

무선 브로드캐스트 애드혹 네트워크에서 네트워크 수명을 최대화하기 위한 타부서치 알고리즘

장길웅*

Tabu search Algorithm for Maximizing Network Lifetime in Wireless Broadcast Ad-hoc Networks

Kil-Woong Jang*

*Professor, Division of Electronics Electrical and Information, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112 Korea

요 약

본 논문은 브로드캐스트 전송방식을 사용하는 무선 애드혹 네트워크에서 네트워크 수명을 최대화하는 최적화 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 최적화 알고리즘은 메모리 구조를 이용하여 로컬 검색 방법을 향상시키는 메타휴리스틱 방식인 타부서치 알고리즘을 적용한다. 제안된 타부서치 알고리즘은 네트워크 수명 최대화 문제에 대하여 효율적인 인코딩 방식과 인접해 검색 방법을 제안한다. 제안된 방식을 적용하여 효율적인 브로드캐스트 라우팅을 설계함으로써 전체 네트워크의 수명을 최대화한다. 제안된 타부서치 알고리즘은 네트워크에서 발생하는 브로드캐스트 전송에서 모든 노드의 소모 에너지와 최초 소실 노드 시점, 알고리즘 실행 시간 관점에서 평가되었다. 다양한 조건의 성능평가 결과에서 제안된 타부서치 알고리즘이 이전에 제안된 메타휴리스틱 알고리즘과 비교했을 때 더 우수함을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an optimization algorithm that maximizes the network lifetime in wireless ad-hoc networks using the broadcast transmission method. The optimization algorithm proposed in this paper applies tabu search algorithm, a metaheuristic method that improves the local search method using the memory structure. The proposed tabu search algorithm proposes efficient encoding and neighborhood search method to the network lifetime maximization problem. By applying the proposed method to design efficient broadcast routing, we maximize the lifetime of the entire network. The proposed tabu search algorithm was evaluated in terms of the energy consumption of all nodes in the broadcast transmission occurring in the network, the time of the first lost node, and the algorithm execution time. From the performance evaluation results under various conditions, it was confirmed that the proposed tabu search algorithm was superior to the previously proposed metaheuristic algorithm.

키워드 : 네트워크 수명, 브로드캐스트, 타부서치, 무선 애드혹 네트워크

Key word : Network lifetime, broadcast, tabu search, wireless ad-hoc network

Received 29 June 2022, Revised 4 July 2022, Accepted 17 July 2022

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

Professor, Division of Electronics Electrical and Information, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.8.1196>

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

무선 애드혹 네트워크는 제한된 네트워크 환경과 이동 컴퓨팅 분야에서 활용 가능성을 가지고 있다. 특히 무선 애드혹 네트워크는 다중 홉 무선 네트워크를 구성할 수 있는 하나의 토폴로지 대상이 될 수 있으며, 애드혹 네트워크의 라우팅 프로토콜 설계 및 분석에서 에너지 절약 문제에 대하여 집중적으로 연구 대상이 되고 있다[1]. 센서 네트워크와 같은 무선 애드혹 네트워크에서 사용되는 노드는 배터리로 작동되며 특정 애플리케이션에서는 배터리를 재충전하거나 교체하는 것이 불가능한 특징을 가진다. 노드의 에너지 자원을 재충전할 수 있는 경우에도 절약 방식으로 노드의 사용이 요구되기도 한다[2].

무선 애드혹 네트워크에서 에너지 절약을 위한 라우팅 프로토콜은 크게 전송 에너지 소비를 최소화하는 것과 네트워크 수명을 최대화하는 두 가지 범주로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 무선 애드혹 네트워크에서 에너지 절약을 위한 라우팅 프로토콜 설계를 위해 네트워크 수명을 최대화하는 최적화 알고리즘을 제안한다. 정적 또는 동적인 네트워크 토폴로지에서 단일 라우팅 세션에 대해 최초의 노드가 실패하는 시점을 찾는 네트워크 수명 문제는 NP-hard로 알려져 있다[3]. 무선 애드혹 네트워크에서 데이터를 전송하는 방식은 유니캐스트, 멀티캐스트, 브로드캐스트 방식으로 나눌 수 있으며, 이중 브로드캐스트는 효율적으로 라우팅 경로를 설정할 수 있는 전송 방식이다[4]. 무선 애드혹 네트워크에서 직접 특정 노드로 데이터를 전송하는 유니캐스트와는 달리 브로드캐스트는 한 번의 전송으로 주위의 인접 노드로 데이터를 전송할 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 브로드캐스팅 전송 방식을 사용하는 정적인 무선 애드혹 네트워크에서 네트워크 수명을 최대화하는 최적화 알고리즘을 제안한다. NP-hard인 네트워크 수명 최대화 문제는 규모가 작은 네트워크에서만 현재 정확하게 해결할 수 있는 것으로 알려져 있으며, 본 논문에서는 노드 수가 많은 대규모 네트워크에서 메타휴리스틱 방식을 사용한 최적화 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서는 메타휴리스틱 알고리즘 중 하나인 타부서치(tabu search) 알고리즘을 사용하여 제한된 알고리즘 실행 시간 안에 최적에 가까운 해를 도출하는 방식을 사용한다. 타부서치[5, 6]는 지역 탐색 기법에 속하는

수학적 최적화 방법으로 메모리 구조를 사용하여 로컬 검색 방법의 성능을 향상시킨다. 최초 랜덤한 하나의 해로부터 인접한 해를 검색하여 최적에 가까운 해에 접근하는 방식이다. 제안된 타부서치 알고리즘은 주어진 무선 애드혹 네트워크에서 브로드캐스팅에 의해 소모되는 전송 에너지와 최초로 소실되는 노드의 시점, 알고리즘 실행 시간 측면에서 기존의 메타휴리스틱 알고리즘들과 성능을 비교 평가한다.

II. 관련 연구

무선 애드혹 네트워크에서 노드의 에너지를 효율적으로 관리하기 위한 다양한 연구가 진행되었다. Lu *et al.*[7]은 무선 애드혹 네트워크의 지연을 줄임과 동시에 오버헤드를 합리적으로 낮추기 위한 인접 지식 기반 브로드캐스트 방식을 제안하였다. 이 방식에서는 1홉 이웃 정보를 수집하기 위해 Hello 메시지를 교환하며, 수집된 정보는 재전송 확률과 지연을 적응적으로 조정된다. 또한 속도 기반 데이터 메커니즘을 제안하여 이웃 지식 기반 브로드캐스트 방식을 확장하여 대기 시간을 줄이는 방식을 사용하였다. Jin *et al.*[8]은 무선 애드혹 네트워크에서 브로드캐스트 폭풍에 의해 발생할 수 있는 통신 오버헤드와 종단 간 지연을 감소시키기 위한 카운터 기반 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 CSMA 기반 정적 다중 홉 애드혹 네트워크에서 이웃 정보를 기반으로 노드에서 전달 임계값을 동적으로 계산하도록 설계되었다. Chao *et al.*[9]은 무선 센서 네트워크에서 제한된 배터리 용량을 가진 센서 노드를 효율적으로 구동하기 위한 에너지 효율적인 브로드캐스트 방식을 제안하였다. 링크가 불안정한 낮은 반복 사이클 기반의 무선 센서 네트워크에서 노드가 동시에 활성화되지 않고 모든 활성 노드에 전송이 도달하지 못할 때 브로드캐스트 방식을 제안하였다. Acharya *et al.*[10]은 에너지 제약이 있는 정적 무선 애드혹 네트워크에서 연속적인 브로드캐스트 세션의 수로 네트워크 수명을 최대화하는 알고리즘을 제안하였다. 물리 계층에서 세 가지 다른 신호 전송 방식을 고려하여 브로드캐스트 요청을 지원하는 에너지 인식 스페닝 트리 구성 방식으로 설계하였다.

III. 문제 정식화

본 논문은 브로드캐스트 전송 방식의 무선 애드혹 네트워크에서 전송 에너지를 최소화하고 네트워크 수명을 최대화하기 위한 최적화 문제로 정식화한다. 본 논문에서 제안된 타부서치 알고리즘의 네트워크 모델은 다음과 같다. 네트워크 모델은 비방향성 그래프로써 $G(V, L)$ 로 나타내며, 노드의 집합 V 는 n 개의 노드를 가진 집합을 의미하며, 링크의 집합 L 은 m 개의 링크로 이루어진 집합을 뜻한다. 모든 노드에 대하여 각 노드는 최대 전송 거리를 가지며, 본 논문에서의 최대 전송 거리는 모두 동일하다고 가정한다. 2개의 노드 v_1 과 v_2 에 대하여 v_1 이 v_2 로 브로드캐스트 전송 시에 필요한 전송 에너지는 cD_{12}^a 에 비례하는 전송 에너지 모델을 적용한다. 여기서 c 는 상수, a 는 경로 손실 지수이며, D_{12} 는 두 노드 사이의 유클리드 거리를 나타낸다[5]. 노드 간의 거리를 제외한 나머지 에너지 손실은 없는 것으로 가정할 때, 주어진 문제는 각 노드의 전송 에너지 p_{ij} 의 합으로 나타낼 수 있다. 따라서 무선 브로드캐스트 애드혹 네트워크에서 전송 에너지의 최소화과 네트워크 수명을 최대화하는 문제는 조합 최적화로 정식화할 수 있으며, 목적함수는 다음과 같다.

최소화

$$\sum_{(i,j) \in L} p_{ij} z_{ij} \quad (1)$$

따라서

$$p_{ij} = cD_{ij}^a \quad (2)$$

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3)$$

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if link}(i,j) \text{ is chosen} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

식 (1)은 무선 애드혹 네트워크에서 소스 노드에서 모든 노드로 브로드캐스트하는데 필요한 전체 전송 에너지를 최소화하는 목적함수를 나타낸다. 식 (2)는 노드 i 가 노드 j 로 직접 브로드캐스트 전송하는데 요구되는 전송 에너지를 나타낸 것이며, 이때 a 는 일반적으로 통신 채널에 따라 달라지며 일반적으로 1에서 4 사이의 값을 가진다. (3)은 두 노드 사이의 유클리드 거리를 나타낸

다. 여기서, x 와 y 는 노드의 위치를 나타낸다. 식 (4)에서 z_{ij} 는 링크(i, j)가 명시적인 브로드캐스트 링크일 경우 1을 가지고, 그렇지 않으면 0을 가지는 이진 변수이다.

IV. 제안된 타부서치 알고리즘

이번 장에서는 브로드캐스트 전송 방식을 사용하는 무선 애드혹 네트워크에서 전송 에너지를 최소화하고 네트워크 수명을 최대화하는 제안된 타부서치 알고리즘에 대하여 자세히 기술한다. 제안된 타부서치 알고리즘의 전체 과정은 다음과 같다.

1. Generate an initial solution: S_0
2. $S_{current} \leftarrow S_0$
3. Insert S_0 into tabulist
4. **while not** the maximum number of iterations
5. Operate the remove move
6. Operate the replace move
7. Choose a best solution: S_{best}
8. **while not** isTabulist(S_{best})
9. Choose a next solution
10. **if** $S_{best} > S_{current}$
11. $S_{current} \leftarrow S_{best}$
12. Insert S_{best} into tabulist
13. **return** S_{best}

앞서 기술한 타부서치 알고리즘 동작 과정은 다음과 같다. 알고리즘에 동작하는 해를 구성하기 위해 먼저 주어진 문제에 따라 해의 구조를 적절히 설계한다. 해의 구조가 설계되면 주어진 문제의 제약 조건에 맞게 초기 해 S_0 를 생성한다. 타부서치 알고리즘에서는 하나의 초기해를 사용하여 인접해를 생성한다. 일반적으로 초기해는 제약 조건에 맞게 무작위 방식으로 생성하지만, 필요에 따라 최적해에 빠르게 도달하기 위해 휴리스틱 기법을 사용하여 초기해를 생성한다. 생성된 초기해는 현재해 $S_{current}$ 로 저장되고, 메모리 구조를 가진 타부리스트에 저장한다. 다음은 현재해를 사용하여 인접해 생성 방식에 따라 새로운 인접해들을 생성하고, 그중 가장 성능이 우수한 해 S_{best} 를 하나 선택한다. 선택된 해는 타부리스트에 저장된 해와 비교하여 타부리스트에 있으면,

인접해 생성방식에 의해 생성된 해 중 다음으로 성능이 좋은 해를 선택한다. 이러한 동작을 타부리스트에 저장되지 않은 해가 나올 때까지 반복한다. 선택된 해가 현재해보다 성능이 우수할 경우 선택된 해는 현재해로 저장하고, 타부리스트에 저장한다. 선택된 해는 새로운 인접해를 생성하기 위한 현재해로 사용되고, 이러한 동작을 종료 기준에 도달할 때까지 반복하여 최종해를 도출한다.

4.1. 해의 구조 설계

타부서치 알고리즘에 적용되는 해를 생성하기 위해 먼저 해의 구조를 설계한다. 메타휴리스틱에서 해의 구조는 일반적으로 이진 스트링 방식을 많이 사용하지만, 정숫값을 이용한 해의 구조 방식이 조합 최적화에 더 효과적일 수 있다. 제안된 타부서치 알고리즘에 사용되는 해의 구조에서도 정수를 가진 인코딩 방식을 적용한다. 제안된 타부서치 알고리즘에 대한 해의 구조는 그림 1과 같다. 해에서 기본적인 구성요소는 송신 노드와 수신 노드, 노드 간에 사용되는 전송 에너지로 구성되며, (sender, receiver, power) 형식으로 표현한다. 하나의 해는 소스 노드에서 시작하여 모든 노드가 수신되는 될 때까지 3개의 값을 가진 기본 구성요소들로 이루어진다.

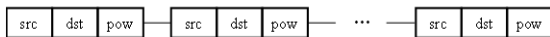


Fig. 1 Solution structure

4.2. 초기해 생성

제안된 타부서치 알고리즘에서 최적해를 구하기 위해 앞서 기술한 해의 구조에 따라 제약식을 만족하는 초기해를 랜덤하게 한 개 생성한다. 즉 소스 노드에서 모든 다른 노드로 데이터를 전송할 수 있을 때까지 초기해를 구성한다. 이때 무선 애드혹 네트워크에서 브로드캐스트 전송 방식을 사용함으로써 인하여 한 번의 전송으로 인접한 모든 노드로 데이터를 전송할 수 있어서 송수신 노드 유무를 검사하기 위해 별도의 리스트를 사용한다. 송신 노드로 사용되면 리스트 *S*에 저장하고, 수신 노드로 사용되면 리스트 *R*에 저장한다. 초기해를 구성하는 동작은 다음과 같다.

단계 1: 소스 노드를 송신 노드로 결정하고 송신 노드의 전송범위 내에 있는 인접 노드 한 개를 랜덤하게 선택하여 수신 노드로 결정한다. 송신 노드는 리스트 *S*에

저장하고, 선택된 수신 노드와 전송범위 내의 인접한 모든 노드를 리스트 *R*에 저장한다.

단계 2: 리스트 *R*에 포함된 노드 중 하나를 송신 노드로 선택하고, 송신 노드의 전송범위 내에 있는 인접 노드 중 리스트 *S*와 *R*에 없는 노드 중 하나를 수신 노드로 결정한다. 송신 노드는 리스트 *S*에 저장하고, 선택된 수신 노드와 전송범위 내의 인접한 모든 노드를 리스트 *R*에 저장한다.

단계 3: 네트워크에 있는 모든 노드가 리스트 *R*에 포함될 때까지 단계 2를 반복한다.

그림 2는 6개의 노드를 가진 네트워크에서 생성된 초기해를 나타낸 것이다. 노드 A가 소스 노드이며, 노드 A가 노드 D로 브로드캐스팅함으로써 인접한 노드 B도 수신함을 나타낸다. 즉 실선은 명시적인 브로드캐스트를 나타내고, 점선은 묵시적인 브로드캐스트를 나타낸다. 노드 D는 노드 E로 전송하고, 노드 B는 노드 F로 전송함으로써 모든 전송이 완료된다. 그림 2에서의 해는 전송 에너지를 생략한 구조이다.

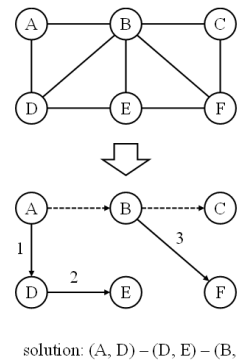


Fig. 2 Network Example and initial solution

4.3. 인접해 생성방식

앞서 기술한 초기해 생성방식으로 하나의 초기해를 생성한 후, 인접해 생성방식을 사용하여 인접한 해들을 생성한다. 타부서치 알고리즘은 초기해를 이용하여 인접해를 생성하고, 인접해 중에서 이전에 선택된 적이 없는 성능이 가장 우수한 해를 반복적으로 선택함으로써 최적해에 도달하는 방식을 사용한다. 따라서 초기해를 이용한 인접해를 생성하는 것은 타부서치에서 중요한 역할을 한다. 제안된 타부서치 알고리즘에서는 2가지의

인접해 생성방식을 제안한다. 첫 번째는 해의 구성요소 중 하나의 링크를 제거하는 삭제이동(delete move)과 하나의 링크를 다른 링크로 교환하는 교환이동(replace move)이다.

삭제이동은 현재의 해의 구성요소에서 임의의 링크 하나를 제거하는 방식이다. 그림 3은 그림 2에서 나타낸 네트워크와 생성된 초기해를 사용하여 삭제이동을 적용한 예이다. 삭제이동이 진행되는 과정은 다음과 같다. 먼저 초기해에서 첫 번째 구성요소인 링크 (A, D)를 삭제한다. 링크를 삭제한 후, 해는 (D, E) - (B, F)가 되며, 이 해는 모든 노드에 데이터를 전송할 수 없는 불능(infeasible) 상태의 해가 된다. 따라서 가능(feasible) 상태의 해를 만들기 위해 제안된 타부서치 알고리즘에서는 복구 함수를 통해 모든 노드로 데이터를 전송할 수 있도록 복구한다. 현재 상태는 소스 노드인 A가 데이터를 전송하지 않는 상태이다. 따라서 노드 A를 송신 노드로, 노드 B 또는 D를 수신 노드로 하는 링크를 선택하여 가능 상태의 해를 만들어준다. 그림 3에서는 링크 (A, B)를 선택하여 가능 상태의 해를 완성한다.

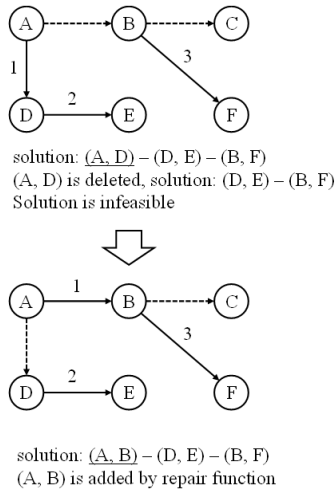


Fig. 3 Delete move

다음으로 교환이동은 현재 초기해의 구성요소 중 임의의 링크를 다른 링크로 교환하는 방식이다. 그림 4는 그림 2의 네트워크와 초기해에 대하여 교환이동을 적용한 예이다. 교환이동은 다음과 같이 동작한다. 먼저 초기해의 첫 번째 구성요소인 링크 (A, D)가 선택되면, 노

드 A와 인접한 노드를 탐색한다. 즉 노드 A의 인접 노드는 노드 B와 D이므로 노드 B를 선택하여 링크 (A, B)로 교환한다. 링크를 교환한 후, 해는 (A, B) - (D, E) - (B, F)가 되며, 이 해는 가능 상태의 해가 된다. 하지만 브로드캐스트 특성에 따라 링크 (A, B)로 인해 노드 D는 데이터를 수신할 수 있으며, 링크 (D, E)로 인하여 노드 F도 데이터를 수신할 수 있다. 따라서 링크 (B, F)는 해에서 제거될 수 있다. 따라서 교환이동으로 생성된 해는 (A, B) - (B, F)가 된다.

일반적으로 노드의 수가 많은 대규모 네트워크에서는 인접한 노드의 수가 많아짐에 따라 인접해 생성방식을 적용할 때 선택할 노드가 많아진다. 본 논문에서 제안된 인접해 생성방식에서는 네트워크의 수명을 높이기 위해 노드를 선택할 때 남은 에너지가 많은 노드를 먼저 선택한다. 앞서 기술한 삭제이동과 교환이동에서도 인접 노드 중에서 하나의 노드를 선택할 때 에너지가 많은 노드를 먼저 선택함으로써 네트워크 수명을 줄이는 방식을 사용한다.

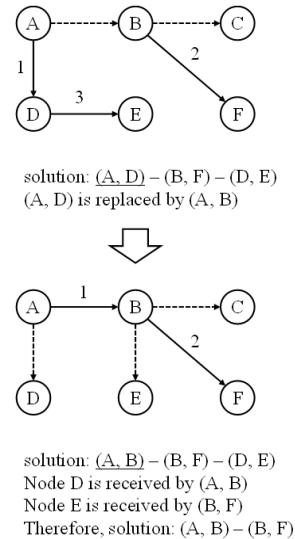


Fig. 4 Replace move

4.4. 타부리스트

타부서치 알고리즘은 최적해 탐색 과정에서 중복되는 해를 선택하지 않기 위해 타부리스트라는 메모리를 사용한다. 타부리스트는 인접해 생성과정에서 이전에 생성된 가장 좋은 해로 선택되어 다시 같은 인접해를 생

성함으로써 지역해에 빠지는 문제를 막기 위한 것이다. 이와 더불어 매번 새로운 해를 이용하여 인접해를 생성함으로써 탐색 영역을 확장하여 검색되지 않은 영역을 탐색하도록 하는 장점이 있다. 타부리스트는 고정 또는 동적 크기를 사용할 수 있다. 본 논문에서는 동적 크기의 타부리스트를 사용하며, 인접해 생성 주기 10번마다 $[n/10, n/5]$ 사이로 크기를 변경시킨다. 타부리스트는 유한한 크기를 가짐으로 인해 타부리스트가 가득 찰 경우, 가장 먼저 입력된 해를 제거하고 새로운 해를 추가한다.

4.5. 알고리즘 종료

제안된 타부서치 알고리즘의 종료는 반복되는 진행 횟수에 의해 결정된다. 알고리즘에서 종료 횟수를 미리 결정하고, 새로 도출된 인접해가 이전에 생성된 최적해보다 좋지 않은 결과가 연속적으로 나타난 횟수가 미리 정해진 진행 횟수에 도달하면 알고리즘은 종료한다.

V. 성능평가

본 논문에서는 제안된 타부서치 알고리즘에 대하여 다른 메타휴리스틱 알고리즘과 성능을 비교 평가하였다. 성능평가는 컴퓨터 시뮬레이션으로 진행되었으며, C++ 언어로 구현된 시뮬레이션 프로그램을 사용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 8GB 메모리와 3.6GHz CPU로 구성된 윈도우10 운영체제에서 수행되었다. 시뮬레이션의 평가 항목은 하나의 소스 노드에서 모든 다른 노드로 브로드캐스트될 때 소모된 전송 에너지와 네트워크에서 노드의 에너지가 모두 소실되는 첫 번째 노드의 시점, 알고리즘 실행 시간이며, 각 항목에 대하여 다른 메타휴리스틱 방식인 시뮬레이티드 어닐링 (simulated annealing) 및 유전 알고리즘(genetic algorithm)과 비교 평가하였다.

본 논문에서 실행한 컴퓨터 시뮬레이션의 네트워크 환경은 다음과 같이 설정하였다. 네트워크의 크기는 100×100 으로 구성되며, 노드는 무작위로 배치하였다. 노드의 수는 200에서 1000까지 200씩 증가시켜 다양한 노드의 밀도를 가진 네트워크를 구성하였다. 노드의 전송범위, r 는 15, 20, 25로 설정하였으며, 모든 노드는 같은 전송범위를 가진 것으로 가정하였다. 본 논문에서 수행한 성능평가는 각각의 알고리즘을 10번씩 동작시켰

으며, 평균과 표준편차로 결과를 나타내었다.

그림 5는 무선 애드혹 네트워크에서 노드 수를 다르게 설정했을 때, 소스 노드에서 모든 노드로 데이터를 전송할 때 소모되는 모든 노드의 전송 에너지를 비교한 것이다. 그림에서 전송범위와 관계없이 제안된 타부서

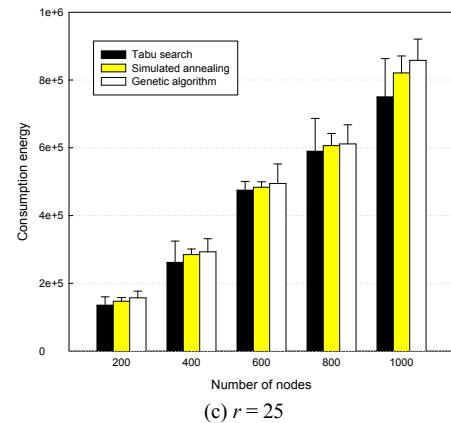
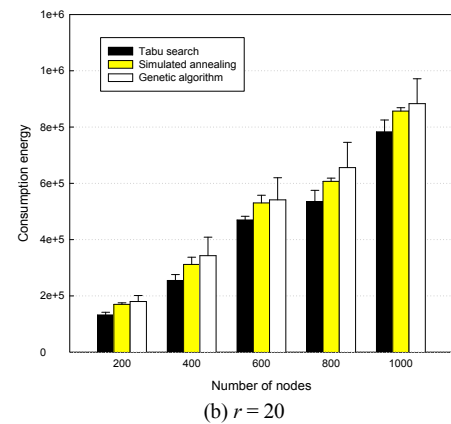
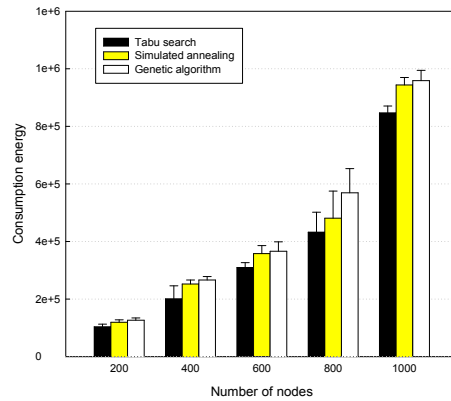


Fig. 5 Consumption energy

치 알고리즘이 다른 메타휴리스틱 알고리즘과 비교해 더 적은 전송 에너지 소모를 하고 있음을 볼 수 있다. 다시 말해서 같은 종류의 메타휴리스틱 알고리즘보다 제안된 타부서치 알고리즘이 더 우수한 성능을 나타냄을 볼 수 있다. 성능이 우수한 이유는 제안된 타부서치 알고리즘의 인접해 생성방식이 효율적으로 동작함으로써 결과가 우수한 해에 수렴하기 때문이다. 즉 제안된 인접해 생성방식인 삭제이동과 교환이동이 지역해에 빠지지 않고 검색영역을 효율적으로 탐색하였기 때문이다.

그림 6은 앞서 기술한 네트워크 환경에서 브로드캐스트가 전송된 후 노드의 에너지가 모두 소모되어 첫 번째로 모든 에너지를 소모한 노드가 발생한 시점을 비교한 것이다. 본 논문에서는 모든 노드의 초기 에너지를 1,000으로 설정하고, 수식 (2)에서 정의된 a 와 c 는 일반적으로 많이 적용하는 1로 설정하였다. 시뮬레이션은 소스 노드에서 모든 노드로 브로드캐스트되는 시점을 한 주기로 정의하고, 에너지를 모두 소모하는 시점을 결과로 나타낸 것이다. 결과에서 제안된 타부서치 알고리즘이 다른 메타휴리스틱 알고리즘보다 더 낮은 시점에서 에너지를 모두 소모한 첫 번째 노드가 발생하였다. 즉 에너지가 모두 소실되는 노드가 발생하면 네트워크의 전송 경로가 끊어지는 경우가 발생하고 네트워크의 유지가 어려워지는 결과가 발생한다. 따라서 제안된 타부서치 알고리즘이 네트워크의 수명을 오래 유지할 수 있도록 노드의 에너지를 효율적으로 관리하고 있다.

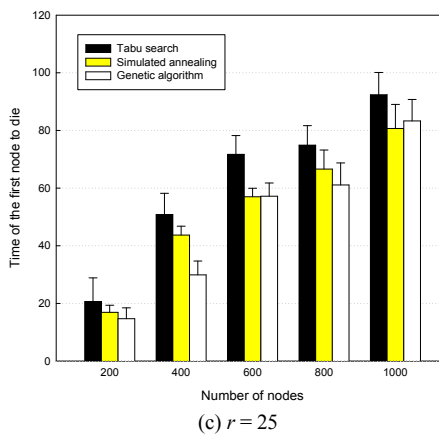
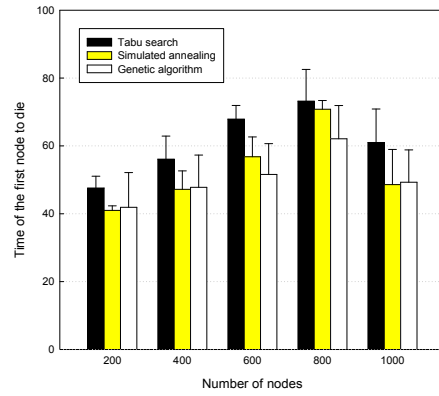
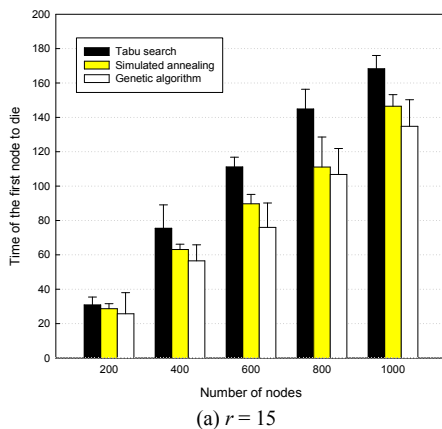


Fig. 6 Time of the first node to die

그림 7은 각 알고리즘에 대하여 시뮬레이션 실행 시간을 비교한 것이다. 그림에서 나타나듯이 각 알고리즘의 실행 시간은 전송범위와 관계없이 비슷한 결과를 나타내고 있다. 노드의 수가 증가함에 따라 실행 시간은 모든 알고리즘에서 증가하고 있지만, 제안된 타부서치 알고리즘은 다른 메타휴리스틱 알고리즘과 비교해 실행 시간은 비슷하지만 우수한 성능을 나타내고 있다. 결론적으로 본 논문에서 제안한 타부서치 알고리즘이 비슷한 실행 시간에서 에너지 소모를 줄임으로써 네트워크의 수명을 효과적으로 연장해 주고 있었다.



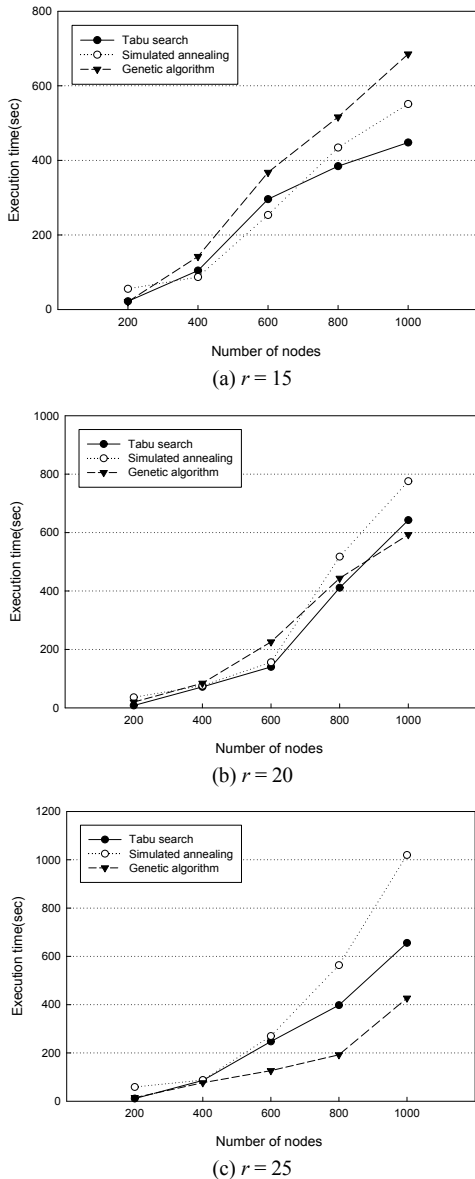


Fig. 7 Execution time

VI. 결론

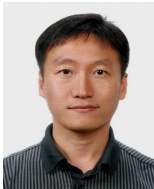
본 논문은 브로드캐스트 전송 방식을 사용하는 무선 애드혹 네트워크에서 모든 노드의 전송 에너지의 합을 최소화하고 첫 번째 노드의 소실이 일어나는 네트워크

수명을 최대화하는 최적화 알고리즘을 제안하였다. 제안된 최적화 알고리즘은 메타휴리스틱 방식인 타부서치 알고리즘을 사용하였으며, 노드의 전송 에너지를 최소화함과 동시에 네트워크 수명을 최대화하도록 설계하였다. 제안된 타부서치 알고리즘은 효율적인 동작을 위해 해의 구조를 우선 설계하였고, 제약식을 만족하는 하나의 초기해를 생성하였다. 최적해를 탐색하기 위해 2가지의 인접해 생성방식인 삭제이동과 교환이동을 제안하였으며, 이를 이용하여 인접해를 탐색하였다. 제안된 타부서치 알고리즘은 소모된 전송 에너지와 최초 소실 노드 시점, 알고리즘 실행 시간 관점에서 다른 메타휴리스틱 방식인 시뮬레이티드 어닐링 및 유전 알고리즘과 비교 평가하였다. 성능평가 결과에서 제안된 타부서치 알고리즘이 다른 알고리즘보다 적은 전송 에너지 소모로 인해 전체적으로 네트워크 수명을 늘리고 있음을 알 수 있었다. 결론적으로 제안된 타부서치 알고리즘이 브로드캐스트 전송 방식의 무선 애드혹 네트워크에서 소모되는 전송 에너지를 줄임과 동시에 네트워크 수명을 늘리는 데 효과적으로 동작할 수 있음을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] K. Giridhar, C. Anbuananth, and N. Krishnaraj, "Research on various routing techniques in wireless ad-hoc networks," *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 744-777, Jun. 2019.
- [2] N. C. Onuekwusi and C. R. Okpara, "Wireless sensor networks (WSN): an overview," *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, vol. 64, no. 1, pp. 53-63, Jan. 2020.
- [3] Z. Lipinski, "Routing algorithm for maximizing lifetime of wireless sensor network for broadcast transmission," *Wireless Personal Communications*, vol. 101, pp. 251-268, May. 2018.
- [4] M. Chekhar, K. Z. Dine, M. Bakhouya, A. Aaround, and D. E. Ouadghiri, "An Efficient Broadcasting Scheme in Mobile Ad-Hoc Networks," *Procedia Computer Science*, vol. 98, pp. 117-124, Sep. 2016.
- [5] F. Glover, "Tabu search - part I," *ORSA Journal on Computing*, vol. 1, no. 3, pp. 190-206, Aug. 1989.
- [6] F. Glover, "Tabu search - part II," *ORSA Journal on*

- Computing*, vol. 2, no. 1, pp. 4-32, Feb. 1990.
- [7] D. Lu and S. Dong, "A neighbor knowledge and velocity-based broadcast scheme for wireless ad hoc networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 13, no. 11, pp. 1-14, Nov. 2017.
- [8] S. Jin and M. Chengqian, "Dynamic Counter Angle-Based Broadcasting in CSMA-Based Wireless Networks," *Journal of Communications*, vol. 13, no. 9, pp. 490-497, Sep. 2018.
- [9] C. M. Chao and C. Y. Huang, "Supporting energy efficient broadcast with unreliable links for wireless sensor networks," *Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 25, no. 4, Jul. 2017.
- [10] T. Acharya and G. Paul, "Maximum lifetime broadcast communications in cooperative multihop wireless ad hoc networks: centralized and distributed approaches," *Ad Hoc Networks*, vol. 11, no. 6, pp. 1667-1682, Aug. 2013.



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