

# 대규모 Ad-hoc 네트워크 환경에서 트래픽 감소를 위한 선택적 on-demand 라우팅 기법에 관한 연구

정회원 이 재 호\*, 종신회원 엄 두 섭\*\*\*

## Selective On-demand Zone Routing Protocol for Large Scale Mobile Ad-hoc Networks

Jae-ho Lee\* *Regular Member*, Doo-seop Eom\*\*\* *Lifelong Member*

### 요 약

Mobile Ad-hoc Networks 환경에서 노드의 이동성을 고려하기 위한 라우팅 알고리즘은 그 특성에 따라 Proactive와 Reactive 방식으로 구분되며, 두 가지 라우팅의 장점을 조합하는 많은 Hybrid 라우팅이 ZRP (Zone Routing Protocol) 알고리즘을 기반으로 설계되어왔다. ZRP는 특정 지역의 Zone을 생성한 후, Zone 내부에는 Proactive, 외부에는 Reactive 방식을 운영하여 근거리 노드들을 향하는 데이터의 경로 탐색 패킷 발생의 비용을 최소화 하였다. 하지만 실제 네트워크에서의 데이터 전송은 짧은 시간 영역에서 특정 노드에게만 요구되는 경향이 있으며, 이에 대한 고려가 없는 ZRP는 이러한 요구를 만족시키기에는 제한적이다. 본 연구는 실시간 데이터 전송량과 전송 경로의 홉 수를 고려하여, 소스 노드와 목적지 노드를 근간으로 하는 Zone을 on-demand로 형성하는 효율적인 Hybrid 라우팅을 제안하고, 이를 위하여 Zone의 생성 및 소멸을 결정하는 DZD (Dynamic Zone Decision) 알고리즘을 고안한다. 또한, 본 연구의 성능을 검증하기 위하여 기존의 Proactive, Reactive, Hybrid 라우팅 알고리즘과의 비교결과를 분석하였다.

**Key Words** : hybrid, routing, Ad-hoc, MANET, 라우팅, 하이브리드

### ABSTRACT

In Mobile Ad-hoc Networks, previous routing protocols classified into proactive and reactive approach respectively have pros and cons under the use of applications and environment. Moreover, to integrate their advantages in case by case, hybrid approach is consistently researched, and Zone Routing Protocol (ZRP) was motivating many recent hybrid protocols. ZRP uses proactive routing to the node located within the zone defined by the specific number of hops, while it uses reactive routing to other nodes. However, in ZRP, because proactive routing is applied only within the zone defined by the number of hops, the zone is formed regardless of whether real data communication occurred frequently or not. In this paper, we propose a new hybrid routing scheme which employs the zone method but forms customized zone considering traffic load and number of hops, by a new decision method named Dynamic Zone Decision (DZD). Additionally, we analyze the performance of the proposed scheme, comparing with the previous proactive, reactive, and hybrid routings.

\* 고려대학교 전기전자전파공학과 미래정보망 연구실(izeho75@korea.ac.kr)

\*\* 고려대학교 전기전자전파공학과 교수(eomds@korea.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2012-02-091, 접수일자 : 2012년 2월 28일, 최종논문접수일자 : 2012년 5월 9일

## I. 서 론

이동성이 있는 단말로 구성되는 무선 네트워크는 기존 유선 네트워크보다 라우팅 측면에서 일반적으로 복잡성이 크다. Access Point(AP)와 같은 전체 네트워크를 관리하는 coordinator 가 있는 경우, 각 노드들은 Coordinator와 직접 통신을 수행하기 때문에 라우팅은 비교적 단순하게 이루어 질 수 있다. 하지만, Ad-hoc Wireless Network 환경은 네트워크에 접속하는 단말들을 중앙에서 관리하는 별도의 Coordinator가 존재하지 않고, 단말 간 통신이 자율적으로 이루어지며 네트워크 구성이 정형적이지 않기 때문에, 다중경로와 휘발적인 경로설정 등의 이유로 복잡한 라우팅이 요구된다.

초기 MANET (Mobile Ad-hoc NETWORKS)환경에서는 노드의 이동성을 고려하기 위한 Proactive 방식 알고리즘들이 연구되었다<sup>[1]</sup>. Proactive 방식의 라우팅에서는 네트워크를 구성하는 각 노드들이 네트워크 내 모든 목적지에 대한 라우팅 경로 정보를 관리한다. 이러한 방식은 실시간적인 최적경로를 제공하기 때문에, 네트워크 크기가 작고 네트워크를 구성하는 노드들의 이동성이 많지 않은 경우 효과적인 성능을 보여주지만, 네트워크 크기가 커짐에 따라 라우팅 테이블에서 관리해야 하는 정보의 수가 급증하여 테이블 관리를 위한 오버헤드가 발생한다. 또한 네트워크 규모가 클 경우, 구성 노드수가 더욱 증가하게 되는데, 이때 Proactive 방식의 특성상 많은 노드들이 네트워크 내의 모든 노드들을 대상으로 경로 업데이트 메시지를 주기적으로 flooding 하게 된다. 또한 이러한 flooding의 범위는 증가된 네트워크 규모에 비례적으로 증가되기 때문에, 결론적으로 메시지의 수와 flooding의 범위가 모두 증가된다. 따라서 전체 트래픽량이 매우 높고 각 노드가 소모하는 에너지 역시 매우 높아지게 된다.

이러한 오버헤드 문제를 해결하기 위해 연구된 on-demand 방식의 Reactive 라우팅 Protocol이 소개되었다<sup>[2]</sup>. Reactive 방식의 라우팅에서는 모든 노드들이 평소에 라우팅 경로를 관리하지 않고, 데이터 전송이 필요한 경우에만 경로를 탐색하여 데이터를 전송하기 때문에 Proactive 방식에 비하여 주기적인 트래픽이 상대적으로 감소한다는 장점이 있다. 이 방식은 데이터 전송이 빈번하지 않은 환경에서 트래픽 발생량이 상대적으로 낮지만, 목적지 노드가 근거리에서 위치한 경우에도 전체 네트워크로

경로 탐색을 위한 메시지가 flooding 된다는 단점을 가진다. 만약 Data Aggregation, Data Fusing, Clustering 등이 근거리에서 많은 통신량이 요구되는 환경에서 Reactive 방식을 적용할 경우, 통신 요구가 발생하지 않는 원거리 노드에게 flooding이 전달되어 불필요한 트래픽 발생량이 높아진다.

위 두 가지 방식의 단점을 극복하기 위하여, 특정 hop 이내에 위치한 노드들의 라우팅 정보만 Proactive 방식을 적용하는 Zone Routing Protocol (ZRP)와 같은 Hybrid Routing Protocol이 소개되었다<sup>[3]</sup>. ZRP 방식은 특정 hop 이내의 노드들의 라우팅 정보만을 관리하여, 전체적인 트래픽 오버헤드를 감소시키는 효과를 제공하지만, 정해진 특정 hop 이내의 모든 노드를 대상으로 일괄적인 Proactive 방식을 적용함으로써, 실제 통신이 거의 일어나지 않는 노드의 정보를 저장하고 통신이 빈번한 노드의 정보가 저장되지 않는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 Zone 방식의 라우팅에서는 실제로 빈번하게 데이터 전송이 발생하는 통신경로를 파악하고, 이 경로에 대하여 Proactive 방식을 적용하는 요구가 반드시 필요하다.

본 논문에서는 각 목적지 노드와의 통신 빈번도, 홉 수 등을 고려한 Selection 알고리즘을 설계하여 향후 통신 가능성이 높은 노드를 선정하고, 이에 따른 라우팅 방식을 선택적으로 적용하는 Hybrid Routing Protocol 을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 Selection 알고리즘에 의해 선택된 노드들은 실제 네트워크에서 통신 가능성이 높은 노드이며, 이러한 노드에 대한 라우팅 정보를 Proactive 방식으로 관리함으로써 Reactive 방식에서 발생하는 경로 탐색 패킷을 최소화 하고, 실제로 필요한 노드에 한하여 실시간적 최적경로를 제공함으로써 기존 Proactive 방식과 Hybrid 방식 대비 주기적 업데이트 메시지를 줄였다.

본 논문은 Ad-hoc Wireless Network 및 기존 라우팅 Protocol 등의 연구 배경을 II장에서 소개하고, III장에서는 제안 알고리즘을 상세히 설명하며, IV장에서는 성능분석과 Simulation을 통해 성능을 검증하고, V장에서 결론을 맺도록 하겠다.

## II. 연구 배경

MANET 환경에서는 구성 노드의 위치변화 등에 따라 토폴로지가 빈번하게 변하므로 특정 노드를 찾아가기 위한 경로의 관리가 어렵다. 또한 기존의

유선망을 위한 라우팅 프로토콜은 노드의 이동성을 고려하지 않기 때문에 이러한 환경에 적합하지 않다. MANET을 포함한 Ad-hoc 환경을 위하여 설계된 라우팅 프로토콜은 대표적으로 Proactive 방식과 Reactive 방식, 그리고 이를 혼합한 하이브리드 방식으로 크게 구분된다<sup>4,5)</sup>.

Proactive 방식은 특정 시간 주기와 네트워크 토폴로지가 변경될 때 라우팅 정보를 flooding 함으로써 모든 노드가 최신의 라우팅 정보를 유지하는 방식이며, DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)<sup>11)</sup> 알고리즘이 대표적이다. 이 프로토콜은 전통적인 Bellman-Ford 라우팅 메커니즘 기반의 table-driven 방식이며, 네트워크 내의 모든 모바일 노드는 전달 가능한 모든 목적지에 따른 경로와 홑수가 기록되는 라우팅 테이블을 유지한다. 이러한 라우팅 테이블의 각 엔트리는 목적지별 link cost 값을 관리하며, 새로운 경로와 만기된 경로를 구분하고 경로의 loop 형성을 피하는 기능을 지닌다. 또한 라우팅 테이블의 최신 정보를 유지하기 위해서 각 노드는 네트워크 전체를 향해 주기적으로 경로 업데이트 메시지를 flooding한다. DSDV 라우팅 방식은 전체 네트워크 규모가 크지 않고, 토폴로지 변화가 적은 환경에서 높은 효율성을 유지한다.

DSDV 프로토콜에서의 각 노드는 모든 목적지 노드를 위한 최신의 경로 정보를 항상 유지하기 때문에 데이터 전송 요구 시 경로 탐색의 지연 없이 빠른 데이터 전달이 가능하다. 하지만, 이러한 주기적 경로 업데이트 메시지 교환으로 인하여 대규모 네트워크에서는 매우 높은 트래픽이 발생하며, 라우팅 관리를 위한 컨트롤 패킷의 오버헤드가 너무 크다는 단점이 있다.

MANET 환경에서의 또 다른 형태인 Reactive 방식은 데이터 전송요청이 필요한 경우에만 경로 탐색을 하는 방식으로서, Proactive 방식의 단점인 주기적 flooding 오버헤드를 최소화 할 수 있으며, AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector)<sup>16)</sup>, DSR (Dynamic Source Routing)<sup>15)</sup> 등이 대표적이다.

DSDV 알고리즘이 완벽한 전체 경로를 유지하는 것에 비해, AODV는 on-demand 기반으로 경로 찾는 방식이다. 이는 데이터 전송이 필요한 경우에만 경로 탐색을 하기 때문에, 전체적인 네트워크 토폴로지 관리를 위한 flooding 수를 최소화하여 네트워크 관리를 위한 트래픽 발생을 감소시킨다는 장점을 지닌다. AODV에서 데이터 전송이 발생할 경우,

소스노드는 목적지까지의 경로를 탐색하기 위해 Path Discovery 단계를 거치는데, Path Discovery 단계는 Route Request (RREQ) Packet을 flooding 하는 단계와 목적지로부터 답변을 받는 Route Reply (RREP) 과정을 통해 이루어진다. AODV는 데이터 전송 빈도가 높지 않은 환경에서 높은 효율을 갖는다. 하지만, 데이터 전송 빈도가 높을 경우에는 높은 빈도의 Path Discovery가 전체 네트워크에 flooding 되기 때문에, 이로 인하여 Proactive 방식보다 오히려 트래픽을 증가시키는 단점을 가질 수 있다.

DSR은 소스 라우팅을 기반으로 하는 on-demand 라우팅 방식이다. DSR에서의 모바일 노드들은 자신이 알고 있는 경로들을 포함한 경로 캐쉬를 각각 유지하며, 이러한 경로 캐쉬는 새로운 경로들이 나타남에 따라 지속적으로 update 된다. DSR에서의 경로 탐색은 Path Discovery와 Path Maintenance의 단계로 이루어진다. 모바일 노드가 특정 목적지로 보낼 패킷이 있는 경우 경로 캐쉬를 참조하여 전송하고, 캐쉬 정보가 없을 경우는 Route Request 패킷을 flooding하여 Path Discovery를 시작한다. 이때, 새로운 경로에 연관된 모든 노드들은 이러한 경로 정보를 각각 경로캐쉬에 저장한다. DSR 라우팅은 AODV와 동일한 이유로 인하여 데이터 전송이 빈번하고 노드 이동이 활발한 환경에서는 잦은 Path Discovery로 인한 flooding 증가 때문에 네트워크 성능이 낮아진다.

Hybrid 방식은 Proactive 방식과 Reactive 방식의 장점을 동적으로 취하기 위하여 고안된 방식으로서, Zone Routing Protocol (ZRP)<sup>17)</sup>가 대표적이다. ZRP 라우팅은 경로의 hop수를 기준으로 특정 구역을 정의하고, 구역 내의 노드들을 대상으로 Proactive 방식을, 구역 밖의 노드들을 대상으로 Reactive 방식을 선택적으로 운영하는 프로토콜로서, 기존의 Proactive 방식과 Reactive 방식의 문제점을 대부분 해결하였다. ZRP는 Path Discovery를 위한 flooding 메시지의 수를 줄이고 이에 대한 트래픽량을 감소시키기 위하여 설계되었으며, DSDV의 주기적 정보 교환을 특정 구역 내에 위치한 근거리 목적지 노드들을 대상으로 한정시킴으로써 기존 문제를 해결하였다.

대부분의 Hybrid 방식의 라우팅은 이러한 Zone 형태를 기반으로 설계되었으며, 본 논문에서도 동일하게 Zone 방식을 유지하는 라우팅을 설계하였다. 하지만 ZRP 방식의 Zone은 오직 TTL (Time To

Live)을 활용한 홉 수를 기반으로 고안되었기 때문에, 원거리의 특정 노드들에게 전송이 집중화될 경우 Reactive에서 발생하는 문제를 해결할 수 없다. 즉, 실제 전송 환경에서는 다양한 전송량과 전송방향이 단시간 내에 발생되기 때문에, ZRP와 같은 동심원 형태의 Zone이 비효율적이다. 따라서 본 논문에서는 실제 데이터 전송 환경을 고려한 Zone을 생성 및 관리하는 기법을 제안하여, dynamic한 데이터 전송 요구를 능동적으로 해결하기 위한 방법을 고안한다.

### III. 제안 알고리즘

#### 3.1. Motivation

MANET 환경에서 노드 간 이동으로 인하여 발생하는 다양한 경로를 효과적으로 설정하기 위하여 설계된 라우팅 기법은 앞서 언급한 바와 같이 Proactive 방식과 Reactive 방식으로 구분되며, 이들의 장점을 조합하는 Hybrid 방식이 존재한다. 이중 ZRP는 수 많은 Hybrid 방식의 기반이 되는 프로토콜로서 네트워크 전체에 flooding 되는 패킷 수를 크게 감소시키는 방안을 제안하였다.

ZRP에서 채택하는 TTL 기반의 정적 Zone은 소스 노드로부터의 홉 수를 참조하여 형성하기 때문에 그림 1(a)와 같이 동심원 형태의 Zone이 생성된다. 하지만 TTL 기반의 정적 Zone 형성 방법은 실제 네트워크 내의 데이터 전송 요구 범위가 반영되지 않기 때문에 효과적인 방법이라고 할 수 없다. 임의의 한 소스 노드로부터 정해진 홉 수를 초과하는 특정 목적지 노드와의 데이터 송수신이 빈번한 경우, ZRP에서는 이러한 목적지 노드가 Zone 내에 포함되지 않기 때문에 Reactive 방식의 라우팅을 이용한다. 이러한 환경에서는 소스 노드로부터 목적지 노드까지의 경로를 알기 위한 Path Discovery 패킷이 전체 네트워크를 대상으로 flooding하기 때문에, 네트워크 전체에 인가되는 트래픽량이 높아지며 노드 각각의 에너지 효율이 낮아진다.

또한, 임의의 한 소스 노드로부터 Zone 내의 특정 목적지 노드와의 데이터 송수신이 거의 발생하지 않을 경우, ZRP에서는 이 목적지 노드가 Zone 내에 포함되기 때문에 Proactive 방식의 라우팅을 이용한다. 이러한 환경에서는, Proactive 라우팅 특성상 Route Update 패킷을 Zone 내의 모든 노드가 해당 Zone을 대상으로 주기적인 flooding을 하기 때문에, 데이터 전송 요구가 없는 경우임에도 불구

하고 Zone 내의 트래픽 발생량이 높아진다. 물론 이 경우에도 에너지 효율은 낮아진다.

본 논문에서는 실제 데이터 전송 요구의 변화를 능동적으로 고려하는 동적 Zone 형성 기법을 제안하고, 이를 활용한 라우팅 알고리즘을 설계하여 TA-DZR (Traffic Aware Dynamic Zone Routing)이라 명명하였다. 그림 1(b)는 특정 소스 노드와 목적지 노드 간 데이터 송수신이 빈번한 경우, 이 경로를 포함하는 Zone의 공간적 형태를 도식화 하였다.

이와 같이 실제 데이터 전송 요구에 따라 생성되는 Zone은 그 형태가 정형적이지 않으며, Zone 형성의 기준이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 Zone의 형태에 대한 기준과 형성에 대한 기준을 정의하고자 한다.

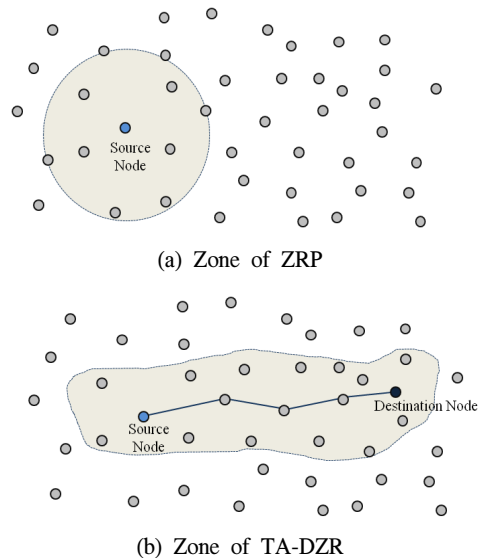


Fig. 1. The difference of zone shape

#### 3.2. 트래픽을 고려한 Zone 형성

TA-DZR은 실제 송수신이 활발하게 발생하는 노드들을 대상으로 Zone을 형성하고, Zone 이내의 목적지 노드는 Proactive 라우팅 방식을, Zone 외부의 노드는 Reactive 라우팅 방식을 채택한다. 하지만, 이러한 TA-DZR 역시 응용 환경에 따라 각각 장점과 단점을 가질 수 있다.

우선 TA-DZR은 ZRP와 달리 현실적으로 Proactive 방식이 요구되는 노드만을 대상으로 Proactive 라우팅을 운영하기 때문에, 불필요한 주기적 Route Update 패킷이 Zone 내에 flooding 되는

현상을 막을 수 있다. 또한, 데이터 전송이 활발하지 않는 노드에 대해서는 Reactive 방식을 채택함으로써 필요한 경우에만 경로를 탐색하는 방식을 취하고 있지만, 데이터 전송이 활발해질 경우 또 다른 Zone을 형성함으로써 경로 탐색을 위한 Path Discovery가 네트워크 전체에 flooding 되는 단점을 보완할 수 있다.

하지만, 이러한 TA-DZR 역시 목적지 노드당 데이터 전송량을 실시간으로 측정하기 위한 연산이 추가적으로 필요하고, 이에 따른 정보를 관리하기 위한 메모리 공간이 추가적으로 요구된다는 단점이 발생할 수 있다. 하지만, 일반적으로 이 연산에 따른 비용은 네트워크 전체에 발생하는 flooding 처리 비용에 비하면 매우 낮으며, 메모리 요구 또한 동일하다.

TA-DZR의 Zone 형성은 기본적으로 on-demand 방식을 따른다. 네트워크 내의 모든 노드는 각 목적지 노드 당 데이터 전송량과 홉 수를 주기적으로 측정하며, 이를 테이블을 활용하여 그림 2와 같이 관리한다. 그 후, 각 목적지 노드로의 데이터 전송량과 홉 수를 기반으로 Proactive 방식에 대한 적용 유무를 판단하고, 적용 결정을 할 경우 그림 3(a)와 같이 'Create Zone MSG'를 목적지 노드로 송신한다. 이 메시지는 새로 생성할 Zone에 대한 구분자인 Zone\_ID를 포함한다. 네트워크 내에서 Zone 식별에 대한 유일성을 보장하기 위하여, Zone\_ID는 소스 노드와 목적지 노드의 주소, 소스 노드에서 생성한 sequence로 구성된다. 이 때, 본 메시지를 목적지까지 포워딩하는 노드들은 메시지 내의 Zone\_ID를 참조하여 자신들도 Zone Member가 되며, 메시지가 전달되는 경로에 이웃하는 노드들 역시 이 메시지를 overhearing 하여 Zone Member가 된다. 이러한 방식으로 구성된 Zone은 그림 3(b)와 같은 형태를 지닌다.

Zone이 형성된 후에 발생하는 Proactive 라우팅을 위한 주기적 Route Update 패킷은 네트워크 전체로 flooding 되지 않으며 Zone 내부로만 제한된다. 즉, 새로운 Route Update 패킷이 flooding 될 때, Zone Member 노드들은 패킷 내의 Zone\_ID와 자신의 Zone\_ID를 비교한다. Zone\_ID가 동일할 경우 이 패킷을 이웃 노드들에게 flooding 하고, 다를 경우 이 패킷을 discard 시킨다. 이렇게 Zone Member가 아닌 노드들은 Zone\_ID 비교를 통하여 Route Update 패킷을 discard 시킴으로써 네트워크 전체에 flooding 되는 것을 제한한다.

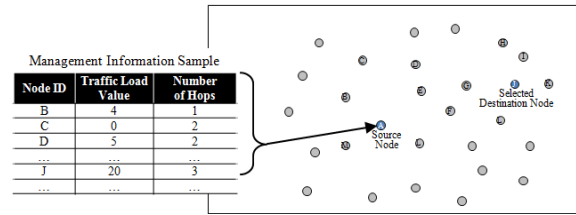


Fig. 2. Record for proactive routing

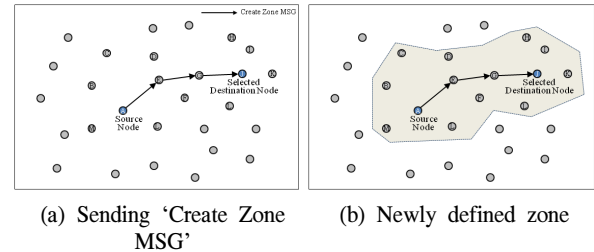


Fig. 3. Creation of a new zone

한편, 특정 목적지 노드에 대한 데이터 전송량이 크게 낮아질 경우 더 이상의 Proactive 방식을 유지하는 의미가 없어진다. 따라서, 이를 확인한 소스 노드는 'Zone Deletion MSG'를 목적지 노드로 송신하고 해당 Zone을 해제시킨다. 'Zone Deletion MSG'를 전달하는 노드들과 이를 overhearing 할 수 있는 모든 이웃 노드들은 위 Zone 생성시와 동일한 방법으로 Zone에서 탈퇴한다.

이러한 Zone 형성을 위한 메시지는 TA-DZR의 또 다른 비용을 야기시킬 수 있다. 'Create Zone MSG' 메시지는 Proactive 라우팅이 요구될 경우에만 발생하므로, 이는 적용되는 네트워크의 특성에 따라 효과적으로 적용해야 한다. 본 논문에서는 이에 대한 효율적인 Zone 형성기준을 위하여 DZD (Dynamic Zone Decision) 라는 방안을 제시해 본다.

### 3.3. DZD (Dynamic Zone Decision)

TA-DZR의 효율적인 Zone 생성방법을 위하여, 본 절에서는 Zone 생성 결정을 위한 DZD 알고리즘을 제안한다. 임의의 한 소스 노드에서 특정 목적지 노드로의 데이터 전송량이 클 경우, 이는 Proactive가 유리하기 때문에 Zone을 형성하는 결정을 할 것이며, 그 반대의 경우는 Reactive가 유리하기 때문에 Zone형성 결정을 하지 않는 것이 효율적이다. 이를 위하여 모든 소스 노드는 모든 목적지 노드의 데이터 전송량과 홉 수를 표 1과 같이 저장하고, 다음과 같은 절차를 따른다.

Table. 1. Traffic load management table

Dst Node	No. of transmitted packet	No. of hops	TCI value
B	4	1	0.2
C	0	2	0.05
D	5	2	0.2
...	...	...	...
J	20	3	0.7
...	...	...	...

먼저, 특정 목적지 노드에 대한 데이터 전송량과 홉 수를 고려하여 현재의 상태를 대표하는 indicator를 TCI (Traffic Condition Indicator)라 정의하고, 임의의 목적지 노드  $n$ 에 대하여  $t$  시간에서의 TCI를 식 1과 같이 정의한다. 실제 데이터 발생량은 상황에 따라 급변할 수 있기 때문에, 근 시간 동안의 발생량을 반영하기 위하여 TCI는 이동평균을 적용하며, 이에 대한 가중치를  $\alpha$ 로 설정한다.

$$TCI_{(n,t)} = \alpha \cdot TCI_{(n,t-1)} + (1-\alpha)(F_{(n,t)} + H_{(n,t)}), \text{ where } (0 \leq \alpha \leq 1) \quad (1)$$

또한, 소스 노드로부터 목적지 노드까지의 데이터 발생량을  $F_{(n,t)}$ , 홉 수를  $H_{(n,t)}$ 로 정하며 아래와 같이 정의한다.

$$F_{(n,t)} = \begin{cases} \frac{f_{(n,t)}}{k}, & (k > f_{(n,t)}) \\ 1, & (k \leq f_{(n,t)}) \end{cases} \quad (2)$$

$$H_{(n,t)} = \begin{cases} \frac{h_{(n,t)}}{l}, & (l > h_{(n,t)}) \\ 1, & (l \leq h_{(n,t)}) \end{cases} \quad (3)$$

$f_{(n,t)}$ 와  $h_{(n,t)}$ 는 각각 측정된 데이터 발생량과 홉 수를 나타내며, 이에 대한 Max 값을 특정 상수로 각각 제한하기 위하여 상수  $k$ 와  $l$ 을 나타내었다. 이렇게 연산된 TCI값은 각 목적지 노드에 대한 현재 가치를 나타내며, Proactive 방식의 적용여부를 판단하기 위한 기준을 상수  $\theta$ 로 정의하였다. 즉 현재 TCI가 설정된 임계값인  $\theta$ 보다 높을 경우, 식 4와 같은 해당 목적지 노드  $n$ 은 Proactive 라우팅을 적용하는 집합  $P(t)$ 에 포함되며, 이 목적지 노드가  $P(t)$  집합의 신규 노드일 경우 'Create Zone MSG'를 활용한 새로운 Zone이 생성된다.

$$P_{(t)} = \{n \mid \theta \leq TCI_{(n,t)}\} \quad (4)$$

결과적으로 DZD는 각 목적지 노드에 대한 데이

터량과 홉 수를 고려하여 이동평균을 통한 TCI를 구하고, 이 값을  $\theta$ 와 비교하여 Zone에 대한 결정을 한다. 하지만, TCI와  $\theta$ 의 차이가 아주 작을 경우, 즉, TCI가  $\theta$ 주위에서 높고 낮은 값을 반복적으로 가질 경우, Proactive Zone의 생성과 소멸이 짧은 간격으로 반복될 경우가 있다. 이러한 문제를 보완하기 위하여 DZD는 margin 값을 나타내는  $m$ 상수를 활용하여 식 5와 같이 적용한다. 이때,  $U_{(t)}$ 는 전체 목적지 노드의 집합을,  $R_{(t)}$ 는 Reactive 라우팅을 적용하는 집합을 나타낸다.

DZD에서 Zone 형성의 기준이 되는 임계값  $\theta$ 는, 적용되는 시스템과 네트워크의 응용환경 특성을 고려하여 설정해야 하며, 본 논문에서는 임의의 네트워크 모델을 기반으로 optimal한  $\theta$  값을 IV장에서 나타내었다.

$$\begin{aligned} U_{(t)} &= P_{(t)} + R_{(t)} \\ P_{(t)} &= \{n \mid (n \in R_{(t-1)}) \cap (TCI_{(n,t)} \geq \theta + m) \\ &\quad + \{n \mid (n \in P_{(t-1)}) \cap (TCI_{(n,t)} \geq \theta)\} \\ R_{(t)} &= \{n \mid (n \in P_{(t-1)}) \cap (TCI_{(n,t)} \geq \theta - m) \\ &\quad + \{n \mid (n \in R_{(t-1)}) \cap (TCI_{(n,t)} < \theta)\} \end{aligned} \quad (5)$$

## IV. 성능 평가

### 4.1. 시뮬레이션 환경

TA-DZR은 실제 데이터 전송 요구를 반영하여 on-demand 형태의 Zone을 형성하고, 이를 통하여 네트워크 전체에 발생하는 control 메시지 수를 줄여 에너지 효율을 향상시켰다. 본 절에서는 이에 대한 효과적인 성능 검증을 위하여 네트워크 운영 모델을 설정하고, 실제 무선 transceiver에서 사용되는 통신 파라미터를 적용하여 NS-2 (Network Simulator 2)를 활용한 실험을 진행하고, 그 결과를 바탕으로 본 프로토콜의 성능을 검증하였다.

실험에 사용되는 네트워크 모델은 그림 4와 같이 100m 간격의 100개의 노드를 격자구조로 위치시켰다. 이러한 네트워크 구조는 단순하지만 멀티 홉 환경에서의 라우팅 성능을 검증하는데 효과적이다. 또한 앞서 설명한 바와 같이 WLAN 등의 실제 무선 환경에서 사용되는 일반적인 칩셋의 특성을 그대로 본 실험에 반영하였으며, 이는 표 2와 같다. 이 때, 성능비교에 사용되는 라우팅 알고리즘은 Proactive, Reactive, Hybrid 방식의 대표적인 프로토콜인 DSDV, AODV, ZRP이며, ZRP의 Zone 구성을 위

한 TTL은 2로 설정하였다. 또한 통신거리는 200m로서, 그림 4의 모델의 경우 2홉의 거리가 통신 가능하며 대각선의 경우 1홉까지만 통신이 가능하다.

Table. 2. Simulation parameters

Parameter	Value
Comparative Routing Protocols	AODV, DSDV, ZRP
Data rate	100 kbps
MAC type	SMAC
Baseband Frequency	2.4GHz
Initial Zone TTL for ZRP	2
Network Size / structure	100 nodes / Grid
Traffic Agent	CBR
Power in mode (Tx/Rx)	50.7 / 49.2 (mW)
Communication Range	200 meter

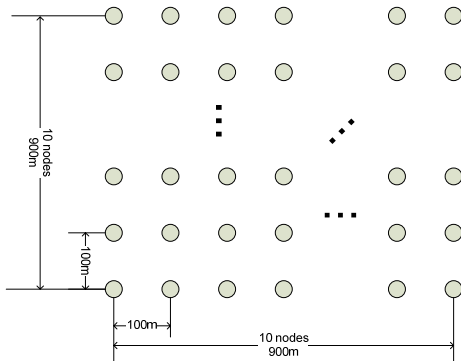


Fig. 4. Simulation model

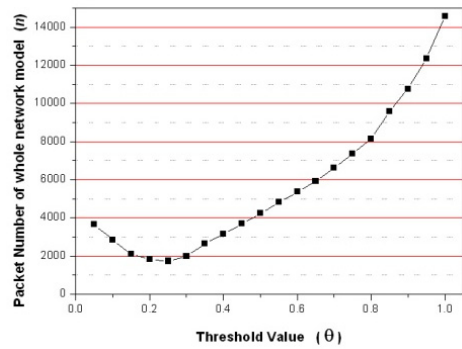
#### 4.2. Optimal $\theta$

TA-DZR에서의 Zone 형성을 위한 임계값  $\theta$  는 본 프로토콜의 성능에 매우 중요한 요소이며, 이 값을 부적절하게 설정할 경우 TA-DZR은 기존 라우팅보다 낮은 성능을 가질 수 있다. 따라서 이는 네트워크 운영 환경과 응용 특성에 따라 신중히 결정되어야 하며, 본 절에서는 그림 4에서 설정한 네트워크 모델에 따른 최적의  $\theta$  를 실험결과를 바탕으로 도출하였다.

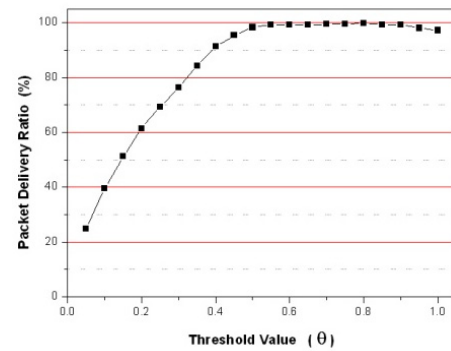
그림 5는  $\theta$  값에 따른 네트워크 전체에 인가되는 패킷 수와 전송 성공률인 PDR (Packet Delivery Ratio)의 실험 결과를 나타내었으며, 결과의 적합성을 위하여 본 실험은 다음과 같은 절차를 진행하였다. 먼저 네트워크 전체에서 임의의 소스 노드와 목적지 노드를 각각 random하게 선택하고, 선택된 노드들에 초당 5개의 데이터 패킷을 10초 동안 발생시켰다. 이러한 절차는 400초 동안 10초 간격으로 반복시켰으며, 반복시마다 소스 노드와 목적지 노드

를 random하게 선택하고, 이를 통하여 소스 노드와 목적지 노드의 위치에 대한 영향력을 일반화 시켰다.

그림 5(a)는  $\theta$  에 따른 네트워크 전체의 패킷 발생 수를 나타내었으며,  $\theta$  값이 0.25일 때 가장 패킷 발생 수가 감소된다는 결과를 도출하였다. 하지만 그림 5(b)의 PDR을 고려할 때, 0.25는 적절하지 못한 설정이다. 본 실험에서는 응용 환경의 요구 PDR이 90% 이상이라고 간주하고 이에 따른 최적  $\theta$  를 0.4로 설정하였다. 즉, 요구 PDR을 만족하면서 패킷 발생량을 최소화 할 수 있는  $\theta$  를 최적 값으로 판단하고 이를 다음 절 부터의 모든 실험에 적용하였다.

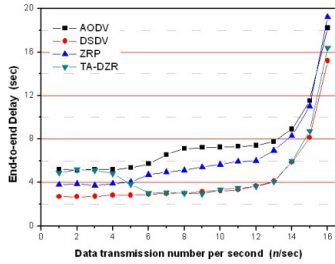


(a) Total packet number

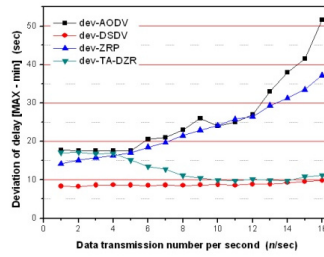


(b) PDR

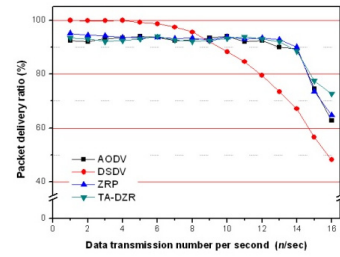
Fig. 5. Measurement for the optimal threshold value ( $\theta$ )



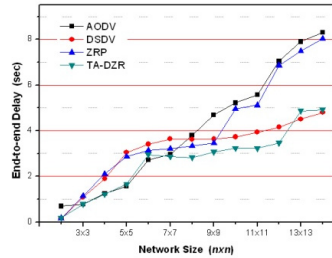
(a) End-to-end delay: traffic load



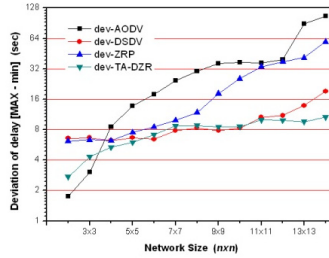
(b) The delay deviation between MAX and min: traffic load



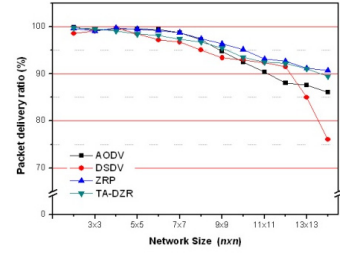
(c) PDR: traffic load



(d) End-to-end delay: network size



(e) The delay deviation between MAX and min: network size



(f) PDR: network size

Fig. 6. The general performances of TA-DZR: delay and PDR

### 4.3. Performance

본 절에서는 TA-DZR의 일반적인 성능을 DSDV, AODV, ZRP와 비교 검증하여 그림 6과 같이 나타내었다. TA-DZR은 Zone 형성 유무와 생성 수에 따라 Proactive 방식과 Reactive 방식의 특성을 따른다. 일반적으로 Proactive 방식은 모든 노드에 대한 최적 경로를 주기적으로 갱신하기 때문에 end-to-end delay와 PDR 측면에서 Reactive 방식보다 높지만, 이러한 주기적 갱신 때문에 네트워크 전체에 발생하는 패킷이 증가하여 에너지 효율이 Reactive 방식에 비하여 낮다.

그림 6(a)와 6(d)는 네트워크 내의 데이터 발생량과 네트워크 크기에 따른 end-to-end delay를 도식화 하였다. TA-DZR은 데이터 전송량과 홉 수에 따라 Zone을 동적으로 생성시키거나 소멸시키기 때문에, 데이터 발생량이 낮고 네트워크 크기가 작을 경우 AODV와 비슷한 결과를 나타내지만, 데이터가 빈번하게 발생하거나 네트워크 크기가 증가함에 따라 점차적으로 DSDV의 결과를 따른다. 따라서 end-to-end delay의 경우 Proactive와 Reactive 방식 중 유리한 형태를 따르는 특징을 지닌다.

그림 6(b)와 6(e)는 모든 데이터 전송 지연의 최대값과 최소값의 차이를 나타낸다. 이 결과는 순간적인 전송지연이 얼마나 높아지는가를 의미한다. 이

경우 역시 그림 6(a)와 6(d)의 경우처럼 TA-DZR이 자신에게 유리한 DSDV의 결과를 점차적으로 따르는 현상을 관찰할 수 있다. 마지막으로 그림 6(c)와 6(f)는 PDR 결과를 나타내었다. 이 역시 위와 동일하게 TA-DZR이 현재 네트워크 환경에서 유리한 방향으로 능동적 대처를 한다는 결과를 관찰할 수 있다.

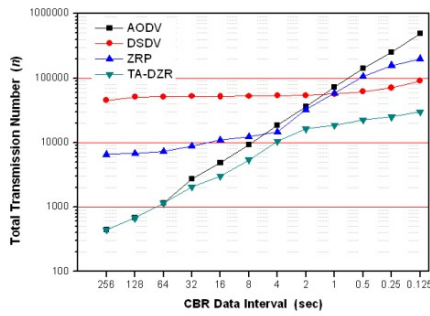
그림 6의 모든 결과에서 ZRP는 AODV와 DSDV의 평균적인 중간값을 갖는다는 것을 볼 수 있다. 일시적으로는 ZRP가 TA-DZR에 비하여 향상된 결과를 얻을 수 있지만, 전반적으로 TA-DZR이 네트워크 환경에 적응하여 더 높은 성능을 나타내고 있다.

### 4.4. 트래픽 발생량

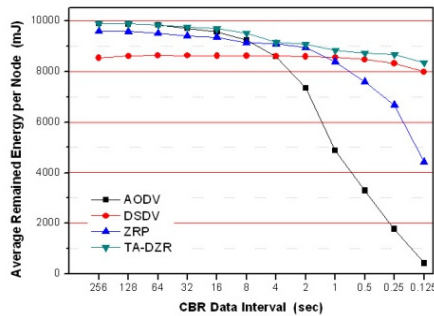
앞 절에서 설명한 바와 같이 Reactive 방식은 Proactive에 비하여 delay와 PDR이 다소 낮지만, 데이터 전송이 필요한 경우에만 Path Discovery를 수행하기 때문에 네트워크 전체에 발생하는 패킷 수를 줄여 높은 에너지 성능을 보유한다. 그림 7은 동일한 실험시간 동안 데이터 전송량에 따른 네트워크 전체의 트래픽량과 이에 대한 에너지 효율을 측정된 결과이다.

그림 7(a)에서 AODV의 트래픽 발생량은





(a) Total packet number transmitted into the whole network during the simulation time



(b) The average remained energy per node

Fig. 7. Total packet transmissions and energy efficiency

on-demand 성격에 따라 데이터 증가에 비례적으로 증가하는 결과를 보이며, DSDV는 주기적인 Route Update에 의하여 데이터 전송량을 제외시키더라도 보편적으로 트래픽 발생량이 높다는 결과를 볼 수 있다. 데이터 발생이 낮을 경우 AODV가 유리하며, 그 반대의 경우에는 DSDV가 유리하다. 이 그림에서 ZRP는 TTL 기반의 고정된 Zone을 형성하여 AODV와 DSDV의 중간적인 결과를 보여주어 다양한 환경에서의 프로토콜 적합성을 가지지만, 실제 데이터 발생량을 적용하지 않기 때문에 각 상황별로 AODV와 DSDV의 높은 성능적 특성을 보유하지 못한다.

TA-DZR은 네트워크 환경에 적응하여 데이터 발생이 낮을 경우 AODV 특성을, 높을 경우 DSDV 특성을 나타내는데, 이는 Proactive 라우팅이 필요한 경우에만 on-demand 형태로 Zone을 생성 및 소멸시키기 때문이다. 또한, 그림 7(a)에서 TA-DZR이 모든 영역에서 AODV와 DSDV보다 오히려 소폭으로 낮은 트래픽 발생량을 보여주는데, 이는 Zone 발생 시 AODV의 RREQ/RREP 등의 Path

Discovery를 억제시키고, Proactive 적용 대상 노드에게 flooding 되는 Route Update를 Zone 내부로 제한하기 때문이다.

그림 7(b)는 위 실험이 종료된 후에, 모든 노드에 남아있는 에너지 잔량의 평균값을 나타내었다. 이 결과는 그림 7(a)와 매우 밀접한 관계를 나타내는데, 이를 통하여 트래픽 발생량이 에너지 소모의 중요한 요소라는 결과를 유추할 수 있다. 즉, 각각의 프로토콜이 별도의 라우팅 optimization 등을 수행하지만, 이와 관계없이 트래픽 발생량이 에너지 효율에 매우 커다란 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 그림 7(b)에서 ZRP는 AODV와 DSDV의 중간적인 결과를 보이지만, TA-DZR은 이들 두 프로토콜 각각의 유리한 환경에 능동적으로 대처한다는 점을 관찰할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 실제 네트워크에서 요구되는 데이터 발생률을 기반으로 on-demand 형태의 효율적인 Proactive 라우팅 Zone을 생성하는 새로운 Hybrid 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 또한 이를 검증하기 위하여 생성된 네트워크 모델을 통한 실험을 바탕으로 기존 Proactive, Reactive, Hybrid 방식과 비교하여 TA-DZR의 우수성을 입증하였다. 그러나 MANET 환경 특성상 빈번한 이동이 발생하기 때문에, 제안한 Zone의 형태적 유동성이 필요할 수 있으며, Zone 중첩에서의 효과적인 방안이 요구된다. 이러한 요구적인 특성을 효과적으로 classification하고 이에 대한 해결 방법을 고안하여, 향후 연구의 확장을 위한 노력을 기울이고자 한다.

## References

- [1] Ching-Chuan Chiang, Hsiao-Kuang Wu, Winston Liu and Mario Gerla, "Routing In Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks With Fading Channel", *Proc. IEEE SICON*, pp.197 - 211, Apr. 1997
- [2] S. Murthy and J. J. and Garcia-Luna-Aceves, "An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks", *ACM Mobile Networks and App. J*, pp. 183 - 97, Oct. 1996
- [3] Royer, E.M. and Chai-Keong Toh, "Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc

Mobile Wireless Networks”, *IEEE Personal Communications*, pp.46-55, Apr. 1999

[4] Josh Broch David A., Maltz David B., Johnson, Yih-Chun Hu, and Jorjeta Jetcheva, “A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols”, *Proc. of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.25 - 30, Oct. 1998.

[5] David B. Johnson, David A. Maltz, “Dynamic Source Routing in Ad-Hoc Wireless Networks”, *Mobile Computing*, Vol. 353, pp. 153 - 81, 1996

[6] C. E. Perkins and E. M. Royer, “Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing”, *Mobile Computing Systems and Applications, Proc. WMCSA '99. Second IEEE Workshop*, pp. 90 - 100, Feb. 1999

[7] Nicklas Beijar, *Zone Routing Protocol (ZRP)*, 2002

이 재 호 (Jae-ho Lee)

정회원



2005년 고려대 전자공학과 석사  
 2008년 3월~현재 고려대 전자공학과 박사과정  
 2011년 3월~현재 서일대 겸임 교수  
 <관심분야> WPAN, 센서네트워크, MANET, MAC, WBAN

엄 두 섭 (Doo-seop Eom)

중신회원



1987년 고려대 전자공학과 학사  
 1989년 고려대 전자공학과 석사  
 1999년 일본 오사카대학 보통신공학과 박사  
 1989년 2월~1999년 8월 한국 전자통신연구소 연구원  
 1999년 9월~2000년 8월 원광

대학교 전임강사  
 2000년 9월~현재 고려대 전기전자전파공학부 교수  
 <관심분야> 통신네트워크 설계 및 성능분석, 무선 ATM, IP 네트워크