

애드혹 네트워크에서 에너지 소비 균형을 고려한 적응형 라우팅 프로토콜

김 용 현[†] · 홍 윤 식^{††}

요 약

ad-hoc 네트워크에서 네트워크의 생존시간을 연장하기 위해서는 네트워크 트래픽 부하를 전체 네트워크에 골고루 분산시켜 노드당 평균 에너지 소비율을 균일하게 유지할 수 있어야만 한다. 본 논문에서는 노드의 에너지 잔량 및 사용 빈도 등을 고려해 경로를 설정하는 수정 AODV 프로토콜을 제안하였다. 또한 경로 재설정 과정에서 생성되는 엄청난 양의 AODV 제어 메시지 발생으로 인한 에너지 소모를 줄이기 위해 출발지 노드의 버퍼에 다중 경로 정보를 저장하도록 하였다. 링크 단절 시 경로 재설정 과정 전에 경로 테이블에 저장된 경로 정보를 활용할 수 있도록 하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 기존 AODV 및 에너지 기반 라우팅 프로토콜인 MMBCR 방식과 전체 노드의 에너지 잔량, 네트워크 생존시간 및 데이터 패킷 수신율 등 3가지 평가 항목을 사용해 비교하였다.

키워드: ad-hoc 네트워크, AODV, 에너지 인지, 다중경로, 배터리 잔량, 네트워크 생존시간

An Adaptive Routing Protocol with a Balanced Energy Consumption For Wireless Ad-hoc Networks

Yong-Hyun Kim[†] · Youn-Sik Hong^{††}

ABSTRACT

To increase the lifetime of ad-hoc networks, a ratio of energy consumption for each node should be kept constant by equally distributing network traffic loads into all of the nodes. In this paper, we propose a modified AODV routing protocol to determine a possible route by considering a remaining battery capacity of a node and the degree of its usage. In addition, to reduce the amount of energy consumption during the path rediscovery process due to the huge amount of the AODV control messages the limited number of possible routes are stored into a routing table of a source node. When some links of a route fail, another possible path can be looked up in the table before the route discovery process should be initiated. We have tested our proposed method with a conventional AODV and a MMBCR method which is one of the power-efficient energy routing protocols based on the three performance metrics, i.e., the total remaining battery capacity, network lifetime and the ratio of data packets received by the destination node to compare their performance.

Key Words: ad-hoc network, AODV, Energy awareness, Multi-route, Remaining battery capacity, Network lifetime

1. 서 론

ad-hoc 네트워크에서 PDA, 노트북, 휴대전화기 등과 같은 노드(또는 이동 단말)는 대부분 배터리를 전력으로 사용하고 있다. 특히 네트워크 기반 멀티미디어 응용이 차지하는 비중이 점차 커지면서 배터리 소모는 증가하는 데 반해

이들 기기에 탑재된 배터리의 에너지 밀도는 크게 개선되고 있지 않다[1]. 한편, ad-hoc 네트워크는 다중 홉(multi-hop) 무선 네트워크로 동작해야 하기 때문에 각 노드는 인접 노드에 패킷을 전달하는 중계기(router) 역할을 겸하고 있다. 노드가 1 bit를 무선으로 전송하는 과정에서 소모되는 에너지는 노드 내부에서 1 bit를 처리하는 데 소모되는 전력의 약 1,000 배에 이른다[13]. 따라서 노드가 단순 중계 역할만 하더라도 무선 패킷 전송에 따른 에너지 소모를 무시할 수 없으며, 더욱이 노드가 자신의 한정된 용량의 에너지를 모두 소모하고 나면 해당 노드는 더 이상 네트워크에 참여할

* 이 논문은 인천대학교 2007년도 자체연구비지원에 의하여 연구되었음.

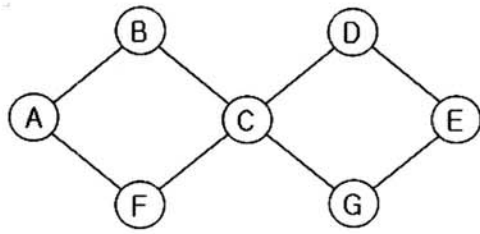
† 정 회 원: 인천대학교 컴퓨터공학과 공학석사

†† 정 회 원: 인천대학교 컴퓨터공학과 교수(교신저자)

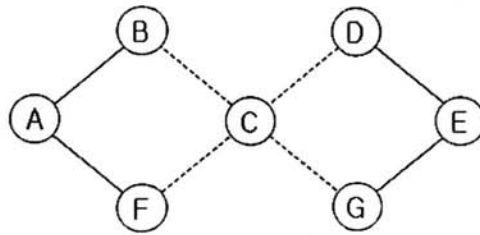
논문접수: 2008년 2월 28일

수정일: 2008년 3월 24일

심사완료: 2008년 3월 25일



(a) 네트워크 분리 전



(b) 두 개의 서브네트워크로 분리

(그림 1) 에너지 소모로 인한 네트워크 분리

수 없게 된다. 이렇게 자신의 에너지를 모두 소모한 노드가 증가하게 되면 전체 네트워크가 두 개 이상의 부분 네트워크(sub-network)로 분할되는 문제가 발생한다[1][3].

그림 1(a)에서 만일 노드 C가 패킷을 전달하거나 내부 연산 처리 등으로 배터리에 저장된 에너지를 모두 소모하게 되면, 그림 1(b)와 같이 기존의 네트워크 그룹이 그룹1 = {A, B, F} 과 그룹2 = {D, E, G}로 분할된다. 즉 노드 C가 더 이상 네트워크에 참여할 수 없게 되어 노드 A에서 노드 D, E, 및 G 등으로 경로를 형성할 수 없게 된다. 따라서 각 노드가 가진 한정된 용량의 에너지를 효율적으로 소모하도록 하는 것은 네트워크 유지에 중요한 영향을 미친다.

ad-hoc 네트워크에서 경로 획득을 위한 라우팅 프로토콜 중 on-demand 방식의 AODV(Ad hoc On demand Distance Vector)가 대표적이다[4]. AODV에서는 경로 획득 단계에서 경로 획득을 위한 제어 패킷 수가 급격히 증가하는 것을 막기 위해 이웃 노드를 중심으로 패킷 전송 범위를 점진적으로 확대해가는 핸드셰이크(handshake) 방식을 채택하고 있다. 그러나 ad-hoc 네트워크에서는 이동 노드가 갖게 되는 제한적인 특성, 즉 저장 용량, 사용 가능한 배터리 크기, 무선신호 송수신 거리, 대역폭, 무선신호간 간섭 효과 등으로 인해 인접 노드간 연결 끊어짐 현상(link failure)이 빈번히 발생한다. 링크 단절로 인해 출발지 노드에서 목적지 노드까지 새로운 경로를 찾기 위한 경로 재설정 과정이 필요하게 된다. 이러한 잦은 경로 재설정 과정은 AODV에서 경로 설정을 위해 사용하는 제어 메시지 수의 급격한 증가로 인한 오버헤드와 함께 엄청난 에너지 소모를 가중시킨다.

본 논문에서는 네트워크 트래픽 부하를 전체 노드에 균일하게 분포시킴으로써 노드당 평균 에너지 소모율을 일정하게 유지함으로써 전체 네트워크의 생존 시간을 늘릴 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 즉 기존의 AODV 라우팅 프로토콜을 일부 수정하여 노드의 에너지 잔량 및 사용 빈도 등을 고려해

경로를 선택하며, 설정 가능한 경로 정보를 최대한 수집해 출발지 노드의 경로 테이블에 저장하도록 한다. 다중 경로 정보를 활용하여 링크 단절 시 경로 재설정 과정을 시도하기 전에 경로 테이블의 경로 정보를 활용함으로써 경로 재설정으로 인한 에너지 소모를 절감할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 노드의 에너지 소모를 고려한 라우팅 프로토콜에 대해 자세히 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 에너지 기반 다중경로 생성 방법과 경로 유지 기법을 설명한다. 4장에서는 에너지 잔량, 네트워크 생존시간, 패킷 수신율 등 성능 평가 항목을 기준으로 본 논문에서 제안한 방식과 기존 AODV 및 대표적인 에너지 기반 라우팅 프로토콜인 MMBCR 방식과의 성능 평가 결과를 비교 분석하고 마지막으로 5장에서 결론을 내리고자 한다.

2. 에너지 소모를 고려한 라우팅 프로토콜

본 논문에서는 네트워크 계층에서 에너지 소모를 고려한 라우팅 프로토콜에 초점을 맞추고 있다. 이와 관련된 연구는 전체 전송 전력을 최소화하는 방식과 에너지 소모가 전체 노드에서 균일하게 이루어지도록 하는 방식으로 나눌 수 있다[3][5][6][7][8].

MTPR(Minimum Total Transmission Power Routing) 프로토콜은 출발지 노드에서 목적지 노드까지의 모든 가능한 경로들 중에서 소모되는 전력의 합이 최소가 되는 경로를 선택하는 방법이다[5][7][8]. MTPR 프로토콜은 소모되는 전송 전력이 최소가 되는 경로를 찾는 것을 보장하지만, 노드의 평균 생존시간(lifetime)을 최대한 늘려 전체 네트워크가 안정적으로 유지되는 시간을 극대화시킬 수 없다는 단점이 있다. 또한, 노드간 거리가 가까울수록 두 노드 사이에 소모되는 전력 양이 적기 때문에, 인접한 노드 중 거리가 짧은 노드들이 선택됨에 따라 상대적으로 더 많은 홉 수를 갖는 경로가 설정되어 패킷 전송 지연 시간이 늘어날 수 있다.

MTPR 프로토콜에서 노드의 평균 생존시간을 늘리는 것을 보장하지 못하는 문제를 해결하기 위해서 MBCR(Minimum Battery Cost Routing) 프로토콜이 제안되었다[6]. 즉, MTPR 프로토콜은 최소 전력을 소모하는 경로를 선택하기 때문에, 선택된 경로에 속한 노드 중에는 남은 배터리 양이 상대적으로 훨씬 적은 노드가 포함될 가능성이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 MBCR 프로토콜은 경로에 속한 노드들의 배터리 잔량 합이 가장 큰 경로를 선택한다.

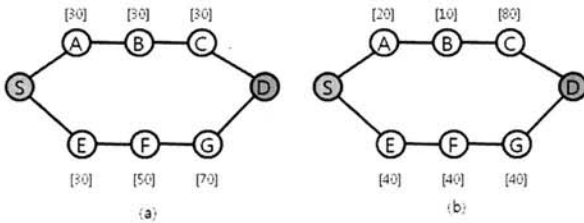
시간 t 에 노드 n_i 에 남아있는 배터리 용량을 c_i 라고 하자. 식(1)에 보인 것처럼 배터리 잔량은 초기 배터리 용량 $E_{ini}(i)$ 와 현재 배터리 용량 $E_{cur}(i)$ 의 비(백분율)로 나타내며, $0 \leq c_i \leq 100$ 이다. 노드 i 에 대한 비용 함수 $f_i(c_i)$ 를 식(1)과 같이 정의하면, 배터리 잔량이 클수록 비용은 적게 든다. 따라서 가장 비용이 적게 드는 경로란 배터리 잔량의 합이 가장 큰 경로가 된다. 경로 l 을 통한 출발지 노드에서

목적지 노드까지의 비용 C_l 은 식 (2)와 같이 정의 된다. MBCR 프로토콜은 이 중에서 비용이 최소가 되는 경로 R_k 를 선택한다(식(3)).

$$f_i(c'_i) = \frac{1}{c'_i}, \text{ 여기서 } c'_i = \frac{E_{curr}(i)}{E_{init}(i)} \times 100 \quad (1)$$

$$C_l = \sum_{i=0}^{d-1} f_i(c'_i), \text{ 여기서 } n_0, n_1, \dots, n_{d-1}, n_d \text{는 경로 } l \text{에 속한 노드임} \quad (2)$$

$$R_k = \min\{C_l | l \in A\}, \text{ 여기서 } A \text{는 모든 가능한 경로들의 집합} \quad (3)$$



(그림 2) MBCR 라우팅 프로토콜 동작 예

(그림 2)에서 괄호 안의 숫자는 현재 시각 t 에서 각 노드의 비용을 나타낸다. (그림 2(a))에서 노드 S로부터 노드 D까지 두 개의 경로 $P_1 = S \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ 와 $P_2 = S \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow D$ 의 비용 함수 C_l 은 식(2)에 의해 각각 90, 150이다. 따라서 식(3)에 의해 경로 P_1 이 선택된다.

MBCR 프로토콜은 MTPR 프로토콜의 단점인 노드의 생존시간을 보장하긴 하지만, 완벽하지는 않다. (그림 2 (b))에서 경로 $Q_1 = S \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ 와 $Q_2 = S \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow D$ 의 C_l 은 각각 110, 120이다. 따라서 경로 Q_1 이 선택 된다. 그러나, 경로 Q_1 에 포함된 노드들을 자세히 살펴보면, 배터리 잔량 비율이 높은 노드 A, B 때문에 배터리 잔량이 가장 낮은 노드 C가 함께 포함되었음을 알 수 있다. 즉, 배터리 잔량 만으로는 전체 네트워크의 생존시간을 확실하게 연장시킬 수 없다.

위에서 언급한 MBCR 프로토콜의 단점을 해결하기 위해 제안된 프로토콜이 MMBCR(Min-Max Battery Cost Routing)이다[6]. MMBCR에서는 배터리 잔량이 적은 노드가 경로에 포함되는 것을 피하기 위해, 식(2)의 비용 함수를 식(4)와 같이 재정의한다. 즉 경로 l 에서 가장 큰 배터리 비용 C_l 을 찾으며, 이렇게 구해진 모든 경로의 배터리 비용 중에서 가장 작은 비용을 갖는 경로 R_k 를 선택하는 방법이다(식(5)).

$$C_l = \max_{i \in \text{route-}l} f_i(c'_i) \quad (4)$$

$$R_k = \min\{C_l | l \in A\} \quad (5)$$

MMBCR 프로토콜을 (그림 2(b))에 적용하면, 경로 Q_1 과 Q_2 의 최대 배터리 비용은 각각 80과 40이다. 따라서 이 중에서 최소 비용을 갖는 경로 Q_2 가 R_k 로 선택된다. 그러나, MMBCR 프로토콜은 선택된 경로에서 소모되는 에너지가 최소가 됨을 보장하지는 못한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 CMMBCR(Conditional MMBCR) 프로토콜[3]에서는 임계값을 설정하고, 이 임계값을 넘어서면 MMBCR 프로토콜을 적용하고, 그렇지 않으면 MTPR 프로토콜을 적용한다. CMMBCR의 경우 임계값에 따라 전체 성능이 좌우된다.

LBAR[2]에서 경로 설정을 위한 비용 함수는 노드의 트래픽 부하(activity) 및 (이 노드와) 인접한 노드의 트래픽 간섭(traffic interference)을 포함시켰다. 노드의 트래픽 부하는 본 논문에서 사용한 노드 사용 빈도와 유사한 개념이다. 그러나 LBAR은 트래픽 부하 균형 측면에서 접근하였으며, 배터리 잔량은 고려하지 않았다. 반면, Jie 등[9]은 노드들이 일직선으로 배열된 토폴로지로 국한시켜, 트래픽 부하 균형 및 에너지 소모 균형 문제를 동시에 해결할 수 있는 방안을 제시하였다.

안상현[10]등은 임계값 이하의 배터리 잔량이 남은 노드가 더 이상 중계 노드로서의 기능을 할 수 없음을 스스로 출발지 노드에 알릴 수 있도록 하였다. 그러나 중계 기능을 포기하게 될 만큼 특정 노드에 트래픽이 집중되는 것을 사전에 막지 못했기 때문에 부하 균형 문제에 대한 해결책으로서는 부족한 점이 있다. 김 현호[11]등은 정적 토폴로지 환경에서 인접 노드간 주기적인 메시지 패킷 송수신을 통해 이웃 노드들의 에너지 잔량을 파악해 이를 경로 설정에 반영하였다. AODV 제어 메시지 패킷과 별도로 주기적으로 이웃 노드간 메시지 패킷을 주고받는 데 따른 오버헤드가 적지 않을 것으로 판단된다.

한편, 대부분의 논문은 모두 에너지 인지 기법이 반영되지 않은 기존 AODV, DSR 등과 비교한 결과를 제시하였다.

3. 에너지 기반 다중 경로 프로토콜

일반적으로 경로 재설정에는 ad-hoc 네트워크에 참여하고 있는 노드들의 위치 이동으로 인해 경로를 이탈한 경우와 배터리 고갈로 해당 노드가 더 이상 네트워크에 참여할 수 없는 경우에 발생한다. 그밖에 네트워크 트래픽 과다로 인접 노드간 통신이 단절된 경우도 있을 것이다. 본 논문에서는 노드 이동성이나 무선 링크의 불안정성을 최대한 배제한 정적 토폴로지를 갖는 ad-hoc 네트워크에 초점을 맞추고 있다. 따라서, 본 논문의 목적은 각 노드가 한정된 배터리 용량을 최대한 효율적으로 사용하게 함으로써 노드 당 에너지

소모율을 균일하게 유지하여 전체 네트워크의 생존시간을 최대한 늘리는 데 있다.

노드 당 에너지 소모율을 일정하게 유지하려면 임계 노드(critical node) 발생 가능성을 최대한 억제해야 한다. 데이터 패킷 전송 시 특정 경로만을 반복 사용할 경우 해당 경로상에 놓인 노드들의 에너지 잔량은 다른 노드들에 비해 급격히 감소할 수 밖에 없다. 임계 노드 발생을 억제하기 위해, 경로 설정 과정에서 각 노드의 에너지 잔량의 합뿐만 아니라 노드 사용 빈도도 함께 고려한다. 어떤 노드의 사용 빈도는 해당 노드가 임계 노드인지 여부를 판별하는 지표로 사용될 수 있기 때문이다.

또한 경로 재설정 과정에서 출발지 노드가 방송한 RREQ(route request) 메시지를 중계 노드들이 수신해 이를 재방송하는 과정에서 메시지 대량 방송(flooding)에 의한 급격한 에너지 소모가 발생한다. 본 논문에서는 출발지 노드가 목적지 노드에 대한 제한된 수의 다중 경로 정보를 경로 테이블에 저장하도록 한다. 링크 단절이 발생하면 경로 재설정 작업을 처리하기 전에 경로 테이블에 저장된 경로를 먼저 활용한다. 이를 통해 경로 재설정 과정에서 생성된 제어 패킷들이 전체 네트워크에 플러딩 되는 것을 최대한 억제함으로써 전체 네트워크의 생존시간을 늘리고자 하는 것이다.

한편, 연구 범위를 효과적으로 제한하기 위해 본 논문에서는 무선 링크의 에러 발생율을 고려하지 않았으며, 홉간 에너지 소모율을 최소화하는 대신 출발지 노드에서 목적지 노드까지의 종단간 전송(end-to-end transmission)시 에너지 소모율 최소화에 초점을 맞추었다.

본 논문에서는 AODV를 기반으로 한 에너지 기반 다중 경로 알고리즘(Energy-Aware adaptive AODV, 이하 EA-AODV)을 제안하였다. 기존 AODV 프로토콜에 에너지 잔량을 고려한 경로 획득 과정 및 링크 단절에 따른 경로 유지 과정이 추가되었다. 또한, 기존 AODV 메시지 중 RREP 메시지에 특정 경로의 에너지 잔량 정보가 포함되어있으며, EEM 메시지를 새로 추가하였다.

3.1 경로 설정 과정

EA-AODV 경로 설정 과정이 기존 AODV와 다른 점은 목적지 노드가 일정 개수 이상의 RREP 메시지를 전송하게 함으로써, 출발지 노드가 다중 경로 정보를 저장할 수 있도록 한 것이다. 목적지 노드(또는 목적지 노드까지 경로 정보를 저장하고 있는 중계 노드)는 출발지 노드에서 방송한 RREQ 메시지에 대한 응답으로 RREP(route reply) 메시지를 출발지 노드로 보낸다. 이를 위해 RREP 메시지에 해당 경로의 에너지 잔량의 합을 저장하는 total energy 필드를 추가하였다.

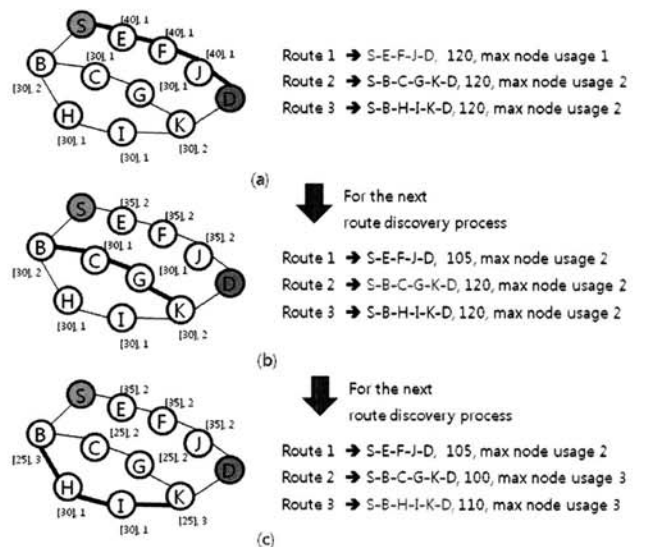
출발지 노드에서는 수신된 RREP 메시지에서부터 해당 경로 정보 및 경로에 포함된 노드의 사용 빈도(node usage)를 구해 경로 테이블에 저장한다. 노드 사용 빈도란 경로 정보에 포함된 횟수를 가리킨다. (그림 3(a))에 보인 것처럼 출발지 노드 S에 3개의 다중 경로(Route 1, Route 2 및 Route 3)가 저장되었을 경우, 노드 E의 사용 빈도는 1이지만, 노드

B, K의 사용 빈도는 2가 된다.

경로 설정을 위해 에너지 잔량이 가장 큰 경로를 선택한다. 만약 에너지 잔량이 같다면, 경로 별로 최대 사용 빈도를 갖는 노드를 찾아 이 중에서 사용 빈도가 가장 적은 경로를 선택한다. (그림 3(a))에 보인 것처럼 모든 경로의 에너지 잔량이 같으므로, 최대 사용 빈도가 최소인 Route 1이 경로로 설정된다. 일단 경로로 선택되고 나면 해당 경로에 포함된 모든 노드의 사용 빈도를 1씩 증가시킨다.

한편 각 노드의 에너지 잔량은 설정된 경로를 통한 데이터 패킷 전송에 소모된 전력을 감안해 (예시를 위해) 일률적으로 5씩 감소시켰다(그림 3(b)). (그림 3(b))에 보인 것처럼, Route 2와 Route 3의 경우 에너지 잔량뿐만 아니라 최대 사용 빈도도 모두 같기 때문에 Route 2가 임의로 선택되었다. 노드 B, C가 Route 3에도 포함되어 있기 때문에 Route 2에 포함된 사용 빈도를 업데이트하고 나면 Route 2 및 Route 3의 최대 사용 빈도는 똑같이 3이 된다. 이번에는, (그림 3(c))에 보인 것처럼, 에너지 잔량이 최소인 Route 3가 경로로 선택된다. 이어서 다음 경로로는 다시 Route 1이 선택된다. 즉 Route 1 → Route 2 → Route 3 → Route 1 → 와 같이 설정 가능한 경로들이 최종 경로로 선택될 가능성이 균일하게 유지된다. 이를 통해 임계 노드가 발생할 가능성을 최소한으로 줄일 수 있다.

이상 설명한 경로 설정 과정을 (그림 4)에 상세히 나타내었다. (그림 4)에서 $u(n_i)$ 는 노드 i 의 사용 빈도이다. 사용 빈도란 노드 i 를 통해 출발지 노드에서 목적지 노드까지 데이터 패킷이 전송된 누적 횟수를 의미한다. 각 노드는 자신의 사용 빈도를 저장하고 있으며, 데이터 패킷 전송 시 경로에 포함된 노드들의 사용 빈도는 1씩 증가한다. 경로 설정 과정에서 출발지 노드에서 생성한 RREQ 패킷이 목적지 노드까지 도달할 때 누적 에너지 잔량 및 해당 경로의 최대



(그림 3) EA AODV에서 경로 설정 과정

노드 사용 빈도가 함께 전달된다. 목적지 노드가 출발지 노드로 RREP 패킷으로 응답할 때 역시 해당 경로의 에너지 잔량과 최대 노드 사용 빈도를 실어 보낸다.

// Select a route m that has the *minimum* battery cost;
 $R_m = \min\{C_i | i \in A\}$, A is the set containing all possible routes, where C_i is defined as in Eq.4

If there are more than one route whose battery cost is R_m
 For each route $j \in B$, where B is the set containing the routes whose battery cost is R_m

// Find the minimum node usage of a route j

$$U_j = \max\{u(n_i) | n_i \in \text{route} - j\};$$

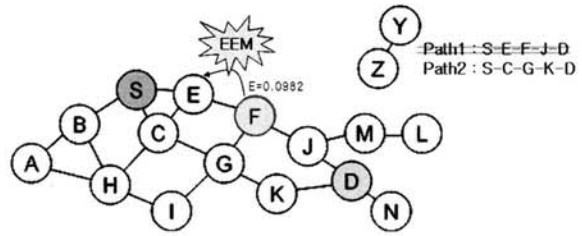
// Select a route n that has the *minimum* node usage.

$$R_n = \min\{U_k | k \in B\}$$

(그림 4) 에너지 인지 경로 설정 알고리즘

3.2 경로 유지 기법

경로 유지 방법은 별도의 AODV 메시지를 추가하여 이 메시지 발생 여부를 통해 경로를 유지하는 것이다. 추가된 메시지는 EEM(Emergence Energy Message) 메시지로써, 중계 노드의 에너지 잔량이 임계값(여기서는 0.1로 설정)이하로 떨어지면 노드 ID 및 에너지 잔량 정보를 담아 역 경로



(그림 6) 경로 재설정 과정 예

를 통해 출발지 노드로 전송한다. EEM 메시지를 수신한 출발지 노드는 자신의 경로 테이블에서 EEM 메시지의 노드 ID를 포함하고 있는 경로를 삭제한다. 이어서 출발지 노드는 경로 테이블에서 전체 에너지 잔량이 가장 큰 경로를 선택함으로써 경로를 재설정한다. 지금까지 설명한 EEM 메시지 전송 및 처리 과정을 (그림 5)에 나타내었다.

경로 유지 과정 예를 (그림 6)에 나타내었다. 노드 F의 에너지 잔량이 임계값 이하로 떨어짐에 따라 노드 F는 출발지 노드 S에 EEM 메시지를 전송한다. 노드 S는 경로 테이블에 저장되어 있던 경로 중 노드 F가 포함된 Path1을 삭제하고, 경로 테이블에 저장된 Path2를 새로운 경로로 재설정한다.

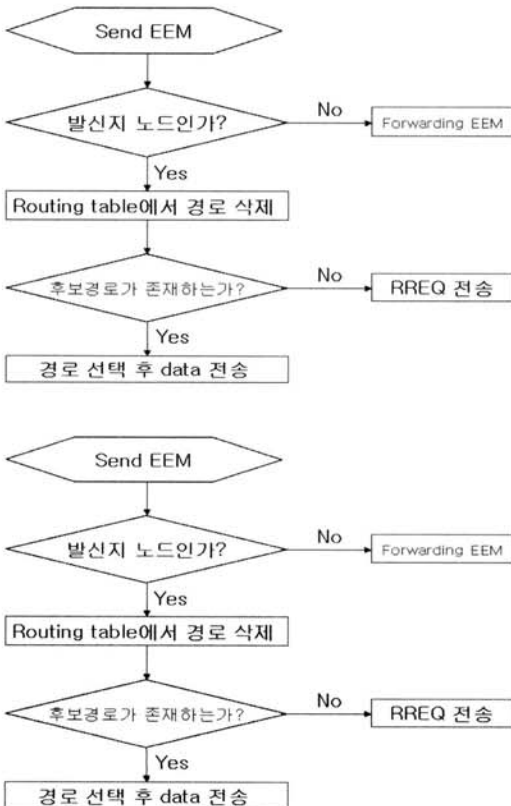
4. 시뮬레이션 결과 및 성능 평가

제안된 에너지 기반 다중 경로 프로토콜인 EA-AODV의 성능을 평가하기 위한 도구로 ns-2 시뮬레이터[14]를 사용하였다. EA-AODV 프로토콜은 기존 AODV 프로토콜 및 관련 연구에서 언급한 MMBCR 기법을 적용한 프로토콜 등과 (전체 노드의) 에너지 잔량, 네트워크 생존시간, 데이터 패킷 및 제어 패킷 수 등 3가지 평가 모델에 대해 각각 성능을 비교하였다.

시뮬레이션을 위해 설정된 파라미터는 <표 1>과 같다. MAC 프로토콜은 802.11로 설정하였으며, 큐잉(queueing) 모델은 RREQ, RREP 메시지와 같은 제어 패킷을 우선적으로 처리하기 위해 drop-tail 방식에 기반한 우선 순위 큐를 사용하고, 큐잉되는 최대 패킷 수는 50개로 설정하였다. 노드의 에너지 소모량을 측정하기 위한 에너지 모델은 ns-2에서 제공하는 모델을 사용하였으며, 에너지 모델에 사용된 파라미터는 <표 2>와 같다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터

파라미터	설정 값
네트워크 크기	2,500m x 2,500m
대역폭	2MB
노드 수	36, 49, 64, 81, 100개
배치 방식	GRID
무선 전송 범위	250m
패킷 크기	1,000 bytes
시뮬레이션 시간	300초



(그림 5) EEM 메시지 전송 및 처리 과정

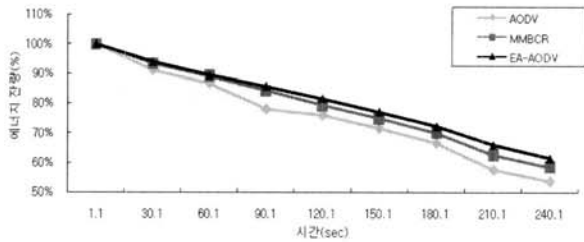
〈표 2〉 에너지 모델 파라미터

파라미터	설명	설정 값
초기 에너지	(노드에 할당된) 초기 에너지	10 Joules
Rx Power	수신 전력	15 mW
Tx Power	송신 전력	30 mW

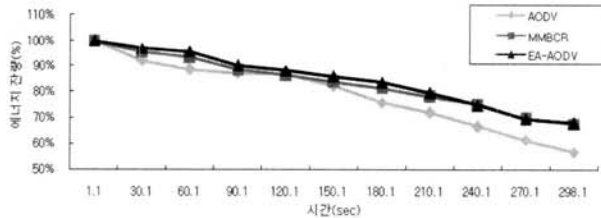
4.1 전체 노드의 에너지 잔량

시뮬레이션 방식은 노드 수를 늘려가면서 시간대별로 에너지 잔량을 측정하였다. 어떤 시점에서 전체 노드의 에너지 잔량은 전체 노드의 초기 에너지를 합한 값(비율 100%)에서 전체 노드에서 소모된 에너지를 뺀 값이다. 에너지 소모는 AODV패킷(RREQ, RREP, RERR 등) 전송 및 데이터 패킷 송수신 과정에서 대부분 소모된다. 36, 49, 64, 81, 100개로 노드 개수를 변화시켜가며 시간대별로 측정한 전체 노드의 에너지 잔량을 그림 7(a)~(f)에 나타냈다.

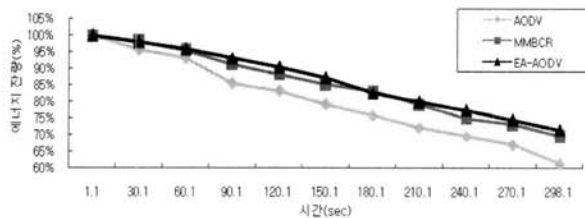
EA-AODV알고리즘은 기존 AODV와 MMBCR방식에 비해 전체 노드의 에너지 잔량이 각각 최대 11% 및 4% 많았다. 특히 노드 개수가 증가할수록 제안한 알고리즘의



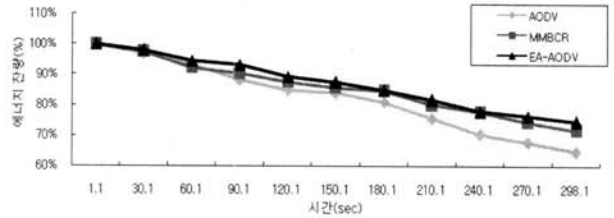
(a) 노드 수 36개(6x6 Grid) 일 때 시간대별 에너지 잔량



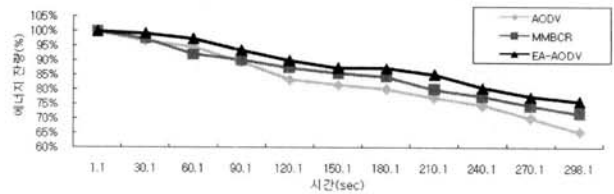
(b) 노드 수 49개(7x7 Grid) 일 때 시간대별 에너지 잔량



(c) 노드 수 64개(8x8 Grid) 일 때 시간대별 에너지 잔량



(d) 노드 수 81개(9x9 Grid) 일 때 시간대별 에너지 잔량

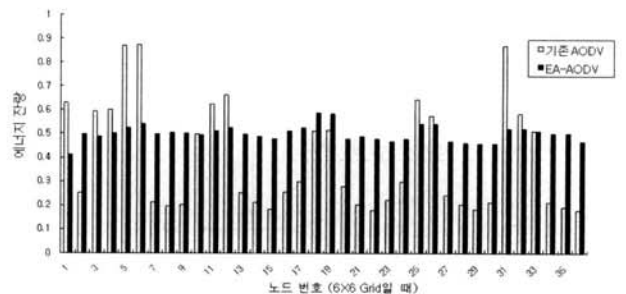


(e) 노드 수 100개(10x10 Grid) 일 때 시간대별 에너지 잔량 (그림 7) 시간대별 전체 노드의 에너지 잔량

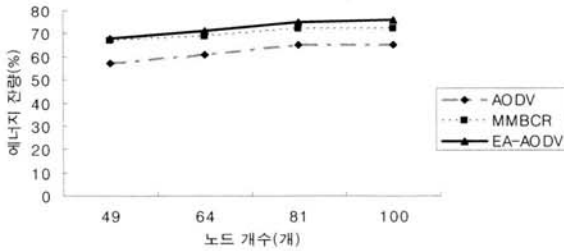
에너지 잔량이 MMBCR방식에 비해 증가하였다. 그 이유는 노드 개수가 많아짐에 따라 도달 가능한 경로 수도 그만큼 늘어나기 때문이다. 경로 수가 늘어난 만큼 출발지 노드의 경로 재설정 횟수도 줄어들기 때문에 에너지 잔량이 늘어난 것이다. 전체 노드의 에너지 잔량이 클수록 상대적으로 노드당 평균 에너지 소모율은 일정하게 유지되며, 결과적으로 트래픽 부하가 전체 네트워크에 균일하게 분산되고 있다고 말할 수 있다. 이를 통해 전체 네트워크의 생존 시간을 효과적으로 늘일 수 있는 것이다.

시뮬레이션 종료 후 노드별 에너지 잔량에 대한 비교 결과를 (그림 8)에 나타내었다. 평균 에너지 잔량은 EA-AODV가 AODV에 비해 약 10%이상 많이 남아있을 뿐 아니라, 노드간 에너지 잔량 편차 역시 훨씬 적음을 알 수 있다.

시뮬레이션 종료 직전(298.1초) 전체 노드의 에너지 잔량은, (그림 9)에서 알 수 있는 것처럼, 노드 개수가 증가할수록 모든 방식에서 증가한다. 노드 개수가 49개에서 100개로 증가했을 때, 에너지 잔량은 AODV는 57%에서 65%로 8% 증가했으며, EA-AODV역시 68%에서 76%로 8% 증가하였다. 그러나 MMBCR의 경우 67%에서 72%로 5% 증가하는 데 그쳤다.



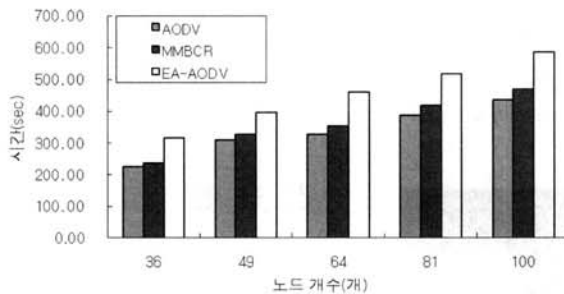
(그림 8) 노드 별 에너지 잔량 비교



(그림 9) 시뮬레이션 종료 직전(298.1초) 전체 노드의 에너지 잔량

4.2 전체 네트워크의 생존시간

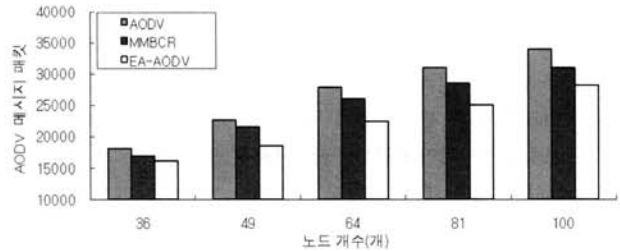
Ad-hoc네트워크 상에서 배터리 고갈로 중계 기능을 상실한 노드(에너지 잔량이 임계값 이하)가 발생하여 임의의 노드간 더 이상 데이터 패킷 송수신을 할 수 없을 때까지의 시간, 즉 전체 네트워크의 생존시간을 측정하였다. 앞서 설명한 바와 같이 노드당 평균 에너지 소모율이 균일하게 유지될수록 네트워크 생존시간은 늘어난다. 즉 경로 설정 과정에서 임계 노드를 최대한 배제한 채 비임계 노드를 적극적으로 경로 설정 과정에 포함시킴으로써 트래픽 부하를 고르게 분산시킬 수 있다. 에너지 잔량이 임계값 이하로 떨어진 소수의 노드로 인해 네트워크가 분할되는 것을 최대한 지연시킬 수 있기 때문이다. (그림 10)에서 알 수 있듯이 EA-AODV가 기존 AODV 및 MMBCR 방식에 비해 네트워크의 생존시간이 각각 최대 40% 및 34% 향상되었다. 제안한 방식이 MMBCR에 비해 특히 네트워크 생존시간 측면에서 훨씬 유리함을 알 수 있다.



(그림 10) 전체 네트워크 생존시간

4.3 노드 개수에 따른 제어 메시지 및 데이터 패킷

노드 개수에 따라 ad-hoc네트워크의 각 노드에서 생성되는 AODV제어 메시지(RREQ, RREP 및 RERR 등) 개수와 (목적지 노드에서)수신된 데이터 패킷 개수를 비교하였다. 먼저 (그림 11)에 경로 설정 과정에서 생성된 AODV제어 메시지 개수를 비교하였다. 그림 11에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 알고리즘은 다중 경로 기법을 사용하기 때문에 노드 개수에 상관없이 기존 AODV나 MMBCR에 비해 적은 개수의 제어 패킷을 생성함을 알 수 있다. 즉, EA-AODV는 기존 AODV와 MMBCR방식에 비해 각각 최대 20% 및 14%나 적은 개수의 메시지 패킷을 생성하였다. 메시지 패킷 개수에 포함된 RREQ의 경우,

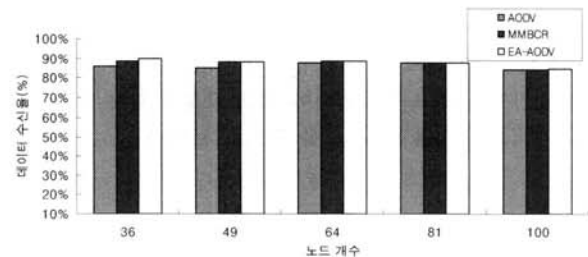


(그림 11) 노드 개수에 따른 AODV 제어 패킷 발생 개수 비교

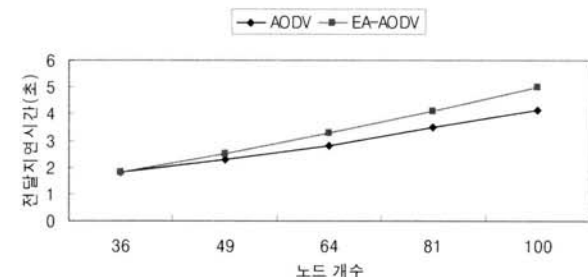
출발지 노드가 경로를 찾기 위해 생성한 RREQ 메시지 및 라우터 역할을 담당하는 중계 노드가 메시지 전달을 위해 생성한 RREQ 전달 메시지를 모두 합친 것이다.

경로 설정을 위한 AODV제어 메시지 차이에도 불구하고 목적지 노드에서의 데이터 패킷 수신율은 3가지 방식이 거의 비슷함을 알 수 있다(그림 12). 노드 개수가 증가함에 따라 네트워크 트래픽 증가로 인해 수신율이 다소 저하되는 점을 제외하면 패킷 수신율은 86~90% 범위에서 유지되며 3가지 방식에서 유의미한 차이는 발생하지 않았다. 정적 토폴로지 상황에서는 본 논문에서 제안한 다중 경로 정보를 활용한 경로 설정이 데이터 패킷 수신율에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

그러나 EA-AODV알고리즘은 노드당 평균 에너지 소모율을 일정하게 유지하기 위해 최소 홉 수를 갖는 경로 설정을 보장하지 않기 때문에 출발지 노드에서 목적지 노드까지 데이터 패킷 전달지연시간은 상대적으로 늘어날 수밖에 없다. (그림 13)에서 알 수 있는 것처럼 노드 개수가 커질수록 EA-AODV의 전달지연시간이 기존 AODV에 비해 늘어남을 알 수 있다. 즉, 노드 개수가 100개일 경우 EA-AODV가 기존 AODV에 비해 최대 0.85초 더 지연된다.



(그림 12) 노드 개수에 따른 데이터 패킷 수신율 비교



(그림 13) 노드 개수에 따른 데이터 패킷 전달지연시간 비교

5. 결 론

본 논문에서는 정적 토폴로지를 갖는 ad-hoc 네트워크에서 전체 네트워크의 생존시간을 늘일 수 있는 수정 AODV 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 즉 네트워크 트래픽 부하를 전체 노드에 균등하게 분배함으로써 노드당 평균 에너지 소모율을 일정하게 유지하고자 하였다. 이를 위해 설정 가능한 경로 중에서 활용 빈도가 낮은 노드를 포함하는 경로를 선택하게끔 하였다. 뿐만 아니라 출발지 노드는 경로 테이블에 다중 경로를 저장하고 있다가 경로 단절이 발생했을 경우 경로 재설정 과정을 시도하기 전에 경로 테이블에 저장된 경로를 활용하는 방안을 제안하였다. 경로 재설정 과정에서 AODV 제어 메시지가 전체 네트워크에 플러딩(flooding)되면서 엄청난 양의 에너지를 소모하게 되므로, 경로 재설정 빈도 수를 효과적으로 제한하게 되면 노드당 에너지 소모율을 절감할 수 있기 때문이다. 또한, 자신의 배터리가 임계값 이하로 떨어질 경우 해당 노드가 EEM 메시지를 전송할 수 있도록 하였다.

시뮬레이션 시간 300초 경과 후 전체 노드의 에너지 잔량을 비교해 본 결과 본 논문에서 제안한 EA-AODV 알고리즘이 기존 AODV와 MMBCR 방식에 비해 각각 최대 11% 및 4% 많았다. 그러나 EA-AODV가 기존 AODV 및 MMBCR 방식에 비해 네트워크의 생존시간에선 각각 최대 40% 및 34% 향상되었다. 제안한 방식이 MMBCR에 비해 특히 네트워크 생존시간 측면에서 훨씬 유리함을 알 수 있다. 또한, EA-AODV가 다른 2개의 프로토콜에 비해 AODV 제어 메시지 발생 개수를 최대 20% 감소시키에도 불구하고 데이터 패킷 수신율에서는 차이가 없음을 확인하였다. 그러나, EA-AODV가 최소 홉 수를 갖는 경로를 보장하지 못하기 때문에 기존 AODV에 비해 상대적으로 데이터 패킷 전달 지연 시간이 길어지며, 그 차는 노드 개수가 많아질수록 더 벌어졌다. 따라서 본 논문에서 제안한 알고리즘은 낮은 이동성을 갖는 ad-hoc 네트워크 환경에서 실시간성이 요구되지 않지만 오랜 기간 네트워크를 유지해야 할 필요성이 있는 응용에 가장 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] C. Siva Ram Murthy and B.S. Manoj, *Ad-hoc Wireless Networks Architectures and Protocols*, in Chapter 11, Prentice Hall PTR, 2004.
- [2] Audrey Zhou and Hossam Hassanein, "Load-Balanced Wireless Ad hoc Routing", Proc. Canadian Conf. on Electrical and Computer Engineering, Vol.2, pp.1157-1161, 2001.
- [3] C.-K. Toh, "Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad-hoc Networks", *IEEE Communication Magazine*, pp.26-37, June 2001.
- [4] C. E. Perkins, E. M. Royer and S. R. Das, "Ad-hoc

On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", *IETF RFC3561*, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>, 2003.

- [5] S. Singh and C. S. Raghavendra, "PAMAS-Power Aware Multi-Access protocol with Signaling for Ad Hoc Networks", *ACM Comm. Rev.*, July 1998.
- [6] S. Singh, M. Woo, and C. S. Raghavendra, "Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks", Proc. Mobicom'98, Dallas, October, 1998.
- [7] S. Banerjee and A. Misra, "Minimum Energy Paths for Reliable Communication in Multi-hop Wireless Networks," Proc. MobiHoc Conf., June 2002.
- [8] J. Gomez, A. Campbell, M. Naghshineh, and B. Bisdikian, "Conserving Transmission Power in Wireless ad-hoc Networks," Proc. Networking Protocols, November 2001.
- [9] Jie Gao and Li Zhang, "Load-Balanced Short-Path Routing in Wireless Networks", *IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems*, Vol.17, No.4, pp.377-388, 2006.
- [10] 안상현, 임유진, 김경춘, "에드 혹 네트워크에서 부하 균등을 고려한 라우팅 프로토콜", 정보과학회 논문지, 제30권, 제2호, pp.252-259, 2003.
- [11] 김현호, 김정희, 강용혁, 엄영익, "무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 균형화된 에너지 소비를 위한 효율적인 라우팅 알고리즘", 한국통신학회 논문지, 제31권, 제11A호, pp.1120-1129, 2006.
- [12] Z. J. Hass, "A New Routing Protocol for the Reconfigurable Wireless Networks," Proc. *Universal Personal Communications*, pp.562-566, 1997.
- [13] F. Zhao and L. Guibas, *Wireless Sensor Networks*, in Chapter 1, Elsevier Inc., 2004.
- [14] K. Fall and K. Varadhan, (Eds.), *ns notes and documentation*, available from <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

김 용 현

e-mail: yh-kim@incheon.ac.kr

2006년 인천대학교 컴퓨터 공학과(학사)

2008년 인천대학교 대학원컴퓨터공학과

(공학석사)

관심분야: ad-hoc 및 USN 네트워크



홍 윤 식

e-mail: yshong@incheon.ac.kr

1983년 한양대학교 전자공학과(학사)

1985년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과

(공학석사)

1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과

(공학박사)



1991년~현재 인천대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야: 모바일 컴퓨팅, USN