

# 무선 메쉬 네트워크를 위한 방향성 AODV 라우팅 프로토콜의 성능 평가

정희원 최재인\*, 김대환\*, 래안녹\*, 이인수\*\*, 종신회원 조유제\*

## Performance Evaluation of Directional AODV Routing Protocol for Wireless Mesh Networks

Jae-In Choi\*, Dae-Hwan Kim\*, Anh Ngoc Le\*, In-Soo Lee\*\* *Regular Members*  
You-Ze Cho\* *Lifelong Member*

### 요약

무선 메쉬 네트워크 (WMN: Wireless Mesh Networks)는 망을 저렴한 비용으로 빠르게 구축할 수 있는 장점 때문에 새롭게 부각되고 있는 차세대 네트워킹 기술이다. WMN은 애드 혹 네트워크와 유사한 특성 때문에 애드 혹 라우팅 프로토콜을 주로 사용하고 있다. 현재 몇몇의 WMN 연구에서 Ad-hoc On-demand Distance Vector (AODV), Dynamic Source Routing (DSR)과 같은 on-demand 방식의 라우팅 프로토콜이 사용되었다. AODV 라우팅 프로토콜은 route request (RREQ) 패킷을 망 전체로 플러딩하여 경로 설정을 한다. 하지만 이와 같은 플러딩 기반의 경로 설정 방식은 대부분의 트래픽이 게이트웨이를 목적지로 갖는 WMN에는 불필요한 라우팅 오버헤드를 발생시킬 수 있기 때문에 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 라우팅 오버헤드를 감소시키기 위해 기존의 AODV를 개선한 방향성 AODV (D-AODV: Directional AODV) 라우팅 프로토콜을 제안하고 테스트베드를 통해 동작 검증 및 성능 측정을 하였다. 측정된 결과를 통해서 D-AODV가 AODV에 비해 라우팅 오버헤드가 감소하며 이를 통해 망 전체의 처리율 또한 향상함을 확인할 수 있다.

**Key Words** : Network Routing, Wireless Mesh Network, AODV, Directional AODV

### ABSTRACT

Wireless Mesh Networks (WMNs) are popular due to their low cost and rapid deployment. Currently, many WMN researchers often consider the use of ad-hoc routing protocols because WMNs are similar to the ad-hoc networks. Some of currently deployed WMNs consider to use on-demand routing protocols such as Ad-hoc On-demand Distance Vector (AODV) and Dynamic Source Routing (DSR). But, AODV are not appropriate for Wireless Mesh Networks (WMNs), because flooding-based route discovery is both redundant and expensive in terms of control message overhead. In this paper, we propose a directional AODV (D-AODV) routing protocol based on hop count to a gateway. We implement the D-AODV routing protocol and evaluate the performance of the D-AODV on the testbed. The measurement results show that the D-AODV can enhance the network throughput by reducing the routing overhead.

※ 본 연구는 한국과학재단의 특정기초 (R01-2006-000-10753-0)사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

\* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (cji1206, hitler11, anhngoc, yzcho@ee.knu.ac.kr)

\*\* KT 네트워크 기술 연구소 (gazette@kt.com)

논문번호 : KICS2008-02-081, 접수일자 : 2008년 2월 12일, 최종논문접수일자 : 2008년 9월 2일

## I. 서 론

무선 메쉬 네트워크 (WMN: Wireless Mesh Networks)는 무선 통신 기술을 이용해 무선 망을 인터넷 접속을 위한 백본 망으로 사용하고자 하는 망 기술로 저렴한 비용으로 빠르게 구축할 수 있다는 장점이 있다. WMN은 메쉬 라우터와 메쉬 클라이언트로 구성된다. 메쉬 라우터는 이동성이 거의 없이 WMN의 무선 백본 망을 형성하고 메쉬 클라이언트는 정지해 있거나 이동성을 가지며 메쉬 라우터에 접속해 인터넷 서비스를 받는다.

WMN는 다중 홉 통신을 한다는 점에서 기존의 애드혹 네트워크와 유사하다. 하지만 WMN이 애드혹 네트워크와 크게 구별되는 특징은 대부분의 트래픽이 게이트웨이로 향한다는 것이다<sup>1)</sup>.

애드혹 라우팅 프로토콜은 크게 on-demand, proactive, hybrid 방식으로 분류할 수 있다<sup>2)</sup>. 현재 여러 WMN 연구에서 on-demand 방식의 라우팅 프로토콜이 고려되었는데 Microsoft Mesh 테스트베드에서는 Dynamic Source Routing (DSR) 프로토콜, Kyon 네트워크에서는 Ad-hoc On-demand Distance Vector (AODV) 라우팅 프로토콜이 사용되었다<sup>3-5)</sup>. 하지만 이와 같은 on-demand 방식은 높은 이동성을 갖고 단말과 단말간의 트래픽을 갖는 애드혹 네트워크를 위해서 설계되었다. 따라서 링크 상태가 오랫동안 유지되고 트래픽이 사용자 단말에서 게이트웨이로 향하는 WMN에는 기존의 on-demand 방식은 적합하지 않다.

On-demand 방식의 AODV 라우팅 프로토콜은 소스 노드가 route request (RREQ) 패킷을 네트워크 전체로 플러딩하면 이를 수신한 목적지가 route reply (RREP) 패킷을 역방향으로 전달하여 경로를 설정한다. 하지만 이와 같은 플러딩 방식을 사용하는 AODV 라우팅 프로토콜에서는 broadcast storm과 같은 문제가 발생할 수 있다<sup>6)</sup>. 즉, 망 내에 모든 노드들이 수신 패킷의 재전송을 시도하기 때문에 중복되는 패킷에 의한 트래픽이 발생하게 되고 노드간 패킷을 전송하기 위한 경쟁, 충돌에 의해서 일부 노드는 패킷을 수신할 수 없는 문제가 발생할 수 있다. 이와 같은 broadcast storm 문제는 높은 처리율을 요구하는 WMN의 성능을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 트래픽이 사용자 단말에서 게이트웨이로 향하는 WMN에서 라우팅 오버헤드를 줄이기 위해 기존의 AODV를 개선한 홉 기반 경로 설정 방안인 방향성 AODV (D-AODV: Directional AODV) 라우팅 프로토콜을 제안한다.

서론에 이어 제 II장에서는 관련 연구 대해서 간단히 언급하고 제 III장에서는 제안한 D-AODV에 대해서 설명한다. 제 IV장에서 테스트베드의 구현에 대해서 설명하고 제 V장에서 성능 평가를 한 후, 제 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

기존 연구에서 네트워크에 브로드캐스트되는 라우팅 패킷 수를 줄임으로써 AODV의 성능을 향상시키기 위한 여러 방안들이 연구 되었다. AODV-NC<sup>7)</sup>는 브로드캐스트되는 RREQ의 오버헤드를 줄이기 위해 노드 캐싱을 사용했다. 최근에 데이터 패킷을 전달했던 노드들이 이웃 노드에 대한 신뢰성 있는 정보를 가지고 있다는 점을 이용했다. 즉, 데이터 패킷을 전달했던 노드들을 캐싱하고 있다가 RREQ를 전달할 때 이 노드들을 이용하여 RREQ를 전달하면 다른 노드에서 전달해야하는 RREQ의 수를 줄임으로써 상당한 라우팅 오버헤드를 줄일 수 있게 된다.

일반적으로 애드혹 네트워크에서 인터넷 연결을 위해서는 게이트웨이를 거쳐서 이루어져야 한다. 따라서 인터넷 연결을 위해서 우선적으로 노드에 의해 게이트웨이가 탐색되어야 하는데<sup>8)</sup>에서는 Hello 메시지를 이용하여 게이트웨이 정보를 네트워크에 분산시키는 방안을 사용하였다. 이 방안의 성능은 기존의 게이트웨이 탐색 알고리즘 보다 핸드오버 지연시간이나 탐색 지연 시간 측면에서 현저하게 개선되었다.

## III. 방향성 AODV (D-AODV)

본 장에서는 사용자 단말과 게이트웨이간의 트래픽을 갖는 WMN에서 라우팅 오버헤드를 줄이기 위해 제안한 D-AODV에 대해서 설명한다. D-AODV는 소스와 게이트웨이간의 경로 설정에서 중복되는 RREQ 패킷의 수를 줄이기 위해 게이트웨이로부터의 홉 수를 기반으로 RREQ 패킷을 브로드캐스트한다. 즉, 게이트웨이로부터의 홉 수가 작은 쪽으로는 RREQ 패킷을 전달하고 큰 쪽으로는 RREQ 패킷을 제한하여 망 내에 중복되는 RREQ 패킷을 줄일 수 있다. D-AODV는 크게 홉 카운트 설정 과정과 경로 설정 과정으로 나눌 수 있다.

### 3.1 홉 카운트 설정 과정

홉 카운트 설정 과정은 망 내의 모든 노드가 게이트웨이로부터의 홉 카운트 값을 획득할 수 있게 하



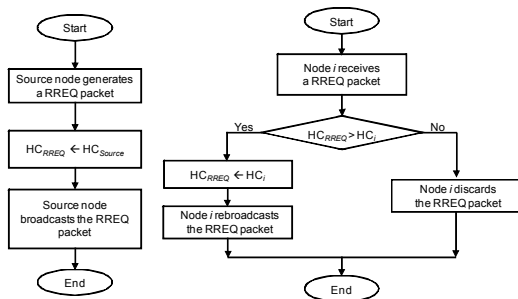
그림 1. 홉 카운트 설정 과정

는 과정으로 그림 1과 같다.

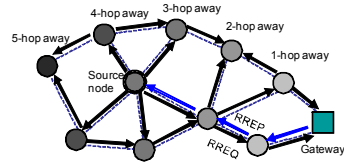
홉 카운트 설정은 Hello 패킷을 이용한다. 게이트웨이는 자신의 홉 카운트 값을 0으로 설정하고 Hello 패킷의 홉 카운트 필드에 자신의 홉 카운트 값을 넣어서 이웃 노드로 브로드캐스트한다. 이 Hello 패킷을 수신한 노드들은 Hello 패킷의 홉 카운트 값에 1을 더해서 자신의 홉 카운트 값으로 설정하고 Hello 패킷의 홉 카운트 필드를 자신의 홉 카운트 값으로 갱신하여 다시 이웃 노드로 브로드캐스트하게 된다. 이와 같은 과정이 반복되어 전체적으로 네트워크 안의 모든 노드가 게이트웨이로부터의 홉 수를 획득하게 된다.

### 3.2 경로 설정 과정

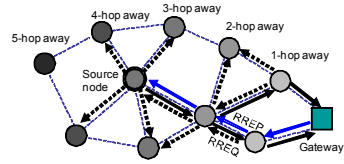
경로 설정 과정은 소스와 게이트웨이간의 경로가 필요할 경우 그림 2 (a)와 같이 소스가 RREQ 패킷을 생성하여 경로 탐색을 시작한다. 이 때 사용하는 RREQ 패킷에는 홉 카운트 (HC) 필드가 추가되고 이 필드에 홉 카운트 설정 과정을 통해서 획득한 자신의 홉 카운트 값을 넣어서 이웃 노드로 브로드캐스트한다. RREQ 패킷을 수신한 노드들은 그림 2 (b)와 같이 자신이 획득한 홉 카운트 값과 RREQ 패킷의 홉 카운트 값을 비교해 높은 홉에서 전송한 경우에는 RREQ 패킷을 이웃 노드로 브로드캐스트하고 그렇지 않은 경우는 패킷을 폐기한다. RREQ 패킷이 게이트웨이에 도착하면 기존의 AODV와 동일하게 RREP 패킷을 소스로 유니캐스트하여 경로를 확립한



(a) 소스 노드 (b) 중계 노드  
그림 2. RREQ 패킷 처리 순서도



(a) AODV



→ Broadcasted RREQ message → Replied RREQ message → Discarded RREQ message

(b) D-AODV

그림 3. AODV와 D-AODV의 경로 설정 과정 비교

다. 그림 3은 AODV와 D-AODV의 경로 설정 과정을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 3에서 보면 D-AODV는 경로 설정시 RREQ 패킷을 전체 3번 브로드캐스트하지만 AODV는 9번 브로드캐스트하는 것을 볼 수 있다. 이처럼 D-AODV에서 발생하는 RREQ 패킷이 AODV에 비해 적음을 확인할 수 있다.

## IV. 테스트베드 구현

WMN 테스트베드는 건물 내부 실험실에 9대의 메쉬 라우터와 1대의 게이트웨이를 배치하여 그림 4와 같이 구축하였다. 게이트웨이와 메쉬 라우터의 구성은 표 1과 같고 Network Time Protocol (NTP)<sup>[9]</sup>을 사용하여 메쉬 라우터들 사이의 시간 동기를 맞추었다. 물리적으로 full mesh 형태인 테스트베드의 토폴로지는 Netfilter<sup>[10]</sup>를 이용해 MAC 주소를 필터링함으로써 그림 4와 같은 논리적인 토폴로지로 구성하였다. 테스트베드의 구조는 그림 5와 같다. 게이트웨이는 인터넷을 연결하기 위한 유선 인터페이스와 백본 망을 형성하기 위한 무선 인터페이스를 가지며 메쉬 라우터들은 백본 망 형성을 위한 무선 인터페이스만을 가진다. 무선 랜카드는 ad-hoc 모드로 설정하고 채널 1번을 사용하였으며 IP는

표 1. 게이트웨이 / 메쉬 라우터의 구성 요소

구성 요소	내용
하드웨어	1.5GHz Intel Celeron M430 CPU 512MB RAM
운영체제	Linux kernel 2.6
무선 인터페이스	Linksys WUSB54G (802.11b/a/g)

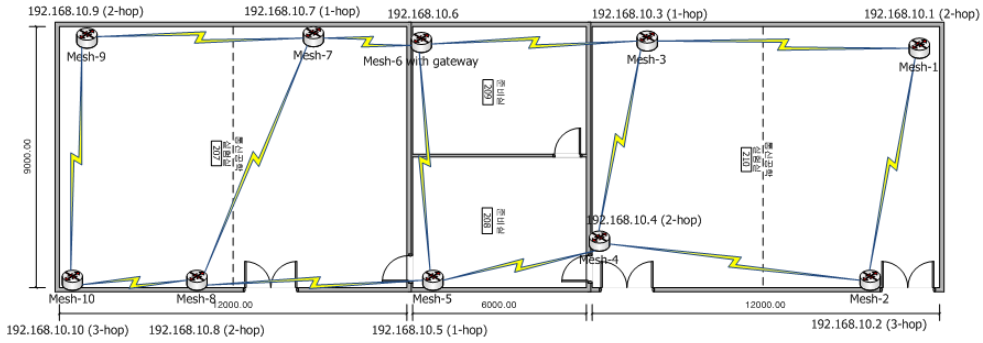


그림 4. 테스트베드 배치도면

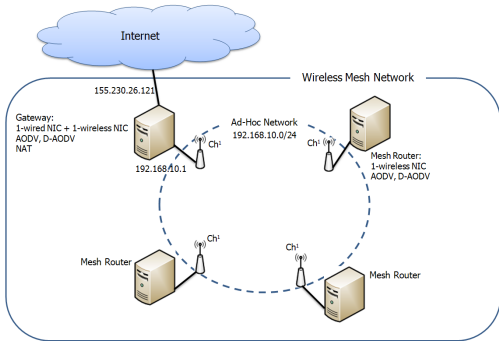


그림 5. WMN 테스트베드 구조

192.168.10.0/24를 할당하였다. 게이트웨이에 NAT (Network Address Translation)를 설치하였으며 게이트웨이와 메쉬 라우터에 AODV와 D-AODV 라우팅 프로토콜을 설치하였다. AODV는 Uppsala 대학에서 개발한 AODV-UU<sup>[11]</sup>를 사용하였고 D-AODV는 AODV-UU를 수정하여 구현하였다.

### V. 성능 평가

본 장에서는 테스트베드를 통해 D-AODV와 AODV와의 성능을 평가했다. Iperf traffic generator<sup>[12]</sup>를 이용하여 트래픽을 발생시켰고 소스의 수를 다르게 하여 D-AODV와 AODV의 성능을 평가 하였다. 또 성능 평가 요소로 라우팅 오버헤드와 처리율을 사용하였다. 라우팅 오버헤드는 전달된 모든 패킷수에 대한 제어 패킷 수의 비로 나타났었고 처리율은 목적지에서 단위 시간당 성공적으로 수신한 비트 수로 나타내었다.

#### 5.1 트래픽 소스가 1개인 경우

트래픽 소스가 1개인 경우 트래픽 발생은 표 2와 같이 UDP와 TCP 트래픽을 발생시켰다.

표 2. 소스가 1개인 경우 트래픽 발생 시나리오

트래픽	소스 노드	목적지
1-hop 트래픽	Mesh-3	Mesh-6 (gateway)
2-hop 트래픽	Mesh-4	Mesh-6 (gateway)
3-hop 트래픽	Mesh-2	Mesh-6 (gateway)

#### 5.1.1 UDP 트래픽 성능 평가

UDP 트래픽은 1Mbps CBR (Constant Bit Rate) 트래픽을 발생시켰다. 먼저 그림 4와 같은 토폴로지에서 AODV와 D-AODV의 경로 설정 시 발생하는 RREQ와 RREP 패킷의 수를 이론적으로 비교해 보면 표 3과 같다. 1홉 노드인 Mesh-3에서 경로 설정을 했을 때 AODV에 비해 D-AODV의 제어 패킷의 수는 70%가 감소하고 2홉인 Mesh-4에서는 40%, 3홉인 Mesh-2에서는 30%가 감소하는 것을 볼 수 있다.

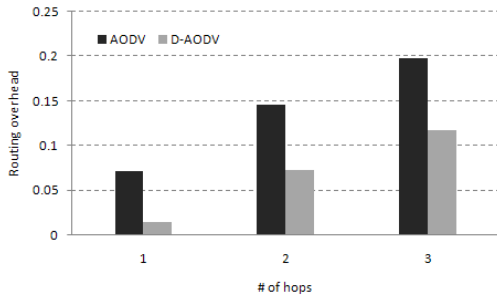
실제 측정된 라우팅 오버헤드는 그림 6 (a)와 같이 1홉에서 80%, 2홉에서 50%, 3홉에서 40%가 감소했다. 이와 같은 결과는 앞서 설명한 이론적인 값과 약간의 차이를 가지고 있는데 이는 위에서 구한 이론적인 값은 RREQ와 RREP의 패킷들만을 고려했지만 실제 측정된 라우팅 오버헤드는 전체 수신한 모든 패킷에 대한 제어 패킷의 수로 나타났었기 때문에 실제 수신된 데이터 패킷의 수에 따라 차이를 보일

표 3. 라우팅 제어 패킷 수 비교

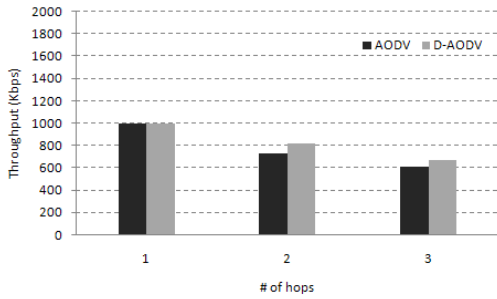
소스 노드	라우팅 제어 패킷의 수 (RREQ+RREP)	
	AODV	D-AODV
Mesh-3 (1-hop 노드)	14	4
Mesh-4 (2-hop 노드)	15	6
Mesh-2 (3-hop 노드)	16	11

표 4. 소스가 2개인 경우 트래픽 발생 시나리오

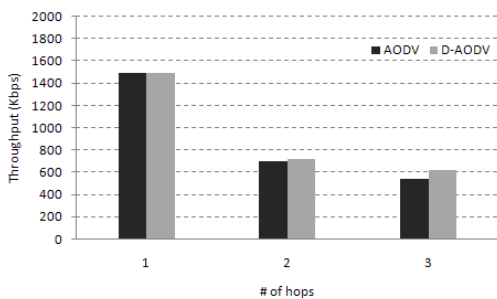
트래픽	소스 노드	목적지
1-hop 트래픽	Mesh-3, Mesh-7	Mesh-6 (gateway)
2-hop 트래픽	Mesh-4, Mesh-8	Mesh-6 (gateway)
3-hop 트래픽	Mesh-2, Mesh-10	Mesh-6 (gateway)



(a) 홉 수에 따른 라우팅 오버헤드



(b) 홉 수에 따른 UDP 처리율



(c) 홉 수에 따른 TCP 처리율

그림 6. 트래픽 소스가 1개인 경우의 AODV와 D-AODV의 성능 비교

수 있다. 하지만 측정된 값이 이론적인 값과 10%의 오차를 보이지만 이론적인 값과 유사하게 전체적으로 D-AODV의 라우팅 오버헤드가 AODV의 라우팅 오버헤드보다 감소하는 것을 확인할 수 있다.

측정된 처리율은 그림 6 (b)와 같다. 1홉에서는 AODV나 D-AODV나 거의 동일한 처리율을 볼 수

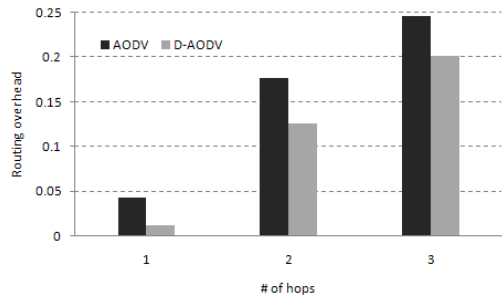
있는데 이는 경로가 1홉이기 때문에 전송을 위한 경쟁이 없어서 데이터 패킷의 손실이 발생하지 않아 AODV나 D-AODV가 동일한 처리율을 갖는다. 하지만 2홉부터는 전송을 위한 경쟁과 경로 설정 시 발생하는 오버헤드가 데이터 패킷의 손실을 야기하기 때문에 처리율이 1홉에 비해 낮아지게 되고 D-AODV가 AODV보다 향상됨을 확인할 수 있다. 처리율은 2홉에서 가장 많은 12%가 증가했는데 이와 같은 결과는 경로 설정 시 감소되는 오버헤드로 인하여 손실되는 데이터 패킷의 수가 감소하기 때문이다.

### 5.1.2 TCP 트래픽 성능 평가

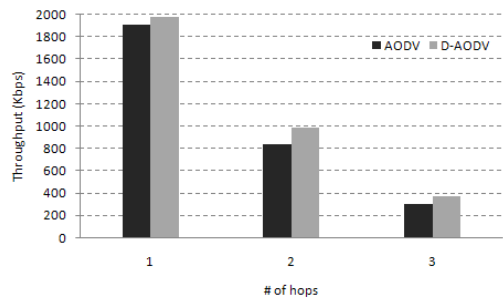
TCP 트래픽에서 측정된 처리율은 그림 6 (c)와 같고 TCP 트래픽에서의 처리율도 UDP 트래픽과 유사하게 D-AODV의 처리율이 AODV에 비해서 증가함을 확인할 수 있다.

## 5.2 트래픽 소스가 2개인 경우

트래픽 소스가 2개인 경우의 트래픽 발생은 표 4와 같고 1Mbps CBR 트래픽을 발생시켰다. 측정된 라우팅 오버헤드를 보면 그림 7 (a)와 같다. 1홉에



(a) 홉 수에 따른 라우팅 오버헤드



(b) 홉 수에 따른 UDP 처리율

그림 7. 트래픽 소스가 2개인 경우의 AODV와 D-AODV의 성능 비교

서 D-AODV가 AODV에 비해 72%가 감소했고 2홉에서는 28%, 그리고 3홉에서는 18%가 감소하여 전체적으로 D-AODV의 라우팅 오버헤드가 AODV의 라우팅 오버헤드보다 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 처리율은 그림 7 (b)와 같고 대체적으로 D-AODV가 AODV보다 처리율이 증가함을 확인할 수 있다. 위에서 측정된 결과들을 통해 D-AODV가 AODV보다 무선 메쉬 네트워크에서 더 좋은 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 WMN에서 라우팅 오버헤드를 줄이기 위한 새로운 라우팅 프로토콜인 D-AODV를 제안하였다.

D-AODV는 게이트웨이까지의 홉 수를 기반으로 방향성 플러딩을 사용하기 때문에 경로 설정시 브로드캐스트되는 RREQ 패킷의 수를 줄일 수 있다.

제안한 D-AODV는 테스트베드를 통해 동작 검증 및 성능 평가를 하였고 라우팅 오버헤드와 처리율을 성능 평가 요소로 기존의 AODV와 성능을 비교하였다. 트래픽 소스의 수를 다르게 하여 성능을 평가했으며 측정된 결과 소스가 1개일 경우나 2개일 경우 모두 라우팅 오버헤드는 홉 수에 따라 D-AODV가 AODV에 비해 전체적으로 감소했으며 이를 통해 망 전체의 처리율 또한 향상함을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

[1] I. F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey," *Computer Networks Journal*, Vol.47, pp.445-487, Mar. 2005.

[2] E. M. Royer, and C. K. Toh, "A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks," *IEEE Personal Communications Magazine*, Vol.6, pp.46-55, Apr. 1999.

[3] Microsoft Mesh Networks. Available from: <<http://research.microsoft.com/mesh>>.

[4] Kiyon Autonomous Networks. Available from: <<http://www.kiyon.com>>.

[5] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad hoc on-demand distance vector routing," in *Proc. of the*

*2nd IEEE workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 1999.

[6] Y.C. Tseng, S. Y. Ni, Y. S. Chen, and J. P. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network," *ACM/Kluwer Wireless Networks*, Vol.8, pp.153-167, Mar. 2002.

[7] S. Jung, N. Hundewale, and A. Zelikovsky, "Node caching enhancement of reactive ad hoc routing protocols," in *Proc. of WCNC*, 2005.

[8] K. Ramachandran, M. Buddhikot, G. Chandranmenon, S. Miller, E. Belding-Royer, and K. Almeroth. "On the design and implementation of infrastructure mesh networks," in *Proc. of the IEEE Workshop on WiMesh*, IEEE Press, 2005.

[9] Network Time Protocol. Available from: <<http://www.ntp.org/>>.

[10] Netfilter. Available from: <<http://www.netfilter.org/>>.

[11] AODV-UU. Available from: <<http://core.it.uu.se/core/index.php/AODV-UU>>.

[12] Iperf traffic generator. Available from: <<http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>>.

최 재 인 (Jae-In Choi)

정회원



2006년 2월 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 졸업  
 2008년 2월 경북대학교 전자공학과 석사  
 2008년 3월~현재 경북대학교 전기 컴퓨터학부 박사과정  
 <관심분야> 무선 메쉬 네트워크, WiMAX

김 대 환 (Dae-Hwan Kim)

정회원



2006년 2월 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 졸업  
 2007년 3월~현재 경북대학교 전기 컴퓨터학부 석사과정  
 <관심분야> 무선 메쉬 네트워크, PMIPv6

래 안 녹 (Anh Ngoc Le)

정회원



1996년 Vinh University 졸업  
2001년 Hanoi University of  
Technology 석사  
2006년 3월~현재 경북대학교 전  
기컴퓨터학부 박사과정  
<관심분야> 무선 메쉬 네트워크

이 인 수 (In-Soo Lee)

정회원



1991년 2월 경북대학교 전자공학  
과 졸업  
1993년 2월 경북대학교 전자공학  
과 석사  
2001년 3월~현재 경북대학교 전  
기컴퓨터학부 박사과정  
<관심분야> 무선 메쉬 네트워크,  
WiMAX, IPTV

조 유 제 (You-Ze Cho)

종신회원



1982년 서울대학교 전자공학과  
졸업  
1983년 한국과학기술원 전자공학  
과 석사  
1988년 한국과학기술원 전자공학  
과 박사  
1989년~현재 경북대학교 전자전  
기컴퓨터학부 교수

1992년 8월~1994년 1월 Univ. of Toronto 객원교수  
2002년 2월~2003년 1월 미국 국립표준연구소 (NIST),  
객원 연구원  
<관심분야> 차세대 이동통신, BcN, 무선 메쉬 네트워  
크, 센서 네트워크