

# 하이브리드 무선 메시 네트워크를 위한 듀얼모드-AODV

(Dual Mode-AODV for the Hybrid Wireless Mesh Network)

김 호 철<sup>1)\*</sup>  
(Hocheal Kim)

**요 약** 무선 네트워크 기술과 무선 전송 기술의 발전으로 인해 무선 전달망(Wireless Transit Network) 구성 기술로서 무선 메시 네트워크(WMN)가 관심을 받고 있다. 오랜 기간 다양한 영역에서 WMN에 대한 연구가 진행되었지만 아직 해결되지 않은 문제들이 많이 남아있다. 그 중 하나가 무선 링크로 구성된 다중 홉 네트워크에서 최적 경로를 찾는 라우팅 문제이다. WMN의 3가지 구성유형 중 하나인 하이브리드 WMN에서 최적 경로 선택을 위해서는 우수한 성능의 메트릭 연구와 함께 효과적으로 인프라스트럭처 메시지를 전달망으로 사용하기 위한 경로 검색 프로토콜 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 하이브리드 WMN을 위한 듀얼모드-AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector)를 제안한다. 본 논문에서 제안된 듀얼모드-AODV를 하이브리드 WMN에 적용하는 경우 AODV에 비하여 경로 검색 지연시간이 52% 감소하는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

**핵심주제어** : 무선 메시 네트워크, AODV, 하이브리드 WMN, MANET

**Abstract** With the Development of Wireless Network Technology and Wireless Link Technology, Wireless Mesh Network (WMN) is Attracting Attention as a Key Technology to Construct the Wireless Transit Network. The WMN has been Studied for a Long Time in Various Fields, however there are still many Problems that have not been solved yet. One of them is the Routing Problem to find an Optimal path in a Multi-hop Network Composed of Wireless Links. In the Hybrid-WMN, which is one of the Three Types of WMN, Optimal Path Selection Requires Research on Path Search Protocols that Effectively use the Infrastructure Mesh as a Transit Network, Together with Research for a Routing Metric with Excellent Performance. Therefore, this Paper Proposes a Dual Mode-AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector) for Hybrid-WMN. Simulation result shows that the Path Selection Delay was Reduced by 52% than AODV when the Proposed Dual Mode-AODV was applied.

**Key Words** : Wireless Mesh Network, AODV, Hybrid WMN, MANET

## 1. 서 론

\* Corresponding Author : kimhc@uc.ac.kr

† 이 논문은 울산과학기술대학교의 2014년 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

Manuscript received Dec, 3, 2016 / revised Jan, 11, 2017 / accepted Jan, 13, 2017

1) 울산과학기술대학교 컴퓨터정보학부

무선 기술이 발달하고 무선 이동 노드가 증가하면서 사용자의 새로운 무선 네트워크 서비스 요구가 많아지고 있다. WMN(Wireless Mesh Network)은 이러한 요구에 대응하는 중요 방안 중의 하나 임은 의심할 여지가 없다. 이미 사용 중이거나 새롭게 개발될 무선 네트워크들을 통합

해 적은 비용으로 새로운 다양한 무선 서비스를 신속하게 제공하는 것이 WMN에 의해 가능해질 것이다. WMN의 이런 특징과 장점으로 인해 오랜 기간 연구가 진행되어왔고 많은 결과물들이 발표되었다. 하지만 각 프로토콜 계층별로 아직 해결해야 할 과제가 많이 남아 있으며, 본 논문이 관심을 두고 있는 라우팅 문제도 이들 중 하나이다.

WMN의 라우팅 문제 해결을 위한 연구분야로는 무선 링크로 구성되는 다중 홉 경로를 발견하기 위한 라우팅 프로토콜과 발견된 경로들 중에서 최적의 경로를 선택하기 위한 라우팅 메트릭으로 분류할 수 있다. 현재까지 WMN을 위한 라우팅 프로토콜은 대부분 MANET(Mobile Ad hoc Network)[1-3] 기반의 방안을 사용하고 있으며, 여기에 WMN의 특성을 반영한 메트릭 연구를 접목하고 있다.

라우팅 프로토콜은 목적지 경로구성 시점에 따라 사전 구성(proactive), 반응적 구성(reactive), 혼합(hybrid) 구성으로 분류된다[4]. 라우팅 메트릭은 가장 단순한 형태의 홉 카운트를 사용하는 토폴로지 기반(topology based) 메트릭, 수신 신호의 세기를 기반(signal strength based)으로 하는 메트릭, 전송 지연시간 또는 트래픽을 측정하는 것과 같은 능동적 측정(active probing based) 기반 메트릭, 가장 생존 시간이 긴 경로를 선택하고자 하는 이동성 인지(mobility-aware) 메트릭, 에너지의 소모가 작은 경로를 선택하고자 하는 에너지 인지(energy-aware) 메트릭으로 분류된다[5].

최근의 연구 경향은 최적 경로 선택을 위한 라우팅 메트릭이 주류를 이루고 있으나, 경로 결정 문제는 메트릭 만으로는 해결되지 않으므로 성능이 향상된 라우팅 프로토콜에 대한 연구도 병행되어야 한다. 이는 WMN의 라우팅은 유선망과는 달리 노드의 이동, 무선 신호의 전파 특성으로 인한 무선 링크의 끊어짐, 비대칭성 등의 복잡한 문제를 해결하면서도 빠르고 정확하게 경로를 결정해야하는 문제를 안고 있기 때문이다.

MANET과 WMN은 무선 링크로 이루어진 다중 홉 네트워크를 자율적으로 구성한다는 관점에서는 유사성이 있으나 근본적인 사용 목적이 다

르기 때문에 차이점이 많다[6]. MANET은 노드의 이동에 따른 경로 문제 해결이 주목적인 반면 WMN은 안정적이고 지속적인 전원공급과 풍부한 컴퓨팅 자원의 지원이 가능한 이동하지 않는 MR(Mesh Router) 노드들 간에 무선 메시 링크를 구성하고 다른 유무선망들의 전달망 역할을 수행하는 것이 목적이다. 따라서 WMN에서는 홉 카운트 메트릭 보다는 메시지를 구성하는 링크 또는 중단 간 경로의 성능이 고려된 최적 경로 선택을 위한 라우팅 메트릭이 주 관심 대상이다.

WMN은 라우팅 메트릭이 중요한 의미를 갖는다 하더라도 3가지 유형의 WMN 구조[7-8]를 고려하면 새로운 라우팅 프로토콜의 연구 필요성이 있다. WMN의 3가지 유형 중에서 인프라스트럭처 WMN은 기존 유무선망들의 무선 전달망 역할을 수행함으로써 망을 연동하는 방법을 제공하는 구조로 WMN의 기본 목적이 가장 잘 반영된 것이라 할 수 있으며 우수한 성능의 라우팅 메트릭이 요구된다. 하지만 클라이언트 WMN과 하이브리드 WMN인 경우 라우터와 호스트 역할을 동시에 수행해야 하는 MC(Mesh Client) 노드를 고려하지 않을 수 없다. MC 노드는 이동하지 않는 노드일 수도 있지만 이동하는 노드일 수도 있다. 만약 클라이언트 WMN의 MC 노드가 이동 노드로 구성된 경우 메트릭을 위한 방안들이 노드의 이동으로 인해 부담이 될 수 있다. 이 경우에는 MANET을 위해 설계된 라우팅 프로토콜과 홉 카운트 메트릭이 오히려 적합할 수 있다.

하이브리드 WMN을 위한 라우팅 프로토콜로 사전 구성(proactive) 프로토콜을 적용하면 확장된 메시 네트워크로 인한 경로정보 증가로 리소스가 부족한 MC 노드에게는 문제가 될 수 있고, 주기적인 대규모 경로정보 교환으로 인해 네트워크의 효율이 떨어질 수 있다. 반면 반응적 구성(reactive) 프로토콜을 적용하면 송수신 노드 간 떨어진 거리로 인해 초기 경로 결정 지연시간이 길어지는 문제점이 있다. 네트워크의 확장문제에 가장 적합한 방안이 하이브리드 라우팅 프로토콜이지만 MR, MC 노드 구분 없는 클러스터 구성 문제와 최상위 계층의 게이트웨이 또는 랜드마크 노드로 트래픽이 집중되는 문제점이 있다.

본 연구에서는 사전 구성과 반응적 구성 프로

토콜을 혼합한 라우팅 프로토콜로 하이브리드 방안의 한 형태인 듀얼모드-AODV 방안을 제안한다. 클라이언트 메시에서는 사전 구성 프로토콜과 유사하게 인접 노드 경로정보를 사전 구성하고 인프라스트럭처 메시에서는 반응적 구성 프로토콜처럼 동작한다. 인접 노드 경로를 사전 구성하지만 노드 간 주기적인 경로정보 교환을 하지 않으며 데이터 전송이 필요한 경우에 만 AODV [9]와 같이 경로요청을 통해 중단 간 경로를 결정한다.

본 논문의 나머지 구조는 2장에서 연구배경을 설명하고, 3장과 4장에서 제안된 듀얼모드-AODV 라우팅 프로토콜의 개요와 동작 구조를 설명한다. 5장에서 성능분석을 하고 6장에서 결론을 맺는다.

## 2. 연구 배경

WMN은 이동이 없는 MR 노드들이 인프라스트럭처 메시지를 구성하여 전달망 서비스를 제공하는 것을 목적으로 한다. 따라서 라우팅은 노드 이동을 극복하기 위한 프로토콜보다는 중단 간 최적 경로를 선택하기 위한 라우팅 메트릭이 더 중요한 의미를 갖는다. 하지만 인프라스트럭처 메시에 접속되는 네트워크가 이동하는 노드를 포함하고 있는 클라이언트 메시인 경우에는 몇 가지 문제가 발생한다.

첫 번째 문제는 클라이언트 메시의 경우 네트워크 단위의 경로 정보를 구성할 수 없고 개별 노드 단위의 경로 정보를 구성해야 한다는 것이다. 일반적으로 라우터는 Fig. 1과 같이 수신 패킷의 목적지 네트워크 주소를 기반으로 경로를 결정하고 결정된 방향으로 패킷을 전달하는 교환 기능을 수행한다. 하지만 클라이언트 메시에서는 모든 노드가 라우터와 호스트 역할을 동시에 수행하고 패킷이 이들 노드들을 거쳐 목적지 노드까지 전달되어야 하기 때문에 개별 노드 각각에 대한 경로정보를 구성하여야 한다.

두 번째 문제는 클라이언트 메시에서의 노드 이동으로 인해 WMN의 기본적인 목적인 전달망 서비스의 제공을 위한 라우팅 메트릭 값을 구하

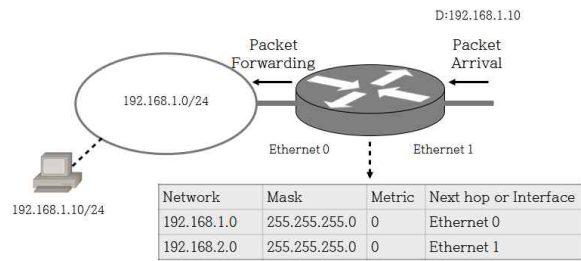


Fig. 1 Routing table and packet forwarding at a Router

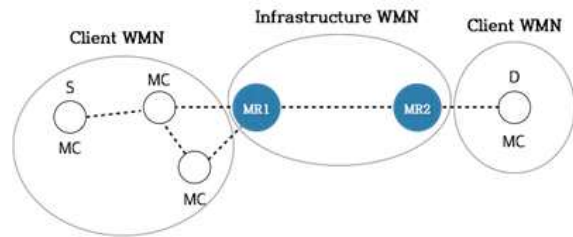


Fig. 2 Hybrid WMN

는 절차를 수행하기가 쉽지 않다는 것이다. 이는 노드의 이동으로 인해 클라이언트 메시의 토폴로지 변경이 잦아 메트릭 값을 구하는데 요구되는 절차를 수행하기 위한 충분한 시간을 확보하지 못할 수도 있기 때문이다.

클라이언트 메시와 인프라스트럭처 메시에서 서로 다른 라우팅 프로토콜을 사용하는 방안도 고려될 수 있다. 이동하는 노드가 포함되는 클라이언트 메시에서는 노드의 이동에 적합한 반응적 구성 라우팅 프로토콜을 인프라스트럭처 메시에서는 최적 경로 메트릭을 고려할 수 있는 사전 구성 라우팅 프로토콜을 적용하는 것이다. 하지만 이 경우에도 문제는 있다. 먼저 두 메시 간 메트릭 호환성 문제가 발생한다. 프로토콜의 메트릭이 다르므로 인해 최적 경로결정은 인프라스트럭처 메시에서만 의미가 있을 뿐 중단 간에는 무의미하게 된다. 가장 큰 문제는 원격 클라이언트 메시에 포함되는 노드를 목적지로 하는 패킷이 MR 노드에 도착한 경우 목적지 노드로의 경로를 알 수 없다는 것이다.

Fig. 2의 예에서 보면 MC 노드 S가 MC 노드 D를 목적지로 데이터 전송이 필요한 경우 온디

멘드 방식으로 경로를 요청하고 이를 수신한 MR1 노드는 원격 클라이언트 메시의 노드 D에 대한 경로정보를 사전에 구성하지 않은 경우 경로를 발견할 방법을 제공하지 못한다. 이는 인프라스트럭처 메시의 모든 MR 노드는 모든 클라이언트 메시의 모든 MC 노드에 대한 경로정보를 수렴하고 있어야 패킷 교환이 가능하다는 것을 의미한다. 이 경우에서 볼 때 클라이언트 메시가 인프라스트럭처 메시에 접속하는 구조의 하이브리드 WMN을 위해서는 하나의 일관된 프로토콜을 사용하면서도 발생하는 문제점을 최소화할 수 있는 방안이 필요함을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 노드의 이동에 능동적으로 대응할 수 있는 온 디멘드 방식의 AODV 라우팅 프로토콜을 하이브리드 WMN에 적합하도록 개선하기 위한 듀얼모드-AODV를 제안한다. 듀얼모드란 사전구성 방식과 같이 경로정보를 구성하지만 필요한 경우 경로결정을 요청하는 방식을 말하는 것으로 하이브리드 방식의 라우팅 방식과 유사하지만 계층구조를 구성하지 않는 것이 차이점이라 할 수 있다.

### 3. 듀얼모드-AODV

듀얼모드-AODV는 데이터의 목적지 노드에 대한 경로결정을 위해 클라이언트 메시의 MC 노드들은 사전 구성 프로토콜처럼 인접한 노드들에 대한 경로정보와 인프라스트럭처 메시로의 접속점인 게이트웨이 MR 노드 경로를 사전에 구성한다. 이를 위해 클라이언트 메시의 모든 MC 노드들은 주기적인 Hello 메시지 방송을 통해 인접 노드에게 자신의 존재를 통보한다. 그리고 Hello 메시지와 Hello\_ack 메시지 교환과정에서 결정되는 게이트웨이 MR 노드 경로를 라우팅 테이블에 기록하는데 이를 default-RREQ-route (라우팅 테이블에 데이터의 목적지 경로정보가 없는 경우에 경로요청을 위한 RREQ 메시지가 전달되는 경로)라 부른다. 또한 모든 MR 노드들은 자신을 통해 인프라스트럭처 메시에 접속되는 클라이언트 메시의 노드 경로를 자신의 라우팅 테이블에 사전 구성한다. Fig. 3은 사전 구성작업

이후의 듀얼모드-AODV 경로검색 절차를 보여 준다.

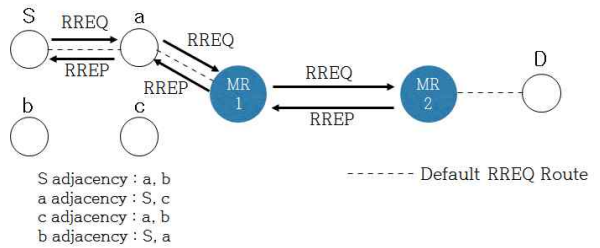


Fig. 3 Route discovery of the Dual mode-AODV

노드 S가 원격 클라이언트 메시에 위치한 노드 D로 데이터를 전송 하려는 경우의 경로결정 절차는 다음과 같다. 먼저 노드 S는 자신의 라우팅 테이블에서 노드 D의 경로정보를 검색한다. 노드 D의 경로가 발견되면 즉시 데이터를 발견된 경로로 전달한다. 경로가 존재하지 않은 경우에는 노드 S는 듀얼모드-AODV의 경로결정 절차를 개시한다. 이때 RREQ 메시지는 default-RREQ-route 상의 다음 홉인 노드 a로 유니캐스트 된다. RREQ 메시지 수신 노드 a는 RREQ 메시지의 목적지가 자신인가를 검사하여 자신인 경우 RREP 메시지 전송을 RREQ 수신의 역방향으로 응답한다. RREQ 메시지의 목적지가 아닌 경우 라우팅 테이블 검색을 통해 목적지 경로가 존재하면 목적지 노드를 대신하여 RREP 메시지를 RREQ 메시지 역방향 경로로 노드 S에게 전달한다. 하지만 경로가 존재하지 않는 경우 default-RREQ-route 상의 다음 홉인 MR1 노드로 RREQ 메시지를 유니캐스트 한다.

인프라스트럭처 메시의 접속점인 MR1 노드는 경로 결정을 위해 RREQ 메시지를 유니캐스트 하는 MC 노드와는 다르게 방송에 의한 확산을 사용하여 경로결정을 수행한다. Fig. 3의 MR1 노드는 AODV 메시지를 수신하면 목적지 노드 D의 경로 유무 확인을 위해 라우팅 테이블을 검색한다. 목적지 경로가 발견되면 RREP 메시지를 노드 S로 전송하지만 존재하지 않는 경우 인프라스트럭처 메시에 RREQ 메시지를 방송을 통한

확산을 이용해 이웃 MR 노드들에게 경로 요청을 한다. MR 노드는 자신을 접속점으로 하여 인프라스트럭처 메시에 접속된 클라이언트 메시의 MC 노드들에 대한 경로를 이웃 발견 과정에서 사전 구성하므로 RREQ 메시지 수신에 대하여 클라이언트 메시로 이를 전달하지 않고도 목적지 MC 노드를 대신하여 RREP 메시지 전송으로 응답할 수 있다. Fig. 3의 예에서는 노드 D 경로를 노드 MR2가 사전 구성을 통해 이미 알고 있으므로 MR2 노드는 RREP 메시지를 노드 S로 전송하여 노드 D를 대신하여 응답한다.

기본적으로 AODV는 경로 요청을 위해 RREQ 메시지를 방송을 이용한 확산을 한다. 메시지의 확산은 클라이언트 메시에 방송폭풍[10-11]을 발생시킬 수 있어 AODV는 링 검색(ring search)[12]을 통해 이 문제에 대응하고 있다. 하지만 링 검색은 목적지 노드가 멀리 떨어져 있을 경우 경로결정 지연시간이 증가한다는 문제가 있다. 듀얼모드-AODV의 RREQ 메시지 유니캐스트는 방송폭풍 발생을 줄이고 링 검색에 의한 지연을 줄일 수 있다. 또한 클라이언트 메시의 노드를 대신해 인프라스트럭처 메시의 MR 노드가 응답을 함으로써 경로결정을 위한 제어 메시지 전송 거리를 줄일 수 있다.

노드 S가 인접한 노드 b로 데이터 전송을 하는 경우 노드 b 경로가 Hello 메시지 교환에 의해 사전에 구성되기 때문에 경로 결정 과정을 개시할 필요가 없다. 노드 S와 인접하지 않은 클라이언트 메시의 노드 c로의 경로는 default-RREQ-route 상의 노드인 노드 a의 인접 노드로 제공 된다. 만약 목적지 노드가 노드 S에서 MR1 노드까지의 default-RREQ-route의 모든 노드와 인접하지 않은 클라이언트 메시의 노드인 경우 MR1 노드에 의하여 경로가 제공된다.

듀얼모드-AODV의 실질적인 동작을 위해서는 다음의 추가적인 사항이 필요하다. ① MC 노드 인지 또는 MR 노드인지를 구분하기 위한 속성 값, ② MR 노드의 다중 인터페이스, 다중 채널 구성, ③ default-RREQ-route 구성과 인접 노드 정보 구성방안, ④ default-RREQ-route의 목적지로 사용될 게이트웨이 MR 노드 인터페이스 주소

## 4. 듀얼모드-AODV 프로토콜 구조

### 4.1 인접 노드의 발견

듀얼모드-AODV가 실행중인 노드의 인접 노드 발견은 주기적인 Hello 메시지 방송에 의해 수행된다. Hello 메시지는 1홉 거리만 방송이 되고 이를 수신한 모든 노드는 송신 노드로 역방향 경로를 구성할 수 있다. Hello 메시지에는 인프라스트럭처 메시 접속점인 게이트웨이 MR 노드의 주소, 매트릭과 송신 노드의 주소를 포함된다. 무선 링크의 신호 비대칭 특성으로 인해 Hello 메시지 교환만으로는 양방향 경로를 구성하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. Fig. 4처럼 노드 a의 Hello 메시지는 노드 b에 수신이 되지만 그 반대의 경우에는 무선 신호의 문제로 인해 수신되지 않아 양방향 경로가 구성되지 않고 노드 b에서 노드 a로의 단방향 경로만 구성되는 경우를 말한다.

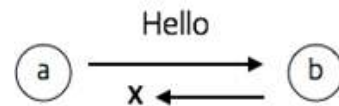


Fig. 4 Bi-directional path configuration failure due to asymmetry characteristics

이러한 문제에 대해서 듀얼모드-AODV는 상대방의 Hello 메시지에 대하여 Hello\_ack 메시지로 응답을 함으로써 해결한다. Fig. 4에서 노드 b는 노드 a의 Hello 메시지 수신에 의하여 발견된 인접 정보라도 자신이 송신한 Hello 메시지에 대해 노드 a로부터 Hello\_ack 메시지 응답이 없는 경우 인접하지 않다고 판단한다. 듀얼모드-AODV는 발견된 인접 노드의 정보 저장을 위해 라우팅 테이블과는 별도로 인접 노드 테이블을 관리한다. 인접 노드 테이블에는 인접 노드의 주소, default-RREQ-route의 목적지인 MR 노드 주소, 매트릭, 인접 노드 정보의 생명시간(lifetime) 그리고 인접의 유효성 정보가 포함된다. Hello/Hello\_ack 메시지 수신에 따른 노드에서의 처리과정 슈도코드는 다음과 같다.

```

Receive_hello_message( )

search the source address of the Hello message in the
adjacent node table

if the entry was found
    compare validation of the entry
    if not valid
        Return
    else
        compare gateway MR addresses (Hello message,
table entry)
        if different
            update the entry except the lifetime
        else
            compare the metric (Hello message, table entry)
            if better than table entry
                update the entry except the lifetime
            else
                do nothing
    else
        add a new entry about the source node to the
adjacent node table.
    
```

```

receive_hello_ack_message( )

search the source address of the Hello_ack message in
the adjacent node table

if the entry was found
    update the lifetime of the found entry
else
    add a new entry about the source node to the
adjacent node table.
    
```

MC 노드는 Hello 메시지 송신에 대해 인접 노드 테이블에 등록된 노드로부터 Hello\_ack를 수명시간이 끝날 때까지 수신하지 못하면 해당 노드에 대한 정보는 인접 노드 테이블 엔트리의 유효성 필드를 유효하지 않다고 표시하고 라우팅 테이블에서 경로 정보는 지워진다.

#### 4.2 default-RREQ-route 등록

MC 노드에서 듀얼모드-AODV는 게이트웨이 MR과 default-RREQ-route의 결정을 위해 주기적으로 인접 노드 테이블의 모든 유효한 엔트리 메트릭 값을 비교한다. 가장 우수한 메트릭 값을 갖는 엔트리의 노드 주소와 게이트웨이 MR 노드 주소를 선택한 후 MR 주소를 목적지로 하는 경로를 default-RREQ-route로 하여 라우팅 테이블에 기록한다. 노드 주소는 default-RREQ-route의 다음 홉이 된다. 만일 동일 경로가 이

미 라우팅 테이블에 존재한다면 업데이트한다.

default-RREQ-route가 결정된 이후 게이트웨이 MR 노드에서 MC 노드 자신으로 역방향 경로를 구성하기 위하여 default-RREQ-route를 따라 Hello\_reg 메시지를 결정된 게이트웨이 MR 노드로 전송한다. 이때 경로상의 모든 노드들은 Hello\_reg를 수신하면 메시지의 소스 노드에 대한 역방향 경로를 등록하고 이를 다시 default-RREQ-route를 따라 전달한다. Hello\_req 메시지는 게이트웨이 MR 노드에 도착하면 폐기된다. Hello\_reg 메시지 수신에 따른 노드에서의 처리 과정 슈도코드는 다음과 같다.

```

receive_hello_reg ( )

search the source address of the message in the
routing table

if the entry was found
    update the routing entry of the routing table
else
    add a new routing entry to the routing table

check the node type

If MR
    drop the message
else
    get the default-RREQ-route
    forward the Hello_reg message to the next hop
    
```

게이트웨이 MR 노드는 등록된 MC 노드 경로에 대하여 lifetime(등록 주기의 3배) 동안 라우팅 테이블에 유지하다가 시간이 종료될 때까지 새로운 등록 메시지가 도착하지 않으면 유효하지 않은 경로로 간주하여 라우팅 테이블에서 삭제한다.

### 5. 성능분석

본 논문에서 제안된 듀얼모드-AODV의 성능 분석을 위하여 NS3 버전 3.25를 사용하여 프로토콜을 구현하였다. 분석에 사용된 환경은 Table 1과 같다.

Table 1 Simulation Parameters

Parameters	Values
Transmission Power	16.0 dBm
Transmission Rate	11 Mbps
Tx, Rx Gain	1dB
Transport Protocol	UDP
Packet Size	512 Bytes
Wireless Interface Mode	WiFi AdHoc Mode
Mobility Model	ConstantPositionMobilityModel

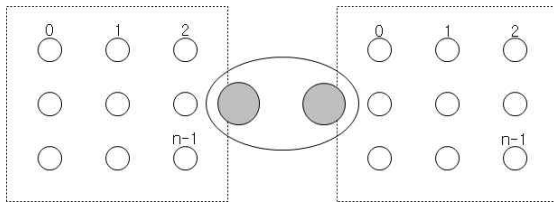


Fig. 5 Simulation Topology

AODV와 듀얼모드-AODV의 경로결정 지연시간의 측정을 위한 토폴로지는 Fig. 5와 같다. 각 클라이언트 메시의 MC 노드 수는 3에서 18개까지 3의 배수로 증가시켰고 서로 동일한 위치의 노드들 간에 쌍을 이루어 데이터 트래픽을 주고받도록 하였다. 2개의 MR 노드로 구성된 인프라스트럭처 메시가 2개의 클라이언트 메시지를 연결하고 있다. 데이터 송수신을 위한 NS3 어플리케이션 모델은 OnOffApplication 모델로 on 시간동안 데이터 트래픽을 발생시키고 off 시간동안 트래픽 발생을 하지 않는 모델이다. 분석 시뮬레이션에서는 on 시간을 1초, off 시간을 0.5초로 설정하였다. AODV의 측정을 위해서 NS3의 AODV 모듈을 사용하였고 그 결과는 Fig. 6과 같다.

50초 동안 512 바이트의 UDP 패킷을 소스 노드가 목적지 노드로 전송한 시뮬레이션 결과는 듀얼모드-AODV가 AODV보다 경로결정 지연시간이 평균 180ms 짧게 나타나 약 52%가 감소하였다. 그리고 Fig. 7과 같이 데이터 전송을 위한 경로 요청 횟수도 AODV 보다는 훨씬 적게 나

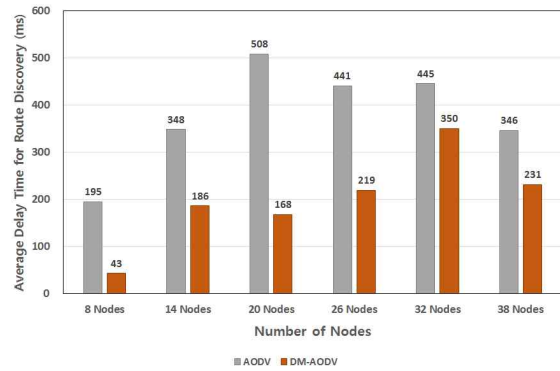


Fig. 6 Results of AODV and Dual Mode-AODV path determination delay time

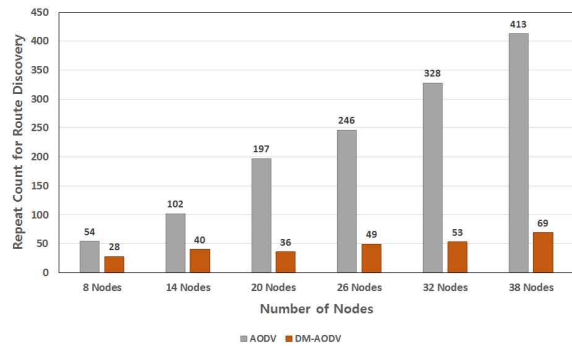


Fig. 7 Results of AODV and Dual Mode-AODV path determination frequency

타났다.

주변 노드의 전송으로 인한 혼자방황을 줄이기 위해 각 클라이언트 메시의 MC 노드를 직렬로 나열하여 거리에 따른 영향만을 측정하였다. 소스와 목적지 노드를 제외한 다른 노드들은 전달된 데이터 패킷을 경로에 따라 전달만 하였다. 시뮬레이션 토폴로지와 결과를 Fig.8과 Fig. 9에 나타내었다.

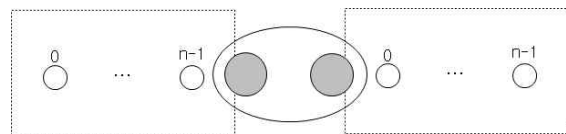


Fig. 8 Simulation topology in which nodes are listed in a row

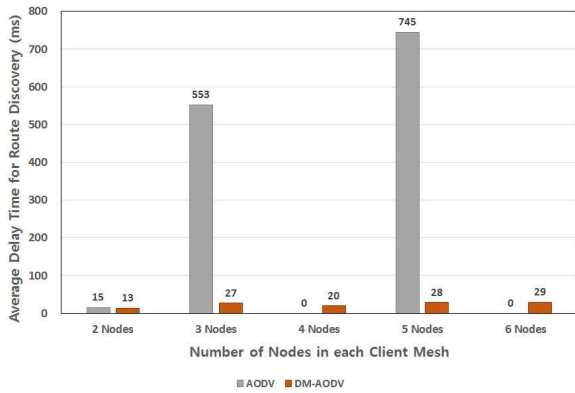


Fig. 9 Result of routing decision delay time when nodes are listed in a row

각 클라이언트 메시의 MC 노드를 일렬로 나열하였기 때문에 소스 노드에서 목적지 노드까지의 거리는 (클라이언트 메시 노드 수 - 1) × 2 + (MR 노드 수 + 1) 이다. 예를 들면 노드수가 2인 경우 거리는 5가 되고 노드수가 3인 경우에는 거리가 7이 된다. 결과 그래프를 보면 AODV의 경우 거리가 길어지면 경로를 결정하는데 소요되는 시간이 급격히 증가함을 볼 수 있다. 하지만 듀얼모드-AODV의 경우 증가폭이 AODV에 비하여 작고 급격한 증가를 하지 않는다는 것을 알 수 있다. 특히 AODV는 거리가 9가 되는 노드수 4부터는 경로결정 지연시간이 임계시간을 넘어서서 경로를 결정을 완료하지 못하는 현상을 보이고 있다. Fig. 8에서는 지연시간이 0로 표현되어 있다.

데이터 트래픽을 발생시킨 후 10초가 지난 후에 각 노드의 라우팅 테이블의 크기를 보면 38개의 노드로 구성된 토폴로지에서 AODV의 MC 노드는 평균 23개의 라우팅 엔트리를 가진 반면에 듀얼모드-AODV의 MC 노드는 평균 10개의 엔트리만을 갖고 있었다. 이는 AODV의 경우 경로결정을 위한 방송에 의한 요청 메시지 확산으로 인해 반드시 필요하지 않은 노드 경로를 저장하게 되는 것이 원인으로 분석된다. 듀얼모드-AODV의 경우 인접 노드와 자신이 MR 노드 경로인 노드의 경로만 저장하기 때문에 상대적으로 적은 수의 라우팅 엔트리만 저장하는 것으로 분석된다. 인프라스트럭처 메시의 MR 노드는 라

우팅 테이블의 엔트리 개수가 36개로 동일하였다.

성능분석 결과로부터 듀얼모드-AODV가 경로결정 지연 및 경로결정 횟수에서 AODV에 비해 우수함을 알 수 있으며 라우팅 테이블의 사이즈도 작아 컴퓨팅 자원을 절약할 수 있음을 알 수 있다. 시뮬레이션 토폴로지와 같이 하이브리드 메시에 의한 네트워크의 확장에도 듀얼모드-AODV가 AODV에 비해 성능이 우수함을 알 수 있다. 제안된 방안의 약점으로 지적될 만한 사항은 Hello 패킷의 주기적인 방송을 들 수 있으나 Hello 패킷은 하이브리드 라우팅 프로토콜의 계층 구성을 위한 방안이나 AODV의 지역적인 복구를 위한 방안으로 사용되고 있는 것이다.

## 6. 결론

본 논문에서는 다양해지는 무선, 모바일 서비스 요구[13-14]에 대응하기에 적합한 하이브리드 WMN 구조에서 경로를 결정하기 위한 방안으로 듀얼모드-AODV 방안을 제안하였다. 듀얼모드-AODV는 이름이 의미하는 것과 같이 소스 노드에서 목적지 노드까지의 경로를 결정할 때 유니캐스팅과 브로드캐스팅 모두를 사용하도록 프로토콜이 설계되었다. 모든 MC 노드는 인프라스트럭처 메시의 접속점인 MR 노드와 사전에 양방향 경로를 구성한다. MR 노드는 자신과 사전 경로가 구성된 MC 노드와 다른 MR의 MC 노드 사이의 트래픽 교환 기능을 수행하는 전달망 역할을 수행하도록 설계되었다. 다른 MR의 MC 노드 경로 결정은 AODV의 방송에 의한 경로요청 방식을 사용하도록 하였다.

듀얼모드-AODV의 성능분석을 위한 시뮬레이션 결과 하이브리드 WMN에 AODV를 적용했을 때 보다 평균 52%의 지연시간 향상이 있었다. 그리고 네트워크의 확장에 있어서도 AODV에 비하여 잘 작동함을 알 수 있었다. 특히 클라이언트 메시에서 MC 노드가 경로결정을 위한 요청을 방송에 의한 확산을 하지 않음으로써 방송폭풍의 영향을 줄일 수 있었다.

본 논문에서 제안된 방안은 경로결정을 위하여 홉 카운트를 사용하도록 설계되어 아직까지는 망



의 상태를 정확하게 적용하지 못하는 문제가 있으나 이는 향후 다양한 메트릭의 적용에 대한 연구를 통해 개선할 예정이다.

## References

- [1] Kwon, S. K., "Study on Routing Scheme for Wireless Ad hoc," Proceedings of the Korea Society for Industrial Systems Conference, June, 2004, Gyeongju, Korea, pp. 14-19, Korea Society of Industrial Information Systems.
- [2] Kim, S. G., "An Efficient Multi-Hop Cluster Routing Protocol in Mobile Ad hoc Network," Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, Vol. 10, No. 2, pp. 13-20, 2005.
- [3] Kim, J. K., and Ahn, J. M., "A Study on Deployment of Global Wireless Communications Network with Airliners," Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, Vol. 21 No. 2, pp. 11-20, 2016.
- [4] Campista, M. E. M., Esposito, P. M., Moraes, I. M., Costa, L. H. M. K., Duarte, O. C. M. B., Passos, D. G., De Albuquerque, C. V. N., Saade, D. C. M., and Rubinstein, M. G., "Routing Metrics and Protocols for Wireless Mesh Networks," IEEE Network, Vol. 22, No. 1, pp. 6-12, 2008.
- [5] Parissidis, G., Karaliopoulos, M., and Baumann, R., "Routing Metrics for Wireless Mesh Networks," Guide to Wireless Mesh Networks, 2009.
- [6] Zhang, Y., Luo, J., and Hu, H., "Wireless Mesh Networking: Architectures, Protocols and Standards," Auerbach Publications, 2006.
- [7] Odabasi, S. D., and Zaim, A. H., "A Survey on Wireless Mesh Networks, Routing Metrics and Protocols," International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering, Vol. 2, pp. 92-104, 2010.
- [8] Akyildiz, I. F., Wang, X., and Wang, W., "Wireless Mesh Networks: a Survey," Computer Networks, Vol. 47, No. 4, pp. 445-487, 2005.
- [9] Perkins, C., and Belding-Royer, E., "Ad hoc on-Demand Distance Vector (AODV) Routing," IETF RFC 3561, pp. 1-38, 2003.
- [10] Tseng, Y., Ni, S., and Chen, Y., "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad hoc Network," Wireless Networks, 2002.
- [11] Al-Omari, S. A. K., and Sumari, P., "An Overview of Mobile Ad hoc Networks for the Existing Protocols and Applications," arXiv.org, Vol. 2, No. 1. pp. 87-110, 2010.
- [12] Liu, C., and Kaiser, J., "A Survey of Mobile Ad hoc Network Routing Protocols," Technical Report of the University of Magdeburg, 2003.
- [13] Kim, S. B., "Exploring Consumer Preferences for Mobile Internet and Forecasting the Evolution of Mobile Internet Service," The Journal of Internet Electronic Commerce Research, Vol. 12, No. 4, pp. 23-50, 2012.
- [14] Cha, Y. S., and Chung M. S., "The Impact of Ubiquitous Factors on Intention to Use Mobile Services," The Journal of Information Systems, Vol. 16, No. 2, pp. 69-91, 2007.

김 호 철 (Hocheal Kim)



- 정회원
- 경북대학교 전자공학과 공학사
- 영남대학교 멀티미디어통신공학과 공학석사
- 영남대학교 멀티미디어통신공학과 공학박사
- 울산과학기술대학교 컴퓨터정보학부 교수
- 관심분야 : WMN, Mobile Network, Sensor Network, IoT