

무선 Ad-hoc 망에서 라우팅 에너지 소비의 균형 기법

강용혁[○] 엄영익
성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부

Balancing of Routing Energy Consumption in Wireless Ad-hoc Networks

Yong Hyeog Kang[○] Young Ik Eom
School of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

Abstract

Energy consumption is considered as a principal ingredient in mobile wireless ad-hoc networks. In such a network, most of mobile nodes takes a role in forwarding messages received from neighbor nodes. Energy of these nodes is consumed in different rates depending on message traffic routes. This paper proposes a scheme to balance routing energy consumption by transferring routing function from node with small residual energy to node with enough residual energy. This scheme requires additional local message transfer, increasing the energy consumption of nodes to transfer routing function, and increasing total energy consumption of ad-hoc network. But balancing of energy consumption make the system lifetime the longer and increase the average node lifetime.

1. 서론

Ad-hoc 망은 하부 망 구조나 중앙 관리를 이용하지 않고 동적으로 임시적인 네트워크를 형성하는 무선 이동 호스트들의 집합으로 구성된다. Ad-hoc 망에 있는 노드들은 자신에게 오는 패킷을 목적지 방향으로 포워딩 하는 라우터 역할을 수행한다. Ad-hoc 망에 대해 최근의 많은 연구와 개발이 진행되고 있으며, 그 응용 분야로는 컴퓨터뿐만 아니라 무선 오피스 랜이나 이동 전화기, PDA, 센서 네트워크 등과 같이 군사용이나 상업용, 또는 교육용 등이 있다[1].

현재 ad-hoc 망에 대한 연구는 주로 프로토콜디자인이나 라우팅의 성능 평가로 집중되어 있다. Ad-hoc 망은 에너지가 제한된 노드들로 구성되어 있으며 노드의 위치에 따라 에너지 소비가 현저하게 차이가 날 수 있으므로 에너지 소비에 관한 프로토콜 설계도 전체 시스템 설계에 중요한 요소가 될 수 있다. 본 논문은 ad-hoc 망에 있는 서로 다른 에너지 양을 가지고 있는 노드들 중에 에너지가 적은 노드는 패킷 포워딩의 임무를 에너지가 많은 다른 노드에게 위임하여 에너지가 더 적어지는 것을 줄여서, 라우팅

에 소비되는 에너지에 의해 차이가 생기는 노드들간의 에너지 양을 균등화하는 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 2장에 기존에 나와 있는 관련 연구를 소개하고 3장에서 본 논문에서 다루는 에너지 균등화 기법을 제안한다. 4장에서는 성능 평가 모델과 방법을 설명하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

무선 통신을 하는 노드들의 라우팅에 사용되는 에너지의 소비를 다루는 기법은 여러 곳에서 제안되었다. 우선, 패킷 하나가 소스에서 목적지까지 도달하는데 소비되는 에너지의 양을 최소화하여 전체 시스템의 에너지 소비를 줄이는 기법들이 많이 제안되었다[2]. 그러나 이러한 기법은 시스템에서 발생하는 많은 트래픽이 주로 최소 에너지 경로를 통하여 이루어지므로 최소 에너지 경로에 있는 노드들은 부하가 많아질 뿐만 아니라 에너지가 빨리 고갈되어 성능이 저하되며, 전체 시스템의 수명을 감소시키는 문제점이 존재한다.

두 번째 방법은 전체 시스템의 총 에너지 소비를 줄이는 기법보다는 전체 시스템의 에너지 소비의 합은 늘어나다라도 전체 시스템의 수명을 늘리는 것을 목표로 하여, 노드들의 남아 있는 에너지를 비교하여 많이 남아 있는 노드는 에너지를 많이 사용하게 하고 적게 남아있는 노드는 적게 사용하게 하는, 에너지 소비의 비율을 균등화하는 기법이 제안되었다[2]. 이 기법에서는 라우팅에 사용되는 에너지 소비의 비율을 균등화하기 위해서 흐름 증가(flow augmentation) 알고리즘과 흐름 재지정(flow redirection) 알고리즘을 제안하였다. 그러나 이러한 기법은 에너지 소비 비율을 균등화하는 작업이 부하가 될 수 있으며, 또한 망 구조가 변경이 될 때마다 에너지 소비의 비율을 다시 계산해야 하는 문제점이 있다.

세 번째 방법은 응용 계층 정보를 이용하여 무선 통신이 필요하지 않을 경우에 통신 부분을 잠시 꺼버리는 알고리즘을 사용하는 방법이다. 또한, 이 제안 기법에서는 노드들의 배치 상태를 이용하여 밀집 지역에서는 여러 노드들의 라우팅 역할을 수행하므로 라우팅 역할을 수행하지 않는 노드들은 통신 부분을 잠시 꺼버리는 방법도 제안하였다. 그러나 이러한 기법은 데이터 전송의 지연 및 손실로 데이터 전송의 품질이 떨어진다는 문제점을 가지고 있다.

3. 라우팅 에너지 소비의 균형 기법

본 논문에서 제안하는 라우팅 에너지 소비의 균형 기법은 관련 연구에서 설명한 여러 기법들에서 나오는 문제점들을 줄이기 위해 다음과 같은 설계 원리를 가지고 설계하였다.

- 1) 에너지가 적게 남은 노드는 에너지를 적게 소비하게 한다.
- 2) 망 구조의 변화에 적응력이 있어야 한다.
- 3) 데이터의 전송 지연 및 손실을 줄여야 한다.

우선, 에너지가 적은 노드의 에너지를 적게 소비하게 하기 위한 기법으로는 라우팅 역할을 수행하지 않는 방법도 있지만 이러한 기법은 시스템의 성능을 저하시키는 단점이 있으므로, 본 논문에서 제한하는 기법에서는 에너지가 적은 노드들이 수행하는 라우팅 역할을 에너지가 많은 노드에게 전이시키는 방법을 이용한다. 라우팅 역할을 한 노드에서 다른 노드로 전이하는 프로토콜을 위해 다음과 같은 다섯 가지의 메시지를 제안한다.

- 1) RTREQ(route transfer request)
<id, E, path>
- 2) RTREP(route transfer reply)

<id, E, src_path, dest_path>

3) RTVALID(route transfer validate)

<id, E, valid_path>

4) RTVALREP(route transfer validate reply)

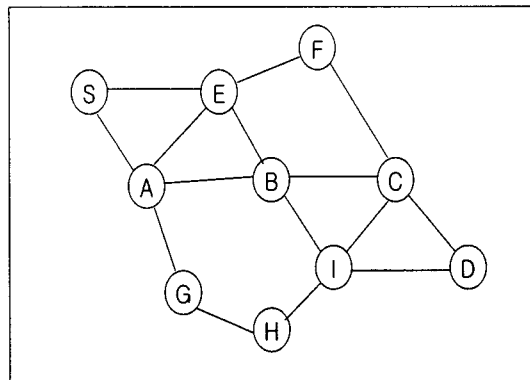
<id, E, valid_path>

5) RTCONF(route transfer confirm)

<id, dest, conf_path>

RTREQ 메시지는 라우팅의 역할을 전이하고자 하는 노드가 생성하여 라우팅 역할의 전이를 요청하는 지역적 방송 메시지이다. RTREP 메시지는 라우팅의 역할을 대신 수행할 수 있는 노드가 RTREQ 메시지에 응답하는 메시지이다. 또한, RTVALID 메시지는 RTREQ 메시지를 보내기 전에 패킷 전송을 대신할 경로를 타당한지 검증하는 메시지이며, RTVALREP 메시지는 그 응답이다. RTCONF 메시지는 라우팅 역할의 전이되었음을 라우팅 역할을 전이하는 노드가 패킷의 원래 경로에 있는 노드들에게 알리는 메시지이다. 각 메시지의 형식에서 id는 메시지의 생성자를 나타내며, E는 에너지의 크기를 나타내는 데, RTREQ 메시지에서 노드의 에너지의 크기를 나타내고, RTREP 메시지인 E는 src_path와 dest_path의 끝 노드들 사이에 있는 노드들의 에너지 중에 가장 적은 에너지를 나타낸다. RTREQ 메시지의 path는 라우팅 역할의 전이되지 전에 패킷의 원래 전송 경로를 나타내며, RTREP 메시지의 src_path와 dest_path는 RTREP 메시지를 보내는 노드가 라우팅 역할의 전이 후에 소스로부터 목적지까지 패킷이 전송될 수 있는 경로이거나 경로의 일부분이다. RTVALID 메시지의 valid_path는 라우팅 역할을 대신 수행할 경로를 나타낸다. RTCONF 메시지의 conf_path는 경로가 전이되었음을 알리는 경로이다. 다음 그림은 노드 S에서 노드 D까지의 패킷의 전송 경로를 SABCD로 가지며, 노드 B가 에너지를 많이 소비하여 라우팅 역할

의 전이를 요청하는 예를 보여준다.



[그림 1] Ad-hoc 망의 예

에너지를 많이 소비한 B는 A로부터 패킷 포워딩 요청이 왔을 때 RTREQ 메시지를 이웃 노드인 A, E, C와 I에게 보내면서 라우팅 역할의 전이를 시작한다. RTREQ 메시지를 받은 노드 A, E, C와 I는 자신의 경로 테이블에서 B를 거치지 않고 S에서 D로의 경로가 있는지를 확인하고, 경로가 있다면 RTVALID 메시지를 그 경로로 전송한다. 노드 A나 C에서는 경로 AEFC와 경로 AGHIC를 확인하고 RTVALID 메시지를 전송한다. 노드 E에서는 경로 SEFCD에 RTVALID 메시지를 전송하며, 노드 I에서는 경로 SAGHID에 RTVALID 메시지를 전송한다. 각각의 경로에서 RTVALID 메시지를 받은 노드에서는 경로를 확인하고 노드에 남아 있는 에너지의 양을 RTVALREP 메시지에 실어서 응답한다. 물론 남아 있는 에너지의 양이 B의 에너지보다 적다면 응답을 하지 않아도 될 것이다. RTVALREP 메시지를 받은 노드 A, E, C와 I는 각 경로에서 최소의 에너지와 경로를 RTREP 메시지에 넣어서 응답한다. RTREP 메시지를 받은 B 노드는 그 정보를 이용하여 최적의 라우팅 역할의 전이 대상을 선정한 후에 그 정보를 RTCONF에 넣어서 경로 SAB로 전송한다. 여기서 E가 최적의 라우팅 역할의 전이 대상이라면 RTCONF 메시지가 도착한 후에 발생하는 노드 S의 패킷이나

노드 A의 패킷은 노드 B를 우회하기 위해 노드 E를 사용할 것이다. 또한 부수 작용으로 노드 E와 I도 노드 B를 이용하는 경로 대신에 우회하는 경로로 패킷을 전송하게 될 것이다. 본 논문에서 제안하는 기법은 라우팅의 역할을 전이하였기 때문에 작은 망 구조의 변화에도 적응력을 보이게 된다. 이는 망 구조의 변화에 따른 경로의 변경이 에너지 소비 측면에서는 그다지 영향을 주지 않기 때문이다.

마지막으로 본 논문에서 제안하는 기법은 에너지가 적은 노드에서도 경로를 계속 유지하고 있으며, 패킷 전송과는 관계없이 라우팅 역할의 전이를 수행하므로 데이터의 전송 지연 및 손실은 늘어난 경로만큼만 전송 지연과 손실이 증가할 것이다.

4. 성능 평가

성능 평가의 목표는 본 논문에서 제안하는 라우팅 에너지 소비의 균형 기법에 따라 경로의 전이가 이루어졌을 때 에너지 소비가 균등화되었는가를 평가하는 것이다.

4.1 성능 평가 모델

우선 복잡한 무선 ad-hoc 망을 단순화하기 위해 성능 평가 모델에 사용되는 라우팅 프로토콜을 다음과 같이 단순화한다. Ad-hoc 망을 위한 DSR(Dynamic Source Routing) 프로토콜과 유사하게 주기적인 라우팅 정보를 교환하지 않으며, 경로 발견을 경로 요청 패킷을 방송함으로써 수행하고, 각 노드는 경로 캐시를 두어서 경로를 유지한다[3]. 에너지 소비를 균등화할 필요가 있을 때에는 라우팅 역할의 전이 프로토콜이 수행된다.

성능 평가 환경은 50개의 무선 노드가 직사각형 (1500m × 300m)내에서 이동하면서 서로 통신하는 환경이며 900초 동안 성능 평가를 수행한 후에 각 노드의 에너지 균형을 평가한다[4].

4.1.1 이동 모델

시스템 내에 있는 각각의 노드들은 임의의 중간 기점(Random waypoint) 모델에 따라 이동한다. 이동 시나리오는 중단 시간(pause time)에 따라 특성이 다르게 나타난다. 각 노드는 중단 시간동안 정지하다가 임의의 목적지를 1500m × 300m 공간에서 선택한 후에 임의의 속도로 목적지까지 이동한다. 목적지에 도착한 후에는 중단시간만큼 정지해 있다가 새로운 목적지를 선택한 후에 다시 임의의 속도로 이동한다[3].

프로토콜의 성능은 이동 패턴에 따라 상당히 영향을 받으므로 70개의 이동 패턴을 가지고 평가하며, 중단시간은 0, 30, 60, 120, 300, 600, 900초까지 7개의 다른 시간을 가지고 평가하며, 노드의 이동 속도는 최대 값이 20 m/s와 1 m/s인 균등 분포(uniform distribution)를 이용하여 평가하게 된다[4].

4.1.2 통신 모델

성능 평가를 위한 통신 모델은 트래픽의 소스를 상수 비트율(CBR:constant bit rate)을 가지도록 선택한다. 패킷의 크기는 상수로 1024 바이트로 한다. CBR 소스의 수를 변화시키는 것은 전송률을 변화시키는 것과 거의 동등하므로 전송률을 1초에 4개의 패킷을 전송하도록 하여 CBR 소스의 수를 10, 20, 30개로 변경시킨다. 통신 패턴은 연결의 시작 시간을 최소 값을 0초로하고 최대 값을 180초 갖는 균등 분포를 가지도록 하여 성능 평가를 수행한다[4].

4.1.3 에너지 모델

시스템 내에 있는 각각의 노드들이 가지는 에너지는 동등하게 100으로 초기화하여, 패킷을 전송할 때는 0.16이 감소되고, 패킷을 수신할 때는 0.12를 감소되도록 모델링하였다. 또한, 각 에너지를 여러 등급으로 나누어 한 등급마다 많아야 한번의 라우팅 역할의 전이가 일어나도록 하였다. 성능 평가는 각 에너지를

2, 3, 4, 5, 10등급으로 나누어서 수행한다.

4.2 성능 평가 방법

본 제안 기법에 대한 성능 평가는 이산 사건 시뮬레이션(event-driven simulation) 도구 중에 하나인 SIMLIB을 사용하였다[5]. 성능 평가에 사용된 사건들은 다음과 같이 네 가지 종류로 나눌 수 있다.

- 1) 패킷을 송수신하기 위해 발생하는 사건들
- 2) 라우팅 역할을 전이할 때 발생하는 사건들
- 3) 노드의 이동시에 발생하는 사건들
- 4) 경로를 발견하기 위해 발생하는 사건들

패킷을 송수신 할 때 나타나는 사건들에는 연결 시작 사건, 패킷 전송, 패킷 수신 사건들이 있으며, 라우팅 역할을 전이하기 위해 발생하는 사건들은 라우팅 전이 요청, 라우팅 전이 검증 요청, 라우팅 검증 응답, 라우팅 전이 응답, 라우팅 확인 사건들이다. 또한, 노드의 이동시에 나타나는 사건들은 노드 이동과 노드 중지 사건이 있으며, 경로를 발견하기 위해 발생하는 사건들은 경로 요청 사건과 경로 응답 사건들이 있다.

성능 평가로서 나올 수 있는 결과들은 본 논문에서 제안한 기법을 적용했을 때 노드들의 에너지 소비가 균등하게 되었는가를 다음과 같은 조건에서 비교할 수 있을 것이다.

- 1) 노드의 이동이 빠르고 느린 경우
- 2) 중단 시간이 큰 경우와 작은 경우
- 3) 트래픽이 많은 경우와 적은 경우

5. 결론

Ad-hoc 망 환경에서 이동 호스트들의 에너지는 상당히 중요한 요소이다. 또한 모든 호스트는 자신에게

오는 패킷을 목적지 방향으로 전송하는 데 에너지를 소비하므로 노드의 위치에 따라 에너지 소비가 크게 차이가 날 수 있다. 즉, 패킷이 많이 지나가는 경로와 적게 지나가는 경로에 있는 노드들 간에는 에너지 소비의 차이가 나게 되며 이는 에너지를 많이 소비한 노드를 차후에 라우팅에 이용하지 못하는 상태가 되어서 시스템의 성능을 감소시킨다. 본 논문에서는 에너지를 많이 소비한 노드가 에너지를 적게 소비하게 하기 위해 패킷 포워딩의 역할을 에너지를 적게 소비한 노드들로 구성된 경로로 전이하는 기법을 제안하였다. 이 기법은 한 노드의 경로를 다른 노드로 전송할 때, 부가적인 지역적인 메시지 전송이 일어나게 되어 부분적으로 노드의 에너지 소비가 증가되어 전체 에너지 소비를 증가시키지만, 에너지 소비를 균등화함으로써 에너지 소비가 많은 노드의 부하를 줄일 수 있으며, 여러 노드가 오래 기간동안 같이 연결된 상태로 유지될 수 있다.

참고 문헌

- [1] M. Stemm and R. Katz, "Measuring and Reducing Energy Consumption of Network Interfaces in Hand-Held Devices," *IEICE Vol. E80-B*, No. 8, 1997.
- [2] Jae-Hwan Chang and L. Tassiulas, "Energy Conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks," *Proceedings of IEEE INFOCOM2000*, March, 2000.
- [3] D. Johnson, D. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," In *Mobile Computing*, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [4] J. Broch and et al., "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," *MobiCom*, Oct., 1998.
- [5] A. Law and W. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 2-ed., McGraw-Hill, 1991.