

논문 2006-43TC-4-3

배터리 용량을 고려한 개선된 AODV 라우팅 알고리즘

(An Enhanced AODV based Energy-aware Routing Protocol for Route Maintenance in MANET)

김관웅*, 이정수**, 반 책***, 정경택****, 전병실*****

(Kwan-Woong KIM, Jeong-Soo LEE, Pance, Kyung-Taek Chung, and Byoung-Sil Chon)

요 약

Ad-hoc 네트워크는 무선이라는 특성 때문에, 무선 대역폭의 효율적인 사용과 이동하는 노드의 배터리 절약은 필수적이다. 모바일 노드가 배터리에 저장된 에너지를 모두 소비하게 되면 더 이상 네트워크에 참여할 수 없을 뿐만 아니라, 에너지 결핍 노드가 증가하게 되면 패킷 손실, 경로재설정 유발, 이로 인한 패킷 latency 증가와 같은 문제를 가져오게 된다. 본 논문에서는 AODV의 안정적인 경로유지를 위해 이웃 노드들의 에너지 정보를 바탕으로 특정노드가 배터리 완전 소모로 인한 경로 단절을 피하기 위해 이웃 노드로 경로 변경 기능을 제공하는 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안된 라우팅 알고리즘은 기존 AODV 프로토콜에 새로운 메시지를 추가하여 경로상의 노드가 모든 에너지를 소모하기 이전에 이를 감지하여, 에너지가 충분한 이웃 노드로의 경로 변경함으로써 경로 단절 확률을 낮추며, 경로 단절에 따른 패킷 손실과 전송 지연시간 줄임은 물론, 전송 효율 면에서 우수한 성능을 보였다.

Abstract

In this paper, the goal of our proposed algorithm is to reduce link -failure and route failure caused by dead nodes which consume all of the battery life. I propose an algorithm which provides a ability of changing routes to neighbor nodes before some of intermediate nodes be shutting down to get the stable route maintenance. To achieve this goal, The proposed routing algorithm uses additional new messages to check energy status for monitoring energy of neighbor nodes and to change the path to a neighbor node. From extensive simulations, results show that possibility of cut-offs and time-delay cause of packet-loss have been decreased and also the improvement of transmission effectiveness.

Keywords : AODV, MANET, route maintenance

I. 서 론

Ad-hoc 네트워킹에 대한 관심이 커짐에 따라 1990년대 중반, 표준화 작업과 더불어 상업적인 표준들이 점진적으로 자리 잡았다. Internet Engineering Task Force 내에 Mobile Ad-hoc Networking^[1] 작업 그룹이 탄생되었으며 ad-hoc 네트워크^[2]를 위한 라우팅 프로토

콜을 표준화하기 시작했다. Ad-hoc 네트워크에서 각 모바일 노드는 단말 노드의 역할 뿐 아니라 패킷을 목적지 노드까지 전송하기 위한 라우터의 역할도 수행한다. 곧, 패킷은 목적지 노드까지 multi-hop 방식으로 전송된다. 이러한 네트워크의 특성을 고려하여, MANET 작업 그룹은 라우팅 프로토콜의 개발을 위해 경로를 필요시에만 획득하는 On-demand 방식의 reactive 라우팅 프로토콜과 주기적인 라우팅 정보를 교환하는 Bellman-Ford 알고리즘에 기반한 table-driven 방식의 proactive 라우팅 프로토콜로 구분하였다.

기존에 연구된 AODV와 같은 대표적인 Ad-hoc 라우팅 프로토콜은 경로 설정 시 최단 경로 알고리즘을 사용한다. 이는 유선환경에서 사용할 때는 최단 경로를

* 정희원, 원광대학교 전기전자정보공학부 (Wonkwang University)

** 정희원, 삼성전자 (Samsung Electronics)

*** 학생회원, ***** 정희원, 전북대학교 전기전자정보공학부 (Chonbuk National University)

접수일자: 2005년12월5일, 수정완료일: 2006년4월14일

찾는 것이 중요한 목적이 되지만, 각 모바일 노드가 배터리에 저장된 한정된 에너지를 수반하여 동작하는 Ad-hoc 네트워크에서는 최선의 방법이라고 볼 수는 없다. 또한 무선이라는 특성 때문에, 무선 대역폭의 효율적인 사용과 이동하는 노드의 배터리 절약은 필수적이다.

어떤 모바일 노드가 패킷을 목적지 노드로 전송하기 위해서 자신의 배터리에 저장된 에너지를 모두 소비하게 되면 더 이상 네트워크에 참여할 수 없을 뿐만 아니라, 에너지 결핍노드가 증가하게 되면, 패킷을 전송하기 위한 라우팅 경로를 형성할 수 없는 문제가 발생할 경우가 생기게 된다. 따라서 이러한 에너지 소비와 관련된 연구들은 모바일 노드에서 소비되는 에너지를 절약하기 위한 MAC계층에서의 접근과 에너지의 효율적인 소비를 위한 Network계층에서의 접근으로 연구되었으며, 후자의 입장에서는 문제 해결을 위해서 최단 경로를 선택하는 라우팅 프로토콜 대신에 각 모바일 노드가 가진 배터리에 저장된 에너지를 고려한 라우팅 프로토콜들이 제안되었다.

각 모바일 노드의 배터리에 저장된 에너지의 상태를 고려한 라우팅 프로토콜에는 목적에 따라서 둘로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 소스노드에서 목적지 노드까지 패킷을 전송하는데 필요한 소비되는 에너지의 합이 최소가 되는 라우팅 경로를 선택하는 것으로, 이는 패킷을 전송하는데 들어가는 전체 에너지의 소비가 최소가 되도록 하여 네트워크에서 소비되는 에너지를 줄여주는 장점은 있지만, 모바일 노드의 현재 상태를 전혀 고려하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 두 번째는 네트워크 시스템 Life-time이 최대가 되도록 라우팅 경로를 선택하는 것이다^[3].

본 논문에서는 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector)라우팅 프로토콜을 기반으로, 경로 설정 시 RREQ, RREP, RERR 메시지를 이용하여, 경로 획득 절차와 경로 유지 절차를 통해서 최단 경로를 찾아 전송을 하는 알고리즘을 기초로 하여, 경로상의 노드가 배터리에 저장되어 있는 한정된 에너지를 가지고 동작하기 때문에, 배터리 소모로 인해서 발생할 수 있는 경로 재설정 과정을 미연에 방지하고자 한다. 따라서, 본 연구에서는 AODV의 안정적인 경로유지를 위해 이웃 노드들의 에너지 정보를 바탕으로 특정노드가 배터리 완전 소모로 인한 경로 단절을 피하기 위해 이웃 노드로 경로 변경 기능을 제공하는 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안된 라우팅 알고리즘은 기존 AODV 프로토콜에

새로운 메시지를 추가하여 경로상의 노드가 모든 에너지를 소모하기 이전에 이를 감지하여, 에너지가 충분한 이웃 노드로의 경로 변경함으로써 경로 단절 확률을 낮추며, 경로 단절에 따른 패킷 손실과 전송 지연시간을 줄일 수 있다.

본 논문의 구성은 본문에서 Ad-hoc Network의 라우팅과 에너지 소비 기반 라우팅에 대해 기술하고, 제안된 에너지 용량 기반 라우팅 알고리즘에 대해 설명한다. 실험에서는 시뮬레이션을 수행하여 제안된 알고리즘의 성능을 평가·분석하고, 결론에서는 본 논문의 시뮬레이션 결과와 향후 연구 할 내용을 기술한다.

II. 본 론

1. MANET 라우팅 프로토콜

Table-driven 라우팅 프로토콜^[4]은 다른 노드들에 대한 라우팅 정보를 유지함으로써 전송 필요 시 별도의 경로 획득 절차 없이 라우팅 테이블의 경로 정보를 이용하여 전송하기 때문에 경로 획득을 위한 지연시간이 작다는 장점이 있다. 그러나 무선 대역에서 주기적인 라우팅 정보 방송은 사용할 수 있는 무선대역의 낭비를 더욱 가중시킨다. 또한 노드들이 빈번하게 위치 이동하는 Ad-hoc 네트워크에서 다른 노드들의 라우팅 테이블 갱신을 위한 라우팅 정보 역시 방송해야 하므로 라우팅 제어 메시지로 인한 오버헤드가 발생하여 네트워크의 성능 저하를 초래할 수 있다는 단점을 가지고 있다. 따라서 이는 노드의 숫자가 적은 소규모 Ad-hoc 네트워크에는 적합하나, 중·대형 네트워크에서는 부적합하다. 라우팅 프로토콜로는 DSDV^[5] (Destination-Sequence Distance Vector)라우팅 프로토콜, WRP (Wireless Routing Protocol) 프로토콜, CGSR (Clusterhead Gateway Switch Routing) 프로토콜이 있다.

On-demand 방식은 데이터 패킷을 전송할 때 필요시에만 경로 획득 절차를 실행하여 일정시간 동안 유지되고 있는 경로 상에 어떤 데이터 패킷도 전달되지 않는다면 노드는 해당 경로 정보를 라우팅 테이블에서 삭제한다. 이동 Ad-hoc 네트워크 라우팅 알고리즘은 최적의 경로를 탐색하기 보다는 경로 획득 지연 시간을 최소화하는 데에 우선순위를 두고 있으며, 라우팅 프로토콜로는 DSR(Dynamic Source Routing) 프로토콜, AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing) 프로토콜, LMR(Lightweight Mobile Routing) 프로토콜, TORA(Temporally Ordered Routing Algorithm) 프

로토콜, ABR(Associativity-Based Routing) 프로토콜, SSR(Signal Stability Routing) 프로토콜이 있다.

2. 에너지 소비를 고려한 라우팅 프로토콜^[6]

MTPR (Minimum Total Transmission Power Routing) 프로토콜은 출발지 노드에서 목적지 노드까지 형성되는 모든 가능한 경로들 중에서 소비되는 에너지의 합이 최소가 되는 라우팅 경로를 선택하는 방법이다. 어떤 모바일 노드 $i(i \in V)$ 가 노드 $j(j \in V, j \in N_i)$ 로 패킷을 전송(그리고 수신)하기 위해서 소비하는 에너지를 $t(i, j)$ 라고 하면, 출발지 노드 $s(s \in V)$ 에서 목적지 노드 $d(d \in V)$ 까지 형성되는 모든 가능한 경로에서 소비되는 각각의 에너지의 합 $\forall E_{sd}$ 는 식 (1)과 같이 정의된다. 결국, MTPR 프로토콜은 식 (2)에 의해서 라우팅 경로 P_{sd} 가 선택된다.

$$\forall E_{sd} = \sum_{s=0}^{d-1} t(s, s+1) \text{ 여기서, } s+1 \in N_s \quad (1)$$

$$P_{sd} = \min\{E_{sd} | \forall E_{sd}\} \quad (2)$$

MTPR 프로토콜은 노드의 생존시간(life-time)을 보장하지 못하고, 다수 홉의 경로를 선택해서 단말 노드간에 지연시간이 증가하는 문제를 가지고 있다. 이의 해결을 위해 MBCR(Minimum Battery Cost Routing) 프로토콜이 제안되었다. 이는 각 노드의 배터리에 저장된 에너지의 양이 가장 많이 남은 경로를 선택하도록 한다. 어떤 노드 i 에서 시간 t 에 대해서 배터리에 저장되어 있는 에너지의 용량을 $c_i^t(0 \leq c_i^t \leq 100)$ 라고 하면, 노드 i 에 대한 배터리 코스트(battery cost)를 식 (3)과 같이 정의하면, 어떤 출발지 노드 $s(s \in V)$ 에서 목적지 노드 $d(d \in V)$ 까지 형성되는 모든 가능한 경로에서 소비되는 배터리 코스트의 합 $\forall C_{sd}$ 는 식 (4)와 같이 정의 된다. 결국, MBCR 프로토콜은 식 (5)에 의해서 라우팅 경로 P_{sd} 가 선택된다.

$$f_i(c_i^t) = c_i^t \text{ 여기서, } c_i^t = \frac{E_{curt(i)}}{E_{init(i)}} \times 100 \quad (3)$$

$$\forall C_{sd} = \sum_{s=0}^{d-1} f_s(c_s^t) \text{ 여기서, } s \in N_{s-1} \quad (4)$$

$$P_{sd} = \max\{C_{sd} | \forall C_{sd}\} \quad (5)$$

MMBCR 프로토콜은 배터리 코스트가 낮은 노드의 참여를 막기 위해서, 경로 P_i 에 속하는 노드 중에서 배터리 코스트가 가장 낮은 코스트를 구한 후, 구해진 각

P_i 의 배터리 코스트를 비교해서 가장 높은 배터리 코스트를 갖는 경로를 선택하는 방법이다. 곧, 배터리 코스트가 식 (3)과 같다고 할 때, 경로 P_{sd} 는 식 (6)으로 각 경로 P_i 들 중에서 최소의 배터리 코스트를 찾고, 식 (7)에 의해서 경로 P_{sd} 를 설정한다.

$$P_i = \min_{s \in \text{경로}} f_s(c_s^t) \text{ 여기서, } s \in N_{s-1} \quad (6)$$

$$P_{sd} = \max\{P_i | \forall P_i\} \quad (7)$$

CMMBCR (Conditional MMBCR) 프로토콜은 소비에너지 최소보장을 위해서, 어떤 임계점을 두어서 임계점을 넘어서면 MMBCR 프로토콜로 동작하고 그렇지 않으면 MTPR 프로토콜로 동작하도록 하였다. 하지만, 이는 적당한 임계점을 설정하는 것이 힘든 단점을 가지고 있다.

초기에 제안된 네트워크 시스템 Life-time을 증가시키기 위한 라우팅 프로토콜들은 정적인 토폴로지라는 조건에서 연구가 국한되어, 이러한 문제를 해결하기 위해서 On-demand 라우팅 프로토콜인 DSR을 수정한 RDRP(Request Delay Routing Protocol), MMRP(Max Min Routing Protocol)이 제안되었다^[7]. RDRP는 DSR에서 목적지 노드로 향하는 경로를 설정하기 위한 route discovery 과정에서 RREQ메시지의 flooding을 각 모바일 노드의 에너지 상태에 따라서 지연시키는 방법을 통해 구현하였으며, 동적인 토폴로지 적용으로 인하여 보다 Ad-hoc 네트워크의 환경에 적합하도록 수정되었지만, 배터리의 에너지 상태가 좋은 모바일 노드로 라우팅 경로가 집중 될 수 있는 문제를 갖고 있다.

3. 제안된 패킷 손실 우선순위 알고리즘

본 논문에서 제안하는 알고리즘에서는 battery 소비 측면에서는 다른 On-demand 프로토콜에 비해서 DSR이 효율적이라는 연구결과가 있지만, DSR^[8]은 라우팅 캐쉬를 사용하기 때문에 각 노드의 현재 활성화되어 있는 경로 수를 파악하기 어렵고, 소스라우팅으로 인해 패킷에 포함되는 정보양이 제한되는 문제가 있다. 이에 반해 AODV^[9]는 라우팅 테이블을 이용하기 때문에 설정되어 있는 경로의 수를 파악하기 쉽기 때문에 AODV를 기반으로 한 알고리즘을 제안한다. 일반적으로 경로 재설정에는 Network에 참여하고 있는 노드의 이동성으로 인하여 경로를 이탈하는 경우와 노드의 battery capacity의 소모로 인하여 더 이상 네트워크에 참여할 수 없는 경우에 발생하는 것으로 나눌 수 있다.

여기에 부가적으로 traffic load의 초과에 의한 영향을 들 수 있겠다. 이 논문의 목적은 노드의 battery capacity를 효율적으로 사용함으로 인해 경로 단절이 일어나기 이전에 라우팅 변경에 의해 네트워크의 경로 복구상황을 줄이는데 있다. 다시 말해, 패킷 전송도중 Intermediate node의 에너지 상태를 모니터링하여 battery의 레벨이 낮아지게 된 노드의 경로를 인접노드로 경로 재설정을 하는 것이다. 이에 경로 획득 절차는 기존 ADOV과정을 따르며, 경로 단절 감지로 인한 제안된 알고리즘은 다음과 같다.

가. 알고리즘 동작 원리

설정된 경로상에 노드가 패킷전송에 따른 에너지 소모로 인하여 battery capacity가 결핍되어 갈 때, 결핍 노드B는 그림 1 (a)와 같이 인접노드들에게 상위노드A의 주소를 포함한, HELP메시지를 flooding한다. "HELP"메시지를 받은 노드들 중에서 battery 용량이

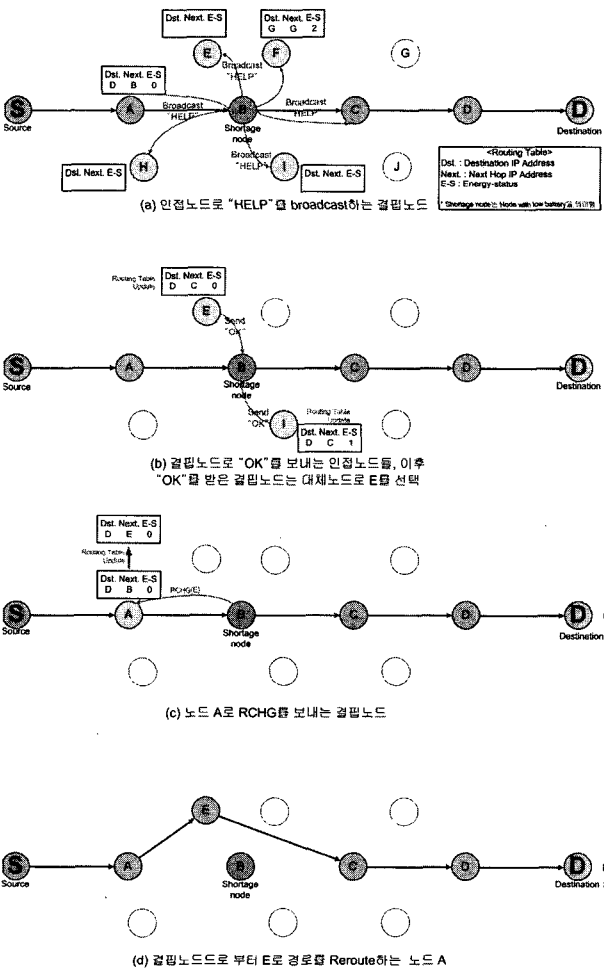


그림 1. 제안된 경로변경 과정

Fig. 1. Proposed route change process.

충분하고, 상위 노드A의 One-hop neighbor에 속한다면, 그림 1 (b)에서와 같이 결핍노드로 "OK"메시지를 보낸다. "OK"메시지를 받은 결핍노드B는 "OK"메시지를 받은 노드들 중에서 battery 용량이 충분한 노드E를 선택해서 그림 1 (c)와 같이 상위 노드A에게 대체노드의 주소E를 포함한 "RCHG"메시지를 보낸다. "RCHG" (route change)메시지를 받은 상위 노드A는 그림 1 (d)와 같이 결핍노드에서 대체노드E로 경로를 변경한다. 이때, 결핍노드B는 노드 i 에서 시간 t 에 대해서 battery에 저장되어 있는 에너지의 용량을 $c_i^t (0 \leq c_i^t \leq 1)$ 이라 할 때, $c_i^t (0 \leq c_i^t < T_i)$ 라 지칭하고, T_i =battery level threshold값으로 T_i 가 0.1일 때의 에너지 c_i^t 를 가진 노드를 결핍노드라 정의한다.

나. 추가된 메시지 형태와 절차

개선된 알고리즘 적용을 위해서 그림 2와 같은 HELP, OK, RCHG메시지를 추가하였다. 먼저 각 노드의 battery 용량에 따라 2byte의 capacity-status를 설정하였다. battery 용량에 따른 capacity-status의 size는 다음과 같다.

- If battery capacity is $c_i^t (0 \leq c_i^t < 0.1)$, capacity-status = 3;
- Else if $c_i^t (0.1 \leq c_i^t < 0.3)$, capacity-status = 2;
- Else If $c_i^t (0.3 \leq c_i^t < 0.5)$, capacity-status = 1;
- Else $c_i^t (0.5 \leq c_i^t)$, capacity-status = 0;

HELP message format

Type (8bits)	Reserved	Capacity -status (2bits)
Prev-hop IP Address (32bits)		
Next-hop IP Address (32bits)		
Destination IP Address (32bits)		
Destination Sequence Number (32bits)		

RCHG message format

Type (8bits)	Reserved	Capacity -status (2bits)
Intermediate node IP Address (32bits)		
Destination IP Address (32bits)		
Sender IP Address (32bits)		

OK message format

Type (8bits)	Reserved	Capacity -status (2bits)
Sender IP Address (32bits)		

그림 2. AODV에 추가된 메시지 형태

Fig. 2. additional message format of AODV.

capacity-status = 3은 결핍노드의 구분을 위해 설정되었고, capacity -status = 2, 1, 0은 대체노드 변경시, battery capacity가 충분한 상태인 노드로의 집중을 막기 위해 설정한다.

III. 실험

■ 시뮬레이션 컴포넌트

본 논문은 본 논문은 제안된 에너지용량기반 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 캘리포니아 버클리 대학에서 개발된 NS(Network Simulator) 2.28을 사용하였다^[10]. NS는 다양한 설정을 기본으로 Ad-hoc 망에서 AODV 동작을 시뮬레이션하여 라우팅 성능 평가에 사용할 수 있다. 제안 알고리즘을 지원하기 위하여 C++로 작성된 AODV code에 HELP, OK, RCHG메시지를 추가하였으며, 제안된 에너지 용량 고려 알고리즘 모델 적용을 위해, Hello패킷 메시지를 수정하여, 에너지필드를 추가하였다. 기본 경로설정과정은 AODV 동작을 기반으로 하였다. 비교를 위해서 표준 AODV알고리즘과 AODV에 에너지를 고려한 제안된 알고리즘을 비교, 성능 평가를 하였다. 표 1과 표2는 시뮬레이션 환경의 파라미터를 보여준다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Initial simulation parameter.

Parameter	Value
MAC type	Mac/802.11
Network interface	Phy/WirelessPhy
Channel type	Channel/WirelessChannel
Interface queue	Queue/DropTail/PriQueue
Antenna type	Antenna/OmniAntenna
Radio-propagation	Propagation/TwoRayGround
Link layer type	LL
queuing packet	50

표 2. 에너지 파라미터

Table 2. Initial energy parameter.

Attribute	Description	Value
Initial Energy	Given energy	200 Joules
rxPower	Receiving power	281.8 mW
txPower	Transmitting power	281.8 mW

■ 시뮬레이션 시나리오

시뮬레이션은 그림 3에서와 같이 제안알고리즘의 실제적인 적용평가를 위해, 다음과 같이 random 토폴로지모

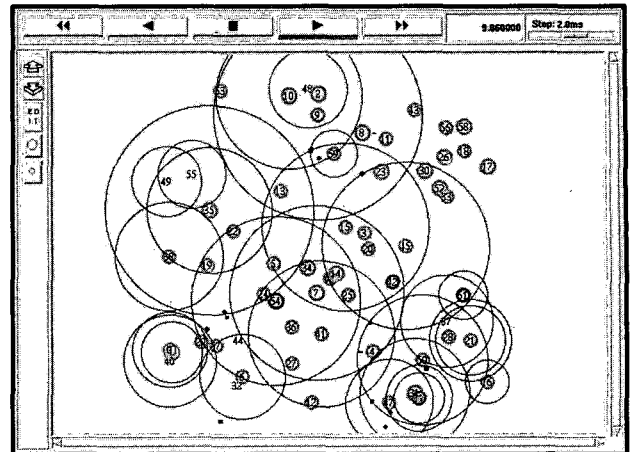


그림 3. 시뮬레이션 네트워크 모델

Fig. 3. Network model for simulation.

델을 설정하였다. 초기 설정에서 60개의 노드를 random하게 분산 배치시켰다. 각 모바일 노드의 배터리에 저장된 초기 에너지는 표 2와 같이 ns-2에서 권장하는 초기값을 설정하였으며, 이 중 20%에 해당하는 노드들에 대해서는 30~60 Joules로 차등 설정해 제안 알고리즘 적용 환경을 만들었다. 시뮬레이션 시간은 200초로 하였으며, 각 5회 반복 시뮬레이션을 하여 평가 적용시켰다.

■ 성능분석

시뮬레이션에서는 실제 Mobile 환경에 근접한 환경을 조성해 성능분석을 하였다. 이에 시뮬레이션 모델에서는 CBR connection을 5~15개로 증가시켜, 점차적으로 충돌이 일어나는 경우, 제안 알고리즘에 일어나는 변화들을 살펴보았으며, 전송 파킷크기는 1024bytes로 하고 CBR Interval은 0.2초로 고정시키고 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4는 AODV알고리즘과 제안알고리즘에서 전체 라우팅 메시지의 Sent, Received message의 추이를 보여준다. 제안알고리즘은 Sent, Received message 두 가지 측면에서 모두 라우팅 메시지수를 기존알고리즘에 비해 감소시켰음을 알 수 있다. AODV는 에너지 소모로 인한 Link-failure 발생시 RERR메시지발생과 더불어 RREQ를 flooding하는 메시지의 증가분이, 제안알고리즘에서 제안하는 경로변경을 위한 이웃노드로의 HELP메시지와 Broadcas메시지. sent-received OK메시지. RCHG메시지의 증가분에 비교해서 더 많음을 알 수 있다. 이는 제안알고리즘이 전체 라우팅메시지를 줄임으로써 OVERHEAD를 줄였음을 의미한다.

그림 5과 그림 6의 RREQ, RERR메시지를 보면, AODV알고리즘이 송신, 수신 측면에서 모두 제안 알고

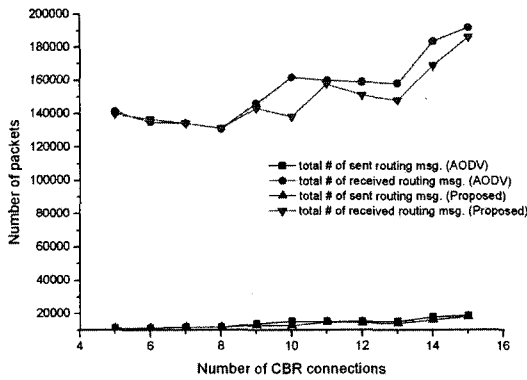


그림 4. Random topology에서 라우팅 메시지
Fig. 4. Number of Routing message in the random topology.

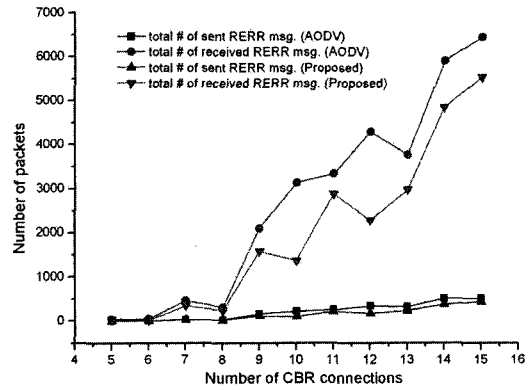


그림 6. Random topology에서 RERR 메시지
Fig. 6. Number of RERR message in the random topology.

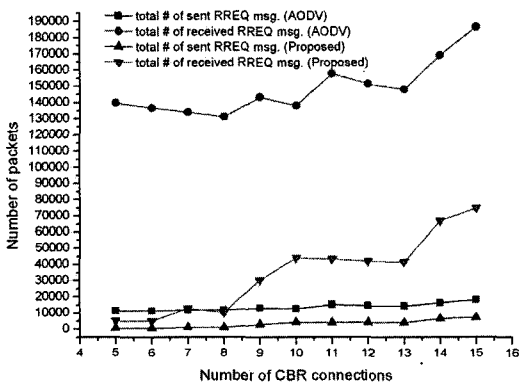


그림 5. Random topology에서 RREQ 메시지
Fig. 5. Number of RREQ message in the random topology.

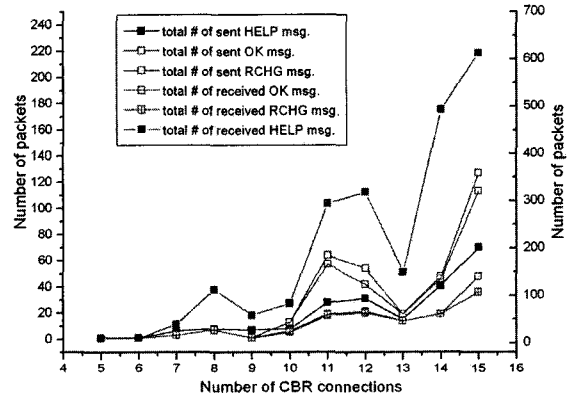


그림 7. Random topology에서 HELP, OK, RCHG 메시지
Fig. 7. HELP, OK, RCHG message in the random topology.

리즘에 비해 RREQ, RERR 메시지가 많음을 볼 수 있다. AODV 프로토콜의 경우, node의 에너지가 모두 소모되어 Link-failure가 일어날 때까지 링크를 유지한 후, RREQ-flooding을 통한 route maintenance 과정을 거치기 때문에, RERR 메시지와 RREQ 메시지 발생을 유발하여 메시지 증가를 보였다.

제안 알고리즘은 그림 7에서 보이는 바와 같이 에너지 상태를 감지하여 Link-failure가 일어나기 전에 경로 변경을 유도하기 때문에 이를 위해, 새로이 추가된 HELP, OK, RCHG 메시지의 추이를 보여준다. HELP 메시지는 sending 할 때, 이웃 node에 Broadcast하기 때문에, receiving 상황에서의 메시지 증가를 보였으며, HELP 메시지를 받은 node 중 충분조건을 만족한 node들이 결핍 node로 OK를 보낸 메시지수에 비해, OK를 받은 결핍 node의 메시지수는 약간의 감소를 나타냈다.

OK 메시지를 받은 결핍 node는 Prev-hop node가 path를 변경하도록 RCHG 메시지를 Prev-hop node로 보내는데, 이는 sent RCHG 메시지와 received RCHG 메시지가 거의 일치함을 보여 충분한 에너지 상태를 보유한 node로의 경로 변경이 대부분 성공하였음을 보여준다.

시뮬레이션 모델에서 전체 60개의 node 중, 20%에 해당하는 node의 에너지를 30~60 Joules로 설정하여, 빠른 시간 안에 결핍 node의 상태가 되도록 하였다. 그림 8에서와 같이 시뮬레이션 과정 중 30~60 Joules로 설정한 node들 중 일부가 에너지를 순차적으로 소모함을 보인다. AODV 알고리즘에서는 에너지를 모두 소모할 때까지 Link가 유지된 후 Dead node가 된 경우이며, 제안 알고리즘에서는 에너지가 10%일 때, 경로 변경을 통해 Link에서 떨어진 후, 주기적인 Hello packet 수신에 의한 나머지 에너지 소모로 인해 Dead

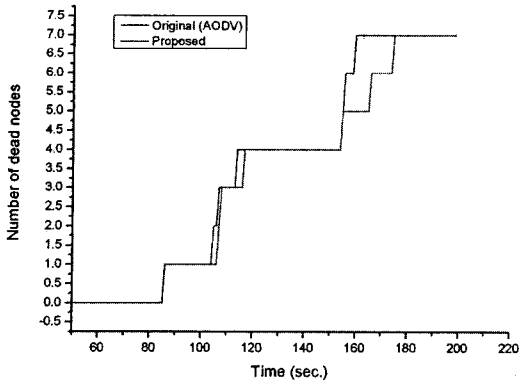


그림 8. Random topology에서 Dead node 발생빈도
Fig. 8. Number of Dead node in the random topology.

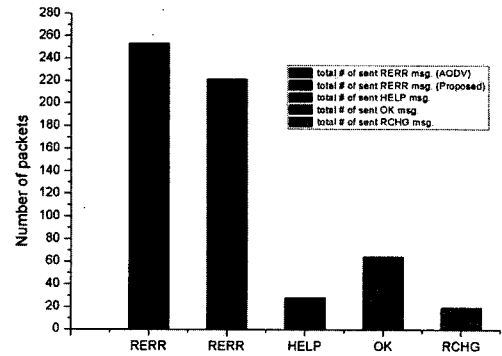


그림 10. Random topology에서 RERR 메시지 비교
Fig. 10. Compared RERR message in the random topology.

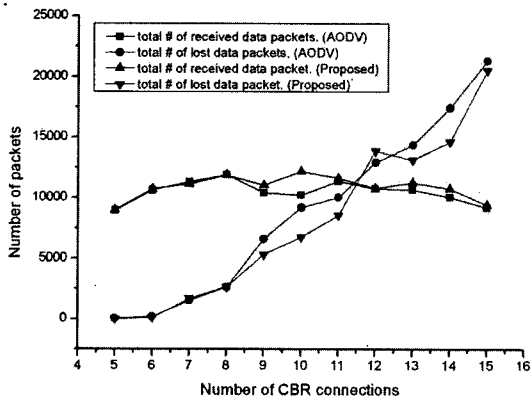


그림 9. Random topology에서 수신, 손실 데이터패킷
Fig. 9. Number of received & lost data Packet in the random topology.

node가 된 경우이다. 제안 알고리즘 노드의 경우는 Link에서 제외 되었을 때, Data packet 전송으로 인한 에너지 소모가 없기 때문에, AODV에 비해, 네트워크 상에서 좀 더 유지 할 수 있었음을 보였다.

그림 9는 DATA Packet의 추이를 나타낸다. 제안 알고리즘은 기존 AODV알고리즘에 비해 수신된 데이터 패킷수가 향상되었다, 또한, 손실된 데이터 패킷수는 기존 AODV알고리즘에 비해 감소되었음을 보여주고 있다. CBR connection의 수를 순차적으로 증가시켰을 때, 시뮬레이션 환경 안에서 적정 수신 데이터 패킷수가 12000정도가 적정함을 보인다. CBR connection의 수가 5~7일 경우는 수신율이 좋아지는 반면 13~15일 경우 네트워크 내의 충돌로 인한 손실율이 상대적으로 증가됨을 보인다.

그림 10은 Random topology에서의 RERR메시지를 비교 분석하였다. 제안 알고리즘의 RERR메시지수를 기

존 AODV알고리즘에서 발생한 RERR메시지수와 비교해 볼 때, 수치의 차이만큼을 제안 알고리즘에서는 HELP메시지로 전환해 OK메시지 수신 이후, RCHG메시지를 통해 경로 변경을 시켰음을 나타내고 있다.

■ 전체 라우팅 메시지 효율

그림 11과 표 3, 표 4는 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 라우팅 패킷 드롭율을 보여준다. CBR 연결별로 측정된 값을 종합하여 백분율로 표시 하였는데 제안 알고리즘의 SEND 라우팅 패킷 드롭율은 평균 7.44%의 성능향상을 나타내었고, RECEIVE 라우팅 패킷 드롭율은 평균 6.17%의 성능향상을 보였다. Receive 라우팅 패킷에 비교해 Send 라우팅 패킷이 1.27%정도 드롭율의 성능향상을 나타냄을 알 수 있다. CBR connection수가 10인 경우의 성능 향상은 약 15%대의 높은 향상효과를 확인할 수 있다.

표 3. 라우팅 패킷 드롭율(Send)

Table 3. Rate of routing packet drops(Send).

Connection	9CBR	10CBR	11CBR	12CBR	13CBR	14CBR
기 존(Pkt.)	13881	15344	15271	15328	15181	17936
제 안(Pkt.)	13139	12769	15065	14494	14161	16314
기존-제한	5.34%	16.78%	1.34%	5.44%	6.71%	9.04%

표 4. 라우팅 패킷 드롭율(Receive)

Table 4. Rate of routing packet drops(Receive).

Connection	9CBR	10CBR	11CBR	12CBR	13CBR	14CBR
기 존(Pkt.)	145975	161763	160078	159131	158292	183791
제 안(Pkt.)	143316	138195	157885	151389	148061	169162
기존-제한	1.82%	14.56%	1.37%	4.86%	6.46%	7.95%

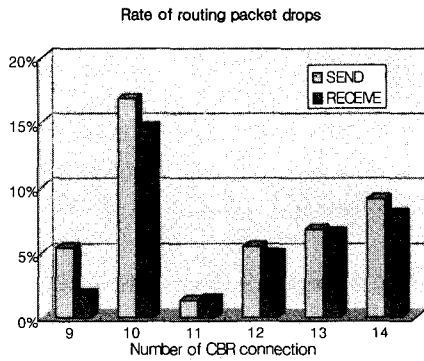


그림 11. 라우팅 패킷 드롭율
Fig. 11. Rate of routing packet drops.

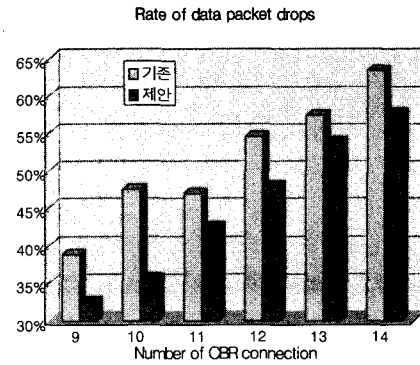


그림 13. 데이터 패킷 드롭율
Fig. 13. Rate of datapacket drops.

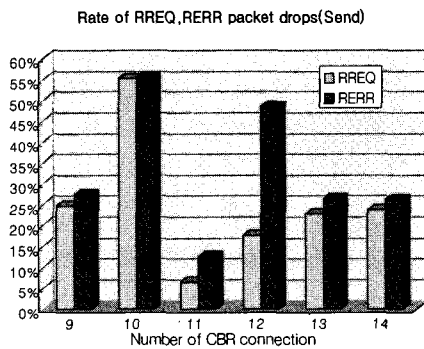


그림 12. RREQ, RERR감소율
Fig. 12. Rate of reduced RREQ, RERR packet.

표 5. RREQ, RERR감소율(Send)
Table 5. Rate of RREQ, RERR drops(Send)

Connection 분류	9CBR	10CBR	11CBR	12CBR	13CBR	14CBR
RREQ	24.74%	55.22%	6.61%	17.69%	22.76%	23.81%
RERR	27.54%	55.60%	12.64%	48.52%	26.39%	26.14%

그림 12와 표 5는 기존 알고리즘에 대비해 제안된 알고리즘의 RREQ, RERR 패킷 감소율을 보여준다. RERR메시지의 드롭율을 보면, 기존 알고리즘에 대비 평균 6.17% 정도의 성능향상을 보이고 있다. 이는 MAC계층에 의한 Link-failure를 제외한 대부분의 RERR를 줄인 것이다. RREQ메시지에서는 기존 알고리즘에서 Link-failure로 인한 경로재설정에 소비되는 RREQ 패킷수 만큼이 향상됨을 나타내고 있다.

■ 전체 데이터 패킷 효율

그림 13와 표 6에서는 기존 알고리즘과 비교 제안된 알고리즘의 데이터 패킷 드롭율을 보여준다. 기존 알고리즘은 에너지가 모두 소모될 때까지 Link상태를 유지

한

표 6. 데이터 패킷 드롭율
Table 6. Rate of data packet drops.

Connection 분류	9CBR	10CBR	11CBR	12CBR	13CBR	14CBR
기존	38.80%	47.39%	46.89%	54.52%	57.36%	63.37%
제안	32.54%	35.72%	42.41%	47.90%	53.78%	57.65%

후 경로단절이 이루어 질 경우, 에너지 소모시 노드의 Queue에 쌓여 있는 패킷들은 모두 제거가 되는 반면, 제안 알고리즘은 에너지를 모두 소모하기 이전에 경로 변경을 통해, 노드의 에너지가 모두 소모되기 이전에 자신의 노드에 Queuing 되어있는 패킷을 모두 전송한 후, 경로에서 제외되기 때문에, 제안 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 평균 6.29%라는 데이터 패킷의 전송 향상을 나타냈다.

IV. 결 론

본 논문에서는 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector)라우팅 프로토콜을 기반으로, 경로 설정 시 RREQ, RREP, RERR 메시지를 이용하여, 경로 획득 절차와 경로 유지 절차를 통해서 최단 경로를 찾아 전송을 하는 알고리즘을 기초로 하여, 경로상의 노드가 배터리에 저장되어 있는 한정된 에너지를 가지고 동작하기 때문에, 배터리 소모로 인해서 발생할 수 있는 경로 재설정 과정을 미연에 방지시키는 알고리즘을 적용해 에너지 소모를 줄이는 방안을 제시하였다.

이를 위해, AODV의 안정적인 경로유지를 위해 이웃 노드들의 에너지 정보를 바탕으로 특정노드가 배터리 완전 소모로 인한 경로 단절을 피하기 위해 이웃 노드로 경로 변경 기능을 제공하는 라우팅 알고리즘을 제안했으며, 제안된 라우팅 알고리즘은 기존 AODV

프로토콜에 HELP, OK, RCHG 메시지를 추가하여 경로상의 노드가 모든 에너지를 소모하기 이전에 이를 감지하여, 에너지가 충분한 이웃 노드로의 경로 변경함으로써 경로 단절 확률을 낮추며, 경로 단절에 따른 패킷 손실과 전송 지연시간 줄임은 물론, 전송효율을 높이고자 하였다.

시뮬레이션 결과에서 보여진 바와 같이 제안된 알고리즘은 전체 데이터 패킷수를 증가시키면서도, 데이터 패킷 드랍율을 평균 6.29% 감소시켜 성능향상을 보였으며, 전체 라우팅 패킷수를 감소시키면서 또한, 라우팅 패킷 드랍율을 평균 7.44% 감소시킴으로 인해, Overhead 감소로 인해 발생하는 에너지소모는 줄이고, 데이터전송효율은 높였음을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] S. Corson and J. Macker, "Mobile Ad-hoc networking (manet): Routing protocol performance issues and evaluation considerations," RFC 2501, Jan. 1999.
- [2] Charles E. Perkins, Ad Hoc Networking, Addison Wesley, 2001, pp. 29-51.
- [3] J. Chang and L. Tassiulas, "Energy Conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks", IEEE INFOCOM 2000, pp. 22-31, 2000.
- [4] Elizageth M. Royer & Chai-Keong Toh "A Review of Current Routing Protocols for Ad hoc Mobile Wireless Networks", IEEE personal Communications Apr. 1999.
- [5] C. E. Perins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance vector (DSDV) for mobile computers", ACM SIGCOMM '94, pp. 234-244, Aug. 1994.
- [6] 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.
- [7] Wei Yu, Jangwon Lee, "DSR-based Energy-aware Routing Protocols in Ad-hoc networks" in Proceedings of the International Conference on Wireless Networks (ICWN), Las Vegas, Nevada, http://www.ece.utexas.edu/~jangwlee/energy_wei.pdf, June 2002.
- [8] D.B.Jonsone et al., "The dynamic source routing protocol for mobile adhoc networks", IETF internet Draft. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-02.txt>, 1999.
- [9] J. Chang and L. Tassiulas, "Energy Conserving Routing in wireless Ad-hoc Networks", IEEE INFOCOM 2000, pp. 22-31, 2000.
- [10] S. McCanne, S. Floyd. NS. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

저 자 소 개

김 관 웅(정회원)

1996년 전북대학교 전자공학과 학사 졸업.
1998년 전북대학교 전자공학과 석사 졸업.
2002년 전북대학교 전자공학과 박사 졸업.
현 원광대학교 전기전자정보공학부 전임강사
<주관심분야 : MANET, 무선통신, 컴퓨터>

반 책(학생회원)

2004년 6월 전자공학회 논문지
제 41 권 TC편 제 6 호 참조

전 병 실(정회원)

2002년 4월 전자공학회논문지
제39권 TC편 제4호 참조



이 정 수(정회원)-교신저자

2003년 전북대학교
전자공학과 학사 졸업.

2006년 전북대학교
전자공학과 석사 졸업.

2006년 현재 삼성전자 정보통신
사업부 근무

<주관심분야 : 무선통신, QoS, 센서네트워크>

정 경 택(정회원)

2002년 4월 전자공학회논문지
제39권 TC편 제4호 참조