

이동 통신 네트워크에서의 듀얼 호밍 셀 스위치 할당을 위한 유전자 알고리즘

우 훈 식* · 황 신 태**

A Genetic Algorithm for Assignments of Dual Homing Cell-To-Switch under Mobile Communication Networks

Hoon-Shik Woo* · Suntae Hwang**

Abstract

There has been a tremendous need for dual homing cell switch assignment problems where calling volume and patterns are different at different times of the day. This problem of assigning cells to switches in the planning phase of mobile networks consists in finding an assignment plan which minimizes the communication costs taking into account some constraints such as capacity of switches. This optimization problem is known to be difficult to solve, such that heuristic methods are usually utilized to find good solutions in a reasonable amount of time. In this paper, we propose an evolutionary approach, based on the genetic algorithm paradigm, for solving this problem. Simulation results confirm the appropriateness and effectiveness of this approach which yields solutions of good quality.

Keywords : Cell-To-Switch Assignment, Mobile Networks, Genetic Algorithms

1. 서 론

이동통신 산업은 정보통신 기술의 발전과 더불어 급격한 양적 및 질적 팽창을 보여 왔으며 각 사업자 간의 경쟁 또한 갈수록 심화되고 있다. 이러한 경쟁 환경 하에서 이동통신 사업자가 타 사업자에 비해 보다 경쟁력을 갖추기 위해서는 일정 수준의 통화 품질을 제공하면서 통신 인프라에 소요되는 비용을 가능한 한 줄이는 것이 필수적이다.

이러한 비용 절감에 의한 경쟁력 강화는 이동통신 서비스 제공에 필요한 설비의 수와 관련 비용을 최소화하는 최적의 네트워크 설계 및 운영을 통해서 달성될 수 있으며, 최근 연구가 활발한 영역은 이동통신 네트워크의 기지국 셀을 교환기에 할당하는 셀 교환기 할당(Cell-To-Switch Assignment) 문제이다[Quintero et al., 2003].

이동통신 네트워크에서의 통신은 사용자의 무선 단말기가 전파를 통해 기지국과 통신을 시도하면서 시작되며, 각 기지국 즉 셀은 교환기를 통하여 다른 기지국 혹은 네트워크와 유선 통신망을 통하여 연결된다. 이러한 이동 통신 방식에서는 서비스 제공 대상을 기지국을 중심으로 셀로 구분하며 특정 셀에 스위치 즉 교환기를 설치하여 셀 간의 중계를 담당하는 방식을 사용한다. 이때 각각의 셀을 어느 교환기에 할당하는 것이 바람직한가 하는 문제가 발생하게 되며, 중요한 것은 사용자의 이동에 따른 핸드오버를 고려하여야 한다는 점이다[Merchant et al., 1995].

이와 같은 셀 교환기 할당 문제는 이동 통신 네트워크에서의 주어진 셀과 교환기 설정 하에서 각 셀을 교환기에 할당하는 방법에 따라 변경되는 셀과 교환기 간의 통신 라인 비용과 핸드오버 비용의 최소화를 추구하는 것으로 제한

된 시간 안에 최적해를 쉽게 구할 수 없는 NP-Hard 문제이다[Garey et al., 1979; Merchant et al., 1995; Pierre et al., 2002]. 따라서 최적해는 아니지만 제한된 시간 내에 근사해를 구하는 휴리스틱 접근 방법을 사용하는 것이 보다 현실적이다.

이러한 휴리스틱 접근 방법을 이용한 연구가 다수 존재하며 중요한 연구로 MS 휴리스틱[Merchant et al., 1995], SMB 휴리스틱[Saha et al., 2000], Tabu 서치[Pierre et al., 2002], 유전자 알고리즘[Hedible et al., 2003; Quintero et al., 2003] 등이 알려져 있다. Merchant and Sengupta[Merchant et al., 1995]는 최초로 셀 스위치 할당 문제를 제안하고 근사해를 구하기 위한 MS 휴리스틱을 제안하였다. MS 휴리스틱에서는 초기해를 결정하고 이를 기반으로 로컬해에 구속되지 않도록 로컬 탐색을 시도하여 보다 우수한 해를 발견하는 방법을 제안하였다. Saha[Saha et al., 2000] 등은 셀과 스위치를 매칭할 때 스위치를 중심으로 각 셀을 할당하는 방식을 사용하는 구성적 휴리스틱을 제안하였으며 MS 휴리스틱에서 사용된 로컬 탐색은 실시하지 않았다. Pierre and Houeto[Pierre et al., 2002]는 셀 스위치 할당 문제에 대해 메타 휴리스틱의 일종인 Tabu 서치 방법을 정의하고 이를 이용하여 다양한 수의 셀과 스위치에 대하여 MS 휴리스틱과 비교하는 실험을 실시하였다. 또한, Hedible 등[Hedible et al., 2003]은 유전자 알고리즘을 셀 스위치 할당 문제에 적용하고 실험을 실시하였으며, Quintero 등[Quintero et al., 2003]은 메타 휴리스틱으로 알려진 시뮬레이티드 어닐링, Tabu 서치 알고리즘, 유전자 알고리즘 등을 셀 스위치 할당 문제에 적용하고 비교하는 실험을 수행하였다.

하지만 이러한 기존 연구의 대부분은 셀이 하나의 교환기에만 할당되는 단일 호밍 문제에 제

한되어 있다. 즉, 시간대 별로 하나의 셀이 다른 종류의 스위치에 할당되는 듀얼 호밍 문제에 대한 고려가 부족하다. 비록 Merchant and Sengupta [Merchant et al., 1995]가 듀얼 호밍을 모델링하고 이를 해결하기 위한 휴리스틱을 제안하였지만, 듀얼 호밍 문제에 유전자 알고리즘과 같은 메타 휴리스틱을 적용한 사례는 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 두 개의 시간 구간에 따라 기지국과 교환기 간의 할당이 변경하는 듀얼 셀 스위치 할당 문제에 대한 유전자 알고리즘을 개발하였다. 개발된 유전자 알고리즘에서는 듀얼 셀 스위치 할당 문제에 적합한 유전자 표현 방법과 알고리즘 관련 연산자를 정의하였으며, 작성된 해의 유용성을 테스트하기 위하여 시뮬레이션을 이용하여 기존 연구에서 개발된 방법과 비교 실험하였다.

2. 문제 정의

이동통신 네트워크에서 하나의 기지국이 관할하는 영역 즉 셀 영역은 육면체로 표현된다 [Pierre et al., 2002]. 이러한 셀은 이동통신 시스템의 가장 기본이 되는 단위이며 각각의 기지국 셀은 특정 셀에 부가적으로 설치된 교환기에 유선 통신망으로 연결되어 있다. 이동 단말기는 전파를 통하여 무선으로 기지국과 교신을 하며 수시로 해당 기지국 교환기에 자신의 위치를 등록하게 되고 이를 통하여 전화 연결이 가능하게 되는 것이다.

하지만 이동 단말기가 통화 중에 이동을 하게 되면, 단말기의 이동에 따라 물리적으로 관할 기지국 셀을 변경하여 원활한 통화 품질을 유지하여야 한다. 이러한 과정을 핸드오프(Hand Off)라고 정의한다 [Merchant et al., 1995]. 핸드오프가 발생하면 단말기 입장에서는 단순히 관

할 기지국이 변경되는 것이지만 전체 이동통신 네트워크 입장에서는 기지국 변경에 의한 교환기 변경이 발생할 수도 있다. 즉, 단말기 이동에 의한 핸드 오프가 발생했을 때 변경된 기지국이 이전의 기지국과 같은 교환기를 사용하는 경우와 다른 교환기를 사용하는 경우가 발생한다.

이때 같은 교환기를 사용하는 경우를 단순 핸드오프로 정의하고 다른 교환기를 사용하는 경우를 복합 핸드오프로 정의한다 [Merchant et al., 1995; Pierre et al., 2002]. 단순 핸드오프의 경우는 교환기 수준에서 사용자의 위치 데이터 베이스를 수정할 필요가 없지만, 복합 핸드오프의 경우는 교환기가 변경되었으므로 전후 교환기 간 단말기 정보를 교환하여야 하고 관련 데이터 베이스를 관리하여야 하므로 보다 많은 비용이 발생한다.

이렇게 각 기지국 셀과 교환기를 이동통신 네트워크로 구축할 때 비용을 최소화하기 위해서는 기지국과 교환기 간의 통신 연결 비용과 핸드오프 비용을 함께 고려하여야 한다. 이러한 의사결정 문제는 셀 스위치 할당 문제로 정의되며, 호 크기 및 핸드오프가 시간 변경에 따라 변경되지 않으면 단일 호밍(Homing) 문제로 구분하고, 변경이 발생할 때 시간 변경을 두 개 구간으로 정의하면 듀얼 호밍(Dual Homing) 문제로 정의한다 [Merchant et al., 1995]. 본 연구에서는 듀얼 호밍 문제를 고려하며, 고려된 듀얼 호밍 문제에서는 하나의 기지국 셀이 하루를 기준으로 두 개의 교환기에 할당될 수 있다고 정의한다. 즉, 듀얼 호밍 문제에서는 셀에서의 호 크기와 핸드오버가 시간에 따라 다르다고 가정하며 특히 하루를 두 개의 시간대로 구분하여 첫번째 시간대와 두번째 시간대에서 서로 다른 특성을 갖는다고 가정한다.

Merchant and Sengupta [Merchant et al., 1995]의 듀얼 호밍 문제 정의에 따라 위치가 정해진

n 개의 기지국 셀과 m 개의 교환기가 있다고 가정하고, 다음과 같은 기호를 사용하자.

i : 셀 인덱스, $i=1,2,\dots,n$

j : 셀 인덱스, $j=1,2,\dots,n$

k : 교환기 인덱스, $k=1,2,\dots,m$

h_{ij} : 첫번째 시간대의 셀 i 와 j 간 발생하는 단위 시간 당 핸드오프 비용(원/단위 시간), 단, 셀 i 와 j 의 교환기는 서로 상이함.

h'_{ij} : 두번째 시간대의 핸드오프 비용

c_k : 셀 i 를 스위치 k 에 연결할 때 소요되는 단위시간당 케이블비용(원/단위시간)

λ_i : 첫번째 시간대의 셀 i 가 처리하는 단위시간 당 호의 크기(호 크기/단위 시간)

λ'_i : 두번째 시간대의 처리 호 크기

M_k : 스위치 k 의 호 처리 용량(호 크기/단위 시간)

x_k : 첫번째 시간대의 변수, 셀 i 가 스위치 k 에 할당되면 1, 아니면 0

z_{ik} : 첫번째 시간대의 변수, 셀 i 와 j 가 공통 스위치 k 에 할당되면 1, 아니면 0,

$$z_{ik} = x_k \cdot x_k$$

y_{ij} : 첫번째 시간대의 변수, 두 셀이 같은 스위치에 할당되면 1, 아니면 0

$$y_{ij} = \sum_{k=1}^m z_{ik}$$

x'_k : 두번째 시간대의 변수, 셀 i 가 스위치 k 에 할당되면 1, 아니면 0

z'_{ik} : 두번째 시간대의 변수, 셀 i 와 j 가 공통 스위치 k 에 할당되면 1, 아니면 0,

$$z'_{ik} = x'_k \cdot x'_k$$

y'_{ij} : 두번째 시간대의 변수, 두 셀이 같은 스위치에 할당되면 1, 아니면 0

$$y'_{ij} = \sum_{k=1}^m z'_{ik}$$

w_k : 한 셀이 두 가지 시간대에서 동일한 스위

치에 할당될 경우 라인비용을 산정하지 않기 위한 기호, $w_k = x_k \vee x'_k$, 단, 연산자 \vee 는 볼리언 연산 OR 의미.

이와 같이 정의된 기호를 사용하여 선형계획 문제로 변형된 듀얼 호밍 문제는 다음과 같다 [Merchant et al., 1995].

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m c_{ik} w_k + \sum_{i=1}^n \sum_{j>i} h_{ij} (1 - y_{ij}) \\ + \sum_{i=1}^n \sum_{j>i} h'_{ij} (1 - y'_{ij}) \end{aligned}$$

$$s.t) \sum_{k=1}^m x_k = 1, i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i x_{ik} \leq M_k, k = 1, \dots, m$$

$$z_{ijk} \leq x_k$$

$$z_{ijk} \leq x_j$$

$$z_{ijk} \geq x_k + x_j - 1$$

$$z_{ijk} \geq 0$$

$$y_{ij} = \sum_{k=1}^m z_{ijk}, i, j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{k=1}^m x'_k = 1, i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda'_i x'_{ik} \leq M_k, k = 1, \dots, m$$

$$z'_{ijk} \leq x'_k$$

$$z'_{ijk} \leq x'_j$$

$$z'_{ijk} \geq x'_k + x'_j - 1$$

$$z'_{ijk} \geq 0$$

$$y'_{ij} = \sum_{k=1}^m z'_{ijk}, i, j = 1, \dots, n.$$

$$w_k \geq x_k$$

$$w_k \geq x'_k$$

$$w_k \leq 1$$

$$w_k \leq x_k + x'_k$$

$$x_{ik} = 1 \text{ or } 0, \forall i, k$$

$$x_{ik}' = 1 \text{ or } 0, \forall i, k$$

Merchant and Sengupta[Merchant et al., 1995]는 단일 및 듀얼 호밍 문제에 대한 휴리스틱을 제안하였으며, 듀얼 호밍 휴리스틱은 듀얼 호밍 문제를 두 개의 단일 호밍 문제로 구분하고 반복적으로 단일 호밍 휴리스틱을 적용하는 방법을 제안하였다. Merchant and Sengupta의 단일 호밍 휴리스틱과 듀얼 호밍 휴리스틱은 다음과 같다.

[단일 호밍 휴리스틱]

1. 초기 가능해 설정

- 1.1 호 크기가 감소하는 방향으로 셀을 순서화
- 1.2 정렬된 셀을 순차적으로 m개 스위치에 하나씩 할당
- 1.3 부분해 $b(=10)$ 결정
- 1.4 $k=1,2,\dots,n$ 에 대해 알고리즘 반복
 - 1.4.1 각 할당된 $b*m$ 개의 부분해 중 스위치 용량 조건을 만족하는 최소 비용의 b 개 해 선택
- 1.5 b 개 대안 중 최소 비용 대안을 초기해로 설정

2. 로컬 탐색

- 2.1 비용 감소가 없을 때까지 다음 단계 계속
- 2.2 최대 이동을 발견
 - 셀 i 를 스위치 k 에 이동시켰을 때 목적 함수 감소폭이 가장 큰 이동 선택
- 2.3 셀 i 를 스위치 k 에 할당
 - 더 이상의 이동 불가 설정
- 2.4 단계 (2.2) 및 단계 (2.3) 반복하여 최대 비용 감소 이동 발견

[듀얼 호밍 휴리스틱]

1. 듀얼 호밍을 각각의 모수를 이용하여 두 개

의 단일 호밍 문제로 분리

2. 단일 호밍 휴리스틱으로 문제 해결

2.1 해 A로 보다 작은 목적함수를 갖는 문제를 Q, 다른 문제를 Q'으로 설정

3. 목적 함수 감소가 없을 때까지 다음을 반복

3.1 A에서 셀 i 를 스위치 k 에 할당했으면, Q'에서 $c_{ik}=0$ 으로 설정후 Q1으로 명명

3.2 Q1을 단일 호밍 휴리스틱으로 해결하고 해를 A'으로 설정

3.3 A'에서 셀 i 를 스위치 k 에 할당했으면, Q에서 $c_{ik}=0$ 으로 설정후 Q2으로 명명

3.4 Q2를 단일 호밍 휴리스틱으로 해결하고 해를 A로 설정

3. 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘(GA : Genetic Algorithm)은 생물 진화 과정에서의 자연 선별 원리와 유전 법칙에 바탕을 둔 확률적 탐색 방법으로 Holland [Holland, 1975]에 의해 최초로 제안되었으며, 여러 개의 개체가 동시에 병렬적으로 주어진 환경에 따라 적자 생존의 방법으로 진화하여, 궁극적으로 최적의 상태에 도달하는 생태계의 진화 이론에서 시작되었다[Salomon, 1998].

일반적으로 생태계의 진화는 여러 개의 개체로 구성된 군집 환경 하에서 진화가 진행되며 구세대가 얻은 환경에 대한 정보를 염색체에 저장하여 다음 세대로 전달한다. 이때 조상의 염색체가 그대로 복제되어 자손에게 전달되는 것이 아니라 조상의 염색체에 교차, 돌연변이, 전위 등의 연산을 가하여 얻은 새로운 염색체로 전달된다. 이때 구세대 중에서 한 개체가 선택되어 자손에게 유전 정보를 남길 확률은 일반적으로 해당 개체가 주위 환경, 그리고 나머지 개체와 어떻게 상호 작용하는가에 의존하는 평가 함수값(Fitness)에 따라 변한다. 일반적으로 평

가함수 값이 좋을수록 자손을 남길 확률이 높아지는 적자 생존의 법칙이 적용된다.

유전자 알고리즘은 이러한 생태계의 진화 이론을 응용한 것으로 문제를 정의할 때, 실제 변수값을 변수로 직접 이용하지 않고 대신에 선형 문자열로 인코딩하여 문자열을 변수로 이용함으로써 문자열 구조를 생명체의 염색체(chromosome) 배열 구조와 유사하게 정의하고, 생명체의 염색체가 복제, 교배, 돌연변이 등의 과정을 통하여 진화하는 것과 같이 문자열의 구조에 대해 유사한 과정을 적용함으로써 진화시키는 방법이다.

이러한 유전자 알고리즘은 다양한 종류의 최적화 문제에 적용되어 우수한 결과를 생성한다고 보고되고 있으며, 본 연구에서 사용한 알고리즘 절차는 다음과 같으며 이를 표현한 순서도는 <그림 1>과 같다:

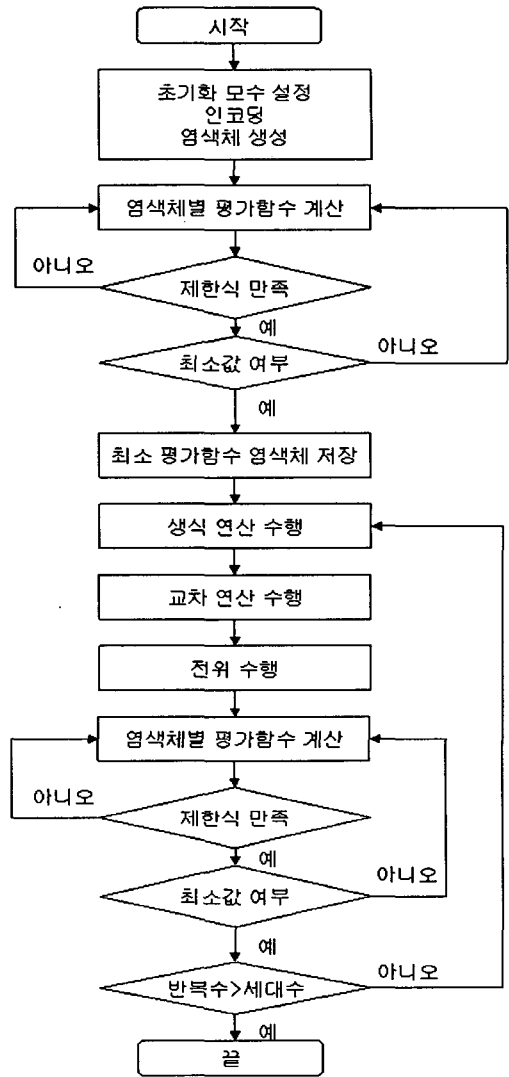
[유전자 알고리즘]

1. 알고리즘 초기화 과정

- 1.1 셀/스위치 정보, 개체수, 세대수, 교차, 전위 등을 설정한다.
- 1.2 평가 함수를 정의하고 염색체 표현 방법에 따라 인코딩한다.
- 1.3 염색체를 개체 수 만큼 생성한다.
- 1.4 각 염색체에 대한 평가함수값을 계산한다
- 1.5 제한식 만족 여부를 평가한다.
- 1.6 제한식 만족 염색체중 가장 우수한 평가 함수를 보유한 염색체를 저장한다.

2. 정한 세대수만큼 알고리즘 반복

- 2.1 생식 연산을 수행한다
- 2.2 교차연산을 수행한다
- 2.3 교차된 염색체에 전위를 수행한다
- 2.4 각 염색체에 대한 평가함수를 계산한다.
- 2.5 제한식 만족 여부를 평가한다.
- 2.6 제한식 만족 염색체중 가장 우수한 평가 함수를 보유한 염색체를 저장한다.



<그림 1> 알고리즘 순서도

개발된 유전자 알고리즘에서는 듀얼 셀 스위치 할당 문제 해결에 적합한 염색체의 표현 방법과 표현에 알맞은 생식, 교차, 전위연산자 등을 다음과 같이 정의하였다.

3.1 염색체 표현

유전자 알고리즘에서 염색체를 표현하는 방법은 다수 존재하지만, 본 연구에서는 순열 염

색채 표현 방식[Jones et al., 1991]을 사용하고자 한다. 사용된 순열 표현은 할당해야 할 모든 셀에 대하여 번호로 순서를 정한 후, 사전에 스위치로 할당된 셀을 제외한 나머지를 기록한 것으로 디멘전 ($n-m$)의 염색체 순열 (i_1, i_2, \dots, i_{n-m})으로 표현된다. 이렇게 셀을 표현한 후 각종 연산 작업을 수행한 후 MS 휴리스틱에서 사용된 방법과 같이 평가 함수 및 제한식 준수 여부를 적용할 수 있게 된다.

3.2 생식 규칙

생식은 자신과 같은 새 개체를 만들어 종족을 유지하고자 하는 것으로 다음 세대에 더 좋은 유전자가 복사되도록 하는 것이다. 이러한 생식 규칙으로 토너먼트 선택, 엘리트 전략, 룰렛 휠 선택이 존재한다. 이중 토너먼트 선택은 모집단으로부터 임의의 수의 개체를 무작위로 선택하여 가장 평가 함수가 높은 개체를 남기고 나머지는 도태 시키는 방법이며, 엘리트 전략은 집단 내에서 가장 강한 개체가 변경되지 않고 다음 세대로 전달되도록 고안한 것이다. 룰렛 휠 선택은 선택될 확률이 부모의 평가 함수 값에 직접적으로 비례하는 방식으로 광범위하게 자주 사용되는 규칙이며, 본 연구에서도 이 방식을 이용한다. 룰렛 휠 선택 규칙은 다음과 같다:

- 각 유전자 염색체의 평가함수를 계산한다.
- 계산된 평가함수를 전부 합산한다.
- 전체 평가함수 값과 비교하여 각 유전자 염색체의 평가함수 백분율을 계산한다.

3.3 교차 연산자

교차는 선택된 두 개의 유전자를 상호 교환하여 교차하도록 하는 것이다. 셀 스위치 할당 문제에 적용할 수 있는 교차 연산자는 외판원 문

제에서 적용된 PATH 표현 방법에서의 교차 연산자인 PMX(Partially Mapped), OX(Order), CX(Cycle)등이다. 이중 PMX는 Goldberg and Lingle [Goldberg et al., 1985]이 제안한 연산자로 한 부모로부터 연속된 부분 유전자를 유전 받고 다른 부모로부터 가능한 많은 유전자를 상속받는 방식이다. OX[Davis, 1985]는 한 부모로부터 연속된 부분 유전자를 상속받고 다른 부모로부터는 상대적인 순서를 유지하는 방법이다. CX [Oliver et al., 1987]는 부모의 절대적인 순서를 유지하도록 자손을 생성하는 방식이다. 본 연구에서는 PMX 방식을 사용하였다.

3.4 돌연변이 연산자

돌연변이는 부모의 계통에는 없었던 새로운 형질이 자녀 세대에서 나타나는 것으로 유전자 자체의 변화에 의하여 일어나거나 혹은 염색체 일부가 새로 추가되거나 결실로 인하여 발생하는 유전적인 변화이다. 유전자 알고리즘에서는 생태계의 돌연변이와 유사한 작용을 하는 돌연변이 연산자를 사용하므로써 현재해를 벗어나서 보다 폭 넓은 탐색을 가능하게 한다. 돌연변이 연산자로는 Inversion, Insertion, Swap 기법 등이 존재한다. 본 연구에서는 전위 연산자를 사용하였다.

4. 실험 및 분석

제안한 유전자 알고리즘의 성능 평가를 위하여 모의 실험을 실시하였으며 모의 실험을 위한 모수는 Merchant and Sengupta[Merchant et al., 1995] 및 Pierre and Houeto[Pierre et al., 2002]가 사용한 방법을 이용하여 생성하였다. 실험의 가정으로 셀의 크기는 같으며 셀과 스위치의 위치는 사전에 고정되어 있다고 설정하였다. 또한, 셀에서의 단위 시간당 호 발생율은 평

균 1의 감마 분포로 가정하였으며 각 셀에 대해 두 시간대로 구분하여 각각의 발생율(α_i, α'_i)을 구하였다. Jackson 네트워크에 의한 다음의 식을 이용하여 두 시간대 별로 안정 상태의 호 크기 발생율(λ_i, λ'_i)과 핸드오버율(h_{ij}, h'_{ij})을 결정하였다.

$$\lambda_i = \alpha_i + \sum_{j=1}^k p_{ji} \lambda_j, \lambda'_i = \alpha'_i + \sum_{j=1}^k p'_{ji} \lambda'_j$$

$$h_{ij} = \lambda_i p_{ij} + \lambda_j p_{ji}, h'_{ij} = \lambda'_i p'_{ij} + \lambda'_j p'_{ji}$$

단, p_{ij} 와 p'_{ij} 은 셀 i 에서 셀 j 로의 두가지 시간대에 따른 변이 확률로 인접한 k 개 셀에 대한 난수 값이다.

또한, 두 셀 간의 핸드오버 비용은 핸드오버율과 같다고 가정하였으며 두 셀 간의 통신 라인 비용은 두 셀 중심 간의 거리와 동일하다고 가정하였고, 인접한 두 셀 간의 거리는 1로 설정하였다. 스위치는 서로 인접하지 않도록 임의로 할당하였으며, 다음과 같은 동일한 용량을 가정하였다.

$$M_k = \frac{1}{m} (1 + \frac{K}{100}) \sum_{i=1}^n \lambda_i, \forall k$$

단, K 는 일항 분포(10,50)의 변수 값이다.

모의 실험은 예비 실험과 본 실험으로 구분하여 실행하였으며, <표 1>은 예비 실험에 의한 알고리즘 모수를 기술한 것이고 <표 2>는 본 실험의 결과값을 기술한 것이다.

실험은 Pierre and Houeto[Pierre et al., 2002]가 단일 호밍 문제에서 사용한 방식을 사용하여 실시하였다. 즉, 정해진 셀 수 15, 30, 50, 100, 150, 200을 스위치 수 2, 3, 4, 5, 6, 7에 할당하는 문제이다. 이러한 문제 집합에 대하여 MS 듀얼 호밍 휴리스틱과 제안 알고리즘을 수행하고 결과값을 비교하였다. 모의 실험은 각각의 경우에 대하여 100회 반복되었다.

<표 1> 유전자 알고리즘 모수

셀	스위치	모집단 크기	세대수	교차확률	전위확률
15	2	100	200	0.6	0.1
30	3	100	200	0.6	0.1
50	4	100	200	0.6	0.1
100	5	100	200	0.6	0.1
150	6	200	300	0.6	0.1
200	7	200	300	0.6	0.1

<표 2> 모의 실험 비교 결과

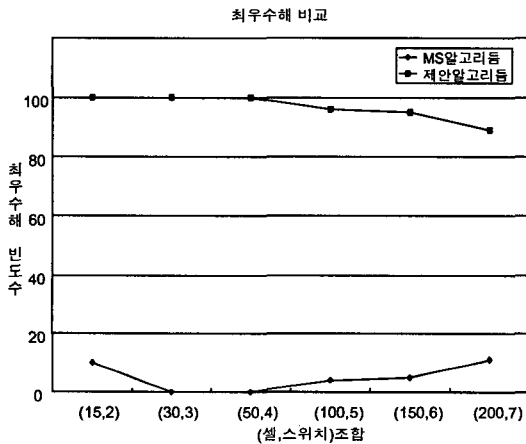
셀	스위치	MS 휴리스틱			제안 알고리즘			
		최우수해 빈도수	평균 편차	CPU 시간 (10-3초)	최우수해 빈도수	평균 편차	향상률 (%)	CPU 시간 (10-3초)
15	2	10	7.16	11.3	100	0	20.10	520.0
30	3	0	7.9	15.0	100	0	21.08	2040.2
50	4	0	7.73	16.7	100	0	20.50	6432.4
100	5	4	6.3	75.4	96	0.17	16.47	30198.2
150	6	5	3.64	262.4	95	0.25	9.28	238372.3
200	7	11	2.44	549.5	89	1.12	2.33	474127
평균		5	5.86	155.08	96.7	0.26	14.96	125881.7

실험 결과의 분석을 위하여 최우수해 빈도수와 상대 평균편차를 측정 도구로 사용하였다. 최우수해 빈도수는 두 알고리즘 결과값중 각 알고리즘이 작은 값을 기록한 횟수를 기록한 것이고, 상대 평균 편차는 알고리즘 결과값과 최우수 결과값 간의 상대 편차를 기록한 것으로 다음과 같다:

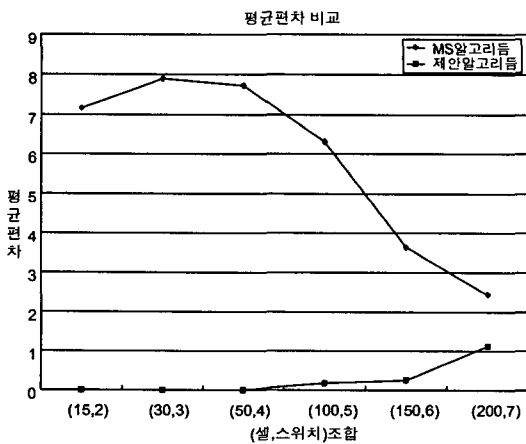
$$\frac{\sum_{i=1}^{100} \text{알고리즘결과}_i - \text{최우수결과}_i}{\text{최우수결과}_i} / 100$$

<표 2>는 모의 실험에 대한 결과로 대부분의 경우에서 제안한 유전자 알고리즘이 MS 듀얼 호밍 휴리스틱보다 우수한 해를 제공하였다. 평균 최우수해 빈도수의 경우 MS 듀얼 호밍 휴리스틱은 5회, 제안 알고리즘은 96.7회를 기록하였으며, 상대 평균편차의 경우는 MS 듀얼 호

밍 휴리스틱은 5.86, 제안 알고리즘은 0.26을 기록하였다. 또한, MS 듀얼 호밍 휴리스틱에 대한 제안 알고리즘의 평균 향상율은 14.96%이었다. 다만, 계산 시간의 경우 유전자 알고리즘의 특성상 매우 많은 시간이 소요되었다. <그림 2>과 <그림 3>은 평균 편차와 최우수해 빈도수에 대하여 각 알고리즘을 비교한 것으로 <표 2>의 내용을 그래프로 표기한 것이다.



<그림 2> 최우수해 빈도수 비교



<그림 3> 평균편차 비교

이러한 실험 결과는 제안 알고리즘이 MS 듀얼 호밍 휴리스틱보다 우수한 결과를 제공한다

는 것을 나타내는 것이며, 특히 셀의 수가 100 이하이고 스위치의 수가 5이하인 경우 향상율이 상대적으로 높았다. 다만, 셀의 크기가 200이상인 경우 향상율은 2.33%를 기록하여 상대적으로 낮은 향상율을 보였다.

5. 결 론

이동통신 산업에서 사업자간의 경쟁이 심화됨에 따라 타 사업자보다 높은 경쟁력을 보유하기 위해서는 일정 수준의 통화 품질을 제공하면서 네트워크 유지 및 운용에 소요되는 비용을 줄이는 것이 필요하다. 최근 연구가 활발한 분야는 시간 대에 따라 호의 양이 차이를 보이는 경우를 고려하는 듀얼 호밍 셀 스위치 할당 문제로 기지국과 교환기 간의 할당을 시간 구간에 따라 변경하는 것이다.

이와 같은 셀 교환기 할당 문제는 셀과 교환기 간의 통신 라인 비용과 핸드오버 비용을 최소화 하고자 하는 것으로 제한된 시간 안에 최적해를 쉽게 구할 수 없는 NP-Hard 문제이다. 따라서 제한된 시간 내에 근사해를 구하는 휴리스틱 접근 방법을 사용하는 것이 보다 현실적이다.

본 연구에서는 두 개의 시간 구간에 따라 기지국과 교환기 간의 할당이 변경하는 듀얼 셀 스위치 할당 문제에 대한 유전자 알고리즘을 개발하였다. 개발된 유전자 알고리즘에서는 듀얼 셀 스위치 할당 문제에 적합한 유전자 표현 방법과 알고리즘 관련 연산자를 정의하였으며, 작성된 해의 유용성을 테스트하기 위하여 시뮬레이션을 이용하여 기존 연구에서 개발된 휴리스틱 방법과 비교 실험하였다.

모의 실험은 기존의 연구에서 사용된 실험 방법을 적용하여 실시하였으며, 실험 결과에 의하면 개발된 알고리즘이 CPU 시간은 더 소요되었지만 기존 휴리스틱 알고리즘 보다 우수한 결

과를 제공하였다. 추후 연구로 최적화 문제에서 우수한 결과를 보인 메타 휴리스틱인 시뮬레이티드 애닐링, 타부 서치 등의 알고리즘을 듀얼 호밍 셀 스위치 문제에 적용하여 제안 알고리즘과 비교 실험하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Davis, L., "Applying Adaptive Algorithms to Epistatic Domains", *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1985, pp. 162-164.
- [2] Garey, M. and Johnson, D., "Computers and Intractability : A Guide to the Theory of NP-Completeness", New York, W. H. Freeman, 1979.
- [3] Goldberg, D. and Lingle, R., "Alleles, Loci, and the TSP", *Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 1985, pp. 154-159.
- [4] Hedible, C. and Pierre, S., "A Genetic Algorithm for Assigning Cells to Switches in Personal Communication Networks", *IEEE Canadian Review*, 2003, pp. 21-24.
- [5] Holland, J., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, The University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
- [6] Jones, D. and Bertramo, M., "Solving Partitioning Problems with Genetic Algorithms", *Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann Publishers, Los Altos, CA, 1991, pp. 442-449.
- [7] Merchant, A. and Sengupta, B., "Assignment of Cells to Switches in PCS Networks", *IEEE ACM Transactions on Networking*, Vol. 3, No. 5, 1995, pp. 521-526.
- [8] Oliver, I., Smith, D., and Holland, J., "A Study of Permutation Crossover Operators on the traveling Salesman Problem", *Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 1987, pp. 224-230.
- [9] Pierre, S. and Houeto, F., "A Tabu Search Approach for Assigning Cells to Switches in Cellular Mobile Networks", *Computer Communications*, Vol. 25, 2002, pp. 464-477.
- [10] Quintero, A. and Pierre, S., "Assigning Cells to Switches in Cellular Mobile Networks : A Comparative Study", *Computer Communications*, Vol. 26, 2003, pp. 950-960.
- [11] Saha, D., Mukherjee, A., and Bhattacharya, P., "A Simple Heuristics for Assignment of Cells to Switches in a PCS Network", *Wireless Personal Communications*, Vol. 12, 2000, pp. 209-224.
- [12] Salomon, R., "Evolutionary Algorithms and Gradient Search : Similarities and Differences", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 2, No. 2, 1998, pp. 45-55.

■ 저자소개



우 훈 식

한양대학교 산업공학과를 졸업하고 Iowa State University에서 산업공학 석박사(1993)를 취득하였다. ETRI (1999)를 거쳐 현재 대전대학교 정보시스템공학과 교수로 재직 중이며, 전자상거래와 통신네트워크 등의 분야에 관심이 있다.



황 선 태

서강대학교 수학과를 졸업하고 Case Western Reserve University에서 전산학 석박사(1993)를 취득하였다. KIST (1982)와 현대전자연구소(1995)를 거쳐 현재 대전대학교 정보통신공학과 교수로 재직 중이며, 통신, 정보보안과 스마트카드 기술/응용 등의 분야에 관심이 있다.