

강화된 유전알고리즘을 이용한 제한된 대역폭을 가진 고정채널 할당 문제의 최적화

박은종, 김정환, 문병로
서울대학교 컴퓨터공학부

Genetic Search for Fixed Channel Assignment Problem with Limited Bandwidth

Eung-Jong Park, Jung-Hwan Kim, and Byung-Ro Moon
School of Computer Sci. & Eng., Seoul National University

Abstract - 이 논문은 제한된 대역폭을 가진 고정 채널 할당 문제를 유전알고리즘을 이용하여 최적화하는 방법을 제시한다. 또한 이 논문에서는 유전알고리즘의 미세조정 능력 향상을 위해 지역 최적화 방법을 고안하였다. 고정채널 할당 문제를 행렬로 표현하여 지역 최적화 알고리즘에서는 채널을 수평 또는 수직으로 움직임으로써 유전 알고리즘의 성능 향상을 꾀한다. 제안된 방법은 기존의 방법보다 뛰어난 성능 향상을 나타냄을 실험결과에서 보일 것이다.

1. 서 론

최근에 이르러 많은 무선 통신의 수요가 증가하면서 이동 통신의 요구가 급속하게 증가하고 있다. 이동 통신 환경에서 어떻게 채널(주파수)을 효율적으로 할당할 것 인가하는 문제를 채널 할당 문제라 한다. 채널 할당 문제는 물리적인 지역을 나타내는 셀(cell)에서 채널에 대한 요청이 발생할 때, 이러한 요청에 대해 채널의 재사용성을 높이면서 어떻게 최적으로 할당 할 것인가 하는 NP-Complete [8] 문제이다. 정적 채널 할당문제는 주파수 할당 문제라고도 하며, 문제공간과 제약조건이 주어진 상태에서 채널을 각 셀에 채널을 고정적으로 할당하는 문제이다.

셀에 채널을 할당할 때, EMC (Electro-Magnetic Compatibility) 제약사항이 반드시 만족되어야 한다 [14]. 세 가지 종류의 제약사항은 다음과 같다. i) Cochannel Constraint (CCC): 같은 채널이 서로 다른 셀에 동시에 할당 될 수 없다. ii) Adjacent Channel Constraint (ACC): 인접한 셀간에 인접한 채널이 동시에 할당 될 수 없다. iii) Cosite Constraint (CSC): 같은 셀안에 채널이 할당 될 때, 할당되는 채널 사이에 최소한의 간격차가 있어야 한다. 이와 같은 조건이 만족되지 않을 경우, 할당된 채널 간에는 간섭 현상이 발생하게 된다. 위 제약 사항들에 기반을 해서 채널 할당 문제를 다음과 같이 정의 할 수 있다 [4]:

$$\text{Minimize } Z$$

subject to

$$\sum_{p=1}^Z f_{ip} = d_i \quad \text{for } 1 \leq i \leq N,$$

$$|p - q| \geq C_{ij} \quad \text{for } 1 \leq p, q \leq Z \text{ and } 1 \leq i, j \leq N$$

such that $f_{ip} = f_{jq} = 1$, and

$$f_{ip} = \begin{cases} 0 & \text{if channel } p \text{ is } \left\{ \begin{array}{l} \text{not assigned} \\ \text{assigned} \end{array} \right\} \text{ to cell } i \\ 1 & \end{cases}$$

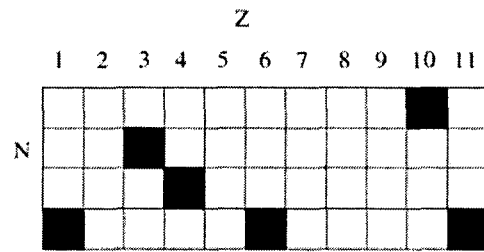


그림 1: 네 개의 셀과 11개의 채널을 이용하는 네트워크에서 간섭 현상이 발생하지 않는 할당

where

Z : 사용 가능한 채널의 개수

N : 셀의 개수

D : 요구 벡터 $D = (d_1, d_2, \dots, d_N)$, d_i 는 셀 i 에서의 채널의 요구

C : 양립성 행렬, 각 원소는 셀 i 와 셀 j 에 할당된 두 채널 사이에 필요로 하는 최소한의 거리를 나타낸다.

각 셀에 할당된 채널의 상태는 $N \times Z$ 이진 행렬 F 로 나타낼 수 있다 (그림 4 참조). 행렬 F 의 각 원소는 0 또는 1의 값을 가진다. 채널 j 가 셀 i 에 할당될 경우, f_{ij} 는 값 1을 그렇지 않은 경우는 0을 갖는다.

우선 기존 연구 [14]에서 제안된 단순 채널 할당 문제를 고려해 보자: 네 개의 셀이 존재하고, 양립성 행렬과 요구 벡터는 다음과 같이 주어졌다.

$$C = \begin{pmatrix} 5 & 4 & 0 & 0 \\ 4 & 5 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 5 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 5 \end{pmatrix} \quad D = (1, 1, 1, 3)$$

대각 원소 C_{ij} 가 값 5를 갖는 것은 임의의 두개 채널이 같은 셀에 할당될 때, 주파수가 최소한 5 이상 차이 나지 않는 경우 간섭 현상이 발생한다는 것을 의미한다. 위의 양립성 행렬과 요구 벡터를 이용한 최적 할당은 그림 1에서 보이고 있다.

그러나 오직 10개의 채널만이 사용 가능하다면, 모든 채널 사용 요구는 만족하지 못하게 된다. 그러므로 제한된수의 채널 환경 하에서 간섭으로 인해 발생하는 문제를 최소화 할 필요가 있다. 그림 2는 10개의 채널과 4개의 셀에서 상대적으로 간섭이 적게

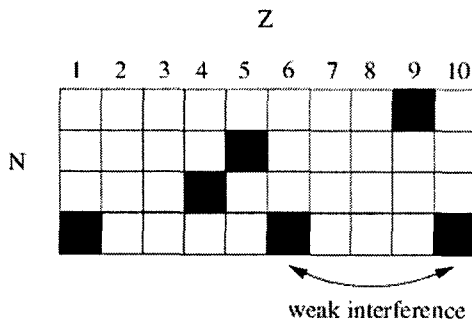


그림 2: 네 개의 셀과 10개의 채널을 사용하는 네트워크에서 상대적으로 간섭이 적게 발생하는 할당

발생하는 할당 예를 보이고 있다.

일반적으로, 고정 채널 할당 문제 (FCAP: Fixed Channel Assignment Problem)는 일반화된 그래프 채색 문제와 동등하다 [13][14][15]. 노드와 간선을 가지는 그래프를 구성할 때, 각각의 노드는 셀들의 주파수 요청 수에 대응하고 두 노드 사이의 각 간선의 가중치는 두 셀의 할당에 요구되는 최소한의 거리를 나타낸다 [15]. 양립성 행렬의 모든 원소 C_{ij} 가 0 또는 1의 값을 가진다면 Cochannel 제약만 존재하게 되고, 고정채널 할당 문제는 전통적인 그래프 채색 문제로 변경될 수 있다. 그래프 채색 문제는 NP-complete [8] 문제이므로 고정 채널 할당 문제도 또한 NP-complete 문제이다 [14]. 고정 채널 할당 문제 해결을 위해 많은 연구들이 진행되어 왔다. 이 방법들에는 이론적인 그래프 순서 매김 방법 [14], 인공 신경망을 이용한 방법 [6][15], 시뮬레이티드 어닐링을 이용한 방법 [5], 유전 알고리즘 [4][13]을 이용한 방법들이 있다.

각 셀에서의 주파수 요청 수와 EMC 제약을 나타내는 행렬 C 가 주어질 때, 최적의 채널 할당을 찾아가는 연구 주제는 크게 두개로 나뉜다. 하나는 모든 제약 조건을 만족시켰을 때 얼마나 적은 수의 채널을 사용했는가에 초점을 두는 관점이고 [14][16], 또 하나는 사용가능한 채널의 수를 이미 지정해 놓은 상태에서 한정된 채널에서 어떻게 할당하는 것이 가장 최적인가를 연구하는 것이다 [4][6][13]. 최근엔 무선 통신의 수용가 늘어나고 사용가능한 채널의 수가 한정되어 있으므로 두 번째 주제에 대한 연구가 더 활발히 진행되고 있다. 채널 할당에서 충돌이 없다면 그 비용은 0이 되어야 한다.

유전 알고리즘을 이용하여 고정 채널 할당 문제를 해결하려고 하는 수많은 연구가 진행되어 왔다. Ngo 와 Li [13]는 그래프 이론을 이용하여 사용 가능한 채널 수의 하한을 결정하였고 적합도 값으로 간섭 비용을 사용하였다. 또한 Dirk 와 Ulrich [4]는 Gamst [7]의 하한 규칙 (lower-bound rule)에 따라 사용 가능한 총 채널 수의 하한을 가정하였다. 이 연구들은 채널간의 충돌이 없는 최소한의 채널 사용 방법을 연구하였다.

그러나 실제적으로 사용 가능한 채널의 수는 제한이 되어있고 종종 채널에 대한 요청이 처리 용량의 한계를 넘기도 한다. 이런 상황에서 총 채널의 수를 최소화하는 것은 의미가 없다 [9]. 주어진 수의 채널에

서 최적의 채널 할당을 구하려고 하는 것이 좀더 유용하다 [15]. Jin [10]등은 자신들의 연구에서 제한된 대역폭을 가지는 채널을 위한 새로운 계산식을 제안하였다. 제한된 대역폭을 가지는 채널 환경하에서는 모든 EMC 제약사항이 항상 만족될 수 있는 것은 아니므로 봉쇄된 주파수 사용 요청 (blocked calls)과 주파수 간섭을 허용을 기존 연구들도 있다 [9][10][15]. 이들 연구에서는 할당되지 못한 주파수 사용 요청을 봉쇄율 (blocking rate)로, EMC 제약사항에 대한 위배정도를 간섭 비용으로 사용하였다. 최적의 채널 할당 문제는 셀에서의 주파수 사용 요청을 최대한 만족시키고 셀들 사이의 간섭을 최소화 시키는 것이다. 이 논문에서는 위와 같은 모델을 사용하여 고정채널 할당 문제를 해결하려한다.

채널 할당 문제는 다음과 같이 두 가지로 분류할 수 있다: 하나는 고정 채널 할당 문제이고 다른 하나는 동적 채널 할당 문제 (DCA: Dynamic Channel Assignment)이다. 고정 채널 할당 문제에서는 주파수 요청에 대해 한번의 주파수 할당이 이루어진다. 동적 채널 할당 문제에서는 동적인 주파수 사용 요청에 대해 반복적으로 할당이 이루어진다. 고정 채널 할당은 주파수 사용 요청이 과도한 환경 하에서는 더 중요한 의미를 갖게 된다 [13]. 동적 채널 할당이 사용되는 환경일지라도 초기의 채널 할당은 일반적으로 고정채널 할당에 의해 이루어지고 동적 채널 할당은 할당된 채널을 변경하거나 유지하는데 이용 된다 [15]. 그러므로 고정채널 할당에서는 실행 시간이 중요 고려 사항이 되지 않는 것이다.

이 논문에서는 제한된 대역폭을 가진 고정 채널 할당 문제를 풀기위한 혼합형 유전 알고리즘 기법을 제안한다. 기본적으로 우리 연구에서 사용하는 계산식은 기존 연구 [10]에서 제시된 계산식에 기반을 둔다. 이번 연구에서는 이차원 표현법을 사용하는 유전 알고리즘을 사용하였고 유전 알고리즘의 탐색 능력 향상을 위한 지역 최적화 알고리즘을 사용하였다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 이 논문에서 사용된 계산식을 설명한다. 고정 채널 할당 문제를 풀기위한 유전 알고리즘과 지역 최적화 알고리즘은 3절에서 설명한다. 제안된 방법으로 할당 문제를 실험한 결과는 4절에서 설명된다. 마지막으로 5절에서는 이 연구를 요약한다.

2. 고정 채널 할당 문제

주파수 사용 요청이 채널에 할당이 될 수 없는 경우를 봉쇄 (blocked) 되었다고 한다. 봉쇄된 주파수 요청에 의해 발생한 손해비용, 즉 봉쇄율 (blocking rate)은 다음과 같이 정의 된다.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=DF_i+1}^{n_i} P(X_i = j)(j - DF_i)$$

where
 F_i : 셀 i 에 할당된 채널의 수량
 X_i : 셀 i 에 요구된 채널의 랜덤 변수
 n_i : 셀 i 에서 발생하는 주파수 요청의 예상 수

D : 각 주파수에 의해 제공되는 채널의 수

고정채널 환경 하에서의 할당에서는 EMC 제약이 위반이 될 수 있고 제약의 위반은 간섭을 초래한다. EMC 제약은 양립성 행렬 C 에 의해 제공된다. 이 양립성 행렬에서 각각의 대각 원소 C_{ij} 는 Cosite Constraint를 나타내고 비 대각 원소 C_{ij} 는 셀 i 와 셀 j 에 할당된 두 주파수 사이에 요구되어지는 최소한의 거리 차를 나타낸다 [13]. 그리고 C_{ij} 가 1의 값을 가지는 경우는 Cochannel Constraint를 나타내고 행렬의 원소 값 C_{ij} 가 값 2를 갖는 경우는 Adjacent Channel Constraint를 나타낸다. 또한 간섭 비용은 다음과 식으로 주어진다:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^Z \sum_{q=1}^Z f(i, j, p, q)$$

where

N : 셀의 수

Z : 허용되는 주파수의 수

$$f(i, j, p, q) = \begin{cases} 0, & \text{if } |p-q| \geq C_{ij} \\ f_{ip} f_{jq} \psi_C (C_{ij} - |p-q|), & \text{if } |p-q| < C_{ij} \\ f_{ip} f_{jq} \psi_A (C_{ij} - |p-q|), & \text{otherwise.} \end{cases}$$

ψ_C 와 ψ_A 는 증가함수들이다.

허용되는 채널의 수가 제한이 되어 있기 때문에 모든 제약 사항들을 만족시키는 것은 어렵다. 그러므로 채널 할당으로 인해 발생하는 총 손해비용은 다음 식으로 정리가 된다.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^Z \sum_{q=1}^Z f(i, j, p, q) + \alpha \sum_{i=1}^N \sum_{j=DF_i+1}^{n_i} P(X_i=j)(j-DF_i)$$

여기서 α 는 가중치 요소이다. 이 식에서 첫 번째 항은 간섭 비용을 나타내고 두 번째 항은 봉쇄 비용을 표현한다.

3. FCAP를 위한 혼합형 유전 알고리즘

이 절에서는 고정채널 할당 문제를 풀기위해 제안된 혼합형 유전 알고리즘에 대해 기술한다. 그림 3 은 혼합형 안정상태 유전 알고리즘의 구조를 보여주고 있다.

3.1 이차원 염색체 표현

고정채널 할당 문제를 유전 알고리즘으로 풀기 위하여 염색체 표현법으로 이 연구에서는 $N \times Z$ 이진 행렬을 이용하였다. 여기서 N 은 셀의 수를 나타내고 Z 는 채널의 수를 표현한다. 염색체의 유전자 f_{ip} 가 값 1을 갖는다면 채널 p 가 셀 i 에 할당되었음을 나타낸다. 염색체 표현의 예는 그림 4에 나와있다.

```

create initial population of a fixed size;
do {
    choose parent1 and parent2 from population;
    offspring ← crossover(parent1, parent2);
    mutation(offspring);
    local-optimization(offspring);
    replace(population, offspring);
} until (stopping condition);
return the best individual;
    
```

그림 3: 전형적인 혼합형 안정상태 유전 알고리즘의 구조

		Z												
		0	1	0	0	0				1	0	0	0	1
		1	0	0	0	0		·	·	0	1	0	0	0
		0	0	0	0	1				0	0	0	0	0
N				·								·		
				·								·		
				·								·		
				·								·		
		0	0	0	0	1					0	0	0	0
		0	1	0	0	0		·	·	1	0	0	0	0
		0	0	1	0	0				0	0	0	1	0

그림 4: 이차원 염색체 표현의 예

3.2 이차원 교배 연산자

이차원 염색체 표현법과 교차 연산자 쌍은 일차원 염색체 표현법과 교차 연산자의 쌍보다 염색체 상의 유전자들 사이에 존재하는 지리적 연결 관계를 좀더 명확하게 표현한다 [12]. Cohoon과 Paris [3]은 이차원 교차 연산자를 제안하였다. 이 유전자는 부모 중 하나로부터 특정 사각형 안에 들어가는 연산자들을 자식 해에게 부여하고 자식 해의 나머지 부분은 다른 부모로부터 가져온다. Anderson [1]의 연구에서는 $n \times n$ 격자에서 이루어지는 블록-균등 교차 연산자 (block-uniform crossover)를 제안하였다. 이 교차 연산에서는 주어진 격자를 $i \times j$ 개의 랜덤한 격자로 나눈다. 그리고 랜덤하게 한 부모 해의 각 블록은 다른 부모 해의 서로 상관된 블록과 교환하게 된다. 교환할 확률은 교차 연산전에 미리 정해져 있다.

이차원 표현법이 유전자들 사이의 더 많은 지리적 연결 관계를 보전한다고 할지라도 전통적인 직선 기반의 교차 연산이 이루어진다면 교차 연산으로 인해 발생하는 새로운 스키마 생성 능력이 일차원 표현법에서 이루어지는 교차 연산에 비해 현저히 감소 될 것이다 [11].

Geographic 교차 연산은 이런 문제들을 해결하기 위해 제시되었다 [11][12]. Geographic 교차 연산은 다음과 같은 과정으로 이루어진다. 이차원 염색체 표현법의 경우에 염색체를 두개의 동치 영역 (equivalence classes)으로 나누는 단순 증가 방향을 가지는 여러개의 자름선 (cutting lines)을 선택한다. 자름선이 선택된 후에 두 부모해로부터 유전자를 번갈아가며 자식해로 복사한다. 그림 5는 고정채널 할당 문제를 풀기위해 사용된 이차원 표현법상

```

HV-Move
{
    count ← 0;
    mark 1 on all the positions of value 1;
    repeat
    {
        count ← count + 1;
        for each row
        {
            for each gene with mark count in the row
            {
                if there exists gain by moving the value 1 to another position in the same row
                then move the value 1;
                if there exists gain by moving the value 1 to another position in the same column
                then move the value 1;
                if there was any move in the above two trials
                then mark the finally moved position with count;
            }
        }
    } until (there is nothing marked with count);
}
    
```

그림 6: 지역 최적화 알고리즘 개형

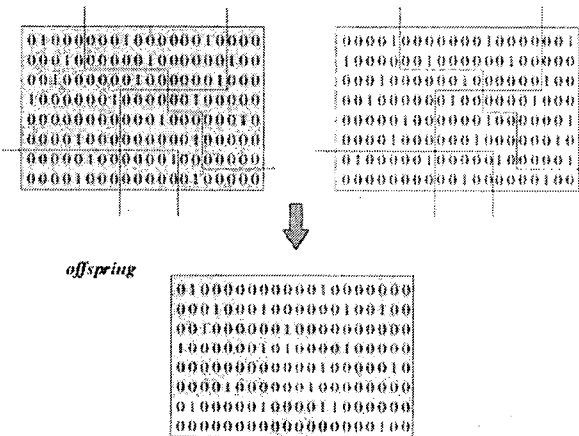


그림 5: 이차원 교차연산의 예

에 이루어진 Geographic 교차 연산의 예를 보이고 있다. 이차원 표현법과 이차원 Geographic 교차 연산을 병행하여 사용함으로써, 문제를 염색체로 표현할 때 발생하는 정보 손실을 줄이려고 노력하고 교차 연산으로 인해 발생하는 새로운 스키마 생성 능력을 배가시키려고 한다.

3.3 변이 연산자

각 셀 i 에서 두개의 랜덤 수를 생성한다. 두 수중에 하나는 채널 번호 p 를 위한 것이고 다른 하나는 이진 랜덤 수이다. 이들 수에 기반을 해서 f_{ip} 에 0 또는 1의 값을 부여한다. 이렇게 함으로서 어떤 경우라도 요구 벡터의 d_i 를 넘지 i 번째 행에 존재하는 1의 총 개수를 조절한다.

3.4 HV-Move: 지역 최적화

이 연구에서는 지역 최적점 근처에서 수행되는 미세 조정을 위한 지역 최적화 알고리즘을 고안하였다. 우선, 봉쇄율을 고정하고 행-기반 탐색을 함으로써

간섭 비용을 줄인다. 다음으로 열-기반 탐색을 함으로써 간섭 비용과 봉쇄 비용을 동시에 줄인다. 지역 최적화 알고리즘은 염색체 상에 존재하는 값 1을 좀더 매력적인 염색체상의 위치를 가지는 곳으로 이동함으로써 지역 최적화를 수행한다.

수평 탐색 (행-기반 탐색)

수평 탐색에서는 1의 값을 가지는 유전자들을 재분배함으로써 연관된 셀들 간에 발생하는 간섭 비용을 줄인다. 이 탐색에서는 각 셀에 할당된 채널의 개수는 변하지 않는다.

수직 탐색 (열-기반 탐색)

수직 탐색은 수평 탐색이 종료된 후에 이루어지며 봉쇄율과 간섭 비용을 동시에 줄인다. 이 탐색에서는 염색체 상의 각 열에서 1의 값을 가지는 유전자들을 재분배함으로써 봉쇄율의 합과 간섭 비용이 줄어들게 된다. 수직 탐색은 각 셀들에 할당된 채널의 수를 변경한다.

그림 6은 지역 최적화 알고리즘의 개형을 보여주고 있다. 이 알고리즘에서는 1의 값을 가지는 각 유전자에 대해 같은 행의 다른 곳으로 이동하도록 시도한다. 유전자의 이동이 약간의 이득을 가져온다면, 1의 값을 가지는 유전자는 이동하게 된다. 또한 유전자의 이동이 이득을 가져온다면 현재 유전자의 위치에서 1의 값을 가지는 유전자를 같은 열을 가지는 다른 곳으로 이동시킨다. 1의 값을 가지는 유전자의 최종 이동 위치를 표시한다. 1의 값을 가지는 염색체 상의 모든 유전자에 대해서 위의 과정을 모두 반복한 후에, 적어도 하나의 이동이 이루어지는 동안은 전체 과정을 계속해서 반복한다.

4. 실험 결과

4.1 테스트 데이터

21개의 셀을 가지는 시스템이 채널 할당 문제를 위한 유용한 테스트 데이터이다 (그림 7 참조). 이

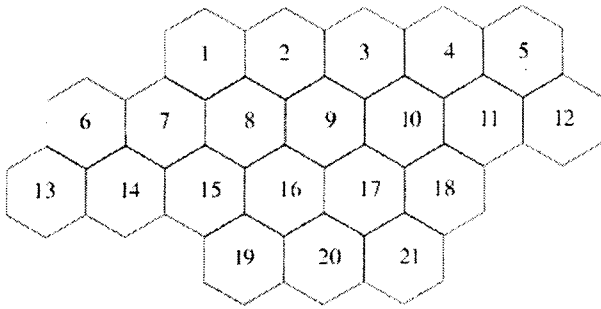


그림 7: 21개 셀을 가지는 시스템

실험에서 사용한 양립성 행렬 C_3, C_4, C_5 와 각 셀에 주어진 요구 벡터 D 는 기존 연구 [6], [9] 그리고 [10]에 기반을 두고 있다. 테스트 데이터는 8개의 문제로 구성되어있고 기존 연구 [9] 와 [10]에서 제시 되었다. 표 1은 테스트 데이터에 존재하는 각 문제의 세부 사항을 보여주고 있다. 이 연구의 실험에서는 앞에서 언급된 계산식에 나온 함수로 다음과 같은 함수를 이용하여 염색체를 평가하였다.

$$\psi_C(x) = 5^{x-1}$$

$$\psi_A(x) = 5^{2x-1}$$

봉쇄 비용의 가중치 α 는 기존 연구 [9]와 [10]과 같이 1000을 이용하였다.

4.1 실험 환경 변수

이 실험에서는 유전 알고리즘에 사용되는 모집단의 크기를 50으로 하였다. 두 부모를 선택할 때는 모집단에서 가장 나쁜 해를 가지는 해보다 가장 좋은 해를 가지는 해가 선택될 확률이 4배 정도로 확률을 부여하여 확률에 따라 두 부모 해를 선택하였다. 변이 연산의 확률은 0.01%이다. 이 실험에서 사용한 유전 알고리즘은 혼합형 안정 상태 유전 알고리즘이므로 매 세대마다 하나의 자식 해를 생성하고 모집단에 존재하는 하나의 염색체와 대체된다. 유전 알고리즘이 10,000 세대 동안 진행을 하면 종료하게 된다. 이 실험들은 펜티엄 III 750 MHz에서 수행되었다.

4.2 실험 결과

실험 결과에 대한 요약은 표 2에 나와 있다. 제안된 방법에서 발생한 비용은 기존 연구 [9]와 [10]에 비해 현저히 감소했음을 알 수 있다. 특히, 첫 번째 문제의 경우 Horng [9]의 기존 연구에서 제시된 최적의 할당 기법의 비용 203.266에 현저히 못 미치는 비용 0.385를 가진다는 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 유전 알고리즘의 각 세대마다 발생한 수평 이동과 수직 이동의 회수를 보여주고 있다. 그림에 나와 있는 수치 값은 매 200 세대마다 합을 구한 것이다. 이 결과로부터 수평 이동이 수직 이동보다 많이 발생함을 알 수 있다. 빈번히 발생하지 않을지라도, 수직 이동은 세대가 진행되는 동안에 꾸준히 발생함을 또한 알 수 있다.

Swapping Count

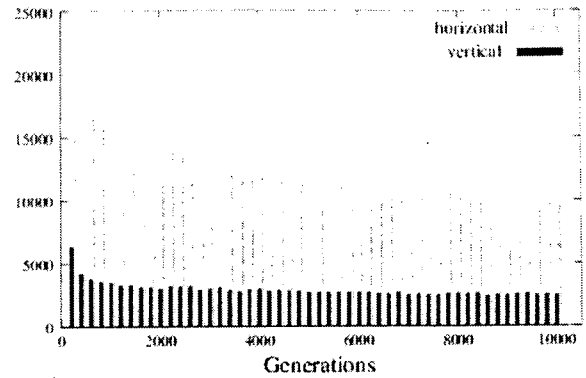


그림 8: 지역 최적화 알고리즘에서 발생하는 교환의 회수

5. 결 론

이 연구에서는 각 셀에서 요구된 주파수 사용 요청에 대해 제한된 채널을 할당하는 고정 채널 할당 문제를 풀기 위한 혼합형 유전 알고리즘을 제시하였다. 문제를 표현하기 위해 이차원 표현법을 사용하였고 이차원 Geographic 교차 연산을 사용하였다. 또한 유전 알고리즘의 미세 조정 능력 향상을 위하여 행-기반 탐색과 열-기반 탐색을 하는 지역 최적화 알고리즘을 고안하였다.

향후 이 연구와 관련하여 제시된 방법을 병행화하는 방법을 고려할 것이다. 제안된 유전 알고리즘 기법이 기존 연구에 비해 좋은 성능을 보였지만 더 나은 향상이 있을 거라고 믿는다. 특히, 지역 최적화 알고리즘에서의 성능 향상이 더 이루어질 것이 기대된다. 또한 이 논문에서 제시된 접근 방법을 다른 테스트 데이터 [15]에 적용해보고 더 큰 데이터들에 적용해보려고 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] C. A. Anderson, K. F. Jones, and J. Ryan, "A two-dimensional genetic algorithm for the Ising problem", *Complex Systems*, 40(5):327-333, 1991.
- [2] G. Chakraborty, "An Efficient Heuristic Algorithm for Channel Assignment Problem in Cellular Radio Network", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 50:1528-1539, 2001.
- [3] Cohoon, J. P. and Paris, W., "Genetic Placement", *IEEE International Conference on Computer-Aided Design*, 422-425, 1986.
- [4] B. Dirk and K. Ulrich, "A New Strategy for the application of Genetic Algorithms to the Channel-Assignment Problem", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 48(4):1261-1269, 1999.
- [5] M. Duque and D. Kunz and B. Rueber, "Channel Assignment for Cellular Radio Using Simulated Annealing", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 42(1):14-21, 1993.

표 1: 테스트 데이터의 상세 환경

Problem	No. of cells(N)	No. of available channels(Z)	Compatibility matrix(C)	Communication load table(μ, δ)
1	21	60	C_3	D_1^\dagger
2	21	60	C_4	D_1
3	21	60	C_5	D_1
4	21	60	C_4	D_2
5	21	60	C_5	D_2
6	21	40	C_5	D_1
7	21	40	C_5	D_2
8	21	64	C_5	D_3

† The demand vector was mistakenly written as D_3 in [10] and [9].
We corrected it to D_1 by personal communication with them.

표 2: 실험 결과 요약

Problem	Previous works			Our GA results	
	Best [10]	CPU ¹ [10]	Best [9]	Best(Average ³)	CPU ²
1	217.947	34976	203.266	0.385(0.510)	65504
2	276.623	42807	271.366	27.945(30.881)	88692
3	2013.751	39226	1957.366	63.089(79.346)	89918
4	950.995	31465	906.299	675.849(684.134)	95585
5	4495.609	45712	4302.298	1064.090(1092.484)	87905
6	4857.711	27412	4835.366	1149.755(1227.302)	35790
7	21700.624	54426	20854.300	5636.684(5831.756)	37323
8	58089.148	42248	53151.570	41883.012(41967.549)	135224

1. CPU seconds on Pentium II 400 MHz.
2. CPU seconds on Pentium III 750 MHz.
3. Average over 30 runs.

[6] N. Funabiki and Y. Takefuji, "A Neural Network Parallel Algorithm for Channel Assignment Problems in Cellular Radio Networks", IEEE Trans. on Vehicular Technology, 41(4):430-437, 1992.

[7] A. Gamst, "Some Lower Bounds for a Class of Frequency Assignment Problems", IEEE Trans. on Vehicular Technology, 35:9-14, 1986.

[8] Garey, M. and Johnson, D. S., "Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness", Freeman, San Francisco, 1979.

[9] J.Z. Horng and M.H. Jin and C.Y. Kao, "Solving Fixed channel Assignment Problems by Evolutionary Approach", Genetic and Evolutionary Computation Conference, 351-358, 2001.

[10] M.H. Jin and H.K. Wu and J.Z. Horng and C.H. Tsai, "An Evolutionary Approach to Fixed Channel Assignment Problems with Limited Bandwidth Constraint", IEEE International Conference on Communications, 398-412, 2001.

[11] Kahng, A. B. and Moon, B. R., "Toward More powerful recombinations", International Conference on genetic Algorithms, 96-103, 1995.

[12] Moon, B. R. and Lee, Y. S. and Kim, C. K., "GEORG: VLSI Circuit Partitioner with a New Genetic Algorithm Framework", Journal of Intelligent Manufacturing, 9(5):401-412, 1998.

[13] C.Y. Ngo and V.O.K. Li, "Fixed Channel Assignment in Cellular Radio Networks Using a Modified Genetic Algorithm", IEEE Trans. on Vehicular Technology, 47(1):163-171, 1998.

[14] K.N. Sivarjan and R.J. McEliece and J.W. Ketchun, "Channel Assignment in Cellular Radio", IEEE Vehicular Technology Conference, 846-850, 1989.

[15] K. Smith and M. Palaniswami, "Static and Dynamic Channel Assignment Using Neural Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 15(2):238-249, 1997.

[16] W. Wang and C.K. Rushforth, "A Adaptive Local-Search Algorithm for the Channel-Assignment Problem(CAP)", IEEE Trans. on Vehicular Technology, 45(3):459-466, 1996.