

## 무선 센서 네트워크에서 해양 수색 및 구조를 위한 에너지 최적화 알고리즘

장길웅\*

### An Energy Optimization Algorithm for Maritime Search and Rescue in Wireless Sensor Networks

Kil-woong Jang\*

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

#### 요약

무선 센서 네트워크에서 해양 수색 및 구조를 목적으로 노드의 소모 에너지를 최소화하기 위한 최적화 알고리즘을 제안한다. 해양 환경에서 수색 및 구조작업은 감시하는 측에서 주로 이루어지며, 구조되는 측에서는 수동적으로 기다려야 한다. 이에 반해 자가 구성이 가능한 무선 센서 네트워크는 해양 수색 및 구조작업에서 능동적으로 구조 신호를 보낼 수 있는 시스템을 구축할 수 있다. 본 논문에서는 많은 수의 노드가 배치된 네트워크에서 노드의 소모 에너지를 최소화하기 위하여 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 제안한다. 네트워크에서 노드의 밀도가 높으면 일반적으로 알고리즘 계산량이 급격히 늘어난다. 따라서 제안된 알고리즘은 적절한 실행 시간 내에 최적의 결과를 찾기 위해 새로운 이웃해 생성 동작을 제안하고 알고리즘의 효율성을 높인다. 제안된 알고리즘은 노드의 소모 에너지와 알고리즘 실행시간 면에서 성능 평가를 하였으며, 성능 평가 결과에서 기존의 방식에 비해 성능이 우수하였다.

#### ABSTRACT

In wireless sensor networks, we propose an optimization algorithm in order to minimize the consumed energy of nodes for maritime search and rescue. In the marine environment, search and rescue operations are mainly performed on the surveillance side and passively on the rescued side. A self-configurable wireless sensor network can build a system that can send rescue signals in the operations. A simulated annealing algorithm is proposed to minimize the consumed energy of nodes in the networks with many nodes. As the density of nodes becomes higher, the algorithmic computation will increase highly. To search the good result in a proper execution time, the proposed algorithm proposes a new neighborhood generating operation and improves the efficiency of the algorithm. The proposed algorithm was evaluated in terms of the consumed energy of the nodes and algorithm execution time, and the proposed algorithm performed better than other optimization algorithms in the performance results.

**키워드** : 해양 수색 및 구조, 최적화, 시뮬레이티드 어닐링, 무선 센서 네트워크

**Key word** : Maritime search and rescue, optimization, simulated annealing, wireless sensor networks

Received 6 December 2017, Revised 11 December 2017, Accepted 24 December 2017

\* 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.2018.22.4.676>

pISSN:2234-4772

© 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. 서론

해양 수색 및 구조 작업에서 일반적으로 위성이나 레이다 기술을 이용하여 목표를 수색한다[1,2]. 또한 기계 영상 장치와 같은 새로운 기술이 해양 수색 작업에 적용되고 있다. 하지만 해양 수색 및 구조 작업의 결과는 수색과 구조를 담당하는 곳에 의해 결정되며, 구조 대상 목표는 단지 수동적으로 수색 및 구조되기만을 기다려야 한다. 최근에는 센서 노드의 계산 능력과 에너지 효율의 향상으로 무선 센서 네트워크가 해양 수색 및 구조 작업에 적용될 수 있게 되었다. 해양 수색 및 구조를 위한 무선 센서 네트워크에서 센서 노드를 구조 목표물에 설치하여 애드 혹 네트워크 방식으로 네트워크를 구성할 수 있다. 네트워크를 구성하는 각 노드는 구명정에 설치된 싱크 노드로 자신의 위치 정보를 보낸다. 싱크 노드는 구조선으로 그 정보를 보냄으로써 해양 수색 및 구조 센터는 구조 목표물에 대한 정보를 수신할 수 있다. 이러한 방법으로 보다 빠르고 정확하게 구조 대상 목표물을 찾아낼 수 있다.

무선 센서 네트워크는 자가 구성 능력, 자가 적응 능력, 멀티 홉 전송, 네트워크 견고성과 같은 특징을 가지므로써 해양 수색 및 구조 작업에 적합하다[3-5]. 해양 수색 및 구조 작업의 환경은 기지국이 필요 없으며, 센서 노드는 매우 동적으로 움직이며, 더 작은 크기와 더 긴 배터리 생명주기가 요구된다. 따라서 해양 수색 및 구조 작업을 위한 무선 센서 네트워크는 동적 환경에 적합하고 네트워크 생명 주기를 연장할 수 있어야 하며, 동시에 노드 간의 연결도 유지해야 한다. 동적으로 변하는 네트워크에서 노드의 토폴로지를 구성하기 위한 가장 간단하고 직접적인 방법은 주기적으로 네트워크의 정보를 이용하여 네트워크를 구성하는 것이다. 이를 효과적으로 처리하기 위해 메타 휴리스틱 알고리즘이 사용될 수 있다. 이전 많은 연구에서 메타 휴리스틱 알고리즘은 복잡한 최적화 문제에 적용이 되어 왔다. 또한 무선 센서 네트워크의 토폴로지 제어와 전송 영역 문제에 대한 많은 연구도 이루어졌다[6-14].

본 논문에서는 해양 수색 및 구조 작업을 위한 무선 센서 네트워크에서 노드의 최소 소모 에너지를 위한 최적화 알고리즘을 제안한다. 노드의 최소 소모 에너지 문제는 이전 연구에서 NP-hard 문제로 증명되었다[11]. NP-hard 문제에 대한 최적해를 찾는 것은 방대한 시간

을 요구한다. 본 논문에서는 적절한 시간 내에 최적해를 찾기 위하여 메타 휴리스틱 알고리즘을 이용한 최적화 알고리즘을 제안한다. 제안된 최적화 알고리즘은 새로운 이웃해 생성 방식을 가진 시뮬레이티드 어닐링을 사용하며, 제안된 알고리즘은 여러 전제 조건하에서 노드의 소모 에너지와 알고리즘 실행시간 면에서 다른 알고리즘과 성능을 비교한다.

## II. 관련연구

무선 센서 노드의 배터리 소모를 줄여 네트워크의 생명시간을 확장하는 것은 중요한 문제이다. [6]은 노드의 에너지를 효과적으로 유지하기 위해 최적의 전송반경 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘에서 1은 동작중인 노드, 0은 휴지기의 노드를 나타내는 0/1 시퀀스 문제를 이용하여 노드의 휴식 모드를 적용한 최적화 알고리즘을 제안하였다. [7]은 이웃한 두 개의 노드가 서로 통신 중일 경우 통신을 하고자하는 노드는 휴지기를 가지며, 그렇지 않을 경우 동작 모드를 가지는 알고리즘을 제안하였다. [8]은 탐지된 통신 상황에 따라 각 노드의 동작 모드를 결정하고 패킷 손실률에 따라 전송 전력을 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 해양 수색 및 구조 작업 시에 모든 노드는 각 목표물에 배치되기 때문에 연결 상태를 유지해야 된다. 즉 모든 노드는 동작 모드를 유지해야 되므로 휴지기를 가지는 알고리즘은 해양 수색 및 구조 작업에 적절하지 않다.

노드의 동작 모드를 조정하지 않고 네트워크의 토폴로지와 전송 반경을 이용한 알고리즘이 제안되었다. [9]는 근사 그래프 이론을 기반으로 한 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘에서 각 노드는 인접한 노드의 정보를 모아 네트워크 연결을 보장할 수 있는 전송 전력을 각 노드마다 결정하여 데이터를 전송한다. [10]은 노드 통신 반경을 조정하여 네트워크 위상을 조정하는 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 어떠한 소스 노드도 싱크 노드와 통신할 수 있도록 제안되었다. [11]은 연속 타임 슬롯 스케줄링 기반의 전력 제어 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 엄격한 시간 동기화를 유지하는 네트워크에 적용되며 노드 간에 공평성은 고려하지 않았다. [12]는 메타 휴리스틱 알고리즘을 이용하여 에너지 분산 최적화 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘에

서는 유전 알고리즘을 이용하여 에너지 최적화 방식을 제안하고 있다.

### III. 문제 정식화

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 해양 수색 및 구조를 목적으로 노드의 소모 에너지를 최소화하기 위한 네트워크 모델과 제약 조건을 우선 기술한다. 본 논문에서 사용되는 네트워크는 비방향성 그래프  $G = (V, E)$ 로 나타내며, 노드( $V$ )는 모든 센서 노드를 의미하며, 에지( $E$ )는 노드간의 연결을 나타내는 링크를 나타낸다. 각 링크는 각 노드의 전송거리보다는 짧거나 같으며, 유클리드 거리함수로 계산된다. 본 논문에서는 각 노드가 같은 크기의 데이터 전송 시에 사용되는 에너지는 동일하다고 가정한다.

제안된 알고리즘은 무선 센서 네트워크에서 노드의 소모 에너지를 최소화하는 목적함수를 가진다. 결과적으로 제안된 네트워크에서 노드의 최소 소모 에너지 문제는 다음과 같은 조합 최적화 문제로 정식화된다.

최소화

$$\sum_{\chi=1}^n E(\chi) \tag{1}$$

관하여

$$E(\chi) = (\delta_{\chi} + 1) \times P_{\chi}(\nu) \tag{2}$$

$$P_{\chi}(\nu) = \beta \times d_{ij}^{\alpha} \tag{3}$$

$$d_{ij} = \sqrt{(i_x - j_x)^2 + (i_y - j_y)^2} \tag{4}$$

$$R_c^i = d_{ij} \leq R_m \tag{5}$$

여기서  $\delta_{\chi}$ 는 노드  $c$ 가 이전 노드로부터 전송받은 데이터를 나타내며,  $P_{\chi}(\nu)$ 는 노드  $c$ 가 다음 노드  $n$ 로 하나의 데이터를 전송하는 데 필요한 전송 에너지를 나타낸다.  $d_{ij}$ 는 노드  $i$ 와  $j$  사이의 유클리드 거리를 나타내며,  $\alpha$ 는 경로 손실 지수로서 본 논문에서는 짧은 전송거리를 사용하여 2로 설정하였다. 또한  $\beta$ 는 전송 품질 파라메타를 의미하며 본 논문에서는 일반적으로 많이 사용되는 1로 설정하였다.  $R_c^i$ 는 노드  $i$ 의 전송 반경을 나타내며, 최대 전송 반경인  $R_m$ 보다 작거나 같아야 한다.

### IV. 제안된 알고리즘

이 장에서는 무선 센서 네트워크에서 해양 수색 및 구조를 위한 노드의 최소 에너지 소모 문제를 적정한 실행시간 안에 최적의 해를 구하는 메타휴리스틱 알고리즘인 시뮬레이티드 어닐링을 기술한다. 제안된 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘은 노드의 최소 소모 에너지 문제에 대하여 아래와 같이 수행된다.

- (1) 알고리즘에 사용되는 해 구조 설계
- (2) 최초해 생성
- (3) 이동에 의한 새로운 해 생성
  - a. 교환이동
  - b. 정지 기준 및 온도 검사
- (4) 종료 기준을 만족할 때까지 (3)으로 이동

알고리즘을 수행하기 위해 해(solution)에 대한 구조를 먼저 설계한다. 설계된 해 구조에 따라 프로그램 구조와 성능이 달라지므로 최적해를 찾기 위한 해 구조의 설계는 중요하다. 다음으로 해의 구조에 맞게 제약 조건을 만족하는 최초해를 하나 생성한다. 최초해는 최적해로 우선적으로 저장되며, 더 좋은 해를 찾기 위해 최초해에 대하여 제안된 이동 방법으로 새로운 해를 생성한다. 새로 생성된 해는 현재까지의 최적해와 비교된다. 비교 결과에서 새로 생성된 해가 현재까지의 최적해보다 성능이 우수할 경우 새로 생성된 해를 최적해로 설정하고 이것을 이용하여 다음 단계의 해 생성을 위해 사용된다. 그러나 현재까지의 최적해보다 새로 생성된 해의 성능이 나쁠 경우에는 현재 온도상태에 따라 현재해로 선택되며, 다음 새로운 해 생성을 위해 사용된다. 이런 절차에 의해 종료 기준을 만족할 때까지 새로운 해를 생성하는 과정을 반복하며 문제에 대한 최적해를 찾는다.

#### 4.1. 해 구조 설계

제안된 시뮬레이티드 어닐링에서 각 노드에서 인접한 노드 중 하나의 노드로 선택하여 그 노드의 좌표( $\nu$ )와 전송할 데이터 수( $\delta$ )를 해의 구조로 사용한다. 그림 1은 각 노드에서 전송할 다음 노드 좌표와 데이터 수로 구성된 해의 구조를 나타낸 것이다.



Fig. 1 Solution structure

4.2. 최초해 생성

제안된 해 구조를 이용하여 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘에 적용할 최초해를 하나 만든다. 본 논문에서 사용한 최초해는 다음과 같이 생성한다.

- (1) 각 노드의 이웃한 노드를 구성한다.
- (2) 각 노드에서 이웃한 노드 중 하나를 무작위로 선택하여 해에 추가한다. 단 이웃한 노드가 싱크노드일 경우 싱크노드를 선택한다.
- (3) 모든 노드에서 이웃한 노드가 선택되면 각 노드의 전송 데이터 수를 계산하여 해에 추가한다.

생성된 최초해는 전송 에너지에 대한 목적 함수를 계산하여 최적해로 저장한다.

4.3. 이동에 의한 새로운 해 생성

이절에서는 제안된 시뮬레이티드 어닐링에서 현재까지의 최적해를 이용하여 새로운 해를 생성하는 이동 방법을 기술한다. 제안된 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘의 이동방법은 현재해의 모든 요소에 대하여 적용되며, 해의 요소 중에 송신 노드의 다른 이웃한 노드를 수신 노드로 바꾸는 방식을 사용한다. 본 논문에서는 제안된 방식을 교환이동이라 하며, 제안된 교환이동의 동작은 다음과 같다.

- (1) 송신 노드  $u$ 의 요소( $v, \delta$ )를 가진 현재해에서 이웃한 노드를 한 개 이상 가지면, 노드  $u$ 의 이웃한 노드 하나인 노드  $w$ 를 무작위로 선택한다.
- (2) 최초해에서 이웃한 노드가 한 개일 경우에는 요소( $v, \delta$ )를 그대로 유지한다. 그러나 이웃한 노드를 두 개 이상 가지게 되면 노드  $v$ 를 제외한 이웃 노드 중 한 개만 무작위로 선택한다. 예를 들어 노드  $w$ 가 선택되면 요소( $w, \delta$ )로 변경되어 새로운 해가 생성된다. 여기서 한 개의 노드만 선택하는 이유는 다른 인접한 모든 노드에 대해서 해를 구할 경우에는 많은 실행시간이 발생하기 때문이다.

그림 2(a)와 같이 싱크를 제외한 15개의 노드를 가진 네트워크를 사용하여 제안된 시뮬레이티드 어닐링의 이동방법을 설명한다. 그림 2(b)는 현재해가  $(f, 1) - (f, 1) - (g, 1) - \dots - (s, 4) - \dots - (k, 1)$ 인 상태를 나타낸 것

이다. 현재해의 첫 번째 멤버인  $(f, 1)$ 이 선택되어서 새로운 해로 이동될 경우, 노드  $a$ 의 이웃한 노드 중  $f$ 를 빼 나머지 노드  $b$ 와  $e$  중에 한 개를 선택한다. 만약 노드  $b$ 가 선택된다면 그림 2(c)와 같이 새로운 해  $(b, 1) - (f, 2) - (g, 1) - \dots - (s, 4) - \dots - (k, 1)$ 가 되며, 새로 생성된 해는 제약식을 만족한다.

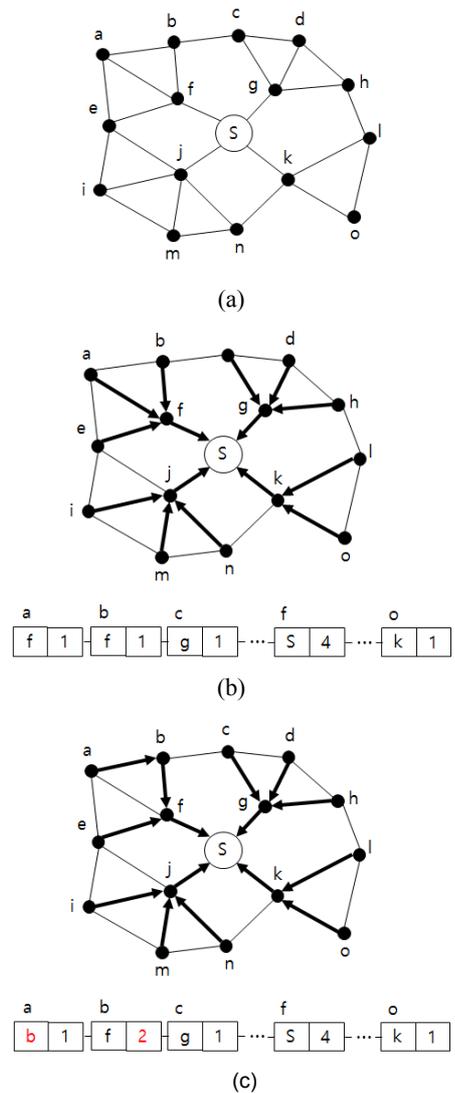


Fig. 2 Replace move (a) network example (b) current solution (c) next solution after the replace move

#### 4.4. 종료 기준

제안된 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘의 종료 기준은 정해진 진행단계의 수로 결정된다. 현재해를 이용하여 제안된 이동방식을 수행한 후 새로 생성된 최적의 해가 연속적으로 정해진 횟수보다 더 나은 최적해가 발생되지 않으면 알고리즘은 종료된다.

### V. 성능평가

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 해양 수색 및 구조를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 구현하여 제안된 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘의 성능평가를 수행하였다. 시뮬레이션은 윈도우 기반의 8GB 메모리와 3.6GHz 인텔 프로세서로 구성된 컴퓨터상에서 수행되었으며, 각 알고리즘은 C 언어로 구현하여 성능평가를 수행하였다. 제안된 알고리즘의 성능평가를 위해 소비되는 에너지양과 알고리즘 실행시간 관점에서 기존에 제안된 유전 알고리즘(genetic algorithm)[12]과 랜덤(random) 배치 방식과 비교하였다.

성능평가를 위해 노드의 전송범위는 15, 20, 25으로 정하고, 다양한 노드 밀도를 가진 네트워크 구성을 위해 노드의 개수는 100에서 1000까지로 구성하였다. 네트워크의 크기는  $100 \times 100$ 로 설정하여 노드를 랜덤하게 배치하였다. 논문에서 비교 평가된 알고리즘은 20번씩 시도하여 평균값으로 결과를 나타내었다.

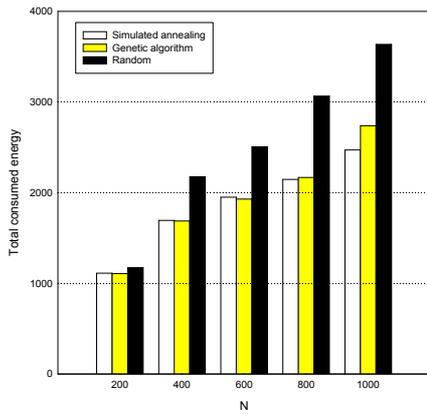
그림 3은 노드의 전송 반경( $r$ )이 10, 15, 20일 때 노드의 수가 변함에 따라 모든 노드에서 소비되는 에너지의 총량을 나타낸 것이다. 그림에서 제안된 알고리즘의 성능이 기존의 유전 알고리즘과 랜덤 배치 방식의 성능에 비해 우수함을 볼 수 있다. 노드의 수가 적은 경우에는 제안된 알고리즘과 유전 알고리즘은 비슷한 성능을 가지지만, 노드의 수가 많은 800과 1000에서는 제안된 알고리즘이 우수함을 알 수 있다. 같은 메타 휴리스틱 알고리즘 중 하나인 유전 알고리즘도 랜덤 배치 방식에 비해 성능이 높음을 알 수 있다. 이것은 일반적으로 NP-hard 문제에서 메타 휴리스틱 방식이 일반적인 랜덤 배치 방식보다 성능이 우수함을 나타내는 것이다. 또한 같은 메타 휴리스틱 방식인 유전 알고리즘보다 제안된 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘의 성능이 높은 이유는 유전 알고리즘의 교배와 돌연변이 방식을 이용한

새로운 해 이동 방식이 지역 최적해에 빠르게 수렴한 반면에 제안된 알고리즘은 지역 최적해에 빠지지 않고 더 좋은 결과를 가진 해에서 수렴하기 때문이다. 다시 말해서 제안된 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘의 새로운 해 생성방식인 교환이동이 효율적으로 동작하고 있음을 나타낸다.

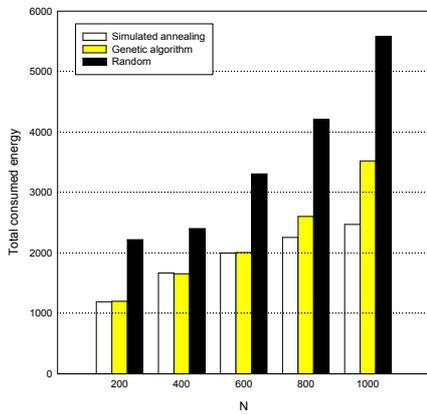
그림 4는 그림 3에서와 동일한 조건에서 알고리즘의 실행시간을 비교 평가한 것이다. 그림에서 제안된 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘이 유전 알고리즘과 랜덤 배치 방식에 비해 빠른 실행시간을 나타낸다. 특히 노드의 수가 많아짐에 따라 제안된 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘이 유전 알고리즘보다 빠르게 처리됨을 알 수 있다. 유전 알고리즘은 노드의 수가 증가함에 따라서 같은 비율로 교배와 돌연변이 동작을 수행하지만 제안된 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘은 새로운 해 생성방식으로 해에 빠르게 접근함으로써 실행시간을 줄이고 있다. 결론적으로 성능평가에서 제안된 시뮬레이티드 어닐링이 NP-hard인 무선 센서 네트워크에서 노드의 소모 에너지를 최소화하기 위한 문제를 적당한 알고리즘 실행시간 안에 더 좋은 결과를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

### VI. 결 론

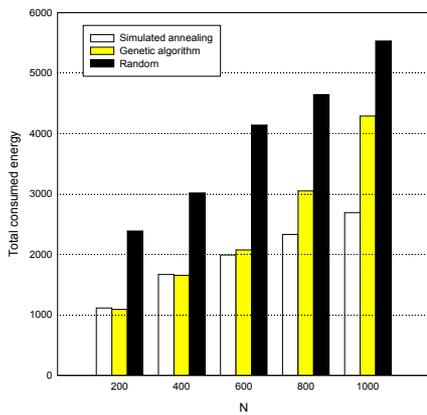
본 논문은 무선 센서 네트워크에서 해양 수색 및 구조를 목적으로 노드의 소모 에너지를 최소화하기 위한 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 전송 노드와 전송 데이터양을 이용한 해 구조 설계와 최적해 생성, 새로운 해 생성을 위한 이동방식, 종료 기준으로 구성되었다. 제안된 시뮬레이티드 어닐링을 성능평가하기 위해 모든 노드의 소모 에너지 양과 알고리즘 실행시간 면에서 기존의 다른 방식과 비교하였다. 성능평가에서 제안된 시뮬레이티드 어닐링이 기존의 다른 방식보다 더 좋은 결과를 나타냈으며, 이러한 결과로 짧은 시간을 요구하는 해양 수색 및 구조 활동작업에 빠른 알고리즘 실행시간을 가진 제안된 알고리즘이 실제 환경에서 적합할 것으로 판단된다.



(a)

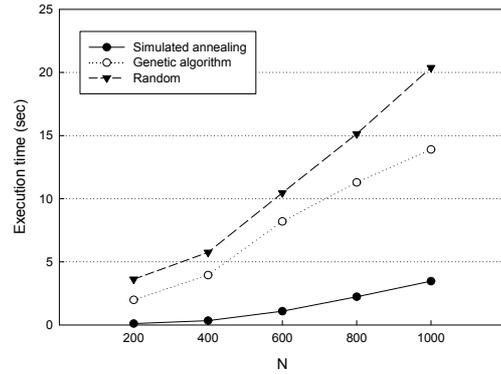


(b)

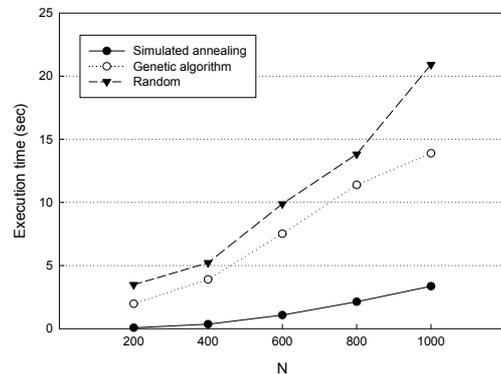


(c)

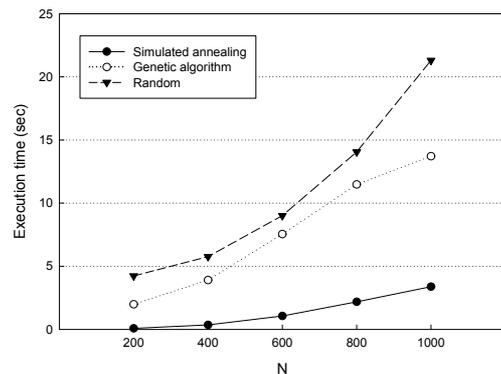
Fig. 3 Consumed energy (a)  $r = 15$  (b)  $r = 20$  (c)  $r = 25$



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Average execution time (a)  $r = 15$  (b)  $r = 20$  (c)  $r = 25$

## REFERENCES

- [1] J. Peng and C. Shi, "Remote sensing application in the maritime search and Rescue," *Remote Sensing*, vol. 2, pp. 1-24, June 2012
- [2] M. Rajaparthiban, P. Ashvini, and R. Dhivyadive, "Multi purpose marine wireless networks for fisherman aid and other applications," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 2, no. 7, pp. 50-54, July 2013.
- [3] H Wu, L. Yang, L. Liu, M. Xu, and X. Guan, "Real-time localization algorithm for maritime search and rescue wireless sensor network," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 9, no. 3, pp. 1-6, Mar. 2013.
- [4] G. Xu, W. Shen, and X. Wang, "Applications of wireless sensor networks in marine environment monitoring: A Survey," *Sensors*, vol. 14, no. 9, pp. 16932-16954, Sep. 2014.
- [5] H. Wu, S. Nie, and J. Li, "EA-COR: an environment adaptive clustering opportunistic routing protocol of WSN," *Journal of Networks*, vol. 9, no. 11, pp. 2964-2970. Nov. 2014.
- [6] Z. Zhan, J. Zhang, and Z. Fan, "Solving the optimal coverage problem in wireless sensor networks using evolutionary computation algorithms," in *Proceedings of the 8th International Conference on Simulated Evolution and Learning*, pp. 166-176, Seal, 2010.
- [7] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, and R. Morris, "Span: an energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks," *Wireless Networks*, vol. 8, no. 5, pp. 481-494, Sep. 2002.
- [8] A. Cerpa and D. Estrin, "ASCENT: adaptive self-configuring sensor networks topologies," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 3, no. 3, pp. 272-285, Sep. 2004.
- [9] N. Li and J. C. Hou, "Topology control in heterogeneous wireless networks: problems and solutions," in *Proceedings of the 23rd Annual Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, pp. 232-243, 2004.
- [10] A. Jiang and J. Bruck, "Monotone percolation and the topology control of wireless networks," in *Proceedings of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, pp. 327-338, March 2005.
- [11] F. Liqun, S. C. Liew, and H. Jianwei, "Power controlled scheduling with consecutive transmission constraints: complexity analysis and algorithm design," in *Proceedings of the 26th Annual IEEE Conference on Computer Communications*, pp. 1530-1538, 2009.
- [12] H. Wu, Q. M. Erol-Kantarci, H. Mouftah, and S. Oktug, "An energy distribution and optimization algorithm in wireless sensor networks for maritime search and rescue," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 9, no. 2, pp. 1-8, Feb. 2013.
- [13] S. Y. Park and S. M. Hwang, "A congestion avoidance policy to extend lifetime of sensor networks," *Journal of Security Engineering*, vol.12, no.2, pp. 169-180, Apr. 2015.
- [14] K. W. Jang, "Sensor node deployment in wireless sensor networks based on tabu search algorithm," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol.19. no. 5, pp. 1084-1090, May 2015.



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