

Ad-hoc 무선 네트워크에서 시스템 활동 시간 증가를 위한 Coordinator 선출 알고리즘

박숙영⁰, 김영남, 이상규, 이주영¹

숙명여자대학교 컴퓨터학과

덕성여자대학교 컴퓨터학과¹

{ sookyoung⁰, ynkim, sanglee }@cs.sookmyung.ac.kr, jylee@center.duksung.ac.kr

Coordinator Election Algorithm for Increasing System Lifetime in Ad Hoc Wireless Networks

Sook-Young Park⁰, Young-Nam Kim, and Sang-Kyu Lee, Ju-Young Lee

Dept. of Computer Science, Sookmyung Women's University

Dept. of Computer Science, Duksung Women's University

요 약

Ad-hoc 무선 네트워크에서는 기존의 유선 네트워크 망에서와는 달리 휴대용 기기들만으로 네트워크 망이 형성 되어있고 이때 휴대용 기기들은 대부분 배터리를 에너지원으로 사용한다. 그러므로 무한의 에너지를 갖고 있다고 볼 수 있었던 종전의 유선 네트워크에서와는 달리 배터리를 에너지원으로 사용하는 Ad-Hoc 네트워크에서는 효율적인 에너지 자원 관리가 중요한 이슈가 된다. 이러한 특성을 고려한 연구 중 전체 휴대용 단말기에서 일부를 선출하고 이렇게 선출된 coordinator들만 데이터의 전송에 참여하게 하고 나머지 단말기들은 수면 모드로 전환시킴으로써 시스템의 전력소비를 줄이는 방법에 대한 연구들이 진행되고 있다. 선행 연구에서는 수면 모드의 노드를 최대화함으로써 전체 네트워크의 전력소비를 최소화 하려는 노력을 하고 있으나, 선출되는 coordinator 수의 최소화가 항상 시스템 활동시간의 증가를 보장하지는 않는다. 본 논문에서는 각 단말기에서 데이터 전송에 필요한 에너지와 노드들의 연결성을 함께 고려해서 coordinator를 선출함으로써 네트워크의 시스템 활동시간을 기존의 방법 보다 더 증가시키는 알고리즘을 제안한다.

1. 서 론

최근 들어 무선기술의 발달과 휴대용 컴퓨터의 보편화에 따라 이동 컴퓨팅 분야는 많은 관심을 얻고 있으며, 이동성 있는 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 이동 통신에서의 다른 특성들은 단말기기의 이동성과 휴대성으로 인해 기기의 크기와 무게에 제한을 받게 된다. 이러한 물리적 제한은 여러 가지 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 제한된 자원을 얼마나 효과적으로 사용하는가가 중요한 고려사항이 된다.

이러한 새로운 제약 조건들을 고려하는 연구 중에 제한된 전력 사용에 따른 에너지 사용의 효율성을 고려한 다중 홉 통신 문제에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1,2,3,4,5].

Ad-hoc 네트워크를 이루는 단말기들은 자체의 필요에 의한 데이터 송수신 뿐만 아니라 다른 기기들 간의 통신에 중계자로 참여하여 다중 홉 전송을 수행하는데 이러한 데이터 전송 모드 각각에 따라 다른 전력을 소비하게 된다. 뿐만 아니라 전송에 참여하지 않는 대기 모드 상태에서도 전력 에너지를 소비하게 됨을 볼 수 있는데, 이는 통신에 참여하지 않는 단말기들 중 가능하다면 그 시간동안 수면 모드(sleeping)

로 전환함으로써 단말기의 에너지 소비를 줄일 수 있음을 알 수 있다. 그러나 어느 기기를 수면 모드로 전환시켜야 하는가를 결정하는 것은 그리 간단한 문제가 아니다. 이와 같이 수면 모드로 전환시켜 전력 소비를 줄이려는 연구가 많이 진행되고 있는데 이러한 여러 가지 연구 중 전체 단말기의 연결성을 유지하면서 휴대용 단말기 중 몇 개의 특정 단말기들만 깨어서 데이터 전송에 참여하고 나머지 단말기들은 수면 모드로 전환하여 에너지를 절약하는 Span 방법을 [1]의 논문에서 제안하였다. 이 때 데이터 전송을 위해 선출된 단말기들을 coordinator라 하고 이 단말기들만이 소스 단말기와 목적지 단말기사이의 데이터 전송 중계에 참여하게 된다. Ad-hoc 네트워크가 구성되고 데이터 전송이 진행됨에 따라 단말기들의 에너지는 점차 감소하고 결국 자신이 갖고 있는 에너지원이 소진되어 작동을 멈추게 되는 단말기들이 나타나게 된다. 이렇게 시스템이 시작되어 에너지 소진으로 인해 작동을 멈추게 되는 단말기가 처음 나타날 때까지의 시간을 시스템 활동시간(system lifetime)이라 정의한다[2]. [1]에서의 Span 알고리즘은 coordinator들의 수를 최소화함으로써 소비전력 감소를 목적으로 한다. 그러나 최소 개수의 coordinator를 선출하는 것이 언제나 가장 좋은 시스템 활동시간을 보장하지는 않는다. 본 논문에서는 각 단말기에서 데이터 전송에 필요한 에너지를 고려하여 coordinator를 선출함으로써 시스템 활동시간을 Span 알고리즘에서 보다 더 증가시키는 방법을 제안한다.

다음 장에서는 네트워크 모델 정의와 문제 제기를 하고, 3장에서는 데이터 전송 시에 필요한 에너지를 고려한 coordination 알고리즘과 실험 결과를 제시하고, 4장에서 결론을 맺는다.

2. 네트워크 모델 정의 및 문제 제기

본 논문에서는 Ad-hoc 무선 네트워크를 방향성이 있는 그래프 $G(V, E)$ 의 형태로 고려하여 문제를 해결하고자 한다. 이때, V 는 모든 노드들의 집합을 나타내고 E 는 모든 방향성이 있는 링크 (i, j) ($i, j \in V, i \neq j$)들의 집합을 나타낸다. 임의의 노드 i 의 전송 범위 안에 들어오는 노드들을 노드 i 로부터 링크가 존재하는 이웃노드로 간주하며, 이러한 이웃노드의 집합을 S_i 로 나타낸다. 각 노드 $i \in V$ 는 초기 에너지 값 E_i 가 주어지고 노드 i 에서 노드 $j \in S_i$ 까지 일정량의 데이터를 전송하는데 사용되는 노드 i 의 전력은 e_{ij} 로 나타낸다.

네트워크에는 하나의 소스 노드(source node)와 하나의 목적지 노드(destination node)가 존재한다고 가정한다. 소스 노드는 목적지 노드에 전달되어야 하는 데이터를 일정 간격을 두고 발생시키는데, 목적지 노드가 소스 노드의 전송 범위밖에 존재하는 경우에는 다른 노드들이 이를 중계하여 목적지 노드에 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 노드들은 각각 특정 이웃노드에 전달해야 하는 데이터의 양을 할당받는데, 노드 i 에서 노드 j 로의 링크 (i, j) 를 통해 전송해야 하는 데이터의 양을 플로우 q_{ij} 로 나타낸다. Ad-hoc 네트워크의 전체 플로우 $q = \{q_{ij} | i, j \in V, i \neq j\}$ 가 주어졌을 때 노드 i 에 있어서의 활동시간(lifetime) $T_i(q)$ 는 노드 i 가 자신에게 할당된 플로우의 전송을 얼마동안 계속할 수 있는가를 나타내고 이는 다음과 같이 표현된다.

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

그리고 주어진 플로우 q 에 대한 시스템 활동시간 $T_{sys}(q)$ 는 Ad-hoc 네트워크 $G(V, E)$ 상에서 가장 먼저 배터리를 소진하는 노드가 나올 때까지의 시간으로 한다. 이는 네트워크에 있는 모든 노드들의 활동시간 중에 최소값을 가지는 활동시간과 같으며 다음과 같이 표시될 수 있다.

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

본 논문에서는 다중 홉(multi-hop) Ad-hoc 무선 네트워크에서 네트워크의 용량(capacity)이나 연결성(connectivity)을 현저하게 감소시키지 않으면서 에너지 소비를 줄이는 방법 중 coordinator들을 선출하여 이들을 백본(backbone)처럼 사용하는 방법을 고려한다. 이때 선출된 coordinator들은 awake 상태에 머무르며 네트워크 안에서 다중 홉 패킷 라우팅을 수행하게 되고, 선출되지 않은 다른 노드들은 파워 절약 모드 상태로 있으면서 주기적으로 coordinator가 되어야 하는지를 검사한다. 이와 관련 있는 연구결과로 Span 알고리즘을 사용하여 coordinator들을 선출하는 방법이 있는데[1], Span에서 coordinator 공표(announcement)를 위한 coordinator 적임 조건은 다음과 같다.

- coordinator 적임 기준: non-coordinator 노드는 local broadcast 정보를 이용하여 임의의 두 이웃 노드들이 직접 통신이 불가능하거나 한 개 또는 두개의 coordinator를 통하

여 통신이 불가능할 경우 자신이 coordinator가 되어야 한다.

노드들의 coordinator 공표에 있어서 각 노드는 적임 조건의 만족 여부를 검사하고, 만약 만족한다면 그때 지연(delay)값을 계산하여 그 지연값 동안 기다린 후에도 여전히 위 조건을 만족한다면 자신을 coordinator로 알린다. E_i 은 각 노드 i 에 주어진 초기 에너지를 나타내며, E_{r_i} 은 노드 i 에 남아 있는 에너지의 양을 나타낸다. N_i 는 노드 i 의 이웃 노드들의 수를 나타내고, C_i 는 노드 i 의 임의의 두 이웃 노드들 중 노드 i 를 통하지 않고서는 통신이 불가능한 경우의 수를 나타낸다. 그리고 T 는 round-trip 지연시간을 의미한다. Coordinator 공표에 쓰이는 지연 값은 다음과 같다.

$$delay = \left(\left(1 - \frac{E_{r_i}}{E_i} \right) + \left(1 - \frac{C_i}{N_i} \right) + R \right) \times N_i \times T \quad \text{식(3)}$$

또한 각 coordinator는 주기적으로 coordinator 포기 여부를 검사한다. 각 coordinator는 임의의 두 이웃 노드들이 하나 혹은 그 이상의 coordinator를 통하거나 직접 통신이 가능할 경우 포기해야 한다.

Span에서 제시하는 알고리즘에서는 coordinator로 선출되는 노드들의 수의 최소화를 목적으로 거의 하한값에 근접한 결과를 보여준다. 그러나, 네트워크의 활동시간을 증가시키는 것을 목적으로 할 때에는 coordinator로 선출되는 노드들의 수를 최소화시키는 것이 언제나 좋은 시스템 활동시간을 보장하는 것은 아니다. 본 논문에서는 시스템 활동시간 증가를 목적으로 주어진 Ad-Hoc 네트워크에서 coordinator들을 선출하는 방법을 제안하고자 한다.

3. 알고리즘 설정 및 실험결과

이 장에서는 시스템 활동시간의 증가를 위한 coordinator 선출을 위해 노드들의 연결성과 함께 링크 (i, j) ($i, j \in V$)에 드는 에너지인 e_{ij} ($j \in S_i$)를 고려하는 coordinator 선출 알고리즘을 제시한다. 이 때 coordinator 공표를 위해 쓰이는 새로운 coordinator 적임 조건은 다음과 같다.

- 수정된 coordinator 적임 기준: non-coordinator 노드는 local broadcast 정보를 이용하여 임의의 두 이웃 노드들이 직접 통신이 불가능하거나 한 개 또는 두개의 coordinator를 통하여 통신이 불가능할 경우 자신이 coordinator가 되어야 한다. 그리고, 임의의 두 이웃 노드들이 직접 통신이 가능하거나 한 개 또는 두 개의 coordinator를 통하여 통신이 가능한 경우에도 통신할 때 소비되는 전력이 자신을 통한 중계에 소비되는 전력보다 많을 경우 자신이 coordinator가 되어야 한다.

수정된 coordinator 적임 조건을 사용하는 coordinator 선출 알고리즘에서의 지연값은 Span에서와 동일하게 식(3)을 사용한다.

본 논문에서는 새로 제안한 coordinator 선출 알고리즘에 대한 시스템 활동시간의 성능을 평가하기 위해서, 임의의 네

트위크 그래프를 생성하여 coordinator들을 선출하고 이에 무작위 통신을 반복 수행하여 얻어지는 시스템 활동시간을 Span의 방법과 비교하였다.

데이터 전송의 에너지 사용량은 Chang 등의 논문[2]에서와 같은 식(4)를 사용하였다.

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

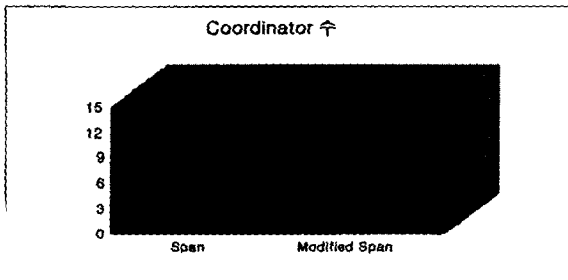
이때, d_{ij} 는 노드 i 에서 노드 j 까지의 거리를 나타내고 $range$ 는 이웃이 될 수 있는 거리의 범위를 나타낸다. 그리고 대기(idle) 모드와 수면(sleep) 모드에서의 에너지 사용량은 [1]의 논문과 같이 표1에 나와 있는 데이터 전송(Tx)에 소모되는 에너지에 대한 대기 모드와 수면 모드에서 소모되는 에너지의 비율을 사용하였다.

Tx	Idle	Sleeping
1400mW	830mW	130mW
1	0.6	0.1

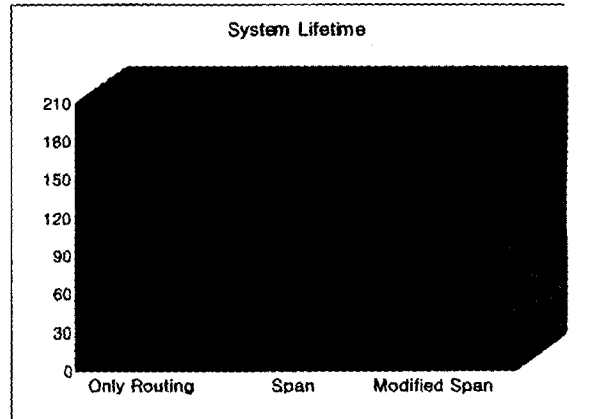
[표1] Tx(transmit), Idle, Sleeping 모드에서 Cabletron 802.11 network card의 전력 소모

본 논문에서 수행한 실험에서는 각 한 개씩의 소스 노드와 목적지 노드를 포함하여 각각 52개의 x, y 좌표를 600×600 사각형의 범위에 무작위로 추출하여 노드들을 생성하고 전송 범위(range)는 220으로 두었다. 따라서, $d_{ij} \leq 220$ 인 범위를 갖는 노드들만이 노드 i 의 이웃노드 집합인 S_i 에 포함된다. 임의의 노드 i 가 소스 노드이거나 목적지 노드라면 초기 에너지 E_i 는 1000으로 주어졌고, 노드 i 가 데이터를 중계해야 하는 노드라면 초기 에너지 E_i 는 i 가 짝수이면 80, i 가 홀수이면 100으로 주어졌다. 그리고, 소스에서 발생하는 데이터의 양 Q 는 2로 초기화하였고, 선출된 coordinator들 사이에서의 라우팅 경로는 Bellman-Ford 알고리즘을 응용하여 설정하였다.

실험 결과는 그림1, 2와 같이 나타나는데, 그림1에서 보는 것과 같이 coordinator 수가 Span보다 Modified Span에서 약 35% 증가함을 볼 수 있다. 그리고 시스템 활동시간은 그림2와 같이 Modified Span의 시스템 활동시간이 Span의 시스템 활동시간보다 약 19% 증가함을 볼 수 있다.



[그림1] Span과 Modified Span에서 선출된 coordinator 수



[그림2] Span과 Modified Span에서의 시스템 활동시간

그러므로 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 Span[1]에서 보다 더 많은 coordinator가 선출됨으로 인해 수면 모드로 전환하는 노드의 수가 감소되지만, 시스템 활동시간을 고려하는 coordinator를 선출함으로써 시스템의 네트워크 활동시간을 더 증가시켰다.

4. 결론

본 논문에서는 무선 Ad-hoc 네트워크에서 에너지 소비와 각 단말기의 네트워크 활동시간을 고려한 coordinator 선출 알고리즘을 사용하여 전체 시스템의 활동시간에 있어서 Span[1]에서의 결과보다 더 나은 결과를 보여준다.

5. 참고 문헌

[1] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, and R. Morris, "SPAN: An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks," in Proc. Mobicom, pp. 85-96, July 2001.
 [2] J. Chang and L. Tassiulas, "Energy Conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks," IEEE INFOCOM 2000, pp. 22-31, 2000.
 [3] 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.
 [4] 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.
 [5] 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.
 [6] 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 학술발표회, pp. 190-192, 2002.