

# AODV 기반 Ad Hoc 네트워크에서 다중 인터페이스 노드를 활용한 지역 관리 기법

박준희\*, 김재호\*, 유환석\*\*, 김상하\*\*

한국전자통신연구원\*, 충남대학교

(juni, rdin)@etri.re.kr, (grep, shkim)@cclab.cnu.ac.kr

## An Area Management Scheme using Multi-interfaced Nodes on AODV-based Ad Hoc Network

Jun-Hee Park\*, Jae-Ho Kim\*, Hwan-Suk Yoo\*\*, Sang-Ha Kim\*\*

ETRI\*, Computer Engineering Division Chungnam National University\*\*

### 요 약

본 논문에서는 ad hoc 네트워크의 성능 향상을 위해서 두개의 네트워크 인터페이스를 갖는 이질적인 노드를 활용하여 구성된 계층적인 ad hoc 네트워크(HANA)를 소개한다. HANA 는 두 계층으로 구성되며, 하위계층을 구성하는 노드(TN)들은 ad hoc 네트워크의 대표적 라우팅 프로토콜인 AODV 를 수행하고, 상위계층을 구성하는 백본 노드(BN)는 두개의 네트워크 인터페이스를 갖고 자동 구성(auto-configuration)을 통해서 토폴로지 등 네트워크를 초기화한다. 또한, 본 논문에서는 HANA 구조를 효율적으로 활용하기 위해서 상위계층에서 운용할 라우팅 프로토콜(Extended-AODV)을 제안한다. BN 은 하위계층의 노드들이 발생시키는 AODV 메시지를 통해서 자신이 관할하는 지역에 있는 TN 노드의 정보를 얻어내며, 확장된 AODV 메시지를 통해서 BN 상호간 정보를 교환하여 proactive 한 라우팅 정보를 수집한다.

### 1. 서론

1990 년대 이후 Ad hoc 네트워크에 대한 필요성이 부각되면서 많은 문제점들과 해결방안들이 제시되어 왔으나, 아직도 많은 현실적인 문제점들이 해결책을 위해 연구되고 있다. 이러한 연구 주제의 대표적인 범주는 노드의 이질성 활용을 통한 망의 효율적 관리 문제와 일반적인 ad hoc 노드의 라우팅 및 릴레이 부담에 관한 문제이다.

Ad hoc 네트워크를 구성하는 노드의 이질성은 여러가지 측면에서 찾을 수 있다. 각각의 이동 노드들이 가지고 있는 배터리리는 그 용량, 시간, 로드 등의 차이에 따라서 큰 차이를 보인다. 이러한 배터리의 이질성은 이동 ad hoc 네트워크에서 라우트 경로의 신뢰성과 단방향 링크의 생성여부에 지대한 영향을 준다. [2]에서는 전체 경로의 배터리를 기준으로 라우팅 경로를 선택하는 방법을 통해서 신뢰성 있는 라우트를 구축하는 방안을 제시하고 있다. [3,4]는 ad hoc 네트워크에서 발생하는 단방향 링크를 MAC 계층에서 지원하기 위한 방안을 제안하고 있으며, [5,6,7]는 네트워크 계층과

라우팅 프로토콜의 지원을 통해서 단방향 링크를 이용하는 방안을 제시하고 있다. 또한, [8]에서는 단방향 링크를 안정적으로 유지하는 계층적인 망을 구성하여 망의 효율을 높일 수 있는 방안을 제시하고 있다.

노드의 이질성은 노드가 가지고 있는 기능적인 측면, 즉 컴퓨팅 파워, 망에서 노드의 역할 등에서도 나타난다. 최근 들어 이동 ad hoc 네트워크에 대한 연구는 외부 망과의 연동과 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 외부 망과의 연동을 위해서는 ad hoc 네트워크 내에 다중 인터페이스와 게이트웨이 역할을 할 수 있는 노드가 존재해야 한다. [9]는 이러한 이질적 노드의 역할을 통해서 ad hoc 네트워크에서 인터넷 이동성을 제공하기 위한 방법을 제시하고 있으며, [10]에서는 물리적으로 여러가지 네트워크 인터페이스 상에서 존재할 수 있는 다양한 ad hoc 네트워크를 상호 연동하여 통신할 수 있는 방안을 제안하고 있다.

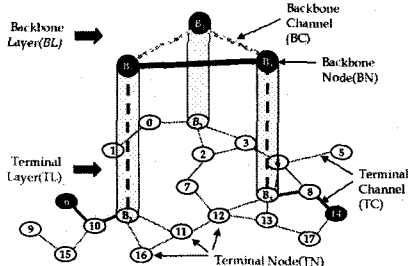
본 논문에서는 ad hoc 네트워크의 성능 향상을 위해서 두개의 네트워크 인터페이스를 갖는 이질적인 노드를 활용하여 구성된 계층적인 ad hoc 네트워크(HANA:

Hierarchical Ad hoc Network Architecture)를 소개한다. HANA 를 구성하는 일반 노드(TN: Terminal Node)들은 ad hoc 네트워크의 대표적 라우팅 프로토콜인 AODV[1]를 수행하고, 두개의 네트워크 인터페이스를 갖는 노드(BN: Backbone Node)는 자동 구성(auto-configuration) 기능을 통해서 상위 계층의 네트워크를 형성한다. BN 은 TN 에서 생성된 AODV 메시지를 통해서 자기 지역 노드의 정보를 얻어내어, 확장된 AODV 메시지를 통해서 BN 상호간에 정보를 교환하여 HANA 의 백본 노드 역할을 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 HANA 구조에 대해서 설명하고, HANA 구조와 기존의 ad hoc 네트워크 구조들과의 구조적 성능 실험을 수행한 결과를 분석하여 HANA 구조에 적합한 BN 간의 라우팅 프로토콜이 필요함을 보여준다. 3 장에서는 HANA 구조에 적합하면서 기존의 표준 라우팅 프로토콜인 AODV 에 호환적인 확장된 라우팅 프로토콜을 설명한다. 4 장에서는 제안된 라우팅 프로토콜의 성능 분석을 통하여 장단점을 분석하고, 5 장에서는 향후 연구 방향에 대해서 기술한다.

## 2. HANA

### 2.1. 구조



[그림 1] HANA 구조와 통신 예 (6 ↔ 14)

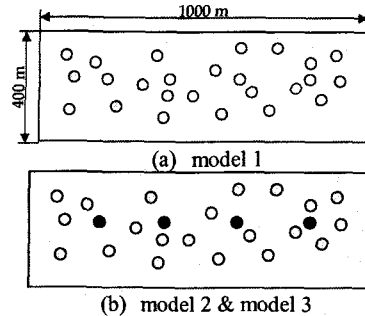
HANA 는 다중 인터페이스를 갖는 노드를 중심으로 상위 계층을 형성하는 ad hoc 네트워크 구조이다. [그림 1]은 다중 인터페이스를 갖는 노드가 3 개 존재하는 HANA 의 예를 보여주고 있다. 망의 구성요소는 다음과 같다.

- Backbone Node (BN) : 2 개의 네트워크 인터페이스를 갖는 노드로서 하나는 일반적인 이동노드(TN)들과의 통신을 위한 것이고 다른 하나는 다른 BN 들과의 통신을 위한 것이다. BN 들은 상대적인 위치가 거의 변화하지 않는 노드들이다. 또한, 전력의 공급이 안정적으로 이루어지므로 BN 들간의 연결은 반영구적으로 유지될 수 있다. BN 간의 연결은 TN 과의 연결보다 광대역으로 이루어진다.
- Terminal Node(TN) : 1 개의 인터페이스를 갖는 일반적인 ad hoc 노드
- Backbone Channel (BC) : BN 간의 통신 채널
- Terminal Channel(TC) : TN 간의 통신 채널
- Backbone Layer (BL) : BN 들간에 형성되는 상위 계층
- Terminal Layer (TN) : TN 들간에 형성되는 일반적인 (flat 구조의) ad hoc 노드 계층

AODV 라우팅 프로토콜을 운용할 경우라도 BN 간의 링크 활용은 자연적으로 발생할 수 있다. [그림 1]에서와 같이 노드 6 이 노드 14 와 통신을 하고자 할 경우, 노드 6 에서 발생된 RREQ 메시지는 BL 과 TL 두 계층으로 방송되어진다. 이 경우, 대부분의 경우 BL 을 경유해서 전달되는 RREQ 가 TL 을 경유하는 메시지 보다 먼저 도착하게 될 것이다. 결국, 노드 6 과 14 간의 라우팅 경로는 [그림 1]과 같이 형성되고, 통신을 위한 많은 부분을 BC 와 BN 에서 부담하게 된다. 이러한 특성은 일반 ad hoc 노드에게 부담되던 라우팅 및 릴레이 부담을 줄일 수 있을 것으로 기대되며, 라우팅 경로도 크게 안정될 것으로 기대된다.

### 2.2. 네트워크 구조 성능 실험

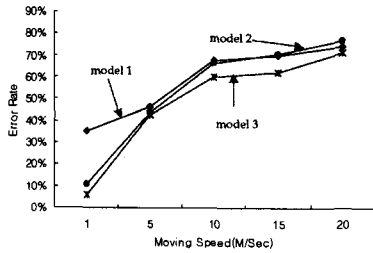
본 단원에서는 일반적인 평형(flat)구조의 ad hoc 네트워크와 똑 같은 환경에서 몇 개의 고정된 노드를 갖는 구조, 그리고 역시 똑 같은 환경에서의 HANA 구조를 비교 실험한 결과를 소개한다. [그림 2]는 각 모델에 관한 네트워크 구조를 보여준다. 모델 1 은 모든 노드가 네트워크 인터페이스를 하나만 갖는 평면적인 일반 ad hoc 네트워크 구조이며, 망의 크기는 1000m x 400m, 네트워크에 존재하는 노드는 총 25 개이다. 모델 2 는 모델 1 과 모든 것이 같고, 25 개의 노드 중 4 개의 노드가 특정 위치에 잘 배치되어 고정되어 있다는 것이 특징이다. 마지막으로 모델 3 는 모델 2 에서 고정되어 있는 4 개의 노드에 하나의 인터페이스를 추가한 HANA 구조의 네트워크이다. 3 가지 모델에 속한 모든 노드들은 AODV 라우팅 프로토콜을 수행한다. 시뮬레이션은 NS 를 사용했으며, 파라미터는 [표 1]과 같다



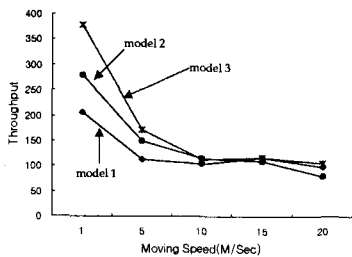
[그림 2] 각 모델별 네트워크 구조

[표 1] 실험 파라미터

Parameters	Values
Propagation model	2-ray ground
MAC	802.11
Transmission range	150m(TL), 250(BL: model3)
Routing protocol	AODV
Data Traffic	Max 10 Connections, UDP/CBR (512Byte/4sec) for error rate, TCP for throughput
Topology	Random generation
Speed	1,5,10,15,20

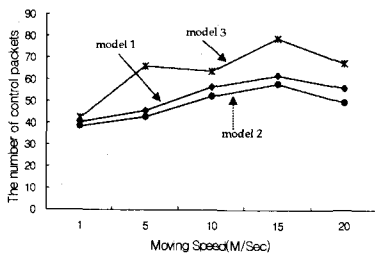


(a) error rate

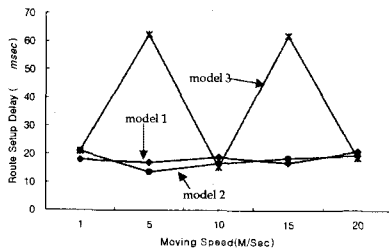


(b) throughput

[그림 3] Simulation Result I - Data Plan



(a) The # of control packets



(b) Route setup delay

[그림 4] Simulation Result II - Control Plan

실험결과는 [그림 3]과 [그림 4]에서 보여주고 있다. [그림 3]은 데이터 평면의 실험 결과이다. 즉, 라우팅 경로 설정이 완료된 가운데 데이터 전송에 관한 오류율과 처리량을 보여준다. 오류율과 처리량 모두 모델 3의 결과가 좋은 것을 볼 수 있다. 두 경우 모두 BN 간의 안정적인 링크를 활용하게 되면서 링크 절단을 이 체계 적용되므로 잃어버리는 CBR 패킷의 수가 줄

어지고, TCP 연결에서의 데이터 처리율도 높게 나타났다. 그러나, [그림 4]에서 보듯이 제어평면에서는 예상 밖으로 모델 3의 결과가 예측할 수 없는 형태로 나온 것을 볼 수 있다. 이것은 다중 채널을 갖는 BN에서 같은 제어 패킷을 항상 두 배로 전송하는 데서 기인되는 문제점이 가장 직접적인 원인으로 해석되기도 하지만, 현재의 AODV 만으로는 HANA 구조를 효과적으로 활용하기 어렵다는 것을 간접적으로 보여주는 것으로 판단된다.

### 3. 라우팅 알고리즘

단원 2.2에서 기술한 바와 같이 HANA를 효과적으로 활용하기 위해서는 새로운 라우팅 패러다임이 추가되어야 한다.

#### 3.1. 라우팅 요구사항

HANA를 위한 라우팅 요구사항은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- Auto-Configuration: BN들의 ad hoc 개념을 최대한 활용하여 설치되어야 한다. 즉, 일반적인 ad hoc 망에서 필요가 발생할 시 즉흥적으로 설치가 가능해야 하고, 관리자가 없는 ad hoc 네트워크에서 HANA 구조를 셋업해야 한다. 이를 위해서 BN 간에는 자동 구성기능(Auto-Configuration)이 필요하다.
- Proactive 라우팅: BN들은 AODV 메시지를 통해서 가상적인 지역 관리를 하고, 지역내의 TN에 관한 정보를 미리 주변 BN들에게 알림으로써 라우팅 요구 발생시 경로 설정 지연 시간을 줄일 수 있는 방법을 지원한다.
- Backward Compatibility to AODV: 기존의 AODV 노드로 구성된 망에 BN들만 추가되어서 형성되는 계층 구조이므로 BN들은 기존의 AODV만을 이해하는 TN들과 통신을 통해서 라우팅 요구사항을 만족해야 한다.

#### 3.2. AODV Extension for HANA

앞 단원에서 기술한 라우팅 요구사항을 만족하기 위해서 본 논문에서는 BN 사이에서 필요한 라우팅 프로토콜을 확장된 AODV 형태로 설계한다. 모든 추가되는 루틴들은 BN에서 활용된다. 즉, TN은 기존의 AODV만을 이해하는 노드로 존속해야 한다.

##### 3.2.1. 가상 지역 관리

가상 지역 관리란 BN이 자신의 영역 내에 존재하는 TN들의 리스트를 유지하는 것을 말한다. 이 정보는 효율적인 라우트 유지관리를 필요하다. BN은 가상적인 지역 관리를 위하여 RREQ와 RREP 메시지를 활용한다. TN에서 발생시킨 RREQ 메시지가 BN에 도착했을 때, 처음 수신한 RREQ일 경우 Originator가 자신의 영역에 존재하는 것으로 간주한다. 또한, TN으로부터 RREP를 수신한 경우 역시 이 노드가 자신의 영역에 있음을 판단할 수 있다. 이렇게 수집된 정보는 주기적 혹은 선별적으로 주변 BN들에게 전달되고 결국 망 전체에 걸친 TN들의 라우팅 정보를 유지

관리하게 된다.

### 3.2.2. 라우트 경로 설정(Route Discovery)

TN 으로부터 RREQ 가 발생하는 경우, BN 에서는 크게 두가지 경우가 발생한다. 첫째는 그 정보를 가상 지역 관리를 통해서 이미 알고 있는 경우이다. 그럴 경우, BN 은 AODV 에서와 같이 Originator 에게 RREP 를 Destination 에게 Gratuitous RREP 를 전송한다. 그리고, 다른 모든 BN 들에게 'D' 플래그를 세팅한 RREQ 를 방송한다. 이것은 다른 BN 들이 TL 로 전파된 RREQ 를 수신하더라도 Originator 노드가 자신의 영역에 있는 노드인 것으로 오인되지 않도록 하기 위함이다. 두 번째는 목적노드에 관한 정보를 모르는 경우이다. 이 경우는 기존의 AODV 에서와 같이 RREQ 를 재 방송한다. 단, TL 과 BL 양쪽으로 방송을 한다는 것이 추가된 점이다.

TN 으로부터 RREP 를 수신한 경우에는 RREP 를 RREQ 의 Originator 방향으로 Unicast 하지 않고, 모든 BN 들에게 방송한다. 이 정보는 모든 BN 들에게 목적 노드가 자신의 영역에 있음을 알게 해준다.

### 3.2.3. 라우트 유지 관리 (Route Maintenance)

본 논문에서는 링크의 절단은 TL 에서만 일어난다고 가정한다. 만일 링크 절단이 발생하면, 이에 관한 RERR 이 발생하여 BN 에게 전달된다. BN 은 TN 과 BN 에게서 RERR 을 수신할 수 있다. BN 이 TN 에게서 RERR 을 받은 경우에는 즉시 주변 BN 에게 RERR(without 'D' flag)을 방송하고 자신의 영역(TTL 조정)에도 RREQ 를 방송하여 잃어버린 노드를 찾는다. 주변 BN 에게서 RERR(no 'D')을 수신한 BN 은 즉시 자신의 영역에 RREQ 를 방송하여 잃어버린 노드를 찾는다. 전송한 RREQ 에 대한 타임아웃이 될 때 까지 응답이 없을 경우 BN 은 자신의 라우팅 테이블에서 잃어버린 노드의 모든 정보를 지우고, BL 에 RERR(with 'D' flag)를 방송한다. 'D' 플래그가 있는 RERR 을 수신한 BN 은 자신의 영역에 RREQ 를 방송하는 작업을 생략하고 RERR(with 'D' flag)를 BL 에 재 방송한다.

RREQ 를 전송한 영역에서 RREP 가 발생하여 수신될 경우, BN 에서는 BL 에 RREP(with 'E' flag)를 방송하고, 복구된 노드에게 Gratuitous RREP 를 전송해서 끊어진 라우팅 경로를 복원한다.

### 3.2.4. 중복관리노드 (Duplicated Maintained Nodes)

3.2.1 절에서 기술한 바와 같이 AODV 노드에서 발생하는 RREQ 와 RREP 메시지를 통해서 지역관리를 하면 망의 상황에 따라 두개 이상의 BN 이 하나의 TN 을 자신의 영역에 있는 것으로 생각할 수 있는 경우가 발생할 수 있다. 그러나, 이것은 아무런 부작용을 유발하지 않는다. 기본적으로 ad hoc 네트워크에서는 다중 경로 설정이 언제든지 발생할 수 있으며, 라우팅 프로토콜은 여러가지 경로 중에서 하나를 선택하게 되도록 설계되어 있다. HANA 의 Ext-AODV 역시 같은 맥락에서 운용되기 때문에 BN 들의 중복관리는 다중

경로를 생성하는 결과를 낳을 뿐이고, 이것은 ad hoc 라우팅 프로토콜의 특성으로 처리가 가능하다.

### 4. 결론

본 논문에서는 이동 ad hoc 네트워크에서 이동 노드들의 라우팅 및 릴레이 부담을 최소화 하기 위한 망 구조(HANA)를 제안하였다. 2 장에서 본 바와 같이 BN 들을 경유하여 라우팅 경로를 설정할 경우 기존의 이동 ad hoc 네트워크에서 생성되는 경로보다 훨씬 안정적이고 성능이 우수한 데이터 평면에서의 통신을 수행할 수 있었다. 그러나, 제어 평면에서는 기대 이하의 성능을 보여, AODV 가 HANA 구조에서 비효율적일 수 있음을 보여주었다. 이를 보완하기 위해 AODV 와 호환성을 보장하는 상위 계층의 라우팅 프로토콜을 제안하였다.

향후 본 논문에서 제안된 구조와 알고리즘을 토대로 성능 분석에 대한 연구와, BN 과 물리적으로 가까운 노드일수록 릴레이 부담이 가중될 것으로 예상되는 문제점 보완을 위한 방법에 대해 연구가 진행될 예정이다.

### 참고문헌

- [1] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," Proceedings of 2nd IEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Feb. 1999
- [2] C.-K.Toh, "Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Communication Magazine, June 2001.
- [3] D.Kim et al, "GAHA and GAPA: Approaches for Supporting Link Asymmetry in Mobile Ad Hoc Networks," IEEE PIMRC, 2001, Vol.2, pp.E-67-E-72.
- [4] 김재호 외, "무선 랜 기반 ad hoc 망에서 단방향 링크 연결성 제공 방안," SK Telecommunication Review, Dec. 2002, 제 12 권 6 호, pp.868-883.
- [5] R. Prakash, "Unidirectional Links Prove Costly in Wireless Ad Hoc Networks," In Proceedings of ACM DIALM 99 Workshop, Aug. 1999, pp. 15-22.
- [6] S. Nesargi et al, "A Tunneling Approach to Routing with Unidirectional Links in Mobile Ad Hoc Networks," Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), Las Vegas, October 16-18, 2000
- [7] S. Agarwal, "Handling Unidirectional Links in Ad Hoc Wireless Networks," DARPA CS294-1, Project Report, 2000.
- [8] 박준희 외, "인터넷 연결성을 지원하는 계층적 Ad Hoc 네트워크 구조(HANIC) 제안," JCCI 2002, Apr. 2002.
- [9] U.Jonsson et al, "MIPMANET - mobile IP for mobile ad hoc networks," MobiHOC 2000, pp.75-85
- [10] 유환석, "Ad-hoc 서비스를 위한 이질적인 망 통합에 관한 연구," 충남대학교 석사 학위 논문, 2003