

무선 네트워크에서 최소 전력 브로드캐스트를 위한 트리 기반 탐욕 알고리즘

이동호 · 장길웅*

A Tree-based Greedy Algorithm for Minimum Power Broadcast in Wireless Networks

Dong-ho Lee · Kil-woong Jang*

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

요 약

유선 네트워크와 달리 무선 네트워크 환경에서의 브로드캐스팅은 단일 전송으로 다수의 노드로 데이터를 한 번에 송신할 수 있다. 무선 네트워크에서 노드의 전방향 브로드캐스팅은 인접한 모든 노드에게 동시에 도달한다. 본 논문에서는 무선 네트워크에서 브로드캐스팅 시 전체 송신 전력을 최소화하는 최소 전력 브로드캐스팅 문제를 해결하기 위한 탐욕 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 각 노드의 최대 전송 범위 내에서 메시지를 전송할 수 있는 노드의 집합인 이웃 노드 리스트를 이용하여 데이터를 수신한 송신 노드 중 이웃 노드를 가장 많이 가지고 있는 노드가 우선적으로 이웃 노드로 데이터를 전송한다. 제안된 알고리즘은 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 성능평가가 이루어졌으며, 네트워크상의 모든 노드로 브로드캐스팅 시 소요되는 송신 전력과 브로드캐스팅 횟수의 관점에서 기존의 알고리즘과 비교하였다. 실험 결과에서 제안된 알고리즘은 기존의 알고리즘보다 성능이 우수함을 보인다.

ABSTRACT

Unlike wired networks, broadcasting in wireless networks can transmit data to several nodes at a time in a single transmission. The omnidirectional broadcasting of node in wireless networks simultaneously reaches all neighboring nodes. In this paper, we propose a greedy algorithm to solve the minimum power broadcasting problem that minimizes the total transmission power when broadcasting in wireless networks. The proposed algorithm uses a neighborhood list which is a set of nodes that can transmit messages within the maximum transmission range of each node, and among the transmitting nodes that have received the data, the node having the largest number of the neighboring nodes firstly transmits the data to neighboring node. The performance of the proposed algorithm was evaluated by computer simulation, and was compared with existing algorithms in terms of total transmission power and broadcasting frequency for broadcasting to all nodes. Experiment results show that the proposed algorithm outperforms the conventional algorithms.

키워드 : 무선 네트워크, 최소 전력 브로드캐스트, 최소 비용 신장 트리, 탐욕 알고리즘

Key word : Wireless networks, minimum power broadcast, minimum spanning tree, greedy algorithm

Received 14 December 2016, Revised 15 December 2016, Accepted 28 December 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 <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.5.921>

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 무선 통신 기술의 발달로 사회 전반에 걸쳐 무선 네트워크 분야가 활용되고 있다. 케이블로 연결되어 통신하는 유선 네트워크와 달리, 무선 네트워크는 직접적인 연결 없이 각 장치의 통신 반경 내에 있는 장비들과 자유롭게 통신할 수 있다. 따라서 각 장비들을 유선으로 연결할 필요가 없기 때문에 네트워크 설계비용이 상대적으로 저렴하고, 통신망 구축이 비교적 자유롭다.

앞으로 무선 네트워크를 보다 폭넓은 분야에서 적절하게 사용하기 위해서는 전력 소비 문제를 해결하여야 한다. 무선 장치들의 특성 상 배터리의 전력은 제한되어 있고, 배터리의 충전이나 교환이 용이하지 않은 환경에서 사용될 수 있기 때문이다. 전력의 공급이 가능하더라도 공급의 필요성을 최소화하도록 에너지 소비를 줄이는 것이 바람직하다. 이러한 무선 장치들은 한정된 에너지 내에서 주어진 기능을 수행한다. 에너지 소비 중 가장 큰 축을 담당하는 것은 바로 무선 장치간의 통신이다. 센서 네트워크의 경우, 센서 노드가 가지고 있는 에너지의 대부분을 무선 통신에 소모한다[1-3]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 에너지 효율적인 라우팅 기법에 대한 연구가 주로 진행되고 있다[4].

데이터를 전송하는 방식은 크게 유니캐스트, 브로드캐스트, 멀티캐스트 세 가지 방법으로 나눌 수 있으며, 이들 중 브로드캐스트는 라우팅 경로를 획득하기 위한 효율적인 전송 방식 중 하나이다. 네트워크에서의 브로드캐스팅은 네트워크상에 존재하는 모든 노드로 메시지를 전송하는 방식이며, 다수의 수신자에게 효율적으로 동시에 데이터를 전달하기 위해 사용된다[5]. 무선 네트워크에서 하나의 특정 노드에게 데이터를 직접 전송하는 유니캐스트 방식과는 달리, 브로드캐스트는 노드의 단일 전송만으로 주위의 여러 노드로 메시지를 보낼 수 있다[6]. 예를 들어, 네트워크상의 노드 i 에서 노드 j 로 데이터를 송신할 때 유니캐스트 방법은 오직 노드 j 만이 메시지를 수신하지만, 무선 브로드캐스팅은 노드 i 와 노드 j 사이에 있는 모든 노드들이 노드 i 에 관한 묵시적 전송(implicitly transmission)을 받는다. 그림 1은 무선 브로드캐스팅의 메시지 전송을 간략히 보여준다.

그림 1과 같이 노드의 브로드캐스팅 과정에서 실제로 전송을 받는 노드보다 송신하는 노드에 더 가까운 두 개의 노드는 전송 받는 노드에 대한 묵시적 전송을 받는다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 묵시적 전송을 받는 노드들은 송신 노드에 의한 직접 전송이 일어나지 않기 때문에 노드간의 전송 에너지 소모가 일어나지 않는다. 그러므로 모든 노드에게 단일 전송을 해야 하는 유니캐스트 방식과 비교하여 전송 에너지 측면에서 에너지 소비가 효율적임을 알 수 있다. 이와 같이 무선 브로드캐스트에서 묵시적 전송을 이용하여 전송 에너지를 감소시킬 수 있는 성질을 무선 브로드캐스트 이점(wireless broadcast advantage)이라고 정의한다[5].

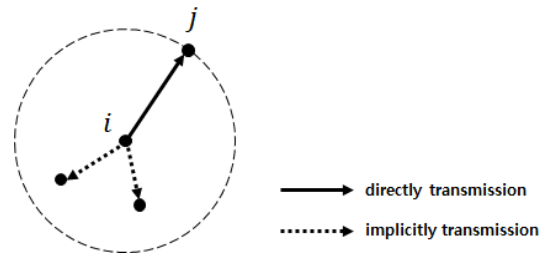


Fig. 1 Wireless broadcast

무선 브로드캐스트의 성질을 이용하여, 전체 송신 전력을 최소화하는 최소 전력 브로드캐스트(Minimum Power Broadcast: MPB) 문제를 해결하기 위한 연구가 진행되고 있다[7]. MPB 문제는 고전적인 조합 최적화 문제이며, 네트워크의 노드 수에 비례하여 지수승으로 계산 시간이 증가하는 NP-hard 문제로 증명이 되었다[3]. 무선 네트워크에서 브로드캐스트 성능을 향상시키기 위한 연구는 확률에 기반한 방법, 최소 비용 신장트리(Minimum Spanning Tree: MST)를 이용한 방법, 이웃 노드 정보를 이용한 방법, 클러스터를 구성하는 방법 등으로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 이들 중 이웃 노드 정보를 이용하여, 각 노드의 브로드캐스트 메시지 수신 상태를 고려한 탐욕 알고리즘을 제안한다. 각 노드들의 전송 반경 내에 있는 이웃 노드들을 탐색한 뒤, 가장 많은 이웃 노드를 가지고 있는 노드에게 우선적으로 브로드캐스팅을 수행하여 에너지 효율을 높이는 방법을 제안한다.

II. 관련 연구

Song *et al.*[8]은 각 노드들의 데이터 전송 여부를 확률에 기반을 둔 방법으로 고정 확률 브로드캐스팅 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 노드들이 브로드캐스트 패킷을 수신했을 때 0과 1사이의 고정된 확률로 데이터를 주위로 전달하는 방법이다. 각 노드는 확률적으로 패킷을 주위로 전달하지 않을 수 있기 때문에 모든 노드가 브로드캐스트를 수행하는 방법에 비해 전체적인 패킷 전송 횟수가 줄어들게 된다. Tonguz *et al.*[9]은 노드 카운터에 기반 한 알고리즘을 제안되었다. 이 알고리즘은 각 노드들이 브로드캐스트 메시지를 받았을 때 이웃 노드들이 받게 되는 중복된 메시지의 수를 세어 그 수가 임계값을 넘는 경우에는 패킷을 주위로 전달하지 않는 방법이다. 즉 중복된 패킷을 계속 받는 경우에는 자신이 주위로 패킷을 전달하지 않아도 주위의 노드들이 다른 노드들을 통해 패킷을 받게 되기 때문이다. Wu *et al.*[10]은 인접 노드를 이용한 기법인 Self Pruning 알고리즘을 제안되었다. 이 알고리즘은 브로드캐스팅 시 자신의 인접노드 리스트를 브로드캐스트 메시지에 같이 실어서 보내게 되고, 메시지를 수신한 노드들은 송신 노드의 인접 노드 리스트를 자신의 인접노드 리스트와 비교하여 차이가 있으면 브로드캐스팅을 수행하고, 그렇지 않으면 브로드캐스팅을 수행하지 않는다. 즉 주위의 모든 노드가 이전 노드로부터 이미 메시지를 받았을 것으로 판단되면 패킷 전달을 취소하여 전송 횟수를 줄이는 방법을 제안하였다. Wieselthier *et al.*[11]은 유선 네트워크에서의 MPB 문제를 해결하기 위해 사용되는 최소 비용 신장트리를 무선 환경에 맞게 설계한 최소 증분 전력(Broadcast Incremental Power: BIP) 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 소스 노드만이 포함된 트리로 시작하여 트리 전체의 전송 에너지 증가량이 최소가 되는 노드를 트리에 하나씩 추가한다. 네트워크상의 모든 노드들이 트리에 추가되면 무선 브로드캐스트 이점을 적용하여 전체 송신 에너지를 계산하는 과정을 수행한다.

III. 제안된 알고리즘

본 장에서는 무선 네트워크에서 MPB 문제를 해결하

기 위해 트리 기반의 탐욕적인 휴리스틱 알고리즘을 제안한다. 각 노드들의 브로드캐스팅 시 목시적 전송을 받는 노드들이 많을수록 전체 네트워크의 전송 횟수가 적어 송신 에너지를 절약할 수 있다는 가정 하에, 이웃 노드의 정보를 이용하여 가장 많은 이웃 노드를 가지고 있는 노드에게 브로드캐스트 우선순위를 부여한다.

3.1. 네트워크 모델

본 논문에서는 위치가 고정된 n 개의 노드들로 구성된 중앙집중식 무선 네트워크를 이용한다. 처음 브로드캐스팅을 수행하는 소스 노드와 나머지 노드는 직접 또는 호핑(hopping) 방식으로 통신하며, 각 노드들은 다른 노드에게 데이터를 전송하는 중계 노드의 역할을 수행할 수 있다. 신호 수신, 데이터 처리 동작에 관련된 에너지 소비는 없다고 가정하며, 송신 전력은 실제로 데이터를 주고받는 노드들의 유클리드 거리에 비례한다. 네트워크에 존재하는 모든 노드들에게 데이터를 송신하는 것이 목적이므로, 각 노드들은 적어도 하나 이상의 노드들과 통신할 수 있다.

그래프 $G = (V, E)$ 에 대하여 V 는 모든 무선 노드의 집합을 의미하고, E 는 각 노드들이 통신하기 위한 전송 거리를 간선으로 나타낸 것이다. 노드 $v \in V$ 에 대하여 각 노드는 최대 전송거리 R 를 가지며, 각 노드의 최대 전송거리 내에 위치한 노드를 이웃 노드라고 정의한다. 노드 $v_1, v_2 \in V$ 에 대하여 v_1 이 v_2 에 메시지를 전송하기 위해 필요한 에너지는 $c \cdot (d_{v_1 v_2})^a$ 에 비례하는 에너지 모델을 사용한다. 여기서 c 는 상수, a 는 경로 손실 지수(path loss exponent)이며, $d_{v_1 v_2}$ 는 두 노드간의 유클리드 거리를 나타낸다[5]. 거리 이외의 에너지 손실은 없다고 가정할 때, MPB 문제는 식 (1)과 같은 각 노드의 송신 에너지 P_{v_i} 의 총 합을 최소화하는 것이며, 브로드캐스트 이점을 적용하기 위해서 식 (2)와 같이 P_{v_i} 는 노드 v_i 의 이웃 노드 중 최대 전송거리 내에 있는 노드 중 가장 거리가 먼 노드로 브로드캐스트 메시지를 전송하는 데 소모되는 에너지를 나타낸다.

최소화

$$P_T = \min \sum_{i=1}^n P_{v_i} \quad (1)$$

관하여

$$P_{v_i} = \max(d_{v_i v_j} \mid v_j \text{ is a neighbor of } v_i) \quad (2)$$

3.2. 제안된 알고리즘 기술

제안된 알고리즘은 2장에서 언급한 BIP 알고리즘의 불필요한 에너지 소모를 줄이기 위해 새롭게 제안한 알고리즘이다. 단순한 BIP 알고리즘을 사용하게 되면, 트리 구성 과정 중 트리에 속한 노드가 새로운 노드로 데이터를 전송할 경우, 이웃 노드에 관한 불필요한 에너지 전송이 발생할 수 있다. 제안된 알고리즘은 이러한 BIP 알고리즘의 단점을 최소화하기 위해 각 노드들이 최대한의 전송거리를 통해 브로드캐스팅을 수행함으로써 목시적 전송을 받는 노드의 수를 증가시켜 이웃 노드간의 불필요한 전송 에너지 소모를 최소화했다. 또한 각 노드의 이웃 노드 정보를 이용하여 브로드캐스트 메시지를 받지 않은 이웃 노드가 가장 많은 노드에게 브로드캐스트 우선순위를 부여하여 전송 에너지 효율을 높인다.

초기의 브로드캐스트 트리 T 는 소스 노드 v_s 를 포함한 상태로 시작한다. 트리를 구성하는 절차는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 하나는 트리에 추가 할 노드를 선택하는 절차이고, 나머지 하나는 트리에 포함된 노드들 중에서 브로드캐스트 우선순위를 부여할 노드를 찾는 것이다. 그림 2는 제안된 알고리즘을 나타낸 것이다.

그림 2에서 초기의 브로드캐스트 트리 T 에는 소스 노드 v_s 만이 포함되어 있는 상태이므로, v_s 의 이웃 노드 전체를 트리에 추가한다. 그 다음 T 에 속한 노드들 중 브로드캐스트 우선순위를 부여할 노드를 탐색한다. 각 노드들은 이웃 노드 리스트를 가지고 있으며, 이웃 노드 리스트 N_{vi} 는 식 (3)과 같이 트리에 구성되어 있지 않고 v_i 의 최대 전송거리 내에서 통신할 수 있는 노드들의 집합이라고 정의한다.

$$N_{v_i} = \{v_j \notin T \mid d_{v_i v_j} \leq R\}, 1 \leq i, j \leq n \quad (3)$$

트리에 추가된 각 노드는 브로드캐스트 메시지에 포함되어있는 수신 노드 리스트를 참조하여 이미 패킷을 수신한 이웃 노드를 리스트에서 삭제하는 과정을 거쳐 이웃 노드 리스트를 갱신한다. 이후 수정된 이웃 노드 리스트 정보를 참조하여 가장 많은 이웃 노드를 가지고 있는 노드에게 브로드캐스트 우선순위를 부여한다. 브로드캐스트 자격을 받은 노드는 이웃 노드로 브로드캐스팅을 수행하고, T 에 추가하는 과정을 반복한다. 네트워크상의 모든 노드들이 브로드캐스트 트리에 구성될

때까지 위 절차를 반복하며, 트리가 완성되면 무선 브로드캐스트 이점을 적용시켜 전체 송신 에너지를 계산하는 과정이 수행된다.

```

T = {s}
S = {s}
P_T = 0
T = T ∪ N_{v_s}
// N_{v_k} is a list of v_k's neighbors but not in T
P_T = P_T + P_s
Do i = 1 to n {
    T = T ∪ N_{v_u}
    // v_u is a node in T and max||N_{v_u}||
    S = S ∪ {v_u}
    P_T = P_T + P_{v_u}
    renew N_{v_k}
    If ∀nodes ∈ T
        END
}
    
```

Fig. 2 The pseudo-code of the proposed algorithm

그림 3은 제안된 알고리즘을 사용하여 브로드캐스팅하는 과정을 나타낸 것이다. 10개의 노드로 이루어진 무선 네트워크에서 주어진 각 노드의 최대 전송거리를 이용하여 통신할 수 있는 노드를 간선으로 연결하였다.

그림 3(a)는 트리 구성의 초기 단계를 보여준다. 처음의 트리에는 소스 노드만이 포함되므로 소스 노드의 이웃 노드로의 브로드캐스팅을 수행한다. 이 경우 노드 v_1, v_2, v_3 가 트리에 포함된다. 그림 3(b)와 같이 트리에 속한 노드들의 이웃 노드 리스트를 비교하여 가장 많은 이웃 노드를 가지고 있는 노드에게 브로드캐스트 우선순위를 부여한다. 아래 그림의 경우 $N_1 = \{v_4, v_5\}$, $N_2 = \{v_6\}$, $N_3 = \{v_4, v_5, v_6\}$ 으로 가장 많은 이웃 노드를 가지고 있는 v_3 에게 브로드캐스트 권한을 부여한다. 이후 v_3 는 자신의 이웃 노드로의 브로드캐스팅을 수행하며, 이 경우 노드 v_4, v_5, v_6 가 트리에 포함된다. 브로드캐스팅을 한번 수행할 때 마다, 브로드캐스트 메시지를 받은 노드들은 이웃 노드 리스트로 추가된다. 그림 3(c)는 브로드캐스팅을 3회 수행했을 때 트리에 구성되는 노드들을 보여주고 있다. 트리에 구성된 노드들 중 이웃 노드 리스트에서 이웃 노드가 가장 많은 노드는 v_4 이며, 이 노드가 이웃 노드로 브로드캐스팅을 수행하게 된다. 브로드캐스트 메시지를 받은 v_7 과 v_8 은 자기 자신의 이웃 노드 리스트에서 트리에 추가된 노드들을 삭제하여 리스

트를 갱신한다. 소스 노드로부터 처음 브로드캐스팅을 수행했을 때 v_1, v_2, v_3 가 트리에 추가되고, 이들의 이웃 노드 리스트를 탐색하여 이미 트리에 추가된 노드들이 존재 한다면 리스트에서 삭제하는 과정을 수행한다. 노드 v_2 의 경우 브로드캐스팅을 수행하기 전에는 $N_2 = \{v_3, v_3, v_6\}$ 으로 3개의 이웃 노드를 가지고 있었지만 브로드캐스팅을 수행한 후에는 v_3 와 v_3 가 리스트에서 삭제된다. 같은 방식으로 트리에 추가되는 v_4, v_5, v_6 은 자신의 이웃 노드 리스트를 갱신하고 이 경우 이웃 노드 리스트에서 이웃 노드가 가장 많은 v_4 에게 브로드캐스트 우선순위를 부여한다. 그림 3(d)는 브로드캐스트 트리 구성의 마지막 단계를 보여준다. 트리에 구성된 노드들 중 이웃 노드가 존재하는 노드는 7번과 8번 노드이며, 두 노드의 이웃 노드는 9번 노드로 서로 같다. 이와 같이 이웃 노드 리스트의 크기가 동일한 경우에는 상대적으로 최대 전송 거리가 작은 노드에게 브로드캐스트 우선순위를 부여한다. 그림 3(d)의 경우에는 최대 전송 거리가 작은 8번 노드에게 브로드캐스트 우선순위를 부여하게 된다.

네트워크의 모든 노드들이 트리에 구성되면, 전체 송신 에너지를 계산하는 과정을 실시한다. 이 과정은 식 (2)와 같이 브로드캐스트 우선순위를 부여받은 노드를 탐색하여, 간선의 가중치가 가장 큰 이웃 노드만을 남겨두고 나머지 노드들의 가중치는 생략하는 것이다. 이는 무선 브로드캐스트 이점을 이용하여 전송 에너지 소비를 감소시킬 수 있다는 점을 의미한다. 그림 4는 제안된 알고리즘으로 소스에서 목적지까지 브로드캐스트할 경우의 경로를 나타낸 것이다.

IV. 성능 평가

에너지 효율적인 브로드캐스팅을 위해 제안된 알고리즘은 이벤트 지향 방식의 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 성능평가를 했다. 제안된 알고리즘의 성능을 비교하기 위해 트리 기반의 MST와 BIP, 브로드캐스트 우선순위를 무작위로 부여하는 랜덤 브로드캐스팅 방식과 비교 평가하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 Microsoft Windows 10에서 C 언어를 사용하여 각 알고리즘을 구현하였다. 각 알고리즘들의 정확한 성능 비교를 위해 100번의 시도하여 평균값을 결과로 나타내었다.

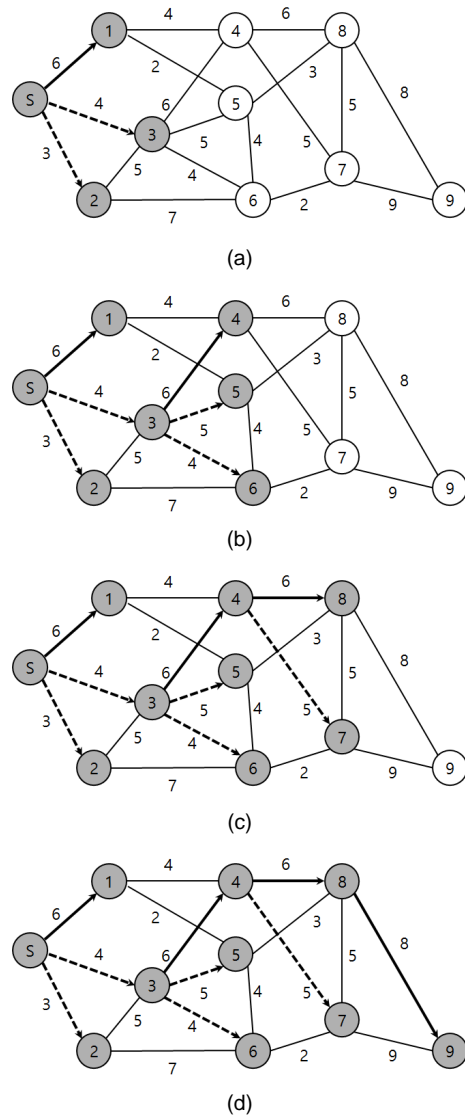


Fig. 3 Broadcasting process of the proposed algorithm

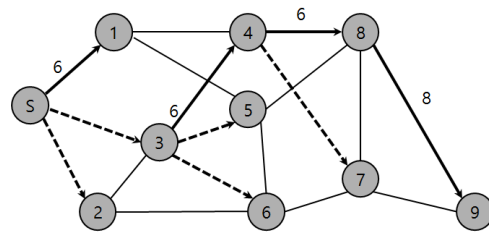


Fig. 4 Broadcasting of the proposed algorithm

성능 평가는 크게 세 가지 방향으로 수행되었다. 네트워크상에 존재하는 노드의 밀도에 따른 성능을 비교하기 위해 다양한 개수의 노드를 설정하여 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘을 비교 평가하였으며, 노드의 최대 전송거리에 따라 기존 알고리즘과 상대적인 전송 에너지 효율을 분석하였다. 마지막으로 동일한 조건에서 브로드캐스팅 시 직접 전송한 노드의 수를 계산하여 전체 네트워크에서 브로드캐스팅 수행 횟수가 얼마인지 비교하였다. 100×100 크기를 가지는 2차원 네트워크에서 각각 50, 150, 300개의 노드를 네트워크의 임의의 위치에 배치하여 동일한 소스 노드에서 브로드캐스팅을 수행하였다. 네트워크 전체의 전송 에너지 P_T 는 브로드캐스트 메시지를 송신한 모든 노드의 전송거리의 합으로 계산하였다. 이때, 상수 c 와 경로 손실 지수 a 는 1로 지정하고, 각 노드의 최대 전송거리 R 은 15, 20, 25로 설정하였다.

네트워크의 밀도에 따른 성능 평가를 위해 고정된 크기의 네트워크에 존재하는 노드의 개수를 50, 150, 300개인 환경에서 성능을 비교 분석하였다. 각 노드의 최대 전송거리 $R=20$ 으로 동일하게 설정하였다. 그림 5는 노드 개수에 따른 전송에너지를 나타낸 것이다. 그림에서 제안된 알고리즘은 노드의 수가 300개인 경우를 제외하고 전체적으로 MST, BIP 알고리즘과 비슷한 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 비교적 낮은 밀도의 네트워크 환경에서는 이웃 노드의 개수가 많지 않기 때문에 가장 많은 이웃 노드를 가진 노드에게 브로드캐스트 우선순위를 부여하는 제안된 알고리즘의 특성에 맞지 않으나, 높은 밀도의 네트워크 환경에서는 가장 좋은 효율을 보이고 있다. 또한 MST와 BIP 알고리즘은 노드의 수가 많고 네트워크 밀집도가 높은 센서 네트워크에서는 성능이 떨어짐을 알 수 있다. 배치된 노드의 수가 상대적으로 적고, 밀도가 낮은 조건($n=50$)에서 BIP 알고리즘이 좋은 성능을 보이고 있다. 노드의 수가 150개인 경우, 전체적으로 에너지 소모가 증가하고 있다. 랜덤 방식의 알고리즘을 제외하면 나머지 3가지 알고리즘은 모두 비슷한 수준의 에너지 소모를 보여주고 있지만, 제안된 알고리즘의 에너지 소비가 상대적으로 성능이 우수함을 알 수 있다. 마지막으로 노드의 수가 300개인 경우, 제안된 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보이고 있으며, MST와 BIP는 상대적으로 비효율적인 에너지 소모를 보이고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 기존의

MST와 BIP 알고리즘은 노드의 밀도가 높은 네트워크에 적합하지 않다는 것을 알 수 있다.

다음은 제안된 알고리즘이 고정된 노드의 배치에서 각 노드의 최대 전송거리에 따른 에너지 효율을 평가하였다. 성능을 평가하기 위해 최대 전송거리 R 을 15, 20, 25로 각각 설정하여 전송 에너지를 비교하였다. 노드의 개수는 150으로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 6은 동일한 크기의 네트워크에서 노드의 최대 전송거리에 따른 전송 에너지 소모를 나타낸 것이다. 그림에서 제안된 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비해 노드의 최대 전송거리에 관계없이 상대적으로 성능이 우수함을 보여주고 있으며, 최대 전송거리가 증가할수록 전송 에너지 소모가 줄어드는 것을 알 수 있다. 최대 전송거리가 증가할수록 제안된 알고리즘에서는 한 번의 브로드캐스팅 시에 많은 노드로 데이터를 전송하는 특징을 가지고 있기 때문이다.

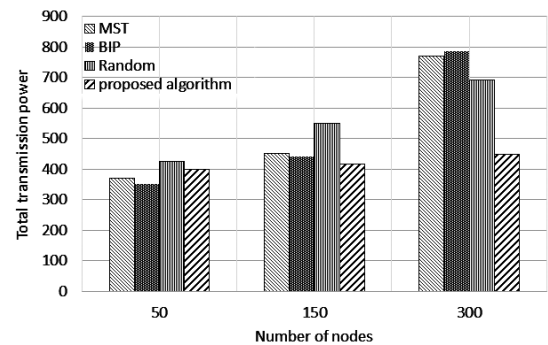


Fig. 5 Total transmission power according to the number of nodes($R=20$)

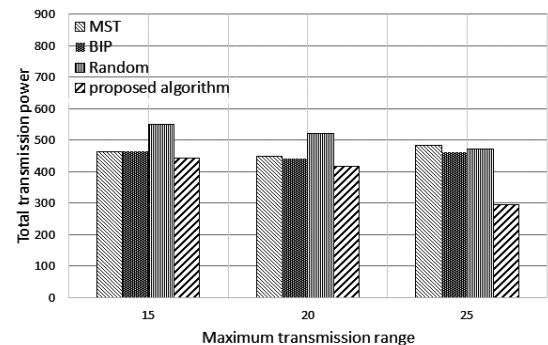


Fig. 6 Total transmission power according to the maximum transmission range of nodes($n=150$)

일반적으로 무선 네트워크에 사용되는 노드들의 특성 상 무선 통신에 사용되는 전력의 비중이 가장 높기 때문에, 브로드캐스팅 수행 횟수가 많을수록 에너지 전송에 사용되는 전력 소모가 많이 발생한다. 브로드캐스팅 횟수를 비교 평가하기 위해 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘을 앞선 시뮬레이션과 동일한 환경에서 성능을 비교하였다.

그림 7은 네트워크상의 노드 개수에 따른 브로드캐스팅 횟수를 나타낸 것이다. 그림에서 노드의 수와 관계없이 제안된 알고리즘의 전송 횟수가 가장 작은 것을 알 수 있다. 노드의 수가 증가함에 따라 전체적으로 브로드캐스팅 수행 횟수가 증가하지만, BIP, MST 알고리즘은 브로드캐스팅 수행 횟수가 높은 쪽으로 증가하는 반면, 제안된 알고리즘과 랜덤 알고리즘은 증가폭이 작음을 볼 수 있다.

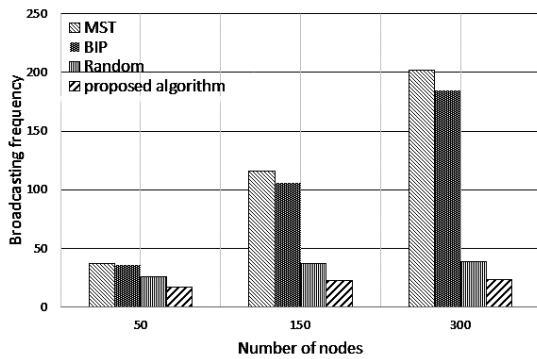


Fig. 7 Broadcasting frequency according to the number of nodes(R=20)

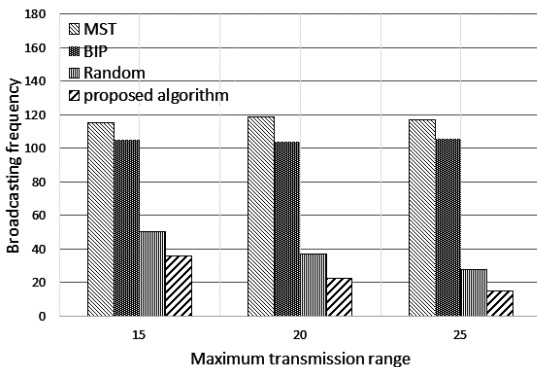


Fig. 8 Broadcasting frequency according to the maximum transmission range of nodes(n=150)

제안된 알고리즘은 브로드캐스팅 시 한 번의 전송으로 많은 노드에게 메시지를 보낼 수 있는 노드에게 브로드캐스팅 우선순위를 부여하는 반면에 BIP, MST 알고리즘은 노드가 트리에 하나씩 추가되는 과정에서 불필요한 브로드캐스팅을 수행하는 것을 알 수 있다. 그림 8은 최대 전송거리에 따른 브로드캐스팅 수행 횟수를 나타낸 것이다. 그림에서 전체적으로 제안된 알고리즘의 브로드캐스팅 수행 횟수가 기존의 알고리즘보다 적음을 알 수 있다. 최대 전송 거리가 증가할수록 제안된 알고리즘과 랜덤 알고리즘은 전송 횟수가 감소하는 것을 보이는 반면에 기존의 MST, BIP 알고리즘은 유의미한 변화가 없는 것을 알 수 있다. 이는 각 노드들의 최대 전송거리가 증가할수록 각 노드의 전송 반경이 증가하여 인접 노드의 수를 고려한 브로드캐스팅 방법을 사용하는 제안된 알고리즘과 랜덤 알고리즘은 노드들의 최대 전송거리 변화에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 결론적으로 성능평가 결과에서 제안된 알고리즘이 무선 네트워크에서 최소 전력 브로드캐스팅 문제를 효과적으로 해결할 수 있음을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문은 무선 네트워크에서 최소 전력 브로드캐스팅 문제를 해결하기 위한 방법으로 트리 기반으로 한 탐욕 알고리즘을 제안하였다. 무선 브로드캐스트는 단일전송으로 여러 노드와 통신할 수 있기 때문에 본 논문에서 제안한 알고리즘은 이웃 노드 리스트를 이용하여 한 번의 전송에 최대한 많은 노드들과 통신할 수 있게 브로드캐스트 우선순위를 부여함으로써 전송 에너지 효율을 높이는 방법을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 기존의 트리 기반 알고리즘인 BIP, MST와 성능 비교를 하였다. 시뮬레이션 결과에서 소규모 네트워크 환경이나 노드의 밀도가 낮은 네트워크에서는 BIP, MST 알고리즘의 에너지 소모가 효율적이었지만 대규모 네트워크나 노드의 밀도가 높은 네트워크에서는 제안된 알고리즘의 성능이 전송 에너지와 전송 횟수 측면에서 효율적임을 알 수 있었다. 따라서 제안된 알고리즘이 무선 네트워크에서 최소 전력 브로드캐스팅 문제를 효과적으로 해결할 수 있음을 볼 수 있었다.

REFERENCES

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Sankarasubramaniam, and Y. E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393-422, 2002.
- [2] I. Caragiannis, M. Flammini, and L. Moscardelli, "An exponential improvement on the mst heuristic for minimum energy broadcasting in ad hoc wireless networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 21, no. 4, pp. 1322-1331, Aug 2013.
- [3] R. Montemanni and P. Mahdabi, "A Linear Programming-based Evolutionary Algorithm for the Minimum Power Broadcast Problem in Wireless Sensor Networks," *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, vol. 10, pp. 145-162, June 2011.
- [4] K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad hoc networks*, vol. 2, pp. 325-349, 2005.
- [5] D. Nguyen et al, "Wireless broadcast using network coding," *IEEE Transactions on Vehicular technology*, vol. 58, no. 2, pp. 914-925, 2009.
- [6] A. K. Das et al, "Minimum power broadcast trees for wireless networks: integer programming formulations," In *Proceeding of Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications*, vol. 2, 2003.
- [7] J. E. Wieselthier, G. D. Nguyen, and A. Ephremides, "Resource-limited energy-efficient wireless multicast of session traffic," In *Proceeding of System Sciences*, 2001.
- [8] T. K. Song, J. J. Kang, and H. S. Ahn, "A Flooding Scheme Based on Packet Reception Counts for Ad Hoc Networks," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 11, no. 2, pp. 197-203, 2011.
- [9] O. K. Tonguz et al, "On the broadcast storm problem in ad hoc wireless networks," In *Proceeding of International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems*, pp. 1-11, 2006.
- [10] J. Wu and F. Dai, "Broadcasting in ad hoc networks based on self-pruning," *International Journal of Foundations of Computer Science*, vol. 14, no. 2, pp. 201-221, 2003.
- [11] J. E. Wieselthier, G. D. Nguyen, and A. Ephremides, "On the construction of energy-efficient broadcast and multicast trees in wireless networks," In *Proceeding of Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, pp. 585-594, 2000.



이동호(Dong-ho Lee)

2015년 2월 : 한국해양대학교 데이터정보학과 학사
2017년 2월 : 한국해양대학교 데이터정보학과 석사
※ 관심분야 : 네트워크 프로토콜



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