

저이동성을 갖는 무선 애드혹 망에서 다중 경로 정보를 이용한 에너지 인지 라우팅 프로토콜

Energy-aware Routing Protocol using Multi-route Information in Wireless Ad-hoc Networks with Low Mobility

홍윤식

인천대학교 정보기술대학 컴퓨터공학과

Youn-Sik Hong(yshong@incheon.ac.kr)

요약

낮은 이동성을 갖는 무선 애드혹 네트워크에서, 에너지 고갈에 따른 링크 단절 없이 네트워크 생존시간을 오랫동안 유지할 수 있는 방안을 제시한다. 일반적으로 에너지 잔량이 많이 남아 있는 노드는 트래픽 부하가 적은 노드이다. 따라서 노드의 에너지 잔량을 기준으로 경로를 결정하는 수정 AODV 라우팅 프로토콜을 제안한다. 한편, 기존 AODV에서는 경로 설정을 위해 엄청난 개수의 제어 패킷을 네트워크에 방송함으로써 전체 노드의 에너지 소비가 급격히 늘어난다. 이러한 제어 패킷을 효과적으로 줄이기 위해 발신지 노드는 대체 경로 정보를 자신의 경로 테이블에 저장하도록 하였다. 링크 단절이 발생했을 때, 경로 재설정을 시도하기 전에 발신지 노드는 경로 테이블에 저장된 대체 경로 중에서 해당 경로의 에너지 잔량 총합이 가장 큰 경로를 선택한다. 이렇게 함으로써 불필요한 AODV 제어 패킷 발생 가능성을 줄일 수 있다. 본 논문에서 제안한 방식을 기존 AODV, MMBCR 방식 등과 비교했을 때 네트워크 생존 시간이 최대 40% 증대됨을 알 수 있다.

■ 중심어 : | 무선 애드혹 네트워크 | AODV | 경로 테이블 | 에너지 잔량 | 네트워크 생존 시간 |

Abstract

We present a method for increasing network lifetime without link failure due to lack of battery capacity of nodes in wireless ad-hoc networks with low mobility. In general, a node with larger remaining battery capacity represents the one with lesser traffic load. Thus, a modified AODV routing protocol is proposed to determine a possible route by considering a remaining battery capacity of a node. Besides, the total energy consumption of all nodes increase rapidly due to the huge amount of control packets which should be flooded into the network. To reduce such control packets efficiently, a source node can store information about alternative routes to the destination node into its routing table. When a link failure happens, the source node should retrieve the route first with the largest amount of the total remaining battery capacity from its table entries before initiating the route rediscovery process. To do so, the possibility of generating unnecessary AODV control packets should be reduced. The method proposed in this paper increases the network lifetime by 40% at most compared with the legacy AODV and MMBCR.

■ keyword : | Wireless Ad-hoc Network | AODV | Route Table | Remaining Battery Capacity | Network Lifetime |

* "이 논문은 인천대학교 2008년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음."

접수번호 : #100218-001

접수일자 : 2010년 02월 18일

심사완료일 : 2010년 03월 31일

교신저자 : 홍윤식, e-mail : yshong@incheon.ac.kr

I. 서론

무선 애드혹 망(Wireless Ad-hoc network)에서 발신지 노드(source node)와 목적지 노드(destination node 또는 sink node) 사이의 패킷 송수신은 일반적으로 다중 홉(multi-hop) 방식으로 이루어진다. 즉 애드혹 망의 노드 중 발신지 노드와 목적지 노드를 제외한 대부분 노드는 자신의 무선 전송 범위 내에 놓인 이웃 노드들에게 데이터 패킷이나 제어 메시지를 전달하는 중계 노드(relay node)로서의 역할을 담당한다. 노드가 1 비트를 무선으로 전송하는 과정에서 소모되는 에너지는 노드 내부에서 1 비트 연산을 수행하는 데 소모되는 전력의 약 1,000 배에 달한다[1]. 따라서 노드가 단순 중계 역할만 담당하더라도 무선 패킷 전송에 따른 에너지 소모를 무시할 수 없다. 더욱이 노드가 제한된 용량의 에너지를 모두 소모하고 나면 해당 노드는 더 이상 중계 기능을 담당할 수 없게 된다. 이렇게 자신의 에너지를 모두 소모한 노드가 증가하게 되면 전체 네트워크가 두 개 이상의 부분네트워크로 분할되는 문제가 발생한다[2][4]. 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network, WSN)의 경우에도 노드들의 과도한 에너지 소비로 인해 에너지 홀(energy hole) 문제가 발생한다[5].

현재 애드혹 망의 이동 노드는 대부분 배터리를 전원으로 사용하고 있다. 특히 무선네트워크 기반 멀티미디어 응용이 차지하는 비중이 점점 높아짐에 따라 배터리 소모량은 증가하는 데 반해 이들 기기에 탑재된 배터리의 에너지 밀도는 크게 개선되고 있지 않다[1][4]. 따라서 각 노드가 한정된 용량의 에너지를 효율적으로 소모하도록 하는 것은 애드혹 망의 안정적 동작 시간(생존 시간, lifetime)에 중요한 영향을 미친다.

본 논문에서는 네트워크 트래픽 부하를 전체 노드에 균일하게 분포시킴으로써 노드별 평균 에너지 소모율을 일정하게 유지함으로써 전체 네트워크의 생존 시간을 늘릴 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 노드가 과도하게 에너지를 소모하지 않도록 무선 통신 오버헤드를 최소화하는 방안도 활발하게 연구되고 있으나[6], 본 논문의 연구 범위를 벗어나므로 제외하였다.

애드혹 망에서는 이동 노드가 갖게 되는 제한적인 특

성, 즉 저장 용량, 에너지 크기, 무선신호 송수신 거리, 대역폭, 무선 신호 간 간섭(interference) 등으로 해당 노드가 더 이상 중계 노드로서의 역할을 수행하지 못하게 되는 링크 단절(link failure) 현상이 빈번히 발생한다. 이러한 링크 단절이 발생하는 주된 이유는 노드가 이동함에 따라 무선 전송 범위를 벗어난 경우와 에너지 고갈로 해당 노드가 네트워크에서 더 이상 중계 노드 역할을 할 수 없는 경우로 크게 나눌 수 있다. 뿐만 아니라 노드에 대한 트래픽 부하가 급격히 증가한 경우에도 링크 단절 현상이 발생한다. 링크 단절이 발생한 경우 발신지 노드에서 목적지 노드까지 도달할 수 있는 새로운 경로를 찾기 위한 경로 재설정 과정이 필요하게 된다. 경로 재설정을 위해서는 라우팅 프로토콜이 필요하다. 애드혹 망에서 사용가능한 라우팅 프로토콜 중 on-demand 방식의 AODV(Ad hoc On demand Distance Vector)가 대표적이다[7]. 그러나 링크 단절로 인해 경로를 재설정해야 할 경우 경로를 찾기 위해 AODV에서는 RREQ(Route Request) 제어 메시지를 전체 네트워크에 플러딩(flooding)한다. 이처럼 엄청난 양의 제어 메시지를 방송함에 따라 무선 통신 오버헤드로 인한 에너지 소모가 급격하게 증가한다. 따라서 전체 네트워크의 생존시간 연장을 위해서는 노드별 평균 에너지 소모율을 일정하게 유지함은 물론 링크 단절이 발생했을 경우 경로 재설정 시도를 최소화할 수 있는 접근 방식이 필요하다.

한편, 애드혹 망 환경이라도 실제 응용에서 이동 노드는 빠른 속도로 이동하진 않는다. 애드혹 망의 동적 토폴로지 문제를 다룰 때 대부분 논문에서 네트워크 시뮬레이션 파라미터로 노드 이동 속도를 최소 10m/s로 설정하여 실험한다. 그러나 실제 이렇게 빠른 속도로 이동하는 응용 모델은 거의 없다. 예를 들면 주차장에 진입한 차량을 빈 주차 공간으로 안내하는 유비쿼터스 주차 시스템의 경우 이동 노드에 해당하는 차량의 이동 속도를 최대 30Km/h (약 8.3m/s) 이내로 설정하고 있다. 따라서 본 논문에서는 동적 네트워크보다는 정적 또는 상대적으로 낮은 이동성을 갖는 준동적 네트워크 환경을 고려할 것이다. 본 논문에서는 노드 이동에 따른 링크 단절 보다는 노드의 에너지 잔량 고갈에 따른

이웃 노드와의 링크 단절 문제 해결에 초점을 맞추고자 한다. 이를 통해 전체 네트워크가 최대한 오랫동안 안정적으로 유지될 수 있는 방안을 제안할 것이다.

이를 위해 네트워크 트래픽 부하를 전체 노드에 최대한 균일하게 분포시켜 노드별 평균 에너지 소모율을 일정하게 유지함으로써 전체 네트워크의 생존 시간을 늘릴 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 즉 기존 reactive 방식의 AODV 라우팅 프로토콜을 일부 수정하여 노드의 에너지 잔량을 고려해 경로를 설정한다. 이 과정에서 설정 가능한 경로 정보를 최대한 수집해 발신지 노드의 경로 테이블에 저장한다. 링크 단절 시 경로 재설정 과정을 시도하기 전에 경로 테이블에 저장된 경로 정보를 활용함으로써 경로 재설정으로 인한 에너지 소모를 줄이고자 하는 것이다. 이 방식은 테이블 구동 방식(즉 proactive 방식)의 장점을 적용한 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 노드의 에너지 소모를 고려한 라우팅 프로토콜에 대해 자세히 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 에너지 인지 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.

II. 관련 연구

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][4][8-11].

MTPR(Minimum Total Transmission Power Routing) 프로토콜은 발신지 노드에서 목적지 노드까지의 모든 가능한 경로들 중에서 소모되는 전력의 합이 최소가 되는 경로를 선택하는 방법이다[8][10][11]. MTPR 프로토콜은 소모되는 전송 전력이 최소가 되는

경로를 찾는 것을 보장하지만, 노드의 평균 생존시간을 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[9]. 즉, MTPR 프로토콜은 최소 전력을 소모하는 경로를 선택하기 때문에, 선택된 경로에 속한 노드 중에는 남은 에너지 양이 상대적으로 훨씬 적은 노드가 포함될 가능성이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 MBCR 프로토콜은 경로에 속한 노드들의 에너지 잔량 합이 가장 큰 경로를 선택한다.

시간 t 에 노드 n_i 에 남아있는 에너지 잔량 비율(백분율, %)을 b_i^t 라고 하자. 초기에 b_i^t 는 100이지만, 시간 경과에 따라 점점 감소한다 ($0 \leq b_i^t \leq 100$). 노드 i 에 대한 비용 함수 $c(b_i^t)$ 는 에너지 잔량 b_i^t 에 반비례한다($c(b_i^t) = k/b_i^t$, 단, k 는 상수). 즉, 에너지 잔량이 클수록 비용은 적게 든다. 따라서 가장 비용이 적게 드는 경로란 에너지 잔량의 합이 가장 큰 경로가 된다. MBCR 프로토콜은 발신지 노드에서 목적지 노드까지의 경로 중에서 비용이 최소가 되는 경로를 선택한다. [그림 1]에서 괄호 안의 숫자는 현재 시각 t 에서 각 노드의 비용을 나타낸다. [그림 1](a)에서 노드 S로부터 노드 D까지 두 개의 경로 Path1=S-A-B-C-D와 Path2=S-E-F-G-D의 비용 합은 각각 90과 150이다. 따라서 최소 비용을 갖는 Path1이 선택된다.

MBCR 프로토콜은 MTPR 프로토콜의 단점인 노드의 생존시간을 보장하긴 하지만, 완벽하지는 않다. [그림 1](b)에서 경로 Path3 = S-M-N-O-D 와 Path4 = S-P-Q-R-D의 비용 함수의 합은 각각 110과 120이다. 따라서 최소 비용을 갖는 Path3이 선택된다. 그러나 Path3에 포함된 노드들을 자세히 살펴보면, 에너지 잔량 비율이 높은(즉 비용 함수가 낮은) 노드 M, N 때문

에 에너지 잔량이 가장 낮은(즉 비용 함수가 높은) 노드 O가 함께 포함되었음을 알 수 있다. 즉, 에너지 잔량만으로는 전체 네트워크의 생존시간을 확실하게 연장시킬 수 없다.

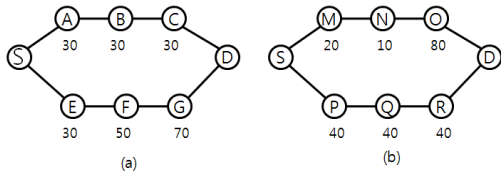


그림 1. MBCR 및 MMBCR 라우팅 프로토콜 동작 예

위에서 언급한 MBCR 프로토콜의 단점을 해결하기 위해 제안된 프로토콜이 MMBCR (Min-Max Battery Cost Routing)이다[9]. MMBCR에서는 에너지 잔량이 적은 노드가 경로에 포함되는 것을 피하기 위해, 식(1)과 같이 비용 함수를 정의한다. 즉 경로 p_i 에서 가장 큰 비용 함수 C_{p_i} 를 찾고, 이렇게 구해진 모든 경로의 비용 함수 중에서 가장 작은 비용을 갖는 경로 R_k 를 선택하는 방법이다(식(2)).

$$C_{p_i} = \max \{c(b_i^t) | n_i \in p_i, p_i = \{n_s, n_1, n_2, \dots, n_d\}\} \quad (1)$$

$$R_k = \min \{C_{p_i} | p_i \in A, A = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}\} \quad (2)$$

단, n_s 와 n_d 는 각각 발신지 노드와 목적지 노드.

MMBCR 프로토콜을 [그림 1](b)에 적용하면, 경로 Path3과 Path4의 최대 비용 함수는 각각 80과 40이다. 따라서 이 중에서 최소 비용을 갖는 Path4가 경로로 선택된다. 그러나 MMBCR 프로토콜은 선택된 경로에서 소모되는 에너지가 최소가 됨을 보장하지는 못한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 CMMBCR (Conditional MMBCR) 프로토콜[4]에서는 임계값을 설정하고, 이 임계값을 넘어서면 MMBCR 프로토콜을 적용하고, 그렇지 않으면 MTPR 프로토콜을 적용한다. CMMBCR의 경우 임계값에 따라 전체 성능이 좌우된다.

이와는 대조적으로 노드 사용 빈도가 높을수록 에너

지 소비가 클 것이라는 판단 하에 노드별 평균 사용 빈도를 일정하게 유지하려는 시도, 즉 부하 균형 관점에서 접근한 방식들도 제안되었다. LBAR[3]에서는 경로 설정을 위한 비용 함수로 노드의 트래픽 부하 및 (이 노드와) 인접한 노드의 트래픽 간섭을 포함시켰다. LBAR은 트래픽 부하 균형 측면에서 접근하였으나, 에너지 잔량을 함께 고려하지 않았다. 경로 설정 과정에서 RREQ, RREP(Route Reply) 등과 같은 제어 패킷이 전체 네트워크에 대량 방송(flooding)되면서 에너지 소비가 급격히 늘어나는데, LBAR에서는 이와 같은 경로 설정 과정에서의 에너지 소비 요소를 전혀 반영하지 않았다. 또 다른 부하 균형 라우팅 프로토콜[12]에서는 임계값 이하의 에너지 잔량이 남은 노드가 더 이상 중계 노드로서의 기능을 할 수 없음을 스스로 발신지 노드에 알릴 수 있도록 하였다. 또 다른 연구 결과로는 정적 토폴로지 환경에서 인접 노드간 주기적인 메시지 패킷 송수신을 통해 이웃 노드들의 에너지 잔량을 파악해 이를 경로 설정에 반영하는 방안이 제시된 바 있다[13]. 한편, 대부분의 논문은 모두 에너지 인지 기법이 반영되지 않은 기존 AODV, DSR 등과 비교한 결과를 제시하였다.

III. 에너지 인지 다중 경로 라우팅 프로토콜

본 논문에서는 저이동성을 갖는 애드혹 망에서 전체 네트워크의 생존시간을 최대한 길게 유지하기 위한, AODV 기반의 에너지 인지 다중 경로 라우팅 프로토콜 (energy-aware multi-path routing protocol, 이하 MP-AODV)을 제안한다.

노드당 평균 에너지 소모량을 일정하게 유지하기 위해 AODV의 RREQ 및 RREP 패킷에 에너지 잔량 정보 b_i^t 를 추가한다. 만약 링크 단절이 발생하였을 경우, 경로 재설정을 시도하기 전에 출발지 노드에 저장된 다중 경로 정보를 활용한다. 즉, 출발지 노드의 경로 테이블에서 링크 단절이 발생한 노드가 포함된 경로를 삭제한 후, 남은 경로 중에서 에너지 잔량이 가장 많이 남아있는 경로를 선택한다. 에너지 잔량이 많이 남아있다는 것은 상대적으로 트래픽 부하가 적었다는 의미로 해석될

수 있기 때문이다. 이와 같이 경로 설정 과정에서 네트워크 트래픽 부하를 전체 노드에 균등하게 분배함으로써 노드별 평균 에너지 소모율을 일정하게 유지하고자 하였다.

출발지 노드가 다중 경로 정보를 저장하기 위해서는, 목적지 노드가 가장 먼저 도착한 경로 정보만을 RREP로 전송하는 대신 목적지 노드에 도달한 일정 개수의 경로 정보를 해당 홉수만큼 출발지 노드에 전송해야만 한다. 플러딩 방식으로 방송되는 RREQ와 달리 RREP는 목적지 노드에 도달한 경로의 역 경로(reverse path, 목적지 노드에서 출발지 노드까지의 경로)를 통해 uni-cast 방식으로 전송된다. BRA[14]의 경우에는 제어 패킷 전송 목적으로 역방향 unicast 방식을 도입한 바 있다.

목적지 노드에는 (출발지노드로부터) 도달 가능한 다양한 경로 정보가 전달된다. 목적지 노드에 가장 먼저 도착한 경로 정보뿐만 아니라 나중에 도착한 경로 정보들 중에 일정 개수만큼은 다시 uni-cast 방식으로 출발지 노드에 전송함으로써 출발지 노드가 다중 경로 정보를 획득할 수 있도록 해주는 것이다. 물론 여러 차례 RREP 전송에 따른 오버헤드와 이에 따른 데이터 패킷 전달 지연이 발생할 수 있지만, 이러한 오버헤드는 링크 단절로 인한 경로 재설정 과정에서 발생하는 오버헤드에 비해 무시할 수 있을 만큼 작다. 또한, 본 논문의 전제 조건에서 제시된 저이동성을 갖는 애드혹 망의 경우 출발지 노드가 갖고 있는 다중 경로 정보를 효과적으로 활용할 수 있는 가능성이 매우 높다.

이렇게 함으로써 경로 재설정 과정에서 RREQ와 같은 제어 패킷의 대량 방송(flooding)으로 인한 불필요한 에너지 소모를 줄일 수 있게 된다. 이를 통해 전체 네트워크의 생존시간을 늘일 수 있게 된다.

1. 경로 설정 과정

MP-AODV에서의 경로 설정 과정은 기존 AODV 방식과 유사하다. AODV 방식과의 차이점은 MBCR 방식에 입각하여 노드별 에너지 잔량을 비교하여 역 경로를 설정하는 부분이다. [그림 2]에 MP-AODV 라우팅 프로토콜의 경로 설정 과정을 나타내었다. [그림 2]에서

알 수 있는 것처럼 상대적으로 에너지 잔량이 많이 남아있는 노드를 선택해 경로 테이블에 추가함으로써 역 경로를 설정한다.

목적지 노드는 일정 개수까지 수신된 RREQ 메시지에 대한 RREP 메시지를 발신지 노드로 보낸다. RREP 메시지의 경우 remaining energy 필드를 추가하여 해당 경로의 에너지 잔량의 합을 저장할 수 있도록 하였다. 발신지 노드는 RREP 메시지를 수신할 때마다 해당 경로 정보를 경로 테이블에 저장한다. 발신지 노드의 경로 테이블은 에너지 잔량이 큰 경로(즉 비용이 가장 낮은 경로) 순서대로 정렬되어 있다. 따라서 링크 단절과 같은 상황이 발생하지 않을 경우 첫 번째 경로를 순 경로(forward path)로 결정한다. 그러나 순 경로를 지나치게 빨리 결정할 경우, 뒤늦게 최소 비용을 갖는 경로 정보를 수신하게 되면 경로를 재지정해야 하는 발진 현상(fluctuation)이 발생할 가능성이 높다. 이를 위해 안정화 시간(settling time) S_{time} 경과 후에 순 경로를 선택하도록 한다.

$$S_{time} = c \times NTT \tag{3}$$

식(3)에서 NTT(Network Traversal Time, NTT)[7]는 AODV에서 탐색 범위를 제한하기 위해 사용되는 파라미터로써, 40ms로 설정되어 있다. 또한 c 는 네트워크 파라미터로써 $1 \leq c < N$ 에 속한 값을 갖는다. N 은 출발지 노드의 경로 테이블의 크기로서 노드 수와 노드 밀집도 등에 따라 다르며, 저이동성을 갖는 네트워크일수록 손상된 경로를 포함할 가능성이 낮아지므로 N 값은 커질 수 있다. Mukherjee[15] 등은 트래픽 요소 등을 고려하여 DSDV의 경로 업데이트 및 경로 유지 주기를 가변적으로 지정하는 방안을 제안한 바 있다.

실험 결과 출발지 노드에 먼저 도달하는 RREP 패킷 일수록 해당 패킷에 포함된 경로의 에너지 잔량 총합이 큰 경우가 대부분이었다. 따라서 실제 실험에서는 S_{time} 은 식(3) 대신 $(c/2) \times NTT$ 로 변경된 값으로 설정하되, 이 이후에도 목적지 노드에서 보내 온 경로

정보는 계속 저장하는 방식을 택하였다. 발신지 노드가 다중 경로 정보를 저장하고 있게 됨에 따라, 노드별 메모리 사용량은 다소 커지지만, 경로 재설정 과정에서의 에너지 소비를 줄일 수 있는 효과가 있다.

```

for each intermediate node  $n_i$ 
    receive a RREQ packet from one of the neighbor nodes;
    // 출발지 노드로부터 발송된 RREQ 패킷을 중복 수신한 경우 해당 RREQ 패킷 삭제
    if the Sequence Number of the RREQ is equal to the ID of the source node then
        discard the RREQ packet;
    else
        // 출발지 노드에서 노드  $n_i$  까지의 경로를 라우팅 테이블에 저장
        // 라우팅 테이블 크기를 초과할 경우 최소 에너지 잔량을 갖는 경로를 삭제
        record the RREQ packet and add it into its routing table of  $n_i$ ;
        if the routing table is full then
            discard the route with the minimum remaining-energy of a route to  $n_i$ ;

    // 노드  $n_i$ 가 목적지 노드일 경우
    // 출발지 노드가 저장할 수 있는 경로 개수보다 작을 경우 해당 경로 정보를 RREP로 전송
    if it is the destination or there is a route to the destination then
        table-entry-count++;
        if table-entry-count is less than the size of the routing table of the source then
            create a RREP packet and send it to the source through the route;
        else
            // 목적지 노드가 아닐 경우 에너지 잔량을 업데이트 한 후 RREQ 패킷 재전송
            remaining-energy(RREQ)
            = remaining-energy(RREQ) + energy-level( $n_i$ );
            rebroadcast the RREQ that will have a longer lifespan and a new ID number;

```

그림 2. MP-AODV에서의 경로 설정 과정

2. 경로 유지 과정

순 경로를 통해 데이터 패킷이 전송될 때 piggyback 방식으로 에너지 잔량 정보도 함께 전송된다. 데이터 패킷 수신 직후 발신지 노드에서는 역 경로로 RREP 패킷을 보냄으로써 현재 경로의 에너지 잔량 정보를 업데이트한다. 각 노드는 이웃 노드와 주기적으로 hello 메시지를 교환하고 있기 때문에, 1-hop 떨어진 노드들의 에너지 잔량은 정확히 알고 있다. 그러나 출발지 노드의 경로 테이블에 저장되어 있는 모든 경로의 정보가 동시에 업데이트 되는 것은 아니며, 데이터 패킷 전송 경로로 선택된 경로의 에너지 잔량 정보만이 데이터 패킷 전송 직후 업데이트된다.

MP-AODV에서는 순 경로를 선택하는 시점에서 MBCR에서 제시된 것처럼 최대 에너지 잔량을 갖는 경로를 선택했다는 보장은 할 수 없다. 왜냐하면 순 경로 선택 시점에서 경로에 포함된 각 노드의 에너지 잔량이 정확히 반영되었다고 말할 수 없기 때문이다. 경로로 선택되지 못한 노드의 경우 오래 전 에너지 잔량 정보가 그대로 사용될 수 있기 때문이다. 그러나 순 경로에 포함되지 않았을 경우 상대적으로 에너지 소모가 크지 않기 때문에 에너지 잔량 변화는 크지 않다고 가정할 수 있다. 또한, 에너지 잔량이 고갈된 노드가 존재할 경우 해당 사실이 발신지 노드에 통보되기 때문에 이에 충분히 대비할 수 있다. 다만 에너지 잔량이 충분히 남아 있는 노드가 전송 범위를 벗어나 이동할 경우에는 경로 손실 사실을 나중에야 알기 때문에 기존 AODV 방식에 비해 크게 다르지 않게 된다.

DSDV[2]처럼 경로 정보를 미리 저장하고 있는 table-driven 방식의 라우팅 프로토콜에서는 몇 번의 업데이트 주기가 지나도 경로 정보가 전혀 업데이트되지 않는 노드(stale entry)가 존재할 가능성이 있다. DSDV의 경우 경로 업데이트 과정에서 손상된 노드를 포함하는 경로가 제거된다. MP-AODV에서의 경로 유지 과정은 발신지 노드가 EEM(Emergence Energy Message) 메시지 수신을 통해 임계값 이하로 에너지 잔량이 고갈된 노드 발생 사실을 파악하는 것에서부터 시작된다. 노드의 에너지 잔량이 임계값(여기서는 0.1로 설정)이하로 떨어지면 해당 노드의 ID와 에너지 잔

량 정보를 EEM 메시지에 담아 발신지 노드로 전송한다. 발신지 노드는 EEM 메시지에 포함된 노드 ID를 이용해 경로 테이블에서 에너지 잔량이 고갈된 노드를 포함하는 경로 정보를 삭제한 후, 남은 경로 중에서 에너지 잔량 총합이 가장 큰 후보 경로를 선택한다. 만약 후보 경로가 존재하지 않으면 RREQ 방송을 통해 경로 설정 과정을 다시 시도하게 된다.

MP-AODV에서의 경로 유지 과정을 단계별로 [그림 3]에 나타내었다. 발신지 노드 S에서는 최소 비용이 드는 경로인 S-A-B-C-D를 선택하여 데이터 패킷을 전송한다([그림 3](a)). 전송 직후 노드 C는 에너지 잔량이 고갈됨에 따라 EEM 메시지를 발신지 노드로 전송한다([그림 3](b)). EEM 메시지를 수신한 노드 S는 경로 테이블에서 노드 C가 포함된 경로를 삭제하고 난 후, 남은 경로 중에서 최소 비용이 드는 경로를 선택한다([그림 3](c)). 이어서 선택된 순 경로를 따라 데이터 패킷을 전송한다([그림 3](d)).

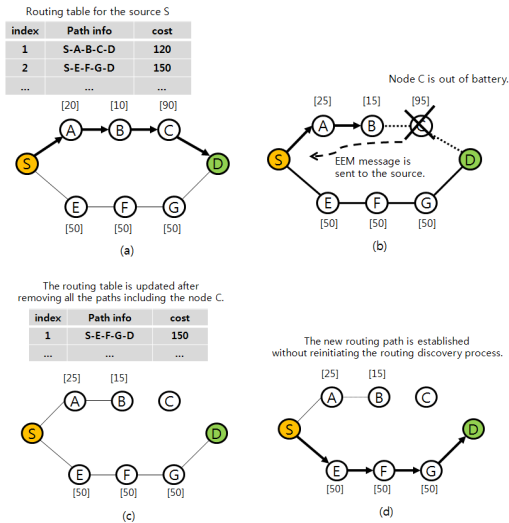


그림 3. 에너지 인지 다중 경로 라우팅 동작 프로토콜 단계별 동작 예

IV. 실험 결과 및 분석

제안된 에너지 인지 다중 경로 프로토콜은

MP-AODV의 성능을 평가하기 위한 도구로 ns-2 시뮬레이터[16]를 사용하였다. MP-AODV 알고리즘을 구현하기 위하여 EEM 메시지를 새롭게 추가하고 RREP 메시지에 에너지 필드를 포함시켰으며, c++로 작성된 AODV 소스 코드를 수정하였다.

비교 대상으로는 AODV와 MMBCR을 선택하였다. AODV의 경우 최소 홉 수를 갖는 경로를 선택하지만, 에너지 잔량 등 에너지 인지 요소는 전혀 고려하지 않고 있다. 따라서 AODV의 경우 네트워크 생존시간 측면보다는 전달지연시간 측면에서 MP-AODV와 비교할 목적으로 포함시켰다. MMBCR방식은 참고 문헌[4]에 언급된 것처럼 일반적인 상황에서 다른 방식들에 비해 그 성능이 가장 나은 것으로 보고되었다. 따라서, MP-AODV 방식이 MMBCR과 비교해 네트워크 생존 시간을 얼마나 개선시킬 수 있는가를 측정하기 위한 목적으로 비교 대상에 포함시켰다.

MP-AODV 프로토콜은 기존 AODV 프로토콜 및 관련 연구에서 언급한 MMBCR기법을 적용한 프로토콜 등과 다음 3가지 성능 평가 모델에 대해 각각 그 성능을 비교하였다. 즉 노드 수를 36, 49, 64, 81, 100개로 늘려가면서 시간당 전체 노드의 에너지 소비율, 네트워크의 생존 시간과 생성된 전체 제어 패킷 수 등을 대상으로 각각 그 성능을 측정하였다.

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 전송범위	250m
패킷 크기	1,000 bytes
시뮬레이션 시간	300초

ns-2 시뮬레이션을 위해 설정된 파라미터는 [표 1]과 같다. MAC 프로토콜은 802.11로 설정하였으며, 큐잉 모델은 RREQ, RREP 메시지와 같은 제어 패킷을 우선적으로 처리하기 위해 drop-tail방식에 기반한 우선순위 큐를 사용하고, 큐잉되는 최대 패킷 수는 50개로 설정하였다. 한편, 노드의 에너지 소모량을 측정하기 위한 에너지 모델은 ns-2에서 제공하는 모델을 사용하였다.

또한, 각 노드의 초기 에너지는 10 Joules로 설정하였으며, 송신시 소비되는 전력은 30mW로써, 수신시 소비되는 전력(=15mW)의 2배로 설정하였다.

1. 시간대별 에너지 잔량 비교

먼저 시뮬레이션 종료 직후 전체 노드의 에너지 잔량 총합을 비교해 보았다. [표 1]에 나타낸 것처럼 노드들은 정사각형 공간에 그리드 형태로 배치하였으며, 대각선의 양 끝점에 놓인 2개의 노드 간 데이터 패킷 전송이 이루어지도록 하였다. 즉 유클리드 거리상 가장 멀리 떨어진 2개의 노드를 지정하였다. 시뮬레이션 수행 전 전체 노드의 에너지 잔량 총합 비율을 100%로 설정했으며, 300초가 지났을 때 전체 노드의 에너지 잔량 비율의 평균을 구했다.

[그림 4]에 보인 것처럼 MP-AODV 방식이 기존 AODV나 MMBCR 방식에 비해 에너지 잔량 비율이 각각 최대 11% 및 6% 많음을 알 수 있다.

특히 노드 개수가 증가할수록 제한한 방식의 에너지 잔량이 MMBCR방식에 비해 증가하였다. 노드 수가 50개 미만일 때는 에너지 잔량 비율이 평균 2% 많았지만, 50개 이상일 때는 평균 3%로 증가하였다. 그 이유는 노드 개수가 많아짐에 따라 도달 가능한 대체 경로 수도 그만큼 늘어나기 때문이다. 경로 수가 늘어난 만큼 출발지 노드의 경로 재설정 횟수도 줄어들기 때문에 에너지 잔량이 늘어난 것이다.

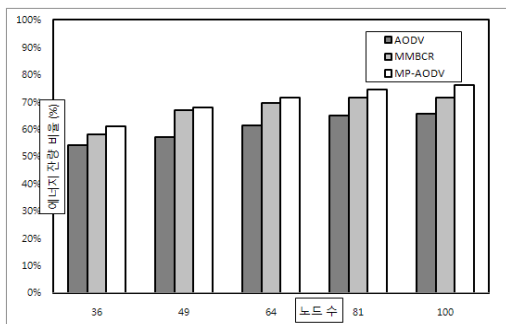


그림 4. 시뮬레이션 종료 직후 에너지 잔량 비율

노드 수가 49개에서 100개로 증가했을 때, 각 라우팅

프로토콜별로 시간대별 에너지 잔량 변화 결과를 [그림 5]에 나타내었다. 노드 개수가 49개에서 100개로 증가했을 때, 에너지 잔량은 AODV는 57%에서 65%로 8% 증가했으며, EA-AODV 역시 68%에서 76%로 8% 증가하였다. 그러나 MMBCR의 경우 67%에서 72%로 5% 증가하는 데 그쳤다.

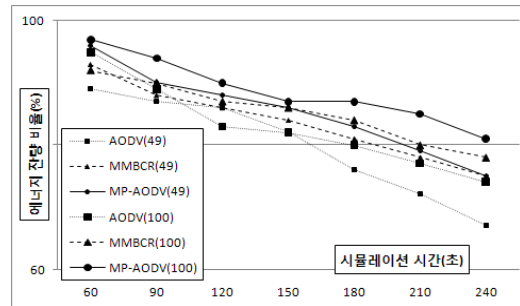


그림 5. 에너지 잔량 비율 비교

MP-AODV 방식만을 적용했을 경우 노드 수에 따른 전체 노드의 에너지 잔량 비율 변화를 [그림 6]에 나타내었다. 노드 수가 많아질수록 대체 경로가 존재할 가능성이 높아지며, 이에 따라 링크 단절이 발생했을 경우 대체 경로를 활용할 가능성이 커지게 된다. [그림 6]의 실험 결과에서도, 노드 수가 많을수록 시뮬레이션 후반부(150초 이후)의 에너지 잔량 비율 곡선 기울기가 완만하게 변화함을 볼 수 있다.

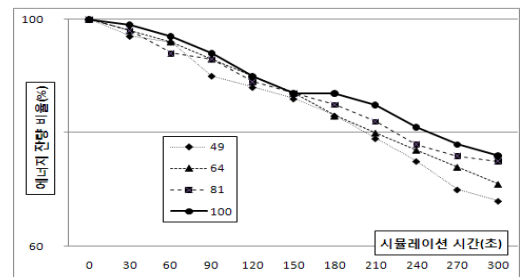


그림 6. 노드 수에 따른 에너지 잔량 비율 비교

2. 네트워크 생존 시간

전체 노드의 에너지 잔량 평균이 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 늘릴 수 있다. MP-AODV에서는 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.

실험을 위해 시뮬레이션 시간을 최대한(1,000초)으로 설정하고, 중계 노드의 에너지 고갈로 더 이상 패킷 송수신이 일어나지 못하는 시간을 네트워크 생존 시간으로 측정하였다. [그림 7]에서 알 수 있듯이 MP-AODV가 기존 AODV 및 MMBCR 방식에 비해 네트워크 생존 시간이 각각 최대 40% 및 34% 향상되었다. 제안한 방식이 MMBCR에 비해 특히 네트워크 생존 시간 측면에서 훨씬 유리함을 알 수 있다.

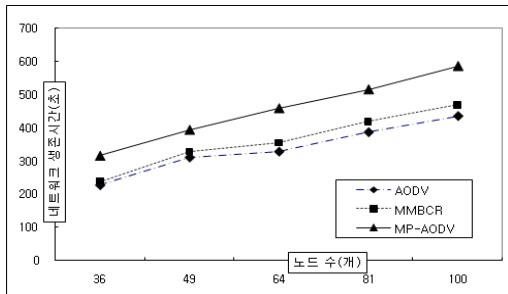


그림 7. 노드 수에 따른 네트워크 최대 생존시간

3. AODV 제어 패킷 및 데이터 패킷 수신율

실험에서 AODV 제어 패킷에 포함된 AODV 메시지는 발신지 노드에서 생성한 RREQ 패킷, 중계 노드가 전달하는 RREQ 패킷과 RREP 패킷, 목적지 노드가 생성하는 RREP 패킷, 그리고 전송 오류 발생 시 생성되는 RERR (Route Error) 패킷 등이 있다. 발신지 노드가 생성하는 RREQ 패킷 수에는 목적지 노드로부터 일정시간 경과 후에도 RREP 패킷을 수신하지 못했을 경우 RREQ 패킷을 재전송하게 되는 데 이 개수까지 포

함된 것이다.

먼저 노드 수에 따른 AODV 제어 패킷 수 비교 결과를 [그림 8]에 나타내었다. MP-AODV 방식이 기존 AODV와 MMBCR 방식에 비해 각각 최대 20% 및 14%나 적은 개수의 메시지 패킷을 생성하였다. 300초 시뮬레이션 시간 동안 생성된 데이터 패킷 및 AODV 제어 패킷 수를 측정한 결과를 [표 2]에 나타내었다. 무선 애드혹 네트워크에서, 본 논문에서 고려하고 있지 않은 RTS (Request To Send) 및 CTS(Clear to Send) 패킷을 제외하면, AODV 제어 패킷이 데이터 패킷의 60% 이상을 차지하고 있다. 따라서 경로 설정을 위한 AODV 제어 패킷 수를 감소시키면 전체 노드의 에너지 소모를 줄일 수 있게 된다.

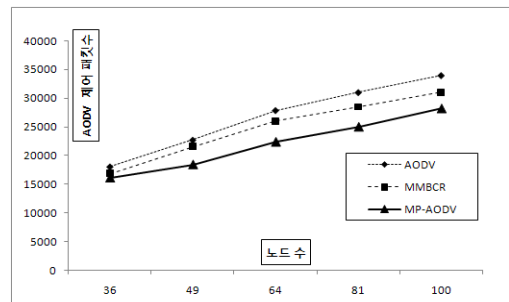


그림 8. 노드 수에 따른 AODV 제어 패킷 수

표 2. 데이터 패킷 대 AODV 제어 패킷 비교

적용 방식	노드 개수(개)				
	36	49	64	81	100
데이터 패킷(A)	25, 106	34, 718	35, 098	36, 171	38, 684
AODV 제어 패킷(B)	16, 174	18, 477	22, 391	24, 995	28, 167
B/A	64 %	53 %	64 %	69 %	73 %

경로 설정을 위한 AODV 제어 패킷 수의 차이에도 불구하고 목적지 노드에서의 데이터 패킷 수신율은 3가지 방식이 거의 비슷하였다. 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. 특히 노드 수가 64개와 81개 일 때 3방식의 데

이더 패킷 수신율은 88~89%로 거의 일정하였다.

[표 3]에 보인 것처럼 MP-AODV 알고리즘은 노드별 평균 에너지 소모율을 일정하게 유지하기 위해 최소 홉수를 갖는 경로 설정을 보장하지 않기 때문에 발신지 노드에서 목적지 노드까지 (중단간) 데이터 패킷 전달 지연시간은 상대적으로 늘어날 수밖에 없다. 노드 수가 많아질수록 홉 수가 늘어나기 때문에 AODV와 MP-AODV간 전달지연시간 차는 커짐을 알 수 있다.

표 3. 중단간 데이터 패킷 전달지연시간(단위:초)

적용 방식	노드 개수(개)				
	36	49	64	81	100
AODV	1.825	2.281	2.816	3.499	4.153
MP-AODV	1.825	2.501	3.265	4.103	4.998
시간차	0.0	0.220	0.450	0.604	0.845

V. 결론

본 논문에서는 정적 토폴로지를 갖는 애드혹 네트워크에서 전체 네트워크의 생존 시간을 늘릴 수 있는 에너지 인지 다중 경로 라우팅 프로토콜인 MP-AODV를 제안하였다. 기존 AODV 프로토콜에 에너지 잔량 정보를 추가하여 최대 에너지 잔량을 갖는 노드가 우선적으로 경로에 포함되도록 하였다. 또한 발신지 노드는 경로 설정 과정에서 획득한 대체 경로 정보를 자신의 경로 테이블에 저장하도록 하였다. 이를 위해 on-demand 방식의 AODV 프로토콜에 proactive 방식의 장점인 저장 기법을 접목시켰다. 즉, 출발지 노드에 저장되는 다중 경로는 목적지 노드에서 RREP 패킷에 담아 출발지 노드까지의 정해진 경로를 통해 uni-cast 방식으로 전송된다. 경로 단절이 발생했을 경우 경로 재설정을 시도하기 전에 경로 테이블에 저장된 경로를 활용함으로써 불필요한 AODV 제어 메시지의 대량 방출로 인한 에너지 소비를 줄이고자 하였다.

MP-AODV 방식은 네트워크 생존 시간 측면에서 기존 AODV나 MMBCR 방식에 비해 유리하지만, 중단간 데이터 패킷 전달지연시간 측면에서는 기존 AODV에

비해 지연되는 결과가 얻어졌다. 노드 밀집도, 노드 수 및 이동성 등을 고려하여 최적의 테이블 크기를 설정할 경우 평균 전달지연시간은 단축시킬 수 있다[14][15]. MP-AODV 방식은 낮은 이동성을 갖는 애드혹 네트워크 환경에서 실시간성이 요구되지 않지만 오랜 기간 네트워크를 안정적으로 유지해야 할 필요성이 있는 응용에 가장 효과적으로 사용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] F. Zhao and L. Guibas, *Wireless Sensor Networks*, Elsevier Inc., 2004.
- [2] C. Siva Ram Murthy and B. S. Manoj, *Ad-hoc Wireless Networks Architectures and Protocols*, Prentice Hall PTR, 2004.
- [3] A. Zhou and H. Hassanein, "Load-Balanced Wireless Ad hoc Routing," Proc. Canadian Conf. on Electrical and Computer Engineering, Vol.2, pp.1157-1161, 2001.
- [4] C.-K. Toh, "Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad-hoc Networks," IEEE Communication Magazine, pp.26-37, 2001(6).
- [5] X. Wu, G. Chen, and S. K. Das, "Avoiding energy holes in wireless sensor networks with nonuniform node distribution," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol.19, No.5, pp.710-720, 2008.
- [6] R. Shorey, A. Ananda, M.-C. Chan, and W.-T. Ooi, *Mobile, Wireless, and Sensor Networks: Technology, Applications and Future Directions*, Wiley-IEEE Press, 2006.
- [7] <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>.
- [8] S. Singh and C. S. Raghavendra, "PAMAS-Power Aware Multi-Access protocol with Signaling for Ad Hoc Networks," ACM Comm. Rev. 1998(7).

- [9] S. Singh, M. Woo, and C. S. Raghavendra, "Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks," Proc. Mobicom, 1998(10).
- [10] S. Banerjee and A. Misra, "Minimum Energy Paths for Reliable Communication in Multi-hop Wireless Networks," Proc. MobiHoc Conf., 2002(6).
- [11] J. Gomez, A. Campbell, M. Naghshineh, and B. Bisdikian, "Conserving Transmission Power in Wireless ad-hoc Networks," Proc. Networking Protocols, 2001(11).
- [12] 안상현, 임유진, 김경춘, "애드 혹 네트워크에서 부하 균등을 고려한 라우팅 프로토콜", 정보과학회 논문지, 제30권, 제2호, pp.252-259, 2003.
- [13] 김현호, 김정희, 강용혁, 엄영익, "무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 균형화된 에너지 소비를 위한 효율적인 라우팅 알고리즘", 한국통신학회 논문지, 제31권, 제11A호, pp.1120-1129, 2006.
- [14] V. Ramasubramanian and D. I Mossé, "BRA: a bidirectional routing abstraction for asymmetric mobile ad hoc networks," IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), Vol.16, Np.1, p.116-129, 2008(2).
- [15] T. Mukherjee, S. K. S. Gupta, and G. Arsamopoulos, "Energy optimization for proactive unicast route maintenance in MANETs under end-to-end reliability requirements," Performance Evaluation, Vol.66 No.3-5, pp.141-157, 2009(3).
- [16] <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

저 자 소 개

홍 윤 식(Youn-Sik Hong)

정회원



- 1983년 2월 : 한양대학교 전자공학(공학사)
- 1985년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학(공학석사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학(공학박사)
- 1991년 8월 ~ 현재 : 인천대학교 컴퓨터공학과 교수
<관심분야> : 모바일 컴퓨팅, 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)