

# 무선 Ad hoc 망의 새로운 Zone 기법을 적용한 AOZDV(Ad Hoc On-demand Zone and Distance-Vector) 라우팅 프로토콜

(AOZDV(Ad Hoc On-demand Zone and Distance-Vector) :  
A Routing Protocol with Novel Zone Mechanism in Wireless  
Ad hoc Networks)

김 용 우 †      최 성 재 \*\*      이 흥 기 \*\*\*      송 주 석 \*\*\*\*  
(YongWoo Kim)    (SungJae Choi)    (HongKi Lee)    (JooSeok Song)

**요 약** Ad hoc 환경에서 사용되는 On-demand 방식인 AODV 라우팅 프로토콜은 경로를 찾기 위하여 노드들이 가지고 있는 라우팅 테이블을 우선 검사하고, 만약 적합한 경로가 존재하지 않거나 유효하지 않은 경로, 또는 중간노드에서 경로손실이 발생하였을 경우 Route Discovery Process(RDP)를 수행하여 새로운 경로를 찾게 된다. 하지만 중/대형 Ad hoc 환경에서 이러한 RDP의 증가는 네트워크 성능의 저하를 초래한다. 본 논문에서는 경로설정을 위해 사용되는 AODV 라우팅 프로토콜에 Zone 개념을 도입한 AOZDV(Ad hoc On-demand Zone and Distance-Vector Routing Protocol)를 제안한다. AOZDV는 노드의 트래픽과 전력정보를 활용하여 소스/목적지 노드에 Zone을 형성하고, Zone 내부에서의 라우팅은 Destination-Vector Table을 활용하는 기법으로서, 시뮬레이션을 통해 AOZDV가 기존의 라우팅 프로토콜들에 비해 노드들의 이동성으로 인해 발생하는 경로손실 및 RDP가 감소함을 확인할 수 있었다.

**키워드** : Ad hoc network, AODV, RDP, Zone, 전력, AOZDV, Distance vector table

**Abstract** In Mobile ad hoc networks, AODV is one of the famous on-demand routing protocol, which use the routing tables in the nodes if possible, or Route Discovery Process (RDP) is triggered to find a new route. However increasing the traffic of RDP causes dropping of the network performance in the large size of ad hoc networks. In this paper, we propose a novel routing protocol, named as AOZDV (Ad hoc On-demand Zone and Distance-Vector Routing), which enhances the AODV protocol with zone routing. AOZDV creates a Zone with neighbor nodes of the source/destination using traffic and power information, and utilizes Destination-Vector Table for internal routing in the Zone. We show by simulations that AOZDV can reduce the occurrence rate of route fail and RDP caused by route fail compared to existing routing protocols such as DSR and AODV.

**Key words** : Ad hoc network, AODV, RDP, Zone, Power, AOZDV, Distance vector table

## 1. 서 론

오늘날, 인터넷의 확장과 하드웨어 발전, 무선통신 기

술의 개발 등이 이루어짐에 따라 제한된 공간을 벗어나 자유롭게 인터넷을 사용하고자하는 사용자들의 욕구도 더불어 증가하게 되었다. 이런 이유로 1970년대 초 Mobile Packet Radio라 불리는 무선 기반의 네트워크 기술이 제안되었고, 그 후로 다양한 형태의 무선 물리계층을 이용한 네트워크 시스템들이 개발되어 왔다. 무선 네트워크의 통신에는 BS(Base Station:기지국)나 AP(Access Point)와 같은 기반시설의 제공 유/무에 따라 Infrastructured 네트워크와 Infrastructureless 네트워크로 구분되는데, 여기서 Infrastructureless 네트워크는 통상적으로 Ad hoc 네트워크라 불린다. 즉, Ad hoc 네

· 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10614-0) 지원으로 수행되었음

† 정 회 원 : LG전자 단말기 연구소 연구원  
likeapro@yonsei.ac.kr  
\*\* 정 회 원 : 육군전산 장교  
ntchoi@lycos.co.kr  
\*\*\* 학 생 회 원 : 연세대학교 컴퓨터공학과  
lhk@emerald.yonsei.ac.kr  
\*\*\*\* 종 신 회 원 : 연세대학교 컴퓨터공학과 교수  
jssong@emerald.yonsei.ac.kr  
논문접수 : 2005년 1월 26일  
심사완료 : 2006년 4월 24일

트위크는 BS 혹은 AP 등에 의한 중앙 집중화된 관리나 표준화된 지원 서비스 없이 임시로 망을 구성하는 무선 MN(Mobile Node)들의 집합으로, 그 특성상 재해, 재난 지역이나 전장과 같이 기존의 기반시설을 이용할 수 없는 환경에 적합한 것으로 인식되어 왔으며, 이러한 이유로 Ad hoc 네트워크에 관한 연구는 주로 군사용이나 대체(Backup) 네트워크용으로 활용하는 방향으로 연구가 진행되어 왔다. 그 대표적인 예로 미국의 DARPA에서 추진해온 GloMo 프로그램을 들 수 있으며, 최근에는 IP에 Ad hoc 네트워크를 지원하기 위한 연구가 인터넷 표준 제정을 위한 국제 기구인 IETF(Internet Engineering Task Force)를 중심으로 진행되고 있다. 이러한 연구를 위해 IETF에는 새로운 MANET WG(Mobile ad hoc network Working Group)이 결성되어 IP 기반 위에서 Ad hoc 네트워크를 지원하기 위한 라우팅 프로토콜에 대한 다수의 표준문서와 Internet draft가 제출되어 표준화가 진행되고 있다.

본 논문에서는 Ad hoc 네트워크에서 MN들 간에 사용되는 라우팅 프로토콜을 다룬다. 기존의 AODV 라우팅 프로토콜은 경로를 찾기 위하여 노드들이 가지고 있는 라우팅 테이블(Routing table)을 우선 검사하고, 만약 적합한 경로가 없거나 유효하지 않는 경로가 있다면 Route Discovery Process(RDP)를 수행하여 경로를 찾게 되는데, 중/대형 Ad hoc 환경에서 노드들 사이에 이런 RDP가 많아지면 쉽게 예상할 수 있는 것과 같이 네트워크 성능의 저하가 발생한다. 그러므로 본 논문에서는 경로설정을 위해 사용되는 AODV 라우팅 프로토콜 상에 Zone 메커니즘 및 노드의 트래픽과 전력정보를 활용하여, 전체 네트워크에 있어 노드들의 이동성(Mobility)으로 발생할 수 있는 경로손실 및 RDP를 크게 줄일 수 있는 새로운 라우팅 프로토콜인 AOZDV(Ad hoc On-demand Zone and Distance-Vector)를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 먼저 IETF에서 제안된 Ad hoc 라우팅 프로토콜들을 Table-driven과 On-demand, 그리고 Hybrid 방식으로 분류하여 알아본다. 그리고 3장에서 본 논문이 제안하는 새로운 라우팅 프로토콜인 AOZDV에 대하여 상세히 알아본 후, 4장에서는 3장에서 제안한 AOZDV 라우팅 프로토콜에 대하여 특정 Model을 구성하고 기존에 제안된 On-demand 방식인 DSR, AODV와 성능비교를 통하여 제안 프로토콜에 대한 성능 분석을 수행한다. 마지막으로 5장에서 앞으로 더 깊은 연구를 위한 향후 연구 방향을 제시하고 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

Ad hoc 라우팅 프로토콜의 가장 큰 목적은 네트워크

내의 시작노드와 목적지노드 간의 신뢰성 있는 최적화된 경로를 찾는 것이다. 또한, 제한된 공유 자원을 고려하여 오버헤드 및 대역폭 소모를 최소화해야 한다. 일반적으로 Ad hoc에서의 경로설정 프로토콜은 Table-driven 방식, On-demand 방식, 그리고 Hybrid 방식으로 나누어진다[1].

### 2.1 Table-driven 방식

Table-driven 방식은 주기적으로 경로를 탐색하여, 각 노드로부터 모든 노드로 가는 모든 경로설정 정보를 table 형태로 항상 유지하고 있다. 따라서 경로설정 요구가 들어오면 즉시 유지하고 있는 경로설정 정보에서 경로를 찾아 해당 목적지노드로 패킷을 전송할 수가 있다. 이러한 방식의 예로는 DSDV(Destination Sequenced Distance Vector Routing)[2], WRP(Wireless Routing Protocol), IMEP(Internet Manet Encapsulation Protocol)[3], CBRP(Cluster Based Routing Protocol)[4], OLSR(Optimized Link State Routing Protocol)[5], AMRoute(Ad hoc Multicast Routing Protocol)[6] 등과 같은 Distance Vector 계열의 프로토콜들이 그 대표적인 예라 할 수 있다. Table-driven 방식의 장점은 모든 노드의 경로를 알고 있기에 해당 경로를 즉시 찾을 수 있지만, 노드들이 끊임없이 이동하고 있는 Ad hoc 망의 경우에는 경로 정보를 유지하기 위해서 많은 자원을 소모하게 된다. 이러한 이유로 Table-driven 방식은 Ad hoc 환경에 적합하지 않다[7].

### 2.2 On-demand 방식

On-demand 방식은 시작노드에 의해 경로설정 요구가 들어올 때에만 경로설정 정보를 갱신하여 경로를 설정하는 방식이다. 각 노드들은 목적지노드까지 경로설정의 요구가 들어오거나 발생되었을 경우에만 경로탐색 과정을 시작한다. 이러한 On-demand 방식의 예로 AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector Routing)[8], DSR(Dynamic Source Routing)[9], LMR(Light-weight Mobile Routing), TORA(Temporally Ordered Routing Algorithm)[10], ABR(Associativity-Based Routing), SSR(Signal Stability Routing) 등이 있다. On-demand 방식은 경로설정 요구가 들어올 때마다 새롭게 경로설정 정보를 갱신해서 찾아가므로 목적지노드까지 경로를 설정하는데 걸리는 지연이 다른 방식에 비해 상대적으로 크다. 이러한 이유로 On-demand 방식은 실시간 통신에는 적합하지 않다[7].

### 2.3 Hybrid 방식

마지막으로 Hybrid 경로설정 방식은 Table-driven 방식과 On-demand 방식을 모두 사용하는 방식이다. 대표적인 예로 ZRP(Zone Routing Protocol)[7]가 있다. 이 방식은 크게 두 단계로 나누어진다. 우선 각 노드들

은 자신의 이웃 정보를 가지고 있고 이러한 이웃들은 이른바 Zone 이라는 하나의 클러스터로 묶이게 된다. 1 단계로 같은 Zone에 존재하는 노드들에 대한 경로탐색 과정을 Table-driven 방식 기반으로 수행하고 Zone을 벗어나는 영역에 존재하는 노드에게 정보를 전송하고 싶을 경우에는 2단계로서 Zone의 최 외곽에 존재하는 게이트웨이노드들에게 경로설정 정보를 전달하게 된다. 이러한 경로설정 정보를 이전노드로부터 전달받은 게이트웨이노드들은 자신의 Zone에서 목적지노드를 찾게 되고 이런 과정을 최종적으로 목적지노드를 찾을 때까지 반복하게 한다. ZRP는 Table-driven 방식의 영역을 네트워크 전 영역이 아닌 자신의 Zone으로 국한시킴으로써 순수한 Table-driven 방식의 과다한 자원소모를 줄일 수 있다.

Hybrid 방식의 다른 예로 CGSR(Clusterhead-Gateway Switch Routing)[11]은 전체 네트워크를 Cluster들로 구분하여 각각의 Cluster에서 하나의 Clusterhead를 선정하고 Cluster의 영역이 중복되는 edge 부분에 위치한 노드는 Gateway의 역할을 수행한다. CGSR은 Cluster 내부의 경로설정을 위한 Cluster Member Table과 다른 Cluster로의 경로설정을 위한 DVT(Destination-Vector Table)가 유지된다.

HSR(Hierarchical State Routing)[12]은 CGSR을 다계층화 하여 하위계층의 Clusterhead를 Cluster member 노드로 하는 상위 계층을 형성하며, 각각의 계층에 해당하는 hierarchical address를 사용함으로써 보다 효율적인 경로설정을 시도하였다.

앞에서 기술한 바와 같이 순수한 Table-driven 방식은 무선 자원이 제한적인 Ad hoc 환경에서 적합하지 않으며 On-demand 방식은 실시간 전송에 문제점을 가지고 있다. 또한 이 두 가지 프로토콜을 접목시킨 ZRP와 같은 Hybrid 방식은 노드들이 가지고 있는 다양한 트래픽 정보와 전력 정보를 고려하지 않았기 때문에 많은 트래픽과 작은 전력을 가진 노드들이 이기적으로 행동하게 될 수 있다. 이는 향후 네트워크 전체의 성능에 큰 영향을 미칠 수도 있게 된다. 따라서 트래픽과 전력 속성에 적응적으로 대처할 수 있으며 경로설정 시간을 더욱 줄일 수 있는 새로운 방안이 마련되어야 한다.

### 3. AOZDV(Ad hoc On-demand Zone and Distance- Vector Routing Protocol)

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 Ad hoc 환경에서 노드의 트래픽 정보와 전력 정보를 고려한 새로운 형태의 라우팅 프로토콜인 AOZDV를 설명한다. 또한 Ad hoc 환경에서의 AOZDV와 기존의 라우팅 프로토콜을 비교함으로써 제안하는 AOZDV의 우수성을 설명한다.

#### 3.1 AOZDV 라우팅 프로토콜의 설명

새로운 Ad hoc 라우팅 프로토콜로 제안된 AOZDV 프로토콜은 Proactive 방식과 Reactive 방식의 라우팅 프로토콜 모두를 적용한 것으로서 기존의 Hybrid 방식인 ZRP와 목적지노드까지의 경로를 찾고 관리하는 방법적인 면에서 대조가 된다.

그림 1은 AOZDV의 전반적인 모습을 보여주고 있다. 그림 1에서 볼 수 있는 것과 같이 소스가 시작되는 노드가 목적지 노드를 찾기 위한 방법은 기존 On-demand 방식인 AODV를 사용한다. 따라서 소스는 처음 목적지 노드까지의 경로를 찾기 위해 처음 자신의 라우팅 테이블을 검색하게 된다. 만약 라우팅 테이블에 해당 목적지 노드까지의 라우팅 정보가 존재한다면 해당 목적지 노드의 Sequence 번호를 보고 유효성을 판단하게 된다. 만약 유효성을 판단하여 사용가능한 라우팅 정보라면 즉시 보내고자하는 데이터를 전송하게 된다. 하지만 유효성 판단 결과 더 이상 사용할 수 없는 라우팅 정보이거나 해당 목적지 노드까지의 라우팅 정보가 라우팅 테이블에 존재하지 않으면 RDP를 수행하게 된다. 시작노드는 RREQ를 만들어 브로드캐스팅을 하게 되며, 이 과정에서 중간 노드들은 자신의 라우팅 테이블을 확인하여 해당 목적지 노드까지의 라우팅 정보가 있는지 판단하고, 만약 존재한다면 RREQ의 Destination Sequence Number(DSN)와 자신의 라우팅 테이블에 존재하는 라우팅 정보의 DSN을 비교함으로써 추가 검색 여부를 판단하게 된다. 자세한 절차들은 3.4 절에서 설명한다.

이로써 해당 목적지 노드가 RREQ를 받게 되면 목적지 노드의 Zone checker에 의하여 목적지 자신의 노드에 대한 트래픽 정보와 전력정보를 사용하여 목적지 노드를 중심으로 하는 Zone을 형성하고, Zone 내부에 있는 노드들은 목적지까지의 경로를 저장하는 DVT를 생성한다. 그 후 목적지 노드는 시작노드로 RREP를 전송

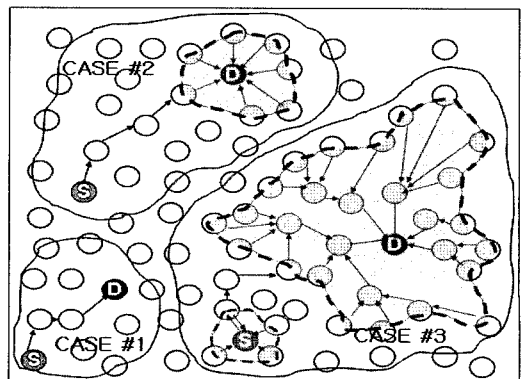


그림 1 AOZDV 라우팅 프로토콜

하게 되며, 이 RREP는 기존의 AODV 방식과 같이 시작노드를 향하여 유니캐스트된다. RREP가 시작노드에 도착하면 목적지 노드에서 Zone을 생성한 것과 같은 방법으로 시작노드의 Zone Checker를 통하여 시작노드를 중심으로 Zone을 형성한다. 여기에서 목적지 노드나 시작노드가 가진 트래픽 정보가 적을수록 그리고 Power가 많을수록 Routing Zone의 크기를 확대시키게 된다. 이런 과정을 통하여 만약 소스에서 데이터 전송 중에 중간노드가 사라져서 새로이 RDP를 진행하게 될 경우 경로 복구과정이 단순화 되고 또한 경로 전체의 홉 수를 크게 줄이는 효과를 얻을 수도 있다. 이것은 마치 농구공이 농구골대를 향하여 날아가고 있을 때 농구골대의 크기가 원래의 크기의 수십 배에서 수백 배로 커지는 현상과 같다. 그림 1은 노드에 대한 트래픽과 전력에 따른 Routing Zone을 형성함에 있어 각각의 경우를 나타낸 것이다.

3.2 AOZDV의 구조

그림 2에서 보는 바와 같이 AOZDV은 AODV 라우팅 프로토콜 포함하며 ZRP(Zone Routing Protocol)의 시스템 구조와 유사한 형태를 가지고 있다. 데이터 전송요청이 생기면 그 때부터 소스 노드로부터 목적지 노드까지 On-demand 방식인 AODV 방식처럼 RDP를 진행하게 된다. 그리고 노드를 중심으로 Zone을 형성하게 될 때면 Zone 내부에 존재하는 모든 노드들은 목적지 노드를 향하여 실시간으로 DVT를 생성하게 된다.

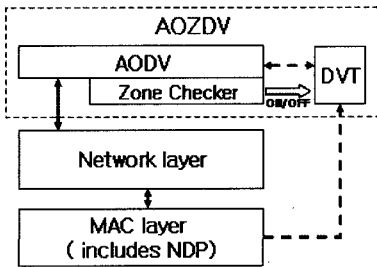


그림 2 AOZDV 시스템 구조

3.3 AOZDV의 DVT 테이블

AOZDV가 AODV와 다른 점은 AODV가 라우팅 정보를 유지하기 위하여 노드들이 가지고 있는 라우팅 테이블 이외에 DVT를 가지고 있다는 것이다. 이 DVT는 Zone내에 있는 노드들만이 가지고 있는 라우팅 테이블로서 다른 라우팅 테이블에 우선하는 성질이 있다. 즉 DVT가 유효하지 않다면(Zone 외부의 중간노드) 기존의 라우팅 테이블을 검색하여 해당 AODV 라우팅 프로토콜을 수행하고 만약 DVT가 유효하다면(Zone 내부의 중간노드) 라우팅 테이블에 우선하여 DVT를 검색하여

다음 중간노드로 빠르게 데이터를 전송하게 된다. 여기서 Zone 내에 존재하는 MN들이 가지고 있는 DVT의 형태는 표 1과 같다.

표 1에서 보는 바와 같이 DVT 정보는 AODV의 라우팅 테이블이 가지고 있는 정보와 몇 가지가 중복되고 있다. 그 이유는 DVT 역시 라우팅 테이블과 같이 데이터를 전송하기 위하여 필요한 요소들이기 때문이다. 그런데 이렇게 중복해서 관리하는 이유는 Zone 내에 있는 중간노드들에 대해서는 Table-driven 방식으로 DVT에 신뢰도가 높기 때문에 AODV에서와 같은 부차적인 유효성 검색 절차가 없다는 것이 장점이다. 그리고 DVT는 라우팅 테이블과 독립적이지 않고 서로 보완적이라는 점에서 또 하나의 장점이 있다고 할 수 있다. 이유는 무선 Ad hoc 망이 커질수록 RDP가 많이 수행될 것이고, 이때 중간 노드들은 실시간으로 DVT와 라우팅 테이블의 정보를 교환함으로써 목적지 노드까지의 경로를 빠르게 획득할 수 있기 때문이다.

표 1 AOZDV에서의 Destination-Vector Table

목 록	내 용
Destination IP	목적지 노드 IP 주소
D Hop Count	목적지 노드까지의 Hop 수
D Neighbor Node	목적지 노드까지 가기 위한 이웃 노드
Source IP	근원지 노드 IP 주소
S Hop Count	근원지 노드까지의 Hop 수
S Neighbor Node	근원지 노드까지 가기 위한 이웃 노드

3.4 AOZDV 동작

AOZDV은 앞에서 언급한 바와 같이 기본적으로 Zone을 형성하는데 있어서는 노드가 가진 트래픽 정보와 전력정보를 사용하고, 경로를 획득하는 절차는 On-demand 방식 중의 하나인 AODV의 동작 절차를 따르고 있다.

3.4.1 RREQ 패킷의 생성 및 Zone 생성

RREQ는 전송할 데이터가 발생하였을 경우, 먼저 자신이 유지하고 있는 라우팅 테이블의 경로정보를 살펴본다. 해당하는 목적지 노드가 존재하고 그 목적지 노드의 Lifetime이 만료되지 않았다면 해당 경로정보는 유효한 것으로 취급되어 경로 획득 절차를 별도로 수행하지 않고 해당경로를 통해서 데이터를 전송한다. 만약 존재하는 경로정보의 Lifetime이 만료되었다면 해당 노드의 경로정보를 획득하는 절차를 별도로 수행해야 한다. 또한 해당 노드의 경로정보가 없는 경우에도 새로운 경로 획득 절차를 수행해야 한다.

새로운 경로를 획득하기 위해서는 시작노드가 플러딩을 통해 주변 노드에게 RREQ를 발송하기 전에 몇 가지 절차를 수행해야 한다. 우선 출발지 노드는 RREQ

패킷에 Type을 "1"로 선택하고 Hop Count를 "0"으로 변경한다. Broadcast ID는 현재의 Broadcast ID에 1을 증가시킨 숫자(Broadcast ID +1)로 설정한다. Destination IP Address와 Source IP Address는 목적지 노드와 출발지인 자신의 IP주소로 설정한다. DSN은 현재 라우팅 테이블에 저장되어 있는 해당 목적지 노드의 DSN을 변경 없이 사용하며, Source Sequence Number는 현재 출발지 노드가 마지막으로 사용한 Source Sequence Number에 1을 증가시켜 사용한다.

이렇게 RREQ를 목적지 노드에게 전달하게 되면 중간노드들을 걸쳐 최종 목적지에 도착하게 된다. 이 과정에서 만약 중간노드가 자신이 목적지 노드까지 가는 경로를 알고 있다면 더 이상 RREQ를 진행시키지 않고 바로 RREP를 시작노드에게 전달하게 된다. 이와 동시에 중간노드는 Gratuitous RREQ를 목적지 노드에게 전달하게 된다. 이 Gratuitous RREQ를 목적지 노드가 받게 되면 자신에게 데이터를 주고자하는 시작노드가 있다는 것을 알게 되고, 데이터를 받을 준비만하고 RREP를 생성하지는 않는다.

이런 과정을 통하여 결국 RREQ 혹은 Gratuitous RREQ를 받은 목적지 노드는 시스템 내의 Zone Checker를 통하여 자신의 트래픽 상태와 전력 상태를 확인하여 자신을 중심으로 하는 Zone을 형성하게 된다. 이때 Zone Checker가 Zone Count를 결정하기 위하여 사용하는 방법은 아래의 수식 (1), (2)와 같다.

이 수식을 설명하기 위하여 한 노드가 가지게 되는 트래픽 정보와 전력간의 관계를 살펴보면, 한 노드가 가진 트래픽 정보와 전력 정보는 반비례 관계를 가지게 된다. 즉 노드에 걸리는 트래픽이 증가하면 노드가 소모하게 되는 전력의 양이 증가하게 된다. 또한 노드의 전력이 대부분 소진되었다고 하더라도 노드가 sleep mode가 아닌 idle mode, transfer mode, receive mode에 있다면 지속적으로 전력을 소모하게 된다. 그림 3은 트래

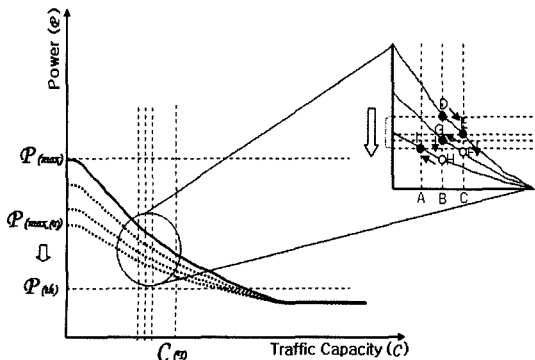


그림 3 노드가 가진 Traffic과 Power간의 관계

픽 크기의 변화에 따른 전력량이 변화하는 모습을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 한 노드에 걸린 트래픽의 크기가 B에서 C로 그리고 다시 B로 그 후 다시 A로 변화할 경우 노드에 남아 있는 전력의 양은 지속적으로 D, E, G, I 순으로 감소하게 된다. 즉, 그림 3에서 B를 중심으로 오른쪽으로 트래픽이 이동하면(트래픽의 증가) 원 그래프로 따라가고 왼쪽으로 이동하면(트래픽의 감소) 다음 밀의 그래프를 따르게 된다.

다시 말하면 한 노드에 걸린 트래픽의 양이 증가하였다가 다시 감소하게 되면 이에 해당하는 전력 양의 감소가 그림에서 보는 바와 같이 감소하게 된다는 것을 의미한다. 이것을 아래의 (1), (2) 수식으로 표현할 수 있다. 그리고 표 2는 이 식에서 사용한 parameter들을 설명하고 있다.

$$P(C_T) = \alpha^{C_T} + r \quad (\because 0 < \alpha < P_{(max)})$$

$$\alpha = K_T e^{-\beta}$$

$$P(C_T) = (K_T e^{-\beta})^{C_T} + r \quad (\because 0 < K_T < \frac{P_{(max)}}{e^{-\beta}}) \quad (1)$$

$$m = \frac{P_{(max)} - P_{(th)}}{4} \quad (2)$$

표 2 Zone Checker가 사용하는 Parameter

Parameter	설명
$C_T$	시간에 따라 변할 수 있는 노드의 traffic 양
$P_{(max)}$	노드가 초기에 가질 수 있는 최대 power 값
$P_{(th)}$	노드가 더 이상 Ad hoc 환경에서 통신 할 수 없는 power의 최소값
$P_{(max(r))}$	시간에 따라 노드가 가질 수 있는 최대 power 값의 변화
$P(C_T)$	한 노드에서 traffic의 변화에 따른 power의 변화값
$K_T, r, \beta$	시스템에 따라 달라 질수 있는 고유한 특성값

RREQ를 받은 목적지 노드는 시스템 내의 Zone Checker를 통하여  $P(C_T)$ 의 값을 구하게 되고 그 값에 따라 목적지 노드를 중심으로 한 Zone을 형성하기 위하여 Zone Count 값을 계산하게 된다. Zone Count를 계산하기 위하여 목적지 노드는 표 3을 사용한다.

이런 과정을 통하여 목적지 노드를 중심으로 Zone이 형성되고 Zone 내부의 모든 노드들은 시스템 내에 있는 NDP 라우팅 프로토콜을 사용하여 목적지 노드를 향하는 DVT를 가지게 된다. 그림 4는 RREQ를 받았을 때 실제 목적지 노드를 중심으로 생성된 Zone과 Zone 내부의 노드들이 가지게 되는 DVT를 보여주고 있다.

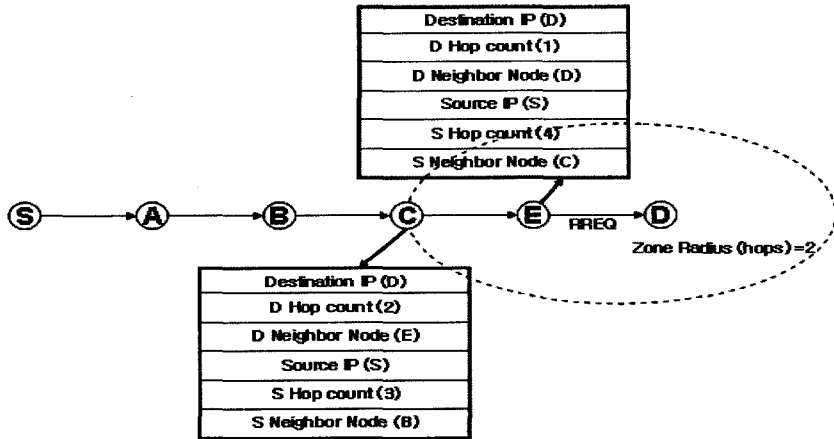


그림 4 AOZDV에서의 RREQ

표 3 Zone Checker(Zone Count가 최대 3일 때)를 통한 Level 구분

Zone Checker	Level (Zone Count)
$P(th) < P(C_T) \leq m$	0
$m < P(C_T) \leq 2m$	1
$2m < P(C_T) \leq 3m$	2
$3m < P(C_T) \leq 4m$	3

3.4.2 RREP 패킷의 생성 및 Zone 생성

AOZDV에서 RREP가 생성될 수 있는 조건은 두 가지 경우이다. 첫 번째는 RREQ 패킷을 목적지 노드가 직접 수신할 경우이고, 두 번째는 중간 노드가 자신의 라우팅 테이블에 목적지 노드까지의 유효한 경로를 알고 있을 때 시작노드로 RREP를 생성하여 전달하게 된다.

RREP의 생성절차는 목적지 노드에서와 중간노드에서 약간의 차이를 가지고 있다. 첫 번째는 목적지 노드에서 RREQ를 받아 목적지 노드가 RREP를 생성하는 과정으로, 노드가 유지하는 DSN의 마지막 일련번호에 1을 증가시킨 값을 RREP에 DSN 공간에 저장한다. 그리고 RREP의 Lifetime값은 각 노드가 유지하는 MY\_ROUTE\_TIMEOUT값을 복사한다. 두 번째로 목적지 노드까지의 유효한 경로를 보유하고 있는 노드에서 RREP를 생성할 경우 우선 RREP의 DSN 공간에 라우팅 테이블에 있는 해당 목적지의 DSN을 복사한다. 그리고 RREP의 Hop Count값을 라우팅 테이블에 있는 현재 노드에서 목적지 노드까지의 홑 수에 RREQ를 통해 얻은 시작노드에서 현재 노드까지의 홑 수를 더한 값을 복사하게 된다. 또한 Lifetime값은 라우팅 테이블의 목적지까지의 Lifetime(expiration)에서 현재의 시간을 뺀 값으로 한다. 이렇게 현재시간을 감소시키는 것은 라우팅 테이블

에 있는 Lifetime에 새로운 값으로 저장할 때 현재 시간을 감소시킴으로써 사용된 시간을 삭제할 수 있다.

중간노드에서 RREP를 발생시켰을 경우 원래 목적지 노드에게 RREP를 중간노드가 발생시켰다는 것을 알려야 한다. 그러기 위해서 RREP를 발생시킨 중간노드는 목적지 노드에게 Gratuitous RREP를 전달한다. RREP에 "G" flag를 선택하고 Hop Count는 수신한 RREQ를 사용, Destination IP Address는 RREQ를 생성시킨 근원지 IP 주소를 사용한다. 이렇게 작성된 Gratuitous RREP는 목적지 노드에게 유니캐스트된다.

이렇게 중간노드 혹은 목적지 노드로부터 발생된 RREP를 받게 된 시작노드는 앞에서 설명한 바와 같이 자신의 시스템 내부에 존재하는 Zone Checker를 통하여 자신을 중심으로 하는 Zone을 형성하기 위한 과정을 수행한다. 우선 자신의 노드에 걸린 트래픽 정보와 전력 정보를 가지고 해당 식을 통하여 Zone Count값을 계산하게 되고, 이를 바탕으로 Zone 내부에 있는 모든 노드들이 DVT를 형성하게 된다. 그림 5는 이러한 과정을 보여주고 있다.

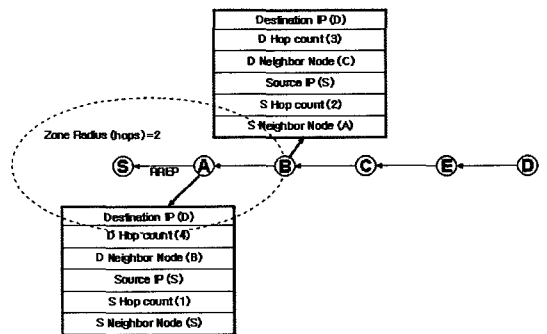


그림 5 AOZDV에서의 RREP

3.4.3 RERR에 의한 경로관리

AOZDV에서 RERR패킷을 발생시키는 이유는 Zone 밖에 있는 중간노드들이 데이터를 전송 중에 노드의 이동/장비고장으로 인해 데이터를 넘겨줄 다음 노드가 사라졌을 때 해당 노드는 목적지 노드까지 해당 경로를 알고 있는 새로운 노드를 찾으려고 한다. 이때 만약 경로를 알고 있는 노드가 없다면 그 때에 시작노드에게 RERR를 생성시켜 새로이 RDP를 진행하도록 지시한다.

중간노드가 RERR을 전송하기 전에 RERR내의 unreachable Destination IP Address에 링크의 고장으로 인하여 도달이 불가능한 노드의 주소를 저장하고 unreachable DSN에 앞의 unreachable Destination IP에 할당된 DSN에 1을 증가 시킨 값을 저장한 후에 시작노드로 전송하게 된다.

3.4.4 AOZDV 요약

그림 6은 AOZDV 라우팅 프로토콜에 대한 전체적인 동작을 보여주고 있다. 각각의 노드들은 현재 패킷을 조사하여 패킷의 Type에 따라 달리 동작하도록 하였다. 우선 Type이 RREQ일 때 해당 목적지 노드가 자신의

노드인지를 검사하고, 그렇다면 Zone을 형성하기 위하여 Zone Checker가 지원하는 API를 사용하여 현재노드에 대한 Zone Count를 계산하고 그에 따르는 Zone을 형성하며, 시작노드에게 RREP를 발생시키게 된다. 하지만 자신의 노드가 목적지 노드가 아니라면 기존의 AODV 라우팅 프로토콜을 따르게 된다. 나머지 RREP와 RERR, 그리고 DATA 패킷에 대해서도 유사하게 정의되어 있다.

3.5 AOZDV를 이용한 경로복구 메커니즘

AOZDV가 기존의 Ad hoc 라우팅 프로토콜과 비교해 볼 때 가장 큰 장점은 경로를 복구하는 과정에 있다. 그림 7에서 보는 것과 같이 AOZDV에서는 경로손실을 크게 두 가지로 구분한다. 즉 Zone을 기준으로 Zone 내부에서 경로 손실이 발생했을 경우와 Zone 외부에서 경로 손실이 발생되었을 경우로 구분한다. 이 중에서 Zone 외부에서 경로 손실이 발생했을 경우에는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜에서와 같이 주위 노드에서 목적지 노드까지의 경로를 가지고 있는 노드가 있는지 살펴보고, 목적지 노드까지의 경로가 존재한다면 그 노드

```

Switch ( Current Packet )
{
  Case RREQ : If ( Current Node IP == Destination IP at RREQ) {
                Zone_count=Calculate ( Current node ) ;
                Create Destination-vector Table ( Zone_count ) ;
                Send RREP ( Source IP ) ;
            } else if ( Current Node IP != Destination IP at RREQ) {
                Follow by AODV Routing Protocol ;
            }
            break ;
  Case RREP : If ( Current Node IP == Destination IP at RREP) {
                Zone_count = Calculate ( Current node ) ;
                Create Destination-vector Table ( Zone_count ) ;
                Send Data ( Source IP ) ;
            } else if ( Current Node IP != Destination IP at RREP) {
                Follow by AODV Routing Protocol ;
            }
            break ;
  Case RERR : Follow by AODV Routing Protocol ;
            break ;
  Case DATA : If (Current Node IP != Destination IP at Data ) {
                If ( Is There at Destination Zone ( Current Node IP)
                    || Is There at Source Zone (Current Node IP)) {
                    Route = Search Route ( Direct-vector Table ) ;
                    Send Data via Route ( Route ) ;
                } else {
                    Follow by AODV Routing Protocol ;
                }
            } else {
                Follow by AODV Routing Protocol ;
            }
            break ;
}
    
```

그림 6 AOZDV 라우팅 알고리즘

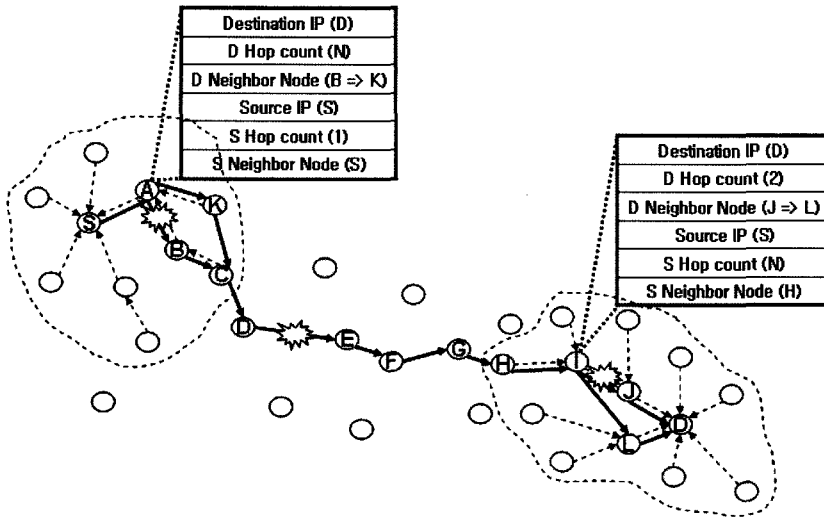


그림 7 AODV의 경로복구

로 다시 전달하고, 그렇지 않다면 다시 RERR를 발생시킨다. 반면에 Zone내부에서 경로 손실이 생기면 이것은 NDP 라우팅 프로토콜을 통하여 즉시 DVT를 수정하게 되고, 이것을 통하여 바로 새로운 경로를 얻기 때문에 계속해서 데이터를 전송할 수 있게 된다.

그리고 또 다른 장점으로 데이터 전송이 종료된 후에 DVT의 정보는 바로 라우팅 테이블로 저장이 되므로, Ad hoc 네트워크 전체로 보았을 때 특정 노드까지의 경로를 알고 있는 노드들이 많이 지게 되는 효과를 나타낸다. 이 두 가지 장점은 중/대형 네트워크에서 더욱 잘 적용되고 있다. 다음 장에서 시뮬레이션을 통해서 이를 검증해 보이도록 하겠다.

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

실험은 보다 정확한 객관성을 유지하기 위하여 Glo-Mosim이 지원하는 DSR과 AODV 라우팅 프로토콜을 변형 없이 사용하기로 한다. 그리고 GloMosim에 본 논문에서 제안하는 새로운 라우팅 프로토콜을 사용하기 위하여 GloMosim 2.03 표준에 나와 있는 것과 같이 Callee 함수인 Initialization Function과 Finalization Function을 만들고, 추가적으로 DVT 관련 Event 등록 및 Simulation Event Handling Function을 만들어 GloMosim의 메인 프레임에서 발생시키는 이동성, 라우팅 정보 등등을 처리하도록 하였다.

실험은 세 가지의 경우로 나누어 다양한 환경에서 적합성 여부를 판단하도록 했다. 본 논문에서 사용한 시나리오는 세 가지로서, 시나리오 1은 노드들의 이동성과 노드의 수에 따른 손실률을 라우팅 별로 분석하였고, 추가적으로 hybrid 방식인 ZRP와 같은 환경에서 손실률

을 측정하였다. 시나리오 2에서는 시간에 따른 경로를 찾기 위하여 사용한 평균 라우팅 제어신호를 측정하였다. 그리고 마지막으로 시나리오 3에서는 노드들의 수와 데이터 전송을 원하는 노드들의 수가 많아짐에 따라 Zone Checker를 통하여 결정되어지는 Zone의 Radius를 측정하도록 하였다.

4.1 시나리오 1

시나리오 1에서 측정하고자 하는 것은 노드들에 대한 이동성을 증가시킴에 따라 네트워크에 발생하는 손실률을 알고자 하는 것이다.

표 4는 시뮬레이션에 필요한 환경변수를 나타낸 것이다. 각 실험에서 노드들의 이동성은 최소 속도인 0 (meter/sec)에서부터 시작하여 최대 속도인 50 (meter/sec)까지 점진적으로 증가하게 하였으며, 진행방향은 랜덤하게 설정하였다. 적용한 구역의 크기가 크지 않기 때문에

표 4 시나리오 1의 환경변수 설정

구분		실험 #1	실험 #2	실험 #3
실험구역 크기(m <sup>2</sup> )		1000*1000		
시뮬레이션 시간(sec)		100		
노드의 수		100	200	300
Packet	크기	1024		
	발생주기	0.5 sec		
Mobility	진행방향	Random		
	pause time	2 sec		
	최소 속도	0 meters/sec		
	최대 속도	50 meters/sec		
Zone Radius(max)		6 hops		
Radio Range(m)		62.762		



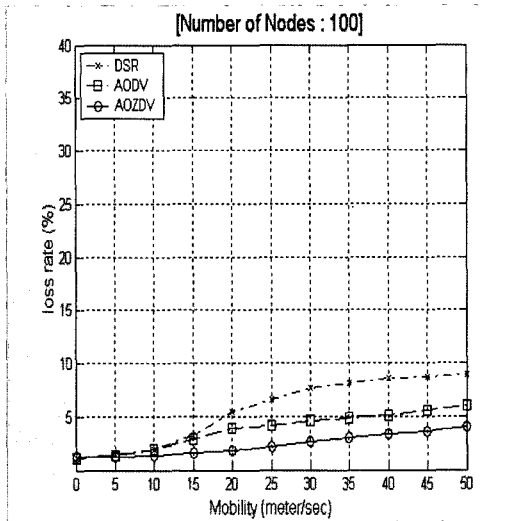


그림 8 노드의 수가 100일 때 손실률

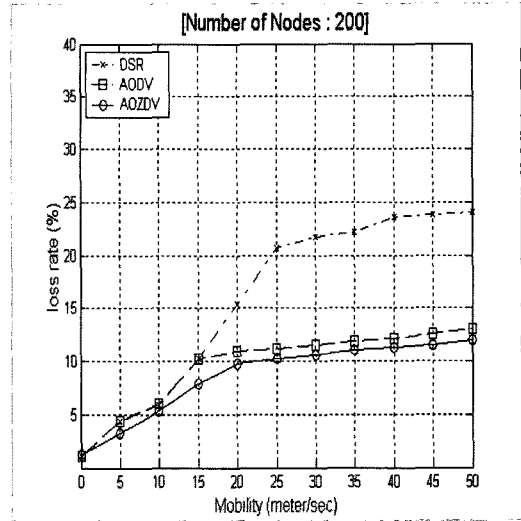


그림 9 노드의 수가 200일 때 손실률

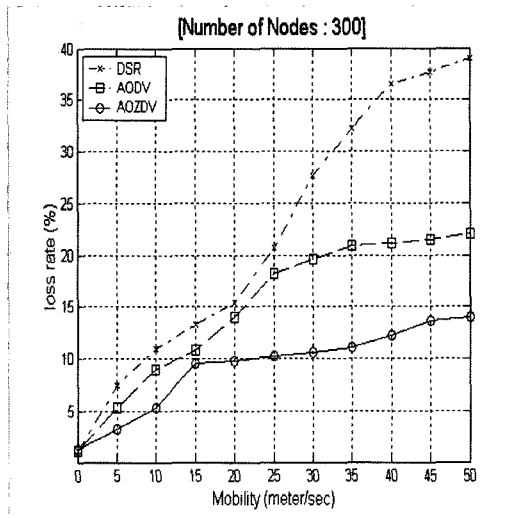


그림 10 노드의 수가 300일 때 손실률

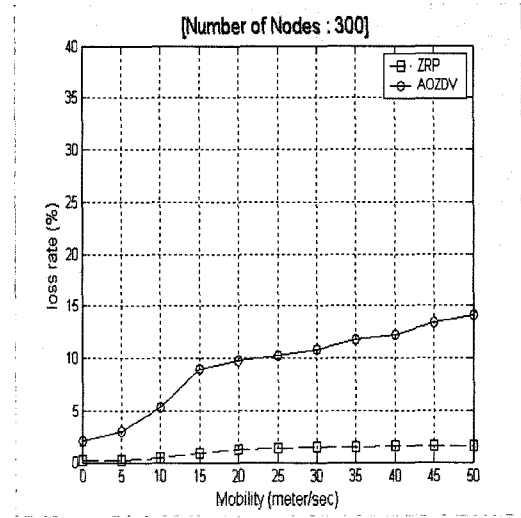


그림 11 ZRP와 AOZDV간 손실률 비교

Radio Range 또한 지름을 62.762(m)로 크지 않게 설정하였다. 그리고 DVT를 형성하기 위하여 노드들이 자신의 Zone Checker를 통하여 Zone Radius를 결정하게 되는데 그 크기는 최대 6 홉으로 설정하였다. 이를 바탕으로 한 아래의 시뮬레이션 결과는 노드의 수가 100, 200, 300일 때 손실률을 보여주고 있다.

그림 8, 그림 9, 그림 10에서 나타난 것과 같이 노드들의 이동성 증가에 따라 패킷의 손실률은 AOZDV, AODV, DSR 순으로 많아지는 것을 볼 수가 있다. 또한 한정된 영역에 노드들의 수가 증가할수록 그 차이는 커지게 된다. 즉 DSR은 자신이 가진 Routing Cache에 저장되어 있는 경로만을 사용하여 데이터를 전송하기

때문에 손실률이 가장 크고, AODV는 노드들이 가지는 라우팅 테이블의 정보가 신뢰성이 떨어지기 때문에 손실률이 커지게 되는 것이다. 하지만 본 논문에서 제안하는 AOZDV는 기존의 On-demand 방식과 Table-driven의 장점만을 사용하였기 때문에 손실률을 줄일 수가 있었다.

그림 11은 기존 Hybrid 방식인 ZRP와 비교한 것이다. 그림에서 나타난 것과 같이 노드들이 이동성이 증가함에 따라 ZRP를 사용하는 노드들은 시작노드와 목적지노드 이외에 중간노드들까지 모두 라우팅 테이블을 가지고 있기 때문에 시작노드와 목적지노드만 라우팅 테이블을 가진 AOZDV보다 손실률이 작다는 것을 알 수

있다. 하지만 ZRP를 사용하는 노드들은 자신의 Zone 영역에 존재하는 이웃 노드들을 검색하기 위하여 많은 신호를 발생하기 때문에, 그 때 발생하는 손실률까지 포함한다면 본고에서 제안하는 AOZDV보다 손실률이 훨씬 크게 된다. 따라서 Table-driven 방식인 ZRP보다 AOZDV가 손실률 측면에서 보다 효율적이라고 할 수 있다.

4.2 시나리오 2

시나리오 2는 표 4의 실험 #1 환경에서 400초 동안 Route를 찾기 위하여 사용되는 평균 Routing Control Traffic을 분석하는 것이다.

그림 12에서 보인 것과 같이 시작노드가 목적지 노드 까지 Route를 찾기 위하여 평균 사용하는 Routing control Traffic은 DSR, AODV, AOZDV 순으로 적어 지게 된다. 그 이유는 AODV는 전체 망에서 데이터를 전송하기 위하여 Route Discovery 단계를 수행하여 Route를 찾아가게 되는데, 이 점에서 AOZDV는 AODV와 같다. 하지만 전송하기 원하는 소스 노드가 많아질수록 네트워크 내의 노드들은 자신을 중심으로 Zone Checker가 정하는 Zone Radius 만큼의 DVT를 형성하기 때문에 AOZDV의 경우에 Routing Control Traffic을 크게 줄일 수가 있게 된다.

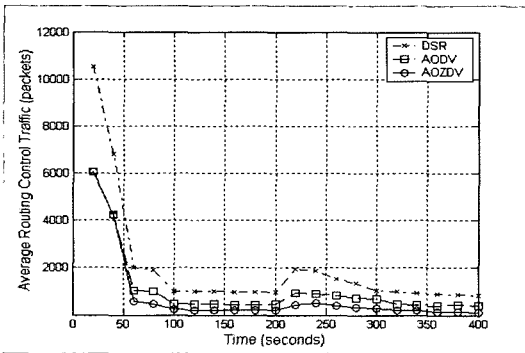


그림 12 Average Routing Control Traffic

4.3 시나리오 3

시나리오 3은 표 4의 실험 #1 환경에서 300초 동안 시간에 따라 노드가 가지게 되는 Zone Radius를 측정하는 것이다.

그림 13은 시간의 경과에 따라 Zone Checker에 의하여 결정되어지는 Zone Radius의 평균 크기를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 노드들은 처음에 자신의 전력 정보와 트래픽 정보가 모두 최대이기 때문에 Zone Radius 값을 최대로 가지게 되고 시간이 갈수록 점진적으로 줄어드는 것을 볼 수가 있게 된다.

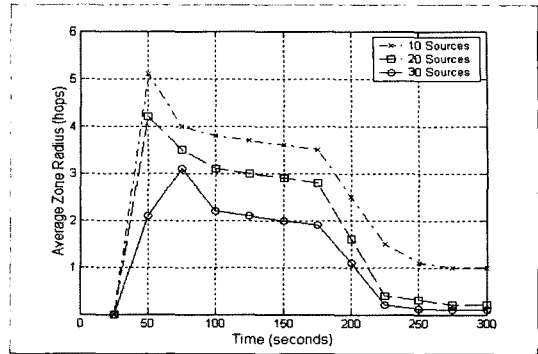


그림 13 Average Zone Radius

5. 결론 및 향후 과제

Ad hoc 네트워크는 고정된 인프라가 없기 때문에 효율적인 망 관리를 위해서는 기존의 셀룰러 시스템과는 달리 보다 복잡하고 분산된 알고리즘이 필요하다. 따라서 Ad hoc 환경에서 경로설정 알고리즘에 관한 많은 연구가 수행되어왔다. 그러나 노드의 특성을 고려하지 않은 기존의 경로설정 알고리즘은 노드의 이동으로 인하여 지속적인 경로손실과 RDP를 증가시키게 하였다. 본 논문에서는 경로설정을 위하여 사용되는 AODV 라우팅 프로토콜 위에 노드의 트래픽 정보와 전력정보를 사용하여 소스/목적지 노드에 Zone을 형성하고, Zone 내부에 DVT를 형성하여, 전체 네트워크에 있어 노드들의 이동성으로 발생할 수 있는 경로손실 및 RDP를 줄일 수 있도록 하는 새로운 라우팅 프로토콜인 AOZDV를 제안하였다. 시뮬레이션을 통한 성능 검증에서 기존 라우팅 프로토콜인 AODV보다 손실률 측면에서 뛰어난 성능을 보여 주었고 시간이 지남에 따라 RDP가 줄어들게 됨을 알 수 있었다. 이것은 각 노드가 가진 라우팅 테이블에 유효한 경로가 많이 남아 있다는 의미이기도 하다. 또한 노드가 트래픽 양과 전력 양에 따라 생성하는 Zone Radius도 시간에 따라 어떻게 변화하는지 알 수 있었다.

앞으로 이렇게 형성된 시스템이 보다 안전하게 유지 되도록 하는 경로에 대한 로드 균등 알고리즘과 다중 경로 획득에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 본다.

참고 문헌

[1] Elizabeth M. Royer and Chai-Keong Toh, "A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless Networks," IEEE personal Communications, vol.6, no.2, pp.46-55, April 1999.  
 [2] Charles. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly

Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," Computer Communications Review, pp.234-244, October 1994.

- [3] M. S. Corson and V. D. Park, "An Internet MANET Encapsulation Protocol (IMEP) Specification," IETF Internet Draft, November 1997.
- [4] M. Jiang, J. Li and Y. C. Tai, "Cluster Based Routing Protocol (CBRP) Functional Specification," IETF Internet Draft, August 1998.
- [5] P. Jacquet, P. Muhlethaler and A. Qayyum, "Optimized Link State Routing Protocol," IETF Internet Draft, November 1998.
- [6] A. Bommaiah, A McAuley, M-K. Liu and R. Talpade, "AMRoute: Ad-Hoc Multicast Routing Protocol," IETF internet Draft, August 1998.
- [7] Zygmunt J. Hass and M. R. Pearlman, "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad-Hoc Networks," IETF Internet Draft, November 1998.
- [8] Charles. E. Perikins and Elizabeth. M. Royer, "Ad-Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing," IETF Internet Draft, November 1998.
- [9] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks," IETF Internet Draft, Feb 2002.
- [10] S. Corson and V. Park, "Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) Version 1: Functional Specification," IETF Internet Draft, Jul 2001.
- [11] S. Murthy and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks," ACM Mobile Networks and App. J., Special Issue on Routing in Mobile Communication Networks, pp. 183-97, October 1996.
- [12] G. Pei, M. Gerla, X. Hong, and C.C. Chiang, "A Wireless Hierarchical Routing Protocol with Group Mobility," Proceedings of IEEE WCNC 1999, pp. 1538-1542, September 1999.
- [13] R. Boppana and S. Konduru, "An Adaptive Distance Vector Routing Algorithm for Mobile, Ad Hoc Networks," IEEE Infocom 2001, Mar 2001.
- [14] Mario Gerla, "Fisheye State Routing Protocol(FSR) for Ad Hoc Networks," IETF MANET Internet Draft, Jun 2002.



최성재

1996년 2월 육군사관학교 전자공학과 학사. 2005년 2월 연세대학교 컴퓨터 과학과 석사. 2005년 3월~현재 육군 전산장교. 관심분야는 Mobile network, Information Security, Ad hoc network



이홍기

1993년 2월 육군사관학교 전산학 학사 2000년 2월 연세대학교 컴퓨터 과학과 석사. 2004년 3월~현재 연세대학교 컴퓨터 과학과 박사과정. 관심분야는 정보보호, 센서네트워크, RFID, MANET 통신



송주석

1976년 2월 서울대학교 전기공학과 학사 1979년 2월 한국과학원 전기전자공학과 석사. 1988년 2월 University of California at Berkeley Ph.D. 1989년 3월~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 교수. 관심분야는 유무선통신, 정보보호



김용우

2001년 2월 연세대학교 전기·전자공학과 학사. 2001년 1월~2003년 7월 삼성전기 중앙연구소 S/W연구팀 주임연구원 2005년 8월 연세대학교 컴퓨터 과학과 석사 2005년 9월~현재 LG전자 단말연구소 주임연구원. 관심분야는 네트워크

보안, Mobile IPv4/6, MANET 통신