DBpia

무선 센서 네트워크에서 최소 전력 브로드캐스트 문제를 위한 최적화 알고리즘

종신회원 장 길 웅*

An Optimization Algorithm for Minimum Energy Broadcast Problem in Wireless Sensor Networks

Kil-woong Jang* *Lifelong Member*

요 약

무선 네트워크에서 최소 에너지 브로드캐스트 문제는 네트워크에 배치된 모든 노드가 브로드캐스팅과정에서 데이터 전송에 사용되는 에너지를 최소화하는 문제이다. 본 논문은 무선 센서 네트워크에서 최소 에너지 브로드캐스트 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 메타휴리스틱 기법인 타부서치 알고리즘을 제안한다. 보다 효과적인 해 검색을 위해 제안된 알고리즘은 새로운 이웃해 생성방식과 복구함수를 적용한다. 제안된 알고리즘의 성능평가는 배치된 모든 노드로의 브로드캐스팅 시 전송 에너지와 알고리즘 실행시간 관점에서 기존의 알고리즘과 비교를 하였으며, 실험 결과에서 제안된 알고리즘이 최소 에너지 브로드캐스트 문제에 효과적으로 적용됨을 보여준다.

Key Words : MEB, optimization, sensor networks, meta-heuristic, Tabu search

ABSTRACT

The minimum energy broadcast problem is for all deployed nodes to minimize a total transmission energy for performing a broadcast operation in wireless networks. In this paper, we propose a Tabu search algorithm to solve efficiently the minimum energy broadcast problem on the basis of meta-heuristic approach in wireless sensor networks. In order to make a search more efficient, we propose a novel neighborhood generating method and a repair function of the proposed algorithm. We compare the performance of the proposed algorithm with other existing algorithms through some experiments in terms of the total transmission energy of nodes and algorithm computation time. Experimental results show that the proposed algorithm is efficient for the minimum energy broadcast problem in wireless sensor networks.

Ⅰ. 서 론

무선 센서 네트워크는 육상 및 지하, 해저와 같은 다양한 환경에 센서를 배치하여 인간이 닫기 어려운 지역의 정보를 쉽게 얻도록 도와주는 기능을 한다[1]. 특히 무선 센서 네트워크의 최적화 문제들은 산업 및 방위 영역에서 잠재적으로 다양한 응용들로 인하여 매우 중요하게 주목을 받고 있다. 이러한 문제를 해결함에 있어서 센서 노드의 제한된 메모리와 낮은 에너지 용량은 문제해결의 제약점이 된다. 또한 노드의 배터리는 네트워크에 배치된 후에 재충전이 되거나 교체되기가 힘들다는 단점을 가진다. 따라서 무선 센서 네트워크에서는 네트워크 토폴로지 설계 시에 노드의 에너지 효율성이 중요한 고려사항이 된다.

노드가 밀집한 무선 네트워크에서 하나의 노드가

* 한국해양대학교 데이터정보학과 네트워크 연구실(jangkw@hhu.ac.kr)
논문번호 : KICS2012-02-044, 접수일자 : 2012년 2월 2일, 최종논문접수일자 : 2012년 4월 5일

www.dbpia.co.kr

충분히 큰 전송 에너지를 이용하면 많은 인접 노드와 직접 통신을 할 수 있다. 하지만 이러한 방법은 노드의 에너지 소모량과 라우팅 프로토콜의 복잡도를 증가시키게 된다. 즉, 노드의 수가 증가하면, 노드 간의 간섭은 증가하게 되고, 노드들은 인접노드로 데이터를 전송하기 위해 불필요하게 전송 에너지를 더 증가하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법 중 하나로 브로드캐스팅이 사용된다. 브로드캐스팅은 많은 네트워크 응용에서 사용되는 일반적인 방법이며, 특히 무선 센서 네트워크에서 브로드캐스팅은 중요한 라우팅 방법으로 사용된다[2].

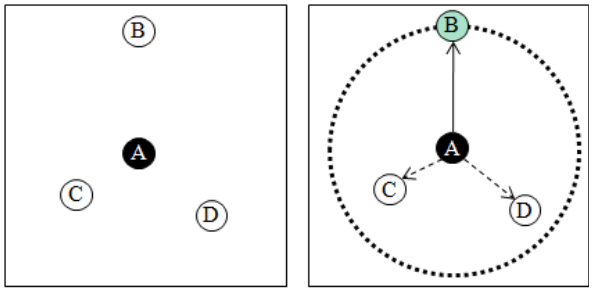


그림 1. 무선 네트워크의 MEB 문제
Fig. 1. MEB problem in wireless networks

무선 네트워크에서 브로드캐스팅은 다음과 같이 동작한다. 그림 1(a)와 같이 하나의 네트워크에 4개의 노드가 있고 노드 A가 송신 노드라고 가정한다. 노드 A가 노드 B로 메시지를 브로드캐스팅하면 그림 1(b)처럼 노드 A에서 노드 B로의 전송범위보다 짧은 전송 범위내에 존재하는 다른 인접 노드인 노드 C와 D도 이 메시지를 수신할 수 있다. 여기서 노드 B는 실질적 목적 노드(actual destination node)라고 하며, 노드 C와 D는 묵시적 방문 노드(implicit visited node)라고 한다. 브로드캐스팅에서 해결하고자 하는 문제는 네트워크상에 하나의 소스 노드에서 브로드캐스팅 방법을 이용하여 모든 노드로 메시지를 전송할 때 사용되는 노드들의 전체 전송 에너지를 최소화하는 것이다. 이 문제를 무선 네트워크에서는 최소 에너지 브로드캐스트(minimum energy broadcast: MEB) 문제라고 부른다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 MEB 문제[3-6]를 해결하기 위한 최적화 알고리즘을 제안한다. MEB 문제는 고전적인 조합 최적화 문제이며, 네트워크의 노드 수에 비례하여 지수승으로 계산 시간이 증가하는 NP-hard 문제로 증명이 되었다[4]. 현실적으로 NP-hard 문제는 계산 시간을 줄이기 위해 정확한 결과를 찾는 대신에 휴리스틱 방법을 이용하여 합리적인 계산시간에 근사값을 찾는 방법이 많이 적용되고 있다[7,8]. 본 논문에서는 NP-hard인 MEB 문제를 해결하기 위해 메타 휴리스틱 방법 중 하나인 타부서치 알고리즘을 제안한다. 제안된 타부서치 알고리즘은 새로운 이웃해 생성 방식과 복구 함수를 제안한다. 제안된 알고리즘을 평가하기 위해 다양한 조건하에서 전체 전송 에너지와 알고리즘 실행 시간 관점에서 기존의 다른 알고리즘과 비교한다.

Ⅱ. 관련연구

무선 네트워크에서 브로드캐스팅을 위한 다양한 라우팅 구조 방식이 존재한다. 대표적인 브로드캐스팅 구조로 공유 및 핵심 기반 트리(shared and core-based tree)와 메쉬(mesh), 소스 기반 트리(source-based tree) 구조가 있다. 공유 및 핵심 기반 트리는 적절한 핵심 노드를 찾는 방식이다. 일단 핵심 노드가 결정되면, 핵심 노드가 소스가 되어 소스 기반 트리 기법으로 MEB 문제를 해결한다. 이 구조를 이용하여 Papadimitriou *et al.* 는 단일 브로드캐스팅 트리를 제안하였다[9]. 메쉬 구조는 트리 기반 방식의 확장성과 견고성을 향상시키기 위해 제안되었다. Ye *et al.* 은 메쉬 기반 방식으로 two-tier data dissemination[10] 기법을 제안하였다. 소스 기반 트리는 목적 함수에 따라 2가지 종류가 있다. 첫 번째 트리는 Steiner tree[11]로 불리는 최소 에너지 트리이며, 전체 전송 에너지를 최소화하기 위해 제안되었다. 두 번째 트리는 각각의 개별 목적지의 비용을 최소화하는 트리이다. 두 번째 트리는 일반적으로 최소 경로 트리로 불리며, 최소 경로 트리를 반복적으로 구성하여 최소 경로 문제를 해결한다. Steiner tree와 관련하여 Wieselthier *et al.*은 무선 네트워크에서 MEB 트리를 구성하는 broadcast incremental power 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 노드가 추가되었을 때 링크의 비용이 최소가 되도록 MEB 트리를 구성하도록 하였다. Das *et al.*은 무선 네트워크에서 실행가능성 명제를 이용하여 MEB 트리를 최적화하기 위한 진화 기법을 제안하였다[4,5]. Montemanni *et al.*은 브로드캐스트 에너지를 최소화할 수 있는 *r*-shrink 기반의 메타 휴리스틱 방식인 시뮬레이티드 어닐링 기법을 제안하였다[12]. Wu *et al.*은 무선 애드혹 네트워크에서 MEB 문제를 해결하기 위한 유전 알고리즘을 제안하

www.dbpia.co.kr

였다[13]. 앞서 제안된 알고리즘들은 주로 노드의 수가 작은 네트워크에서 기존의 방식과 성능 평가가 이루어졌다. 반면 무선 센서 네트워크는 다른 무선 네트워크와는 달리 노드의 수가 많은 밀집도가 높은 네트워크 구조를 가진다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 노드의 수가 많은 네트워크에서도 MEB 문제를 효율적으로 해결할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

Ⅲ. 문제의 정식화

MEB 문제를 정식화하기 위해 제안된 알고리즘에서 사용되는 기호를 우선 정의한다.

Notations

N	the number of nodes
n_i	the identification of node i
e_{ij}	the direct link from node i to node j
V	$\{n_1, n_2, \cdots, n_N\}$
E	$\{e_{12}, e_{13}, \cdots, e_{L-1,L}\}$
P_{ij}	the broadcast energy required for node i to transmit to node j
I_{ij}	the indication variable with a binary value
x_i	x coordinate of node i
y_i	y coordinate of node i
a	the channel loss exponent
d_{ij}	the Euclidean distance between nodes i and j
R_i	the transmission range of node i
S	source node
D	actual destination node

무선 센서 네트워크에서 MEB 문제를 해결하기 위한 네트워크 모델은 비방향성 그래프인 $G = (V, E)$로 나타낼 수 있으며, V는 N개의 노드로 이루어진 집합을 의미하며, E는 노드의 연결을 나타내는 링크의 집합을 의미한다. 노드 i에서 j로의 링크 $e = (i, j)$는 노드 j에서 i로의 링크 $e' = (j, i)$이 존재함을 의미한다. 노드 i에 대하여 i의 전송범위 R_i는 i를 중심으로 반지름 r을 가지는 원이 된다. 노드 i에서 j로 하나의 메시지를 직접 보내기 위해 필요한 전송 전력 P_{ij}는 두 노드 간 유클리드 거리 d_{ij}의 a승에 비례하여 증가한다. a는 일반적으로 1 이상의 값을 가지며, 이상적인 환경에서는 2를 가지며, 환경 조건에 따라 4를 넘어서는 경우도 있다. 링크 비용 함수는 전송 전력 P_{ij}으로 사용하며, 본 논문에서 사용되는 브로드캐스트 통신의 전체 전송 전력은 실제 목적 노드로 전송하는 모든 링크의 비용 합으로 정의한다. 따라서 MEB 문제는 다음과 같이 목적 함수를 최소화하는 조합 최적화 문제로 정식화할 수 있다.

minimize

$$\sum_i \sum_j P_{ij} I_{ij}, \text{ for } i, j \in V \text{ and } i \neq j \quad (1)$$

subject to

$$P_{ij} = \left[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \right]^{a/2} \quad (2)$$

$$I_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } d_{ij} \leq R_i \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

식 (1)은 네트워크의 모든 노드가 하나의 메시지를 브로드캐스팅하는데 필요한 전체 전송 전력을 최소화하는 목적함수를 나타낸다. 식 (2)은 노드 i가 노드 j로 하나의 메시지를 전송하는데 요구되는 전송 에너지는 a승을 가진 유클리드 거리를 이용하여 계산됨을 나타낸다. 이때 a는 일반적으로 채널에 따라 달라지며 통상적으로 2에서 4사이의 값을 가진다. 식 (3)에서 I_{ij}는 노드 i에서 j로의 링크의 거리가 노드 i의 전송범위보다 작거나 같으면 1이 되며, 그렇지 않을 경우에는 0을 가지는 변수이다.

Ⅳ. MPB 문제에 대한 타부서치 알고리즘

본 논문에서 제안된 MEB 문제에 대한 타부서치 알고리즘은 다음과 같은 순서로 진행된다.

단계 1. 해(solution)의 인코딩 설계
단계 2. 하나의 초기 해 생성
단계 3. 인접해 생성
  3-1. 이동(Move)
  3-2. 복구함수(Repair function)
  3-3. 가장 우수한 하나의 해 선택
  3-4. 타부리스트 갱신
단계 4. 정지 기준을 만날 때까지 단계 3을 반복

좋은 해를 찾기 위해 최초에 해에 대한 인코딩을 설계한다. 인코딩 설계에 따라 알고리즘의 성능은 달라진다. 인코딩이 결정되면 제약식을 만족하는 브

www.dbpia.co.kr

로드캐스팅 경로를 가진 하나의 초기해를 랜덤하게 생성한다. 초기해 X_0는 타부리스트라고 불리는 메모리 리스트에 저장되고 최적값 X_b로 저장된다. 초기해에 대하여 제안된 Move 방법에 의하여 인접해를 생성한다. 생성된 인접해 중에 타부리스트에 저장되어있지 않은 해 중에 가장 우수한 해를 선택하여 타부리스트에 저장하고 X_b로와 비교하여 더 좋은 해일 경우 이 값을 X_b로 바꾼다. 또한 이 값을 X_0로 바꾸어 다시 인접해를 생성하는 데 사용한다. 이러한 방식으로 정지 기준을 만날 때까지 인접해 생성 과정을 반복한다. 지금까지 기술한 제안된 타부서치의 전체 알고리즘은 그림 2와 같다.

4.1. 해 인코딩

메타휴리스틱 알고리즘에서 사용되는 인코딩은 일반적으로 이진 스트링[10,11]으로 구현되지만 정수값을 이용한 인코딩 방식이 조합 최적화를 위해 더 효과적일 수 있다[12]. 제안된 알고리즘에서도 정수를 가진 인코딩 방식을 적용한다. 본 논문에서 사용되는 인코딩 구조는 그림 3과 같이 소스 노드와 실질적 목적 노드의 쌍으로 이루어진다. 그림에서 Si와 Di는 해의 i번째 요소에 해당하는 소스 노드와 실질적 목적 노드를 의미한다.

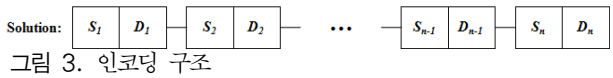


그림 3. 인코딩 구조
Fig. 3. Encoding structure

4.2. 초기해 생성

타부서치에서 최적의 해를 구하기 위해 제안된 인코딩 방식에 따라 제약식을 만족하는 초기해를 랜덤하게 하나 생성한다. 여기서 제약식을 만족하는 해는 소스노드에서 네트워크의 모든 노드로 메시지를 전송할 수 있는 경우를 말한다. 초기해를 생성하는 동작은 다음과 같은 절차로 이루어진다.

단계 1 : 소스 노드 s_1의 전송 범위 내에 존재하는 실제 목적 노드 A_{s1}을 랜덤하게 하나 선택한다. 선택된 s_1과 A_{s1}을 초기해 X에 첫 번째 요소로 삽입한다. 제안된 알고리즘에서는 초기해를 구성하기 위해 집합 Q를 사용한다. 집합 Q는 소스 노드와 메시지를 수신한 모든 노드를 포함한다.

$$Q \leftarrow s_1 \cup A_{s_1} \cup V_{s_1} \tag{4}$$

여기서, V_{s1}은 s_1의 암시 목적 노드를 나타낸다.

단계 2 : 집합 Q에 포함된 노드 중 하나인 노드 s_2를 선택한다. 노드 s_2는 초기해의 두 번째 요소의

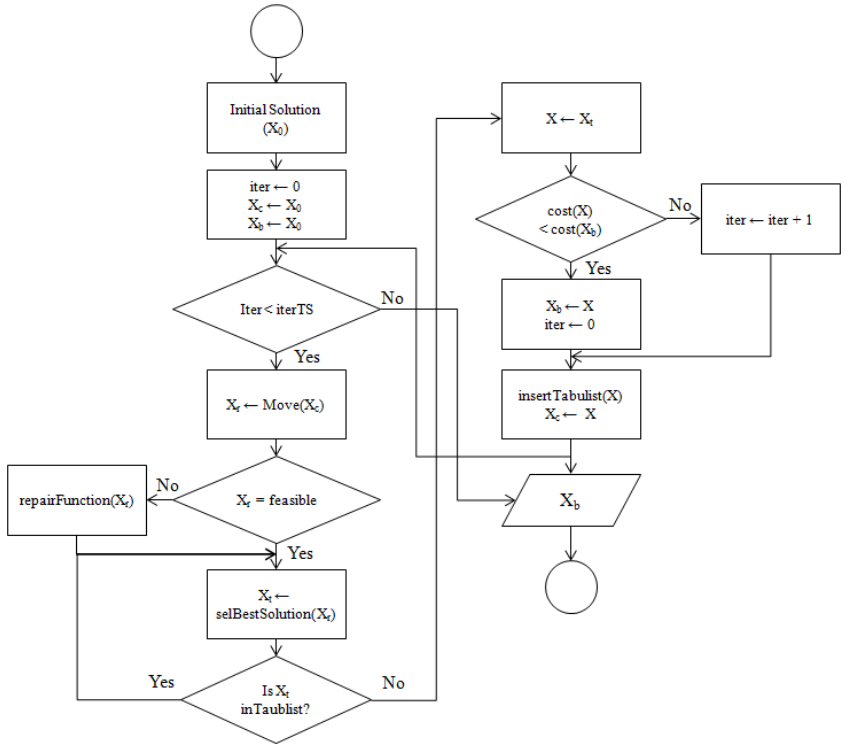


그림 2. 제안된 타부서치 순서도
Fig. 2. Flow chart of the proposed Tabu search

www.dbpia.co.kr

소스 노드가 되고, 노드 s_2의 인접 노드 중 하나인 노드 A_{s2}를 선택한다. 단계 1과 마찬가지로 수신된 모든 노드를 집합 Q에 포함시킨다.

단계 3 : 단계 1, 2와 같은 방식을 반복하여 네트워크에 존재하는 모든 노드가 집합 Q에 포함되면 초기해 생성 과정을 마친다.

4.3. 이동

타부서치에서 가장 중요한 단계는 현재 해에서 새로운 해를 생성하기 위해 인접해로 이동하는 이동방법을 정의하는 것이다. 제안된 타부서치 알고리즘의 이동방법은 현재해의 모든 요소에 대하여 순차적으로 적용된다.

단계 1 : 현재해의 요소 (u, v)에서 소스 노드 u가 하나 이상의 인접 노드를 가지면, 그 노드의 인접 노드 중 하나인 노드 w를 랜덤하게 선택한다.

단계 2 : 초기해에서 v를 w로 바꾸어 새로운 인접해를 하나 생성한다. 이때 새로 생성된 인접해가 제약식을 만족하면 이 해를 수용한다. 만약 제약식을 만족하지 않으면 복구함수를 이용하여 제약식을 만족하는 해로 수정한다.

그림 4는 제안된 타부서치의 이동방법을 나타낸 예이다. 5개의 노드를 가진 네트워크에서 현재해가 (A, E) – (E, D) – (D, C) – (F, B)라고 가정한다. 첫 번째 요소 (A, E)를 인접해로 이동시킬 경우, 노드 A의 인접 노드 중 E를 제외한 나머지 노드 B 또는 C를 선택할 수 있다. 만약 노드 C를 선택한다면 새로운 인접해 (A, C) – (E, D) – (D, C) – (F, B)가 될 것이며, 이것은 제약식을 만족하는 해가 된다. 만약 노드 B를 선택한다면 새로운 해는 (A, B) – (E, D) – (D, C) – (F, B)가 되며, 이것 또한 제약식을 만족하는 해가 된다.

4.4. 복구 함수

이동방법에 의해 생성된 인접해들은 일반적으로 제약식을 만족하는 경우와 만족하지 않는 경우로 나누어진다. 이전의 많은 연구에서는 제약식을 만족하지 않는 인접해일 경우에 제거하거나 벌칙 함수(penalty function)을 이용하여 제약식을 만족하는 인접해로 간주하였다. 그러나 제안된 알고리즘에서는 복구 함수를 이용하여 제약식을 만족하지 않는 해를 제약식을 만족하는 해로 바꾸는 방식을 사용한다.

제안된 알고리즘의 복구 함수는 *Mechanism* 1과 2를 가진다. 제안된 알고리즘에서 이동방법을 동작시키면 제약식을 만족시키지 못하는 경우가 2가지 발생한다. 첫 번째 경우는 다른 노드로부터 메시지를 수신하지 못하는 노드가 발생하는 것이고, 두 번째 경우는 다른 노드로부터 수신하지 못한 노드가 인접 노드로 메시지를 전송하는 것이다. *Mechanism* 1과 2는 각각 첫 번째 경우와 두 번째 경우를 해결하기 위해 수행된다. 그림 4를 이용하여 복구 함수

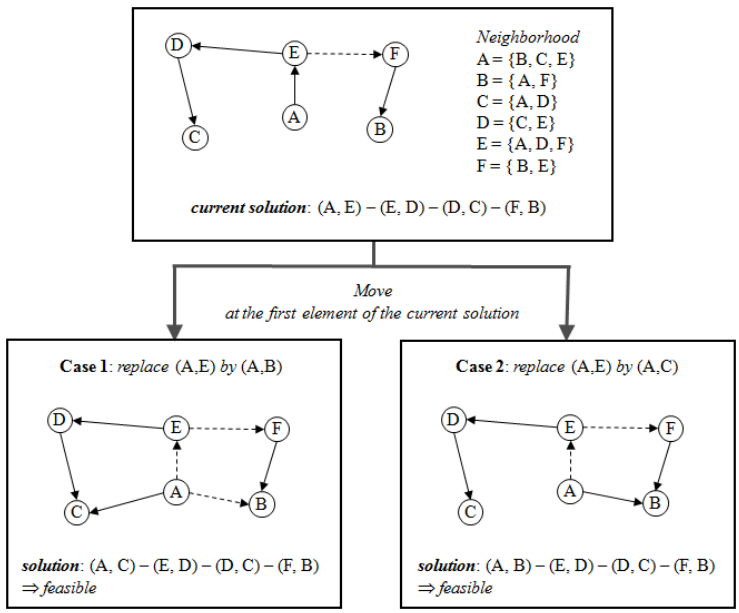


그림 4. 이동의 예
Fig. 4. An example of the move

www.dbpia.co.kr

의 동작을 간단히 설명한다. 소스노드 A인 경우에 이동방법을 이용하여 (A, E)-(B, F)-(E, D)의 해가 생성되었다고 가정한다. 그러나 이 해는 노드 C가 인접노드로부터 어떠한 메시지도 수신하지 못하므로 제약식을 만족하지 못하는 해이다. 따라서 이 해에 대하여 *Mechanism* 1을 수행한다. 먼저 노드 C의 인접노드인 노드 A와 D 중 하나의 노드를 선택한다. 만약 노드 A를 선택한다면 노드 A에서 노드 C로 전송하는 요소를 현재해에 추가한다. 한편, 노드 B는 인접노드로부터 어떠한 메시지도 받지 않은 상태에서 노드 F로 메시지를 전송하고 있다. 이러한 경우를 해결하기 위해 *Mechanism* 2를 수행한다. 이 경우에는 현재해에서 (B, F) 요소를 제거하면 노드 B는 어떠한 메시지도 받지 못하는 경우가 된다. 이것은 앞서 본 *Mechanism* 1의 경우와 일치한다. 따라서 *Mechanism* 2는 해당되는 요소를 삭제한 다음 *Mechanism* 1을 수행한다.

4.5. 타부리스트

타부리스트는 반복되는 해를 방지하고 탐색되지 않은 수많은 해의 영역을 검색할 수 있도록 해 주는 메커니즘 중 하나이다. 특히 동적 크기의으로 타부리스트는 NP-hard 문제에 대하여 더 좋은 결과의 해를 검색하는 데 중요한 역할을 한다[14]. 제안된 알고리즘에서는 N개의 노드에 대하여 타부리스트의 크기를 매 20번 주기마다 N과 3N사이의 값으로 변화시킨다. 타부리스트가 가득찰 경우, 가장 오래된 해를 삭제하고 새로운 해를 추가한다.

4.6. 정지기준

제안된 알고리즘의 정지 기준은 미리 정해진 진행 회수에 의해 결정된다. 즉 현재해에 대하여 이동방법을 수행하여 새로운 인접해를 발생시킨 회수가 정해진 회수만큼 진행되면 알고리즘을 멈춘다.

Ⅴ. 성능평가

본 논문에서는 MEB 문제에 대한 제안된 타부서 치 알고리즘에 대한 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 평가하였다. 모든 실험은 Windows OS 기반의 2GB 메모리와 1.8 GHz Pentium 4로 구성된 PC상에서 수행되었으며, 각 알고리즘은 C++ 언어를 이용하여 구현되었다. 제안된 알고리즘의 성능을 비교평가하기 위해 전송에너지와 실행시간 관점에서 기존에 제

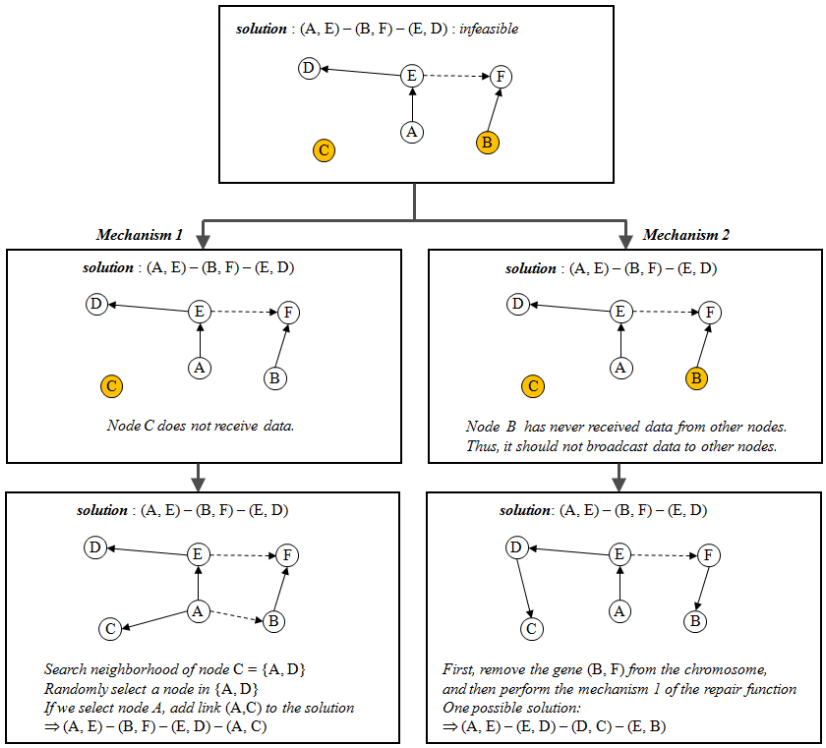
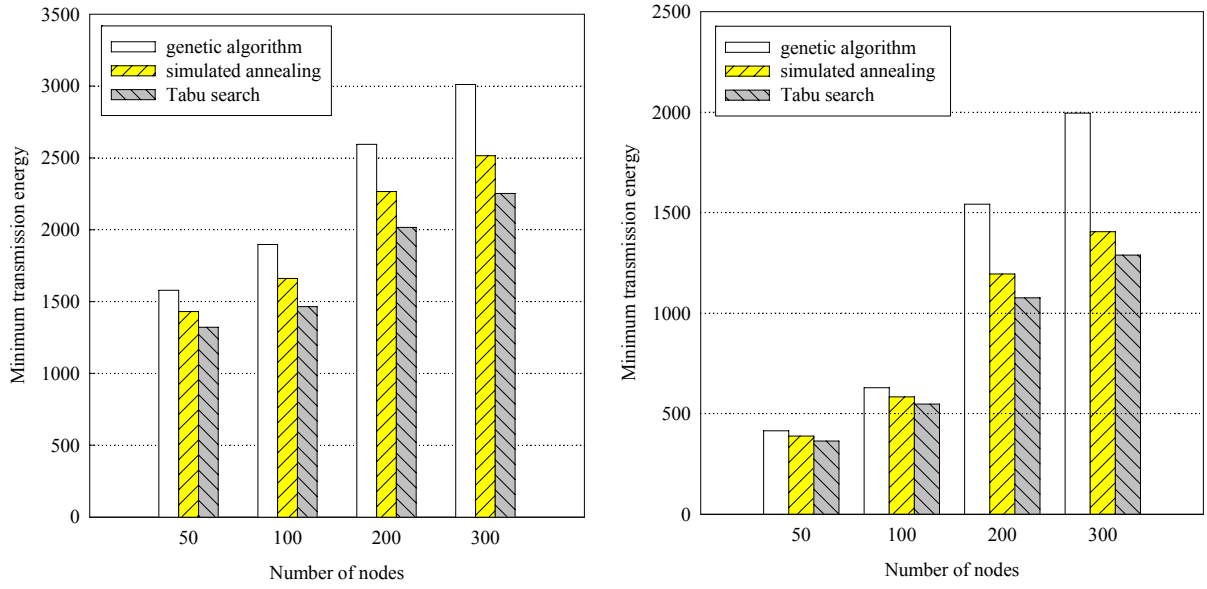


그림 5. 복구 함수의 예
Fig. 5. An example of the repair function

www.dbpia.co.kr

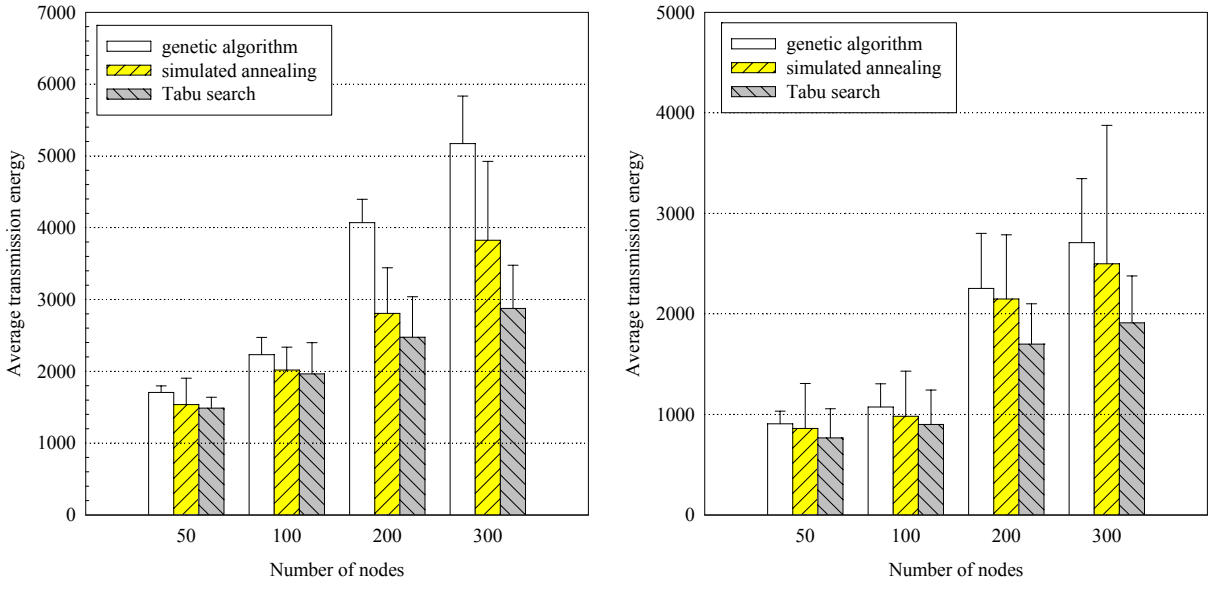
된 시뮬레이티드 어닐링[12] 및 유전 알고리즘[13]과 비교하였다.

성능평가는 100*100m^{2}의 네트워크에서 노드의 수 N={50, 100, 150, 200}과 전송 범위 R={20, 30}로 구성된 8가지 토폴로지에 대해서 수행되었다.



(a) R = 20 (b) R = 30

그림 6. 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘의 최소전송에너지 비교
Fig. 6. Comparison of the minimum transmission energy of the proposed algorithm vs previous algorithms



(a) R = 20 (b) R = 30

그림 7. 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘의 평균전송에너지 비교
Fig. 7. Comparison of the average transmission energy of the proposed algorithm vs previous algorithms

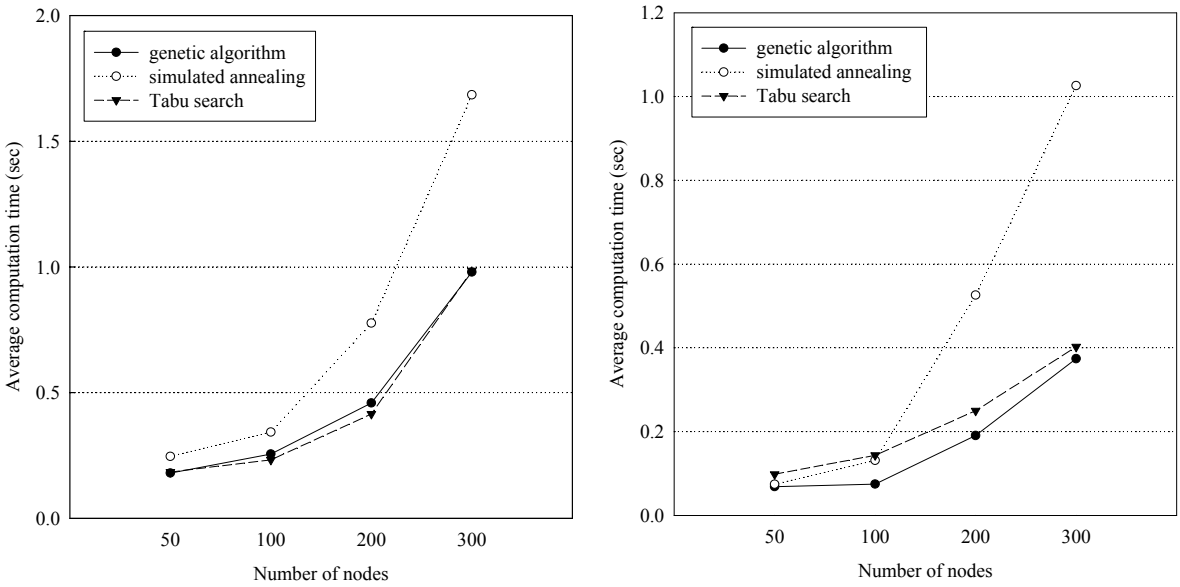
www.dbpia.co.kr

식 (3)에서 사용되는 α는 2로 설정하였으며, 타부서치 알고리즘에 사용되는 반복횟수는 100으로 설정하였다. 각 알고리즘은 10번씩 시도하여 최소값, 평균값, 표준편차를 구하였다.

그림 6은 전송 범위가 20과 30인 네트워크 토폴로지에 대하여 노드의 수가 50에서 200까지 적용되었을 때 최소 전송 에너지양을 비교한 결과이다. 그림에서 제안된 알고리즘이 기존의 다른 알고리즘에 비해 성능이 우수함을 볼 수 있다. 결과에서 제안된 타부서치 알고리즘의 이웃해 탐색방법이 유전자 알고리즘의 교배(crossover) 및 돌연변이(mutation) 방법과 시뮬레이티드 어닐링의 이웃해 탐색방법보다 효과적으로 해를 탐색하고 있음을 알 수 있다. 특히 노드의 수가 많아질수록 기존의 알고리즘과 성능의 차가 커짐을 볼 수 있다. 이것은 제안된 알고리즘이 밀집도가 높은 네트워크에서도 효율적으로 동작하고 있음을 나타낸다. 또한, 노드의 수가 증가할수록 전송에너지의 양이 증가함을 알 수 있으며, 전송 범위가 커질수록 전체적으로 전송 에너지가 줄어듦을 알 수 있다. 이것은 노드의 수가 많아질수록 전송되어야 할 메시지수가 많아지고, 전송 범위가 길어지면 한 번에 많은 노드로 메시지를 전송할 수 있기 때문이다. 그림 7은 제안된 알고리즘에서 10번 시도한 것에 대한 전송 에너지의 평균값과 표준편차를 나타낸 것이다. 그림에서 막대그래프는 평균값을 나타내며, 에러바는 표준편차를 의미한다. 결과에서 그림 6과 비슷하게 전체적으로 제안된 알고리즘이 우수한 성능을 나타내고 있다. 그림 8은 실행시간 관점에서 3가지 알고리즘을 비교한 것이다. 결과에서 제안된 알고리즘이 기존의 다른 알고리즘과 비슷한 실행시간 내에 동작하고 있음을 보인다. 앞선 전송 에너지 소모 결과와 더불어 볼 때 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 비슷한 실행시간 내에서 더 좋은 결과를 찾고 있음을 알 수 있다. 결론적으로 성능평가 결과에서 제안된 알고리즘이 NP-hard 문제인 MEB 문제를 적정한 실행시간 내에 좋은 결과를 얻을 수 있으며 MEB 문제를 효과적으로 해결할 수 있음을 알 수 있었다.

Ⅵ. 결 론

본 논문은 무선 센서 네트워크에 배치된 모든 노드로 브로드캐스팅 기법으로 메시지를 전송함에 있어 전체 전송 에너지를 최소화할 수 있는 타부서치 알고리즘을 제안하였다. 효과적인 알고리즘을 설계하기 위해 브로드캐스팅 문제에 적합한 인코딩과 초기해 생성, 인접해 검색을 위한 이동방법, 복구함수를 제안하였다. 제안된 알고리즘을 평가하기 위



(a) R = 20 (b) R = 30

그림 8. 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘의 실행시간 비교
Fig. 8. Comparison of the execution time of the proposed algorithm vs previous algorithms

www.dbpia.co.kr

해 전송 에너지와 알고리즘 실행시간 관점에서 기존의 방식과 비교 평가하였다. 비교결과에서 제안된 알고리즘이 기존의 방식보다 더 우수함을 볼 수 있었으며, 또한 에너지 효율이 중요한 무선 센서 네트워크에서 브로드캐스팅 문제를 효과적으로 해결할 수 있음을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramanian Y, Cayiraci E, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393-422, 2002.

[2] Akkaya K, Younis M, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad hoc networks*, vol. 3, pp. 325-349, 2005.

[3] Wieselthier J E, Nguyen G D, Ephremides A, "On the construction of energy-efficient broadcast and multicast trees in wireless networks," *In Proc. IEEE Infocom*, pp. 585-594, 2000.

[4] Das A K, Marks R J, El-Sharkawi, Arabshahi M P, Gray A, "Minimum power broadcast trees for wireless networks: integer programming formulations," *In Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems*, pp. 245-248, 2003.

[5] Das A K, Marks R J, El-Sharkawi M, "Minimum power broadcast trees for wireless networks: optimizing using the viability lemmma," *In Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems*, 2002.

[6] Stojmenovic I, Seddigh M, Zunic J, "Internal nodes based broadcasting in wireless networks," *In Proc. 34th Hawaii Int. Conf. System Sciences*, 2001.

[7] Dell'Amico A, Trubian A, "Applying Tabu search to the jobshop scheduling problem," *Journal of Annals of Operation Research*, vol. 41, pp. 231-252, 1993.

[8] Laguna M, Barnes J W, Glover F, "Tabu search methodology for a single machine scheduling problem," *Journal of International Manufacturing*, vol. 2, pp. 63-74, 1992.

[9] Papadimitriou I, Georgiadis L, "Minimum-energy broadcasting in wireless networks using a single broadcast tree," *In Proc. 2nd Int. Workshop on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless and Computing*, 2001.

[10] Ye F, Luo H, Cheng, Lu S, Zhang L, "A two-tier data dissemination model for large-scale wireless sensor networks," *In Proc. 8th ACM Annual Int. Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 148-159, 2002.

[11] Karl H, Willig A, *Protocols and architectures for wireless sensor networks*, Wiley Press, 2005.

[12] Montemanni R, Gambardella L M, Das A K, "The minimum power broadcast problem in wireless networks: a simulated annealing approach," *In Proc. Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 2057-2062, 2005.

[13] Wu X, Wang X, Liu R, "Solving minimum power broadcast problem in wireless ad hoc networks using genetic algorithm," *In Proc. the Communication Networks and Services Research Conference*, pp. 203 - 207, 2008.

[14] S. Kultuel-Konak, Norman A E, Coit D W, "Efficiently solving the redundancy allocation problem using Tabu search," *IIE Transactions*, vol. 35, pp. 515-526, 2003.

장 길 웅 (Kil-woong Jang) 종신회원

1997년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 졸업

1999년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 석사

2002년 8월 경북대학교 컴퓨터공학과 박사

2003년 3월~현재 한국해양대학교 데이터정보학과 부교수

<관심분야> 네트워크 프로토콜, 네트워크 최적화

www.dbpia.co.kr