

## 이동통신에서 리포팅 셀 계획을 위한 타부서치 기반 최적화 알고리즘

장길웅\*

### Tabu Search based Optimization Algorithm for Reporting Cell Planning in Mobile Communication

Kil-woong Jang\*

\*Professor, Department of Data Informatics, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

#### 요약

이동통신에서 이동단말의 위치관리를 위해 셀 구조를 결정하는 셀 계획은 네트워크 성능을 결정하는 중요한 연구 과제로 다루어지고 있다. 이동통신에서 셀 구조를 계획하는데 영향을 주는 요소 중 위치관리를 위한 신호비용이 가장 중요한 역할을 하고 있다. 본 논문에서는 이동통신에서 리포팅 셀 구조를 가진 네트워크에서 셀 구조를 계획하기 위해 사용되는 모든 셀의 위치관리비용을 최소화 하는 최적화 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 메타휴리스틱 알고리즘인 타부서치 알고리즘을 사용하며, 제안된 알고리즘은 새로운 이웃해 생성방식을 제안하여 최적해에 가까운 결과를 도출한다. 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 위치관리비용과 알고리즘 수행시간 관점에서 시뮬레이션을 수행하였다. 평가 결과에서 기존의 유전 알고리즘 및 모의 담금질 기법과 비교 평가하여 제안된 알고리즘의 성능이 우수함을 볼 수 있었다.

#### ABSTRACT

Cell planning, which determines the cell structure for location management of mobile terminals in mobile communications, has been dealt with as an important research task to determine network performance. Among the factors influencing the cell structure planning in mobile communication, the signal cost for location management plays the most important role. In this paper, we propose an optimization algorithm that minimizes the location management cost of all the cells used to plan the cell structure in the network with reporting cell structure in mobile communication. The proposed algorithm uses a Tabu search algorithm, which is a meta-heuristic algorithm, and the proposed algorithm proposes a new neighborhood generation method to obtain a result close to the optimal solution. In order to evaluate the performance of the proposed algorithm, the simulation was performed in terms of location management cost and algorithm execution time. The evaluation results show that the proposed algorithm outperforms the existing genetic algorithm and simulated annealing.

**키워드** : 리포팅 셀 계획, 이동통신, 최적화, 타부서치

**Key word** : Reporting cell planning, mobile communication, optimization, tabu search

Received 19 May 2020, Revised 20 May 2020, Accepted 26 May 2020

\* Corresponding Author Kil-woong Jang(E-mail:jangkw@kmou.ac.kr, Tel:+82-51-410-4375)

Professor, Department of Data Information, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.9.1193>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

최근 4차 산업혁명과 맞물려 이동통신도 5세대를 넘어 6세대 이동통신으로 나아가고 있다. 이러한 흐름을 따라가기 위해 산업체와 학계에서 관련 이슈들을 연구와 개발을 진행하고 있다. 이동통신에서 직면한 많은 이슈들 중에 사용자의 현재 위치를 정확하게 추적하는 위치관리(location management)가 그 중 하나이다. 네트워크에서 이동단말이 수신 콜(call)을 정확히 전달받기 위해서는 각 이동단말의 위치를 정확히 추적할 수 있어야 한다[1].

이동단말의 위치를 관리하기 위해서는 주파수와 같은 제한된 무선 네트워크의 자원을 사용하여 이동단말의 위치를 추적하게 된다. 일반적으로 이동단말은 기존 셀에서 새로운 셀에 이동하게 되면 새로운 셀로 등록 시그널을 전송하여 단말의 위치를 기지국을 통해 등록하는 절차를 수행하고, 이동단말에 대한 새로운 수신 콜이 도착하면, 기지국은 그 단말을 검색하기 위해 페이징(paging) 절차를 수행하게 된다. 이러한 이동단말의 등록과 페이징 절차를 수행하기 위해 네트워크의 자원인 주파수 대역폭과 전력이 사용되게 된다. 또한 빈번한 시그널 사용으로 인하여 이동단말 간에 주파수 간섭이 더 많이 발생하게 되고 이로 인한 서비스 품질의 저하라는 결과를 발생하게 된다[2].

이러한 여러 가지 문제점을 극복하기 위한 한 가지 방법은 이동단말의 위치를 정확히 파악하고 관리하는 것이다. 이동단말의 위치를 관리하기 위한 방식으로 크게 3가지 방식이 주로 사용되고 있다[3]. 첫 번째 방식은 이동단말이 새로운 셀로 진입할 때 마다 항상 위치 정보를 기지국으로 전송하여 위치를 등록하는 것이다. 이 방식은 이동단말로 수신 콜이 발생했을 때 별도의 페이징 동작 없이 콜을 수신할 수 있지만 위치등록을 위한 자원 소비가 높다는 것이 특징이다. 두 번째 방식은 첫 번째 방식과 상반되는 개념으로 이동단말의 위치등록 절차 없이 페이징 동작만으로 콜을 수신하는 것이다. 이 방식은 단말의 위치등록에 대한 자원 낭비는 발생하지 않지만 검색을 위한 자원이 많이 소비되는 특징을 가진다. 세 번째 방식은 앞선 두 방식을 혼합한 것으로 기존 시스템에서 주로 사용되는 위치관리기법이다. 기존의 연구에서 다양한 형태의 혼합형 기법을 제안하고 있으며, 이 중 한 가지 방식으로 전체 네트워크를 몇 개의 하부

네트워크로 나누어 그 중 일부 셀을 이동단말의 위치등록 절차를 수행하는 리포팅 셀(reporting cell)로 지정하는 것이다. 즉 이동단말이 리포팅 셀로 진입한 경우 위치등록 절차가 진행되고 리포팅 셀이 아닌 넨리포팅 셀(nonreporting cell)로 이동할 경우에는 위치등록 절차를 수행하지 않는다. 이동단말로 수신 콜이 발생할 경우 그 단말이 마지막으로 위치등록된 리포팅 셀에서 인접한 넨리포팅 셀을 검색하여 이동단말을 찾는다. 그림 1에서 회색으로 칠한 셀이 리포팅 셀일 때, 이동단말이 R로 표시된 셀에서 위치등록을 하고 이동한 경우 새로운 수신 콜이 발생하면 X로 표시한 넨리포팅 셀을 검색하게 된다. 리포팅 셀을 어떻게 배치하느냐에 따라 위치등록과 페이징을 위한 자원 소모가 결정된다. 리포팅 셀 기반의 네트워크에서 이동단말의 위치관리를 위해 리포팅 셀의 배치를 최적화하는 문제를 리포팅 셀 계획(reporting cell planning)이라고 한다[4].

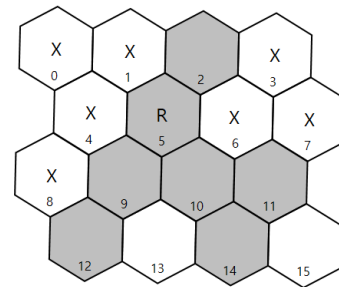


Fig. 1 Example of network with reporting cell

본 논문에서는 리포팅 셀 구조의 이동통신에서 이동단말의 위치관리를 위한 위치등록과 페이징 절차에 소모되는 비용을 최소화하는 최적화 알고리즘을 제안한다. 리포팅 셀 계획은 NP-complete 문제라는 것이 이전 연구에서 증명되어 있다[5]. NP-complete 문제를 해결하기 위해서는 방대한 시간이 요구되며, 주로 이전 연구에서는 근사치를 이용한 휴리스틱 알고리즘을 사용하였다. 본 논문에서는 효율적인 결과를 얻기 위해 메타휴리스틱 기법 중 하나인 타부서치(Tabu search) 알고리즘을 적용한 최적화 알고리즘을 제안한다. 제안된 타부서치 알고리즘은 다양한 조건하에서 위치관리를 위한 비용과 알고리즘 수행시간 측면에서 기존의 메타휴리스틱 알고리즘과 성능을 비교한다.

## II. 관련연구

이동통신에서 위치관리를 위한 방법은 이동단말의 위치등록과 검색 과정에 많은 비중을 두고 있다. 오늘날 기존의 시스템에서 사용되는 위치관리정책 중 하나로 위치영역방식(location area scheme)이 있다[6]. 위치영역방식은 네트워크를 하나 이상의 셀로 구성된 위치 영역이라는 구역으로 나누어 이동단말의 위치를 관리하는 것이다. 위치영역방식에서는 이동단말이 서로 다른 위치영역의 셀로 이동할 경우에만 위치등록을 수행하고 같은 위치영역의 셀로 이동할 경우에는 위치등록을 수행하지 않는다. 이동단말로 수신 콜이 발생하면 이동단말을 검색하기 위해 등록된 위치영역에서 페이징 동작을 수행하여 이동단말을 검색하게 된다.

Bar *et al.*[7]은 위치영역방식과 유사한 또 다른 위치관리방식을 제안하였다. 이 방식은 그림 1에서 기술한 바와 같이 특정 셀이 이동단말의 위치를 등록하는 기능을 수행하고, 수신 콜이 발생하면 인접한 셀을 검색하여 이동단말을 찾는 과정을 수행한다. 리포팅 셀을 가진 네트워크 구조 환경에서 다양한 메타 휴리스틱 알고리즘이 제안되었다. Parija *et al.*[8]은 위치관리비용을 최소화하기 위한 PSO(particle swarm optimization) 알고리즘을 제안하였다. Subrata *et al.*[9]은 또 다른 메타 휴리스틱 알고리즘인 유전 알고리즘(genetic algorithm)과 개미 군체 알고리즘(ant colony algorithm)을 적용하여 위치관리비용을 최소화하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 논문에서 개미 군체 알고리즘이 유전 알고리즘에 비해 성능이 우수한 것으로 나타났다. Mehta. *et al.*[10]은 같은 문제에 대하여 모의 담금질(simulated annealing) 기법을 사용하여 최적에 가까운 위치관리비용을 찾는 알고리즘을 제안하였다. 이 논문에서는 다른 알고리즘과의 비교 없이 자체 알고리즘 변수만을 변경하여 결과를 제시하였다.

## III. 문제 정식화

이 장에서는 이동통신에서 리포팅 셀 계획에 대한 제약조건과 네트워크 모델을 기술한다. 대부분의 이동통신 네트워크는 셀(cell) 단위로 구성되며, 네트워크 모델을 간단히 설정하기 위해 각 셀의 구조를 그림 1과 같이 6개의 인접 셀을 가진 육각형의 형태로 나타낸다.

이동단말에 대한 위치관리는 크게 위치등록과 위치검색으로 구분된다. 제한된 무선자원 하에서 적절한 위치등록 전략은 위치검색에 사용되는 비용을 크게 줄일 수 있다. 이동통신에서 위치관리의 평균 비용은 각 셀에서 발생하는 위치등록 비용과 위치검색을 위한 페이징 비용의 합으로 나타낼 수 있다. 따라서 주어진 시간  $t$  동안 위치등록과 위치검색을 위한 위치관리비용은 수식 (1)과 같이 표현된다.

$$C_t = \gamma C_U + C_P \quad (1)$$

여기서  $C_U$ 은 주어진 시간  $t$  동안 수행된 위치등록 횟수를 나타내며,  $C_P$ 은 주어진 시간  $t$  동안 수행된 페이징 횟수를 나타낸다.  $\gamma$ 는 위치등록과 페이징 간의 비율을 나타내는 상수이다. 일반적으로 위치등록 비용은 페이징 비용에 비해 훨씬 높은 것으로 나타난다[9].

본 논문에서는 셀  $i$ 로 이동하는 이동단말의 수를  $m_i$ , 셀  $j$ 에 발생하는 콜의 수를  $a_j$ 라고 정의했을 때, 리포팅 셀에서 발생하는 위치등록 비용은 수식 (2)와 같이 리포팅 셀로 진입하는 이동단말의 총합으로 나타낼 수 있다. 반면에 페이징 비용은 수식 (3)과 같이 모든 셀에 대해 각 셀에서 발생하는 콜의 수와 각 셀에서 인접셀에 대한 검색 범위  $v_j$ 를 곱한 값의 총합과 같다.

$$C_U = \sum_{i \in R} m_i \quad (2)$$

$$C_P = \sum_{j=0}^{n-1} a_j v_j \quad (3)$$

여기서  $R$ 은 리포팅 셀의 집합을 의미하며,  $n$ 은 모든 셀의 수를 나타낸다. 각 셀에서 인접셀에 대한 검색 범위  $v_j$ 를 인접값(vicinity value)[9]이라고 부르며, 인접값은 수신 콜이 발생했을 때 수신 단말을 검색해야 하는 최대 셀의 수를 나타낸다. 인접값에는 다른 리포팅 셀은 포함하지 않고 자신과 검색해야 할 넌리포팅 셀의 최대 값을 합친 것이다. 인접값을 계산하는 방식은 그림 2를 통해 기술한다. 그림 2(a)에서 회색으로 칠한 셀은 리포팅 셀을 나타내며, 인접한 셀로 페이징 동작을 수행함으로 1을 가진다. 반면 흰색으로 표현한 넌리포팅 셀은 인접한 셀로의 페이징 동작을 수행할 수 없기 때문에 초기에 0을 가진다. 다시 말해서 리포팅 셀은 이동단말에 대해 위치등록과 페이징 동작을 수행한다. 반면에 넌리포팅 셀은 인접한 셀에 대한 페이징 기능이 없으며, 오직

자신의 셀에서만 페이징 동작을 수행할 수 있다. 그림 2(b)에서 리포팅 셀 2는 넌리포팅 셀 0, 1, 4, 8과 넌리포팅 셀 3, 6, 7에 대해 페이징 기능을 수행하게 된다. 따라서 리포팅 셀 2의 인접값은 자신의 셀을 포함한  $1 + 4 + 3 = 8$ 으로 결정된다. 넌리포팅 셀의 인접값은 자신의 셀에 페이징 기능을 수행할 수 있는 리포팅 셀의 인접값 중 최대값으로 결정된다. 예를 들어 넌리포팅 셀 13으로 페이징을 수행하는 리포팅 셀은 9, 10, 12, 14이며, 각 인접값은 6, 5, 6, 3이다. 따라서 넌리포팅 셀 13의 인접값은 6으로 결정된다.

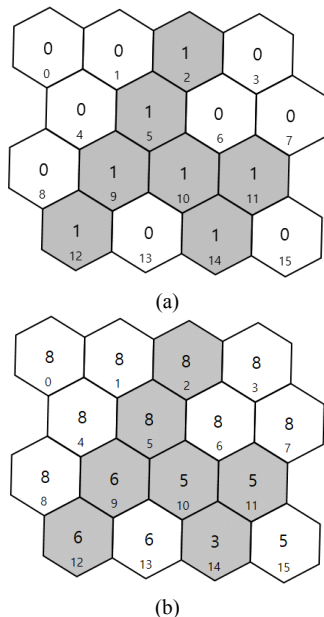


Fig. 2 Process of vicinity value (a) initial values of cells (b) vicinity values of cells

제안된 타부서치 알고리즘은 리포팅 셀 구조의 이동통신 네트워크의 셀 계획에서 위치관리비용을 최소화하는 데 목적이 있다. 결과적으로 이동통신 네트워크의 리포팅 셀 계획의 최적화 문제는 다음과 같은 목적함수를 가진 조합 최적화 문제로 정식화된다.

$$\min C_t = \gamma \sum_{i \in R} m_i + \sum_{j=0}^{n-1} a_j v_j \quad (4)$$

앞서 언급한 바와 같이  $\gamma$ 은 위치등록과 페이징 비용 간의 비율이며, 본 논문에서는  $\gamma = 10$ 으로 설정한다[9].

#### IV. 제안된 타부서치 알고리즘

본 장에서는 이동통신에서 리포팅 셀 계획을 최적화하기 위한 제안된 타부서치 알고리즘에 대해 자세히 기술한다. 제안된 타부서치 알고리즘은 그림 3과 같은 절차에 따라 진행된다.

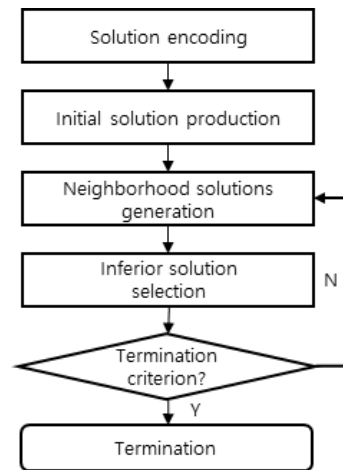


Fig. 3 Procedure of proposed Tabu search algorithm

제안된 타부서치 알고리즘을 수행하기 위해 리포팅 셀 계획에 적합한 인코딩 작업을 우선 수행한다. 인코딩 작업은 해결하고자 하는 문제에 맞는 해 구조(solution structure)를 설계하는 과정으로 해 구조에 따라 프로그램 성능이 차이가 나타남으로 인하여 중요한 요소 기술이 된다. 인코딩 작업이 끝난 후 해 구조에 따라 제약조건에 적합한 하나의 초기해(initial solution)를 생성한다. 타부서치 알고리즘은 최적해를 찾는 과정에서 임시해(temporary solution)를 사용하여 최종적으로 최종해(final solution)를 생성한다. 생성된 초기해를 임시해로 설정하고, 중복 과정을 제거하기 위해 타부리스트(tabu list)에 저장한다. 초기해를 이용하여 이웃해 생성 작업을 수행한다. 이웃해 생성 방식은 문제와 인코딩 방식에 따라 다양한 방식이 사용될 수 있다. 새로 생성된 이웃해 중 가장 좋은 결과를 가진 해를 선택하여 기존의 임시해와 비교한다. 만약 새로운 해가 임시해보다 더 좋은 결과를 가질 경우 이 해를 임시해로 변경하고 타부리스트에 저장한다. 만약 임시해보다 결과가 좋지 않을 경우에는 임시해는 그대로 유지하게 되지만 이 해는 타부리스트에는 저장한다. 즉 임시해와 성능비교와는 관계없

이 새로 생성된 해는 다음 단계의 이웃해 생성을 위한 해로 사용된다. 타부서치 알고리즘의 종료는 미리 설정된 종료기준이 만족될 때까지 반복되며 최종적으로 최종해를 생성한다.

#### 4.1. 해 인코딩

제안된 타부서치 알고리즘에 적용된 해의 인코딩은 그림 4와 같은 구조로 이루어진다.  $n$ 개의 셀로 이루어진 이동통신 네트워크에서 리포팅 셀은 1로 설정하고, 넌리포팅 셀은 0으로 설정한다. 그림 2에서 설명한 바와 같이 각 셀은 리포팅 셀 여부, 인접값, 페이징 될 셀 목록을 가져야 한다. 따라서 본 논문에서 구현된 타부서치 알고리즘에서도 네트워크 모델과 같이 각 셀은 리포팅 셀 여부, 인접값, 페이징 될 셀 목록을 가진 클래스 형태로 구현되었다.

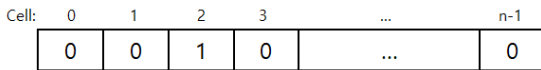


Fig. 4 Solution encoding structure

#### 4.2. 초기해 생성

위에서 기술한 인코딩 방식을 적용하여 제안된 타부서치 알고리즘에 사용될 초기해를 하나 생성한다. 초기해 생성은 다음과 같은 절차에 따라 수행된다.

- (a) 네트워크에 존재하는 모든 셀에 대하여 랜덤하게 리포팅 셀을 선택한다.
- (b) 리포팅 셀이 선택된 후 각 셀에 대해 인접값을 계산한다.
- (c) 식 (4)의 목적함수를 이용하여 위치관리비용을 계산하고, 초기해를 임시해로 저장한다.

#### 4.3. 이웃해 생성을 위한 이동

타부서치 알고리즘은 다른 메타휴리스틱 알고리즘과 비슷하게 기존의 해를 이용하여 이동방식을 적용하여 이웃해를 생성함으로써 최적해에 도달하도록 한다. 본 절에서는 제안된 타부서치 알고리즘의 이동방식에 대하여 기술한다. 제안된 이동방식은 그림 4의 해의 인코딩에서 각각의 셀에 해당되는 요소에 적용하는 3가지 방식으로 구성된다. 본 논문에서는 3가지 이동방식을 추가이동, 삭제이동, 교환이동이라고 칭한다.

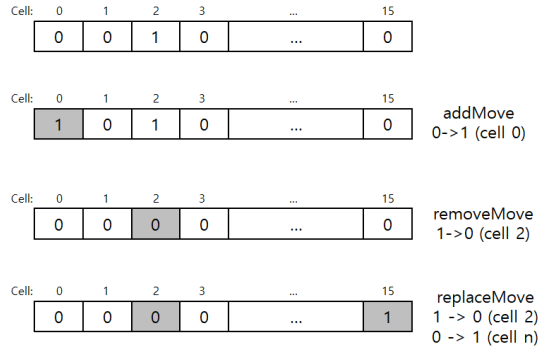


Fig. 5 Move examples (a) current solution (b) add move (c) remove move (d) replace move

먼저 추가이동은 넌리포팅 셀을 리포팅 셀로 바꾸는 이동이다. 그림 5는 제안된 타부서치 알고리즘에서 사용되는 이웃해 생성 방법을 나타낸 것이다. 그림 5(a)의 이웃해를 생성하기 위한 현재 해에서 그림 5(b)처럼 셀 0에 대해 0에서 1로 변경하여 기존의 네트워크에서 리포팅 셀을 추가하는 이동이다. 따라서 새로운 해는 리포팅 셀의 개수가 1이 증가한다. 두 번째 이동은 삭제이동으로 그림 5(c)처럼 현재 해의 셀 2를 1에서 0으로 변경하는 것이다. 삭제이동으로 인해 기존의 리포팅 셀은 넌리포팅 셀로 변경되고 리포팅 셀의 개수가 하나 감소한다. 마지막으로 교환이동은 서로 다른 셀 간에 값을 교환하는 이동이다. 그림 5(d)처럼 셀 2와 15의 값을 서로 교환하는 이동이다. 만약 교환되는 노드의 값이 같을 경우에는 서로 다른 값을 가진 셀이 선택될 때까지 반복한다. 즉 서로 다른 값을 가진 셀을 교환하는 이동이며, 네트워크 전체에서 리포팅 셀의 개수는 그대로 유지된다. 추가이동이나 삭제이동은 단순히 하나의 셀에 대해서만 추가 또는 삭제함으로써 지역해(local optimum)에 빠지기 쉬운 단점을 가진다. 교환방식은 앞선 추가이동과 삭제이동을 합친 이동처럼 보이지만 교환이동을 적용함으로써 지역해에 빠지기 쉬운 과정을 다소 해소하는 역할을 한다. 초기해에서부터 시작하여 3가지 이동방식을 적용하여 이웃해를 생성하고 이 중 위치관리비용이 가장 낮은 해를 임시해로 선택하여 다음 단계의 이웃해 생성을 위한 해로 사용된다. 이웃해를 생성할 때마다 네트워크에 있는 모든 셀에 대해 인접값을 매번 새로 계산하여 네트워크 전체의 위치관리비용을 계산한다.

#### 4.4. 타부리스트

이웃해 생성과정에서 같은 구조를 가진 새로운 해가 생성될 수 있다. 이 때 이전에 생성된 적이 있는 해가 임시해로 선택될 경우 같은 동작을 다시 반복하는 경우가 발생하게 되고 지역해에 빠질 수 있다. 이러한 경우를 방지하기 위해 타부서치 알고리즘은 타부리스트라는 임시 저장소를 사용한다. 중복되는 해를 방지함으로써 매번 새로운 해를 다음 이웃해 생성에 사용함으로써 이전에 가보지 않은 새로운 영역에서 해를 생성하는 효과를 볼 수 있다. 타부서치 알고리즘의 성능을 높이기 위해 타부리스트의 길이를 가변적으로 변경함으로써 NP-complete 문제를 효율적으로 처리할 수 있다는 결과도 이전 연구에서 제시되고 있다[10]. 본 논문에서도 제안된 타부서치 알고리즘에 동적으로 크기가 변하는 타부리스트를 적용하였으며, n개의 요소를 가진 해에 대하여 타부리스트의 크기를 매번 10번 주기마다 n/2에서 n 사이의 값으로 변경시킨다. 타부리스트는 큐의 형태로 구성되며, 선택된 새로운 해가 계속적으로 저장되어 타부리스트가 가득 차게 되면 가장 먼저 입력된 해를 제거함으로써 새로운 해를 저장하게 된다.

#### 4.5. 알고리즘 종료

제안된 타부서치 알고리즘에서는 3가지 이동방식을 이용하여 새로운 이웃해를 생성하고, 그 중 가장 좋은 해를 임시해와 비교하여 최종적으로 최적해를 찾는다. 이 때 새로 구해진 해와 임시해를 비교할 때 제안된 알고리즘에서 미리 반복횟수를 설정하여 새로운 해가 임시해보다 좋은 결과가 연속적으로 나타나는 횟수가 반복횟수만큼 발생하지 않으면 알고리즘은 종료된다.

### V. 성능평가

본 논문에서는 이동통신에서 리포팅 셀 계획을 위하여 제안된 타부서치 알고리즘의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 평가하였다. 본 논문에서 수행한 컴퓨터 시뮬레이션은 윈도우 10 운영체제에서 3.6GHz 인텔 CPU와 4G 바이트의 메모리로 구성된 컴퓨터에서 수행하였으며, 제안된 알고리즘과 비교 평가된 알고리즘은 파이썬을 사용하여 구현되었다. 제안된 타부서치 알고리즘을 평가하기 위한 항목은 모든 셀에서 발생하는 위치관리비용이며, 위치관리비용은 위치등록과 페이지에

**Table. 1** Performance comparison of proposed Tabu search, genetic algorithm and simulated annealing

		Tabu search	Genetic algorithm	Simulated annealing
4 × 4 network	C <sub>avg</sub>	212484	212484	213538
	C <sub>min</sub>	212484	212484	212484
	C <sub>max</sub>	212484	212484	214362
	C <sub>stdev</sub>	0	0	690
6 × 6 network	C <sub>avg</sub>	415237	418871	441148
	C <sub>min</sub>	413319	417520	435525
	C <sub>max</sub>	420666	421747	450027
	C <sub>stdev</sub>	953	1019	3646
8 × 8 network	C <sub>avg</sub>	770346	773913	879246
	C <sub>min</sub>	760414	769192	844396
	C <sub>max</sub>	781175	783303	907323
	C <sub>stdev</sub>	3607	4275	18503
10 × 10 network	C <sub>avg</sub>	1259891	1267550	1501971
	C <sub>min</sub>	1223429	1251790	1430519
	C <sub>max</sub>	1273595	1286259	1583252
	C <sub>stdev</sub>	9552	10636	40703
12 × 12 network	C <sub>avg</sub>	1873859	1885679	2327675
	C <sub>min</sub>	1850683	1853400	2273471
	C <sub>max</sub>	1896379	1933470	2394280
	C <sub>stdev</sub>	13773	25047	37963



소모되는 비용을 합한 값으로 계산하였다. 또한 많은 계산을 요하는 NP-complete 문제에서 알고리즘 수행시간 관점에서도 기존 알고리즘과 비교 평가하였다. 비교대상 알고리즘은 제안된 타부서치 알고리즘과 같은 유형의 메타휴리스틱 알고리즘인 유전 알고리즘[9]과 모의 담금질 기법[10]을 비교 평가하였다.

시뮬레이션에 적용된 네트워크 환경은 다음과 같다. 네트워크는 셀 단위로 적용되었으며, 각 셀은 그림 1처럼 바로 인접한 셀이 최대 6개인 육각형 형태로 가정하였다. 네트워크의 구조는  $4 \times 4$ ,  $6 \times 6$ ,  $8 \times 8$ ,  $10 \times 10$ ,  $12 \times 12$  셀 구조를 가진 5가지 네트워크로 구성하였다. 각 네트워크에서 셀  $i$ 로 이동하는 단말의 수( $m_i$ )는 0에서 1000 사이의 랜덤값으로 설정하고, 셀  $i$ 에 발생하는 콜의 수( $a_i$ )는 0에서 2000 사이의 랜덤값으로 설정하였다. 각 알고리즘은 모든 네트워크에서 10번씩 수행하여 그 결과를 나타내었다.

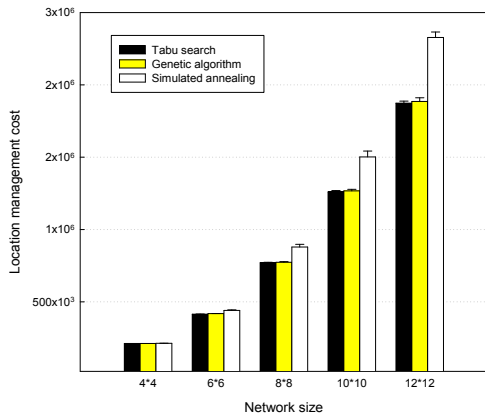


Fig. 6 Average location management cost according to the network size

표 1은 5가지 네트워크 구조에서 제안된 타부서치 알고리즘을 유전 알고리즘 및 모의 담금질 기법과 위치관리비용 관점에서 비교한 것이다. 각 알고리즘을 10번씩 시도하여 평균값과 최소값, 최대값, 표준편차로 나타내었다. 결과에서 제안된 타부서치 알고리즘의 성능이 기존의 유전 알고리즘이나 모의 담금질 기법에 비해 성능이 우수함을 알 수 있다. 결과에서 평균값은 기댓값을 의미하며, 최대값은 최악의 경우(worst case)를 의미하는 것으로 각 알고리즘이 각 네트워크 상황에서 가장 최악의 성능을 나타낸다. 결과에서 기댓값이나 최악의 경

우에도 제안된 타부서치가 다른 알고리즘에 비해 좋은 성능을 나타내고 있다. 리포팅 셀 계획에서 제안된 타부서치 알고리즘이 같은 종류의 메타휴리스틱 알고리즘인 유전 알고리즘과 모의 담금질 기법보다 좋은 성능을 보인 이유는 제안된 타부서치 알고리즘에서 사용된 이웃해 이동방식이 적절히 잘 동작하여 최적해에 가까운 해로 빠르게 수렴하였기 때문이다. 즉 제안된 이웃해 이동방식인 추가이동, 삭제이동, 교환이동이 특정 지역 최적해에 빠지지 않고 전체영역을 검색하였기 때문이다. 그림 6은 표 1에 표시된 각 알고리즘의 평균값과 표준편차를 그림으로 나타낸 것이다.

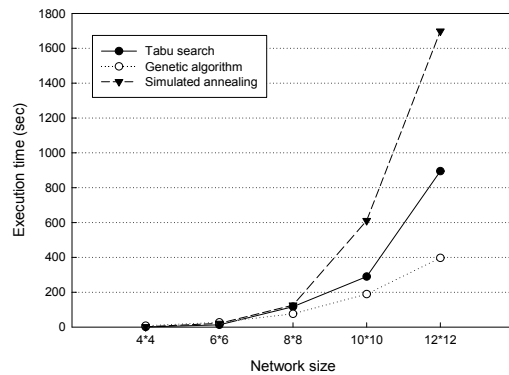


Fig. 7 Execution time according to the network size

그림 7은 같은 시뮬레이션 조건에서 각 알고리즘의 수행시간을 나타낸 것이다. 그림에서 유전 알고리즘이 가장 빠른 시간에 해에 접근하고 있으며, 제안된 타부서치 알고리즘은 유전 알고리즘에 비해서는 다소 시간이 걸리지만 모의 담금질 기법에 비해서는 시간이 적게 걸리고 있다. 유전 알고리즘은 지정된 개수의 해를 이용하여 반복함으로써 최적해에 가까이 도달하는 반면에 타부서치와 모의 담금질 기법은 이웃해를 발생하는 방식을 사용하기 때문에 해의 길이와 연관이 있다. 즉 해의 길이가 길면 상대적으로 이웃해를 많이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서 적용되는 네트워크의 크기가 커짐에 따라 셀의 수가 기하급수적으로 증가하게 되고, 동시에 이웃해의 수도 기하급수적으로 증가함으로써 알고리즘 수행시간도 그림에서와 같이 기하급수적으로 증가하게 된다. 반면에 유전 알고리즘은 고정된 수의 해를 이용하여 이웃해를 검색하기 때문에 네트워크의 크기가 증가하더라도 알고리즘 수행시간은 거의 선형증가

를 하게 된다. 따라서 네트워크의 크기가 증가할수록 제안된 타부서치 알고리즘은 유전 알고리즘에 비해 수행시간은 더 크게 증가하게 된다. 반면에 제안된 타부서치 알고리즘이 모의 담금질 기법에 비해 수행시간이 적게 걸리는 이유는 제안된 타부서치 알고리즘의 이웃해 이동방식이 빠르게 최적해로 접근함으로써 수행시간을 줄였기 때문이다.

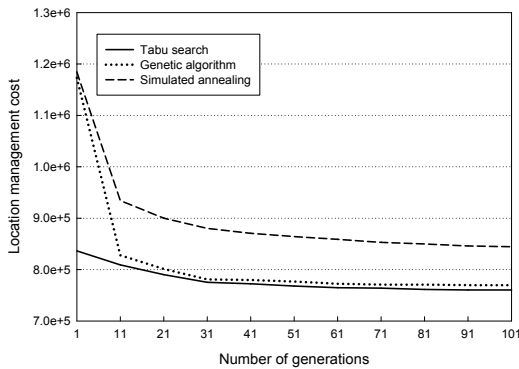


Fig. 8 Average location management cost according to the number of generations

그림 8은 각 알고리즘에 대하여 반복횟수에 따른 위치관리비용을 나타낸 것이다. 이 그림에서 몇 번의 반복에서 각 알고리즘이 최종해에 접근하는지를 알 수 있다. 그림에서 제안된 타부서치 알고리즘은 다른 알고리즘에 비해 적은 횟수에서 빠르게 최종해에 접근함을 볼 수 있으며, 다른 알고리즘은 10회 이후에 최종해에 근접함을 볼 수 있다. 결론적으로 NP-complete인 리포팅 셀 계획에 대하여 제안된 타부서치 알고리즘이 적절한 알고리즘 수행시간 내에 위치관리비용을 최소화할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

## VI. 결 론

본 논문은 이동통신에서 위치관리비용 관점에서 리포팅 셀 구조를 계획하기 위한 최적화 알고리즘을 제안하였다. 최적화 알고리즘은 위치관리비용을 최소화하는 타부서치 알고리즘을 사용하였으며, 제안된 타부서치 알고리즘은 다음과 같은 절차에 따라 수행되었다. 먼저 위치관리문제에 적합한 해의 인코딩을 우선 설계하

였으며, 이를 이용해 하나의 초기해를 생성하고 추가이동, 삭제이동, 교환이동이라는 새로운 3가지의 이웃해 생성방식을 제안하여 최적해에 접근하였다. 제안된 알고리즘의 성능은 이동통신에 적용된 모든 셀의 위치관리를 위한 비용을 계산하였으며, 이전 연구에서 제안된 유전 알고리즘 및 모의 담금질 기법과 비교 평가하였다. 성능평가에서 제안된 타부서치 알고리즘이 기존의 방식에 비해 성능이 우수함을 볼 수 있었으며, 결론적으로 제안된 타부서치 알고리즘이 이동통신에서 리포팅 셀 구조를 계획함에 있어 최적화 기법으로 적용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

## REFERENCES

- [ 1 ] A. Mukherjee and D. De, "Location management in mobile network: a survey," *Computer Science Review*, vol. 19, pp. 1-14, Feb. 2016.
- [ 2 ] S. Parija and P. K. Sahu, "A metaheuristic bat inspired technique for cellular network optimization," In *Proceeding of 2nd International Conference Man and Machine Interfacing*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, Dec. 2017.
- [ 3 ] A. Hac and X. Zhou, "Locating strategies for personal communication networks: A novel tracking strategy," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 15, no. 8, pp. 1425-1436, Oct. 1997.
- [ 4 ] S. R. Parija, P. K. Sahu, and S. S. Singh, "Cost reduction in location management using reporting cell planning and particle swarm optimization," *Wireless Personal Communications*, vol. 96, pp. 1613-1633, Apr. 2017
- [ 5 ] S. Prateek, Swayamsiddha, S. S. Singh, S. Parija, and P. Sahu, "Impact of dwell time distribution on location management in cellular networks," *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 13, no. 5, pp. 1330-1344, 2018.
- [ 6 ] D. Plassmann, "Location management strategies for mobile cellular networks of 3rd generation," in *Proceeding of IEEE 44th Vehicular Technology Conference*, vol. 1, no. 1, pp. 649-653, Jun. 1994.
- [ 7 ] N. A. Bar and I. Kessler, "Tracking mobile users in wireless communications networks," *IEEE Transaction Information Theory*, vol. 39, no. 6, pp. 1877-1886, Nov. 1993.
- [ 8 ] S. Parija, S. Singh, and S. Swayamsiddha, "Particle swarm optimization for cost reduction in mobile location management using reporting cell planning approach," in *Recent Developments in Intelligent Nature Inspired Computing*,



- IGI Global Pub, ch. 8, pp. 171-189, Mar. 2017.
- [ 9 ] R. Subrata and A. Y. Zomaya, "A comparison of three artificial life techniques for reporting cell planning in mobile computing," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 14, no. 2, pp 142-153, Feb. 2003.
- [10] F. Mehta and P. Swadas, "A simulated annealing Approach to reporting cell planning problem of mobile location management," *International Journal of Recent Trends in Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 99-102, Nov. 2009.



**장길웅(Kil-woong Jang)**

1997년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 학사  
1999년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 석사  
2002년 8월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 박사  
2003년 3월 ~ 현재 : 한국해양대학교 데이터정보학과 교수  
※ 관심분야 : 네트워크 프로토콜, 네트워크 최적화