

이동 애드혹 네트워크 환경에서의 에너지 효율적인 코디네이터 선정 알고리즘

유지원^o 오세인 김효은 박용진
한양대학교 전자통신컴퓨터 공학과
{jwyu^o, sio, hekim, park}@hyu.ac.kr

Energy-Efficient Coordinator Selection Algorithm for Mobile Ad-Hoc Networks

Ji-Won Yu^o Se-In Oh Hyo-Eun Kim Yong-Jin Park
Department of Electronics and Computer Engineering
Hanyang University

요 약

이동 애드혹 네트워크 환경에서는 다수의 노드들이 지속적인 전원의 공급 없이 배터리로 작동을 하게 된다. 이러한 상황에서 이동 애드혹 네트워크에 참여하고 있는 각각의 노드들의 에너지 소모를 최소화 하기 위한 방법으로 네트워크에 참여하고 있는 노드들 중에서 코디네이터를 선정하여 에너지를 절약하는 방법이 고안되어 왔다. 본 논문에서는 노드 개개의 수명은 물론 전체 네트워크의 수명을 보다 증가 시키기 위하여 코디네이터를 선정하는 알고리즘을 보다 효율적으로 개선하는 방법을 제안한다.

1 서 론

이동 애드혹 네트워크는 이동성을 가진 다수의 노드들에 의해 자율적으로 구성되는 임시적인 네트워크로서, 기반망이 존재하지 않는 지역에서 네트워크를 구성하기 위한 목적으로 연구되어 왔다. 이와 같은 환경에서 필연적으로 노드들은 지속적인 전원의 공급 없이 배터리로 작동을 해야 하며 따라서 오랜 기간 동안 노드가 맡은 각각의 임무를 수행하기 위하여 각 노드의 에너지를 절약하는 방법은 필수적이다. 또한 더 나아가서 전체 이동 애드혹 네트워크의 수명을 늘리기 위한 방법도 고려되어야 한다.

위에서 언급된 이동 애드혹 네트워크의 고려사항을 해결하기 위한 방법으로 네트워크에 참여한 노드 중에서 코디네이터 또는 헤더를 선택함으로써 나머지 노드들이 에너지를 절약할 수 있는 방법들이 제안되어 왔다. GAF (Geographic Adaptive Fidelity)[2]에서는 각 노드들이 위치한 전체지역을 고정된 사각형의 격자(fixed square grid)로 나누어서 이 격자들을 노드들이 위치한 지역적인 위치정보로 사용한다. 각각의 격자의 크기는 노드의 밀도와는 상관없이 고정되어 있다. 어떠한 격자 안에 위치한 노드들은 Sleeping 모드와 Listening 모드를 번갈아 가며 바꿔 줌으로써 에너지를 절약할 수 있으며 GAF 알고리즘에 의해서 하나의 격자 안에는 최소한 하나의 노드가 패킷을 라우팅하기 위해서 액티브 상태에 있음을 보장한다. 센서 프로토콜의 일종인 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[3]는 지역에 뿌려져 있는 센서들 중에서 클러스터 헤더를 선정하여 지역에서 센싱한(Sensing) 데이터를 수집하고 무선 센서 네트워크의 싱크노드로 수집한 데이터를 클러스터 헤더를 통해서 전송

한다. 이 과정에서 클러스터 헤더는 라운드 마다 새로운 센서로 변경된다. Span[1]의 경우에는 네트워크에 참여한 노드 중에서 코디네이터를 선정하여 연결된 dominating set이라고 할 수 있는 라우팅 backbone망을 구성한다. 이 라우팅 backbone망을 구성하고 있는 코디네이터들은 계속해서 idle 상태를 유지한다. 코디네이터가 아닌 노드들은 주기적으로 wake up하여 코디네이터들과 패킷을 교환한다. 또한 코디네이터가 아닌 노드들은 주기적으로 코디네이터 선정 과정에 참여 함으로써 코디네이터가 된 노드의 과도한 에너지 소모를 방지한다.

본 논문은 서론에 이어 2장에서 Span에서 코디네이터를 선정하는 알고리즘에 있어서의 문제점을 분석하고 3장에서 이를 개선하여 전체 네트워크의 수명을 늘릴 수 있는 새로운 코디네이터 선정 알고리즘을 제안하며 4장에서는 제안한 알고리즘의 효율성을 입증할 수 있는 시뮬레이션 결과 및 성능평가를 기술한 후 5장에서 결론을 맺는다.

2 Span에서 Coordinator 선정 알고리즘

Span에서 코디네이터를 선정하는 과정은 우선 주변의 노드들끼리 2 hop 거리까지 브로드캐스팅되는 HELLO 메시지를 주고받음으로써 주변정보를 얻는 것으로 시작된다. 이 HELLO 메시지에 담고 있는 정보는 HELLO메시지를 보내는 노드의 상태, 즉 코디네이터인가 아닌가 하는 정보와 노드 주변에 어떤 이웃하는 노드들이 위치하고 있는가 그리고 어떤 이웃하는 코디네이터들이 있는가 하는 정보이다. 따라서 각각의 노드들은 HELLO 메시지를 통해서 그 노드 주변에 있는 이웃하는 노드들과 코디네이터의 리스트를 작성할 수 있고 각 노드에 이웃하는 노드들에 이웃하

는 노드와 코디네이터의 리스트를 얻을 수 있다.

위와 같이 얻어진 정보를 기반으로 해서 코디네이터가 아닌 노드들은 자기 주위에 이웃한 두 노드가 자신을 통하지 않고서는 직접 연결될 수 없는 경우 또는 자신을 통하지 않고도 연결될 수 있지만 2개 이상의 코디네이터를 거쳐야 하는 경우에는 그 노드가 코디네이터가 되어야 한다고 판단하고 Coordinator Announcement 메시지를 보냄으로써 주위에 노드들에게 자기가 코디네이터가 되었음을 알린다. 하지만 단순히 위와 같은 과정만을 거쳐서 코디네이터를 선정할 경우에는 필요이상의 코디네이터들이 선정될 수도 있고 또한 Coordinator Announcement 메시지들 사이에 충돌이 일어날 수도 있다. 이를 방지하기 위하여 Span에서는 유틸리티와 에너지라는 요소를 참고하여 각각의 노드들이 Coordinator Announcement 메시지를 보내는데 지연을 주도록 했다. 유틸리티의 정의는 식 (1)과 같다

$$Utility_i = \frac{C_i}{\binom{N_i}{2}} \quad (1)$$

식 (1)이 의미하는 바는 노드가 코디네이터가 되었을 때 얼마나 많은 노드의 쌍이 이득을 볼 수 있는지를 나타내는 수치이다. 식 (1)에서 정의하는 유틸리티와 에너지를 고려한 Coordinator Announcement 메시지를 지연시키는 공식은 식 (2)와 같다.

$$delay_i = \left(1 - \frac{E_r}{E_m}\right) + \left(1 - \frac{C_i}{\binom{N_i}{2}} + R\right) \times N_i \times T \quad (2)$$

식 (2)에서 정의 한대로 Coordinator Announcement 메시지는 노드에 남아 있는 에너지가 많을수록 그리고 유틸리티 수치가 클수록 적은 지연값을 가진다. 즉, 에너지가 적고 유틸리티 수치가 작은 노드에 비해서 더 빨리 Coordinator Announcement 메시지를 보냄으로 인해서 코디네이터가 될 수 있는 확률을 높이는 것이다. 표1은 수식에 사용된 요소에 대한 설명을 나타낸다.

표 1. 수식에 사용된 요소

요소	설명
N _i	노드 i에 이웃하는 노드들의 수
C _i	노드 i가 코디네이터가 되었을 때 연결될 수 있는 노드 쌍의 수
E _r	노드에 남아있는 에너지의 양
E _m	노드가 가질 수 있는 최대 에너지의 양
R	0부터 1까지의 임의의 실수
T	무선 링크에서의 Round-trip delay

3 에너지-효율적인 코디네이터 선정 알고리즘

3.1 기존 코디네이터 선정 알고리즘이 가지는 문제점

이전 장에서 유틸리티를 구하는 공식과 Coordinator Announcement 메시지를 지연시키는 공식을 살펴보았다. 하지만 위의 공식들을 이용했을 때 특정한 토폴로지에서는 효율적으로 코디네이터를 선정하지 못하는 경우를 발견할 수 있었다. 우선, 간단히 그 예를 살펴해보도록 하겠다. 그림 1의 경우 직관적으로 보았을 경우에 노드4가 코디네이터가 되었을 경우에 노드A가 코디네이터가 되었을 경우

보다 더 효율적일 것임을 직관적으로 알 수 있다.

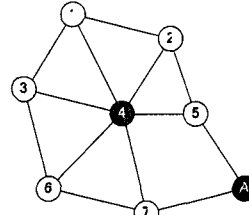


그림 1 토폴로지 A

하지만 2장에서 살펴본 공식에 의해서 유틸리티 수치를 계산 할 경우 노드4의 경우는 0.67이고 노드A의 경우 1이다. 따라서 노드4보다 노드A가 더 높은 유틸리티 수치를 가짐을 알 수 있다. 즉, 이것이 의미하는 바는 위와 같은 토폴로지 하에서는 노드A가 코디네이터가 될 수 있는 확률이 더 높음을 의미한다.

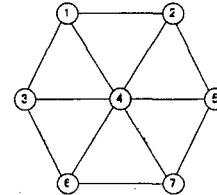


그림 2 토폴로지 B

또한 그림 2의 토폴로지에 있어서도 에너지는 동일하다는 가정하에 네트워크에 참여하는 각각의 노드들의 Coordinator Announcement 메시지의 지연값을 계산하여 보면 노드4이외의 노드들이 약 4배 정도 큰 코디네이터가 될 확률을 가지는 것을 알 수 있다. 이것은 위와 같은 토폴로지에서 매우 비효율적으로 코디네이터가 선정된다는 것을 알 수 있다.

3.2 개선된 에너지-효율적인 코디네이터 선정 알고리즘

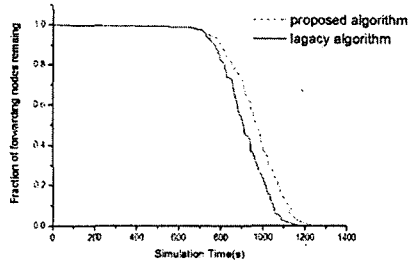
3.1장에서 본 바와 같이 기존의 코디네이터 선정하는 알고리즘에서는 예상되는 결과와는 상당히 다르게 비효율적으로 코디네이터가 선택되어짐을 알 수가 있었다. 따라서 이를 개선하여 효율적으로 코디네이터가 선정되어질 수 있도록 다음과 같은 새로운 공식을 제안하였다.

$$delay_i = \left(1 - \frac{E_r}{E_m}\right) + \left(1 - \frac{C_i}{\binom{N_{max}}{2}} + R\right) \times N_{max} \times T \quad (3)$$

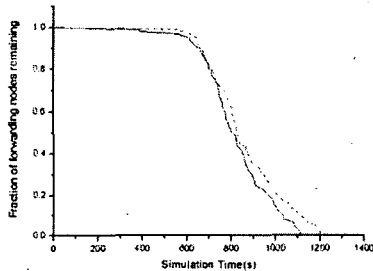
식 (3)에서의 N_{max}는 2hop거리 내에 있는 가장 많은 이웃하는 노드를 가지는 노드의 이웃하는 노드의 수를 말한다. 이 제안된 공식을 위의 그림 1과 그림 2의 토폴로지에 적용해 보면 토폴로지A에서는 노드4가 노드A보다 10배정도 높은 유틸리티 수치를 가지며 토폴로지B에서는 기존의 공식과는 반대로 노드4가 다른 노드들에 비해서 거의 90%정도로 코디네이터가 될 확률을 가짐을 알 수가 있다.

4 성능비교

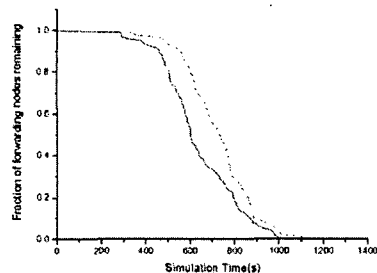
3장에서 제안된 코디네이터 선정 알고리즘이 얼마만큼 기존에 알고리즘에 비해서 전체 네트워크의 수명을 향상시킬 수 있는지 NS2 시뮬레이터를 이용하여 모의 실험하였다. 노드의 수는 120개이며 이중 10개는 송신노드이며 또 다른 10개는 수신노드로 설정하였고 네트워크의 크기는 500m, 750m, 1000m, 1250m의 크기를 가지도록 하여 노드의 밀도를 조종할 수 있도록 하였다.



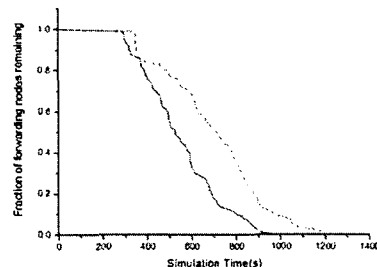
(a) 500m X 500m



(b) 750m X 750m



(c) 1000m X 1000m



(d) 1250m X 1250m

그림 3 시간에 따른 생존 노드의 수

모의실험을 한 결과에 따르면 500m 크기의 네트워크에서는 약 5.6%의 네트워크 수명이 증가하였고 750m에서는 약 8.07%, 1000m에서는 약 12.5% 그리고 1250m에서는 약 19.4%가 증가된 것을 확인할 수 있었다.

5 결론

4장 성능비교에서 본 바와 같이 본 논문에서 제안된 코디네이터 선정 알고리즘을 도입함으로 인해서 전체적인 네트워크의 수명이 향상됨을 확인할 수 있었다. 특히, 넓은 네트워크 즉, 노드의 밀도가 낮을수록 네트워크의 수명이 더 크게(약 19.4%) 향상됨을 확인할 수 있었다. 이는 노드의 밀도가 낮은 네트워크일수록 코디네이터를 효율적으로 선정하는데 더 민감하다는 것을 의미하는 것이다.

참고문헌

[1] Benjie Chen, Kyle Jamieson, Hari Balakrishnan, and Robert Morris. Span: An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks. *ACM Wireless Networks Journal*, 8(5), 481-494, September 2002

[2] Xu, Y., HEIDEMANN, J., AND ESTRIN, D. Geography-informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing. In *Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)* (Rome, Italy, July 2001), pp. 70-84

[3] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, and Hari Balakrishnan. An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks. *IEEE Transactions on wireless communications*, Vol. 1, No. 4, Oct. 2002

[4] Rajmohan Rajaraman. Topology Control and Routing in Ad hoc Networks: A Survey. *ACM SIGACT News*, Vol 33, Issue 2, June 2002

[5] K. Fall and K. Varadhan, "ns Notes and Documentation" The VINT Project, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, available from "<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>", August 2005.

[6] CMU Monarch Group, "CMU Monarch extensions to the NS-2 simulator", Available from "<http://monarch.cs.cmu.edu/cmu-ns.html>", 2005