

# 무선 Ad-hoc 네트워크에서 시스템 활동시간 증가를 위한

## Broadcast 트리 설계

진태금<sup>0</sup> 이상규  
숙명여자 대학교 컴퓨터 과학과  
{tk03<sup>0</sup>, sanglee}@cs.sookmyung.ac.kr

### Broadcast Tree Construction for Increasing System Lifetime in Wireless Ad-hoc Networks

Tae-Kum Jin<sup>0</sup> Sang-Kyu Lee  
Dept. of Computer Science Sookmyung Women's University

#### 요 약

무선 Ad-hoc 네트워크 환경에서는 제한된 자원의 효율적 사용을 고려하여야 한다. 그러한 중요 자원 중의 하나가 배터리로 공급되는 에너지원이다. 이 때 사용되는 총 에너지의 양을 최소화 하는 것도 중요하지만 경우에 따라서는 모든 노드들이 얼마나 지속적으로 서비스를 할 수 있는가가 중요한 요소가 될 수도 있다. 본 논문에서는 무선 Ad-hoc 네트워크에서 통신의 기본이 되는 브로드캐스팅을 위한 브로드캐스트 트리의 구성 시 모든 노드들이 에너지 소진으로 인한 작동의 멈춤 없이 최대한 활동할 수 있도록 하는 것을 고려한 트리 생성 방법을 제안한다.

#### 1. 서 론

기반 시설이 갖추어지지 않은 오지에서 임시적인 네트워크 구성이 필요할 때 라우터나 게이트웨이 등의 기반시설의 도움 없이 각 노드가 송수신뿐만 아니라 메시지의 전달까지 참여하여야 이를 지원하는 Ad-hoc 네트워크의 필요성이 대두되고 있다. Ad-hoc 네트워크에서는 기존의 네트워크 망에서는 없던 여러 가지 제약들을 고려해야 하는데 그 중 배터리사용으로 인해 발생하는 제한된 에너지원을 어떻게 효율적으로 사용하는가가 중요한 고려 사항이 된다[5]. 메시지 전달 시 전송 에너지의 최소화를 위한 많은 연구들이 진행되었는데 메시지 전송의 가장 기본이 될 수 있는 브로드 캐스팅에 관한 연구도 활발히 진행되어 왔다. 무선 Ad-hoc 네트워크에서는 송신 노드가 자신이 보내야 할 각각의 수신 노드에게 일일이 메시지를 따로 보낼 필요 없이 한번의 전송으로 수신범위 내에 있는 모든 노드들에게 한꺼번에 메시지를 전송을 할 수 있는 특성이 있다. 이러한 무선 브로드캐스트의 특성을 이용하여 전송 에너지 최소화를 위한 브로드캐스트 방법들이 연구되었다[2,3,4].

그러나 이러한 방법들은 모두 네트워크에서 소비되는 전체 에너지를 최소화 하는 방법들로서 전체 송신 에너지의 감소에는 효과적이거나 송신 노드의 에너지를 최대한으로 늘려 되도록 많은 수신 노드들에게 한번에 메시지를 전달하려 하기 때문에 특정노드에게 에너지 소비가 집중되는 현상을 초래 할 수 있다. 그러나 상황에 따라 전체 에너지를 최소화 하는 것 보다 모든 노드들이 오래 살아남아 지속적인 서비스를 하는 것이 더 중요할 때가 있다. 네트워크에서 데이터 전송이 시작되어 통신 진행됨에 따라 노드들의 에너지가 소모되고 결국 모든 에너지를 소모하여 작동을 멈추는 노드가 나타날 때까지의 시간을 시스템 활

동시간(System lifetime)이라고 하는데[1] 본 논문에서는 시스템 활동시간의 최대화를 고려한 브로드캐스트 트리 구성 방법을 제안한다.

#### 2. 네트워크 모델 및 문제 정의

Ad-hoc 네트워크를 한정된 공간 안의 노드들의 집합,  $V$ 로 나타내었다. 본 논문에서는 노드의 이동성은 고려하지 않았다. 노드들의 이동이 발생되면 제안하는 알고리즘으로 새로운 브로드캐스트 트리를 재구성하도록 한다. 각각의 노드는 전방위 안테나를 갖고며 각각의 노드  $i \in V$ 는 초기 에너지  $E_i$ 가 주어지고 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 까지 단위 크기의 데이터를 전송하는데 사용되는 노드  $i$ 의 전력을  $e_{ij}(i \neq j)$ 로 나타낸다. 이 때, 노드  $i$ 의 소비 전력  $e_{ij}(i \neq j)$ 는 논문 [2],[3]와 같이  $r_{ij}^{-\alpha}$ ( $r$ 는 노드  $i$ 와 노드  $j$  사이의 거리)로 하였다. 여기서  $\alpha$ 는 propagation loss exponent로  $\alpha$ 가 커질수록 전파로 인한 손실이 커서 데이터 전송에 많은 에너지가 필요함을 의미한다. 노드  $i$ 에 있어서의 활동 시간 (life time)  $T_i$ 는 노드  $i$ 가 통신을 시작하여 자신이 가진 초기 에너지( $E_i$ )를 다 소진하는데 걸리는 시간을 나타낸다. 노드  $i$ 가 전송해야 할 노드들의 집합을  $S$ 라 할 때 노드  $i$ 의 활동시간  $T_i$ 는 무선 브로드캐스팅의 특성에 따라  $E_i / \max(e_{ij})$  for all  $j \in S$ 가 된다. 시스템 활동 시간은 각 노드의 활동 시간 중 가장 작은 활동 시간에 의해 결정되므로  $\min(T_i)$  for all  $i \in V$ 로 나타낸다. 노드  $i$ 가 노드  $j$ 에게 메시지를 전달 하고자 할 때 노드  $i$ 의 최대 전송에너지로 노드  $j$ 에게 도달할 수 없을 경우 다른 노드들이 이를 중계하는 다중 홉(multi-hop) 통신 방식을 사용한다. 본 논문에서 고려하는 문제는 위에 정의한 네트워크에서

시스템 활동시간의 최대화를 목적으로 하는 브로드캐스트 트리를 구성하는 것이다.

### 3. maxSLT 알고리즘

본 논문이 제안하는 알고리즘은 브로드캐스트 메시지 전달에 참여하는 송신 노드를 결정할 때 노드들의 활동 시간을 고려함으로써 모든 송신 노드의 활동 시간 중 가장 작은 활동 시간인 시스템 활동 시간을 늘리는 효과를 가져온다.

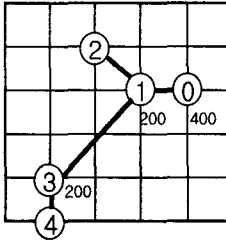


그림 1. 에너지 소비만을 고려한 경우

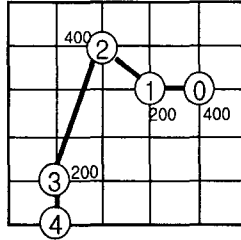


그림 2. 시스템 활동 시간을 고려한 경우

그림 1과 그림 2는 5×5의 사각형의 범위 안에 5개의 노드가 동일한 위치에 자리하고 있지만 노드 0으로부터의 브로드캐스트 트리 설계에 있어서 그림 1은 전체 에너지 소비를 최소화하는 데에 초점을 둔 경우이고 그림 2는 시스템 활동 시간을 늘리는 데에 초점을 둔 경우이다. 에너지 소비를 최소화하는 목적을 가지는 알고리즘인, 논문[2]에서 제안한 BIP이나 논문[3]에서 제안한 MST에 적용한 EWMA의 경우 그림 1과 같은 결과가 나오며 그림 1과 동일한 고정된 노드 좌표에 시스템 활동 시간을 고려할 경우 그림 2와 같은 브로드캐스트 트리가 만들어진다. 0번 노드로부터 데이터의 전송이 시작되고  $e_{ij} = r_{ij}^\alpha$  ( $i \in V, j \in V$ )에서  $\alpha=2$ 이고 노드 1의 초기 에너지는 200, 노드 2의 초기 에너지는 400이라고 가정하면 그림 1에서는 트리의 에너지 소비가 Wireless Broadcast의 특징을 따라  $e_{01} (= 1) + e_{13} (= 8) + e_{34} (= 1) = 10$ 이 된다. 한편 그림 2에서는  $e_{01} (= 1) + e_{12} (= 2) + e_{23} (= 10) + e_{34} (= 1) = 14$ 로 에너지 소비가 늘어난다. 하지만 시스템 활동 시간은 아래의 식과 같이 그림 1에서 노드 1에서의 25이던 것이 그림 2에서는 노드 2에서의 40으로 늘어나는 것을 볼 수 있다.

시스템 활동 시간 =  $E_1 / e_{13} = 200 / 8 = 25$  ——— 그림 1  
 시스템 활동 시간 =  $E_2 / e_{23} = 400 / 10 = 40$  ——— 그림 2

시스템 활동 시간을 고려한 그림 2의 트리 생성 과정을 보면 소스 노드 0에서 시작하여 노드 0에서 가장 큰 활동 시간으로 데이터를 수신하는 노드는 노드 0에서 가장 가까운 노드 1이므로 노드 1이 트리에 추가된다. 트리에 속한 노드 0과 노드 1중, 트리에 속하지 않은 나머지 노드로 데이터를 보낼 때 가장 큰 활동 시간으로 보낼 수 있는 링크(노드 1 - 노드 2)를 선택하여 트리에 추가한다. 이와 같은 방식으로 트리를 형성하면 그림 2와 같이 된다.

위와 같이 활동 시간의 증가를 고려하여 브로드캐스트 트리를 구성하는 과정이 본 논문에서 제안하는 maxSLT 알고리즘이다.

```

maxSLT( )
{
    TREE = {source};
    for(i = 1; i <= N, i++)
        for(j = 1; j <= N, j++)
            {
                link_life_timeij = Ei / eij;
                max_life_timei = 0;
            }
    while((TREE| < N)
    {
        (I, J) = compute_maxlifetime_link
            (TREE, link_life_time);
        TREE = TREE ∪ {J};
    }
}

compute_maxlifetime_link(TREE, link_life_time)
{
    for(all i on TREE)
        for(all j outside TREE)
            if(link_life_timeij > max_life_timei)
                {
                    max_life_timei = link_life_timeij;
                    I = i;
                    J = j;
                }
    return (I, J);
}
    
```

maxSLT 알고리즘은 궁극적으로 소스로부터 데이터를 멀티 홉(multi-hop)으로 전송하는 브로드캐스트 트리를 만든다. 브로드캐스트 트리는 시작시점에 소스 노드 하나로 시작하여 트리에 있는 노드에서 현재 노드의 에너지로 가장 많은 시간동안 전송할 수 있는 수신 노드를 택하여 트리에 포함시킨다. 그러므로 브로드캐스트 트리는 각 노드마다 최대의 활동시간을 가지게 하면서 확장되어 네트워크에 있는 모든 노드의 집합 V(N개의 노드)를 다 포함시키면 하나의 완전한 브로드캐스트 트리를 완성한다. 여기서 브로드캐스트 트리를 TREE로 나타내고 소스 노드는 source로 표시한다. source는 주어진 공간 안에서 가장 먼저 생성된 노드이다. 각 노드들은 생성 순서대로 0부터 순차적으로 노드 id를 가지며 source의 노드 id는 0이다. link\_life\_time<sub>ij</sub>는 노드 i에서 노드 j로 데이터를 보낼 수 있는 활동시간을 나타내며 식(1)과 같이, 노드의 현재 에너지(E<sub>i</sub>)에서 링크(i,j)의 전송에너지(e<sub>ij</sub>)를 나눈 값으로 초기화 된다.

$$\text{link\_life\_time}_{ij} = E_i / e_{ij}, ij \in V \quad \text{식(1)}$$

위의 구조를 바탕으로 브로드캐스트 트리는  $i \in \text{TREE}, j \in V - \text{TREE}$  인 모든  $i, j$ 에 대하여 link\_life\_time<sub>ij</sub>가 최대인 I, J를 찾아 J를 TREE에 포함시키고 I의 활동시간을 max\_life\_time<sub>i</sub>에 저장하는 작업을 TREE의 원소 수가 V의 원소 수(N)와 같

아질 때까지 반복한다. |TREE| = N이 되면 시스템 활동시간을 고려한 브로드캐스트 트리가 완성된다. 이 때 각 송신 노드는 max\_life\_time에 자신의 최대 활동시간을 가지게 되는데 모든 송신노드 의 max\_life\_time<sub>i</sub> 중 가장 작은 값이 시스템 활동 시간이 된다.

4. 실험 설정 및 실험 결과

본 논문에서는 논문[2]와 같이 5 x 5 사각형 범위에 노드의 숫자를 5, 10, 25, 50, 75, 100개가 되게 노드를 임의로 생성한 후 각각의 경우에 대하여 MST+EWMA, BIP, maxSLT를 적용하여 시스템 활동 시간을 측정하였다. 이 때 초기에너지는 id가 짝수인 노드의 경우 400, id가 홀수인 노드의 경우 200으로 주었다. 또한, 노드 i에서 노드 j로의 전송 에너지 e<sub>ij</sub>는 식(1)이용하여,

$$e_{ij} = r_{ij}^\alpha \quad (r: \text{노드 } i \text{와 노드 } j \text{ 간의 거리, } \alpha: \text{propagation loss exponent}) \quad \text{식(1)}$$

논문 [2]의 5.1절과 [3]의 5.1절에서와 같이 α=2로 하였다. 세 가지 알고리즘에 대한 용이한 시스템 활동 시간 비교를 위하여 논문 [4]에서의 normalizing 방법을 시스템 활동 시간의 normalizing에 적용하였다. 본 논문의 500번의 시뮬레이션에서의 각각의 네트워크 인스턴스가 m이고 각각의 알고리즘을 i (i = { MST, BIP, MST+EWMA, maxSLT })로 나타낼 때,

Q<sub>i</sub>(m) = System Life Time of multicast tree for network m, generated by algorithm i,

이고 Q<sub>best</sub>(m) = max{Q<sub>i</sub>(m), i ∈ I}(I는 알고리즘의 집합)로 정의한다.

즉, Q<sub>best</sub>(m)은 m번째 네트워크 인스턴스에 적용된 세가지 알고리즘의 시스템 활동 시간 중 가장 큰 값을 가지게 되고 알고리즘 i에 대한 normalized SLT는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q_i(m)' = \frac{Q_i(m)}{Q_{best}(m)}$$

각각의 Q<sub>i</sub>(m)'에 대하여 평균을 낸 결과가 그림 3에 있다.

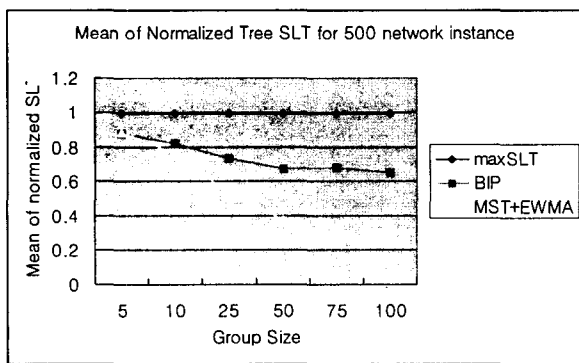


그림 3. normalized SLT(System Life Time)의 평균

그림 3에서 Group Size는 5x5 사각형 안의 노드의 개수를 의미한다. maxSLT가 Group size에 상관없이 1인 것은 500번의

시뮬레이션 동안 항상 maxSLT가 가장 큰 시스템 활동 시간을 가졌음을 의미하고 노드의 개수가 많아질수록 BIP과 MST+EWMA는 maxSLT에 비해 시스템 활동 시간이 현저하게 낮아짐을 알 수 있다.

	MST	BIP	MST+EWMA
5	0.271	8.927	10.736
10	2.643	13.392	18.500
25	4.714	12.436	20.316
50	4.083	11.773	19.404
75	4.532	11.955	19.008
100	5.17	12.383	19.341

표 1. 타 알고리즘 대비 maxSLT 전체 소비 에너지 증가율(%)

	MST	BIP	MST+EWMA
5	9.436	13.600	13.168
10	14.886	22.399	31.799
25	22.484	38.759	97.181
50	27.472	51.600	178.489
75	26.925	51.676	260.391
100	29.788	57.456	340.013

표 2. 타 알고리즘 대비 maxSLT 시스템활동시간 증가율(%)

표1, 표2의 맨 좌측 열은 Group Size, 즉 5 x 5 사각형 범위 내의 노드의 개수를 말한다. 표1 과 표2는 MST, BIP, MST+EWMA의 각각의 알고리즘에 비하여 maxSLT의 전체 에너지와 시스템 활동 시간이 얼마나 증가했는지를 퍼센트로 나타낸 것이다. 표1·표2의 결과는 maxSLT가 기존의 알고리즘에 비해서 전체 소비 에너지보다 시스템 활동 시간이 훨씬 큰 비율로 연장되는 것을 보여준다. 노드의 개수가 100개일 때 500번의 시뮬레이션 결과, 표 1과 같이 maxSLT가 MST, BIP, MST+EWMA에 비하여 각각 5.17%, 12.38%, 19.34%의 소비 에너지 증가율을 보였고 시스템 활동 시간 면에서는 각각 29.78%, 57.45%, 340.01%의 증가율을 보였다. maxSLT의 적용 시 소비 에너지의 증가율에 비해서 시스템 활동 시간의 증가율이 월등히 높은 것으로 나타났다. 또한, 전송 에너지가 r<sup>2</sup>일 때, 소비 에너지에 비해서 시스템 활동 시간은 노드의 밀집도가 커질수록 훨씬 큰 증가율을 보인다.

5. 결론

본 논문에서는 무선 Ad-hoc 네트워크의 브로드캐스트 방법에서 기존의 전체 소비 에너지 감소에 초점을 두어 시스템 활동 시간이 감소했던 기존의 연구인 [2],[3]와 달리 시스템 활동 시간을 고려한 알고리즘으로 더 좋은 시스템 활동 시간을 가지는 모델을 제시하였다.

6. 참고 문헌

[1] J. chang and L. Tassiulas, "Energy conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks," IEEE INFOCOM 2000, p.22-31 2000  
 [2] E. Wieselthier and D. Nguyen, "Energy-Efficient Broadcast and Multicast Trees in Wireless Networks"  
 [3] M. Cagalj, J.P. Hubaux, and C. Enz, "Minimum-energy broadcast in all-wireless networks: NP-completeness and distribution issues", MOBICOM'02, September 23-26, p.1-8  
 [4] E. Wieselthier, D. Nguyen, and Ephremides, "On the Construction of Energy-Efficient Broadcast and Multicast Trees in Wireless Networks", IEEE INFOCOM 2000  
 [5] Charles E. Perkins, "Ad Hoc Networking", Addison-Wesley.