

Mobile Ad hoc Network에서 노드 사이의 공정한 에너지 분배를 위한 라우팅 알고리즘

이은규* 김문주 류승복 김명철
한국 정보통신 대학원대학교 공학부
{ekyulee, sirius, sbryu, mckim}@icu.ac.kr

이윤주
한국전자통신연구원
yjlee@etri.re.kr

Fairly Energy-Balanced Routing Algorithm in Mobile Ad hoc Network

Eunkyu Lee* Moonjoo Kim Seungboek Ryu
Myungchul Kim
School of Engineering, Information and
Communications University

Yoonju Lee
Core Network Technology
Department, Electronics and
Telecommunications Research
Institute

요 약

무선 네트워크 분야에서 기존의 Mobile IP 외에 별도의 기반 시설 없이 각 노드만으로 네트워크를 구성하여 통신하는 Mobile Ad hoc Network (MANET)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 MANET에서의 노드 에너지 소비량을 공정하게 조절하는 라우팅 알고리즘을 제안한다. 기존에 제시된 라우팅 알고리즘들은 데이터 경로 결정의 요소로 각 노드의 에너지 정보를 사용하고 있다. 이에 반해 본 논문에서 제시하는 알고리즘은 각 노드의 에너지 뿐만 아니라, 네트워크 통신에 대한 기여도를 사용한다. MANET에서 노드는 일반 호스트이면서 동시에 다른 노드의 데이터에 대한 라우터의 역할도 수행한다. 노드가 호스트가 아닌 라우터로써 많은 에너지를 소비하게 되면, 이 노드는 네트워크 통신에 대한 기여도가 높다고 할 수 있다. 시뮬레이션을 통한 결과는 우리가 제시하는 라우팅 알고리즘이 네트워크 전반에 걸쳐 에너지를 공정하고 균등하게 분포 시킬 수 있다는 것을 보여준다.

1. 서론

미래의 네트워크 환경은 기존의 유선망 뿐만 아니라 사용자의 위치에 구애 받지 않는 무선 네트워크 환경이 될 것이다. 그리고 무선 네트워크 환경은 Mobile IP 외에도 별도의 기반 시설 없이 각 노드만으로 네트워크를 구성하여 통신하는 Mobile Ad hoc Network (MANET)의 형태로 진행될 것이다. 이러한 형태의 네트워크에서 노드의 에너지 소비량은 중요한 문제이며, 적절한 라우팅 알고리즘을 통해서 이를 해결할 수 있다. 본 논문에서는 라우팅 경로를 정할 때, 각 노드의 에너지와 함께 네트워크 통신에 대한 기여도를 요소로 하는 라우팅 알고리즘을 제안한다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 MANET과 라우팅 알고리즘, 그리고 에너지 분포에 관한 배경 내용을 알아본다. 3장에서는 우리가 제시한 알고리즘을 간단한 예와 함께 수식적으로 접근하고, 4장에서는 시뮬레이션을 결과를 보이고, 이를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺고, 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 관련 연구

이번 장에서는 MANET과 이에 사용되는 라우팅 알고리즘, 그리고 노드의 에너지에 관한 기존 연구들에 대해 알아본다.

2.1 Mobile Ad hoc Network

MANET은 자유롭게 움직이면서 상호간의 독립적인 통신이 가능한 이동 노드들로 구성된 네트워크이다. MANET의 가장 큰 특징은 네트워크안에 유선망으로 연결되는 기반 구조가 없이도 통신이 가능하다는 것이다. MANET에서 노드는 자동차가 될 수도 있고, 작은 물체가 될 수도 있으며, 심지어 사람이 될 수도 있다. 각 노드는 무선으로 데이터를 보내거나 받는 장비를 탑재하게 되며, 장비들의 성능에 따라 자신이 직접 데이터 통신을 할 수 있는 범위가 정해진다. 2~3개의 다른 노드들의 범위에 놓인 노드는 다른 노드들의 데이터를 연결할 수 있는 중간 위치에 놓이게 되며, 이 때는 라우터 역할을 하게 되어, 각 노드의 데이터를 다른 노드에게 전달하게 된다. 반면에 어떤 노드의 범위에도 포함되지 못하는 노드는 다른 노드와 통신을 할 수 없게 된다. 노드는 네트워크내에서 이동이 자유로우며, 이로 인해서 네트워크의 형태는 동적으로 변할 수 있다. 그러므로 이러한 MANET이 사용될 수 있는 응용 형태는 짧은 기간에 열리는 학회나 긴급 구조 상황 또는 전쟁에서 작전 수행에 이용될 수 있다.

현재 Internet Engineering Task Force (IETF)에서 MANET 워킹 그룹을 두고 표준화 작업을 진행 중에 있다. 이 그룹에서 [1]은 MANET의 특성을 다음과 같이 정리하고 있다:

네트워크 형태의 동적 구성, 대역폭이 제한적임, 링크에서 수용할 수 있는 양이 동적임, 노드의 에너지가 제한적임.

2.2 MANET환경에서의 라우팅 프로토콜

[1]은 MANET에서 사용되는 라우팅 알고리즘의 필요 조건을 포함하고 있다. 이는 MANET의 특성과 함께 다양한 요구 사항을 만들고 있으며, 이를 만족시키기 위한 라우팅 프로토콜들이 제시되고 있다. 여기서는 리액티브 라우팅 프로토콜에 대해서만 다루기로 한다. 리액티브 라우팅 프로토콜은 데이터를 보낼 때에만 경로 정보를 찾는 방식으로 Dynamic Source Routing (DSR) [2], Ad hoc On-Demand distance Vector routing (AODV) [3], Temporary Ordered Routing Algorithm (TORA) [4]등이 있다. DSR에서, 노드가 데이터를 보내기 위해서 목적지에 대한 경로를 알아야 하며, 경로를 찾기 위해 Route Request (RREQ) 패킷을 목적지의 방향으로 보낸다. 이 패킷을 받은 목적지 노드는 소스 노드에게 Route Reply (RREP) 패킷을 발송하고, 이 패킷을 받은 소스 노드는 그 안에 담겨진 경로 정보를 바탕으로 데이터를 전송하게 된다.

2.3 에너지 인식 라우팅

에너지 인식 라우팅의 목표는 MANET에서 노드들이 사용하는 에너지량이 서로 간에 균형이 맞도록 하는 것이다. 새로운 데이터 경로를 찾을 때, 각 노드의 에너지 상태를 고려하여 노드의 에너지가 일정 레벨 이상일 경우에만 경로 설정 과정에 참가하는 방법이다. [5]에서는 노드의 에너지 소모를 줄일 수 있는 몇 가지 파라미터를 정의한다. 그리고 [6]에서는 경로 설정 위치를 각 노드로 바꾸어서 목적지 노드에서의 부담과 지연 시간을 줄이고 있다.

3. 알고리즘

이번 장에서는, 현재 제시되고 있는 MANET 라우팅 알고리즘의 문제점을 분석하고, 노드의 에너지 상태와 함께 기여도가 포함되는 라우팅 알고리즘을 제시한다. 또한 제시된 알고리즘을 DSR에 적용한 예를 보여준다.

3.1 현 라우팅 알고리즘의 문제점 분석

그림 1과 같은 네트워크 상황을 가정해보면, 모든 데이터 트래픽이 노드 K를 거쳐가는 것을 볼 수 있다.

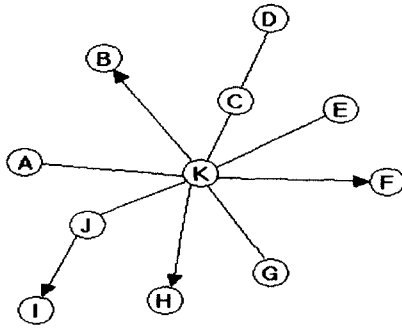


그림 1. 노드 K로의 트래픽 집중 현상.

이 경우, K는 라우터 역할을 하게 되며, 다른 노드의 데이터를 전달하는데 많은 에너지를 사용하게 된다. 특히 K가 소스 노드로써 다른 노드에게 보내려는 데이터가 없을 경우, 소비되는 에너지 전부는 라우터 역할을 함으로써 발생된 것이다. 이러한 상황이 지속된다면, 결국 K는 에너지가 고갈되어, 자신의 데이터는 보내지도 못하고 수명이 다할 것이다. 본 논문에서는 이 상황을 communication

unfairness라 부르며, 이를 해결하기 위한 방법을 제시한다.

3.2 에너지와 기여도

이 장에서는 본 논문이 제시하는 알고리즘에 사용되는 요소들을 설명한다.

우선 각 노드의 에너지 값을 정의하면 다음과 같다.

ENC: 각 노드의 남아있는 에너지량

전체 에너지와 비교되는 상대적인 값 ($0 \leq ENC \leq 1$)

ENC 중에서 데이터만을 처리하는데 사용된 에너지를 Edata라 하며, Edata값은 자신의 데이터를 처리하는데 사용된 에너지 Es와 다른 노드의 데이터를 처리하는데 사용된 에너지 Ef로 나누어진다. 이 값들을 바탕으로 기여도(CR)를 결정하게 되는데 그 값은 다음과 같다.

$$CR = Ef / Edata, \quad (0 \leq CR \leq 1)$$

즉, 노드가 데이터를 처리하는데 소비한 에너지 중에서 다른 노드의 데이터를 처리하는데 소비한 에너지 값으로, 다른 노드의 데이터를 얼마나 많이 전달했는지를 나타낸다.

우리가 얻은 ENC, CR 값과 관련하여 몇 가지 변수를 설정하고자 한다. 우선 Cre 이다. 이는 CR이 0.5 일 때의 값이며, 노드의 CR이 Cre보다 높은 경우, 데이터를 처리하는데 소비한 에너지의 절반 이상을 다른 노드의 데이터를 전달하는데 사용했다는 의미이다. 이 상태를 "상대적으로 높은 기여도를 갖는다"라고 한다. ENC와 관련되어서는 ENCth가 있다. ENCth는 ENC값이 0.9일 때의 값이며, 이 값은 노드를 에너지 고갈로부터 보호하기 위한 것이다 [6]. ENCc는 알고리즘에 CR값이 적용되는 시점을 결정하는 값으로 그 범위는 ENC값이 0.0 일 때부터 0.9까지 이다. ENC값이 ENCc 값보다 클 경우에만 데이터 경로 설정 과정에 CR값이 적용된다. 그 이하일 경우, 데이터 경로 설정 과정은 기존의 라우팅 알고리즘과 동일하다. 표 1은 CR과 ENC 값이 가질 수 있는 범위와 Cre, ENCth, ENCc 값을 표시한 것이다.

표 1. CR과 ENC의 범위.

CR	ENC
0.0	0.0
0.1	0.1
0.2	0.2
0.3	0.3
0.4	0.4
0.5	0.5
0.6	0.6
0.7	0.7
0.8	0.8
0.9	0.9
1.0	1.0

3.3 데이터 경로 설정 과정

리액티브 알고리즘을 사용하는 네트워크에서 노드는 데이터를 보내기 전에 경로를 알아야 하며, 이를 알기 위해서 RREQ를 발송한다. 중간에 노드가 이 패킷을 받았을 때, 노드는 자신의 ENC값을 ENCc값과 비교한다. 그 값이 ENCc보다 작을 경우, 기존의 알고리즘과 같이 RREQ에 자신의 주소만을 적은 후 다음의 노드에게 전달한다. 그리고 ENCc보다 크고, ENCth보다 작은 경우, 다음의 공식을 사용하여 ENCnth값을 계산한다.

$$ENC_{nth} = ENC_c + CR * (ENC_{th} - ENC_c)$$

이 값은 각 노드의 CR값이 반영되어 새롭게 계산된 것이며, CR이 높을수록 높은 값을 갖게 된다. 이후 ENC값은 ENC_{nth}값과 비교된다. ENC_{nth}보다 작을 경우, RREQ를 받아 들여 다음 노드로 전달하지만, 그렇지 않을 경우, RREQ를 폐기하여 경로 설정 과정에 참여하지 않게 된다. 마지막으로 ENC값이 ENC_{th}보다 클 경우, CR값이 CR_e값과 비교된다. CR_e보다 작을 경우, RREQ 다음 노드로 전달하며, 반대의 경우는 RREQ를 폐기하게 된다.

그림 2에서 노드 I의 경우를 생각해 볼 수 있다. 현재 네트워크에서 전달되고 있는 데이터 방향은 화살표들의 방향과 같으며, 노드 A에서 노드 K로 데이터를 보내기 위해 RREQ가 전달된다고 가정한다 (점선). I의 현재 상태는 다음과 같이 가정한다. CR=0.6, ENC=0.7, ENC_c=0.5. 앞에서 밝힌 바와 같이, CR_e는 0.5, ENC_{th}는 0.9이다.

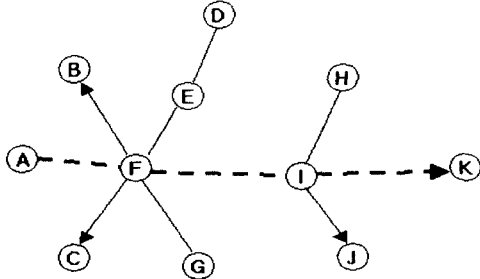


그림 2. 데이터 통신에 관한 네트워크 구성.

우선 ENC가 ENC_c값과 비교되며, 이 경우 ENC가 크기 때문에 경로 설정 과정에 CR값이 고려된다. 그러므로 ENC_{nth}값이 다음과 같이 계산된다.

$$ENC_{nth} = 0.5 + 0.6 * (0.9 - 0.5) = 0.74$$

ENC값과 ENC_{nth}값이 비교되며, 이 경우 ENC_{nth}값이 크기 때문에 노드 I는 RREQ를 받아 들이고, 경로 설정 과정에 참여하게 된다. 결국 A로부터 K로 가는 경로가 설정되어 데이터가 전달된다.

4. 실험 및 결과 분석

이번 장에서는 성능 측정을 위해 사용되는 실험 환경, 그리고 그 결과 및 분석에 대해 알아본다.

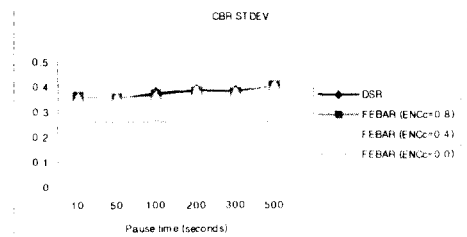


그림 3. CR값의 표준편차.

우리는 실험을 위해 UCLA의 GloMoSim 2.0 [7]을 사용하였으며, ENC_c값을 변화시키면서 기존의 DSR과 성능을 비교하고 측정하였다. 결과값으로 네트워크 전체의 CR과 ENC에 대한 표준편차 값을 얻었다. 그림 3과 4는 이를 나타낸다. 그림에서 보듯이 ENC_c값이 0.4와 0.8일 때는 기존의 DSR과 큰 차이를 보이지 않지만, ENC_c값이 0.0일 때는

성능이 향상되었음을 볼 수 있다.

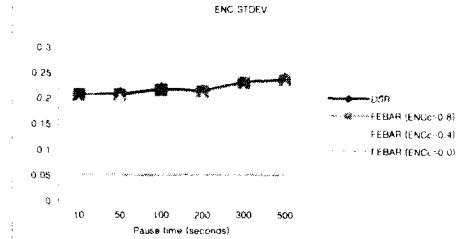


그림 4. ENC값의 표준편차.

표준편차 값이 작다는 것은 각 값들이 평균에 근접해 있다는 것을 나타낸다. 위의 결과값들은 본 논문에서 제시된 알고리즘을 사용하였을 경우, 네트워크의 데이터들이 네트워크 전체의 경로를 이용하여 전달되었음을 보여준다. 이는 특정 노드에 데이터가 집중되어, 다른 노드보다 일찍 수명이 다하는 경우가 줄어든다는 것을 의미한다.

5. 결론

본 논문에서는 MANET에서 새로운 경로 탐색시 각 노드의 에너지와 기여도를 함께 고려해 경로를 결정하는 라우팅 알고리즘을 제시하였다. 실험 결과를 통하여 네트워크의 데이터가 네트워크 전체에 골고루 분포되어 노드 사이의 에너지 균형이 이루어졌음을 볼 수 있었다. 기존의 연구에서는 노드의 에너지 균형이 이루어질 경우, 네트워크의 데이터 통신 성능이 저하되는 경우가 있었다. 본 논문에서는 에너지의 공정한 균형을 고려해 실험하였으며, 성능과 관련된 테스트를 남겨두었다. 다음에 이루어질 연구는 이에 관련된 것이며, 본 논문에서 제시한 기여도를 활용할 수 있는 MANET 서비스 연구에 대해서도 많은 노력이 기울어질 것이다.

6. 참고문헌

- [1] S. Corson, "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," IETF, RFC 2501, Jan. 1999.
- [2] David B. Johnson, et al., "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," draft-ietf-manet-dsr, IETF, Mar., 2001.
- [3] Charles E. Perkins, et al., "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," draft-ietf-manet-aodv-08, IETF, Mar., 2001.
- [4] V. Park, S. Corson, "Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) Version 1 - Functional Specification," draft-ietf-manet-tora-spec-04, IETF, July, 2001.
- [5] Suresh Singh, Mike Woo and C. S. Raghavendra, "Power-aware routing in mobile ad hoc networks," International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '98), pp. 181-190, Oct. 1998.
- [6] K. Woo, C. Yu, H. Y. Youn, and B. Lee, "Non-Blocking, Localized Routing Algorithm for Balanced Energy Consumption in Mobile Ad Hoc Networks," Submitted to Int'l Symp on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS 2001)
- [7] X. Zeng, R. Bagrodia and M. Gerla, "GloMoSim: A Library for the Parallel Simulation of Large Scale Wireless Networks," Parallel and Distributed Simulation Conference (PADS), 1998.