

무선 메시 네트워크의 라우팅 성능 개선 연구

김호철^{1*}

¹울산과학기술대학교 컴퓨터정보학부

A Study on Improvement of Routing Performance for Wireless Mesh Networks

Ho-Cheal Kim^{1*}

¹School of Information Technology, Ulsan College

요 약 현재 WMN은 다중 홉 라우팅을 통한 무선 네트워크 서비스 제공의 핵심방안으로 연구되고 있다. WMN은 MANET을 위하여 제안된 프로토콜들을 적용하여 빠르게 구축할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 다중 네트워크 및 다중 채널의 지원, 망의 구조 등에서 MANET과 차이가 있으며 특히 네트워크 계층의 라우팅 프로토콜의 경우 MANET의 라우팅 프로토콜을 그대로 적용할 경우 성능저하의 한 원인이 될 수 있다. 다양한 MANET 라우팅 프로토콜 중 이동노드의 성능 및 네트워크 자원의 제약을 고려해 볼 때 AODV가 가장 적합하다고 할 수 있으나 네트워크의 확장 시에 경로결정 지연시간이 길어지는 단점이 있다. 본 논문에서는 AODV의 이러한 단점을 개선하기 위하여 메시 라우터와 메시 클라이언트를 라우팅 계층으로 구분 하고 메시 클라이언트의 경로설정 메시지의 방송을 지역화 하여 WMN의 구조에 적합하도록 변경된 방안을 제시한다.

Abstract WMN is considered as a core methodology to provide mobile wireless network service with multi-hop routing feature. It has a merit that can be easily deployed by utilization of protocols for MANET. However, it has differences in supporting multiple networks and channels, network architecture, and so on. Especially, in case of routing protocols, to apply them intactly to WMN can be a cause of low performance because of do not moving mesh routers. AODV seems like suitable for WMN among the various routing protocols for MANET. However, it has a defect in scalability. In this paper, an enhanced AODV routing method for WMN was proposed. The proposed method was designed to be suitable to the architecture of WMN by use of layering and localizing the broadcasting domain.

Key Words : AODV, MANET, Routing Protocol, Scalability, WMN

1. 서론

차세대 이동 네트워크 서비스의 제공을 위해 다양한 형태의 기술들이 연구되고 있으며 이 중에서 무선 네트워크 간 다중 홉 라우팅 특징을 갖는 무선 메시 네트워크(WMN)가 관심을 받고 있다. 이동노드들이 스스로 메시 연결을 설정하고 유지하는 WMN의 특징은 적은 초기비용, 쉬운 유지관리, 강건하고 신뢰성 있는 네트워크 서비

스 범위 등의 장점이 있다[1]. WMN의 노드들은 라우터와 호스트의 역할을 동시에 수행하며 메시 라우터(MR)와 메시 클라이언트(MC) 두 가지로 역할이 구분된다. 이동이 없는 MR은 무선 백본 네트워크를 구성하는 반면 MC는 서로가 메시지를 구성할 뿐만 아니라 MR을 통해서 백본 네트워크에 접속한다[2].

라우팅의 관점에서 WMN과 MANET의 유사성으로 인해 MANET의 라우팅 프로토콜을 적용할 수 있지만[1]

본 논문은 울산과학기술대학교 교내학술연구비 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Ho-Cheal Kim(Ulsan College)

Tel: +82-52-230-0679 email: kimhc@uc.ac.kr

Received April 9, 2013

Revised April 22, 2013

Accepted May 9, 2013

MANET의 라우팅 프로토콜들은 WMN의 MR과 MC에 의한 네트워크 계층화, 다중 인터페이스와 다중 채널의 사용 등의 특성으로 인해 성능 측면에서 고려해야 할 사항이 많다[1]. 따라서 노드의 높은 이동성을 고려하여 설계된 MANET의 라우팅 프로토콜을 그대로 WMN에 적용하는 것은 그다지 효율적이지 않다. 현재는 계층 간 독립된 구조의 프로토콜 설계에 따른 문제들을 해결하기 위하여 교차 계층 프로토콜 설계(Cross Layer Protocol Design)에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며 라우팅 프로토콜 역시 다양한 성능지표의 적용을 위해서 MAC 계층과의 교차 설계 프로토콜들이 많이 연구되고 있다[1, 3-5].

본 논문에서는 네트워크 계층 라우팅 프로토콜의 개선 방안에 대하여 서술한다. 이는 실질적인 성능향상을 위해서는 MAC 계층과의 교차 계층 설계가 필요하지만 MANET의 라우팅 프로토콜들은 오랜 기간 표준화 단계를 거쳐서 실제 적용되고 있고 이를 WMN의 구조에 최적화되도록 개선함으로써 하이브리드 WMN 구축 시에 프로토콜의 이식성을 높일 수 있으며 프로토콜의 변경을 최소화 할 수 있기 때문이다. MANET의 라우팅 프로토콜들은 네트워크의 확장 문제에 대하여 대부분은 효과적이지 못하다는 단점이 있다[1]. 본 논문은 MANET의 평면구조 유니캐스트 라우팅 프로토콜 중에서 소규모 네트워크에 효과적인 AODV(Ad Hoc On-demand Distance Vector)를 WMN을 통한 네트워크 확장에 효과적으로 적용될 수 있도록 경로결정 지연시간을 줄여 전송효율을 높이는 방안으로 연구 중인 “하이브리드 WMN에서의 도메인 분할 AODV 라우팅 프로토콜 설계”의 한 영역으로 WMN의 라우팅 계층화 및 도메인 구성과 운영에 관한 것이다.

도메인이란 경로결정에 참여하는 노드의 범위를 의미하며 MR을 도메인 헤더로 하여 구성되는 클러스터를 말한다. 라우팅 도메인의 구성은 기존에 제안된 계층기반 라우팅의 클러스터 구성 방안[6, 7]을 적용할 수 있으나 기본적으로 고정 노드인 MR이 도메인 헤더로 결정되기 때문에 헤더 결정과정이 필요하지 않다. 대부분의 계층기반 라우팅 프로토콜들은 전략적으로 게이트웨이 또는 랜드마크 노드를 설정하는데 다중 계층을 구성할 경우 최상위 계층 노드는 계층에 의한 구조적인 오버헤드가 심하게 발생한다[8]. 이러한 이유에서 다중 계층 구조를 WMN에 확대 적용할 경우 최상위 계층 노드에서 심각한 혼잡상황이 발생할 수 있다. 본 논문의 방안은 평면구조 프로토콜인 AODV를 하이브리드 WMN의 MR과 MC 계층구조에 적합하도록 변경하여 제어를 분리함으로써 제어 메시지의 방송을 줄이고, MC 계층 제어를 도메인 영

역으로 지역화 하는 것이다. 이때 도메인 헤더인 MR에 계층구조의 오버헤드가 발생할 수 있으나 단일 계층 다중 계층 구조에 비하여 오버헤드가 분산되는 효과가 있다.

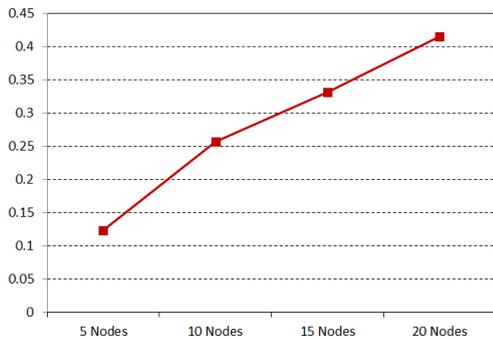
본 논문의 구성은 먼저 2절에서 AODV에 대하여 살펴본다. 3절에서는 “하이브리드 WMN에서의 도메인 분할 AODV 라우팅 프로토콜”의 개요와 이를 위한 효율적인 도메인 구성방안의 개념에 대하여 설명하고 4절에서 제안된 방안의 동작과 구조를 설명한다. 5절에서는 제안된 방안을 분석한 후 6절에서 결론을 맺는다.

2. AODV 라우팅 프로토콜

MANET의 라우팅 프로토콜들은 경로정보의 결정방식에 따라 크게 reactive와 proactive 방식 두 가지로 분류된다[1, 9-11]. Proactive 라우팅 프로토콜은 라우팅 정보를 사전에 구성하고 토폴로지의 변경상황의 반응을 위하여 경로정보를 주기적으로 교환하는 방식이다. 이 방식의 프로토콜들은 노드의 데이터 전송 필요시 목적지 경로를 결정하는 지연시간이 짧다는 장점이 있는 반면에 주기적인 경로정보의 교환으로 인한 트래픽 오버헤드가 크다는 단점이 있다[1, 9]. 라우팅 정보의 교환을 위한 트래픽 오버헤드는 노드의 이동이 많은 네트워크에서는 전송효율을 떨어트린다. 대표적인 프로토콜로는 DSDV, OLSR, WRP, FSR, CGSR, TBRFP 등이 있다. Reactive 라우팅 프로토콜은 라우팅 정보를 사전에 구성하지 않는다. 노드가 데이터 전송이 필요한 경우에만 제어 메시지를 이용해 목적지까지의 경로를 결정한다. 일단 목적지까지의 경로가 결정되면 경로의 생명주기가 끝날 때까지 경로를 유지하기 위한 경로관리 절차를 수행한다. Reactive 라우팅 프로토콜은 라우터 간 라우팅 정보의 교환을 위한 트래픽 오버헤드가 없는 반면에 경로 결정에 소요되는 지연시간이 길다는 단점이 있다[1, 9]. 대표적인 reactive 라우팅 프로토콜로는 DSR, AODV, TORA 등이 있다. 최근의 동향은 reactive 방식과 proactive 방식의 장점을 혼합한 형태의 하이브리드 방안들이 연구되고 있으며 대표적인 방안이 ZRP[8] 이다. 본 논문의 방안 또한 하이브리드 방안 영역에 포함된다.

AODV는 거리벡터 개념을 사용하지만 라우팅정보를 사전에 저장하지 않는 reactive 라우팅 프로토콜이다[9]. 경로결정은 이동노드의 RREQ(Route Request) 메시지의 방송과 RREP(Route Reply) 메시지 수신에 의하여 수행된다[12]. 따라서 AODV는 경로결정에 있어 데이터 목적지까지의 거리(홉 수)에 의존적으로 지연시간이 발생한다. 하지만 목적지로의 경로를 알고 있는 경로상의 중간

노드가 RREP 메시지 응답을 대행 할 수 있어 평균적으로는 거리에 비례해서 증가하지는 않는다. Fig. 1은 OPNET 시뮬레이터를 이용한 AODV의 경로탐색 지연시간을 측정 한 결과이다. 통계적 지연시간이 아닌 거리 증가에 따른 초기 경로결정 지연시간을 살펴보기 위하여 데이터 패킷은 500초 간격을 두고 512바이트 크기로 60초간 4회 전송하였다. 11Mbps 전송속도의 WLAN 인터페이스를 가진 MANET 노드 모듈을 사용하였다. 지연시간은 RREQ를 전송하여 RREP가 도착할 때까지의 경과시간을 평균한 것이다.



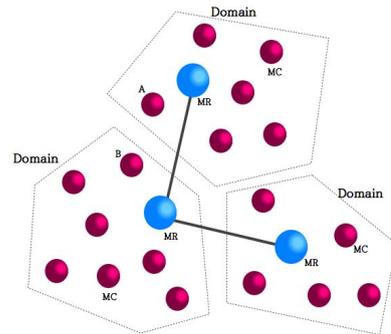
[Fig. 1] Delay time of the AODV route discovery

Fig 1을 보면 지연시간이 0.1초 이상의 시간으로 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 이는 AODV의 링 서치에 의한 지연시간이 포함되어있기 때문이다. Fig. 1에서 보고자하는 것은 높은 지연시간이 아니라 거리의 증가에 따른 지연시간의 증가이다. 목적지 노드까지의 거리가 5 증가함에 따라 약 0.1초의 지연시간이 증가함을 볼 수 있다. 이는 AODV의 평면구조 경로 결정에 의한 것으로 거리가 증가하면 증가한 거리만큼 전송 및 처리지연이 추가로 발생하기 때문이다.

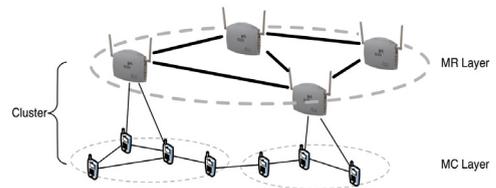
3. 하이브리드 WMN의 도메인분할 AODV

WMN의 구조는 MC만으로 구성되는 클라이언트 메시, MR을 백본망으로 구성하는 인프라구조 메시 그리고 하이브리드 메시의 3가지가 있다[1]. 본 논문은 하이브리드 WMN의 계층적 특성을 고려하여 개선한 프로토콜 (AODV-HL: AODV-Hierarchical and Localized)을 제안한다. 제안된 방안의 구조적인 개요는 Fig. 2와 Fig. 3과 같이 네트워크를 MR을 헤더로 하는 도메인으로 분할하고 경로결정을 도메인 내부와 도메인 외부로 이원화 시키는 것이다. 동일 도메인에 포함되는 MC들 간에는 AODV와

동일한 경로결정 과정이 수행되지만 외부 도메인의 MC와는 도메인 헤더를 경유하여 MR 계층의 도메인 탐색으로 대행된다. 그리고 신호영역이 인접한 MC의 경우라도 도메인이 다르다면 반드시 도메인 헤더를 통해서만 전송이 가능하다. Fig. 2에서 노드 A와 B는 서로 인접해 있지만 도메인이 다르므로 직접적으로 데이터 전송을 하지 못한다.



[Fig. 2] The concept of domain

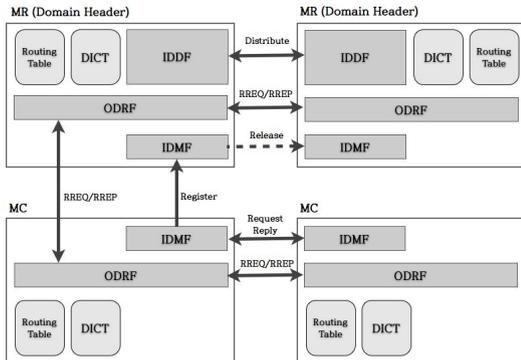


[Fig. 3] The structure of the hierarchy

도메인의 구성은 도메인 요청과 응답 체계를 사용한다. 도메인 결정을 위해 MC는 도메인 요청 메시지를 발송하고, 인접 MR 또는 MC는 현재 도메인 정보를 응답 메시지를 통해 알려 줌으로써 상대방이 도메인을 결정할 수 있도록 한다. 이 방법은 MANET에서의 계층기반 라우팅을 위한 클러스터 구성방안[?]과 유사하다. 하지만 AODV-HL은 다른 계층기반 라우팅 방안들과는 달리 계층화에 의한 경로의 단축이 목적이 아니고 AODV의 reactive 특성을 유지하면서 도메인 경로결정에 의해 경로결정 지연시간을 줄이는 것을 목적으로 하기 때문에 단일 계층의 도메인으로 설계되었다.

하이브리드 WMN은 MR로 구성된 백본 메시에 MC로 구성된 클라이언트 메시가 연결되는 구조를 취한다. 이는 Fig. 3과 같은 라우팅 계층을 자연스럽게 구성할 수 있도록 한다. MR은 MC에 비하여 상대적으로 자원과 전원공급이 원활하고 고정된 상태이기 때문에 유선망의 라우터와 같이 경로정보를 사전에 구성하면 데이터 전송을 위

한 경로결정 지연시간을 줄일 수 있다[1]. 하지만 라우팅 정보를 사전에 구성하고 주기적으로 라우팅 정보를 교환한다면 네트워크의 규모가 커짐에 따른 오버헤드가 발생되어 AODV의 장점을 잃어버리게 되므로 AODV-HL에서는 오버헤드를 줄이기 위해 도메인의 배포를 사용한다. 도메인 헤더는 외부 도메인과 내부 도메인의 멤버정보를 저장하고, 멤버로부터의 RREQ 수신시 외부 도메인 경로에 대해서는 대리 RREP 응답 한다.

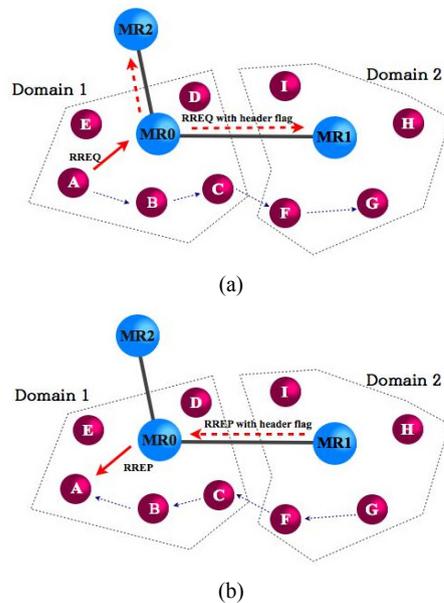


[Fig. 4] Sub-function blocks of the AODV-HL

AODV-HL은 IDDF(Inter-Domain Distribution Function), IDMF(Inner-Domain Management Function), ODRF (On-Demand Routing Function)의 3개 부 기능과 DICT(Domain Information Cache Table) 정보 구조체로 구성된다. IDDF는 MR의 기능으로 도메인 헤더 간 도메인 정보를 배포한다. IDDF에 의하여 도메인 헤더들은 외부 도메인의 존재와 경로정보를 알게 된다. IDMF는 MC가 자신이 포함될 도메인을 결정하고 등록하는 기능이다. MR의 IDMF는 MC의 등록요청에 따라 도메인 멤버로 추가하고, 만약 등록요청에 이전 도메인에 해지요청이 포함된 경우 이전 도메인의 헤더로 해지통보를 대행한다. ODRF는 reactive 경로설정을 수행하는 기능으로 내부 도메인에서는 AODV와 동일하게 동작한다. MR의 ODRF는 MC의 RREQ 수신시에 MR 계층의 도메인 경로 요청으로 변경하여 수행한다. DICT는 라우팅 테이블과는 별도로 유지되는 정보 구조체로 도메인 정보를 저장하고 관리 한다. AODV-HL의 기능구조를 Fig. 4에 나타내었다.

경로결정 과정은 다음과 같다. MC는 데이터 전송이 필요한 경우 RREQ를 방송한다. 이 RREQ에는 노드의 소속 도메인 정보를 위한 필드가 추가되었다. 데이터의 목적지가 도메인 내부인 경우에는 AODV에서와 동일하게 RREQ가 전파되고 목적지 노드 또는 목적지 경로를 알고 있는 중간 노드가 RREP로 응답함으로써 경로설정을 완

료한다. 하지만 데이터의 목적지가 외부 도메인의 노드인 경우에는 도메인 헤더가 MR 계층에서의 검색을 대행하기 위해 도메인 RREQ를 방송한다. 도메인 RREQ는 헤더 플래그가 설정되며 도메인 헤더만이 수신이 할 수 있도록 멀티캐스트 주소를 사용한다. 도메인 RREQ가 데이터의 목적지를 멤버로 하는 도메인 헤더나 목적지가 어느 도메인 멤버인지를 알고 있는 중간 도메인 헤더에 도착하면 도메인 RREP로 응답한다.



[Fig. 5] Route discovery process of the AODV-HL
(a) Route request (b) Route reply

Fig. 5를 예로 설명하면 노드 A는 자신이 멤버인 도메인 1의 노드 B, C, D, E로 데이터를 전송할 경우 도메인 필드에 자신의 도메인 ID를 기록한 RREQ를 방송하고, 목적지 노드가 RREP를 전송하면 경로결정이 완료된다. 노드 D와 같이 노드 A의 히든 노드인 경우에는 MR0가 노드 D 대신 RREP를 전송한다. 노드 A가 도메인 2의 노드 G로 데이터를 보내야 될 경우 노드 A는 앞의 상황과 동일하게 노드 G를 목적지로 하는 RREQ를 전송한다. RREQ가 MR0에 도착하면 DICT 검색을 통해 목적지가 자신의 도메인이 아님을 인지하고 도메인 RREQ로 변경하여 다시 방송한다. MR0가 방송한 도메인 RREQ를 MR1과 MR2가 수신하고 DICT에 노드 G가 도메인 멤버로 등록되어 있는 MR1이 도메인 RREP로 응답한다. MR0는 수신된 도메인 RREP의 헤더 플래그를 해지한 후 노드 A로 전달하면 경로결정 과정이 완료된다. AODV의 경우에는 RREQ와 RREP가 노드 C와 F를 거쳐 노드 G로

전달되겠지만 AODV-HL에서는 RREQ의 도메인 필드를 확인하여 서로 도메인이 다를 경우 방송을 차단한다. 때문에 Fig. 5에서는 노드 F에서 차단된다. 이 경우 인접 노드임에도 불구하고 데이터 전송경로가 길어지는 단점이 있다. 이를 해결하기 위한 방안을 연구 중에 있으며 그외 한 예로서 도메인의 경계노드에 있는 노드의 인접성 정보를 이용하는 방안이 있을 수 있다. 모든 노드들은 주기적인 제어 메시지 방송을 통해 자신과 인접한 노드들과 연결성을 확인할 수 있다. 이를 이용하면 도메인 경계에서 2 홉 거리에 있는 노드까지의 경로정보를 알 수 있다. 이 방안은 아직 연구가 진행 중 이므로 본 논문에서는 언급하지 않는다.

4. AODV-HL의 기능별 동작

4.1 MR의 도메인 배포

AODV-HL에서는 하나의 MR이 하나의 도메인 헤더로 동작한다. 도메인 헤더는 내부 도메인의 멤버 정보와 외부 도메인 정보를 관리한다. 모든 MR은 시작 시점에 라우팅 테이블과 함께 도메인 정보 저장을 위한 캐시 테이블을 생성한다. 그리고 자신의 도메인을 다른 도메인 헤더에게 배포를 하는데 이는 IDDF에 의해 주기적으로 수행된다. 배포 메시지의 IP 헤더 TTL을 최대 도메인 홉수만큼 설정하여 멀티캐스트 되기 때문에 MC가 수신할 수 없고 TTL 이상의 거리는 전달되지 않는다. 그리고 배포 메시지의 중복 수신을 방지하기 위하여 도메인 ID와 배포 순서번호가 동일한 메시지가 다시 수신될 경우 메시지를 폐기하도록 하였다. 배포 메시지에는 도메인 ID와 배포 순서번호 그리고 도메인까지의 거리정보가 포함된다. 배포 메시지를 수신한 MR의 IDDF는 배포된 도메인의 경로정보와 거리정보를 도메인 캐시 테이블에 저장한다. 이 과정을 거치면 일정 시간이 경과한 후 WMN의 모든 도메인 헤더 간 메시지 경로가 구성된다. IDDF의 주기적인 배포를 통해 도메인 변화를 반영할 수 있지만 주기적인 배포는 네트워크 자원을 소비하게 되는 단점이 있다. 하지만 라우팅 정보의 교환 보다는 작은 크기의 정보를 배포하기 때문에 상대적으로 효율적이라 할 수 있다.

4.2 클러스터 구성과 MC의 도메인 결정

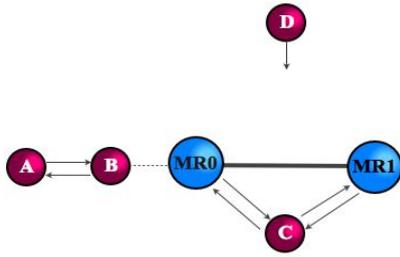
MR은 최초로 도메인을 배포하기 전 먼저 도메인 ID의 결정과 멤버 관리를 위한 정보 구조체를 DICT에 생성하여야한다. 도메인 ID는 인터페이스의 IP 주소를 사용할 수 있다. MC의 IDMF는 도메인 결정을 위해 도메인

요청 메시지를 방송한다. 이때 IP 헤더의 TTL은 1로 설정하여 1홉 이상의 메시지 전달을 방지한다. 도메인 요청을 수신한 MC 또는 MR의 IDMF는 자신의 도메인 정보를 담은 도메인 응답 메시지를 도메인 요청 메시지를 송신한 MC로 유니캐스트 전송한다. 도메인 응답 메시지가 도메인 요청한 MC에 수신되면 응답 메시지에 기록된 도메인 헤더 ID와 거리를 분석하여 가장 짧은 거리의 도메인을 소속 도메인으로 결정하고 도메인 헤더 노드로 등록요청 메시지를 유니캐스트 전송한다. 등록 요청 메시지를 수신한 도메인 헤더는 DICT에 요청 노드를 멤버로 등록하고 이후의 경로결정 과정의 자료로 사용한다. 멤버 등록 과정에 의하여 도메인 헤더는 멤버 노드로의 경로를 알게 된다. MC 노드는 이동을 감지하기 위하여 주기적으로 도메인 요청/멤버 등록을 수행해야 하는데 이는 노드 간 연결성을 검사하기 위한 HELLO 메시지의 역할을 대신하도록 하여 오버헤드를 줄인다.

Fig. 6을 예로 도메인 결정 과정을 설명하면 노드 D는 주변에 아무런 노드가 없는 상황으로 도메인 요청 메시지를 방송하더라도 응답을 받지 못하는 상황이다. MC 계층에서 도메인 요청 메시지를 방송하고 지정된 시간동안 응답이 없으면 자신의 도메인을 정의되지 않은 도메인으로 설정한다. 노드 A가 방송한 도메인 요청 메시지는 노드 B가 수신한다. 이때 노드 B가 정의되지 않은 도메인 이면 요청에 응답을 할 수 없다. 결국 노드 A도 정의되지 않은 도메인이 된다. 주변에 도메인 헤더가 없고 모든 MC가 정의되지 않은 도메인이라면 이들 간에는 RREQ/RREP 교환에 의한 경로결정이 가능하다.

노드 B가 MR0 도메인의 멤버이면 도메인 헤더까지의 거리가 1이다. 이때 노드 A의 도메인 요청 메시지를 수신하면 자신이 MR0 도메인의 멤버이고 거리가 1임을 도메인 응답 메시지를 이용해 노드 A로 전달한다. 노드 A는 자신을 MR0 도메인을 자신의 도메인으로 결정하고 헤더까지의 거리를 1 증가한 2로 설정한다. 그리고 노드 B를 통해 MR0로 도메인 멤버 등록 요청을 유니캐스트 전송한다. 도메인 멤버 등록 요청이 전달되는 경로상의 노드들은 노드 A로의 역 경로를 일정시간 유지함으로써 MR0는 노드 A로 전달되는 데이터를 전달 할 수 있도록 한다.

노드 C는 둘 이상의 노드로부터 서로 다른 도메인에 대한 응답을 수신하는 상황이다. 이때는 거리가 가장 짧은 경로의 도메인을 자신의 도메인으로 결정한다. 하지만 Fig. 6에서와 같이 동일한 거리에 있는 두개의 도메인 응답을 수신하는 경우 가장먼저 수신된 도메인을 선택하게 된다.



[Fig. 6] Domain decision

4.3 AODV-HL 제어 메시지

AODV-HL의 제어 메시지는 도메인제어 메시지와 경로제어 메시지로 분류된다. 도메인제어 메시지는 DDST(Domain Distribution), DREQ(Domain Request), DREP(Domain Reply), DREG(Domain Register)가 사용된다. 경로제어 메시지는 AODV와 동일하게 RREQ, RREP, 그리고 RERR(Domain Error)가 사용이 되고 MR 계층을 위하여 HL(Header Layer) 플래그와 도메인 필드가 추가되었다.

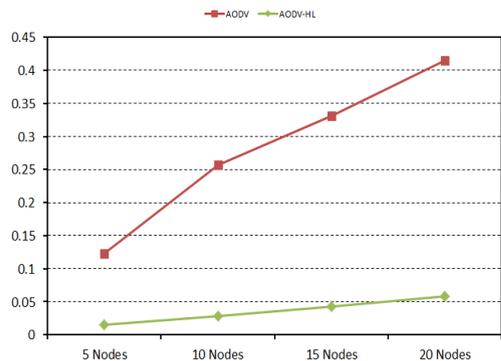
DDST는 도메인 정보의 배포를 위해서 사용이 되며 도메인 헤더 ID, 배포 순서번호, 그리고 홉 카운트로 구성된다. 홉 카운트는 도메인 헤더를 지날 때 마다 1 증가하여 해당 도메인까지의 거리 정보를 제공한다. DREQ는 MC가 인접 노드로 도메인 정보를 요청할 때 사용이 된다. MC가 소속되었던 이전 도메인의 ID, 홉 카운트 및 순서번호, 요청 MC의 주소, 순서번호 그리고 요청 번호로 구성되며 도메인에 소속되어 있지 않음을 나타내는 도메인 미지정 플래그가 있다. DREP는 DREQ의 응답으로 사용이 되며 소속 도메인의 ID, 순서번호 및 홉 카운트, DREQ의 소스 주소, 순서번호 및 요청 번호 그리고 DREP의 송신자가 MR인지 MC인지를 알리는 플래그로 구성된다. 홉 카운트는 DREP를 전송한 노드에서부터 도메인 헤더까지의 거리정보를 제공한다. DREG는 도메인 헤더에 멤버로 등록을 요청하기 위해 사용이 되며 노드의 이전 도메인 ID, 노드의 주소 순서번호 및 홉 카운트 그리고 이전 도메인 헤더로의 멤버 해지요청을 위한 플래그로 구성된다. 홉 카운트는 노드를 지날 때 마다 1 증가하여 도메인 헤더에게 노드까지의 거리정보를 제공한다.

5. 성능 분석

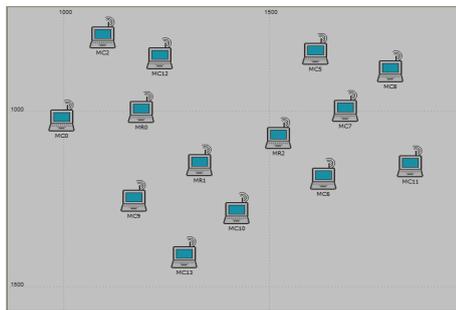
AODV-HL은 노드가 경로정보를 저장하지 않는 AODV의 장점을 유지하면서 WMN의 계층적 특성과 네

트워크의 확장에 효과적으로 대응하도록 설계되었다. AODV의 단점인 긴 지연시간을 도메인 개념을 적용하여 줄이는 것이 AODV-HL의 목적으로 이의 성능분석을 위해 Fig. 1의 시뮬레이션 상황과 트래픽을 동일하게 적용하였다. 시뮬레이션은 OPNET 시뮬레이터의 AODV 모듈을 수정하였고 거리를 5씩 증가시키면서 지연시간을 측정하였다.

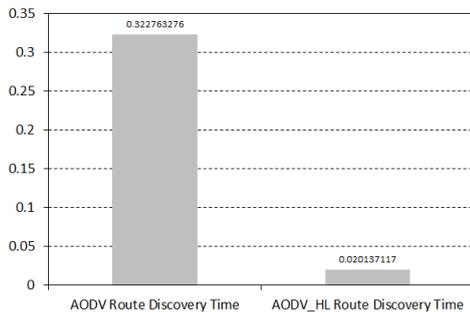
시뮬레이션에서 평면구조 라우팅 프로토콜인 AODV와 동일하게 거리를 증가시켜 지연시간을 측정한 결과와 계층구조의 도메인 기반인 AODV-HL의 결과를 단순 비교하기에는 무리가 있었다. 예를 들어 AODV와 같이 제어 메시지의 전달 거리를 증가시키기 위하여 노드 수를 단순 증가시킬 경우 경로 상에 도메인 헤더의 개수를 몇 개로 해야 할 것인지 명확하지가 않다. 만약 도메인 헤더의 수가 증가하면 도메인에 의한 메시지 방송의 지역화 개념이 무의미 해지고 도메인 헤더의 수가 감소하면 도메인 헤더에 부가되는 오버헤드가 커지게 된다. 따라서 거리의 증가에 따른 지연시간의 비교와 함께 임의의 무선망을 구성하고 동일한 트래픽 패턴을 적용한 경우의 지연시간을 비교하는 두 가지 시뮬레이션을 병행하였다. 경로설정 지연시간의 증가 상황을 비교하기 위하여 AODV-HL의 경우 도메인에 의한 지연시간 감소 효과의 측정을 위하여 도메인을 두개로만 고정하고 내부 도메인의 MC간 거리만을 증가시켰다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 7에 나타내었다. 임의의 무선망을 구성하고 두 방안간의 경로설정 지연시간을 비교하기 위하여 Fig. 8의 (a)와 같은 무선망을 모델링 하였고 3개의 임의의 노드에서 트래픽을 발생시켜 경로설정 지연시간을 측정한 결과가 Fig. 8의 (b)이다.



[Fig. 7] Delay time of the route discovery by distance



(a)



(b)

[Fig. 8] Delay time of the route discovery on random network
 (a) Simulation network model (b) Simulation result

Fig. 7의 지연시간 증가 결과를 보면 증가의 정도가 AODV-HL이 보다 완만함을 알 수 있다. 이는 AODV-HL의 도메인을 두개로 고정시켜 논리적으로 거리의 증가가 반감되었기 때문이다. 다시 말해서 노드가 5개 증가하더라도 실질적으로는 하나의 도메인에는 2개 또는 3개의 노드만이 증가하기 때문에 전체 경로의 절반이 줄어드는 효과가 있기 때문이다. Fig.7의 결과에서 주목할 만한 사항은 AODV의 경우 링 서치에 의하여 경로결정 시간이 최소 0.1초 이상으로 나타나는데 반해 AODV-HL의 경우 이보다 훨씬 적은 시간이 소요됨을 보이는 것 있다. 이는 AODV-HL의 경우 MC가 도메인 헤더까지의 거리를 알고 있기 때문에 링 서치의 초기값을 1이 아닌 도메인 헤더까지의 홉 카운트로 설정하기 때문으로 분석된다.

Fig. 8의 (a) 네트워크에서 트래픽을 발생시킨 경우 AODV-HL의 경로결정 지연시간이 AODV에 비해서 절대적으로 짧다는 것을 (b)에서 알 수 있다. 네트워크에서 중앙 3개 노드가 MR로서 도메인이 3등분되므로 결과적으로 평균경로가 줄어드는 효과를 갖는다. (b)의 결과를 보면 약 0.3초의 차이를 보이고 있는데 링 서치로 인한 지연시간을 감안하더라도 지연시간의 차이가 크다는 것을 알 수 있다. 또한 AODV-HL의 경우 링 서치를 위한

초기 TTL을 도메인까지의 홉 수로 설정하는 것 외에는 동일하게 링 서치가 수행된 결과이다.

두 실험의 결과에서 유추하면 네트워크의 규모가 더욱 커지게 되면 AODV-HL이 보다 더 효과적으로 대응할 수 있음을 알 수 있다. 하지만 AODV-HL의 제어 메시지가 증가하고 네트워크의 자원을 AODV에 비하여 많이 사용하는 것은 해결해야 할 과제이다. 이를 위해 최적의 메시지 방송 주기와 도메인 생명주기 파라미터를 분석 중에 있다. 그리고 또 다른 문제점인 도메인 경계에서 인접한 노드 간 데이터 전송경로가 길어지는 것도 인접 노드의 연결성을 이용하는 방안에 대하여 연구 중에 있다.

6. 결론

본 논문에서는 MANET을 위한 reactive 라우팅 프로토콜인 AODV가 하이브리드 WMN에서의 경로결정에 효율적이지 않다는 단점을 해결하기 위한 개선 방안으로 라우팅을 계층구조의 클러스터로 구성하는 방안인 AODV-HL을 제안하였다. AODV-HL은 MR을 헤더로 하는 클러스터인 도메인을 구성하고 경로결정 과정을 도메인 내부와 외부로 구분하여 수행하도록 하였다. 시뮬레이션 결과에서 AODV에 비하여 경로 결정 지연시간이 짧은 것으로 나타나 하이브리드 WMN의 구조에 적합하다고 볼 수 있다.

본 논문은 현재 연구 중인 “하이브리드 WMN에서의 도메인 분할 AODV 라우팅 프로토콜 설계”의 일환으로 진행된 것으로 AODV에 비해 네트워크의 자원을 더 낭비하는 단점과 도메인 경계에서 인접한 노드 간 경로결정과 AODV에 비하여 도메인 구성과 유지에 트래픽 오버헤드가 발생하는 문제는 선결해야할 과제로 연구 진행 중이다. 하지만 경로결정에 있어 지연시간은 현저하게 줄어들었음을 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있다.

References

- [1] Ian F. Akyildiz, Xudong Wang, Weilin Wang, "Wireless mesh networks: a survey", *ELSEVIER Computer Networks*, pp. 445-487, January, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2004.12.001>
- [2] V. C. Gungor, E. Natalizio, P. Pace, S. Avallone, "Challenges and Issues in Designing Architectures and Protocols for Wireless Mesh Networks", *Wireless Mesh Networks: Architectures and Protocols*, pp. 1-21,

November 2007.

DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-68839-8_1

- [3] M Conti, G Maselli, G Turi, S Giordano, "Cross-layering in mobile ad hoc network design", *Computer*, vol. 37, no. 2, pp. 48-51, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MC.2004.1266295>
- [4] Vinicius C M Borges, Marilia Curado, Edmundo Monteiro, "Cross-layer routing metrics for mesh networks: Current status and research directions", *Computer Communications*, vol. 34, no. 6, pp. 681-703, May 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2010.12.001>
- [5] Sanjit Biswas, Robert Morris, "Opportunistic routing in multi-hop wireless networks", *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 34, no. 1, pp. 69-74, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/972374.972387>
- [6] Elizabeth M. Belding-Royer, "Multi-Level Hierarchies for Scalable Ad hoc Routing", *Wireless Networks*, vol. 9, no. 5, pp. 461-478, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1024688116418>
- [7] Mieso K. Denko, Hua Lu, "AN AODV-Based Clustering and Routing Scheme for Mobile Ad Hoc Networks", *Ad hoc networking*, pp. 83-97, 2006.
DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-34738-7_7
- [8] Nicklas Beijar, "Zone Routing Protocol (ZRP)", *International Journal of* , vol. 37, no. 2, pp. 48-51, 1999.
- [9] Geetha Jayakumar, G. Gopinath, "Ad hoc Mobile Wireless Networks Routing Protocols - A Review", *Journal of Computer Science*, vol. 3, no. 8, pp. 574-582, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3844/jcssp.2007.574.582>
- [10] Sonia Waharte, Raouf Boutaba, Youssef Iraqi, Brent Ishibashi, "Routing protocols in wireless mesh networks: challenges and design considerations", *Multimedia Tools and Applications*, vol. 27, no. 3, pp. 285-303, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11042-006-0012-8>
- [11] Saleh Ali K.Al-Omari, Putra Sumari, "An Overview of Mobile Ad Hoc Networks for The Existing Protocols and Applications", *Journal on Applications of Graph Theory in Wireless Ad Hoc Networks and Sensor Networks*, vol.2, no. 1, March 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5121/jgraphhoc.2010.2107>
- [12] C. Perkins and E. Belding-Royer, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", *IETF RFC 3561*, July 2003.

김 호 철(Ho-Cheal Kim)

[정회원]



- 1989년 1월 ~ 2006년 6월 : 삼성SDI 종합연구소 주임연구원
- 1999년 2월 : 영남대학교 대학원 멀티미디어통신공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 영남대학교 대학원 멀티미디어통신공학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 컴퓨터정보학부 교수

<관심분야>
정보통신, 정보서비스