할당한 후 채널 간의 차이를 계산했기 때문에 불필요한 탐색과정이 발생하여 최적 해를 찾는 데 비효율적이다.

Capone and Trubian(1999)의 논문에서는 셀룰러 시스템의 채널할당 문제를 모델링하고 타부서치 알고리즘 방법을 적용하여 최적해를 찾고자 시도하였다. 그러나 타부서치 알고리즘 방법의 설계 및 파라미터 초기설정 등에 따라 또는 문제의 난이도에 따라 구한 해의 정확도가 상당히 차이가 나는 결과를 제시하였다.

Beckman and Killat(1999)는 FEA 방법과 유전자 알고리즘이 혼합된 방법을 제안하였다. 이 방법은 염색체군에서 일정비용 이상 같은 blocking call의 값들을 갖게 되면, 평가함수의 변별력이 떨어지게 된다.

또한, 유전자 알고리즘의 염색체로 사용되는 채널할당 순위는 총 수요만큼의 순위로 표현되기 때문에, 같은 셀 내의 순위 변화는 모두 같은 채널할당의 결과를 갖게 되므로 불필요한 계산과 비효율적인 탐색을 시도하게 된다.

Battiti *et al.*(2001)이 제안한 방법은 RSD(Randomized Saturation

Degree)와 지역탐색을 혼합한 방법으로서 복잡한 문제에 적용했을 때 현재까지 기존 논문에서 제시한 최적 채널 결과를 찾아내지 못하였다.

Ghosh and Sinha (2003)은 유전자 알고리즘의 엘리트리스트 모델을 사용하여 채널할당을 시도하였다. 그 결과 복잡하지 않은 문제에서는 상대적으로 계산시간이 적게 소요되었으나, 복잡한 문제에서는 상당한 계산시간(DEC Alpha station을 사용했을 때 12~80시간)이 소요되었다.

3장에서는 기존 논문의 비효율적인 해의 표현을 개선하고 다양성과 수렴성을 적절히 혼합 사용한 HGLS 채널할당 방법에 대하여 설명하고자 한다.

3. HGLS 채널할당 방법

본 논문에서 제안하는 HGLS 방법은 유전자 알고리즘과 Wang and Rushforth(1996)가 제안한 CAP3 방법을 혼합 사용하였다. 탐색한 채널할당 순서를 바탕으로 NICA(No Interference Channel Assignment) 방법으로 채널 간 간섭 없이 가상으로 채널을 할당한 후에 해를 평가하면서 해를 탐색해 나가는 방법이다. <Figure 1>은 HGLS의 핵심 메커니즘을 나타내고 있다.

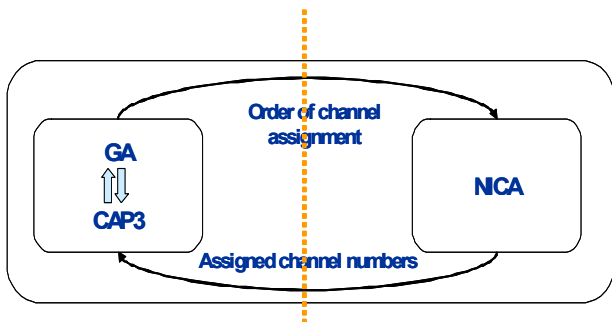


Figure 1. HGLS channel assignment.

유전자 알고리즘(GA)을 적용한 채널할당 문제의 특성상 평가값이 작은 값으로 수렴될수록 교배나 돌연변이에 의한 채널 할당순위의 변화로 인한 평가값의 변화폭이 상당히 크게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 지역탐색을 효율적으로 할 수 있는 CAP3 방법을 GA와 혼합하여 사용하였다.

CAP3는 지역 최적해에 빠질 수 있다는 단점은 있으나, 특정 해가 포함된 탐색영역에서의 평가값이 좋은 해로 빠르게 수렴시킨다는 장점을 가지고 있다. 즉, GA를 이용하여 전체 탐색영역의 해를 다양하게 찾으면서, 특정 탐색영역에 대한 해를 빠르게 수렴시키는 CAP3 방법을 혼합 사용하여, 효율적인 HGLS 탐색방법을 개발하였다. 이러한 탐색과정에서 탐색된 채널할당 순위에 따라 NICA에서는 해를 평가한다.

3.1절에서는 NICA 방법을 이용하여 간섭 없이 채널을 할당하는 모듈에 대해서 설명하며, 3.2절에서는 유전자 알고리즘과

CAP3 방법이 혼합 사용된 탐색모듈에 대해서 설명한다.

3.1 간섭 없이 채널을 할당하는 NICA 방법

3.1.1 새로운 해 표현방법

해의 표현 방법으로 사용한 채널할당 순위는 어떠한 셀의 어떠한 채널수요부터 채널을 할당할 것인가에 대한 순위로 나타내어진다. a_{ij} 는 i 번째 셀에서 j 번째 채널의 수요를 나타낸다. 3개의 셀과 각 셀의 수요가 3, 5, 2로 구성된 채널할당 문제에서 채널수요가 할당되는 순서를 $a_{21}, a_{11}, a_{32}, a_{12}, a_{25}, a_{13}, a_{22}, a_{31}, a_{24}, a_{23}$ 라고 할 때, <Figure 2>에는 두 종류의 채널할당 순위를 가지고 채널 할당한 결과 (c)가 나타나 있다. 두 채널할당순서는 Bechman and Killiat (1999)와 Sivarajan *et al.*(1989)에서 제안했던 표현방법 (a)와 본 논문에서 새롭게 제안한 표현방법 (b)로 구분되어 있다. 두 표현방법은 모두 같은 정보를 가지고 있지만, (a) 방식의 표현방법은 각 수요에 대한 순위, 즉 1부터 전체 수요까지 수요의 순위로 표현되었기 때문에 같은 셀 내의 수요에 대한 순위변화에 대해서는 모두 같은 채널할당 결과를 갖게 된다. 즉, (a) 표현방식의 6개의 채널할당 순위는 1번 셀 내에서의 순위변화만 표시한 것이며, 2번 셀과 3번 셀 안에서도 마찬가지로 같은 셀 내의 순위변화에 $d_i!$ (i 셀의 수요)만큼 같은 경우가 발생된다. 결국 1440 ($3! \times 5! \times 2!$) 만큼이 모두 같은 하나의 결과 (c)로 표현되므로, (a)와 같은 표현방식을 사용할 경우 해의 탐색공간이 불필요하게 커지는 비효율성을 가져온다.

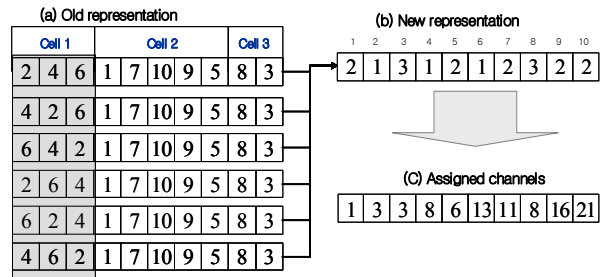


Figure 2. Channel assignment using different representation.

본 논문에서는 위와 같은 문제점을 해결하여 효율성 있게 표현할 수 있는 (b)와 같은 새로운 표현방식을 사용하였다. 새롭게 제안한 표현방법은 각 셀에서 요구하는 채널수요를 셀 내에서의 우선순위 구분 없이 셀 번호로 표시하며, 왼쪽에 위치하는 것부터 우선순위가 있다. 즉, 셀의 번호를 왼쪽에서부터 먼저 할당될 순서대로 표시하면 된다. 이러한 표현방법은 셀 내에서의 순위변화에 의해 같은 채널할당 결과를 갖는 채널할당 순서를 하나로 표현할 수 있다. 또한, (b) 방식의 표현방법은 프로그램 진행과정에서 채널을 할당하기 위해 적합행렬(C, Compatibility matrix)을 사용하여 각각의 순위를 가지는 수요에

대해 몇 번 셀의 수요인지를 계산하는 과정이 불필요하다. 새로운 표현방법은 기존 방법과 비교하여 불필요한 해의 탐색공간을 줄이고, 불필요한 계산을 줄일 수 있어 대규모 채널할당 문제에 효율적으로 사용될 수 있는 염색체 표현방법이다.

3.1.2 NICA 메커니즘

NICA(No Interference Channel Assignment) 방법은 채널할당 순위로 표현되는 해에 의해서 적합행렬(C, Compatibility matrix)을 고려하여 채널 간섭이 발생되지 않도록 할당하는 방법이다.

<Figure 3>에서 NICA는 적합행렬과 <Figure 2>의 (b) 표현방식인 채널할당 순서를 가지고 5번째 순위인 2번 셀에 대하여, 채널 6이 결정되는 것을 설명하고 있다. <Figure 3>의 (a)는 첫 번째 순위를 가지는 2번 셀에 할당된 채널번호 1과 다섯 번째 순위에 할당될 채널번호가 간섭이 발생하지 않기 위해서는 두 채널이 같은 2번 셀에 할당되므로 차이가 5 이상이어야 한다. 즉, 채널번호가 6(1+5) 이상이어야 한다. (b)는 두 번째 순위를 가지는 1번 셀에 할당된 채널번호 3과 다섯 번째 순위에 할당될 2번 셀에 할당될 채널번호가 간섭이 발생하지 않기 위해서는 차이가 2 이상이어야 한다. 즉, 채널번호가 5(3+2) 이상이어야 한다. (c)는 채널번호가 5(3+2) 이상 되어야 한다. (d)는 채널번호가 6(8-2) 이하이거나 또는 10(8+2) 이상이 되어야 한다. 결국, 이미 할당되어 있는 채널들과의 간섭현상이 없도록 범위를 찾아야 하며, 범위를 모두 만족시킬 수 있는 가장 작은 채널번호가 할당되는 채널로 결정된다. 채널번호 6은 할당 가능 구간 (a), (b), (c), (d)를 모두 만족하는 채널번호 중에서 가장 작은 채널이 선택된 것이다. 이와 같은 방법으로 총 수요만큼 채널들을 할당하면, <Figure 3>의 완성된 채널할당 결과가 나오게 된다. 즉, 1번 셀에 3, 8, 13채널, 2번 셀에 1, 6, 11, 16, 21채널, 3번 셀에 3, 8채널이 할당된다.

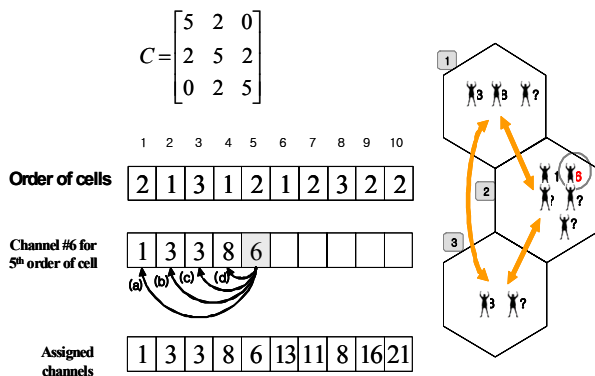


Figure 3. Example of channel assignment using NICA.

3.2 유전자 알고리즘과 CAP3를 혼합한 탐색

3.2.1 유전자 알고리즘의 역할

(1) 초기 염색체군 생성방법

유전자 알고리즘에서의 염색체는 3.1.1절에서 새롭게 제시

한 채널할당 순서가 된다. 한 염색체가 갖는 순위에 의한 셀 정보는 일차원 배열로 나열되며, 길이는 모든 채널수요의 합이 된다. 유전자 알고리즘에서의 초기 염색체는 랜덤하게 생성되며, 같은 셀 번호는 각 셀의 수요만큼 나타난다. <Figure 4>에는 사용된 염색체를 랜덤하게 생성하는 방법에 대해서 설명하고 있다. 1번 셀은 수요가 3개이고, 생성된 염색체에서 랜덤한 위치에 3번 포함되어 나타나게 된다. 같은 방법으로 2번, 3번 셀에 대한 수요가 5개와 2개이므로 2번 셀이 5번, 3번 셀이 2번 나타나게 된다. 이러한 염색체를 염색체군의 개수만큼 생성하여, 초기 염색체군을 형성한다.

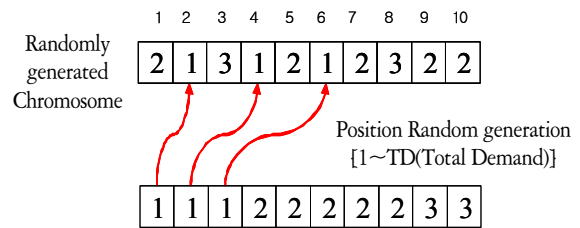


Figure 4. Initial generation of chromosome.

(2) 평가함수와 염색체 선택 및 재생성

유전자 알고리즘에서 염색체에 대한 평가는 NICA 방법으로 할당한 후에 현재 보유하고 있는 가용 채널 수(Z)가 몇 개인가에 따라 서비스하지 못하는 채널수요인 b (blocking call의 수)가 정해지고 각 염색체를 평가할 수 있다. <Figure 5>에는 NICA 방법으로 간섭 없이 할당된 채널번호를 나타낸 것이다. 즉, 1번에서 가장 큰 채널번호 21번까지 확보를 해야만 모든 채널수요를 만족시킬 수 있다. 만약 가용 채널이 12인 경우, blocking call은 3이 된다.

Assigned channels using NICA

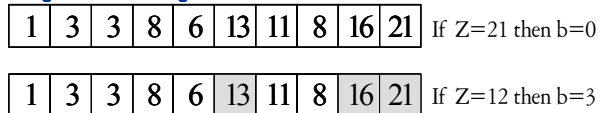


Figure 5. Blocking call (b) using available channels Z.

식 (1)은 평가함수로써 주어진 가용채널 수 Z(기존 채널할당 논문(Beckmann and Killat(1999))에서 최하(lower bound)로 사용한 채널 수) 하에 염색체들을 평가하여 b = 0인 염색체를 구하게 되면 HGLS 알고리즘을 종료한다. m번째 염색체의 평가함수 값은 식 (1)으로 구한 값이 된다. 최소화 문제이므로, 이는 룰렛 휠(Roulette wheel) 방법을 적용하기 위해 $T_m = \frac{F}{F_m}$ 로 바꾸어 최대화 문제로 접근한다. 개체집단의 총 적합도를 식 (2)와 같이 계산한다. m번째 염색체에 대한 선택확률(p_m)과 누적확률(q_m)을 식 (3)과 식 (4)로 계산한다. 재배치는 0과 1 사이의 난수 (r_n)를 생성하여, $q_{m-1} < r_n < q_m$ 이면, n번째 염색체에 m번째

염색체로 재배치되며, 이를 염색체군의 개수(Pop_Size)만큼 반복하여, 새로운 염색체군을 형성한다.

$$F_m = b \tag{1}$$

b : Blocking Call의 개수

$$T = \sum_{m=1}^{Pop_size} T_m \tag{2}$$

$$P_m = \frac{T_m}{T} \tag{3}$$

$$q_m = q_{m-1} + P_m \quad \text{단}(q_0 = 0) \tag{4}$$

(3) 교배와 돌연변이

본 논문에서는 순차적 교배방식(Order Crossover)을 사용하였다. 교배는 2개의 염색체의 부분적인 특성을 서로 바꿈으로써 새로운 개체를 생성하는 것이다. 교배가 이루어지는 염색체의 선택은 각 염색체마다 난수(0~1)를 발생시켜 교배율(P_c)보다 작은 염색체들을 선택하여 랜덤하게 2개씩 교배에 참여시킨다. 선택된 염색체 중 첫 번째 부모교배 염색체를 P_1 , 두 번째 부모교배 염색체를 P_2 로 한다. 교배의 방식은 염색체 길이만큼의 랜덤하게 이진행렬을 생성하여 0과 1에 대하여 하나의 자손 C_1 은 1인 염색체 부분을 그대로 유지하고, 또 다른 자손 C_2 는 0인 부분의 염색체를 그대로 유지한다. 그리고 나머지 부분에 대하여는 다른 부모염색체의 순서를 따르는 방법으로 교배를 하였다.

<Figure 6>의 P_1 과 P_2 는 교배에 참여한 두 부모염색체이며, 염색체의 길이는 10개의 유전자로 구성된 채널할당 순서이다. 랜덤하게 0과 1로 구성되는 염색체의 길이와 같은 이진행렬을 생성한다. 이진행렬에서 1과 매칭되는 P_1 의 유전자들(1, 3, 2, 3, 2)을 자손염색체 C_1 에 그대로 복사하고, 0과 매칭되는 P_1 의 나머지 유전자들(2, 1, 1, 2, 2)을 P_2 의 왼쪽에 있는 순(1, 2, 2, 1, 2)으로 C_1 에 비어 있는 유전자에 왼쪽부터 배치하여 교배가 끝난 뒤의 자손염색체 C_1 을 구성하고, C_2 는 이진행렬에서 0과 매칭되는 P_2 의 유전자들(1, 3, 2, 1, 2)을 자손염색체 C_2 에 그대로 복사하고 1과 매칭되는 P_2 의 나머지 유전자들(2, 2, 1, 3, 2)을 P_1 의 왼쪽에 있는 순(2, 1, 3, 2, 2)으로 C_2 에 비어 있는 유전자에 왼쪽부터 배치하여 구성한다.

본 논문에서 돌연변이는 모든 염색체가 참여하게 되며, 염

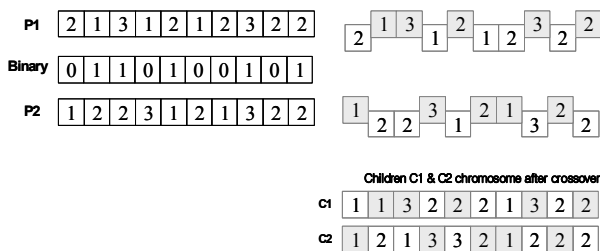


Figure 6. Crossover.

색체의 각 유전인자마다 난수(0~1)를 발생시켜, 돌연변이율(P_{mu})보다 작은 유전인자는 돌연변이에 참여하게 된다. 돌연변이 방법은 돌연변이에 참여하게 된 유전인자들의 순서를 랜덤하게 재배치하는 방법을 사용하였다. <Figure 7>은 임의의 염색체에 대해 돌연변이 과정을 설명하고 있다. 돌연변이에 참여하게 된 유전인자(2, 1, 2, 3)들은 랜덤하게 재배치(1, 2, 3, 2)함으로써 새로운 자손염색체를 생성하게 된다.

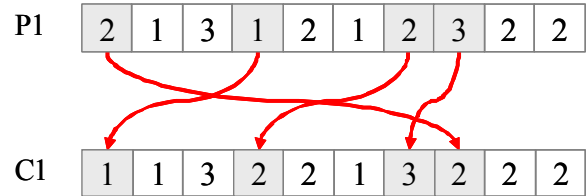


Figure 7. Mutation.

유전자 알고리즘에서 사용되는 염색체(채널할당 순서)가 수요의 할당순위에 대한 조합을 나타내므로, 작은 b 값에 접근할수록 교배나 돌연변이에 의한 염색체의 변화에 의해서 염색체 평가함수에 사용되는 b 의 변화폭이 매우 큰 것을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었다. 그렇기 때문에 b 값이 작은 값으로 수렴될 때, 돌연변이율과 교배율은 초기 유전자 알고리즘 진행과정보다 상대적으로 작은 값을 적용시키는 것이 최적 해에 수렴해 가는 과정에 가속도를 낼 수가 있다. 이를 위해 아래 식 (5) 교배율 변화식과 식 (6) 돌연변이율 변화식을 적용하여 교배율과 돌연변이율을 세대수가 증가함에 따라 줄여나가는 방식을 사용하였다.

$$P_{c_G} = P_c \cdot \alpha^G \tag{5}$$

$$P_{m_G} = P_{mu} \cdot \alpha^G \tag{6}$$

- P_{c_G} : G 세대에서 적용할 교배확률
- P_{m_G} : G 세대에서 적용할 돌연변이확률
- α : 가중치, $0 < \alpha < 1$
- P_{mu} : 초기에 주어지는 돌연변이확률
- P_c : 초기에 주어지는 교배확률
- G : 0, 1, 2, 3, ..., N 세대

3.2.2 CAP3 방법의 역할

CAP3 알고리즘은 현재 해의 이웃 해를 생성하여 이웃 해의 평가값이 현재 해보다 좋으면 현재 해를 이웃해로 교체하게 되며, 이러한 과정을 반복 수행해 가면서 해를 탐색하는 방법이다. 특정 해(채널할당 순서)의 이웃 해를 만드는 메커니즘은, <Figure 8>과 같이 특정 해를 NICA 방법을 사용하여 가상으로 채널을 할당했을 때 가장 큰 채널번호를 유발하는 해의 인자와 랜덤하게 선택된 인자와의 채널할당 순위를 교환함으로써 만들어 낸다.

CAP3 모듈에서는 NICA 방법으로 간섭 없이 할당된 채널번호들 중 가장 큰 최대 채널번호로 해를 평가하였다. 할당된 최대 채널번호가 가용 채널 수(Z)와 같거나 작으면 blocking call이 생기지 않음을 의미한다. CAP3 방법을 사용할 때, 일정 세대 수만큼 탐색체를 개선시킨 뒤, 다시 유전자 알고리즘의 탐색체 군에 다시 포함시켜 유전자 알고리즘 내에서 개선된 우수 탐색체를 찾을 확률을 높이고, 탐색체들 간의 변별력을 높여, 효율적으로 해를 탐색할 수 있게 하였다.

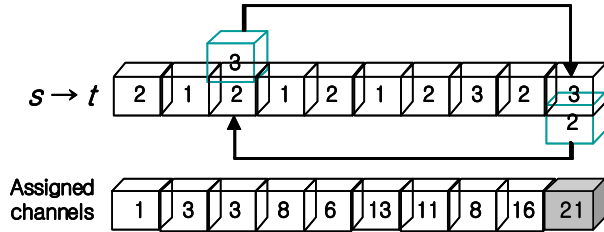


Figure 8. Generation of neighbor in CAP3.

4. HGLS 방법의 적용 및 실험분석

3장에서 HGLS 채널할당 방법에 대하여 상세히 설명하였다. 본 장에서는 FDMA 무선통신 네트워크에서 HGLS 방법의 효율성과 우월성을 검증하기 위해 기존 논문과 연구들에서 많이 사용되었던 21개 셀 Philadelphia 문제에 적용하여 평가분석하였다. <Figure 9>의 시스템의 채널할당 문제는 셀의 수가 21개이며, 각 셀의 수요량은 각 셀당 [8, 25, 8, 8, 8, 15, 18, 52, 77, 28, 13, 15, 31, 15, 36, 57, 28, 8, 10, 13, 8]이고 총 수요량은 481이다. <Table 1>은 ACC가 2, CSC가 5인 적합행렬을 나타낸 것이다.

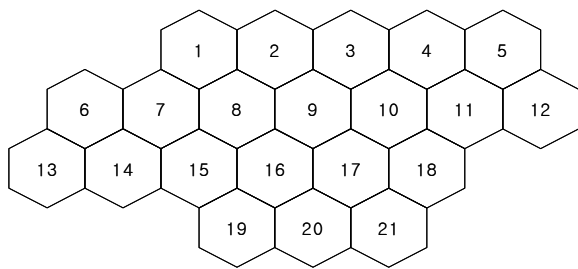


Figure 9. 21 cell Philadelphia problem.

본 논문에서 제시하는 HGLS 방법으로 최적해를 구하기 위하여, JAVA(JFC)를 이용하여 프로그램했으며, 펜티엄III 933MHz 을 이용하여 해를 구하였다. HGLS 채널할당 방법을 적용하여 최적 채널할당 해를 구할 때 파라미터 값은 탐색체 수 50개, 교배율 0.3, 돌연변이율 0.2로 사용하였다(파라미터 값에 따라 수행 결과는 달라질 수 있음). 프로그램 수행은 문제에 대하여 100회 반복하였으며, 기존 논문에서 제시한 최소 채널 수 (lower bound)를 가용 채널 수로 사용하였다.

Table 1. Compatibility matrix C (ACC=2, CSC=5)

5	2	1	0	0	1	2	2	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
2	5	2	1	0	0	1	2	2	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
1	2	5	2	1	0	0	1	2	2	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	1	2	5	2	0	0	0	1	2	2	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
0	0	1	2	5	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	5	2	1	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	2	5	2	1	0	0	0	1	2	2	1	0	0	1	0	0
2	2	1	0	0	1	2	5	2	1	0	0	0	1	2	2	1	0	1	1	0
1	2	2	1	0	0	1	2	5	2	1	0	0	0	1	2	2	1	1	1	1
0	1	2	2	1	0	0	1	2	5	2	1	0	0	0	1	2	2	0	1	1
0	0	1	2	2	0	0	0	1	2	5	2	0	0	0	0	1	2	0	0	1
0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	2	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	2	5	2	1	0	0	1	0	0	0
1	1	0	0	0	1	2	2	1	0	0	0	1	2	5	2	1	0	2	1	0
1	1	1	0	0	0	1	2	2	1	0	0	0	1	2	5	2	1	2	2	1
0	1	1	1	0	0	0	1	2	2	1	0	0	0	1	2	5	2	1	2	2
0	0	1	1	1	0	0	0	1	2	2	1	0	0	0	1	2	5	0	1	2
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	2	2	1	0	5	2	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	2	2	1	2	5	2
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	2	2	1	2	5

Beckmann and Killat(1999)에서 위 문제의 수행결과는 100회 시도 시 21회만이 가용 채널 수(427)를 사용하여 최적해를 찾을 수 있었다. 이 문제에서 유전자 알고리즘의 개체 수와 파라미터 선택에 따라 수행결과의 차이는 있지만, HGLS 방법을 사용하여 100회 수행 시 최적 해를 찾는 평균횟수가 70회로 우월함을 증명할 수 있었다.

Ghosh and Sinha(2003)은 위 문제를 DEC Alpha 스테이션을 이용하여 최적 채널할당 해를 찾을 때 12~80 시간이 소요되어 효율성이 매우 떨어지는 것으로 분석되었다.

<Figure 10>은 위 문제를 Wang and Rushforth(1996)가 제안한 CAP3 방법만으로 채널을 할당할 때 세대 수에 따른 할당된 최대 채널 수의 변화를 나타내고 있다. 이 방법은 특정 탐색영역에서 매우 빠르게 수렴하는 것을 알 수 있지만 지역 최적해(<Figure 10>에서 430)에 빠질 확률이 있기 때문에 더 이상의 개선이 이루어지지 않았다. 따라서, 만약 가용 채널 수 430보다 작다면 blocking call이 발생하게 된다.

<Figure 11>은 위 문제에 Beckmann and Killat(1999)이 제안한 유전자 알고리즘 방법만으로 채널을 할당할 때 세대 수에 따른 blocking call b 값의 변화를 나타내고 있다. 세대가 진행되어도 더 이상 최적해에 수렴하지 못하는 이유는 유전자 알고리즘에서 사용되는 탐색체(채널할당 순서)가 수요의 순위에 대한 조합을 나타내므로, 작은 b 값에 접근할수록 탐색체의 변화에 따른 b 값의 변화가 상당히 민감하게 변하기 때문이다. 이 때문에 채널할당 해로 수렴해 나간 상태에서 해의 미묘한 변화에 따른 평가값의 진폭이 커지는 문제점이 발생한다. 유전자 알고리즘만으로는 위 문제의 가용 채널 수 427의 채널을 사용해서 채널할당 해를 구하는 것은 매우 어렵다.

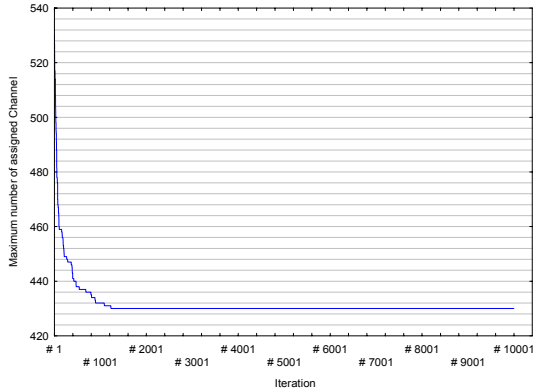


Figure 10. Trend of maximum channels using CAP3.

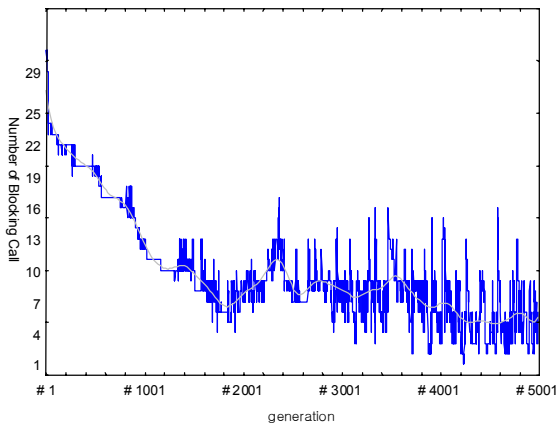


Figure 11. Trend of blocking call b using genetic algorithm.

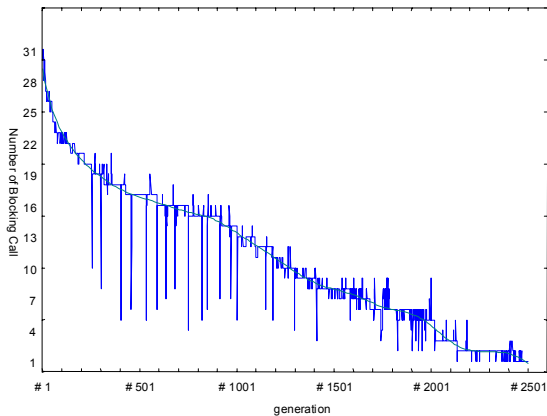


Figure 12. Trend of blocking call b using HGLS.

<Figure12>는 HGLS 방법을 위 문제에 적용한 것이다. 이를 보면, 전체적으로 b (blocking call)값이 0인 값으로 잘 수렴되는 것을 볼 수 있다. 또한 세대별로 진행되다가 갑자기 작은 b 값들이 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 일정세대 이상 해가 개선되지 않았거나 일정 값 이상 개선되지 않았을 경우 염색체들 중 랜덤하게 선택해 CAP3 방법 모듈로 보내주게 된다. 이 모듈에서는 CAP3 메커니즘을 적용하여 개선된 우성 염색체로 수

렴시켜, 다시 유전자 알고리즘 모듈의 염색체군에 포함시켜 유전자 알고리즘 모듈을 진행시켜 해를 탐색하게 된다. <Table 2>는 21개 셀 문제의 채널할당 결과를 나타낸다.

Table 2. Channel assignment using 427 channels in 21 cells

Cell1	2,13,19,24,43,55,69,74
Cell2	4,35,40,71,76,104,114,131,165,180,195,221,240,255,268,275,280,288,293,320,328,333,364,372,394
Cell3	361,366,377,383,399,410,415,420
Cell4	5,34,39,53,58,67,72,83
Cell5	8,13,18,56,61,88,94,99
Cell6	1,6,15,21,31,36,42,51,57,71,76,91,96,121,131
Cell7	11,33,38,53,63,85,117,128,133,140,157,163,178,192,197,203,210,216
Cell8	8,30,45,50,59,66,82,88,94,99,108,120,125,136,143,148,154,160,169,174,184,189,200,206,213,219,224,230,235,244,249,259,265,270,286,298,303,309,314,326,338,344,349,356,362,367,376,382,388,400,405,424
Cell9	1,6,12,17,22,27,32,37,42,47,52,57,62,68,73,78,84,90,96,101,106,111,116,122,129,134,139,145,150,156,162,167,172,177,182,187,193,198,204,209,215,226,232,237,242,247,252,257,263,272,277,282,291,296,301,307,312,317,322,331,336,342,347,352,358,369,374,380,386,391,396,402,407,412,417,422,427
Cell10	9,14,19,24,55,60,65,81,87,93,119,126,142,153,159,190,201,212,218,223,229,260,266,285,304,325,339,355
Cell11	3,21,26,31,36,41,46,51,63,69,74,79,85
Cell12	1,6,11,16,23,28,33,38,43,48,54,59,66,71,76
Cell13	3,8,13,19,24,29,34,39,44,49,54,59,64,69,74,79,84,89,94,99,104,109,114,119,124,129,134,139,144,149,154
Cell14	26,46,67,81,87,101,107,112,126,142,151,159,183,190,201
Cell15	5,18,23,28,41,48,56,61,72,77,97,105,110,115,123,130,138,146,166,171,176,181,186,194,208,233,241,246,251,256,276,281,292,300,311,316
Cell16	3,10,15,20,25,34,39,54,64,70,75,80,86,92,103,113,118,127,132,141,152,158,164,179,191,196,202,211,217,222,228,239,254,261,267,274,279,284,289,294,305,319,324,329,334,340,354,360,365,371,378,384,393,398,409,414,419
Cell17	29,44,49,98,109,124,137,147,170,175,185,207,220,234,245,250,269,287,299,310,315,327,345,350,363,389,404,425
Cell18	77,91,102,112,117,128,133,140
Cell19	43,121,144,149,155,161,168,173,188,199
Cell20	13,31,36,46,51,58,67,83,89,95,100,107,135
Cell21	2,7,16,23,33,38,53,61

5. 결론

본 논문에서는 FDMA 무선통신 네트워크에서 균일하지 않은

채널수요에 대하여 보유하고 있는 가용 채널들을 사용하여 채널수요를 만족시키고자 할 때, 발생하는 blocking call을 최소화하는 최적 채널할당 방법 HGLS를 제안하였다.

HGLS 방법의 특징은 첫째, 효율적인 채널할당 순서 표현방법을 사용하여, 불필요한 계산과 탐색공간을 상당히 줄였다. 둘째, 초기에는 지역 최적치에 빠지지 않도록 다양성을 추구하였고, 평가함수값이 수렴될수록 채널할당 문제의 특성에 맞게 교배와 돌연변이율을 줄여 수렴성을 강조하였다. 셋째, 유전자 알고리즘을 적용한 다양한 탐색과 CAP3를 적용한 튜닝 작업을 통한 효율적인 채널할당 방법을 개발하였다.

기존 연구와 논문에서 가장 많이 사용한 21개 셀 Philadelphia 문제에 적용하여 본 논문에서 제안하는 HGLS 방법의 효율성과 우월성을 비교분석하였다. 특히, 복잡도가 높은 채널할당 문제에서 HGLS 방법이 기존의 채널할당 방법보다 효율적임을 검증하였다.

감사의 글

본 논문은 강원대학교 정보통신연구소의 논문 게재장려금을 지원받았습니다.

참고문헌

- Battiti, Roberto, Bertossi, Alan, Cavallaro, Daniela (2001), A Randomized Saturation Degree Heuristic for Channel Assignment in Cellular Radio Networks, IEEE Transaction on Vehicular Technology, 50(2), 364-374.
- Beckmann, D. and Killat, 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.
- Capone, Antonio, Trubian, Marco (2001), Channel Assignment Problem in

- Cellular Systems: A New Model and a Tabu Search Algorithm, IEE Transactions on Vehicular Technology, 48(4), 1252-1260.
- Derek, H. S., Richard, K.T, Stephen, H (2001), Frequency Assignment with Complex Co-Site Constraints, IEE Transactions on Vehicular Technology, 43(2), 210-218.
- Ghosh, S. C. and Sinha, B. P. (2003), Channel Assignment using Genetic Algorithm based on Geometric Symmetry, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 52(4), 860-875.
- Kim, J. S., Park, S. H., Dowd, P. W. and Nasrabadi, N. M. (1997), Cellular Radio Channel Assignment Using a Modified Hopfield Network, IEEE Transaction on Vehicular Technology, 46(4), 957-967.
- Kim, Min-Jeong, Ryu, Kwan-Hong (1996), A Comparison of Two Search Algorithms for Solving the Channel Assignment Problem, 5th IEEE International Conference on Universal Personal Communications, 2, 681-685.
- 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.
- Maniezzo, Vittorio, Carbonaro, Antonella (2000), An ANTS heuristic for the frequency assignment problem, Future Generation computer Systems, 16, 927-935.
- Sandalidis, H.G., Stavroulakis, P. P., 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.
- Sivarajan, K. N., McEliece, R. J., Ketchum, J. W. (1989), Channel assignment in Cellular Radio, IEEE Transactions Vehicular Technology Conference, 39(2), 846-850.
- Smith, D. H, Hurley, S, Thiel, S.U (1998), Improving heuristics for the frequency assignment problem, European Journal of Operational Research, 107, 76-86.
- Smith, K. A. (1998), A Genetic Algorithm for The Channel Assignment Problem, Proceedings of the Globecom '98-Volume 4, 2013-2018.
- Wang, Wei and Rushforth (1996), An Adaptive Local-Search Algorithm for the Channel-Assignment Problem (CAP), IEEE Transactions on Vehicular Technology. 45(3), 459-466.



김성수

한양대학교 산업공학과 학사
일리노이대, 위스콘신대 산업공학과 석사
아리조나주립대 산업공학 박사
현재: 강원대학교 산업공학과 부교수
관심분야: 정보기술 최적화 설계, 네트워크 시스템, 물류정보시스템



민승기

강원대학교 산업공학과 학사
강원대학교 산업공학과 석사
현재: 풀무원 주식회사 재직
관심분야: 정보기술 최적화 설계, 네트워크 시스템, ERP, SCM, MES