

# Ad-hoc 네트워크의 시스템 활동시간 증가를 위한 효과적인 전력소비 라우팅

김영남<sup>0</sup> 박숙영 이상규 이주영<sup>1</sup>  
숙명여자대학교 컴퓨터학과  
덕성여자대학교 컴퓨터학과<sup>1</sup>

{ynkim<sup>0</sup>, sookyoung, sanglee}@cs.sookmyung.ac.kr, jylee@center.duksung.ac.kr

Efficient Energy Conserving Routing for Increasing System Lifetime of Wireless Ad-hoc Networks

Young-Nam Kim<sup>0</sup> Sook-Young Park Sang-Kyu Lee Ju-Young Lee<sup>1</sup>  
Dept. of Computer Science Sookmyung Women's University  
Dept. of Computer Science Duksung Women's University<sup>1</sup>

## 요 약

전력이나 유선망 등의 기반시설 없이 임의의 장소에서 필요에 의해 일시적으로 구성되었다가 해체할 수 있는 네트워크 형태의 필요성이 대두됨에 따라 Ad-hoc 네트워크에 관한 여러 가지 연구가 진행되고 있다. Ad-Hoc 네트워크에서는 기존의 유선 네트워크 망에서와는 달리 게이트웨이나 라우터 등의 도움 없이 모바일 기기들 간의 통신이 가능해야 한다. 이러한 임의성과 휴대성, 그리고 이동성 때문에 야기되는 여러 가지 문제들을 해결해야, 안정적이고 효율적인 통신을 보장할 수 있다. Ad-hoc 네트워크에서는 대부분의 경우 배터리가 에너지원인 모바일 기기들을 사용하므로 효율적인 에너지 자원 관리가 중요한 고려대상이 된다. 본 논문에서는 Ad-hoc 네트워크의 시스템 활동시간을 최대화시키려는데 중점을 둔 효율적인 라우팅방법을 제안한다. 제안된 방법에서는 데이터 전송에 따른 에너지 소비뿐만 아니라 제어신호의 전송에 따른 에너지 소비를 함께 고려하였다.

## 1. 서 론

진시 상황의 오지에서 펼쳐지는 군사 작전중의 통신, 산간이나 해상지역에서의 재난 구조 활동, 멀리 떨어진 건설 현장 등에서 센서제어 시스템 등에서와 같이 기반 통신시설이 없는 곳에서의 네트워크 구성 및 사용의 필요성이 요구됨에 따라 임의의 장소에서 네트워크를 구성하여 사용할 수 있는 Ad-Hoc 네트워크에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 위의 경우와 같이, 대부분 전력이나 유선망 등의 기반시설이 없는 곳에서의 통신은 라우터나 게이트웨이의 보조를 받을 수 없기 때문에 휴대폰에서처럼 모바일 기기들이 수신 및 전송만 하는 것이 아니라, 필요에 따라 자신과 관련 없는 통신을 위한 데이터 중계도 가능해야 한다. 따라서, Ad-Hoc 네트워크의 통신에서는 모바일 기기들이 다른 통신을 중계하는 다중 홉(multi-hop) 방식을 사용하고 있다. 이러한 망을 구축하는 모바일 기기들 간의 통신을 원활히 하기 위해 여러 가지 상황이 고려되어야 하지만 무선 Ad-Hoc 네트워크는 잦은 네트워크 구성의 변화, 제한된 사용 자원 등 기존 유선 네트워크와는 다른 특성들을 갖게 된다. 이런 이동통신에서 보여지는 기존의 전통적 유선 네트워크에서와는 다른 특성들은 모바일 기기의 이동성과 휴대의 편리성으로 인해 기기의 크기와 무게에 제한을 받음으로써 생기게 된다. 따라서, 유선 통신에서와는 달리 기반 시설이 없는 환경에 설치된 Ad-hoc 네트워크가 고품질의 서비스를 제공하려면 제한된 자원을 효과적으로 사용하여야 한다.

이러한 새로운 제약 조건들에 대한 연구 중에 제한된 전력 사용에 따른 에너지 사용의 효율성을 고려한 문제가 여러 가지 각도에서 활발히 진행되고 있다[1,2,3,4].

기존의 효율적인 전력사용을 위한 통신 방법의 연구들은 주로 네트워크 내에서 사용되는 전체 전력에너지를 최소화하는 것이

었다[4,6]. 그러나, 애플리케이션에 따라서는 전체 전력에너지를 최소화하는 것보다도, Ad-hoc 네트워크상의 모든 모바일 기기들의 에너지소진 시간을 늦춤으로써 네트워크를 오랜 시간 유지하는 것이 중요하다. 이에, Chang 등이 [1]에서 제안한 에너지 소비를 고려하는 라우팅에서는 전체 네트워크에서의 총에너지 소비대신 시스템 활동시간(system lifetime)을 고려하였다. 이때, 시스템 활동시간이란 Ad-hoc 네트워크가 구성되고 주어진 process가 시작해서 데이터 전송이 진행됨에 따라 모바일 기기들의 에너지는 점차 감소하고 결국 자신이 갖고 있는 에너지가 소진되어 작동을 멈추게 되는 모바일 기기들이 나타날 때까지의 시간, 즉, 시스템이 시작되어 에너지소진으로 인해 작동을 멈추게 되는 모바일 기기가 처음 발생 될 때까지의 시간을 시스템 활동시간(system lifetime)이라 정의하였다[1]. [1]의 논문에서는 이 시스템 활동시간을 최대화시키도록 하는데 중점을 둔 라우팅방법을 소개하였다. 그러나, 그들의 라우팅방법은 데이터 전송에 따른 에너지 소비만을 고려하여 각 노드들이 전송해야 하는 통신량을 계산한 것으로, 라우팅 계산에 필요한 제어신호(control signal)들의 전송에 필요한 에너지 소비를 고려하지 않았다. 때문에, 이러한 제어신호 전송에 따른 에너지 소비까지 함께 고려한다면, Chang 등이 제안한 제방향설정 알고리즘에 의한 라우팅방법이 그러한 제방향설정 알고리즘을 고려하지 않은 라우팅에 비해 오히려 시스템 활동시간이 감소할 수 있다는 문제제기를 [5]에서 하였다. 본 논문에서는 무선 Ad-hoc 네트워크에서 데이터의 전송에 소비되는 에너지뿐만 아니라 제어신호의 전송에 소비되는 에너지의 양을 함께 고려하는 라우팅방법을 제안하고 실험을 통해 Chang 등이 제안한 라우팅방법보다 좋은 시스템 활동시간을 얻을 수 있는 결과임을 보여준다.

다음 장에서는 네트워크 모델과 문제정의, 3장에서는 제어신호 전송 에너지 소비를 고려하는 라우팅 알고리즘설계, 4장에서는 실험설계 및 실험 결과를 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 네트워크 모델 및 문제 정의

무선 Ad-Hoc 네트워크를 본 논문에서는 방향성이 있는 링크를 갖는 그래프  $G(V, E)$ 의 형태로 모델화하였다. 이때,  $V$ 는 Ad-Hoc 네트워크 내에 존재하는 모바일 기기들을 나타내는 노드의 집합,  $E$ 는 두 노드 사이의 통신을 나타내는 모든 방향성이 있는 링크  $(i, j)$  ( $i, j \in V$ )들의 집합을 나타낸다. 두 노드 사이의 거리가 특정 범위 안에 들어오면 링크가 존재하는 이웃 노드로 보고, 각 노드  $i$ 의 이웃노드의 집합을  $N_i$ 로 표시한다. 각각의 노드  $i \in V$ 는 초기 에너지 값  $E_i$ 가 주어지고 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 까지 단위 크기의 데이터를 전송하는데 사용되는 노드  $i$ 의 전력을  $e_{ij}$  ( $i \neq j$ )로 나타낸다. 노드  $i$ 가 갖고 있는 현재 에너지 값  $Er_i$ 는 초기에는  $E_i$ 와 같은 값을 갖는다. 네트워크에는 하나의 소스노드(source node)와 하나의 목적지노드(destination node)가 존재한다고 가정하는데, 소스노드는 일정량의 데이터를 일정 간격을 두고 발생시키고 이 데이터는 목적지 노드에 전달되어야 한다. 이때, 두 노드 사이의 거리가 이웃노드를 정의하는 거리의 범위를 초과하는 경우에는 다른 노드들이 중간에서 데이터를 전달하는 다중 홉(multi-hop)통신 방식을 갖게 된다. 이때, 소스노드에서 발생하는 데이터는 여러 경로를 통하여 목적지노드에 전달 될 수 있다. 데이터의 전송 경로에 놓이게 되는 노드들이 각기 특정 이웃노드에 전달해야 하는 데이터의 양을 할당 받는데, 링크  $(i, j)$ 를 이용해 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 로 전송해야 할 데이터의 양을 플로우  $q_{ij}$ 로 나타낸다. Ad-Hoc 네트워크의 전체 플로우  $q = \{q_{ij} \mid i, j \in V, i \neq j\}$ 가 주어졌을 때 노드  $i$ 에 있어서의 활동시간(lifetime)  $T_i(q)$ 는 노드  $i$ 가 자신에게 할당된 플로우의 전송을 얼마동안 계속할 수 있는가를 나타낸다. 모든 노드 중 가장 적은 활동시간이 시스템 활동시간이 된다. Chang 등의 논문[1]에서 제안한 라우팅방법은 분산 Max-flow 알고리즘을 응용하여 초기 플로우를 구하고 이를 다시 재방향설정 알고리즘(Redirection algorithm)을 사용하여 초기 플로우 값을 조정하여 시스템 활

력소비가 더 크기 때문이다[5]. 이에, 본 논문에서는 제어신호가 많이 사용되는 재방향설정 알고리즘보다는 적은 계산을 하여 제어신호 전송에 따른 전력소비를 줄이고, 초기 플로우 알고리즘보다는 남은 에너지의 양과 사용되어진 에너지의 양을 함께 고려하여 경로를 선택하는 방법을 사용하여 데이터 전송에 따른 전력소비를 줄였다. 따라서, 데이터 전송에 따른 전력소비와 제어신호 전송에 따른 전력소비를 함께 고려할 때 앞의 두 방법보다 시스템 활동시간을 증가시킬 수 있는 라우팅방법을 제안하였다. 그림 3에서 제어신호를 고려하지 않았을 때 본 논문이 제안하는 Maxlife 알고리즘방법의 결과가 초기 플로우만을 사용한 방법과 재방향설정 알고리즘을 사용한 방법의 중간에 위치하는 것을 볼 수 있고, 제어신호 전송에 따른 전력소비를 데이터 전송에 따른 전력 소비와 함께 고려한 경우에는 본 논문에서 제안하는 알고리즘이 초기 플로우 알고리즘이나 재방향설정 알고리즘을 사용한 경우들보다 좋은 시스템 활동시간을 갖게 되는 것을 그림 4에서와 같이 확인 할 수 있다.

3. Maxlife 알고리즘

시스템 활동시간을 증가시키기 위해 제안된 재방향설정 알고리즘이 실제적으로 제어신호에 소비되는 에너지를 고려하였을 경우에는 오히려 시스템 활동시간이 감소되기 때문에 본 논문에서는 초기 플로우를 결정할 때, 더 많은 것을 고려하여 애초에 좋은 초기 플로우 경로를 결정하는 라우팅방법을 제안한다. 우선, 초기 플로우를 결정할 때 식(1)의 링크비용( $c_{ij}$ )만을 사용하여 경로를 결정하였던 기존 알고리즘과는 달리, 본 논문에서는 식(2)와 같이  $i$ 가 사용한 소비전력의 합과 노드  $i$ 의 남은 에너지를 함께 고려하여 링크비용을 재정의하였다.

$$c_{ij} = \frac{e_{ij} \cdot E_i}{Er_i}, \quad i, j \in V \quad \text{식(1)}$$

$$c_{ij} = \left( \sum_{k \in N_i, \text{ and } k \neq j} (e_{ik} \cdot q_{ik}) + e_{ij} \right) / Er_i, \quad i, j \in V \quad \text{식(2)}$$

이때, 제안하는 Maxlife 알고리즘의 경로를 결정하는 방법은 다음과 같이 이루어진다. 사용되는  $\text{cost}_i$ 는 소스노드에서 노드

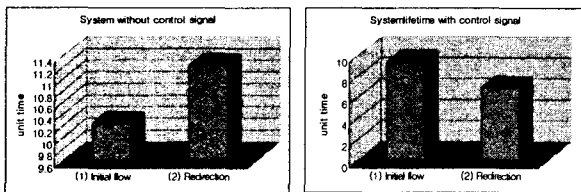


그림 1. 제어신호를 고려하지 않은 시스템 활동시간

그림 2. 제어신호 전력소비를 15%일때의 시스템 활동시간

동시간을 늘려주는 방법이다. 그 결과 그림 1에서 확인 할 수 있듯이, (1)의 초기 플로우만을 사용한 경우보다 (2)의 재방향설정 알고리즘을 사용한 경우에 시스템 활동시간이 증가하였다. 하지만, 이 방법에서는 데이터 전송에 따른 에너지의 소비만을 고려한 것으로, 여러 가지 계산에 필요한 정보를 서로 교환하기 위하여 제어신호(control signal)를 전송하는데도 에너지가 소비된다는 점을 고려하지 않았다. 그림 2에서 확인할 수 있듯이, 제어신호 전송에 따른 에너지의 소비를 함께 고려하게 되면 (2)의 재방향설정 알고리즘을 사용하는 것이 (1)의 초기 플로우만을 사용하는 것보다 시스템 활동시간이 오히려 감소하는 경우가 생긴다는 것을 알 수 있다. 이것은 재방향설정 알고리즘을 사용함으로써 인해 절약할 수 있는 전력소비보다, 방향 재설정에 필요한 계산을 위해 필요한 제어신호 전송에 따른 전

경로설정 알고리즘(1)

```

/* states in states; */
costi, a double, initially ∞ if i≠source,
                    initially 0 if i=source
cost_flagi ∈ {0, 1}, initially 0 if i≠source,
                    initially 1 if i=source
u, a UID, initially i's UID
parenti, a UID, initially -1
cij, a double, initially link i와 j사이의 link cost

/* message - generation function msgs; */
cost_flagi = 1 인 노드만의 message를 이웃 노드에게 보낸다.

/* transition-function trans; */
message = null
let U be the set of max(message, cik)s that arrive
                    from neighbors node k
v = min(U)
v_id = v's id
costi = v
cost_flagi = 1
message = costi
    
```

이까지의 경로들 중에, 각 경로 상에서의 가장 큰 링크비용들을 비교하여 그 값이 가장 작은 경로를 선택하기 위한 값으로,  $\cos t_i$ 를 계산하고, 플로우를 받을 상위노드를 결정하는 과정이 경로설정 알고리즘(1)이다. 각 노드  $k$ 는 플로우를 보내고자 하는 노드에게 자신이 저장하고 있던  $\cos t_k$ 를 보내고, 자신의 이웃노드에게 메시지를 보냈다는 의미로  $cost\_flag_k$ 에 1을 저장한다. 메시지를 받은 노드  $i$ 들은 받은 값과 링크비용( $C_{ki}$ ) 중에 큰 값들끼리 비교하여 그 중 가장 작은 값을 보내준 노드  $k$ 가 목적지 노드로 향하는 플로우를 보내줄 이웃노드가 되고, 그 작은 값이 플로우  $\cos t_i$ 가 되는 것이다. 결국, 최종적으로 목적지 노드로 보내지는 값들 중에 가장 작은 값을 보낸 경로를 플로우 보낼 경로로 선택하는 것이다. 이렇게 선택되어진 경로에 네트워크 전체 플로우를 모두 보낼 수 없을 경우에는 경로설정 알고리즘(1)을 이용하여 다른 경로를 추가로 설정하게 된다.

4. 실험설정 및 실험결과

본 논문에서 수행한 실험에서는 각각 11개의 x, y 좌표를 임의로 추출하여 4x4 사각형의 범위에 노드들을 생성하고 이웃노드가 될 수 있는 범위(range)는 2로 두었다. 따라서,  $d_{ij} \leq 2$ 인 범위안의 노드들만이 노드  $i$ 의 이웃노드 집합인  $N_i$ 에 포함된다. 또한, 일반 데이터 전송에 필요한 에너지의 양과 제어신호 전송에 필요한 에너지의 양은 구성하는 시스템에 따라 여러가지 형태의 차이를 보일 수 있기 때문에, 일반 단위 데이터 전송 시 소비되는 에너지와 단위 제어신호 전송 시 소비되는 에너지의 비율을 달리해가며 시스템의 활동시간을 측정해 보았다. 여기서,  $ce_{ij}$ 를 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 로 하나의 제어신호를 보낼 때 사용되는 에너지의 양이라 하면, 제어신호 전송의 에너지 사용량은 데이터 전송의 에너지 사용량에 대해 입력되는 비율( $ce\_rate$ )로 식(3)과 같이 나타낸다.

$$ce_{ij} = e_{ij} \times ce\_rate \quad \text{식(3)}$$

실험의 결과가 그림 3과 그림 4에 나타나져 있는데, 이는 임의로 생성되는 노드들에 대해 데이터 전송 시 소비되는 에너지에 대한 제어신호 전송 에너지소비 비율을 0.1%에서 15%사이의 여섯 가지 값에 대한 시스템 활동시간을 300번 측정하여 평균을 낸 것이다.

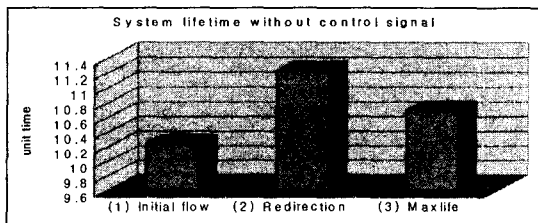


그림 3. 제어신호를 고려하지 않은 시스템 활동시간

그림 3에 나타난 실험은 제어신호를 고려하지 않고 시스템 활동시간을 측정한 결과이고, 그림 4는 제어신호 전송에 따른 에너지 소비를 고려하여 시스템 활동시간을 측정한 결과이다.

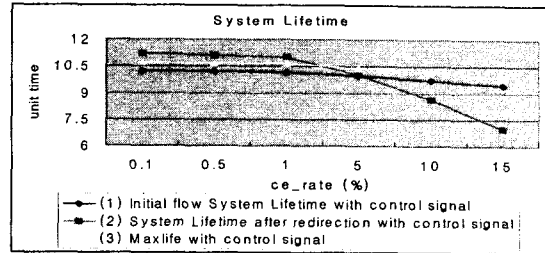


그림 4. 제어신호 전력소비 비율에 따른 시스템 활동시간

그림 4의 선 1과 선 2에서와 같이 제어신호 전송에 따른 에너지의 소비를 함께 고려하게 되면, 데이터 전송 시 소비되는 에너지에 대한 제어신호 전송 에너지 소비 비율이 5%이상이 될 때, 재방향설정 알고리즘을 사용하는 것이 초기 플로우만을 사용한 경우보다 오히려 시스템 활동시간을 감소시키는 것을 볼 수 있다. 그에 비해 그림 4의 선 3을 통해 알 수 있듯이, 본문에서 제안한 방법은 데이터 전송 시 소비되는 에너지에 대한 제어신호 전송 에너지 소비 비율이 1%이하일 때도 재방향설정 알고리즘을 사용한 경우와 시스템 활동시간에 별 차이가 나지 않고, 1%이상이 될 때는 초기 플로우만을 사용한 경우와 재방향설정 알고리즘을 사용한 경우보다도 시스템 활동시간을 증가시키는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 무선 Ad-hoc 네트워크에서 데이터의 전송에 따른 에너지의 소비뿐만 아니라 계산에 필요한 제어신호의 전송에 따른 에너지의 소비도 함께 고려한 Maxlife 알고리즘을 통해서, 기존 연구인 [1]보다 실제적인 환경에서 더 좋은 시스템 활동시간을 갖는 라우팅방법을 제안하였다.

5. 참고 문헌

[1] J. Chang and L. Tassiulas, "Energy Conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks," IEEE INFOCOM 2000, pp. 22-31, 2000.  
 [2] M. Ettus, "System capacity, latency, and power consumption in multihop-routed SS-CDMA wireless networks," Proceedings of IEEE Radio and Wireless Conference 98, pp.55-58, 1998.  
 [3] T. Meng and c. Rodopl, "Distributed network protocols for wireless communication," Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, pp. 600-603, 1998.  
 [4] S. Singh, M. Woo, and C. Raghavendra, "Power-aware routing in mobile ad hoc networks," Proceedings of Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 181-190, 1998.  
 [5] Y. Kim, S. Park, J. Song, J. Lee, and S. Lee, "Data and Control Signal Transmission Energy Conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks," 2002 한국정보과학회 춘계 학술 발표회, pp. 190-192, 2002.  
 [6] A. Michail and A. Ephremides, "A distributed routing algorithm for supporting connection-oriented service in wireless networks with time-varying connectivity," Proceedings 3rd IEEE Symposium on Computers and Communications, pp. 587-591, 1998.