개미군 최적화 방법을 이용한 Location Area Planning

†김성수* · 김형준** · 김기동***

Location Area Planning Using Ant Colony Optimization

†Sung-Soo Kim* · Hyung-Jun Kim** · Ki-Dong Kim***

■ Abstract ■

The location area planning is to assign cells to the location areas of a wireless communication network in an optimum manner. The two important cost components are cost of location update and cost of paging that are of conflicting in nature; i.e., minimizing the registration cost might increase the search cost. Hence, it is important to find a compromise between the location update and paging operations such that the cost of mobile terminal location tracking cost is a minimum. The complete mobile network is divided into location areas. Each location area consists of a group of cells. In fact this is shown to be an NP-complete problem in an earlier study. In this paper, we use an ant colony optimization method to obtain the best/optimal group of cells for a given a network.

Keywords : Location Area Planning, Ant Colony Optimization

1. 연구의 배경과 목적

최근 급증하는 무선통신 서비스 증가는 잦은 위치등록과 핸드오프를 발생시키게 되어 위치관리시스템의 부하를 증가시키게 되었다. 특히, 다른 무선센터(mobile switching center, MSC)간의 잦은 핸드오프는 사용자의 QoS(quality of service)의 질을 떨어뜨리게 된다. 이런 이유로 위치관리의 부하

논문접수일 : 2007년 08월 16일 논문게재확정일 : 2008년 07월 02일
* 강원대학교 산업공학과 교수
** 인천대학교 동북아물류대학원
*** 강원대학교 산업공학과
† 교신저자

를 줄이려는 연구가 다양하게 진행되고 있고 또한, 고객 위치 정보의 효율적인 관리에 대한 필요성이 제기되고 있다. 이러한 연구들 중에 하나가 위치등록(location registration)과 페이징(paging) 부하를 줄일 수 있는 리포팅셀(reporting cell) 방법[1, 6, 11]과 location area planning(LAP)이 있다.

무선통신 서비스 지역은 location area(LA) 단위로 분할 관리하게 된다. 각각의 LA는 하나 이상의 셀로 구성된다. 또한, 한 개 또는 여러 LA가 모여 무선센터(mobile switching center, MSC)의 관리 조정을 받게 된다. 무선통신 네트워크에서 각 LA에 속한 셀 간의 이동에 대하여 업데이트 과정을 수행하지 않고, 서로 다른 LA에 속한 셀 간의 이동에 대하여만 업데이트 과정을 수행하여 특정 이동체가 현재 어느 LA에 있는지에 대한 정보를 관리한다. 그리고 만일 특정 사용자에게 통화연결이 요구될 경우 현재 등록된 LA에 속한 셀들만을 탐색(페이징, paging)하여 사용자의 위치를 추적한다. 따라서 LA 방법은 네트워크의 셀을 LA 단위로 그룹짓는 그룹핑(grouping) 문제이며, 업데이트와 페이징의 두 가지 신호처리 과정에서 발생하는 두 비용의 합을 최소화하기 위해 각각의 셀을 어떤 LA에 할당할 것인가를 의사 결정하는 연구가 필요하다.

LAP 기존 연구에서 비용 평가함수는 업데이트 비용(update cost)과 케이블링 비용(cabling cost)의 합을 사용한 경우[7-10]와 업데이트 비용과 페이징 비용(paing cost)을 총비용함수로 사용한 연구로 분류될 수 있는데[2-4, 11, 12], 본 논문에서는 업데이트 비용과 페이징 비용을 총비용함수로 사용하였다.

LAP 그룹핑 문제는 NP-complete로 알려져 있고 최적해 또는 가장 좋은 해를 탐색해 내기 위한 휴리스틱 알고리즘은 다양하게 적용되어 왔다. Merchant and Sengupta[8]는 가장 먼저 셀의 LA 할당 문제의 목적식과 제한식 수리적 모델을 제시하였다. 수리적 모델의 비선형 부분을 변형함으로써 선형계획법(linear programming)과 분지계획법(branch and bound)을 적용하였다. Bhattacharjee et al.[2]은 셀의 할당 문제를 2단계 최적화 방법을 적용하였다. 1단계에서는 각 LA당 최적 셀의 수를 결정하는 것이고, 2단계에서는 총비용을 최소화하기 위해 셀들의 교환기 할당을 결정하였다. Demirkol et al.[4]은 LAP 문제를 simulated annealing(SA) 방법으로 Menon and Gupta[7]는 일반적인 선형계획법에 SA 방법을 접목시킨 혼합 휴리스틱 방법으로 최적해 또는 가장 좋은 해를 탐색하고자 했다. Pierre and Houeto[9]는 타부서치를 Quintero and Pierre[10]은 유전자알고리즘을 적용하였다. Kim et al.[12]은 다양한 선호도 적용과 랭킹(Ranking) 전략과 Max-Min 전략을 적용한 개미군 최적화 방법을 사용하였다.

본 논문의 목적은 LAP 그룹핑 문제에서 업데이트 비용과 페이징 비용의 평가함수를 최소화할 수 있는 location area(LA) 방식의 위치정보관리시스템을 개미군 최적화 방법(ant colony optimization, ACO)을 적용하여 최적 설계하는 것이다. 특히, 개미군 방법 적용 시 통화요구량을 고려한 선호도 적용한 개미군 최적화 방법을 제안하고 방법의 성능을 36개의 셀로 이루어진 무선통신 네트워크 문제 실험을 통하여 평가 및 분석하였다.

2. 평가함수와 해의 표현

본 절에서는 LA 문제를 수리적 모델화하고 체계화하고자 한다. 본 논문의 목적은 총비용 함수를 최소화하기 위해서 n개의 셀을 m개의 location area에 할당하는 의사결정을 하는 것이다. Merchant and Sengupta[8] 등 기존 논문의 공식화 내용을 기본으로 식 (1)과 같이 총비용 평가함수로 하는 LAP 정수계획모형(Integer programming)으로 공식화할 수 있다.

목적식 :

Minimize

$$Total\ Cost = C \cdot \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(1-y_{ij}) \cdot h(i,j) + \sum_{j=1}^{n} w_{cj} \cdot u_j \quad (1)$$

제약식 :

$$\sum_{k=1}^{m} x_{ik} = 1,\ 1 \le i \le n \tag{2}$$

$$z_{ijk} = x_{ik} \cdot x_{jk},\ 1 \le i \le n,\ 1 \le j \le n,\ 1 \le k \le m \tag{3}$$

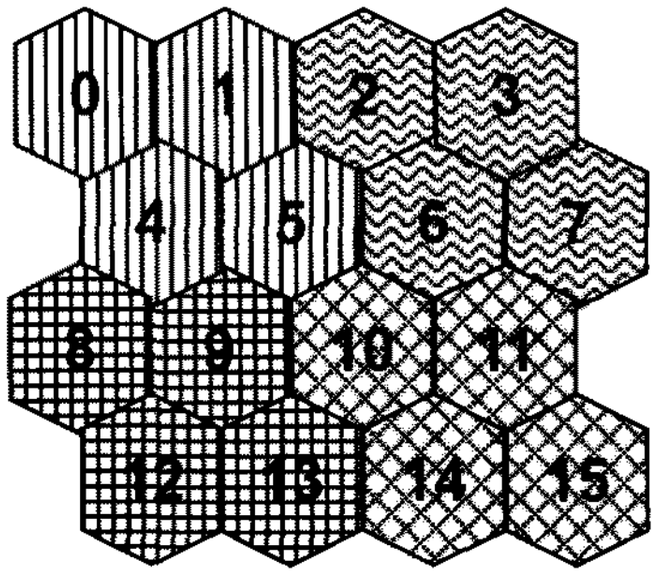
$$y_{ij} = \sum_{k=1}^{m} z_{ijk},\ 1 \le i \le n,\ 1 \le j \le n \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^{n} w_{cj} \cdot x_{jk} \le M_k,\ 1 \le k \le m \tag{5}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{jk} \le N_k,\ 1 \le k \le m \tag{6}$$

목적식 (1)은 트레이드오프(trade-off)관계인 핸드오프 비용(다른 LA에 할당되어 있는 두 셀간의 핸드오프 트래픽 비용)과 페이징 비용(특정 통화요구에 대한 이동체를 탐색하기 위한 탐색 비용)을 고려한 총비용 함수이다. $h(i, j)$는 셀 i에서 셀 j로 이동하는 트래픽양을 w_{cj}는 셀 j의 통화요구량을 나타낸다. u_j는 셀 j가 속하여 있는 location area의 셀의 수를 나타낸다. 제약식 (2)에서 x_{ik}는 셀 i가 LA k에 할당되었을 경우는 1, 그렇지 않을 경우는 0으로 하는 이진변수이다. 제약식 (2)는 모든 셀은 하나의 LA에만 할당될 수 있음을 나타낸다. 제약식 (3)에서 z_{ijk}는 셀 i와 셀 j가 같은 LA k에 할당되었을 경우 1의 값을 갖고 그 외의 경우에는 0 값을 갖는 이진변수이다. 식 (4)에서 y_{ij}는 셀 i와 셀 j가 같은 LA에 할당되면 1의 값을 갖고 그 외의 경우에는 0값을 갖는 이진변수이다. 식 (5)는 각 LA의 수용할 수 있는 통화요구용량에 관한 식이며 M_k는 LA k에서 수용할 수 있는 통화요구 최대 용량을 나타낸다. 식 (6)은 각 LA에 포함될 수 있는 최대 셀의 수에 관한 식이며 N_k는 LA k에 포함될 수 있는 최대 셀의 수를 나타낸다. C는 위치등록업데이트 상수이다.

다음 <Figure 1>에서 셀 0~15까지 16개의 셀이 존재하는 4×4 무선통신 네트워크 구성도와 해의 표현을 나타낸 것이다. 셀 0, 1, 4, 5를 location area 0(LA 0), 셀 2, 3, 6, 7을 LA 1, 셀 8, 9, 12, 13을 LA 2, 셀 10, 11, 14, 15를 LA 3에 할당된 경우이다. 해의 표현은 셀의 수만큼의 크기(16)의 1차원 행렬로 표시할 수 있다. 1차원 행렬에서 각 셀에 대하여 할당된 LA의 번호를 나타내어 표시하였다.



0	0	1	1	0	0	1	1	2	2	3	3	2	2	3	3

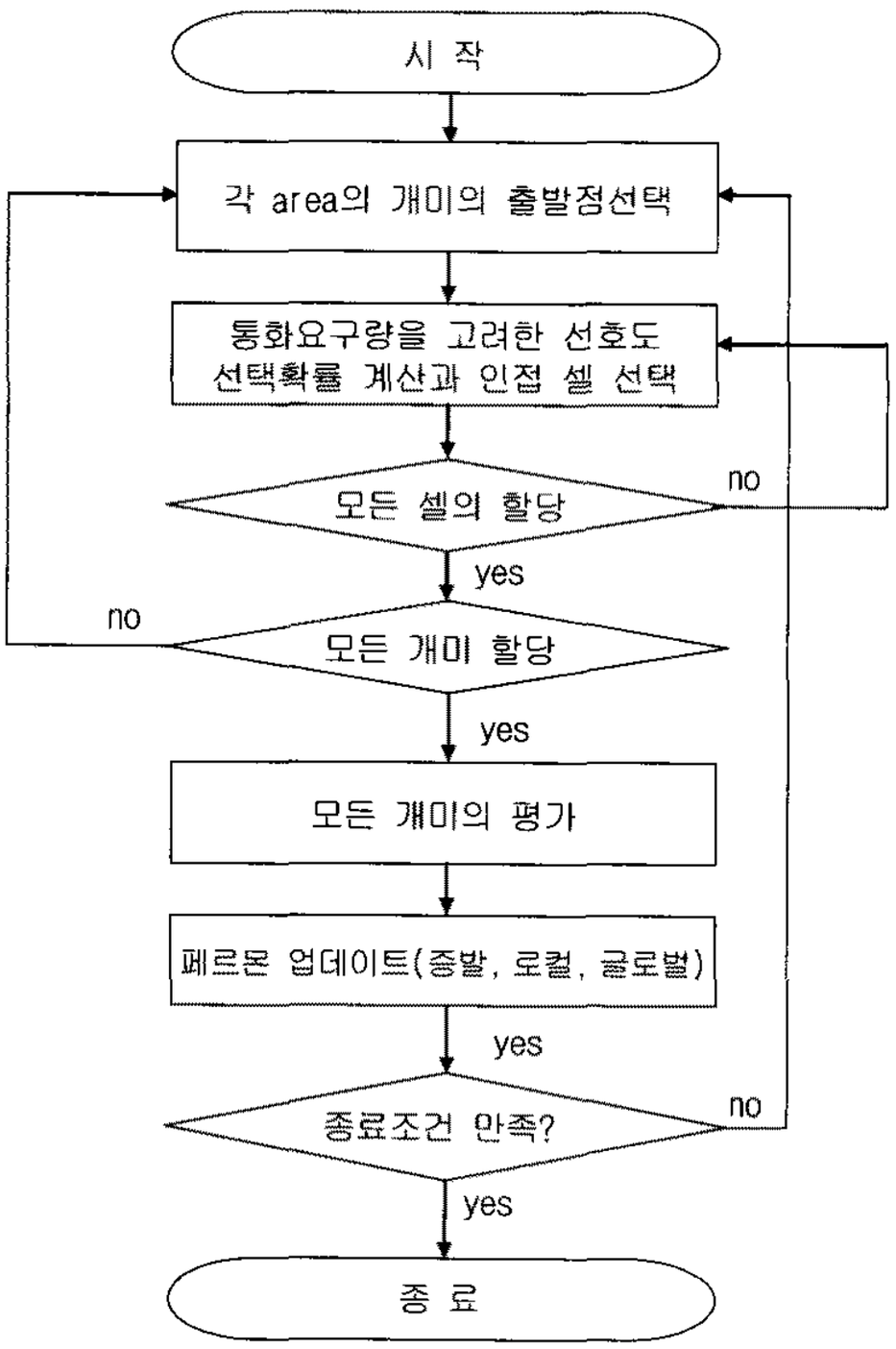
〈Figure 1〉 16개 셀 네트워크 t 시점에서의 LA 구성상태 예와 해의 표현

<Figure 1>과 같이 그룹핑 된 location area 구성상태에 대하여 비용 계산 과정은 다음과 같다. 우선, 업데이트 비용은 서로 다른 LA들 간의 경계면에서 발생하므로 모든 경계면들의 핸드오프 트래픽양을 계산하면 된다. 하나의 예로 LA 0와 LA 1 사이에는 셀 1과 셀 2간의 핸드오프 트래픽, 셀 2와 셀 5간의 핸드오프 트래픽, 셀 5와 셀 6간의 핸드오프 트래픽량이 발생하게 되고 이 두 지역 사이에는 그만큼의 업데이트 비용이 발생한다. 특정 LA의 특정 셀의 이동체가 다른 이동체에게 통화를 요구하게 되면 그 셀이 포함되어 있는 LA의 모든 셀에 페이징을 하여 각 LA 별로 페이징 비용을 계산하게 된다. Hac and Zhou(1997)의 논문에서 언급한 것과 같이 페이징 비용은 각 지역에 속해 있는 셀들의 수와 그 지역에 속해 있는 셀들의 통화요구량의 총합을 곱하여 구한다. 즉, 셀 i의 탐색 비용은 셀 i의 통화요구량에 탐색공간(그 LA에 속한 셀의 수)을 곱하여 계산한다고 설명하였다. 즉, LA 0의 셀 0에서 통화요구량 w_{c0}만큼 통화 요구를 할 경우, LA 0에 할당되어 있는 모든 셀 0, 1, 4, 5에 통화요구량만큼의 페이징 신호를 보내게 된다. 따라서 셀 0의 통화요구량 w_{c0}에 대한 페이징 비용은

셀의 수 4와 w_{c0}를 곱하여 얻게 된다. 셀 1, 4, 5도 같은 방법으로 계산한다. 추가적으로 LA 1, LA 2, LA 3도 각각의 페이징 비용을 계산할 수 있다.

3. 개미군 최적화방법

<Figure 2>는 LAP 문제에 Ant colony system(ACS)를 적용했을 때의 흐름도를 나타낸 것이다. 초기 가능해군을 생성하기 위하여 개체수 만큼의 개미를 준비 시킨다. 한 마리의 개미가 한 개의 해를 생성하므로 개미군 알고리즘을 적용할 때 각각의 개미 i가 현재의 페로몬의 양과 현재의 선호도에 따른 확률(셀 i가 LA k에 할당될 확률)에 따라 해를 생성하게 된다.



〈Figure 2〉 LA 문제에 대한 ACS 적용 흐름도

한 개미당 해가 완성되면 그 해에 대한 로컬 페로몬업데이트(local pheromone update)를 한다. 한 개미군의 모든 해가 완성되면 모든 해 중에서 가장 평가값이 좋은 해에 대하여 글로벌 페로몬업데이트(global pheromone update)를 한다[5]. 이 과정을 거친 후 종료조건을 만족하게 되면 종료하게 되고 그렇지 않으면 위 과정을 반복 적용하게 된다.

3.1 개미의 시작점선택

각 LA의 셀을 그룹핑(grouping)할 때 시작점은 통화요구량 w_{ci}가 가장 큰 셀이 선택될 확률을 가장 크게 하여 룰렛휠(roulette wheel) 방법으로 다음 식 (7)을 적용하여 선택하였다. 즉, 통화요구량이 가장 큰 셀을 시작점으로 하여 인접된 셀과 그룹핑하게 되면 핸드오프 등 총 비용함수를 줄일 수 있는 확률이 높기 때문이다.

식 (7)의 B_{ik}는 셀 i가 시점 $t+1$의 LA k의 시작점으로 선택될 확률을 나타낸 것이다. LA_k는 현재 시점 t에서 LA k에 포함되어 있는 셀들의 집합을 나타낸다.

$$B_{ik} = \frac{w_{ci}}{\sum_{j \in LA_k} w_{cj}} \quad 0 \le i \le 15 \tag{7}$$

3.2 개미의 선호도

식 (7)의 B_{ik}를 적용하여 각 LA의 시작점이 선택된 후 각 시작점을 기준으로 인접된 모든 셀 중에서 한 개씩의 셀을 선택해 나갈 때 페로몬양과 선호도를 고려한 확률에 따라 각 LA의 다음 할당 셀을 선택해 나간다. 셀의 선택확률을 계산할 때 식 (8)의 선호도(η_{ij})를 적용하였다. 선호도는 페이징 비용을 줄일 수 있는 통화요구량을 고려한 선호도를 사용하였다. 즉, LA k에 할당되지는 않았으나 포함될 가능성이 있는 셀 i의 통화요구량 w_{ci}가 작을수록 페이징 비용을 줄일 수 있기 때문에 같은 LA로의 선택 선호도 η_{ik}가 높아지게 된다. 셀 i의 LA k에 대한 선호도는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있는데 a_k는 현재까지 이미 LA k에 할당된 셀의

수를 의미한다.

$$\eta_{ik} = \frac{1}{(a_k + 1) \cdot (\sum_{j \in LA_k} w_{cj} + w_{ci})} \quad (8)$$

3.3 개미의 이동과 셀 선택

식 (9)는 개미가 특정 셀 i가 특정 LA k에 할당될 확률을 나타낸다. M은 개미가 선택할 수 있는 LA의 집합을 의미한다. 즉, <Figure 1>과 같이 LA 0, LA 1, LA 2, LA 3가 있을 경우 4가지 중에 1가지 선택이 가능하다. τ_{ik}는 셀 i가 LA k에 할당되었을 때 해당 경로에 뿌려지는 페로몬(pheromone) 양을 나타내고 η_{ik}는 셀 i가 LA k에 할당될 때의 선호도를 나타낸다. α와 β는 페로몬과 선호도 각각에 대한 가중치를 나타낸다.

$$P_{ik} = \frac{[\tau_{ik}]^{\alpha} \cdot [\eta_{ik}]^{\beta}}{\sum_{j \in LA_k} [\tau_{ij}]^{\alpha} \cdot [\eta_{ij}]^{\beta}} \quad (9)$$

식 (9)를 적용하여 선택된 셀은 LA k에 할당됐을 때 통화요구 최대용량을 넘어서지 않고 LA k의 최대 셀의 수 범위 내에 있으면 인접셀을 최종 선택하게 된다.

3.4 페로몬 증발

페로몬 증발은 기존 페로몬 양의 일부를 감소시키는 것으로 과거의 페로몬을 통한 정보가 현재나 앞으로의 정보에 비하여 정확도가 상대적으로 떨어지기 때문에 과거 정보의 비율을 줄이는 역할을 한다. 이것은 또한 일부 특정 해에 대한 페로몬의 기하급수적인 증가를 방지하며 식 (10)과 같이 표현할 수 있다. ρ는 증발률, $\tau_{ik}(t)$는 t 시점에서 셀 i가 LA k에 할당되었을 때의 페로몬의 양, $\tau_{ik}(t+1)$는 $t+1$ 시점에서 셀 i가 LA k에 할당되었을 때의 페로몬의 양을 나타낸다.

$$\tau_{ik}(t+1) = (1-\rho) \cdot \tau_{ik}(t),\ 0 \le \rho < 1 \quad (10)$$

3.5 로컬 업데이트를 위한 페로몬 추가

개미가 이동하는 모든 경로를 따라 이동을 완료하게 되면 개미가 구성한 가능해에 대해 식 (1)을 이용하여 평가값을 계산한다. 페로몬 증가는 이 평가값에 따라 페로몬 양을 업데이트 하는 것으로 식 (11)과 같이 표현할 수 있다. S_j는 j번째 개미의 해(경로)의 집합, L_j는 j번째 개미의 평가값, Q는 페로몬 업데이트 상수, $move(i, k)$는 셀 i가 LA k를 선택하여 이동하는 것을 나타낸다. $\Delta\tau_{ik}^{j}$는 j번째 개미의 셀 i가 LA k에 할당했을 때 경로 (i, k)에 뿌려주는 페로몬의 양을 나타낸다.

$$\tau_{ik}(t+1) = \tau_{ik}(t) + \Delta\tau_{ik}^{j} \quad (11)$$

$$\Delta\tau_{ik}^{j} = \begin{cases} \dfrac{Q}{L_j}, & if\ move(i,k) \in S_j \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

3.6 글로벌 업데이트를 위한 페로몬 추가

엘리트 전략(elitist strategy)은 1세대에서 현재 세대까지의 각 세대의 가능해들 중에서 적합도값이 가장 우수한 가능해에 대하여 추가적인 페로몬을 업데이트 하는 것으로 수렴성을 강조하기 위하여 사용한다. 엘리트 전략은 식 (12)와 같이 표현할 수 있다. $S_{GlobalOptimal}$는 평가값이 가장 우수한 해, $L_{GlobalOptimal}$는 가장 우수한 해의 평가값, σ는 엘리트 가중치를 나타낸다. $\Delta\tau_{ik}^{*}$는 평가값이 가장 좋은 개미의 셀 i가 LA k에 할당되었을 때 경로 (i, k)에 뿌려주는 페로몬의 양을 나타낸다.

$$\tau_{ik}(t+1) = \tau_{ik}(t) + \sigma \cdot \Delta\tau_{ij}^{*} \quad (12)$$

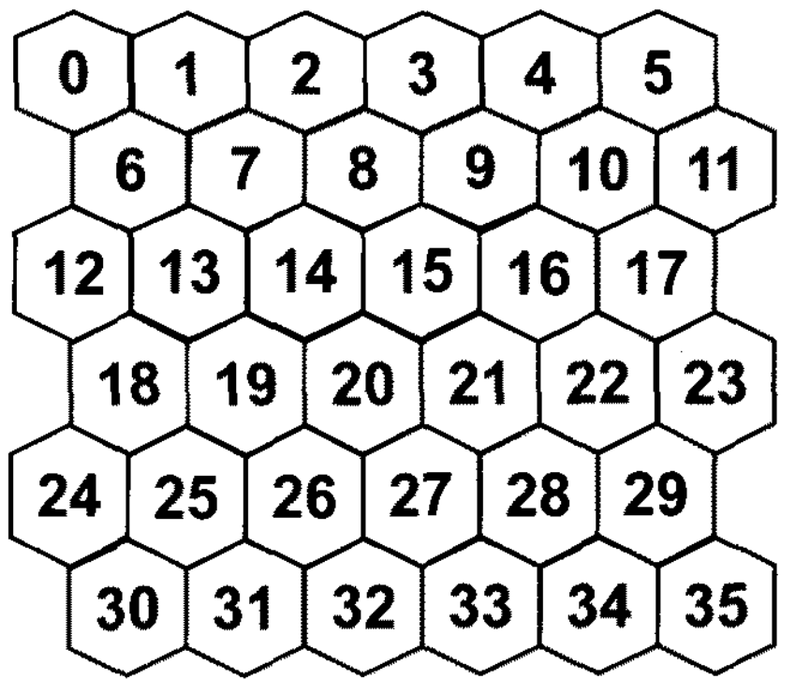
$$\Delta\tau_{ik}^{*} = \begin{cases} \dfrac{Q}{L_{GlobalOptimal}}, & if\ move(i,k) \in S_{GlobalOptimal} \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

4. 실험 및 결과 분석

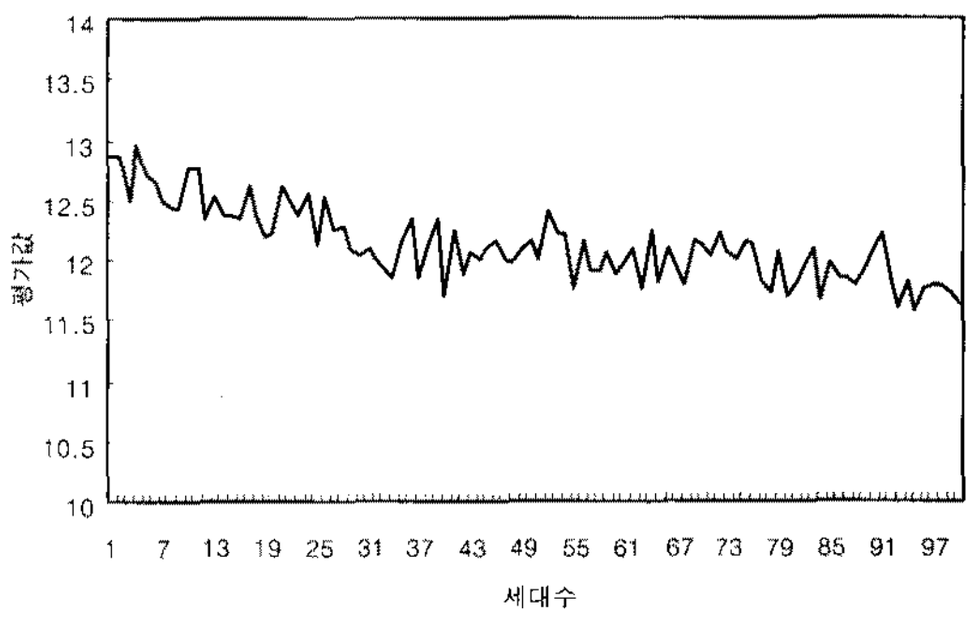
본 절에서는 36개 셀 무선통신 네트워크 테스트

문제[11]을 LA planning 문제로 사용하였다. 게미 알고리즘 적용을 위한 파라미터는 한 세대의 개체 수50, 식 (11), 식 (12)의 페로몬 업데이트 상수 Q = 1, 식 (9)의 페로몬과 선호도 각각에 대한 가중치 α = 0.5, β = 9, 식 (12)의 엘리트 가중치 σ = 6, 식 (10)의 페로몬 증발률ρ = 0.5, 초기페로몬양 = 0.001로 여러 차례의 실험을 통하여 가장 적절하다고 판단되는 값을 사용하였다.

<Figure 3>은 36개 셀 네트워크 구성도를 나타내는데 36개 셀의 네트워크 문제로 해의 경우의 수를 계산해 보면 각 셀이 8개의 LA 중 하나는 선택해야 하므로 8^{36}이 되는데, 셀의 숫자가 늘어날수록 경우의 수는 기하급수적으로 늘어난다. <Table 1>에서 w_{ci}는 셀 i의 통화요구량을 나타내고, w_{mi}는 셀 i로 유입되는 트래픽양의 합이고 인접한 모든 셀에서 균등하게 유입된다는 가정으로 각 셀간의 핸드오프 트래픽으로 재가공하여 실험분석 하였다. 예를 들어 셀 0로 유입되는 핸드오프 트래픽양 w_{m0}은 <Table 1>에 나타나 있듯이 1039이다. 셀 0과 인접해 있는 셀은 1과 6 두 개이다. 셀 0으로 유입되는 핸드오프 트래픽양 1039를 1/2 확률로 가정하여 계산하면 519.5가 된다. 즉, 셀 1에서 셀 0로, 셀 6에서 셀 0으로 각각 유입되는 519.5가 합해져 1039가 된다고 가정 하여 각각의 셀들 간의 핸드오프 트래픽양을 계산하여 실험하였다.



〈Figure 3〉 36개 셀 네트워크 구성도



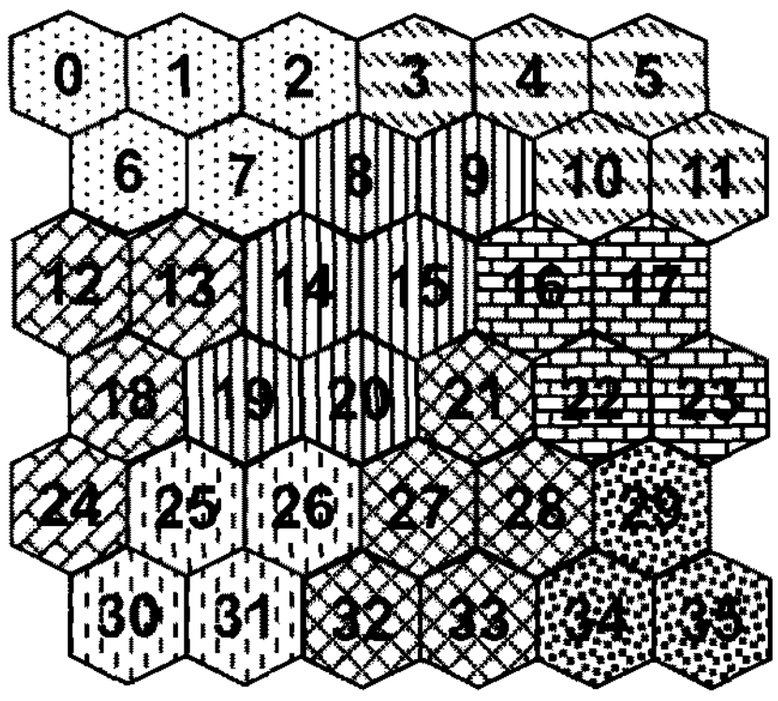
〈Figure 4〉 36개 셀 네트워크에서 세대수에 따른 평가값 변화

<Figure 4>는 36개 셀 네트워크 구성에 따른 평가함수값이 세대수가 증가함에 따라 수렴 경향이 나타난다. 평가값은 통화 콜당 비용(C = 10으로 하

〈Table 1〉 36개 셀 네트워크에서 각 셀에 대한 통화 요구량 및 유입 트래픽양

Cell	w_{ci}	w_{mi}	Cell	w_{ci}	w_{mi}	Cell	w_{ci}	w_{mi}	Cell	w_{ci}	w_{mi}
0	714	1039	9	221	296	18	462	1945	27	370	1342
1	120	1476	10	856	793	19	682	1368	28	721	814
2	414	262	11	652	317	20	241	1850	29	769	747
3	639	442	12	238	507	21	700	1131	30	17	146
4	419	1052	13	964	603	22	23	236	31	265	904
5	332	1902	14	789	1479	23	827	1622	32	958	359
6	494	444	15	457	756	24	328	16	33	191	1729
7	810	1103	16	708	695	25	255	332	34	551	190
8	546	1829	17	825	356	26	393	1203	35	467	1907

는 식 (1)의 목적식의 평가 함수값을 전체 콜의 합으로 나누어준 비용)을 나타낸다. 36개 셀 네트워크 문제를 개미군 알고리즘을 적용하여 100회 실험했을 때 가장 좋은 최소값은 11.197, 최대값은 11.711, 평균값은 11.318이고 편차는 0.088로 분석되었다. <Figure 5>는 36개 셀 네트워크 문제에 대하여 개미군 알고리즘을 적용했을 때 평가값이 11.197로 가장 좋은 LAP 구성해를 나타낸 것이다. 계산 시간은 약 14.24초 소요되었다.



(평가값 : 11.197)

<Figure 5> 36개 셀 네트워크 LA planning의 가장 좋은 해

<Figure 5>의 36개 셀로 이루어진 LA planning 최적해/가장 좋은 해는 8개의 LA로 이루어져 있고 각 LA는 3~6개의 셀로 구성된다.

5. 결 론

본 논문에서는 LAP 최적 설계를 위한 셀의 LA 할당 그룹핑 문제에 대하여 위치등록업데이트 비용과 이동체 탐색 페이징 비용의 합으로 평가함수를 수립하였다. 총비용을 제한된 시간 내에 최소화하기 위해 다양한 휴리스틱 알고리즘 중에서 개미군 최적화 방법을 적용하였다. 특히, 통화요구량이 적을수록 선호도(attractiveness)를 높게 하는 효율적인 그룹핑 최적화 방법을 개발하였다. 본 논문에서 제안한 LAP 최적 설계 방법을 36개 셀 네트워크 문제에 적용하여 방법의 효율성을 분석 검증하였다. 특히, 본 논문에서 제안한 방법은 라우팅(routing) 메커니즘과 수렴 및 다양성을 고려할 수 있는 속성을 갖고 있기 때문에 동적으로 변화하는 무선통신 네트워크에서 제한된 시간 내에 효율적인 탐색이 가능하다.

참 고 문 헌

[1] 김성수, 김근배, "랭킹개미군전략을 이용한 리포팅셀 위치관리시스템 최적설계", 「IE Interfaces」, 제19권, 제2호(2006), pp.168-173.

[2] Bhattacharjee, P.S., D. Saha, and A. Mukherjee, "An Approach for Location Area Planning in a Personal Communication Services Network (PCSN)," *IEEE Trans. On Wireless Communications*, Vol.3, No.4(2004), pp. 1176-1187.

[3] Demestichas, P., N. Georgantas, E. Tzifa, V. Demesticha, M. Striki, M. Kilanioti, and M. "Theologou, Computationally efficient algorithms for location area planning in future cellular systems," *Computer Communications*, Vol.23(2000), pp1263-1280.

[4] Demirkol, I., C. Ersoy, M.U. Caglayan, and H. Delic, "Location Area Planning and cell-to-switch assignment in cellular networks," *IEEE Trans. On wireless communications*, Vol.3, No.3(2004), pp.880-890.

[5] Dorigo, M. and T. Stutzle, "The Ant Colony Optimization Metaheuristic : Algorithms, Applications, and Advances," *Metaheuristics Handbook*, Glover and Kochenberger (Eds.), International Series in Operations Research and Management Science, Kluwer, 2001.

[6] Hac, A. and S. Zhou, "Locating strategies for personal communication networks : A novel tracking strategy," *IEEE J. Selected Areas in Comm.*, Vol.15(1997), pp.1425-1436.

[7] Menon, Syam and Gupta, Rakesh, "Assigning Cells to Switches in Cellular Networks by Incorporating a Pricing Mechanism Into Simulated Annealing," *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics Part B : Cybernetics*, Vol.34, No.1(2004), pp.558-565.

[8] Merchant, Arif and Sengupta, Bhaskar, "Assignment of Cells to Switches in PCS Networks," *IEEE/ACM Trans. On Networking*, Vol.3, No.5(1995), pp.521-526.

[9] Pierre, Samuel and Houéto, "Assigning Cells to Switches in Cellular Mobile Networks Using Taboo Search," *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics Part B : Cybernetics*, Vol.32, No.3(2002), pp.351-356.

[10] Quintero, Alejandro and Pierre, Samuel, "Evolutionary approach to optimize the assignment of cells to switches in personal communication networks," *Computer Communications*, Vol.26(2003), pp.927-938.

[11] Subrata, R. and Zomaya, A. Y., "A comparison of three artificial life techniques for reporting cell planning in Mobile Computing," *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, Vol.14, No.2(2003), pp.142-153.

[12] Sung-Soo Kim, Il-Hwan Kim, V. Mani, Hyung Jun Kim, and Dharma P. Agrawal, "Partitioning of Mobile Network into Location Areas using Ant Colony Optimization," working paper, 2008.