

Ad hoc 네트워크 환경에서 부하 균등 기반의 power-aware 라우팅 프로토콜*

김동현^o 하란
홍익대학교 컴퓨터 공학과
{dhkim^o, rhanha}@cs.hongik.ac.kr

An Energy-efficient Power-aware Routing Protocol based on Load-balancing for Ad hoc Networks

Dong-hyun Kim^o Rhan Ha
Department of Computer Science, Hongik university

요 약

Ad hoc 네트워크에서 노드의 한정된 에너지 용량은 개설 경로의 수명과 안정성에 많은 영향을 미치는 요소이다. 따라서 이러한 에너지 한계를 극복하기 위한 다양한 power-aware 라우팅 프로토콜들이 네트워크 계층에서 제안되고 있으며, 이들 라우팅 프로토콜들은 기본적으로 노드의 배터리 잔량 에너지와 전송 전력량을 경로 탐색 과정에서 반영한다. 본 논문에서는 기존의 power-aware 라우팅 프로토콜보다 개설 경로의 동작시간을 높이고 전체 네트워크의 부하균등을 이룰 수 있도록 하는 새로운 라우팅 프로토콜을 제안하며 TPR(Traffic load based power-aware routing protocol)로 명명한다. TPR은 NS-2를 이용한 성능 평가를 통해 전체 네트워크의 부하 균등과 개설 경로의 수명, 안정성 측면에서의 개선점을 확인한다.

1. 서 론

MANET[1-3]은 별도의 AP(access point)나 인프라 시설이 없는 상황에서 노드들이 독자적으로 네트워크를 구성하여 통신을 수행한다. 그리고 각각의 노드는 제한된 크기의 전송 범위를 가지고 있기 때문에 직접 통신할 수 없는 거리에 위치한 노드들은 '멀티 홉 라우팅' 방식으로 통신을 수행하며, 두 노드 사이에 위치한 중간 노드들은 패킷을 정해진 경로에 맞게 다음 노드로 전달하는 라우터의 역할을 수행한다. Ad hoc 네트워크를 구성하는 각각의 노드들은 배터리를 통해 에너지를 공급받는다. 따라서 자신이 보유하고 있는 배터리 잔량 에너지를 모두 소모해버린 노드는 더 이상 정상적인 라우팅 동작을 수행할 수 없게 되어 네트워크에서 탈퇴한다. 결국 이와 같은 ad hoc 네트워크 환경에서 노드들 간의 통신을 원활히 수행하고, 무선기기 사용자들에게 높은 QoS를 제공하기 위해서는 노드, 즉 무선기기의 충분한 가용시간이 보장되어야 하며, 라우팅 프로토콜의 개발 과정에서도 모바일 노드의 한정된 에너지 용량은 반드시 고려되어야 한다.

Ad hoc 네트워크가 소개된 초기에 제안된 라우팅 프로토콜들은 대부분 데이터 전송에 있어서 전송 지연의 감소나 컨트롤 패킷의 오버헤드를 줄이는 것을 주목적으로 하였다. 하지만, 최근에는 무선기기의 가용시간 연장을 통해, 사용자 QoS를 만족시키기 위한 라우팅 프로토콜이 제안되고 있다. 이러한 형태의 라우팅 프로토콜들은

은 대부분 무선기기의 한정된 에너지 용량을 효율적으로 사용하는 기법을 제안하기 때문에, 'power-aware 라우팅 프로토콜' 혹은 'energy-aware 라우팅 프로토콜'이라고 칭한다. 현재 제안되는 power-aware 라우팅 기법은 경로를 구성하는 각각의 노드에서 배터리 잔량 에너지와 전송 전력량 등의 정보를 바탕으로 노드의 동작시간 혹은 경로 비용을 계산하고, 이렇게 계산된 노드의 동작시간 혹은 경로 비용은 출발지 노드에서 목적지 노드까지의 적절한 경로를 선택하는 데에 반영된다[4-6]. 하지만, 기존의 power-aware 라우팅 기법은 노드의 동작시간 계산에 있어서 배터리 잔량 에너지 및 전송 전력량에 대해서는 고려하였으나, 경로를 구성하는 노드들의 트래픽 부하를 고려하지 않은 문제점이 있었다. Power-aware 라우팅에 있어서 경로를 구성하는 노드들의 정확한 동작시간을 예측하기 위해서는 각각의 노드가 보유하고 있는 배터리 잔량 에너지, 전송 전력에 대한 정보와 함께 현재 각각의 노드에서 발생되고 있는 트래픽 부하에 대한 정보도 반영되어야 한다.

본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜은 노드의 동작시간 산출 과정에서 트래픽 부하를 고려하며, TPR(Traffic load based power-aware routing protocol)이라 명명한다. TPR에서 각각의 중간 노드는 라우팅 함수를 이용하여 자신의 동작시간을 계산하고, 이 값은 경로 선택 과정에 반영되어, 전체 네트워크의 부하균등을 이루는 경로의 개설이 가능하도록 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 TPR의 라우팅 과정에서 사용되는 라우팅 함수와 라우팅 알고리즘을 기술한다. 3장에서는 TPR의 성능평가에 대하여 다루며, 4장에서는 본 논문의 결론에 대하여 기술한다.

* 본 논문은 한국학술진흥재단 '04 선도연구지원사업의 후원으로 연구되었습니다. (과제번호: KRF-2004-041-D00543)

2. 제안하는 라우팅 프로토콜

본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜 TPR은 AODV[7], DSR[8]와 같은 reactive 라우팅 프로토콜이다. Reactive 방식의 라우팅 프로토콜은 네트워크 내 노드들 사이의 경로가 미리 개설되어 있지 않으며, 데이터 전송을 위한 경로 개설은 출발지 노드가 전송해야 할 데이터가 생겼을 때 시작된다. 이 장에서는 먼저 제안하는 라우팅 함수를 소개하고 그 다음 경로 탐색 알고리즘을 기술한다.

2.1 노드의 라우팅 함수

본 논문에서 제안하는 라우팅 함수에서는 기존의 연구에서 고려되었던 노드의 배터리 잔량 에너지와 전송 전력량 이외에 현재 노드에 가해지고 있는 트래픽 부하를 추가적으로 반영한다. 여기서 노드의 트래픽 부하란 해당 노드를 통해 일정 시간동안 소모되는 에너지의 양을 의미한다. 이 정보는 라우팅 테이블을 참조하여, 현재 개설된 경로를 통해 이웃 노드로 전송되는 데이터의 량과 이때 소모되는 전송 전력량으로 산출할 수 있다. 전송 전력량은 두 노드 사이의 거리와 신호 감쇄의 정도 등에 따라 유동적으로 변할 수 있다. 제안하는 노드의 라우팅 함수는 다음과 같다.

$$c(i) = \frac{E_i}{T_i} \quad (1)$$

$$T_i = \begin{cases} 1 & \text{if no transmission} \\ \sum_{k=1}^N (r_{(i,k)} \times \rho_{(i,k)}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$c(i)$: 노드 i 의 동작시간

E_i : 노드 i 의 배터리 잔량 에너지

T_i : 노드 i 의 현재 트래픽 부하

N : 현재 노드 i 를 지나 있는 경로의 개수

$r_{(i,k)}$: 경로 k 를 통해 노드 i 를 지나 전송되는 단위 시간당 패킷 수

$\rho_{(i,k)}$: 경로 k 에 대한 라우팅 엔트리에 따라 노드 i 가 다음 노드로 패킷을 전송할 때 사용되는 전송 전력량

위의 라우팅 함수는 노드의 배터리 잔량 에너지와 이 노드에서 발생하는 트래픽 부하를 토대로 동작시간을 산출한다. 동작시간은 출발지 노드와 목적지 노드를 제외한 RREQ가 지나는 모든 노드에서 산출되며 산출된 동작시간은 RREQ의 헤더부에 저장된다. 노드 i 의 트래픽 부하는 T_i 로 표현되는데, T_i 는 새로운 경로가 개설되기 전에 이미 노드 i 를 통하여 소모되는 에너지의 양을 나타내며 식 (2)과 같이 계산된다. 만일 현재 노드 i 를 통한 어떠한 데이터 전송이 없을 경우, 이 값은 라우팅 함수 내에서 어떠한 의미도 갖지 못하는 1이 된다. 식 (1)에서 알 수 있듯이 트래픽 부하는 전체 라우팅 함수 내에서 분모 자리에 위치하고 있으므로, 이 값을 1로 설정

할 경우, 전체 라우팅 함수 내에서 어떠한 영향도 미치지 않는다.

2.2 노드의 동작시간에 따른 경로 탐색 알고리즘

이 절에서는 앞서 산출된 노드의 동작시간이 실제 경로 탐색 과정에서 어떻게 적용되어 출발지 노드에서 목적지 노드까지 경로가 개설되는지 알아본다. 본 논문에서 제안하는 경로 탐색기법의 기본적인 동작은 기존에 MANET에서 제안된 AODV[7]나 DSR[8]의 라우팅 과정과 유사한 형태를 갖는다. 출발지 노드는 목적지 노드의 경로를 개설하기 전에 우선 자신의 라우팅 테이블을 검색하여 원하는 목적지 노드를 향하는 라우팅 엔트리가 있는지 확인한다. 만일 해당 노드로의 경로가 없거나 정해진 휴지 시간을 초과하여 더 이상 그 경로를 사용할 수 없을 경우, 출발지 노드는 자신의 이웃 노드들에게 RREQ 메시지를 브로드캐스팅하여 경로 탐색을 시작한다. RREQ 메시지를 받은 중간 노드들은 라우팅 함수를 이용하여 자신의 동작시간을 계산하고, 이를 RREQ의 헤더부에 추가한다. 그 후, RREQ 메시지는 다시 주변의 이웃 노드들로 브로드캐스팅된다. 이러한 과정이 반복되어, RREQ 메시지가 목적지 노드까지 전송되면 목적지 노드는 이 RREQ가 처음 도달한 메시지인지 확인하여 첫 번째 RREQ인 경우, 해당 RREQ에 저장된 중간 노드들의 동작시간 중 최소값을 저장하고 RREP 타이머를 동작시킨다. 만일 목적지 노드에 도달한 RREQ 메시지가 첫 번째 메시지가 아닐 경우에는 이 RREQ 메시지에 저장된 중간 노드의 최소 동작시간과 먼저 도착한 RREQ 메시지의 최소 동작시간을 비교하여 더 긴 동작시간을 가지는 경로로 갱신한다. RREP 타이머가 만기되면 목적지 노드는 갱신된 RREQ 메시지가 왔던 경로의 역경로로 RREP 메시지를 보낸다. RREP 메시지는 출발지 노드로 이동하면서 중간 노드들의 라우팅 테이블에 새로운 엔트리를 추가한다. 그리고 RREP 메시지가 출발지 노드에 도착하면 경로 탐색 과정은 종료된다.

3. 성능 평가

3.1 실험 환경 및 실험 기준

제안하는 라우팅 프로토콜의 효과를 확인하기 위해 본 논문은 NS-2[9] 시뮬레이터를 사용하여 실험을 수행하였다. 성능 평가는 전체 네트워크 내에서 노드들 간의 에너지 소모 상의 부하균등이 얼마나 잘 이루어지는지와 개설된 경로가 다른 라우팅 프로토콜에 비해 얼마나 안정적인지를 기준으로 수행되었다.

실험은 잘 알려진 reactive 라우팅 프로토콜인 AODV와 함께 배터리 잔량 에너지와 전송 전력량을 고려한 power-aware 라우팅 프로토콜 PSR과도 비교하여 수행되었다. 총 40개의 노드가 1000m X 1000m의 평면 공간에 임의로 분포되어 있으며 노드들의 전송 범위는 40m로 모두 동일하다고 가정하였다. 노드들의 이동 형태는 random waypoint 알고리즘을 사용하여 모델링하였으며, 노드의 최대 이동속도는 8m/s이다.

3.2 실험 결과

3.2.1 네트워크 탈퇴 노드의 개수

AODV, PSR에 비해 TPR이 시간의 흐름에 따른 네트워크 탈퇴 노드의 개수가 가장 적음을 확인할 수 있다. 네트워크 탈퇴 노드의 개수에서 TPR이 다른 라우팅 프로토콜들 보다 더 향상된 성능을 보이는 이유는 노드의 트래픽 부하가 고려된 측면이 크다. 초기 네트워크 상태에서 처음 경로가 개설될 때에 각각의 노드는 모두 충분한 양의 배터리 잔량 에너지를 가지고 있고, 이들 간의 트래픽 부하 차이는 크지 않기 때문에, 모든 라우팅 프로토콜에서 비슷한 경로의 개설을 이루어지게 된다. 하지만, 노드들의 배터리 잔량 에너지가 감소하고 일부 노드에 여러 경로가 중복되면서 TPR은 전체 네트워크의 부하 균등을 이루는 방향으로 경로 개설을 수행하였으며, 그 결과 네트워크 탈퇴 노드의 개수를 최소화 시킬 수 있었다.

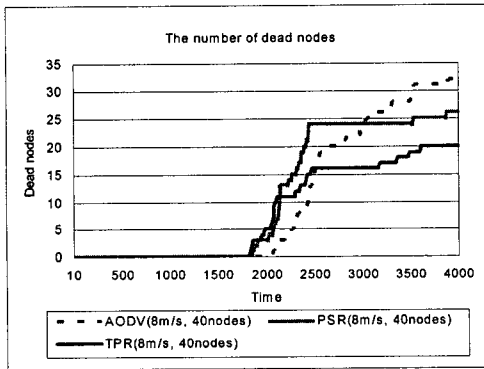


그림 1 네트워크 탈퇴 노드 개수의 변화

3.2.2 노드들의 평균 잔량 에너지

노드들의 평균 잔량 에너지에 대한 실험에서는 세 개의 라우팅 프로토콜이 모두 비슷한 수준의 에너지 소모량을 보였다. 네트워크 탈퇴 노드의 개수에 비해 노드들의 평균 잔량 에너지의 측정에서는 각각의 라우팅 프로토콜 간의 큰 차이를 보이지 않았는데, 이는 실험 과정에서 전송 전력량의 크기가 언제나 일정하다고 가정하였기 때문이다.

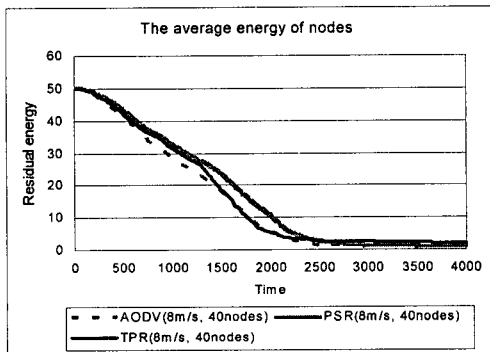


그림 2 평균 배터리 잔량 에너지의 변화

4. 결 론

본 논문에서는 기존의 power-aware 라우팅 기법에서 고려하지 않았던 노드의 트래픽 부하를 고려함으로써 기존의 배터리 잔량 에너지 중심의 라우팅 기법에 비해 전체 네트워크의 부하균등을 효과적으로 이루면서 신뢰성 있는 경로 탐색을 가능하게 하였다. Ad hoc 네트워크는 기본적으로 성능과 에너지 측면에서 서로 이질적인 노드들로 구성되었음에도 불구하고 기존의 power-aware 라우팅 프로토콜에 대한 연구에서는 이러한 특성에 대한 고려가 부족했었다. 노드의 트래픽 부하를 고려하여 산출된 노드의 동작시간은 배터리 잔량 에너지뿐만 아니라 전송 전력량을 고려함으로써 더욱 안정된 경로의 개설을 가능케 한다. NS-2 시뮬레이터를 이용한 성능 평가에서 우리는 전체 네트워크의 부하균등 측면에서 제안하는 라우팅 프로토콜의 개선된 성능을 확인할 수 있었다.

5. 참고 문헌

[1] C.E. Perkins, "Ad Hoc Networking", Addison Wesley, 2000.
 [2] C.K. Toh, "Ad Hoc Mobile Wireless Networking", Prentice Hall, 2002
 [3] S. Corson, and J. Macker, "RFC 2501:Mobile Ad hoc Networking(MANET)", IETF working group, Jan. 1999
 [4] S. Singh, M. Woo and C.S. Raghavendra, "Power-aware routing in mobile ad hoc networks", Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on mobile computing and networking, pp.181-190, Oct. 1998
 [5] C.K. Toh, "Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless ad hoc networks", Proceedings of IEEE Communication Magazine, Vol.39, pp.138-147, Jun. 2001
 [6] M. Maleki, K. Dantu, and M. Pedram, "Power-aware source routing protocol for mobile ad hoc networks", Proceedings of the IEEE international symposium on low power electronics and design, pp.72-75, Aug. 2002
 [7] C. Perkins and E. Royer, "Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing", Proceedings of the 2nd IEEE workshop on mobile computing systems and applications, pp.90-100, Feb. 1999
 [8] D.B. Johnson and D.A. Maltz, "Mobile Computing", Kluwer Academic Publishers, 1996
 [9] NS-2 simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>