# Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 20, No. 8: 1444~1451 Aug. 2016

# 무선 애드 혹 네트워크에서 최소 에너지 협력 경로 문제를 위한 타부 서치 알고리즘

장길웅\*

# A Tabu Search Algorithm for Minimum Energy Cooperative Path Problem in Wireless Ad hoc Networks

# Kil-woong Jang\*

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

#### 요 약

본 논문에서는 무선 애드 혹 네트워크에서 협력 통신을 이용하여 소스 노드에서 목적 노드로 데이터를 전송함에 있어 필요한 에너지를 최소화하기 위한 타부 서치 알고리즘을 제안한다. 무선 애드 혹 네트워크에서 노드의 수가 증가함에 따라 노드 간 경로 설정을 위한 계산량은 급격히 늘어나게 된다. 본 논문에서는 노드 밀도가 높은 무선 애드 혹 네트워크에서 적정한 시간 내에 최적의 협력 통신 경로를 찾기 위한 타부 서치 알고리즘을 제안하며, 효율적인 검색을 위해 타부 서치 알고리즘의 효과적인 이웃해 생성 동작을 제안한다. 제안된 알고리즘은 소스 노드와 목적 노드간의 전송을 위한 최소 에너지와 실행시간 관점에서 성능을 평가하며, 평가 결과에서 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 성능이 우수함을 보인다.

#### **ABSTRACT**

This paper proposes a Tabu search algorithm to minimize the required energy to send data between a source and a destination using the cooperative communication in wireless ad hoc networks. As the number of nodes in wireless ad hoc networks increases, the amount of calculation for establishing the path between nodes would be too much increased. To obtain the optimal cooperative path within a reasonable computation time, we propose a new Tabu search algorithm for a high-density wireless network. In order to make a search more efficient, we propose some efficient neighborhoods generating operations of the Tabu search algorithm. We evaluate those performances through some experiments in terms of the minimum energy required to send data between a source and a destination as well as the execution time of the proposed algorithm. The comparison results show that the proposed algorithm outperforms other existing algorithms.

키워드: 무선 애드 혹 네트워크, 타부 서치, 협력 경로, 최소 에너지, 메타 휴리스틱

Key word: Wireless ad hoc networks, Tabu search, Cooperative path, Minimum energy, Meta-heuristic

Received 14 April 2016, Revised 18 April 2016, Accepted 03 May 2016

\* Corresponding Author Kil-woong Jang(E-mail:jangkw@kmou.ac.kr, Tel:+82-51-410-4375) Department of Data Information, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.8.1444

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/li-censes/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 무선 애드 혹 네트워크는 다양한 응용을 이용하여 공공부문과 군사적 목적으로 주목을 받아왔다. 무선 애드 혹 네트워크는 수많은 노드들로 구성되며, 이 노드는 데이터 처리기능, 메모리, 무선 통신 기능을 가지며, 짧은 거리의 무선 통신으로 노드 간에 연결이 이루어진다. 기존의 셀룰라 네트워크와 같은 인프라가 구축된 네트워크와 달리 노드 간의 통신은 다중 홉 통신으로 이루어지며, 중간 노드들이 데이터를 중계하는 방식으로 구성된다. 따라서 이러한 네트워크에서 제한된 에너지 자원을 가진 노드들의 에너지 효율은 네트워크 구성에 중요한 이슈가 된다[1].

협력 통신 방식은 다음 노드로 데이터 전송 시에 다수의 노드가 전송 신호를 협력하여 수신 노드로 전송하는 방식이다. 즉, 수신 노드는 수신 신호가 신호대 잡음 간섭비(signal to interference plus noise ratio: SINR)의한계점을 넘어서면 수신 가능하게 되는데, 이 한계점을 다수의 송신 노드의 송신 신호를 합침으로써 데이터 전송이 가능하게 하는 방식이다. 전통적으로 경로 설정방식은 경로의 홉 수, 경로 비용, 전송 지연 등과 같은 특정 기준에 의해 경로를 선택하였다. 기존의 경로 설정방식에서 네트워크 노드는 일반적으로 제한된 자원에 대해 경쟁을 하고 높은 네트워크 밀도로 인해 네트워크 혼잡이 발생하였다. 이러한 단점을 협력 통신에서는 장점으로 작용하여 노드들 간에 서로 협력하고, 결과적으로 더 많은 노드가 밀집한 네트워크일수록 더 높은 네트워크 성능을 올릴 수 있다.

본 논문에서는 노드 간에 경로 설정을 위해 협력 통신을 이용하여 에너지 소모를 최소화하는 최소 에너지 협력 경로 문제(minimum energy cooperative path problem)를 해결하기 위한 알고리즘을 제시한다[2]. 그림 1은 최소 에너지 협력 경로 문제를 나타내는 예이다. 4개의 노드로 구성된 애드 혹 네트워크에서 소스 노드에서 목적 노드로 데이터를 전송할 경우 S → A → D로 경로 설정될 수 있다. 이 때, 소스 노드의 전송 범위 내에 있는 노드 B는 소스 노드의 브로드캐스팅 방식에 의하여 소스 노드로부터 데이터를 수신할 수 있다. 결과적으로 목적 노드는 노드 A과 B로부터 협력 통신을 통해 데이터를 전송할 수 있게 된다. 따라서 단일 경로 전송방식보다 협력 경로 전송방식에 의하여 데이터를 전

송함으로써 에너지 효율을 증가시킬 수 있다.

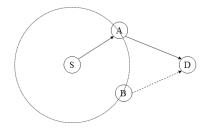


Fig. 1 Cooperative path

무선 애드 혹 네트워크에서 최소 에너지 협력 경로 문제는 조합 최적화 문제로서 NP-complete 문제로 증명되어 있다[2]. NP-complete 문제에 대하여 최적해를 찾는 알고리즘은 방대한 계산시간이 소요된다. 본 논문에서는 계산의 어려움과 계산량을 줄이기 위해 최적해를 찾는 대신 계산 시간은 줄이고 최적해에 가까운 해를 찾을 수 있는 메타 휴리스틱 알고리즘을 이용하여 문제를 해결한다. 즉, 무선 애드 혹 네트워크에서 최소에너지 협력 경로 문제에 대하여 메타 휴리스틱 알고리즘인 타부 서치 알고리즘을 제안한다. 효율적으로 좋은 결과를 얻기 위해 제안된 알고리즘에서는 새로운 이웃해 생성 방식을 제안하며, 제안된 알고리즘을 평가하기위해 다양한 조건하에서 데이터 전송 시에 소모되는 에너지와 알고리즘 실행시간 관점에서 기존의 다른 알고리즘과 비교 평가한다.

#### Ⅱ. 관련연구

무선 네트워크에서 최소 에너지 협력 경로 문제는 Khandani 등 [3]에 의해 제안되었으며, 다수의 휴리스틱 알고리즘이 최단 거리 알고리즘 기반으로 개발되었다. Khandani 등의 논문에서는 수정된 다익스트라 알고리즘을 이용하여 최단 경로를 구한 후 그 경로에 따라협력 통신을 사용하여 데이터를 전송하는 방식을 사용하고 있다. Catovic 등 [4]은 무선 멀티 홉 네트워크에서 사용자간의 협력을 통하여 전송을 수행하는 방식을 제안하였다. 이 논문에서는 m개의 핑거 RAKE 수신기를 사용하며, 각 핑거는 다른 송신기에서 보낸 신호를 수신하는 기능을 가진다고 가정하였다. 이것은 기존의 다

른 논문과는 다른 네트워크 모델에서 협력 통신 방법을 제안한 것이다.

에너지 효율을 높이기 위한 협력 통신과 유사한 여러 연구도 수행되었다. Wieselthier 등 [5], Calgalj 등 [1], Liang [6]은 무선 네트워크에서 브로드캐스팅 방식을 이용하여 에너지 소모를 최소화하는 알고리즘을 제안 하였다. Meng [7]은 에너지 소모를 최소화하기 위한 네트워크 토폴로지 구성 프로토콜을 제안하였으며, 이는 위치 기반의 분산 방식을 사용하고 있다. Wattenhofer 등 [8]은 무선 애드 혹 네트워크에서 방향 정보를 이용하여 에너지 효율을 높이기 위한 분산 방식의 토폴로지 제어 알고리즘을 제안하였다. Srinivas 등 [9]은 무선 애드 혹 네트워크에서 에너지 효율과 신뢰도를 높이기 위한 분리된 경로를 찾는 알고리즘을 제안하였다.

# Ⅲ. 문제의 정식화

제안된 알고리즘을 기술하기에 앞서 최소 에너지 협력 경로 문제를 정식화하기 위해 알고리즘에서 사용되는 기호를 우선 정의한다.

# Notations

- V Set of nodes
- E Set of links between nodes
- N Number of nodes
- S Source node
- D Destination node
- R Transmission range
- r Receiving node
- $t_i$   $i^{th}$  transmitting node
- $P_x$  Transmission energy from node x
- $P_{i,j}$  Required energy for point-to-point transmission between node i and j
- $P_{cp}$  Required energy for cooperative transmission
- $d_{i,j}$  Distance between node i and j

본 장에서는 무선 네트워크에서 협력통신방법을 이용하여 소스 노드에서 중간 노드들을 거쳐 목적 노드로데이터를 전송하는 데 사용되는 전체 에너지를 최소화하기 위한 네트워크 모델과 제약조건을 기술한다. 네트

워크 모델은 비방향성 그래프인 G = (V, E)로 나타낼 수 있으며, V는 소스 노드와 목적 노드를 포함한 모든 노드의 집합을 의미하며, E는 모든 노드간의 연결을 나타내는 링크의 집합을 의미한다. 각 링크의 길이는 노드의 전송거리보다는 짧거나 같아야 한다. 링크의 거리는 유클리드 거리함수에 의해 결정된다.

본 논문의 목적함수는 무선 네트워크에서 소스 노드와 목적 노드간의 전송 에너지를 최소화하는 것이다. 따라서 제안된 네트워크 모델에서 전송 에너지의 최소화를 위한 문제는 다음과 같은 목적함수를 최소화하는 조합 최적화 문제로 정식화할 수 있다.

최소화

$$\sum P_{x}, \ x \in \{S, t_{1}, t_{2}, ..., t_{k}, D\}$$
 (1)

$$P_{i,j} = d_{i,j}^{\lambda} \tag{2}$$

$$P_{cp} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{d_{t..r}^{\lambda}}}$$
(3)

식 (1)은 최소 에너지 협력 경로 문제에 대한 목적함수로써 소스 노드에서 목적 노드까지 협력통신을 이용하여 데이터를 전송하기 위해 필요한 전체 에너지를 나타낸 것이다. 식 (2)는 하나의 송신노드만을 가질 경우의 전송 에너지로써 두 노드간의 거리  $d_{i,j}$ 에  $\lambda$ 제곱으로 결정된다. 이 때  $\lambda$ 는 일반적으로 2에서 4사이의 값이 되며, 본 논문에서는 2를 사용하였다. 즉, 하나의 송신 노드인 노드 i에서 노드 j로 데이터를 전송하기 위해 필요한 에너지를 의미한다. 식 (3)은 협력통신방법을 이용하여 인접한 노드로 데이터를 전송하기 위해 필요한 에너지를 나타낸 식이다. 즉, 수신 노드 r에 대하여 인접한 노드인  $t_1, t_2, ..., t_m$ 이 협력통신방법으로 데이터를 전송하는 데 필요한 전체 에너지를 나타낸다.

# Ⅳ. 제안된 타부 서치 알고리즘

이 장에서는 제안된 문제에 대한 타부서치 알고리즘에 대하여 기술한다. 제안된 타부 서치 알고리즘은 다음과 같은 순서로 진행된다.

단계 A. 해(solution)의 인코딩 설계

단계 B. 초기 해 생성

단계 C. 다음 세대 생성

- a. 이동(move)에 의한 인접해 생성
- b. 가장 우수한 해 선택
- c. 타부리스트 갱신

단계 D. 정지 기준을 만날 때까지 단계 C을 반복

해를 결정하기 위해 인코딩 설계가 우선적으로 이루 어진다. 설계된 인코딩에 따라 프로그램 코딩과 알고리 즘의 성능이 달라질 수 있기 때문에 최적의 해를 찾기 위한 해의 인코딩은 중요한 역할을 한다. 해에 대한 인 코딩이 설계되면 제약식을 만족하는 한 개의 초기해를 랜덤하게 생성한다. 초기해는 메모리 리스트인 타부리 스트에 저장되고 최적해로 일단 저장된다. 다음 세대를 생성하기 위해 초기해에 대하여 다양한 이동 방법에 사 용하여 인접해를 생성한다. 생성된 인접해 중에 타부리 스트에 저장되어있지 않은 해 중에 가장 우수한 해를 선택하여 타부리스트에 저장하고 현재 최적해와 비교 한다. 비교된 결과에서 새로운 해가 현재 최적해보다 더 좋은 값을 가질 경우 이 해를 최적해로 바꾸고 이 최 적해를 이용하여 다음 세대의 인접해 생성을 위해 사용 한다. 만약 현재 최적해보다 새로운 해의 결과가 좋지 않을 경우에는 그 해를 최적해로 저장하지 않고 다음 세대의 인접해 생성을 위해서만 사용한다. 이런 절차에 의해 정지 기준을 만날 때까지 인접해 생성 과정을 반 복하여 최종적으로 최적해를 찾아낸다.

본 논문에서 제안된 타부서치 알고리즘은 분산방식이 아닌 중앙집중식방식으로 모든 노드의 위치를 미리인식한 상태에서 메타휴리스틱 방식인 타부서치를 이용하여 최적의 해를 구한다. 따라서 이전에 모든 노드의 위치를 미리 파악한 상태에서 알고리즘이 수행된다.

#### 4.1. 해 인코딩

제안된 알고리즘에서는 소스 노드에서부터 목적 노드까지의 경로에서 소스 노드와 목적 노드, 중간 수신 노드들의 좌표를 해의 인코딩으로 사용한다. 그림 2는 소스 노드에서 목적 노드까지의 경로에 있는 모든 수신 노드의 좌표로 구성된 해의 인코딩을 나타낸 것이다. 그림에서 S는 소스 노드, D는 목적 노드를 의미하며,  $r_1$ ,  $r_2$ , ...,  $r_k$ 은 경로 상에서 데이터를 수신한 모든 노드를

나타낸다.

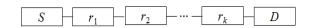


Fig. 2 Solution encoding

# 4.2. 초기해 생성

제안된 해 인코딩 방식을 이용하여 타부 서치 알고리 즘에 적용할 초기해를 생성한다. 본 논문에서 사용한 초기해 생성은 다음과 같다.

단계 A. 최단 거리 알고리즘을 이용하여 임의의 경로를 설정한다.

단계 B. 경로 상에서 소스 노드 S에서 다음 노드로 브로 드캐스팅한다. 이때 소스 노드로부터 수신한 모든 노드와 소스 노드는 집합 T에 포함시킨다.

단계 C. 경로 상의 그 다음 노드 A부터는 집합 T에 포함된 노드 중에 A로 전송할 수 있는 노드로부터 협력 통신을 이용하여 데이터를 수신한다. 다음 노드를 위해 A도 집합 T에 있는 포함시킨다.

단계 D. 목적 노드까지 위의 절차를 수행한다.

생성된 초기해는 타부리스트에 저장되고 최적해로 저장한다. 생성된 초기해에 대하여 목적 함수를 이용하 여 전송 에너지를 계산한다.

#### 4.3. 이동

이동은 현재해에서 새로운 해를 생성하기 위해 인접 해를 생성하는 것이다. 제안된 타부 서치 알고리즘의 이동방법은 현재해의 모든 요소에 대하여 순차적으로 적용된다. 제안된 타부 서치 알고리즘에서는 다음과 같 은 3가지의 이동방식을 사용한다.

첫째, 이전 노드가 전송할 수 있고 다음 노드로 전송할 수 있는 노드로 대체하는 대체 이동

둘째, 현재 노드에서 전송할 수 있고 다음 노드로 전송 할 수 있는 노드를 추가하는 추가 이동

셋째, 이전 노드에서 다음 노드로 전송할 있을 경우 현 재 노드를 삭제하는 삭제 이동

그림 3은 하나의 현재해에서 발생할 수 있는 3가지의 이동방식에 대한 예를 나타낸 것이다. 그림 3(a)는 6개의 노드로 구성된 네트워크에서 노드 A에서 노드 F로

데이터를 전송하는 구조이다.

노드 A는 노드 B로 데이터를 전송하고 이때 노드 A 의 전송 범위 내에 있는 노드 C도 데이터를 수신한다. 따라서 노드 B가 노드 D로 데이터를 전송할 경우 노드 B와 노드 C는 노드 D로 협력 통신을 하여 데이터를 전 송한다. 이러한 협력 통신 방식을 이용하여 목적 노드 인 노드 F까지 데이터를 전송하게 된다. 그림 3(b)는 그 림 3(a)의 해에서 노드 B대신 노드 C로 대체된 대체 이 동을 나타낸 것이다. 대체 이동은 노드 B의 이전 노드인 노드 A가 데이터를 전송할 수 있고 노드 B의 다음 노드 인 E로 데이터를 전송할 수 있는 노드 C를 대체 노드로 선택하여 노드를 대체하는 방식이다. 그림 3(c)는 그림 3(a)의 해에서 노드 B에서 전송할 수 있고 노드 B의 다 음 노드로 전송할 수 있는 노드인 노드 C를 노드 B 다음 에 추가하는 추가 이동을 나타낸 것이다. 그림 3(d)는 임의의 노드에서 그 노드를 삭제할 경우 삭제된 노드의 이전 노드에서 다음 노드로 전송할 있을 경우 임의의 노드를 삭제하는 삭제 이동을 나타낸 것이다. 하지만 실제 네트워크에서 발생하는 경로는 위의 경우가 많이 발생하지 않는다. 따라서 제안된 알고리즘에서는 임의 의 노드를 삭제하여 경로가 단절된 경우 복구 함수를 이용하여 끊어진 경로를 연결하는 방법을 수행하였다. 그림 3(d)에서 노드 B를 삭제할 경우 경로가 두 부분으 로 단절된다.

이럴 경우 두 부분을 연결할 수 있는 임의의 노드를 선택하여 경로를 연결한다. 제안된 타부 서치 알고리 즘은 위에서 언급한 3가지 이동방식을 적용하여 다양 한 형태의 이웃해를 생성하여 최적에 가까운 해를 찾 는다.

#### 4.4. 타부리스트

타부리스트는 반복되는 해를 방지하고 탐색되지 않은 수많은 해의 영역을 검색할 수 있도록 해 주는 메커니즘 중 하나이다. 특히 동적 크기의 타부리스트는 NP-hard 문제에 대하여 더 좋은 결과의 해를 검색하는 데 중요한 역할을 한다. 제안된 알고리즘에서는 N개의 노드에 대하여 타부리스트의 크기를 매 20번 주기마다 N/20과 N/10사이의 값으로 변화시킨다. 타부리스트가 가득 찰 경우, 가장 오래된 해를 삭제하고 새로운 해를 추가한다.

#### 4.5. 정지 기준

제안된 타부 서치 알고리즘의 정지 기준은 미리 정해 진 진행 횟수에 의해 결정된다. 즉 현재해에 대하여 제 안된 이동방식을 진행한 후 새로운 최적해가 연속적으 로 발생되지 않는 횟수가 정해진 횟수만큼 진행되면 제 안된 알고리즘은 멈춘다.

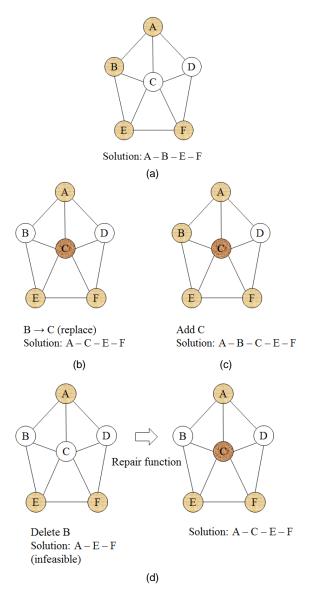


Fig. 3 Move methods of the proposed algorithm (a) current solution (b) replace move (c) add move (d) delete move

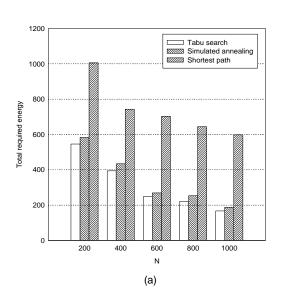
# Ⅴ. 성능평가

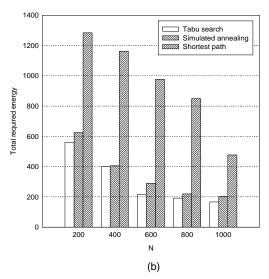
본 논문에서는 최소 에너지 협력 경로 문제에 대한 제안된 타부 서치 알고리즘의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 평가하였다. 모든 실험은 Windows OS 기반의 4GB 메모리와 2.67GHz Intel processor로 구성된 PC상에서 수행되었으며, 각 알고리즘은 C++ 언어를 이용하여 구현되었다.

구현된 시뮬레이션은 앞서 제안된 초기해 생성을 시작으로 이웃해 생성, 타부 리스트 등 알고리즘에서 제안된 기능을 구현하였다. 제안된 알고리즘의 성능을 비교평가하기 위해 소모된 전송에너지와 알고리즘 실행시간 관점에서 단일 전송 방식의 최단 거리 알고리즘과 제안된 알고리즘과 유사한 메타 휴리스틱 방식인 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 제안된 타부 서치 알고리즘과 비교하였다.

성능평가는  $100 \times 100$  크기의 2차원 네트워크에서 다양한 수를 가진 노드를 랜덤하게 배치하여 수행하였 다. 이때 노드의 개수(N)는 200, 400, 600, 800, 1000개 로 구성하였으며, 노드의 전송범위(R)는 10, 15, 20으로 설정하였다. 각 알고리즘은 10번씩 시도하여 평균값으 로 결과로 나타내었다.

그림 4는 노드 수와 전송 반경을 증가함에 따라 소스 노드에서 목적 노드로 데이터 전송 시 소모되는 전체 에너지를 비교한 것이다.





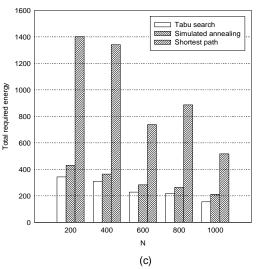


Fig. 4 Total consumed energy (a) R=10 (b) R=15 (c) R=20

그림에서 제안된 타부서치 알고리즘이 가장 성능이 우수함을 볼 수 있다. 그림 4(a)에서 N이 200일 때 제안된 타부서치는 546, 시뮬레이티드 어닐링은 583, 최단 거리 알고리즘은 1006을 나타내고 있다. 나머지 N에 대해서도 비슷한 결과를 나타내고 있으며, 제안된 알고리즘이 시뮬레이티드 어닐링에 비해 10%, 최단 거리 알고리즘에 비해 약 2배의 높은 성능을 보이고 있다.

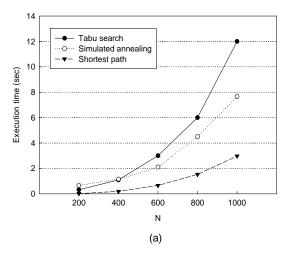
그림에서 단일 전송을 사용하는 최단 거리 알고리즘에 비해 협력 통신을 사용하는 방식이 우수함을 볼 수 있으며, 같은 메타 휴리스틱 방식인 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘에 비해 제안된 타수 서치 알고리즘이 다소성능이 우수함을 볼 수 있다.

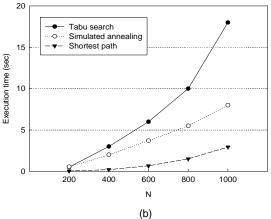
이것은 제안된 알고리즘의 검색 방법이 더 좋은 결과를 찾고 있음을 보이는 것이다. 제안된 타부 서치 알고리즘이 기존의 검색 방식보다 성능이 우수한 이유는 기존의 검색 방식은 로컬 최적해에 더 빨리 수렴한 반면에 제안된 알고리즘은 보다 향상된 결과를 가진 해에서수렴하기 때문이다. 즉, 제안된 타부 서치 알고리즘의이웃해 생성방식인 대치 이동, 추가 이동, 삭제 이동이효과적으로 동작하고 있음을 나타낸다. 노드의 전송 반경과 노드의 수가 증가하였을 때에도 제안된 타부 서치알고리즘이 기존의 알고리즘보다 좋은 결과를 얻을 수있음을 알 수 있다.

그림 5는 그림 4에서와 같은 조건에서 알고리즘의 평균 실행시간을 비교한 것이다. 최단 거리 알고리즘이가장 빠른 시간 내에 해를 찾고 있으며, 같은 종류의 메타 휴리스틱 방식인 시뮬레이티드 어닐링에 비해 제안된 타부 서치 알고리즘이 조금 더 실행시간이 걸리는 것을 볼 수 있다. 그림 5(a)에서 N이 600 일 때, 제안된타부서치는 5.74초, 시뮬레이티드 어닐링은 3.1초, 최단거리 알고리즘은 0.65초 걸렸다. 이것은 제안된 타부 서치 알고리즘이 검색을 위해 이웃해 생성을 더 많이 발생하기 때문이다.

또한 노드의 수가 증가하였을 때도 검색해야할 공간이 많아지기 때문에 제안된 알고리즘이 다른 알고리즘에 비해 시간이 더 많이 걸림을 알 수 있다. 하지만 NP-complete 문제인 최소 에너지 협력 경로 문제를 제안된 타부 서치 알고리즘는 합리적인 시간 내에 처리하고 있으며, 기존의 방식에 비해 더 좋은 결과를 찾고 있음을 알 수 있다.

결론적으로 성능평가 결과에서 제안된 알고리즘이 NP-complete 문제인 최소 에너지 협력 경로 문제를 적정한 실행시간 내에 좋은 결과를 얻을 수 있으며 최소에너지 협력 경로 문제를 효과적으로 해결할 수 있음을 알 수 있었다.





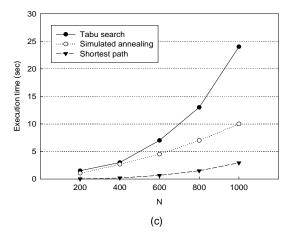


Fig. 5 Execution time (a) R=10 (b) R=15 (c) R=20

# Ⅵ. 결 론

본 논문은 무선 애드 혹 네트워크에서 협력 통신을 이용하여 소스 노드에서 목적 노드까지 데이터를 전송함에 있어 전송 에너지를 최소화하기 위한 타부 서치알고리즘을 제안하였다. 효과적인 알고리즘을 설계하기 위해 최소 에너지 협력 경로 문제에 적합한 인코딩과 초기해 생성, 이웃해 검색을 위한 이웃해 생성방식을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 평가하기 위해 소모되는 전송 에너지와 알고리즘 실행시간 관점에서 기존의 방식과 비교 평가하였다.

비교결과에서 제안된 알고리즘이 비슷한 실행시간에서 기존의 방식보다 성능이 10% 이상 더 우수함을 볼수 있었으며, 또한 무선 애드 혹 네트워크에서 최소 에너지 협력 경로 문제를 효과적으로 해결할 수 있음을 볼수 있었다.

#### REFERENCES

- M. Cagalj, J. Hubaux, and C. Enz, "Minimum-energy broadcast in all-wireless networks: NP-completeness and distribution issues," in *Proceeding of the ACM Mobicom* 2003, 2003.
- [2] F. Li, K. Wu, and A. Lippman, "Minimum energy cooperative

- path routing in all-wireless networks: NP-completeness and heuristic algorithms," *Journal of communications and networks*, vol. 10, no. 2, June. 2008.
- [3] A. Khandani, J. Abounadi, E. Modiano, and L. Zheng, "Cooperative routing in wireless networks," in *Proceeding* of the Allerton Conference 2003, 2003.
- [4] A. Catovic, S. Tekinay, and T. Otsu, "Reducing transmit power and extending network lifetime via user cooperation in the next generation wireless multihop networks," *Journal* of *Communication and Networks*, vol. 4, no. 4, Dec. 2002.
- [5] J. Wieselthier, G. Nguyen, and A. Ephremides, "On the construction of energy-efficient broadcast and multicast trees in wireless networks," in *Proceeding of the IEEE INFOCOM 2000*, pp. 585 - 594, 2000.
- [6] W. Liang, "Constructing minimum-energy broadcast trees in wireless ad hoc networks," in *Proceeding of the ACM Mobihoc*, 2002.
- [7] V. Rodoplu and T. Meng, "Minimum energy mobile wireless networks," *IEEE Journal of Selected Areas Communication*, vol. 17, no. 8, pp. 1333 - 1344, Aug. 1999.
- [8] R.Wattenhofer, L. Li, P. Bahl, and Y.Wang, "Distributed topology control for power efficient operation in multihop wireless ad-hoc networks," in *Proceeding of the IEEE INFOCOM* 2001, 2001.
- [9] A. Srinivas and E. Modiano, "Minimum energy disjoint path routing in wireless ad-hoc networks," in *Proceeding of the* ACM Mobicom 2003, 2003.



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