

Ad-hoc 네트워크에서 데이터와 제어신호 전송 에너지 소비를 고려하는 라우팅

¹김영남,⁰ ¹박숙영, ²송지원, ²이주영, ¹이상규
¹숙명여자대학교 컴퓨터학과, ²덕성여자대학교 전산학과
이메일: {ynkim⁰, sookyoung, sanglee}@cs.sookmyung.ac.kr
{jwsong, jylee}@namhae.duksung.ac.kr

Data and Control Signal Transmission Energy Conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks

Young-Nam Kim⁰ Sook-Young Park Ji-Won Song Ju-Young Lee Sang-Kyu Lee

¹Dept. of Computer Science Sookmyung Women's University

²Dept. of Computer Science Duksung Women's University

요 약

무선 통신 기술의 발달과 함께 응급상황이나 전사와 같이 필요에 의해 임의의 장소에 형성되어 사용될 수 있는 네트워크의 필요성이 커지면서 Ad-hoc 네트워크에 관한 여러 가지 연구가 진행되고 있다. Ad-Hoc 네트워크에서는 기존의 유선 네트워크 망에서와는 달리 휴대용 기기들만으로 네트워크 망이 형성되어 있고 이때 휴대용 기기들은 대부분 배터리를 에너지원으로 사용한다. 무한대의 에너지를 갖고 있다고 볼 수 있었던 종전의 유선 네트워크에서와는 달리 배터리를 에너지원으로 사용하는 Ad-Hoc 네트워크에서는 효율적인 에너지 자원 관리가 중요한 이슈가 된다. 이에 관련된 연구의 하나로 Chang과 Tassiulas는 [1]에서 시스템 활동시간 증가에 초점을 두고 Ad-Hoc 네트워크상의 라우팅 경로를 재조정해 줌으로써 시스템의 활동 시간을 늘이는 라우팅 방법을 제안하였다. 그러나, 그들의 방법에서는 단지 데이터 전송에 사용되는 에너지의 양만을 고려한 모델로, 제어신호의 전송 에너지 사용은 고려하지 않았다. 본 논문에서는 Ad-hoc 네트워크의 라우팅에 데이터 전송 뿐만 아니라 제어신호의 전송 에너지 사용을 함께 고려한 라우팅 방법을 소개한다.

1. 서 론

Ad-Hoc 네트워크는 다중 홉(multi-hop) 무선 네트워크로, 중앙의 특별한 관리 체계 없이 기존의 고정된 네트워크 또는 기지국을 사용하지 않는 이동 호스트(mobile host)들로 구성된다. 따라서, 무선 Ad-Hoc 네트워크는 기존의 유선 네트워크의 도움 없이 필요시에 빠르게 구성될 수 있는 네트워크이다. 이러한 형태의 네트워크는 군사 작전중의 통신이나 응급 재난시에 병원의 환자 기록을 어느 곳에서나 데이터베이스로부터 꺼내어 볼 수 있도록 하는 등의 해결책을 위한 일시적인 네트워크 구축이 필요한 상황에서 매우 유용하다. 위와 같은 상황에서는 대부분 기반시설이 없는 곳에서의 이동성 있는 기기들간의 통신을 요구하기 때문에 이를 효율적으로 지원하기 위해서는 라우터나 게이트웨이 등의 기반 통신 장비의 보조 없이 기기들간의 통신이 가능토록 하는 방안이 필요하다.

최근 들어 무선기술의 발달과 휴대용 컴퓨터의 보편화에 따라 이동컴퓨팅 분야는 많은 관심을 얻고 있으며, 이동

성있는 호스트들에게도 네트워크 연결 및 통신 서비스를 지원할 수 있는 환경에 대한 연구가 진행되고 있다. 무선 Ad-Hoc 네트워크는 잦은 네트워크 구성의 변화, 제한된 사용 자원 등 기존 유선 네트워크와는 다른 특성들을 갖게 된다. 이런 이동통신에서의 다른 특성들은 단말 기기의 이동성과 휴대성으로 인해 기기의 크기와 무게에 제한을 받게된다. 이러한 물리적 제한은 여러가지 다른 자원에서의 제약을 초래하게 되는데 직접통신 가능거리, 사용할 수 있는 에너지의 양, 네트워크 처리과정 등에서 나타난다. 이러한 것들은 유선 통신망에서는 덜 중요한 요소들이었다. 따라서, 유선 통신에서와는 달리 기반 시설이 없는 환경에 설치된 Ad-hoc 네트워크가 고품질의 서비스를 제공하려면 이러한 제한된 자원을 얼마나 효과적으로 사용하는가가 중요한 고려사항이 된다.

이러한 새로운 제약 조건들을 고려하는 연구 중에 제한된 전력 사용에 따른 에너지 사용의 효율성을 고려한 문제가 중요시되어 여러 가지 각도에서 활발하게 연구가 진행되고 있다[1,2,3,4].

여러가지 연구 중 에너지 소모를 고려하는 라우팅방법을

Chang 등이 제안하였다[1]. Ad-hoc 네트워크가 구성되고 주어진 process가 시작해서 데이터 전송이 진행됨에 따라 단말기들의 에너지는 점차 감소하고 결국 자신이 갖고 있는 에너지원이 소진되어 작동을 멈추게 되는 단말기들이 나타나게 된다. 이때, [1]에서는 시스템이 시작되어 에너지소진으로 인해 작동을 멈추게 되는 단말기가 처음 발생 될 때까지의 시간을 시스템 활동시간(system lifetime)이라 정의하고 이 시스템 활동시간을 최대화시키도록 하는데 중점을 둔 라우팅방법을 소개하였다. 그러나, 그들의 라우팅방법은 데이터 전송에 따른 에너지 소모만을 고려하여 각 노드들이 전송해야 하는 통신량을 계산하였는데, 그들이 고려한 에너지 소모량은 실제와는 차이가 있다. Ad-hoc 네트워크에서 분산환경을 갖는 각각의 노드들이 라우팅 계산을 하기 위해서는 노드들 사이에 여러 가지 제어신호(control signal)들의 전송이 필요한데, 이 때에도 사실상 에너지가 사용되므로 이를 데이터 전송에 따른 에너지 소모와 함께 고려해야 보다 실제적인 시스템 활동시간을 계산할 수 있다. 본 논문에서는 무선 Ad-hoc 네트워크에서 데이터의 전송에 소비되는 에너지뿐만 아니라 제어신호의 전송에 소비되는 에너지의 양을 함께 고려하는 라우팅방법에 대한 실험을 통해 Chang 등의 논문이 제한한 방법보다 더 실제적인 분석을 제시한다.

2장에서는 네트워크 모델과 문제제기를 하고, 3장에서는 제어신호 전송 에너지 소비를 고려하는 라우팅 알고리즘의 설정과 실험 결과를 제시하고, 4장에서 결론을 맺는다.

2. 네트워크 모델 및 문제 제기

무선 Ad-Hoc 네트워크의 여러 가지 문제를 해결하는 방법으로 Ad-Hoc 네트워크를 그래프 모델로 변경하여 접근할 수 있다. 본 논문에서도 Ad-Hoc 네트워크를 방향성이 있는 링크를 갖는 그래프 $G(V, E)$ 의 형태로 문제를 고려하기로 한다. 이때, V 는 노드의 집합을 나타내고 E 는 모든 방향성이 있는 링크 (i, j) ($i, j \in V$)들의 집합을 나타낸다. 두 노드 사이의 거리가 특정 범위 안에 들어오면 링크가 존재하는 이웃노드로 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 일정량의 데이터를 전송하는데 사용되는 노드 i 의 전력을 e_{ij} 로 나타낸다. 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 하는데, 두 노드 사이의 거리가 이웃노드를 정의하는 거리의 범위를 초과할 때는 다른 노드들이 중간에서 데이터를 전달하는 다중 홉(multi-hop)통신방식을 갖게 된다. 이때, 소스노드에서 발생하는 데이터는 여러 경로를 통하여 목적지노드에 전달 될 수 있다. 데이터의 전송 경로에 놓이게 되는 노드

들이 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. 이때, 소스노드와 목적지노드를 제외한 다른 모든 노드들에 있어 자신으로 들어오는 데이터의 양과 자신으로부터 나가게 되는 데이터의 양은 같아야 한다. 여기서 소스노드와 목적지노드를 하나씩이라고 했는데 만약 소스노드나 목적지노드가 여러 개일 경우, 모든 소스노드들로 각각이 발생하는 플로우 만큼을 주는 대표 소스노드와 각각의 목적지노드에서부터 플로우가 없는 링크로 연결된 대표 목적지노드를 두면 본 논문에서 고려하는 모델의 문제로 쉽게 변환됨을 알 수 있다. Ad-Hoc 네트워크의 전체 플로우 $q = \{q_{ij}\}$ 가 주어졌을 때 노드 i 에 있어서의 활동시간(lifetime) $T_i(q)$ 는 노드 i 가 자신에게 할당된 플로우의 전송을 얼마동안 지속할 수 있는가를 나타내고 이는 다음과 같이 표현된다.

$$T_i(q) = \frac{E_i}{\sum_{j \in N_i} (e_{ij} \cdot q_{ij})} \quad \text{식(1)}$$

그리고, 주어진 플로우 q 에 대한 시스템 활동시간은 Ad-Hoc 네트워크 $G(V, E)$ 상에서 가장 먼저 배터리를 소진하는 노드가 나올 때까지의 시간으로 한다. 이는 모든 V 에 있는 노드들의 활동시간 중에 최소값과 같은 시간이 된다. 따라서 시스템 활동 시간은 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$T_{sys}(q) = \text{MIN}_{i \in V} T_i(q) \quad \text{식(2)}$$

Chang 등의 논문[1]에서는 시스템 활동시간을 최대한 늘이는데 목적을 두고 있다. Chang 등이 제안하는 라우팅 방법은 분산 Max-flow 알고리즘을 응용하여 초기 플로우를 구하고 이를 다시 재방향설정 알고리즘(Redirection algorithm)을 사용하여 시스템 활동시간이 증가되도록 초기 플로우 값을 조정하여 주는 방법이다. 이 방법에서는 데이터 전송에 따른 에너지의 소비만을 고려하고 있는데 이는 모든 에너지 소비가 고려된 것이 아니다. 실제 Ad-hoc 네트워크에서는 초기 플로우를 구하기 위한 Bellman-Ford의 분산 최소경로 알고리즘을 사용할 때에도 자신이 갖고 있는 잔여 에너지량 등의 계산에 필요한 정보를 서로 교환하기 위하여 제어신호(control signal)를 전송해야 하는데 이 또한 에너지가 소비되는 작업이다. 이는 방향재설정 알고리즘에서 플로우 감소 경로와 증가 경로를 구할 때에도 그렇고, 결정된 조절량 만큼을 선택된 감소경로와 증가경로를 따라가며 플로우를 조절해 줄 때에도 마찬가지이다. 따라서 식 (1)에 나와 있는 각 노드의 활동시간의 식은 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$T_i(q) = \frac{E_i}{\sum_{j \in N_i} ((e_{ij} \cdot q_{ij}) + (c_{ij} \cdot \bar{c}_{q_{ij}}))} \quad \text{식(3)}$$

이때, ce_{ij} 는 노드 i 에서 노드 j 로 하나의 제어신호를 보낼 때 사용되는 에너지의 양이고 cq_{ij} 는 노드 i 에서 노드 j 로 전송되는 제어신호 양을 뜻한다. 본 논문에서는 식(3)에 의한 활동시간 계산방법으로 Chang 등의 방향제설정 알고리즘에 의한 결과가 초기 플로우에 의한 활동시간에 비해 오히려 감소함을 확인하였다. 다음 장에서는 제어신호 전송에 따른 전력감소를 고려한 알고리즘 설정과 실험 결과를 나타낸다.

3. 알고리즘 설정 및 실험결과

일반 데이터 전송에 필요한 에너지의 양과 제어신호 전송에 필요한 에너지의 양은 구성하는 시스템에 따라 여러 가지 형태의 차이를 보일 수 있다. 이는 사용하는 프로토콜과 전송 데이터의 크기, 그리고 제어신호에 포함되는 정보의 크기에 따라 달라질 수 있다. 본 논문에서는 일반 단위 데이터 전송 시 소비되는 에너지와 단위 제어신호 전송 시 소비되는 에너지의 비율을 달리해가며 시스템의 활동시간을 측정해 보았다. 이때, 데이터 전송의 에너지 사용량은 Chang 등의 논문에서와 같은 계산을 사용하고 그 식은 다음과 같다.

$$e_{ij} = \begin{cases} 1.0 \times 10^{-8}, & \text{if } d_{ij} \leq \frac{\text{range}}{100} \\ \left(\frac{d_{ij}}{\text{range}}\right)^4, & \text{if } \frac{\text{range}}{100} < d_{ij} \leq \text{range} \end{cases} \quad \text{식(4)}$$

이때, d_{ij} 는 노드 i 에서 노드 j 까지의 거리를 나타내고 range 는 이웃이 될 수 있는 거리의 범위를 나타낸다. 제어신호 전송의 에너지 사용량은 데이터 전송의 에너지 사용량에 대한 입력되는 비율로 나타낸다.

$$ce_{ij} = e_{ij} \times ce_rate \quad \text{식(5)}$$

본 논문에서 수행한 실험에서는 각각 11개의 x, y 좌표를 무작위로 추출하여 4x4 사각형의 범위에 노드들을 생성하고 이웃노드가 될 수 있는 범위(range)는 2로 두었다. 따라서, $d_{ij} \leq 2$ 인 범위를 갖는 노드들만이 노드 i 의 이웃노드 집합인 N_i 에 포함된다.

실험의 결과가 표 1에 나타나져 있는데, 이는 임의로 생성되는 노드들에 대해 데이터 전송시 소모되는 에너지에 대한 제어신호 전송 에너지소모 비율을 0.1%에서 15%사이의 여섯 가지 값에 대한 시스템 활동시간을 300번 측정하여 평균을 낸 결과이다. 표 1의 선 1과 선 2가 나타내는 바와 같이 제어신호 전송에 따른 에너지의 소비를 고려하지 않은 Chang의 라우팅 결과는 방향제설정 알고리즘을 사용하여 얻게되는 플로우가 시스템 활동시간을 증가시키는 것을 볼 수 있다. 그러나, 선 3과 선 4에서와 같이 제어신호 전송에 따른 에너지의 소비를 함께 고려하게되면 데이터 전송시 소모되는 에너지에 대한 제어신호 전송 에너지소모 비율이 1% 이하에서는 방향

제조정 알고리즘에 의해 시스템 활동시간이 증가를 보이지만 제어신호 에너지 소모비율이 5% 부근이 되면 방향제조정 알고리즘을 사용하는 것이 그로 인해 늘일 수 있는 시스템 활동시간보다 그 계산을 위해 소비되는 제어신호 전송에 따른 전력소모가 더 커으로써 오히려 시스템 활동시간이 감소되는 것을 볼 수 있다.

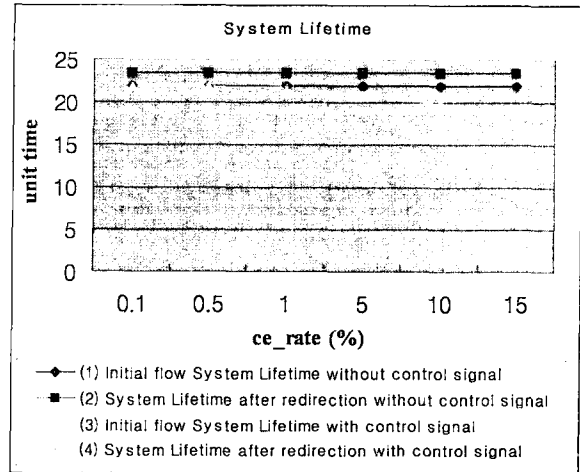


표 1. 제어신호 전력소비 비율에 따른 시스템 활동시간

4. 결론

본 논문에서는 무선 Ad-hoc 네트워크에서 데이터의 전송에 따른 에너지의 소비뿐만 아니라 계산에 필요한 제어신호 전송에 따른 에너지의 소비도 함께 고려함으로써 기존 연구인 [1]의 결과보다 실질적인 분석과 결과를 보여준다.

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. Rodoplu, "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.