

혼합형 무선 메시 네트워크를 위한 AODV 개선 연구

김 호 철[†]

요 약

이동 노드의 증가와 무선 네트워크 기반의 서비스 요구의 다양화로 무선 메시 네트워크(WMN)가 많은 관심을 받고 있다. 하지만 WMN를 실제 서비스하기 위해서는 아직 해결해야 할 과제가 많이 남아있다. 네트워크 계층에서는 라우팅 프로토콜의 성능개선이 주요 해결 과제이다. 무선 네트워크에서의 다중 홉 라우팅과 노드가 호스트와 라우터의 역할을 동시에 수행한다는 관점에서 WMN은 모바일 에드혹 네트워크(MANET)와 유사하여 MANET의 라우팅 프로토콜의 사용을 통해 쉽게 구축이 가능하다. 하지만 MANET의 라우팅 프로토콜은 대부분이 네트워크의 규모가 커지면 전송 오버헤드나 지연시간이 증가한다는 단점이 있다. 이는 WMN에 의한 무선 네트워크의 확장에 있어 성능저하의 원인이며 이를 개선하기 위하여 많은 연구들이 진행되었다. 본 논문에서는 AODV를 계층형으로 개선하여 혼합형 WMN에 적용하기 위한 방안으로써 도메인 기반 AODV에 대하여 제안한다. 제안된 방안은 AODV의 요구형 경로 결정을 도메인 단위로 구분 수행함으로써 종단 간 수행되는 평균 경로 결정 거리를 줄여 네트워크의 확장성 문제를 해결한다. 제안된 방안의 시뮬레이션 결과 AODV에 비하여 네트워크의 확장에 대한 지연시간의 증가가 완만하였다.

A Study on Improvement of AODV for Hybrid Wireless Mesh Networks

Ho-Cheal Kim[†]

ABSTRACT

By the enormous increase in mobile nodes and diverse service requests on wireless networks, wireless mesh network(WMN) takes an interest as the solution for such requests. However, lots of issues which should be solved to deploy WMN are still remained. In the network layer, the performance improvement of routing protocols is the major issue of nowadays researches. WMN can be easily deployed by use of protocols for mobile ad-hoc networks(MANET) because it is much similar with MANET in multi-hop wireless routing and which node plays as host and router concurrently. Unfortunately, most routing protocols for MANET have drawbacks such as large traffic overhead and long delay time for route discovery due to the network extension. They are major factors of performance degradation of WMN and most researches are focused on them. In this paper, domain-based AODV which is amended AODV to be applied in hybrid WMN is proposed. The proposed scheme divides a hybrid WMN as several domains and performs route discovery by header layer domain. Therefore it can reduce the distance for route discovery as much as average hop count between domain header and member nodes. From the simulation, domain-based AODV was showed slowly increasing delay time due to the network extension.

Key words: Hybrid WMN(혼합형 WMN), MANET, AODV, Hierarchical Routing(계층형 라우팅)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김호철, 주소 : 울산광역시 동구 봉수로 101 울산과학기술대학교 컴퓨터정보학부 (682-715), 전화 : 052) 230-0679, FAX : 052) 230-0670, E-mail : kimhc@uc.ac.kr
접수일 : 2013년 6월 3일, 수정일 : 2013년 7월 10일

완료일 : 2013년 7월 22일

[†] 울산과학기술대학교 컴퓨터정보학부

※ 본 연구는 울산과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었음.

1. 서 론

대부분의 무선 네트워크는 유선 네트워크에 노드를 무선으로 접속하기 위한 액세스 네트워크로 단일 홉 연결이다. 그리고 새로운 무선 네트워크 서비스를 제공하기 위해서는 초기 인프라 구축비용이 많이 요구된다. 최근에는 다양한 무선 네트워크 기술의 개발, 다중 네트워크 인터페이스의 이동 단말 증가로 인하여 새로운 이동 네트워크 서비스에 대한 사용자의 요구가 다양해지고 있다. 무선 메시 네트워크(WMN)는 이러한 사용자 요구를 충족시킬 수 있는 기술로 많은 관심을 받고 있다[1]. WMN은 노드들이 무선 메시지를 스스로 구성하고 관리하고 사용자에게 낮은 초기비용, 쉬운 네트워크 유지관리, 신뢰성 있는 서비스 유효범위 등의 장점들을 제공한다[1,2].

현재 WMN의 실용화를 위한 다양한 연구들이 프로토콜 계층별로 진행되고 있으며 네트워크 계층의 연구과제는 라우팅 성능향상과 관련되어 많이 진행 중이다[3-8]. 이는 무선 채널의 속성, 노드의 이동, 노드의 제한된 기억 공간, 그리고 부족한 전원공급 및 네트워크 자원으로 인해 유선 네트워크의 라우팅 프로토콜을 그대로 사용할 수 없기 때문이다. WMN의 노드는 메시 라우터(MR)와 메시 클라이언트(MC)로 구분되며 호스트와 라우터의 역할을 동시에 수행한다[2]. 메시지를 스스로 구성, 관리하는 기능과 무선에서의 다중 홉 라우팅은 이동 에드혹 네트워크(MANET)와 유사하여 MANET을 위한 라우팅 프로토콜을 활용하여 쉽게 구축이 가능하다는 장점이 있다[1,2]. 하지만 MANET의 유니캐스트 라우팅 프로토콜들이 무선 다중 홉 라우팅 문제를 해결하였다 라도 혼합형 WMN을 통한 네트워크 규모의 확대에는 효율적이지 않다. 따라서 WMN을 고려한 기존 MANET 라우팅 프로토콜의 개선 또는 완전히 새로운 WMN 라우팅 프로토콜의 설계가 필요하다.

MANET의 유니캐스트 라우팅 프로토콜들은 경로 결정 방식에 따라 선행형(proactive), 반응형(reactive), 그리고 혼합형(hybrid)으로 구분된다[1,2,6-8]. 선행형은 유선 네트워크의 라우팅 프로토콜처럼 각 노드가 경로정보를 사전에 구성하고, 경로정보의 변경을 반영하기 위하여 노드 간에 경로정보를 주기적으로 교환한다. 이 방식은 경로 결정을 위한 지연시간이 짧은 장점이 있지만 노드 간 경로정보의 교

환에 따른 트래픽 오버헤드가 발생한다[2]. 반응형은 경로정보를 사전에 구성, 저장하지 않고 노드가 데이터 전송이 필요한 경우에 요청(On-Demand)을 통해 경로를 결정한다. 반응형은 트래픽 오버헤드가 상대적으로 작다는 장점이 있는 반면 전송 거리가 멀어지면 경로 결정을 위한 지연시간이 길어지는 단점이 있다[2]. 혼합형은 선행형과 반응형의 장점을 혼합한 형태로 라우팅 구조가 평면이 아닌 계층인 것이 대부분이다[2]. 혼합형은 네트워크의 확장 문제를 해결할 수 있으나 계층의 헤더 노드에 부하가 집중되는 문제와 전송 경로의 계층 구조를 구성하고 유지하기 위한 프로토콜의 복잡성 문제가 있다.

라우팅의 성능개선과 관련하여 현재는 계층 간 독립된 형태의 프로토콜 설계가 아닌 계층 간 교차 설계(Cross Layer Design)에 대한 연구가 많이 진행되고 있다[9-13]. 이는 라우팅의 성능 측정기준을 다양화하기 위해 무선 링크의 상태정보를 필요로 하기 때문이다. 계층 간 교차 설계에 의한 라우팅 프로토콜들은 성능측면에서 우수한 결과를 보이고 있으나 기존 프로토콜들을 변경해야 된다는 문제가 있다. 계층 간 교차 설계 방식으로는 크게 트리거에 의한 데이터 전달 방식과 계층 간 데이터 공유 방식이 있다[11].

WMN에 적합한 라우팅 성능개선을 위해서는 새로운 성능기준의 도입과 경로 결정을 위한 새로운 알고리즘이 요구된다[3]. 성능기준에 대하여 홉 카운트가 아닌 무선 링크의 상태를 사용하는 ETX(Expected Transmission Count), ETT(Expected Transmission Time), WCETT(Weighted Cumulative Expected Transmission Time) 등이 제안되었으나 아직 해결하여야 할 과제가 많이 남아있다[3]. 경로 결정 알고리즘 연구의 경우에는 MANET의 라우팅 알고리즘의 개선과 앞서 언급한 성능기준 들을 적용하는 방안이 대부분이다.

본 논문에서는 라우팅 알고리즘의 개선과 관련하여 MANET의 AODV를 혼합형 WMN에 적합한 계층구조로 변경한 도메인 기반 AODV를 제안한다. 도메인 기반 AODV는 알고리즘이 계층구조지만 기존 혼합형 프로토콜과는 달리 헤더 노드의 결정 과정을 수행하지 않고 계층 주소를 사용하지 않으면서 반응형 경로 결정을 수행한다.

본 논문의 나머지 구조는 2장에서 혼합형 WMN

과 MANET 라우팅 프로토콜에 대하여 살펴보고 3장에서 도메인 기반 AODV의 개요에 대해서 설명한다. 4장에서는 도메인 기반 AODV의 세부구조에 대하여 설명하고 5장에서 성능분석을 한 후 6장에서 결론을 맺는다.

2. 혼합형 WMN과 MANET 라우팅 프로토콜

2.1 혼합형 WMN (Hybrid WMN)

WMN의 형태 중에서 혼합형 WMN이 가장 유용성이 높은 형태[6]로 대부분의 WMN 연구가 혼합형 WMN을 대상으로 하고 있다. 혼합형 WMN은 구조적으로 백본 메시(MR 계층)와 클라이언트 메시(MC 계층)로 구성되는 계층형 네트워크이다. 백본 메시의 MR 노드는 고정형의 무선 노드로 고속의 무선 링크를 사용하며 안정된 전원공급이 가능하고 하드웨어 자원에 여유가 있다[1,2]. 클라이언트 메시는 MC 노드로 구성되고 백본 메시 접속을 통해 인터넷 또는 다른 네트워크와 연결된다. 혼합형 WMN의 전개를 위해서는 보다 더 진보된 무선기술, 이 기종 무선 네트워크 간 연동, 확장성, 보안, 서비스 품질(QoS), 네트워크 관리 도구 등의 문제들이 해결되어야 하는데 [1] 라우팅 프로토콜은 이 중에서 확장성 문제와 관련이 있다. 혼합형 WMN을 위해서는 네트워크의 규모가 커지더라도 네트워크 운용에 필요한 작업의 급격한 증가가 없어야 되고, 특히 전송 거리가 길어짐으로 인한 성능저하가 없어야 한다. 이를 위해서는 기본적으로 확장성 있는 MAC, 오버헤드가 최소화된 라우팅, 그리고 전송 프로토콜이 필요하다[1].

2.2 MANET 라우팅 프로토콜과 혼합형 WMN

혼합형 WMN의 백본 메시는 선행형 라우팅 프로토콜을 사용하면 빠른 경로 결정을 할 수 있다. 하지만 네트워크 단위의 경로 결정을 하는 라우터와는 달리 MR 노드는 호스트 단위의 경로를 구성하여야 한다. IP 라우팅은 기본적으로 IP 주소의 네트워크 영역 정보를 기반으로 네트워크 간 경로 결정을 한다. 하지만 WMN의 노드는 호스트와 라우터의 역할을 동시에 수행하기 때문에 메시지를 구성하는 노드 하나가 하나의 네트워크가 된다. 결과적으로 백본 메시의 MR 노드는 WMN을 구성하는 모든 노드를 위한 경로정보를 자신의 라우팅 테이블에 저장해야 된

다. 때문에 노드 수가 증가하면 경로정보를 저장하기 위한 큰 저장 공간이 필요하고 경로정보의 노드 간 상호교환에 따른 통신 오버헤드가 증가한다.

반응형 라우팅 프로토콜은 경로 결정 지연으로 인해 빠른 경로 결정은 어렵지만 경로 결정을 위한 오버헤드가 작고 노드의 이동에 능동적으로 대응할 수 있어 노드의 이동 빈도가 높은 클라이언트 메시에 적합하다. 반면 혼합형 WMN에 적용하면 데이터 전달거리가 멀어짐으로 인한 초기 지연시간의 증가, 경로 결정을 위한 메시지 방송으로 인한 방송 폭풍[14-16]의 발생 등으로 WMN의 성능저하가 발생한다.

혼합형 라우팅 프로토콜들은 게이트웨이 또는 랜드마크와 같은 헤더 노드를 결정하고 클러스터를 구성하는 과정을 통해 계층구조 경로정보를 형성한다. 기본적으로는 반응형과 같이 경로정보를 요구하나 계층의 헤더 노드는 사전에 계층형 경로를 구성하여 요청에 응답하는 선행형이다. 계층구조의 경로정보는 경로 결정 거리를 줄여 네트워크의 확장성 문제를 해결 하지만 헤더 노드에 트래픽이 집중된다는 단점이 있다. 특히 최상위 계층의 헤더 노드에 가해지는 부하는 네트워크의 성능저하의 원인이 될 수 있다 [17]. 또한 노드의 이동에 따른 경로 계층의 재구성을 위해 복잡한 제어과정을 필요로 한다.

네트워크의 확장 문제를 해결하기 위해서는 혼합형 라우팅 프로토콜의 계층형 방안이 적합하다. 하지만 앞서 언급한 계층형 프로토콜의 문제들에 대한 해결방안이 필요하다. 본 논문에서는 대표적인 반응형 프로토콜인 AODV를 평면구조에서 도메인을 기반으로 하는 계층구조로 개선함으로써 이러한 문제에 대응하는 방안을 제시한다.

2.3 AODV 라우팅 프로토콜

AODV[18]는 대표적인 반응형 라우팅 프로토콜로 요청과 응답에 의하여 경로를 결정한다. 노드가 데이터 전송이 필요한 경우 경로 결정을 위해 RREQ (Route Request) 메시지를 신호영역 내의 모든 노드가 수신할 수 있도록 방송한다. 이 RREQ를 수신한 노드는 송신 노드로의 역방향 경로정보를 구성한다. 수신 노드가 RREQ 메시지의 목적지 노드나 목적지 경로를 알고 있는 중간 노드가 아니면 홉 카운트를 1 증가시켜 다시 방송한다. 목적지 노드나 목적지 경로를 알고 있는 중간 노드가 이 RREQ를 수신 하면

RREP(Route Reply) 메시지를 역방향 경로로 전송하여 응답한다. RREP는 RREQ 방송에 의하여 구성된 역방향 경로를 따라 전달되면서 목적지 노드로의 순방향 경로를 구성한다. RREP가 RREQ의 송신 노드에 도착하면 양방향 경로 결정이 완료된다. 경로 결정 완료 후 경로 상의 각 노드는 인접 노드와의 연결성 관리, 활성 경로의 오류발생 시 복구 등의 경로 관리를 수행한다.

AODV의 경로 결정 방법은 목적지 노드까지의 거리가 멀어지면 지연시간이 길어진다. 이는 혼합형 WMN을 통한 네트워크 확장에는 적합하지 않은 특성이다. AODV의 거리에 따른 경로 결정 지연시간 증가에 대하여 OPNET 시뮬레이터를 이용해 경로 결정 지연시간을 측정된 결과를 그림 1에 나타내었다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같다.

그림 1의 결과는 시뮬레이션을 통해 측정된 경로 결정 지연시간을 거리별로 평균한 것이다. 각 노드 간 거리는 2홉 거리의 신호영역이 최소로 중첩되도록 멀게 설정하였다. 결과에는 링 서치에 의한 지연시간이 반영되어 있다. 거리가 5일 때 지연시간은 약 0.6643초이다. 거리가 10인 경우 거리가 5일 때보다 약 0.5963초 증가 하고 있다. 1홉 거리에 대하여 약 0.12초가 증가한 것으로 이는 링 서치를 위해 TTL을

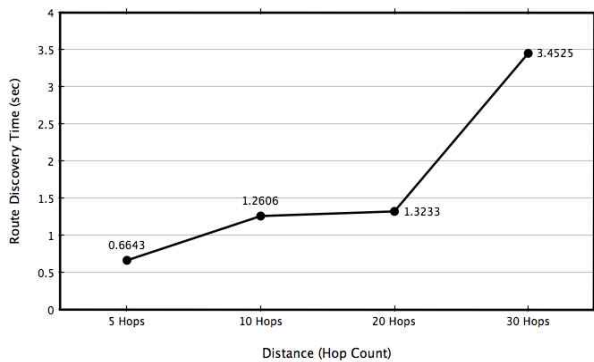


그림 1. AODV 경로 결정 지연시간

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Simulation Parameters	Values
OPNET version	14.5
Wireless Link	WLAN (11Mbps)
Packet Size	1024 Bits
Bit Rate	CBR
Inter Packet Arrival Time	0.2 sec.
Transmission Duration	60 sec.

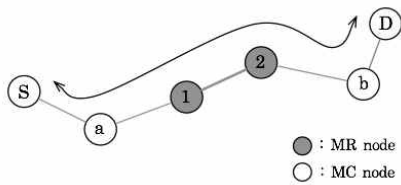
1부터 시작하여 2씩 증가시켜 임계값 7을 넘어서면 네트워크의 최대 지름인 35로 설정[18]하는데 거리 5와 10 사이에 거리 7이 존재하여 링 서치에 의한 지연이 이 여전히 영향을 주기 때문이다. 메시지 방송의 영향을 줄이기 위한 링 서치는 거리가 길어질수록 경로 결정에는 적합하지 않음을 그림 1에서 알 수 있다. 거리 증가에 따른 영향만을 보기 위해서는 링 서치의 영향을 받지 않는 거리 10과 20 사이의 지연시간 증가를 보아야한다. 이 구간의 지연시간 차는 약 0.0627초로 1홉 당 약 6.27ms의 지연시간이 발생하였다.

AODV의 네트워크 확장성 문제는 거리가 네트워크의 최대 지름인 35에 근접한 30인 경우의 지연시간에서 확인이 가능하다. 거리가 30인 경우 경로 결정 지연시간이 3.4525초로 급증하는 모습을 보이고 있다. 이는 노드가 응답 대기시간이 끝날 때까지 RREP 메시지를 수신하지 못함으로 인한 RREQ 재전송에 의한 것으로 분석된다. 그림 1의 결과에서 AODV는 링 서치와 RREQ 재전송으로 인한 급격한 지연시간 증가로 혼합형 WMN에서 네트워크 규모가 확장되는 상황에 제대로 대응하지 못한다는 것을 알 수 있다.

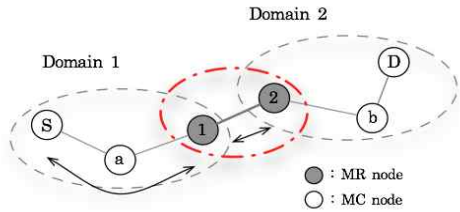
3. 도메인 기반 AODV

3.1 도메인 기반 AODV 개요

AODV는 혼합형 WMN의 노드 유형, 네트워크 계층구조를 무시하고 평면구조의 경로를 결정한다. 이는 네트워크의 규모가 커지면 경로 결정 지연시간을 증가시켜 성능저하의 원인이 된다. 도메인 기반 AODV는 이를 개선하기 위하여 혼합형 WMN의 MC 계층을 도메인 단위로 나누고 MR 계층을 하나의 상위도메인으로 구성하여 상위계층 도메인이 경로 결정을 대행함으로써 목적지 노드까지의 평균 경로 결정 거리를 줄이는 방안이다. 그림 2는 노드 S에서 노드 D까지의 경로 결정 예를 보인 것이다. AODV의 경우에는 (a)와 같이 경로 결정을 위해 5홉 거리에 대하여 제어 메시지 교환을 한다. 도메인 기반 AODV의 경우는 (b)와 같이 네트워크를 MR 노드를 헤더 노드로 하는 도메인으로 나누고 헤더 노드들을 하나의 헤더도메인으로 묶어 계층화한다. 노드 D로의 경로 결정을 위해 노드 S가 방송한 하위 도메인에서의 요청 메시지는 노드 a를 거쳐 노드 1로 전달된다. 노드 1은



(a) 단순 평면 경로 결정



(b) 도메인 기반 경로 결정

그림 2. 도메인 기반 AODV 개념

이를 헤더 도메인의 요청 메시지로 변환하여 방송한다. 노드 2는 헤더 도메인 요청 메시지에 대하여 노드 D가 자신의 멤버 노드임을 알리는 헤더 도메인 응답 메시지를 노드 1로 전송한다. 노드 1은 이 응답 메시지를 하위 도메인의 응답 메시지로 변환하여 노드 S로 전송한다. 예에서 보면 경로 결정 거리가 2홉 거리만큼 줄어든 것을 알 수 있다. 노드 D에 대한 최초 경로 결정에서 얻어진 노드 D의 도메인 정보를 헤더 노드 1이 캐시에 저장하는 경우 이후부터의 경로 결정 거리는 도메인 1의 멤버 노드와 헤더 노드 간 거리로 줄어든다. 도메인 내에서 멤버 노드 간 경로 결정 거리는 변함이 없으므로 평균 경로 결정 거리는 소스 도메인의 헤더 노드와 멤버 노드 간 평균 거리에 근사치로 줄어든다.

앞서 언급한 것과 같이 노드 1은 노드 D에 대한 경로 결정 과정에서 얻어진 노드 D의 도메인 정보를 캐시에 일정시간 저장함으로써 이후부터의 노드 D에 대한 도메인 1 멤버 노드들의 경로요청에 대해 캐시에 저장된 정보로 응답한다. 따라서 노드 D가 여전히 도메인 2의 멤버 노드인지 아니면 다른 도메인으로 이동했는지에 대한 도메인 정보의 일관성 유지가 필요하고 이를 위하여 적절한 관리과정을 수행해야 한다. 이는 MC 노드의 도메인 결정에 의하여 이루어진다.

기존 AODV는 경로 결정을 위해 요청 메시지의 방송으로 인해 방송 폭풍을 발생시켜 네트워크의 성능에 영향을 줄 수 있다. 이를 방지하기 위해서 링 서치를 수행하지만 링 서치는 추가적인 지연시간을

발생시켜 또 다른 성능저하의 요인이 된다. 도메인 기반 AODV는 요청 메시지의 전파를 도메인으로 제한하여 방송 폭풍의 영향을 줄인다. 그림 2에서 노드 S가 방송한 요청 메시지는 도메인 1 내부에서만 전파되고 도메인 외부로는 차단된다. 도메인 1 외부로의 전파는 헤더 노드 1을 통해서만 가능하고 노드 1은 목적지가 도메인 외부에 있다고 판단될 때에만 요청 메시지를 헤더 도메인으로 전파한다. 헤더 도메인으로 전파된 메시지는 MR 노드만이 수신 가능하도록 멀티캐스트 주소를 사용하여 MC의 수신을 제한한다. 도메인으로 제한된 메시지 방송으로 인해 요청 노드는 링 서치를 수행할 필요가 없으므로 링 서치로 인한 지연시간을 줄일 수 있다.

3.2 도메인 결정과 도메인 배포

도메인 기반 AODV는 별도의 헤더 노드 결정 과정 없이 MR 노드를 도메인 헤더 노드로 한다. MC 노드는 자신의 신호영역에 있는 노드로 도메인 정보를 요청하여 도메인 결정을 시작한다. 동작 초기의 MC 노드는 아무런 도메인에도 소속되어있지 않기 때문에 정의되지 않은 도메인 모드(Undefined Domain Mode)가 된다. 도메인 결정을 위해 MC 노드는 DREQ(Domain Request)를 방송한다. DREQ는 신호영역 내에 있는 노드에게 도메인 정보를 요청하는 것이 목적으로 단일 홉으로 방송된다. DREQ를 수신한 노드는 DREP(Domain Reply)에 자신의 도메인 정보를 기록하여 요청 노드로 전달한다. 요청 노드는 DREP에 기록된 응답 노드의 도메인 ID와 헤더까지의 거리정보, DREP을 전달한 노드의 주소를 이용해 자신의 도메인을 결정한다.

그림 3을 예로 하여 도메인 결정 과정을 설명하면 다음과 같다. 노드 S와 a는 도메인 1의 멤버 노드들이고 노드 1이 도메인의 헤더 노드이다. 노드 a는 헤더 노드와 1홉 거리이고 노드 S는 노드 a를 경유하는

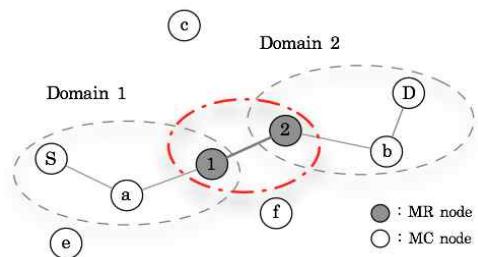


그림 3. 도메인 결정

2홉 거리에 있다. 노드 S는 자신의 도메인 결정 과정에서 노드 a로부터 도메인 1에 대한 정보를 수신하였기 때문에 도메인 헤더로의 다음 홉을 노드 a로 결정하고 있다. 새로운 노드 e가 도메인 결정을 위해 DREQ를 방송하면 신호영역에 있는 노드 S와 a가 이를 수신한다. 헤더 노드 1은 신호영역 밖에 위치하고 있어 노드 e의 DREQ를 수신하지 못한다. DREQ를 수신한 노드 S와 a는 도메인 1의 도메인 ID(노드 1의 주소), 노드 1까지의 홉 카운트, 도메인 순서번호를 포함하는 DREP를 노드 e로 전송하여 응답한다. 노드 e는 수신된 DREP들에서 도메인 ID와 헤더 노드까지의 거리 정보를 비교하여 헤더 노드까지의 거리가 가장 짧은 노드 a가 전달한 DREP의 정보를 기반으로 도메인 1을 자신의 도메인으로 결정한 후 노드 a를 헤더 노드 경로의 다음 홉으로 설정한다. 도메인이 결정되면 노드 e는 노드 a를 경유하여 헤더 노드 1로 DREG(Domain Register) 메시지를 전송하여 멤버등록을 한다. 노드 1은 DREG의 수신을 통해 2홉 거리의 멤버 노드 e의 존재와 경로정보를 인지하고 캐시에 노드 e를 멤버로 등록한다.

노드 c는 신호영역 내에 이웃 노드가 없어 응답 대기시간이 끝날 때까지 DREP를 수신하지 못하는 상황으로 자신의 도메인을 결정할 수 없어 정의되지 않은 도메인 모드 상태가 된다. 그리고 만약 노드 c와 같이 정의되지 않은 도메인 모드 상태인 노드가 다른 노드로부터 DREQ를 수신하면 응답할 도메인 정보가 없기 때문에 DREP를 전송하지 않는다. 헤더 노드가 주변에 없어 정의되지 않은 도메인 모드 상태인 노드들 간에는 신호범위 내에 있는 경우 경로요청과 응답에 의하여 데이터 전달이 가능하다. 이와 같이 주변에 도메인 헤더가 없거나 특정 도메인의 멤버 노드가 없는 경우에는 MC 노드들만으로 메시가 구성되는 WMN으로 MANET과 동일하다. 노드 f는 두 도메인으로부터 DREP를 수신하는 경우로 그림 3에서는 두 도메인 헤더 노드까지의 거리가 1로 서로 동일하므로 먼저 수신된 DREP의 도메인 멤버가 된다.

DREP 수신을 통해 MC 노드는 헤더 노드로의 경로정보를 결정하게 되고 헤더 노드는 DREG의 수신을 통해 멤버 노드로의 경로정보를 입수한다. 도메인 결정에 의해 입수된 경로정보는 캐시에 저장되어 관리된다. 도메인 결정은 이동에 의한 경로 및 도메인의 변경을 감지하기 위하여 주기적으로 수행된다.

헤더 도메인의 노드는 도메인 간 제어를 위해 도메인 배포를 주기적으로 수행한다. 도메인 배포란 헤더 노드의 도메인 ID를 다른 헤더 노드로 전파시키는 과정을 말한다. 도메인 배포를 통해 헤더 도메인에서 헤더 노드 간 경로정보의 구성, 헤더 노드의 변동사항 통보, 헤더 노드 간 제어 메시지 송수신 등의 기능을 수행한다. 또한 도메인 배포 메시지에 성능정보 필드의 추가를 통해 부하 분산 등의 부가기능을 수행할 수 있다. 하지만 본 논문에서는 부하 분산 방안에 대해서는 언급하지 않는다. 도메인 배포는 대규모 경로정보를 교환하는 선행형 프로토콜과는 달리 도메인 ID, 순서번호 등의 작은 크기의 정보를 DDST(Domain Distribution) 메시지의 방송을 통해 전달한다. DDST 방송은 MC 노드가 수신하는 것을 방지하기 위하여 멀티캐스트 주소를 사용한다. DDST를 수신한 헤더 노드는 혼합형 WMN에 존재하는 다른 헤더 노드의 도메인 ID와 경로를 알게 되고 이를 자신의 도메인 캐시에 등록하여 관리한다. 순서번호가 같은 DDST를 다시 수신하거나 방송된 거리가 헤더 도메인의 최대 거리를 넘는 경우에는 헤더 노드가 이를 폐기한다.

3.3 경로 결정

그림 4를 예로 하여 도메인 기반 AODV의 경로 결정을 설명하면 다음과 같다. 노드 S가 동일 도메인 멤버인 노드 a, b, c로 데이터를 전송할 경우의 경로 결정은 기존의 AODV와 동일하다. 하지만 RREQ의 전파는 도메인 1로 제한된다. 노드 b와 같이 동일 도메인의 멤버이지만 도메인 헤더를 경유하여야 하는 경우에는 헤더 노드 1이 노드 b의 경로를 알고 있으므로 하위 도메인 RREP를 노드 S로 전송한다. 노드 c와 d의 경우와 같이 서로가 신호영역 안에 있지만 도메인이 다른 경우에는 노드 c의 하위 도메인 RREQ를 노드 d는 폐기한다. 이는 하위 도메인 RREQ에 기록된 도메인 ID와 수신 노드의 도메인 ID를 비교하여 수행된다.

노드 S가 노드 D로 데이터를 전송할 경우에는 노드 S가 방송한 하위 도메인 RREQ가 노드 a를 거쳐 헤더 노드 1에 도착하고 목적지 검사를 통해 노드 D가 동일 도메인 멤버가 아님을 판단한 헤더 노드 1은 HL-RREQ를 헤더 도메인에 방송한다. HL-RREQ는 AODV의 RREQ에 헤더 계층 플래그(header lay-

er flag)를 추가하여 설정한 것이다. HL-RREQ는 헤더 도메인에서 전파되고 헤더 노드 2가 이를 수신하여 노드 D가 도메인의 멤버 노드임이 확인되면 HL-RREP를 헤더 노드 1으로 전송한다. HL-RREP 또한 RREP에 헤더 계층 플래그를 추가하여 설정한 것이다. 헤더 노드1은 HL-RREP가 수신되면 헤더 계층 플래그를 해지하여 하위 도메인 RREP로 변환한 후 노드 S로 전송한다. 이 과정에서 헤더 노드 2는 필요한 경우 요청 없는 RREP(Gratuitous RREP)를 노드 D로 전송한다.

도메인 기반의 경로 결정에서 도메인 경계에 인접한 두 노드는 신호영역 내에 있더라도 반드시 도메인 헤더 노드를 경유해야 하는 문제가 발생한다. 이런 경우에는 전송거리가 오히려 길어지는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해서는 도메인 경계에 있는 노드들의 인접성 정보를 이용하는 방안이 있다. 하지만 본 논문에서는 언급하지 않는다.

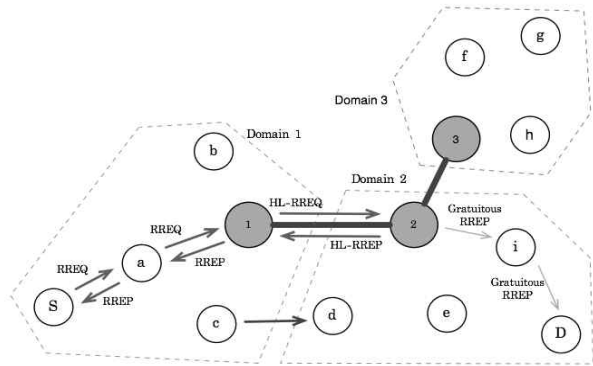


그림 4. 도메인 기반 AODV 경로 결정 절차

3.4 도메인 멤버관리

MC 노드는 이동에 의해 도메인의 변경이 발생한다. 이 경우 이전 도메인의 헤더 노드에게 멤버 해지 요청을 하여야 한다. 멤버 해지는 새로운 헤더 노드가 등록요청 노드가 전송한 DREG의 이전 도메인 필드(previous domain field)에 기록된 도메인 ID와 자신의 도메인 ID를 비교함으로써 수행된다. 비교 결과 도메인 ID가 다르면 헤더 노드는 멤버 등록요청 노드가 도메인이 변경된 것을 감지하고 이전 도메인의 헤더 노드로 DREG-Release를 전송하여 멤버 해지를 통보한다. DREG-Release를 수신한 이전 헤더 노드는 캐시에 저장된 해당 노드의 멤버 엔트리를 제거하고 이 노드의 도메인 정보를 요청한 모든 헤더

노드로 DREG-Change를 전송한다. DREG-Change 수신에 의하여 헤더 노드는 캐시에 저장하고 있던 해당 노드의 도메인 정보를 수정한다.

그림 5에서 노드 e는 이동에 의하여 도메인이 변경되면 DREG를 헤더 노드 1로 전송한다. DREG의 이전 도메인 필드에는 노드 e의 이전 도메인 ID가 기록되어 있다. 노드 e의 이전 도메인 ID와 노드 1의 도메인 ID가 서로 다르므로 헤더 노드 1은 노드 e의 이전 도메인의 헤더 노드 2로 DREG-Release를 전송한다. 도메인 ID를 헤더 노드의 주소를 사용하기 때문에 도메인 배포에서 설정된 경로로 DREG-Release는 전달된다. 노드 2는 수신된 DREG-Release 메시지를 기반으로 캐시에서 노드 e에 대한 정보를 제거한 후 노드 e의 도메인 정보를 질의한 모든 헤더 노드로 DREG-Change를 전송하여 노드 e의 새로운 도메인을 통보한다. 만약 노드 e가 다른 모든 노드들의 신호영역을 벗어난 경우에는 노드 e는 정의되지 않은 도메인 모드가 되고 헤더 노드 2는 노드 e에 대한 멤버 엔트리의 생명주기가 끝남과 동시에 DREG-Change를 노드 e에 대하여 질의한 모든 헤더 노드로 전달하여 정보를 수정하도록 한다.

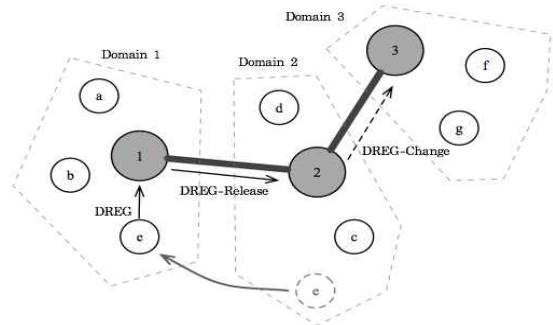


그림 5. 도메인 변경

4. 도메인 기반 AODV 기능 구조

도메인 기반 AODV를 위해 각 노드들은 두 가지 데이터 구조를 유지한다. 하나는 라우팅 테이블이고 다른 하나는 도메인 캐시이다. 노드가 데이터의 전송이 필요한 경우 가장 먼저 목적지 노드에 대한 경로 정보를 라우팅 테이블에서 확인한다. 라우팅 테이블에 목적지 노드의 엔트리가 없는 경우에 다음으로 도메인 캐시를 확인한다. 도메인 캐시에도 목적지 노드에 대한 엔트리가 없는 경우 목적지 노드를 위한

경로 결정 과정을 시작한다. 만약 도메인 캐시에 목적지 노드에 대한 엔트리가 있는 경우에는 이 도메인 엔트리로부터 라우팅 엔트리를 생성한다.

도메인 캐시는 다시 도메인 헤더 캐시와 멤버 캐시로 구성된다. 도메인 헤더 캐시에는 MR 노드의 경우 헤더 도메인의 헤더 노드들에 대한 엔트리를 저장하고 MC 노드인 경우 자신의 도메인 헤더 엔트리를 저장한다. 멤버 캐시는 MR 노드에만 존재하며 자신의 도메인 멤버 노드와 경로 결정 과정에 의해 얻어진 외부 도메인의 멤버 노드에 대한 정보를 저장한다.

도메인 캐시 엔트리를 이용해 라우팅 엔트리를 생성하기 위해서는 도메인 캐시에 저장된 정보의 일관성을 유지하는 것이 중요하다. 이를 위해 도메인 기반 AODV는 주기적인 정보 갱신을 수행한다. MR 노드의 도메인 헤더 캐시는 헤더 노드의 도메인 배포를 통해 갱신되고 MC 노드는 도메인 결정을 통해 갱신된다. MR 노드의 멤버 캐시는 도메인 결정과 경로 결정에 의하여 갱신된다. 도메인 배포 주기는 헤더 노드가 고정 노드이므로 유선망의 RIP 수준인 60초로 설정될 수 있다. 하지만 무선 링크임을 감안하여 보다 짧은 시간을 설정하여야 한다. MC 노드의 도메인 결정 주기는 이동에 의한 변화를 빠르게 반영하여야 하므로 비교적 짧아야 한다. AODV의 표준문서인 RFC 3561[18]에서 라우팅 엔트리의 생존시간을 3초로 정의하고 있으며 생존시간 이후에 엔트리가 삭제될 때까지 $K * \max(\text{생존시간}, \text{헬로 주기})$ 시간 동안 유효하지 않은 경로로 라우팅 테이블에 존재한다. 여기서 K는 상수로 5가 권고되므로 결정된 라우팅 엔트리는 최대 18초까지 라우팅 테이블에 존재한다. 따라서 도메인 결정 주기를 3초에서 18초 사이로 설정 할 수 있다.

도메인 기반 AODV는 IDDF(Inter-Domain Distribution Function), IDMF(Inner-Domain Management Function), ORDF(On-Demand Routing Function)의 3가지 서브기능과 DICT(Domain Information Cache Table) 데이터 구조 그리고 라우팅 테이블로 구성된다. IDDF는 MR의 기능으로 도메인 헤더 간 도메인 배포와 MC 노드의 도메인 변경에 따른 멤버 해지절차를 수행한다. IDMF는 MC의 도메인 결정 및 등록을 수행한다. ORDF는 반응형 경로 결정을 수행하는 기능으로 도메인 내부에서는 기존

AODV와 동일하다. 하지만 MR에서의 ORDF는 MC의 ORDF로부터 수신된 RREQ에 대하여 도메인 외부 노드에 대한 경로 결정을 대행하기 위해 MR 계층에서의 도메인 헤더 간 HL-RREQ/HL-DREP 메시지 교환을 수행한다. DICT는 앞서 언급한 도메인 캐시로서 라우팅 테이블과는 별도로 유지하는 데이터 구조이다.

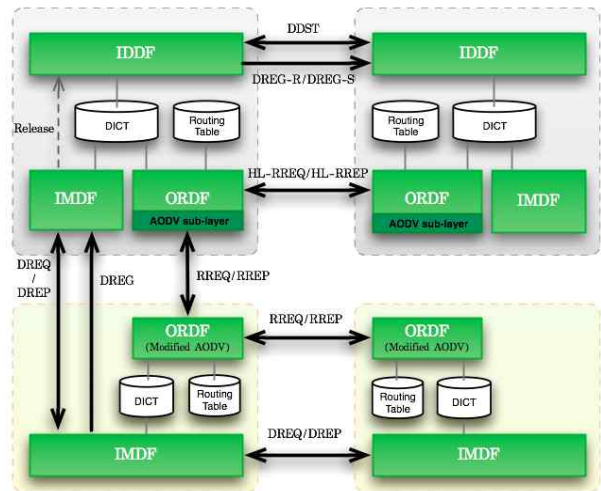


그림 6. 도메인 기반 AODV 기능 구조

5. 성능 분석

도메인 기반 AODV는 도메인 단위의 경로 결정을 통해 평균 경로 결정 거리를 줄여 AODV의 초기 전송 지연시간을 감소시키는 것을 목적으로 한다. AODV의 경로 결정 지연시간은 전송 거리에 비례하며 특히 네트워크의 규모가 특정 크기를 넘어서면 지연시간이 급격히 증가함을 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있었다. 도메인 기반 AODV의 도메인 경로 결정 효과를 그림 7을 예로 분석하면 다음과 같다. 노드 S에서 노드 D까지의 경로결정 최소 거리는 5이다. 하지만 도메인 기반 AODV에서는 그림과 같이 2개의 도메인으로 네트워크가 구분되면 경로결정 거리는 노드 S와 헤더 노드 1 사이의 거리 2에 헤더 노드 1과 2 사이의 거리 1을 더한 3이 된다. 결과적으로 도메인 2의 헤더 노드 2와 노드 D 사이의 거리 2에 해당하는 지연시간이 줄어든다. 이를 통해 도메인 1에서 도메인 2의 노드로 데이터 전송을 하는 경우의 경로결정 거리는 헤더 노드 2에서 멤버 노드까지의 평균 거리만큼 줄어든다는 것을 알 수 있다. 그

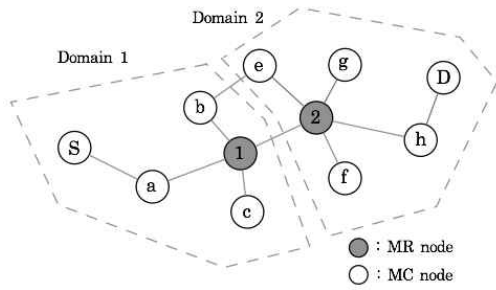


그림 7. 도메인 경로결정 예

림 7에서는 도메인 1의 임의의 노드가 도메인 2의 임의의 노드로 데이터를 전송하는 경우 평균 1.2 홵의 거리가 감소한다. 또한 초기 경로결정 이후에는 헤더 노드 1이 목적지 노드의 도메인 정보를 캐시에 저장하여 이후의 동일 목적지 노드에 대한 요청에 응답하기 때문에 평균 경로결정 거리는 소스 도메인의 헤더 노드와 멤버 노드 간 평균 거리로 감소된다. 노드 b와 노드 e와 같이 서로가 신호영역 안에 있는 경우 각 도메인의 헤더 노드를 반드시 경유해야 하는 문제로 인해 경로가 오히려 길어지는 문제가 있지만 도메인 기반 AODV의 경우 전송 경로가 길어질수록 도메인에 의한 경로결정 거리는 짧아지기 때문에 네트워크의 확장에 의한 영향을 줄일 수 있다.

그림 1의 AODV 경로결정 지연시간과 단순 비교를 하기 위하여 거리에 따른 종단 간 경로결정 시나리오의 시뮬레이션을 동일하게 수행하였다. 시뮬레이션을 위하여 OPNET 버전 14.5의 AODV 모듈을 수정하여 사용하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 8에 나타내었다. 결과는 초기 경로결정에 소요되는 지연시간을 측정하는 것이다.

도메인 기반 AODV의 경우 도메인 내부에서만 RREQ가 방송되므로 링 서치를 수행하지 않아도 되

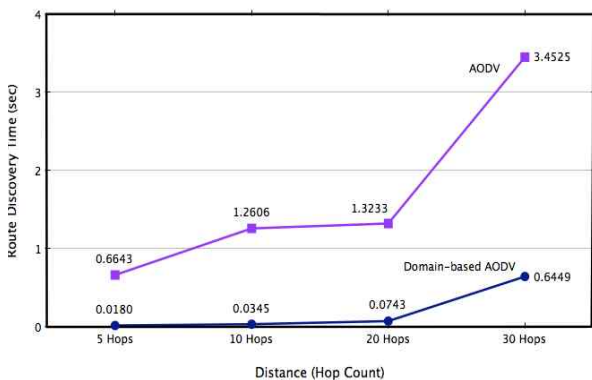


그림 8. 거리에 따른 경로결정 지연시간 비교

기 때문에 초기 지연시간이 AODV에 비하여 충분히 짧음을 알 수 있다. 단순 비교 관점에서 보면 도메인 기반 AODV도 AODV와 동일한 지연시간 증가 패턴을 보이고 있다. 그림 8의 그래프에서 거리가 5일 때와 10일 때는 2개의 도메인을 구성하고 헤더 도메인의 거리를 1로 설정한 결과이다. 결과에서 보듯이 AODV에 비하여 기울기가 완만하게 증가하는 것을 알 수 있다. 거리가 20인 경우와 30인 경우는 소스 노드와 목적지 노드에서 각각의 헤더 노드까지의 거리를 8로 고정하고 나머지 거리를 헤더 도메인으로 설정한 경우이다. AODV의 경우 경로결정 거리는 종단간 거리에 영향을 받지만 도메인 기반 AODV는 도메인에서의 멤버 노드와 헤더 노드 간 거리와 헤더 도메인에서의 헤더 노드 간 거리 두 가지 요소에 영향을 받는다. 따라서 거리가 20인 경우와 30인 경우는 헤더 노드 간 거리가 증가하는 구조로 실질적인 거리 단축 효과는 목적지 도메인에서의 거리 8 정도이다. MR 계층의 메시 연결에 대한 고려 없이 단순 거리만 증가시킴으로 인해 도메인에 의한 효과가 나타나지 않은 것으로 볼 수 있다. 따라서 도메인 기반 AODV의 최적화를 위해서는 도메인의 크기와 헤더 도메인에 대한 구성관리가 필요함을 알 수 있다.

임의의 네트워크 토폴로지에서 도메인의 자율 구성에 의한 성능평가를 위하여 그림 9와 같은 네트워크를 구성하고 AODV와 도메인 기반 AODV의 경로결정 지연시간을 측정하였다. 시뮬레이션 파라미터는 앞서 수행한 시뮬레이션과 동일하며 데이터 트래픽 소스와 목적지 노드는 임의로 지정하였다.

그림 9에서 보면 네트워크에 3개의 MR 노드가 있다. 따라서 3개의 하위 도메인과 3개의 헤더 노드를

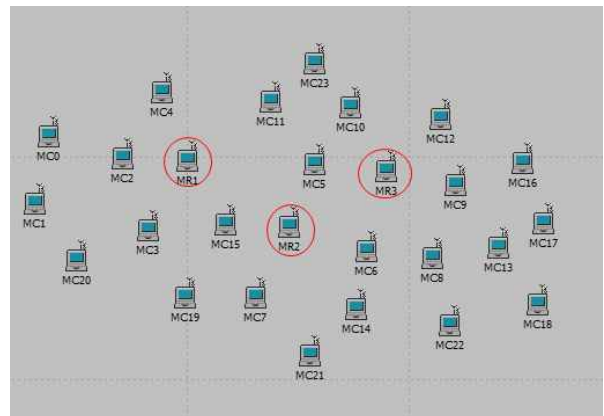


그림 9. 도메인 자율구성 시뮬레이션 토폴로지

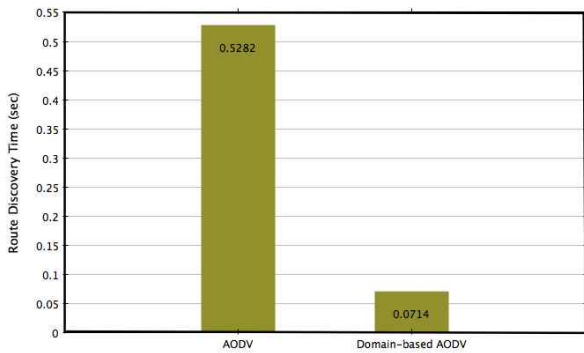


그림 10. AODV와 도메인 기반 AODV 지연시간

포함하는 헤더 도메인으로 구성되는 계층 구조이다. 그림 10의 시뮬레이션 결과를 보면 도메인 기반 AODV가 짧은 지연시간을 보이고 있지만 그림 8의 단순 홉 수 증가 시뮬레이션에서 보다 AODV의 지연 시간이 조금 짧아진 것에 비하여 도메인 기반 AODV는 조금 길어진 것을 볼 수 있다. 이는 AODV의 경우 최소 홉 경로결정으로 인해 가장 먼 거리에 있는 노드를 다음 홉으로 결정하므로 경로 길이가 짧아진 반면에 도메인 기반 AODV는 도메인 경계에 인접한 노드들에 의한 경로결정 거리의 증가와 도메인 관리를 위한 노드들의 제어 메시지 전송에 따른 WLAN의 CSMA/CA 지연 특성이 원인으로 분석된다. 도메인 경계의 인접 노드에 대한 경로결정 문제 해결을 위해 노드의 인접성 정보를 이용한 도메인 경계 노드의 경로결정에 대한 방안을 연구 중이다. 그리고 최적 경로결정 성능을 위해서는 라우팅 프로토콜의 개선과 함께 다양한 성능 측정 기준의 적용이 필요함을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 혼합형 WMN에 적합한 라우팅 프로토콜을 위해 MANET의 AODV를 계층형 라우팅 프로토콜로 개선한 도메인 기반 AODV에 대하여 제안하였다. 도메인 기반 AODV는 혼합형 WMN의 MC 노드들을 MR 노드를 헤더로 하는 도메인으로 구분하고 헤더 노드를 다시 상위 도메인으로 하는 계층을 구성하여 도메인 단위의 경로결정을 수행한다.

도메인 기반 AODV는“혼합형 WMN에서의 라우팅 성능 향상 연구”의 일환으로서 혼합형 WMN의 네트워크 계층에 적합한 반응형 라우팅 프로토콜을 설계한 것으로 도메인이 서로 다른 인접 노드와의 경

로결정, 부하 분산, 도메인 구성관리 등과 같은 향후 추가적인 연구가 필요하다. 하지만 도메인을 통해 평균 경로결정 거리를 소스 도메인에서의 노드와 헤더 간 평균거리로 줄일 수 있음을 성능분석에서 보였다. OPNET 시뮬레이터를 통한 시뮬레이션 결과에서 보듯이 AODV에 비하여 경로결정 지연시간이 짧고 거리의 증가에 따른 지연시간 증가가 완만함을 알 수 있다.

기존의 계층형 라우팅 방안이나 계층 간 교차 설계 방안과 비교하면 도메인 기반 AODV는 AODV의 속성이 적용되어 있어 지연시간이 발생하나 오버헤드나 부하가 작으면서 프로토콜 호환성을 유지한 반응형 프로토콜로서 네트워크의 확장에 대응할 수 있음을 보였다. 향후 연구로는 앞서 언급한 과제와 함께 도메인 기반 AODV의 헤더 도메인에 대한 성능관리 기능을 보완함으로써 추가적인 지연시간 개선과 부하 분산을 수행할 수 있도록 개선하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] V.C. Gungor, E. Natalizio, P. Pace, and S. Avallone, “Challenges and Issues in Designing Architectures and Protocols for Wireless Mesh Networks,” *Wireless Mesh Networks: Architectures and Protocols*. Springer, New York, pp. 1-27, 2008.
- [2] I. Akyildiz and X. Wang, “Wireless Mesh Networks: A Survey,” *Computer Networks*, Vol. 47, Issue 4., pp. 445-487, 2005.
- [3] S.S. Ahmeda and E.A. Esseid, “Review of Routing Metrics and Protocols for Wireless Mesh Network,” *Proc. Second Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System*, pp. 27-30, 2010.
- [4] M.E.M. Campista, P.M. Esposito, I.M. Moraes, L. Costa, O. Duarte, D.G. Passos, C.V.N. de Albuquerque, D.C.M. Saade, and M.G. Rubinstein, “Routing Metrics and Protocols for Wireless Mesh Networks,” *IEEE Network*, Vol. 22, No. 1, pp. 6-12, 2008.
- [5] S. Waharte, R. Boutaba, Y. Iraqi, and B. Ishibashi, “Routing Protocols in Wireless

- Mesh Networks: Challenges and Design Considerations,” *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 29, No. 3, pp. 285-303, 2006.
- [6] S. Kumar, “Reactive and Proactive Routing Protocols for Wireless Mesh Network Using Multimedia Streaming,” *Proc. published in International Journal of Computer Applications*, pp. 13-17, 2012.
- [7] S.D. Odabasi and A.H. Zaim, “A Survey on Wireless Mesh Networks, Routing Metrics and Protocols,” *International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering*, Vol. 2, No. 1, pp. 92-104, 2011.
- [8] P.N. Thai and Hwang Won-Joo, “Hierarchical Routing in Wireless Mesh Network,” *Proc. International Conference on Advanced Communication Technology*, Vol. 2, pp. 1275-1280, 2007.
- [9] N.T. Pham, M. Choi, and W. Hwang, “Joint Channel Assignment and Multi-path Routing in Multi-radio Multi-channel Wireless Mesh Network,” *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 12, No. 6, pp. 824-832, 2009.
- [10] V.C.M. Borges, M. Curado, and E. Monteiro, “Cross-Layer Routing Metrics for Mesh Networks: Current Status and Research Directions,” *Computer Communications*, Vol. 34, No. 6, pp. 681-703, 2011.
- [11] Conti, G. Maselli, G. Turi, and S. Giordano, “Cross-Layering in Mobile ad Hoc Network Design,” *IEEE Computer*, Vol. 37, No. 2, pp. 48-51, 2004.
- [12] S. Biswas and R. Morris, “Opportunistic Routing in Multi-Hop Wireless Networks,” *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 34, No. 1, pp. 69-74, 2004.
- [13] T. Huang, C. Liao, and C. Dow, “Zone-Based Hierarchical Routing in Two-Tier Backbone ad Hoc Networks,” *Proc. 12th IEEE International Conference on Networks*, Vol. 2, pp. 650-654, 2004.
- [14] Y. Tseng, S. Ni, and Y. Chen, “The Broadcast Storm Problem in a Mobile ad Hoc Network,” *Wireless Networks*, Vol. 8, Issue 2-3, pp. 153-167, 2002.
- [15] C. Liu and J. Kaiser, *A Survey of Mobile ad Hoc Network Routing Protocols*, University of Ulm Tech.Report Series, 2003.
- [16] S.A.K. Al-Omari, and P. Sumari, “An Overview of Mobile Ad Hoc Networks for the Existing Protocols and Applications,” *Journal of Applications of Graph Theory in Wireless Ad hoc Networks and Sensor Networks*, Vol. 2, No. 1, pp. 87-110. 2010.
- [17] N. Beijar, *Zone Routing Protocol (ZRP)*, Networking Laboratory, Helsinki University of Technology, Finland, 2002.
- [18] C. Perkins, and E. Belding-Royer, *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*, IETF RFC 3561, pp. 1-38, 2003.



김 호 철

1989년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사
 1989년 1월~1996년 6월 삼성SDI 종합연구소 주임연구원
 1999년 2월 영남대학교 멀티미디어통신공학과 공학석사

2004년 2월 영남대학교 멀티미디어통신공학과 공학박사
 2001년 3월~현재 울산과학기술대학교 컴퓨터정보학부 교수
 관심분야: 정보통신, 정보서비스