

## 하이브리드 WMN을 위한 가상 도메인 기반의 반응형 라우팅 프로토콜

김 호 철\*

### A Domain-based Reactive Routing Protocol for the Hybrid WMN

Ho-Cheal Kim \*

#### 요 약

본 논문은 하이브리드 WMN의 계층구조 메시지를 고려한 무선 다중 홉 라우팅 프로토콜에 대하여 제안한다. 다양한 무선 응용서비스의 가능성을 가진 WMN은 오랜 연구에도 불구하고 실제 사용을 위해서는 아직 해결되어야 할 과제들이 많이 남아있다. 특히 라우팅 프로토콜 부문은 MANET을 위해 설계된 프로토콜을 적용하면 하이브리드 WMN에서는 라우팅 효율이 떨어지는 문제를 우선적으로 해결하여야 한다. 라우팅 성능향상을 위해서는 우수한 경로구성 프로토콜과 경로 매트릭이 필요하다. 하지만 최근의 연구는 교차 계층 설계에 의한 경로 매트릭에 집중되어 있다. 따라서 본 논문은 하이브리드 WMN에서의 라우팅 성능향상을 위해 필요하지만 연구가 부족한 경로구성 프로토콜을 제안하는 것이 목적이다. 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜은 하이브리드 WMN을 가상의 도메인으로 노드들을 그룹화하고 전송경로 구성을 도메인 기반으로 수행하도록 설계된 reactive 방식이다. 제안한 프로토콜의 성능분석을 위한 시뮬레이션 결과 경로결정 평균 지연시간이 대표적인 reactive 방식인 AODV에 비해 43% 단축되었다.

▶ Keywords : 하이브리드 WMN, 라우팅 프로토콜, 반응방식, MANET

#### Abstract

This paper propose a new wireless multi-hop routing protocol that takes the hierarchical mesh of the hybrid WMN into account. WMN that is possible to provide various applications of wireless networks still has many open issues that should be solved despite the studies carried out over a decade. Especially, in routing protocol area, a problem degrading the routing efficiency by applying one of the routing protocols, which are designed for the MANET, to the hybrid WMN be solved above all. For the improvement of the routing performance, both good routing protocol and

•제1저자 : 김호철 •교신저자 : 김호철

•투고일 : 2014. 6. 11. 심사일 : 2014. 6. 26. 게재확정일 : 2014. 7. 4.

\* 울산과학기술대학교 컴퓨터정보학부(School of Information Technology, Ulsan College)

metric are essential. However, the recent studies are only concentrated in routing metric by use of the cross-layer design. Therefore, this paper is dedicated to the routing protocol that is essential for the performance of the routing but needed more studies. The proposed protocol in this paper is reactive, and designed to reorganize the hybrid WMN with several pseudo domains, and carry out domain-based route decision. By the simulation result for the performance analysis of the proposed protocol, the average delay for the route decision was decreased by 43% compared to AODV that is the typical reactive protocol.

▶ Keywords : Hybrid WMN, Routing protocol, Reactive scheme, MANET

## I. 서론

WMN(Wireless Mesh Network)의 장점인 낮은 초기 구축비용, 넓은 전송 유효범위, 짧은 구축기간 그리고 높은 신뢰성은 전통적인 무선 네트워크의 단점을 보완하고 응용분야를 다양화 할 수 있다는 관점에서 많은 관심을 받고 있다 [1, 2]. 무선으로만 구성되는 네트워크인 WMN은 3가지 구성 시나리오가 있다[2]. 첫 번째는 이동 노드만으로 메시지를 구성하는 형태로 MANET(Mobile Ad-hoc Network)과 유사하다. 두 번째는 이동하지 않는 무선 노드로 무선 백본 메시지를 구성하는 형태로 다른 무선 네트워크를 위한 데이터 전달 네트워크(transit network) 역할을 한다. 마지막 세 번째는 이동 노드로 구성되는 클라이언트 메시와 이동하지 않는 노드로 구성되는 백본 메시가 혼재되는 형태로 백본 메시가 다른 무선 네트워크를 위한 전달 네트워크로서의 역할과 함께 클라이언트 메시지를 위한 전달 네트워크 역할을 동시에 수행하는 하이브리드 WMN이다. 3가지 구성 시나리오 중에서 가장 유용성이 높은 형태는 하이브리드 WMN이라 할 수 있다 [2, 3].

하이브리드 WMN은 MR(Mesh Router)로 구성되는 백본 메시와 MC(Mesh Client)로 구성되는 클라이언트 메시의 계층구조로 이루어져 있다. MR은 라우터 역할을 수행하는 반면에 MC는 호스트와 라우터 역할을 동시에 수행한다 [2]. 하이브리드 WMN의 계층구조 메시에서는 원거리에 위치한 두 MC의 데이터 트래픽은 백본 메시지를 경유하여 전달되어야 전체 네트워크 성능을 높일 수 있다. 이는 고정 노드인 MR은 충분한 전원공급을 받을 수 있고 메시지를 구성하는

무선 링크의 끊어짐이 상대적으로 적어 고속 전송을 안정적으로 할 수 있기 때문이다. 따라서 하이브리드 WMN의 평균 성능의 향상을 위해서는 MC 간 데이터 트래픽을 효율적으로 백본 메시로 전달하는 라우팅 프로토콜이 필요하다.

MANET 같은 패킷 라디오 네트워크에서는 노드의 이동에 의한 잦은 토폴로지 변화와 링크의 끊어짐이 효과적인 라우팅을 어렵게 만드는 요인이다. 그런 이유에서 MANET의 메시 구성을 위한 데이터링크 계층의 연구와 더불어 네트워크 계층의 라우팅 방안이 중요한 연구 대상 중 하나로 많은 연구들이 진행되었다. 라우팅 관련 연구들은 크게 라우팅 프로토콜과 메트릭 부분으로 분류될 수 있다. 라우팅 프로토콜은 무선 메시에서 다중 홉 경로를 구성하기 위한 절차와 방법에 관한 것이고, 라우팅 메트릭은 라우팅 프로토콜이 구성된 다수의 경로 중에서 하나를 선택하는 기준이 되는 성능 요소와 관련된 것이다. 본 논문은 이 중에서 효율적인 라우팅 프로토콜 방안과 관련되어 있다.

WMN은 메시의 자율적인 구성과 관리 관점에서의 유사성 때문에 MANET 라우팅 프로토콜을 이용해 설치가 가능하다는 것이 장점이다. 하지만 MANET 라우팅 프로토콜은 하이브리드 WMN을 평면구조로 인지하고 경로를 구성하기 때문에 계층구조 메시의 요구사항을 충족하지 못한다. 현재까지 제안된 MANET 라우팅 프로토콜은 목적지 경로정보를 사전에 구성하는 방식(proactive), 데이터 전송 직전에 경로를 요청/응답 절차를 통해 구성하는 방식(reactive), 그리고 이들 두 방식의 장점을 결합한 하이브리드 방식(hybrid)으로 분류된다[1-5]. 이 중에서 하이브리드 방식이 네트워크의 확장에 대하여 일부 대응하고, 다른 두 방식은 네트워크 확장에 따른 경로결정 지연과 제어 트래픽의 오버헤드 증가 문제가 있다. 하이브리드 WMN을 위한 라우팅 프로토콜로는 토폴로

지 변화가 심하지 않은 백본 메시에는 proactive 방식이, 토폴로지의 변화가 심한 클라이언트 메시에는 reactive 방식이 적합하다고 볼 수 있으나 단순히 별개의 라우팅 프로토콜을 운영하는 것이 효율적이라고 볼 수는 없다.

그 이유는 MC가 호스트와 라우터 역할을 동시에 수행하기 때문인데 유선 네트워크에서와 같이 네트워크 단위 라우팅이 아닌 하이브리드 WMN에서는 노드 단위 라우팅이 요구되어 백본 메시지를 위해 proactive 방식의 라우팅 프로토콜을 적용하면 MR이 구성하고 관리하여야 하는 경로정보의 수가 네트워크의 MC 노드 수만큼 많아진다. 그리고 클라이언트 메시지의 토폴로지 변경을 신속하게 반영하기 위한 MR 간 경로정보 교환 트래픽의 오버헤드가 증가한다. 유선 네트워크는 네트워크의 경계가 명확하고 IP 주소의 네트워크 정보를 기반으로 라우팅하기 때문에 라우터가 저장하는 경로정보의 수를 줄일 수 있지만 하이브리드 WMN의 유선 네트워크처럼 경계를 명확하게 구분하기가 어렵다.

본 논문은 하이브리드 WMN의 메시 계층구조를 반영한 라우팅 프로토콜인 pSODV(Pseudo Sub-domain On-demand Distance Vector)를 제안한다. pSODV는 클라이언트 메시와 백본 메시지를 도메인이라는 가상의 영역으로 구분하여 경로를 구성하는 방안으로 계층형 reactive 라우팅 프로토콜이다. pSODV는 하이브리드 WMN에 적합하도록 제안한 "도메인 기반 AODV"[6]를 도메인 내부에서 경로요청 메시지 방송이 무선 대역을 낭비하는 문제와 노드가 물리적으로 인접하지만 도메인이 다른 경우 백본 메시지를 경유하도록 함으로써 경로가 불필요하게 길어지는 단점을 개선한 방안이다.

본 논문의 나머지 구조는 다음과 같다. 2장에서 하이브리드 WMN에 적용 가능한 MANET 라우팅 프로토콜들에 대하여 알아본다. 3장에서는 본 논문에서 제안된 pSODV에 대하여 설명하고 4장에서 분석을 한 후 5장에서 결론을 맺는다.

## II. MANET 라우팅 프로토콜

Proactive 라우팅 프로토콜은 데이터를 전송하기 전에 모든 노드에 대한 경로정보를 사전에 구성하는데 DSDV[7], WRP[8], GSR[9], FSR[10] 등이 여기에 포함된다. 전송되는 데이터의 목적지 경로정보가 사전에 구성되어 있기 때문에 데이터 전송을 위한 경로결정에 지연시간이 짧다는 장점이 있다. 대부분의 유선 네트워크 라우팅 프로토콜이 이 방식을 사용하고 있다. 하이브리드 WMN의 MR은 유선 네트워크의 라우터와 같은 역할을 하기 때문에 백본 메시지를 위한 라우팅

프로토콜로 적합한 방식이라 할 수 있다. 하지만 클라이언트 메시지의 MC 수가 증가하면 모든 MC에 대한 경로정보를 각 MR에 저장하기 위해 저장공간을 낭비한다. 특히 클라이언트 메시지의 토폴로지 변화를 즉시 반영하기 위해 대규모 경로정보를 인접 MR들 간에 주기적으로 교환하여야 하므로 백본 메시의 대역이 낭비 된다는 단점이 있다.

Reactive 라우팅 프로토콜은 경로정보를 사전에 구성하여 저장하지 않고 데이터 전송이 필요한 경우에 경로 요청/응답에 의하여 경로정보를 구성하는 방식으로 DSR[11], AODV[12], TORA[13] 등이 여기에 포함된다. 메시지의 모든 노드가 경로정보를 저장하고 있을 필요가 없기 때문에 네트워크가 확장되어도 경로정보를 저장하기 위한 노드의 저장공간 낭비가 적다는 장점이 있다. 하이브리드 WMN의 클라이언트 메시와 같이 토폴로지가 자주 변경되는 경우에 적합한 라우팅 프로토콜이다. 하지만 네트워크 규모가 확장되어 경로가 길어지는 상황이 되면 경로를 결정하기 위한 초기 지연시간이 길어져 데이터 전송이 지연된다는 단점이 있다. 특히 경로결정을 위한 제어메시지의 전파를 위한 플러딩은 방송 폭풍[14]과 같은 문제를 발생시킨다.

하이브리드 라우팅 프로토콜은 proactive와 reactive 라우팅 속성을 모두 갖고 있는 방식으로 ZRP[15], ZHLS[16] 등이 여기에 포함된다. 대부분의 하이브리드 라우팅 프로토콜은 인접한 노드에 대해서는 사전에 경로정보를 구성하여 관리하고 멀리 떨어져 있는 노드에 대해서는 경로를 검색한다. 하이브리드 라우팅 프로토콜은 네트워크 규모의 확장에 가장 잘 대응하도록 설계되어 있다고 볼 수 있는데 그 이유는 네트워크를 ZRP와 같이 각 노드의 인접 노드들을 존으로 구분하거나 계층형 라우팅 프로토콜들은 노드를 트리 또는 클러스터로 그룹을 구성하여 라우팅을 하기 때문이다. ZRP를 제외한 대부분의 하이브리드 라우팅 프로토콜이 계층형 라우팅 프로토콜이다. ZRP의 경우 존이 중첩되는 문제가 있고 계층형 라우팅 프로토콜은 클러스터 또는 트리의 헤드 노드에 집중되는 부하로 인하여 병목이 발생될 수 있다[15]. 특히 다중 계층을 구성하는 라우팅 프로토콜의 경우 루트 노드에 부과되는 부하는 네트워크 성능저하의 원인이 될 수 있다.

MANET 라우팅 프로토콜은 대부분 메트릭으로 홉 카운트를 사용한다. 목적지까지의 경로들 중 최소 홉 카운트를 갖는 경로를 선택하는 것으로 그 이유는 노드의 이동이 잦은 경우 빠른 경로검색이 요구되는데 제한된 시간 안에 높은 품질의 경로를 검색한다는 것이 어렵기 때문이다. 하지만 이는 노드의 잦은 이동이라는 관점에서의 문제이고 고정 노드인 MR이 존재하는 하이브리드 WMN에서는 높은 품질의 경로를 검

색하는 것이 효과적이라 할 수 있다. 무선 네트워크에서 메트릭이 홉 카운트인 경우에 목적지까지의 홉 카운트가 최소라는 의미는 홉 사이의 거리가 멀다는 것을 의미한다. 이는 수신되는 신호의 강도가 가장 약한 경로를 선택할 확률이 높아 높은 품질의 경로가 아닐 확률이 높다. 이러한 이유에서 WMN을 위한 다양한 메트릭 연구가 진행되고 있으며 대표적인 것으로는 ETX, ETT, WCETT, MIC, mETT, ENT, iAWARE 등이 있다[4, 17]. 특히 최근에는 고품질의 경로를 구성하기 위하여 교차 계층 설계(Cross Layer Design) 방안들이 많이 연구되고 있다[18-20].

### III. pSODV

#### 1 프로토콜 개요

앞서 언급한 것과 같이 하이브리드 WMN은 백본 메시지에 클라이언트 메시가 연결되는 계층구조이다. 백본 메시지를 구성하는 MR은 비교적 안정적인 전원공급이 가능하고 넓은 대역폭의 무선 링크를 사용할 수 있다. 유선 네트워크는 일반적으로 백본 네트워크, 분배 네트워크 그리고 접속 네트워크의 계층구조로 구축되며 고속의 상위계층 네트워크는 저속의 하위계층 네트워크 트래픽이 집중되는 전달 네트워크이다. 이러한 관점에서 보면 하이브리드 WMN은 유선 네트워크와 계층구조에서 유사성이 있다고 볼 수 있다. 유선 네트워크의 라우팅 프로토콜은 경로정보를 기본적으로 호스트가 아닌 네트워크 단위로 구성하기 때문에 저장하는 경로정보의 수를 줄일 수 있다. 이는 네트워크가 물리적으로 명확하게 구분되기 때문이다. 하지만 하이브리드 WMN은 무선 메시로 구성되기 때문에 네트워크를 물리적으로 명확하게 구분하기 어렵고 모든 노드가 라우터 역할을 하기 때문에 네트워크 단위로는 경로정보를 구성하기가 쉽지않다.

pSODV는 하이브리드 WMN에서 유선 네트워크의 라우팅 특성을 모방하기 위해서 메시지를 가상의 도메인이라는 단위로 구분하고 경로정보를 구성하는 방안을 제시한다. 도메인을 통해 MR이 관리하는 경로정보를 최소화 하고, 도메인 간 발생하는 데이터 교환을 백본 메시로 한정하였다. 도메인에 의한 네트워크 구분은 하이브리드 WMN에서의 경로결정을 위한 지연시간과 오버헤드를 줄이는 효과가 있다. pSODV를 그림 1을 이용하여 요약하면 다음과 같다.

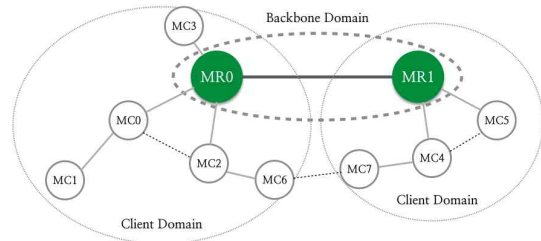


그림 1. pSODV의 도메인 개념  
Fig. 1. Domain concept of the pSODV

pSODV는 전체 하이브리드 WMN을 백본 도메인과 다수의 클라이언트 도메인으로 재구성 한다. 백본 도메인은 MR 집합으로 백본 메시지 전체를 의미하고, 클라이언트 도메인은 MR 하나를 백본 도메인 접속점으로 하는 MC 부분집합으로 클라이언트 메시지를 논리적 단위로 구분한 것이다. 클라이언트 도메인의 백본 도메인 접속점인 MR을 DG(Domain Gateway)라 하며 클라이언트 도메인의 헤드 노드이다. 따라서 클라이언트 도메인은 DG 개수만큼 존재한다.

모든 MC는 특정 시점에 반드시 하나의 클라이언트 도메인에 소속되어야 하는데 이때의 도메인을 노드의 홈 도메인이라 한다. 홈 도메인이 아닌 다른 도메인을 노드의 외부 도메인이라 한다. 그리고 홈 도메인은 노드의 이동에 의하여 변경될 수 있다. MC는 홈 도메인 결정 과정에 의해 1홉 거리의 인접 노드에 대한 경로정보를 사전에 구성한다. 홈 도메인을 결정된 MC는 홈 도메인의 DG에게 자신을 등록하는데 이 절차를 통해 DG에서 MC로의 역방향 경로가 구성된다. MC에서 DG로의 순방향 경로는 홈 도메인 결정 과정의 도메인 요청/응답 메시지 교환에 의해 구성된다.

서로 인접해 있으나 홈 도메인이 다른 MC를 DEN(Domain Edge Node)이라 하고 도메인의 경계 역할을 한다. 그림 1에서 MC6과 MC7은 물리적으로는 인접해 있지만 논리적으로는 홈 도메인이 다른 소속된 DEN들이다. DEN인 경우에는 서로 홈 도메인이 다르더라도 경로요청이 있는 경우 DG와 같이 응답 메시지를 대리 전송할 수 있다. 그림 1을 예로 보면 만약 MC7에 대한 경로요청이 MC6에 수신되면 홈 도메인이 서로 다르지만 MC6가 MC7을 대신하여 응답 메시지를 보낼 수 있다는 것을 의미한다. 그림 1에서 실선은 MC가 홈 도메인 결정 과정에서 구성된 MC와 DG 사이의 경로를 의미하고, 점선은 인접한 MC 간 구성된 경로를 의미한다. MC1은 MC0를 경유하여 DG인 MR0와 경로가 구성되어 있으며, MC2는 MR0와 인접하고 있으면서 DG(MR0)와 홈 도메인 경로를 구성되어 있다.

pSODV는 인접 노드에 대한 경로를 사전에 구성하나

proactive 라우팅 프로토콜처럼 경로정보를 주기적으로 교환하지는 않으며 목적지 노드에 대한 경로를 데이터 전송시에 구성하는 reactive 방식이다. 경로 구성을 위한 요청 메시지는 백본 도메인에서는 플러딩에 의해 전파되지만 클라이언트 도메인에서는 유니캐스팅에 의해 DG 경로를 따라 전달된다. 그림 1에서 MC1이 홈 도메인의 노드인 MC2에 대한 경로요청 메시지는 MC1에서 DG까지의 경로에 대한 다음 홉인 MC0로 전달된다. MC0에는 MC2에 대한 경로정보가 인접에 의하여 사전에 구성되어 있기 때문에 MC2를 대신하여 경로응답 메시지를 MC1으로 전송함으로써 MC1-MC0-MC2의 경로를 구성한다. 만약 MC3와 같이 MC1에서 DG까지의 경로에 있는 노드들과 인접하고 있지 않은 경우에는 경로요청 메시지는 DG(MR0)에 도착한다. DG는 홈 도메인 결정 과정에 의해 MC3와의 경로를 구성하고 있기 때문에 MC3를 대신하여 경로응답 메시지를 MC1으로 전송하여 MC1-MC0-MR0-MC3의 경로를 구성한다.

만약 MC4와 같이 홈 도메인이 다른 노드에 대한 경로요청이 MC1으로부터 DG(MR0)에 도착하면 DG는 자신에게 등록되어 있지 않은 외부 도메인 노드에 대한 경로검색을 위해 백본 계층 경로요청 메시지를 방송한다. 플러딩에 의해 백본 계층 경로요청 메시지가 외부 도메인의 DG(MR1)에 도착하면 MC4를 대신하여 DG(MR1)가 백본 계층 경로응답 메시지를 경로를 요청한 도메인의 DG(MR0)로 전송한다. 백본 계층 경로응답을 수신한 DG(MR0)가 다시 클라이언트 계층 경로응답 메시지로 변경 후 MC1으로 전달함으로써 MC1-MC0-MR0-MR1-MC4의 경로가 구성된다.

pSODV는 경로요청 메시지를 백본 도메인에서만 방송됨으로써 방송 폭풍의 영향을 줄일 수 있도록 하였다. 그리고 초기 경로구성에서 백본 도메인의 DG 또는 인접 노드의 대리 응답에 의해 경로검색 평균 거리를 줄여 경로구성에 소요되는 지연시간을 줄인다.

## 2 백본 도메인 구성

백본 도메인의 구성을 위하여 MR은 주기적으로 DDST(Domain distribution) 메시지를 방송한다. DDST 메시지는 백본 계층에 DG 자신의 존재를 알리고 다른 DG들이 자신으로의 경로를 갱신할 수 있도록 하는데 목적이 있다. DDST 메시지는 백본 계층에서만 플러딩되므로 클라이언트 메시로는 전파되지 않는다. 메시지에는 송신 DG의 도메인 ID, 경로 메트릭 값 그리고 메시지 순서번호가 포함된다. 메시지 순서번호는 플러딩에 의해 DDST 메시지가 백본 계층에서 무한 재방송되는 것을 방지하는데 사용된다. DG는 DDST

메시지 방송을 개시 할 때 경로 메트릭 값을 0으로 설정하고 메시지 순서번호는 1 증가시킨다. 그리고 도메인 ID는 자신의 WMN 인터페이스 IP주소를 사용한다. DDST 메시지를 인접 DG가 수신하면 DDST 메시지 포워딩 테이블 확인 후 아래의 경우에 대하여 메시지를 송신한 DG에 대한 경로정보 갱신과정을 수행한다. 만약 아래의 조건을 만족하지 못하면 메시지는 폐기된다.

- ① DDST 메시지에 대한 포워딩 엔트리가 없는 경우
- ② DDST 메시지에 대한 포워딩 엔트리가 존재하고 메시지 순서번호가 엔트리의 것 보다 큰 경우
- ③ DDST 메시지에 대한 포워딩 엔트리가 존재하고 메시지 순서번호가 엔트리의 것과 같지만 메트릭 값이 더 우수한 경우

폐기되지 않은 DDST에 대하여 DG는 라우팅 테이블에서 메시지 송신 DG에 대한 경로 엔트리를 검색하여 엔트리가 없으면 새로운 엔트리를 생성하고 엔트리가 있으면 경로의 이전 홉과 메트릭 값을 비교한다. 메트릭으로 홉 카운트를 사용하므로 DG는 수신된 메시지의 메트릭 값을 1 증가시킨 값을 비교에 사용한다. DDST 메시지를 송신한 이전 홉이 라우팅 엔트리와 다른 경우 DG는 라우팅 엔트리를 갱신한다. 그리고 이전 홉이 라우팅 엔트리와 동일한 경우에는 메트릭 값의 비교 결과 라우팅 엔트리보다 DDST 메시지가 우수하면 라우팅 테이블의 경로정보를 갱신한다. 라우팅 테이블의 경로정보 엔트리를 갱신한 경우에는 이를 인접 DG에 반영하기 위하여 재 방송한다.

앞서 언급한 것과 같이 DDST 메시지의 주기적인 방송은 백본 메시의 토폴로지 변화를 감지하여 메시지를 재구성 하는 것이 목적이다. 하지만 DG는 이동하지 않는 노드이므로 방송 주기와 라우팅 엔트리의 생명시간을 상대적으로 길게 유지하는 것이 가능하여 플러딩에 의한 영향을 줄일 수 있다.

## 3 클라이언트 도메인 구성

클라이언트 도메인의 구성은 백본 도메인과는 달리 노드가 이동에 의하여 토폴로지가 자주 바뀌므로 플러딩이 아닌 다른 메커니즘이 필요하다. pSODV는 MC의 홈 도메인 결정을 위해 도메인 요청과 응답 메커니즘을 수행한다. MC는 토폴로지 변화의 신속한 감지를 위해 DREQ(Domain Request) 메시지를 주기적으로 방송한다. DREQ 메시지를 수신한 인접 노드는 DREP(Domain Replay) 메시지로 응답함으로써 자신의 홈 도메인 정보를 알린다. DREQ 메시지에는 요청

MC의 주소, 현재 홈 도메인 ID가 포함된다. DREP 메시지에는 응답 노드의 유형 (MC 또는 MR), 홈 도메인 ID 그리고 DG까지의 경로 메트릭 값이 포함된다. 인접 노드로부터 다수의 DREP 메시지를 수신한 MC는 DG까지의 메트릭 값이 가장 우수한 DREP 메시지를 선택하고, 이 메시지를 송신한 노드의 홈 도메인을 자신의 홈 도메인으로 결정한다. 그리고 선택된 메시지를 응답한 노드를 DG 경로의 다음 홉으로 하는 라우팅 엔트리를 자신의 라우팅 테이블에 등록한다.

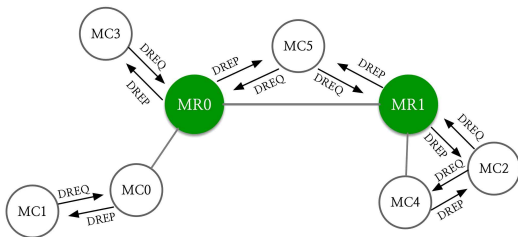


그림 2. 홈 도메인 결정 메커니즘  
Fig. 2. Home domain selection mechanism

DREQ 메시지를 발송한 MC는 지정된 시간 동안 수신되는 모든 DREP 메시지의 DG 경로 메트릭 값을 자신의 메트릭 값으로 재계산하여 수정한다. 이렇게 수신된 DREP 메시지는 캐싱되고 지정된 시간이 종료된 후 가장 우수한 메트릭 값을 갖는 메시지를 선택하기 위해 그림 3의 슈도코드 절차를 따른다. 그림 3은 홉 카운트를 메트릭으로 사용하는 경우에 대한 홈 도메인 결정 알고리즘을 나타낸 것이다. 만약 지정된 시간 동안 DREP 메시지를 하나도 수신하지 못한 경우에는 주변에 인접 노드가 없다고 판단하여 홈 도메인 정보를 초기 상태인 NO\_DOMAIN 상태로 설정한다.

```
function domain_selection_with_hopcount ( )
1. DREP를 송신한 노드의 유형이 MR인지 확인
  1.1. MR이면서 도메인 ID가 이전 홈 도메인 ID와 동일하면
    1.1.1. 홈 도메인으로 선택
    1.1.2. MR을 홈 도메인의 DG 경로에 대한 다음 홉으로 경로정보 구성
    1.1.3. 홉수 완료
  2. 마지막 수신 DREP까지 수신 순서에 따라 1을 반복
  3. 가장 먼저 수신된 DREP의 도메인 정보를 임시 홈 도메인으로 지정
  4. 다음 DREP의 메트릭을 임시 홈 도메인의 메트릭과 비교
    4.1. 메트릭이 우수하면 임시 홈 도메인 정보를 DREP의 도메인 정보로 수정
    4.2. 메트릭이 동일하면
      4.2.2. 이전 홈 도메인의 DG 경로 다음 홉과 DREP의 다음 홉 비교
        4.2.2.1. 같으면 임시 홈 도메인 정보를 DREP의 도메인 정보로 수정
  5. 마지막 수신 DREP까지 수신 순서에 따라 4를 반복
  6. 임시 홈 도메인을 홈 도메인으로 선택
  7. 선택된 DREP 전송 노드를 DG 경로에 대한 다음 홉으로 경로정보 구성
  8. 홉수 완료
```

그림 3. 홈 도메인 결정 슈도코드  
Fig. 3. Pseudo code for home domain decision

그림 2를 예로 하여 MC의 홈 도메인 선택과정을 설명하면 다음과 같다. MC3와 같이 주변에 MC가 없는 경우 DREQ 메시지는 DG인 MR0만이 수신할 수 있다. 지정된 시간이 경과하는 동안 MC3에는 MR0의 DREP 메시지만 유일하게 수신될 것이다. 홈 도메인 결정 과정에서 MC3는 슈도코드 절차 1에 의해 DREP 메시지의 송신 노드의 종류가 MR임을 판단한다. 이 경우 MC3가 DREQ 메시지를 발송한 시점의 홈 도메인 ID와 수신된 DREP 메시지의 도메인 ID가 일치하면 홈 도메인이 변경되지 않은 상황이면서 DG인 MR0의 응답이 최소 홉 카운트를 가지므로 절차 1.1에 의해 MR0가 송신한 DREP 메시지가 선택되고 홈 도메인을 유지한다. 도메인 ID가 서로 일치하지 않으면 MC3는 도메인 변경을 감지하고 절차 3을 수행한다. 하나의 DREP 메시지만 수신된 상태이므로 절차 4, 5는 건너뛴다. 절차 6, 7에 의해 DREP 메시지가 선택되고 이를 송신한 MR0의 도메인을 MC3 자신의 홈 도메인으로 결정한다. 그리고 자신의 라우팅 테이블에서 결정된 홈 도메인 DG(MR0)에 대한 경로를 등록한다.

MC1과 MC2는 지정된 시간동안 하나 이상의 DREP 메시지를 수신하는 경우이다. MC1은 MC로부터만 DREP 메시지를 수신하므로 슈도코드 절차 3에서 절차 5까지를 수행하여 최소 홉 카운트를 갖는 MC0의 DREP 메시지를 선택하고 MC0의 홈 도메인을 자신의 홈 도메인으로 결정한다. 그리고 홈 도메인의 MC0를 다음 홉으로 하는 DG(MR0) 경로를 등록한다. MC2는 MR과 MC의 DREP 메시지를 혼합 수신하는 경우로 DG인 MR의 응답이 최소 홉 카운트를 갖기 때문에 슈도코드 절차에 따라 MR1의 DREP 메시지가 선택되고 이를 송신한 MR1의 도메인을 자신의 홈 도메인으로 결정한다.

MC5와 같이 다수의 도메인으로부터 DREP 메시지를 수신하는 노드를 DEN이라 한다. DEN 또한 기본적으로는 최소 홉 카운트의 DREP 메시지 선택을 통해 홈 도메인을 결정하지만 홉 카운트가 동일한 경우 DREQ메시지를 발송할 당시의 홈 도메인과 동일한 도메인의 DREP 메시지를 우선적으로 선택하여 홈 도메인의 잦은 변경을 방지한다. 따라서 MC5와 같이 다수의 MR로부터 DREP 메시지가 수신되면 먼저 홈 도메인이 같은 DREP 메시지를 선택하고 홈 도메인이 같은 DREP 메시지가 없으면 가장 먼저 수신된 DREP 메시지가 선택된다.

홈 도메인이 결정되면 MC는 도메인 선택 과정에서 구성된 홈 도메인의 DG 경로를 따라 DREG(Domain Registration) 메시지를 전송하여 멤버 등록과정을 수행하는데 이 과정을 통해 DG에서 MC까지의 경로가 구성된다. 도

메인 등록절차에 의해 DG는 홈 도메인의 모든 멤버 MC에 대한 경로를 항상 최신 정보로 유지할 수 있기 때문에 외부 도메인의 경로요청에 대리 응답할 수 있다. 만약 메트릭을 홉 카운트가 아닌 다른 방안을 사용한다면 그림 3의 슈도코드는 메트릭에 적합한 절차로 일부 수정되어야 한다.

#### 4 경로구성

MC는 데이터 전송시점에 목적지 노드의 경로를 모를 경우 pSODV 경로결정 과정을 활성화 한다. pSODV의 이전 방안인 "도메인 기반 AODV"[6]에서는 경로구성을 위해 RREQ(Route Request) 메시지를 홈 도메인에 플러딩하였다. 플러딩된 RREQ 메시지는 DEN의 필터링에 의해 전체 네트워크로 전파되는 것은 방지하였지만 홈 도메인에서의 방송 메시지 증가는 피할 수 없었다. 홈 도메인 결정을 위한 주기적인 DREQ 메시지의 방송과 RREQ 메시지의 방송이 중복되는 경우 무선 링크의 대역이 낭비되고 지연시간이 증가 하였다. 프로토콜 구현을 위한 제어 메시지 방송의 중복을 줄이기 위해 pSODV에서는 RREQ 메시지를 홈 도메인에서는 유니캐스트 전송을 사용하도록 수정하였다. 무선 전송은 기본적으로는 방송이지만 플러딩이 아닌 유니캐스팅을 사용하면 홈 도메인에서 RREQ 메시지의 방송 폭풍 영향을 줄일 수 있다.

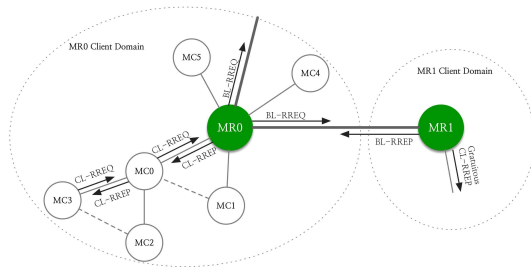


그림 4. pSODV 경로결정 과정  
Fig. 4. Route decision process of the pSODV

경로구성이 필요한 경우에 MC는 CL-RREQ(Client Layer RREQ) 메시지를 홈 도메인의 DG 경로의 다음 홉으로 유니캐스팅 한다. CL-RREQ 메시지를 수신한 노드는 자신의 라우팅 테이블에 목적지 노드에 대한 경로 엔트리의 존재 여부에 따라 다음의 2가지 중 하나를 수행한다.

- ① 목적지 노드 경로 엔트리가 존재하면 CL-RREP(Client Layer Route Reply) 메시지를 요청 MC로 전달하고 목적지 노드로는 gratuitous CL-RREP 메시지를 전달한다.

- ② 목적지 경로 엔트리가 존재하지 않으면 수신된 CL-RREQ 메시지를 DG 경로의 다음 홉으로 포워딩한다.

그림 4에서 MC3가 MC1에 대한 경로결정이 필요한 경우 CL-RREQ 메시지를 DG 경로의 다음 홉인 MC0로 전송한다. CL-RREQ를 수신한 MC0는 MC1에 대한 경로를 홈 도메인 결정 과정에서 사전에 구성하고 있으므로 MC1을 대신해 CL-RREP를 MC3로 전송하고 MC1으로 gratuitous CL-RREP를 전송하여 MC3-MC0-MC1의 경로를 구성한다. 목적지가 MC4 또는 MC5와 같이 DG 경로의 인접 노드가 아닌 경우 MC3의 CL-RREQ 메시지는 DG(MR0)까지 전송되고 DG는 이들을 대신하여 CL-RREP 메시지를 MC3로 전송하고 gratuitous CL-RREP 메시지를 MC4 또는 MC5로 전송한다.

DEN은 도메인 경계에 위치하면서 외부 도메인의 인접 DEN에 대한 경로정보를 구성하고 있다. 만약 외부 도메인의 인접 DEN에 대한 CL-RREQ 메시지가 DEN에 수신되면 라우팅 테이블에 경로 엔트리가 존재하는 경우 대리 CL-RREP 메시지와 gratuitous CL-RREP 메시지를 전송한다. 이를 통해 도메인에 의해 인접 노드에 대한 전송경로가 불필요하게 길어지는 것을 방지한다.

CL-RREQ 메시지가 DG에 도착하면 목적지 노드의 홈 도메인에 따라 다음의 2가지 동작 중 하나가 수행된다.

- ① 목적지 노드가 MC4 또는 MC5와 같이 자신의 도메인 멤버이면 CL-RREP 메시지를 요청 MC로 대리 전달하고 목적지 노드로는 gratuitous CL-RREP 메시지를 전달한다.
- ② 목적지 노드가 외부 도메인의 멤버이면 백본 도메인에 BL-RREQ(Backbone Layer RREQ)를 플러딩한다.

②의 경우와 같이 외부 도메인의 노드에 대한 경로요청은 DG에 의하여 CL-RREQ 메시지를 BL-RREQ 메시지로 변환되어 방송된다. BL-RREQ 메시지는 백본 도메인을 구성하는 DG들에게 목적지 노드가 자신의 홈 도메인 멤버로 등록되어 있는지 여부를 문의하는 목적을 갖는다. BL-RREQ 메시지를 수신한 DG는 자신의 라우팅 테이블에서 목적지 노드 경로 엔트리를 검색하여 자신의 도메인 멤버인지를 검사한다. 자신의 도메인 멤버가 아니면 수신된 BL-RREQ 메시지의 메트릭을 수정한 후 재방송한다. 만약 목적지 노드가 도메인 멤버이면 BL-RREP(Backbone Layer RREP) 메시지를

BL-RREQ 메시지가 전달된 역방향으로 전송한다. 그리고 gratuitous CL-RREP 메시지를 목적지 노드로 전달하여 경로를 구성한다. 최초로 BL-RREQ 메시지를 송신한 GD에 BL-RREP 메시지가 수신되면 목적지 경로를 요청한 멤버 MC로 CL-RREP 메시지를 전달한다.

그림 4에서 보면 MC3가 MR1의 도메인을 홈 도메인으로 하는 임의의 MC를 목적지로 하는 CL-RREQ 메시지가 홈 도메인 DG(MR0)에 도착하면 DG는 이를 BL-RREQ 메시지로 변환하여 백본 도메인에 플러딩한다. 백본 도메인의 모든 DG가 BL-RREQ 메시지를 수신하는데 외부 도메인의 DG인 MR1은 도메인 멤버인 임의의 MC에 대한 경로 엔트리를 확인하고 BL-RREP 메시지를 요청 DG인 MR0로 전송한다. 홈 도메인의 DG인 MR0는 BL-RREP를 CL-RREP 메시지로 변환하여 MC3로 전송한다. 그리고 외부 도메인의 DG인 MR1은 gratuitous CL-RREP 메시지를 BL-RREQ의 목적지 노드로 전달하여 MC3와의 경로를 구성을 알린다.

5. 경로관리

MC는 이동에 의해 홈 도메인에서 DG 경로가 변경되거나 홈 도메인 자체가 변경되는 상황이 발생한다. MC와 DG 간 경로는 DREQ/DREP 메시지의 주기적인 교환과 DREG 메시지에 의해 통해 항상 최신으로 유지된다. 임의의 MC가 데이터 전송 중 홈 도메인에서 DG와의 경로만 변경되는 경우 외부 도메인의 상대 노드는 새로운 경로정보의 구성없이 데이터 전송을 유지할 수 있다. 하지만 상대 노드가 홈 도메인 멤버인 경우에는 경로 오류로 인해 연결이 끊어지는 상황이 발생한다. 이 경우 신속한 경로복구를 위해 MC는 라우팅 테이블에서 상대 노드의 경로 엔트리를 제거하고 경로구성을 재요청한다.

이동에 의하여 MC의 홈 도메인이 변경된 경우에는 도메인 관리 기능이 활성화 된다. 도메인 관리 기능이란 홈 도메인의 변경에 대응하기 위하여 이전 홈 도메인의 DG에 등록되어 있는 MC 경로정보를 새로운 홈 도메인으로 변경하는 과정을 말한다. 이를 위해 MC는 홈 도메인이 변경되면 이전 홈 도메인의 DG로 등록 해지요청을 하여야 한다. 임의의 MC로부터 DREG 메시지를 수신한 새로운 홈 도메인의 DG는 메시지에서 이전 홈 도메인 ID를 읽어 자신의 도메인 ID와 비교한다. 이때 도메인 ID가 서로 다르면 DG는 MC가 도메인을 이동한 것으로 판단하고 이전 홈 도메인 DG로 등록해지 메시지를 대리 전송한다.

그림 5에서 MC2의 DREG 메시지를 수신한 DG(MR0)

는 자신의 도메인 ID와 DREG 메시지의 이전 홈 도메인 ID를 비교하여 같지 않으면 MC2가 도메인을 변경한 것으로 판단한다. 이 경우에 새로운 홈 도메인의 DG(MR0)는 MC2의 이전 홈 도메인 DG(MR1)로 DREG-Release 메시지를 대리 전송한다. DREG-Release 메시지를 수신한 이전 홈 도메인의 DG(MR1)는 라우팅 테이블에서 MC2에 대한 경로 엔트리를 제거하고 MC2와 연결되었던 백본 도메인의 모든 DG로 DREG-Change를 전송한다. DREG-Change 메시지를 수신한 DG는 자신의 라우팅 테이블의 MC2에 대한 경로 엔트리를 새로운 홈 도메인의 DG(MR0) 경로로 수정함으로써 MC2와 연결된 MR2 도메인의 임의의 MC가 경로변경 없이도 MC2와 데이터 송수신이 가능하도록 한다.

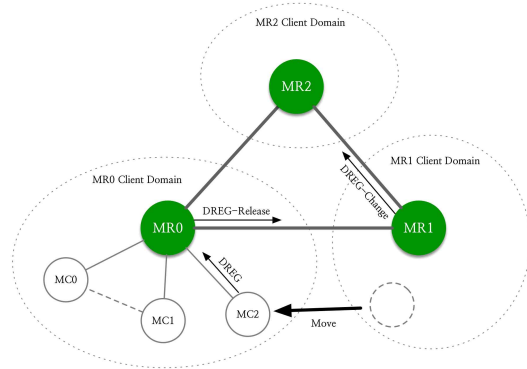


그림 5. pSODV 도메인 관리  
Fig. 5. Domain management of the pSODV

IV. 성능분석

본 논문에서 제안한 pSODV 성능분석을 위해 OPNET 시뮬레이터를 사용하였고 그림 6과 같이 프로토콜 모델을 구현하였다. 네트워크 모델은 구현의 편의를 위해 OPNET의 MANET을 그대로 사용하였으며 하이브리드 WMN의 메시 계층구조 구성을 위해 노드 종류(MR 또는 MC)를 지정할 수 있도록 하였다. 하이브리드 WMN의 백본 메시와 클라이언트 메시 구성을 위해서는 다중의 무선 인터페이스를 갖는 노드가 구현되어야 하나 구현의 단순화를 위해 하나의 무선 인터페이스로 백본과 클라이언트 메시지를 구성할 수 있도록 하였다. 사용된 무선 인터페이스는 IEEE802.11이며 전송속도는 11Mbps로 하였다.

노드를 하나의 무선 인터페이스로 구현함으로써 백본 도메인 구성과 클라이언트 도메인 구성을 위한 주기적인 방송 메



시지가 동일 대역을 사용하게 되었다. 이로 인해 다중의 무선 인터페이스로 구현될 때와 비교하면 추가적인 지연이 발생하므로 실질적인 pSODV의 성능을 분석하기는 어려웠지만 동작특성을 분석하기에는 무리가 없었다. 시뮬레이션에 사용된 요소는 표 1와 같다.

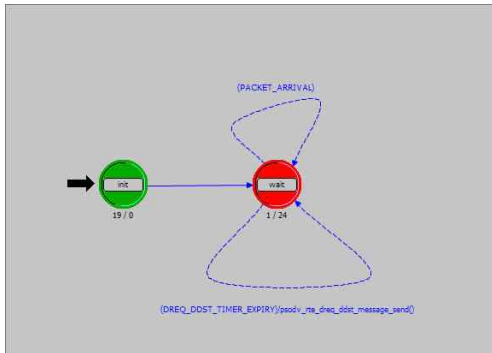


그림 6. OPENT용 pSODV 프로토콜 모델  
Fig. 6. pSODV protocol model for OPNET

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

Parameters	Values
Wireless Link	IEEE802.11 (11Mbps)
Data Packet Size	exponential(1024) bits
Packet Inter-arrival Time	exponential (1) sec.
Simulation Duration	10 min.
Node Traversal Time	0.04 sec.

구현된 pSODV의 시뮬레이션에는 그림 7의 네트워크 모델을 사용하였다. 4개의 MR 주변에 MC를 배치하였으며 홉 카운트를 메트릭으로 사용하기 때문에 노드 간 거리는 가능한 멀리 떨어지도록 하였다. 데이터 트래픽은 클라이언트 도메인 구성시간을 감안하여 시뮬레이션이 시작된 후 100초가 지난 이후부터 발생시켰다.

데이터의 정확한 전달 상태를 확인하기 위하여 네트워크에서 송신된 패킷과 수신된 패킷의 수를 비교한 결과를 그림 8의 그래프로 보였다. 아래의 그래프가 송신된 패킷 수, 위 그래프가 수신된 패킷 수를 나타낸다. 비교 결과 송신된 패킷과 수신된 패킷의 수가 거의 일치함을 알 수 있다. 이 결과로부터 pSODV에 의한 경로결정이 정상적으로 수행됨을 알 수 있다.

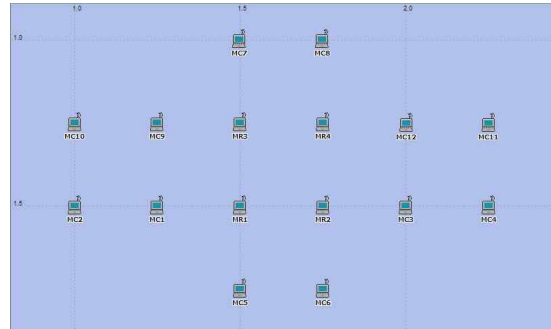


그림 7. 시뮬레이션을 위한 네트워크 모델  
Fig. 7. Network model for simulation

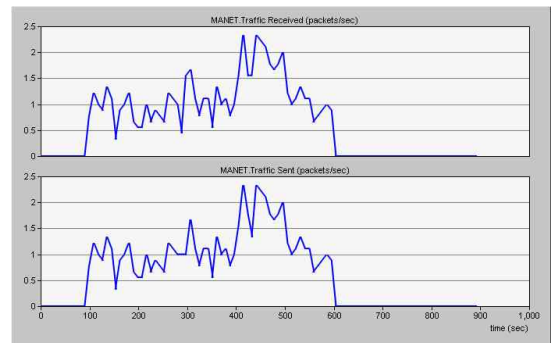


그림 8. 패킷 송수신 비교 그래프  
Fig. 8. Graphs about sent and received packet count

그림 8의 그래프에서 250에서 300초 사이를 보면 송신된 패킷과 수신된 패킷의 수가 조금 차이가 있음을 볼 수 있다. 이는 이 시간에 수행된 경로구성 과정에서 소요된 지연시간이 그림 9에서와 같이 비정상적으로 상승하였기 때문이다. 이 지연시간 동안 송신된 패킷이 경로 상의 임의의 노드 버퍼에 임시로 저장되었다가 경로가 새롭게 구성된 이후에 한꺼번에 전송되어 차이가 발생하였다. 지연시간의 비정상적인 상승 이유를 분석하기 위하여 동일한 네트워크 모델을 사용하여 대표적인 reactive 프로토콜인 AODV의 경로결정 지연시간을 그림 10과 같이 분석하였다. pSODV와의 비교를 위하여 경로 손실에 대한 지역 복구(Local Repair) 기능을 사용하지 않도록 설정하였다.

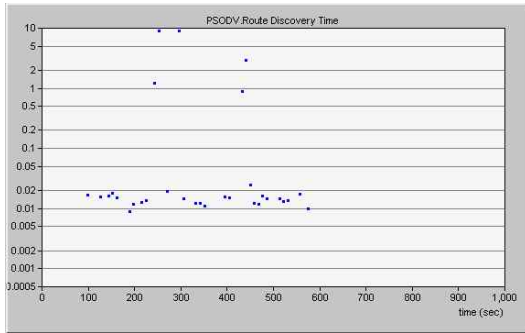


그림 9. pSODV 경로결정 지연시간  
Fig. 9. Route decision delay of the pSODV

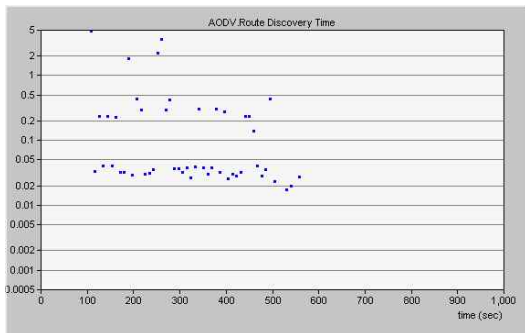


그림 10. AODV 경로결정 지연시간  
Fig. 10. Route decision delay of the AODV

지연시간을 비교한 결과 AODV의 경우에도 정도의 차이는 있지만 유사 구간에서 지연시간이 비정상적으로 증가함을 보였다. 분석 결과 경로 상에 위치한 임의의 노드에서 경로의 유효시간이 경과되어 경로정보가 유실됨으로써 경로를 재구성하기 때문으로 판단된다. 경로정보가 유실되면 pSODV의 경우 DG에서 MC 방향으로 홉 카운트가 증가되는 형태의 경로가 다시 구성되는데 경로에서 DG 쪽의 노드에서 손실이 발생하면 경로수렴에 시간이 걸린다. 그리고 이러한 현상은 구현 프로토콜 모델이 데이터 전송 인터페이스와 도메인 구성을 위한 MR과 MC의 제어 메시지 방송 인터페이스가 동일하여 지연시간이 길어짐으로 인해 라우팅 엔트리 생명시간과 방송 시간의 차이로 발생하는 것으로 추측된다.

하지만 초기 경로결정을 위한 지연시간이 pSODV가 짧은 것을 알 수 있다. 특히 비정상적인 증가를 보인 시뮬레이션 구간의 지연시간을 제외한다면 AODV는 평균 0.15초의 지연시간이 발생된 반면 pSODV는 평균 0.088초의 지연시간이 발생되었다. 이 결과를 통해서 AODV에 비해서 가상 도메인 reactive 라우팅 방안인 pSODV가 약 43% 더 빠른 경로결

정이 가능하다는 것을 알 수 있다.

시뮬레이션을 통해 클라이언트 메시지를 가상의 도메인으로 구분하고 DG(MR)에 의한 경로정보 대리 제공을 수행하는 pSODV가 빠른 경로결정을 수행할 수 있음을 확인하였다. 하지만 경로정보가 어떠한 이유에서 유실될 경우에 이를 복구하기 위한 지연시간이 길어짐을 알 수 있었다. 따라서 pSODV는 MC가 빠르게 이동하는 경우에 경로결정 지연시간이 길어지는 단점을 보여 이를 해결하기 위한 빠른 경로복구 방안이 요구된다.

## V. 결 론

메시가 물리적으로 계층을 형성하는 하이브리드 WMN은 평면구조의 라우팅 프로토콜보다는 계층구조의 라우팅 프로토콜이 적합하다. 하지만 하이브리드 WMN에 적용 가능한 MANET 기반의 계층구조 라우팅 프로토콜들은 메시의 물리적인 계층을 고려하지 않도록 설계되어 경로결정 성능에 한계가 있다. 클라이언트 메시의 트래픽을 백본 메시로 집중시키기 위해서는 유선 네트워크와 같이 네트워크 영역이 명확히 구분되고 네트워크 단위의 경로결정 방안이 필요하다. 본 논문에서는 클라이언트 메시지를 가상의 도메인으로 영역을 구분하고 도메인의 트래픽을 백본 도메인으로 집중화하는 pSODV를 제안하였다.

하이브리드 WMN 라우팅 프로토콜의 주요 고려사항은 네트워크 확장에 대응하는 빠른 경로결정과 낮은 오버헤드의 달성이다. pSODV는 빠른 경로결정이 주목적이다. 이를 위해 클라이언트 도메인의 구성과 DG(MR)가 도메인 멤버 MC의 경로정보를 대행하여 제공함으로써 초기 경로결정 지연시간을 줄이는 것이 pSODV의 기본개념이다.

pSODV의 시뮬레이션 결과 대표적인 reactive 라우팅 프로토콜인 AODV에 비해 빠른 초기 경로결정을 수행함을 볼 수 있었다. 하지만 특정한 상황에서 경로결정 지연시간이 비정상적으로 증가하는 문제를 보였다. 이러한 문제가 하나의 무선 인터페이스를 사용하도록 구현한 프로토콜 모델에 의한 것으로 보이고 프로토콜 모델의 수정 구현을 통해 해결될 수 있을 것으로 본다. 하지만 토폴로지 변화에 따른 노드의 단계적인 홉 도메인 결정 수렴시간이 큰 것은 프로토콜의 안정화를 위하여 반드시 해결되어야 할 사항이다.

시뮬레이션의 결과에서 pSODV는 하이브리드 WMN에서 경로정보를 정상적으로 제공할 수 있음을 보였으며 특정한 상황을 제외하면 초기 경로결정 지연이 짧고 평균 경로결정 시간이 0.088초로 AODV에 비하여 우수함을 보였다. 향후 연

구과제로 경로결정 지연시간이 비정상적으로 증가하는 상황의 정밀분석을 위한 프로토콜 모델의 개선과 MC의 도메인 수렴시간을 줄이기 위한 알고리즘의 개선을 수행할 계획이다.

## 참고문헌

- [1] 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*. Springer, pp. 1-27, 2008.
- [2] I. F. Akyildiz, X. Wang, W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 47, no. 4, pp. 445-487, Mar. 2005.
- [3] S. Kumar, "Reactive and Proactive Routing Protocols for Wireless Mesh Network Using Multimedia Streaming," *Proceedings of the International Conference on Recent Advances and Future Trends in Information Technology*, pp. 13-17, Mar. 2012.
- [4] S. D. ODABASI, 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, Mar. 2010.
- [5] P. N. Thai, H. Won-Joo, "Hierarchical Routing in Wireless Mesh Network," *The 9th International Conference on Advanced Communication Technology*, pp. 1275-1280, Feb. 2007.
- [6] Ho-Cheal Kim, "A Study on Improvement of AODV for Hybrid Wireless Mesh Networks," *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 16, no. 8, pp. 943-953, Aug. 2013.
- [7] G. He, "Destination-sequenced distance vector (DSDV) protocol," *Networking Laboratory, Helsinki University of Technology*, 2002.
- [8] S. Murthy, J. J. Garcia-Luna-Aceves, "An efficient routing protocol for wireless networks," *Mobile Networks and Applications*, vol. 1, no. 2, pp. 183-197, Oct. 1996.
- [9] TW. Chen, M. Gerla, "Global state routing: A new routing scheme for ad-hoc wireless networks," *IEEE International Conference on Communications*, vol. 1, pp. 171-175, Jun. 1998.
- [10] G. Pei, M. Gerla, T.-W. Chen, "Fisheye state routing: A routing scheme for ad hoc wireless networks," *IEEE International Conference on Communications 2000*, vol. 1, pp. 70-74, Jun. 2000.
- [11] D. B. Johnson, D. A. Maltz, J. Broch, "DSR: The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks," *Ad Hoc Networking*, pp. 139-172, Mar. 2001.
- [12] C. Perkins, E. Belding-Royer, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," *IETF RFC 3561*, pp. 1-38, Jul. 2003.
- [13] V. Park, S. Corson, "Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA) version 1 functional specification, draft-ietf-manet-tora-spec-04.txt," *Work in progress, IETF*, Jul. 2001.
- [14] Y. C. Tseng, S. Y. Ni, Y. S. Chen, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network," *Wireless Networks*, vol. 8, issue 2-3, pp. 153-167, Mar. 2002.
- [15] N. Bejar, "Zone routing protocol (ZRP)," *Networking Laboratory, Helsinki University of Technology, Finland*, 2002.
- [16] M. Joa-Ng, L. I-Tai, "A peer-to-peer zone-based two-level link state routing for mobile ad hoc networks," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 17, issue 8, pp. 1415-1425, Aug. 1999.
- [17] 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, M. G. Rubinstein, "Routing metrics and protocols for wireless mesh networks," *IEEE Network*, vol. 22, issue 1, pp. 6-12, Feb. 2008.
- [18] M. Conti, G. Maselli, G. Turi, S. Giordano, "Cross-layering in mobile ad hoc network design," *IEEE Computer*, vol. 37, issue 2, pp. 48-51, Feb. 2004.
- [19] L. Iannone, R. Khalili, K. Salamatian, S.

Fdida, "Cross-layer routing in wireless mesh networks," Wireless Communication Systems 2004, 1st International Symposium on, pp. 319-323, Sep. 2004.

- [20] V. C. M. Borges, M. Curado, E. Monteiro, "Cross-layer routing metrics for mesh networks: Current status and research directions," Computer Communications, vol. 34, issue 6, pp. 681-703, May. 2011.

### 저 자 소 개



김 호 철

1989: 경북대학교

전자과 공학사.

1999: 영남대학교

멀티미디어통신학과 공학석사.

2004: 영남대학교

멀티미디어통신공학과 공학박사

현 재: 울산과학기술대학교

컴퓨터정보학부 부교수

관심분야: 정보통신, 컴퓨터공학

Email : kimhc@uc.ac.kr