

# GPS를 이용한 Ad-hoc On-demand Distance Vector 경로설정 프로토콜

김원익<sup>o</sup> 권동희 서영주  
포항공과대학교 컴퓨터공학과  
{woniks, ddal, yjsuh}@postech.edu

## Ad-hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing Protocol Using the Global Positioning System

Won-Ik Kim<sup>o</sup> Dong-Hee Kwon Young-Joo Suh  
Dept. of Computer Science & Engineering, Pohang University of Science & Technology

### 요약

유선 네트워크 환경을 위해 디자인된 경로설정 프로토콜들은 대역폭의 제한성과 예측할 수 없는 토폴로지의 변화로 인해 ad-hoc 네트워크 환경에 적용하기에는 부적합하다. 최근 들어 ad-hoc 네트워크 환경에 적합한 경로설정 프로토콜들이 많이 개발되었다. 본 논문에서는 기존의 ad-hoc 경로설정 프로토콜을 토폴로지 변화에 대한 적응력을 향상시키기 위해서 GPS (Global Positioning System) 기술을 활용하여 가상 지역 (virtual zone) 개념을 제안하고 있다. 본 논문에서 제안하는 프로토콜은 AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) 경로설정 프로토콜을 기본으로 하고 있다. AODV의 경로설정 (route discovery) 과정 시 이러한 가상 지역 개념을 도입함으로써 이동 단말의 이동성에 의한 토폴로지의 변화에도 불구하고 잘 적용할 수 있는 안정된 경로의 설립을 목표로 하고 있다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 다양한 트래픽 상태와 단말들의 이동성 형태에 따른 중요 변수들을 설명하였으며 이에 따라 제안된 경로설정 프로토콜 (AODV-GPS)의 효율성을 검증하고 있다.

### 1. 서론

Ad-hoc 네트워크라 불리는 이동 다중 홉(hop) 무선 네트워크는 지리 유선 케이블이나 기지국과 같은 고정된 네트워크 하부구조가 없는 상황에서 유용하게 사용되어 진다[3]. 이러한 ad-hoc 네트워크 상에서 모든 단말들은 이동성을 가지고 있고 동적으로 서로 연결되어질 수 있다. ad-hoc 네트워크를 디자인 하는데 있어서 가장 중요한 사항은 임의의 두 이동 단말들이 서로 통신을 하길 원할 때 두 이동 단말들 사이의 최적의 경로를 찾기 위한 동적인 경로설정 프로토콜일 것이다. 이러한 경로설정 프로토콜들은 이동 단말들의 상당히 높은 이동성에 의해 네트워크 토폴로지가 급격히 변화하더라도 그에 대한 적응력이 뛰어나야 한다. 기존의 유선 네트워크 상에서 사용되는 경로설정 프로토콜들은 동적으로 변화하는 ad-hoc 네트워크 환경에는 적합하지 못하다. Ad-hoc 네트워크 단말의 세가지 제약성(대역폭의 제약, 제한적인 전송 출력, 위치의 이동)에 의해 새로운 경로설정 프로토콜의 디자인이 요구되었다. 따라서 이러한 제약성을 극복하기 위해서 DSR (Dynamic Source Routing) [5]이나 AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) [4]와 같은 source-initiated on-demand 경로설정 프로토콜들이 개발되었다. 이러한 프로토콜들은 소스 단말이 목적 단말로 보내고자 하는 데이터가 있을 시에만 경로를 설립한다. 이것을 경로 설립 (route discovery) 과정이라 부른다.

DSR이나 AODV와 같은 기존의 source-initiated 경로설정 프로토콜들은 경로 설립 과정 동안 최소의 홉 수를 갖는 경로를 선택하기 위해 노력한다. 그러나 최소 홉 수를 갖는 경로가 최적의 경로라고 말할 수 없다. 비록 최소의 홉 수를 갖는 경로가 데이터 전송 시 다른 경로들에 비해 빠를 것이나 최소의 홉 수를 갖는 경로를 구성하고 있는 인접한 두 단말들의 공간적 거리는 다른 경로에 비해 비교적 멀 것이다. 인접한 두 단말사이의 거리가 멀수록 그만큼 링크 유지시간이 짧아질 확률이 높아진다. 또한 그 링크가 포함되어 있는 경로의 유지시간을 그만큼 단축시키게 될 것이다 [6]. 결국, 단말의 이동성에 의해 경로의 끊어짐(route failure)이 자주 발생 한다면 소스 단말에서 목적 단말까지의 경로를 재 설립(route re-construction) 하기위한 시간 지연이 발생할 것이고 이로 인하여 결과적으로 플러딩(flooding)되는 제어 메시지의 양이 증가하게 될 것이다. 본 논문의 목표는 GPS를 기반으로 하는 단말의 위치와 이동성 정보를 이용하여 경로 설립 시에 단말의 이동성에 의한 토폴로지의 잦은 변화에도 불구하고 좀처럼 잘 끊어지지 않는 가장 안정적인 경로를 설립하고자 하는 것이다. 우리는 본 논문의 목표를 이루기 위하여 각 단말들은 GPS 수신기를 사용하여 자신의 현재 위치를 파악하고 있다고 가정한다 [7].

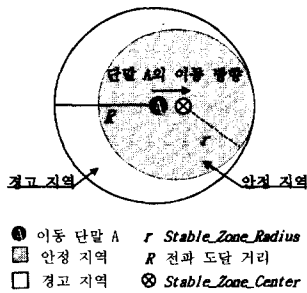
본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존 프로토콜인 AODV의 기본적인 메커니즘을 보여주고 있고 3장에서는 경로 설립 시 안정된 경로를 설립하기 위해 GPS 기술이 어떻게 활용되는지 또한 이러한 AODV-GPS가 어떻게 동작하는지를 보여주고 있다. 4장은 다양한 트래픽 환경과 단말들의 이동성을 고려한 시뮬레이션 결과들을 시술하고 있고 5장에서 결론을 맺는다.

### 2. AODV 경로설정 프로토콜 [2][4]

AODV 경로설정 프로토콜은 ad-hoc 네트워크를 설립하고 유지하는데 필요한 이동 단말들 사이의 다중 홉 경로설정을 지원하고 있다. 이러한 AODV는 DSDV (Destination-Sequence Distance Vector) 알고리즘을 기반으로 하고 있다. 그러나 DSDV와의 차이점은 AODV는 reactive 프로토콜인 반면에 DSDV는 proactive 프로토콜이라는 점이다. 여기서 reactive 프로토콜은 이동 단말이 경로를 필요로 할 때만 경로를 설립하는 것으로 proactive 프로토콜처럼 이동 단말들이 다른 단말들에 대한 모든 경로 정보를 미리 유지하고 있는 것이 아니다. 소스 단말은 목적 단말로 데이터를 전송하고자 할 때만 경로 설립 과정을 시작한다. RREQ (Route Request) 경로 요구 제어 메시지는 목적 단말에 도달할 때 까지 또는 목적 단말로 가는 경로를 알고 있는 중간 단말에 도착할 때 까지 ad-hoc 네트워크를 통해 플러딩 되어진다. RREQ가 플러딩 되는 도중에 그 RREQ를 수신하는 모든 단말들은 RREQ를 전송한 단말로 향하는 역경로(reverse path)를 일시적인 경로설정 테이블로 구성하게 된다. 그리고 목적 단말은 그 역경로를 따라서 RREP (Route Reply)를 소스 단말로 전송(unicast)하게 된다. 이때 역경로를 구성하고있는 모든 단말들은 RREP를 전송한 단말로 향하는 순경로(forward path)에 대한 일시적인 경로설정 테이블을 구성하게 된다. 이때 순경로 경로 엔트리(entry)는 소스 단말에서 목적 단말로 데이터 전송소가 된다. 이러한 과정에 의하여 경로가 설립되어진다.

### 3. 제안하는 AODV-GPS 경로설정 프로토콜

AODV상에서는 목적 단말에 처음 수신된 RREQ를 전송한 경로를 통해 소스 단말이 데이터를 전송한다. 이렇게 선택된 경로는 일반적으로 최소 홉 수를 갖게 될 것이다. 이유는 경로를 설립하게 될 중간 단말들은 다른 인접한 단말과 링크를 설립하고자 할 때 거리상 가장 멀리 있는 단말과 링크를 설립하려는 성질이 있기 때문이다. 따라서, 링크를 맺고 있는 두 단말사이의 거리가 멀면 멀수록 그만큼 단말의 이동성에 의해 쉽게 링크가 끊어질 수 있다는 것을 의미한다. 그러므로, 경로 설립 시 안정된 경로를 선택하는 것은 매우 중요한 일이다. 안정된 경로를 찾기 위해서 본 논문에서는 GPS로부터 얻어낼 수 있는 이동 단말의 위치와 속도, 방향 등을



[그림 1] 가상 지역 개념

이용하여 가상 지역 (virtual zone) 개념을 제안하고 이 개념을 이용하여 선택된 경로의 신뢰성을 높이고자 한다. 본 논문에서는 ad-hoc 네트워크내에 충분히 많은 이동 단말들이 고루 분포되어 있고 그 단말들의 이동성이 높은 경우를 가정한다.

**3.1. 수정된 RREQ (Route Request) 제어 메시지**

AODV-GPS에서는 AODV의 RREQ 제어 메시지에 GPS 정보를 추가하고 있다. 그 추가된 정보는 다음과 같다.

**GPS\_INFO:** <position, stable\_zone\_center, stable\_zone\_radius>

여기서 이동 단말의 속도에 따라 변화하는 *stable\_zone\_radius*와 *stable\_zone\_center*는 본 논문에서 새롭게 소개하는 개념이다. 이러한 기존의 RREQ에 추가된 GPS 정보들은 두 단말들 사이의 링크 상태가 안정적인지 아닌지 판단하는 근거가 된다. 이러한 변수들에 대한 자세한 사항은 다음 장에서 언급한다.

수정된 RREQ를 수신한 단말은 자신이 목적 단말이 아니고 RREQ를 불러당할 수 있도록 허가가 되어진다면 다시 불러당할 RREQ에 이전 단말의 GPS 정보가 담겨져 있는 *GPS\_INFO* 필드를 지우고 그 위치에 자신의 새로운 GPS 정보를 저장(overwrite)한 후 불러당 한다.

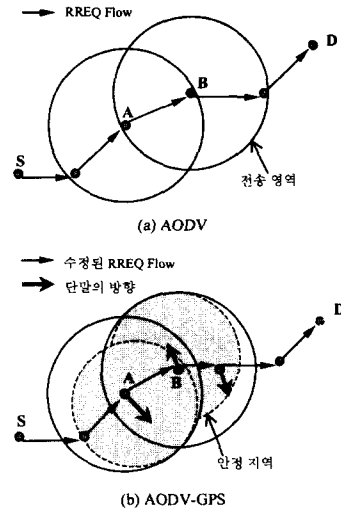
**3.2 가상 지역 (Virtual Zone) 개념:**

**안정 지역(Stable Zone)과 경고 지역(Caution Zone)**

본 논문에서는 안정 지역과 경고 지역으로 구성되는 가상 지역 개념을 제안한다. [그림 1]은 가상 지역에 대한 개념을 보여주고 있다. 단말 A가 이웃 단말들과 링크를 설립할 때 안정 지역에 위치해 있는 이웃 단말과 링크를 설립한다면 그 링크는 안정적인 것이고 경고 지역에 위치해 있는 이웃 단말과 링크를 설립한다면 그 링크는 불안정할 것이다. 이러한 가상 지역은 GPS에 의해 산출된 이동 단말의 속도와 방향 정보에 따라 가변한다. 우리는 실제 GPS정보(경도, 위도, 고도)에 의해서 이동 단말의 위치와 방향, 속도 정보를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 아이디어에 대한 개념을 단순화하기 위해서 모든 이동 단말들은 고도가 동일하다고 가정하였으며, 모든 이동 단말들의 전송 범위 또한 동일하다고 가정한다. 만약 반지름  $R$ 의 전송 범위(transmission range)를 갖는 이동 단말의 경우 그 단말의 안정 지역은 전송 범위 내에 있으며( $R \geq r$ ) 그 전송 범위보다 작거나 같은 원이어야 한다. 반면에 경고 지역은 전송 범위 내에서 안정 지역을 제외한 나머지 영역이 될 것이다.

[그림 1]에서 *stable\_zone\_radius*는 안정 지역의 크기를 결정하는 변수로써 이동 단말의 속도에 의해 좌우된다. 이동 단말의 속도가 증가하면 증가할수록 *stable\_zone\_radius*는 감소하고 반면에 이동 단말의 속도가 감소하면 감소할수록 *stable\_zone\_radius*는 증가한다. 만약 이동 단말이 정지 상태라면 *stable\_zone\_radius*는 전송 범위의 반지름인  $R$ 과 동일할 것이다. 또한 *stable\_zone\_radius*은 이동 단말의 속도에 의한 변동폭에 따라 성능의 차이가 발생한다. 단말이 최고 속도일 때 *stable\_zone\_radius*가 매우 작다면 더욱 안정된 경로를 설립할 수 있지만 그만큼 설립된 경로의 홉 수가 증가하여 전송 지연을 가져온다. 따라서 단말의 속도에 따른 *stable\_zone\_radius*의 변동폭에 대한 적절한 선택이 중요하다.

우리는 이동 단말의 속도뿐만 아니라 방향 또한 고려해야 한다. 비록 인접 단말이 자신의 전송 범위의 경계(border) 부분에 위치해 있더라도 두 단말의 방향이 서로 마주보고 진행해 나간다면 두 단말들로 구성된 링크는 안정적이라 할 수 있다. [그림 1]을 보면, *stable\_zone\_center*는 이동 단말의 방향에 따라 이동하는 것을 볼 수 있다. 안정 지역을 나타내는 내부 원은 전송 범위를 나타내는 외부 원에 항상 내접해 있다. 현재 단말의 현 위치(position)에서 안정



[그림 2] 경로 설립 과정 (RREQ Flow)

지역의 중심(*stable\_zone\_center*)으로의 방향이 바로 이동 단말의 진행 방향일 것이다.

**3.3. 안정된 경로 선택 방법**

[그림 2]의 각각의 그림들은 AODV와 AODV-GPS에 의해 RREQ들이 목적 단말로 불러당 되어지는 과정(경로 설립 과정)을 보여주고 있다. [그림 2] (a)의 AODV를 이용한 경우, 경로 설립 과정 시 중간 단말은 RREQ를 수신하자마자 중복된 RREQ를 수신했을 경우와 자신이 목적 단말일 경우를 제외하고는 RREQ를 다시 불러당할 것이다. 만약 선택된 경로상의 인접한 두 단말들 서로가 각각의 전송 범위 내의 경계부분(경고 지역)에 위치해 있다면 인접한 두 단말은 약간의 움직임에도 서로의 전송 범위를 벗어나게 된다. 결과적으로 잘못된 경로 끊어짐(route failure)이 발생하게 되고 새로운 경로를 재설립할 때까지의 시간 지연과 제어 메시지의 불러당에 의한 부담(overhead)이 커지게 된다. 따라서, RREQ를 전송하는 단말은 자신의 전송 범위내의 경계 부분에 위치한 단말들과는 서로 링크를 설립하는 것은 바람직하지 않다. 반면에 [그림 2] (b)의 AODV-GPS를 이용한 경우는 이웃 단말로부터 RREQ를 수신하였을 때 자신이 그 이웃 단말의 경고 지역 내에 있을 경우(혹은, 자신이 그 이웃 단말의 경고 지역에 있을 경우) RREQ를 다시 불러당하지 않음으로써 이동 단말의 움직임에도 쉽게 깨지지 않는 안정된 경로를 설립할 수 있다. 따라서 경로 끊어짐(route failure)에 의한 새로운 경로의 재설립 시 발생하는 부담(overhead)을 상당히 줄이는 것을 목표로 하고 있다.

다음과 같은 절차는 본 논문에서 목표로 하는 안정된 경로 선택 방법을 잘 설명하고 있다. 본 논문에서 제안하는 AODV-GPS의 기본적인 경로 설립 과정은 AODV와 동일하며 다음과 같은 절차가 추가된다. 본 논문의 [그림 2] (b)에서는 단말 A와 단말 B는 서로 인접해 있다고 가정한다. 단말 A는 RREQ를 불러당하고 단말 B는 그 RREQ를 수신한다고 가정한다.

- 1) 경로 설립 과정 시 단말 A는 자신의 전송 범위 내에 있는 단말들에게 자신의 GPS 정보가 담긴 RREQ를 불러당한다.
- 2) RREQ를 수신한 단말 B는 RREQ를 전송한 단말 A의 GPS 정보와 자신의 GPS 정보를 이용하여 단말 A와 자신이 서로의 안정 지역 내에 위치해 있는지를 확인한다.
- 3-1) 만약 두 단말 모두 서로의 안정 지역에 위치해 있다면 그리고 단말 B가 목적 단말이 아니라면 단말 B는 자신의 GPS 정보가 포함된 RREQ를 불러당한다.
- 3-2) 만약 그렇지 않다면 (단말 A와 B 둘 중 하나라도 서로의 경고 지역 내에 위치해 있다면) 단말 B에 의해 수신된 RREQ는 폐기한다.

**4. 시뮬레이션**

**4.1. 시뮬레이션 환경**

본 논문에서는 GPS를 이용한 AODV 라우팅 프로토콜을 시뮬레이션하고 기존에 제시되었던 본래의 AODV와 비교하고 있다. 두 프로토콜 모두 MAC 계층에서의 링크 끊어짐 감지 방법을 사용하였다. 본 논문의 시뮬레이션을 위하여 네트워크 시뮬레이터(ns-2)를 이용하였다 [1][8].

시뮬레이션 모델을 살펴보면 다음과 같다. 2250x450변위폭 갖는 지역 내에 75개의 이동 단말들이 고루 분포되어 있다. 각 단말들은 위치가 무작위로 선정되어지고 정해진 속도에 의해 무작위로 정해진 위치를 향해 나아가게 된다. 이때 이동 단말의 속도는 10m/sec에서 20m/sec사이의 균일 분포에 의해 정해진다. 일단 이동 단말의 위치가 무작위로 정해진 위치에 도달하고 나면 일정한 휴지 기간 (pause time) 후에 임의로 선정된 또 다른 목적지를 향해 나아가게 된다. 여기서 휴지 기간이란 이동 단말들의 속도에 상대적으로 영향을 끼치는 값이고 본 논문에서는 0, 5, 10, 20, 30, 50, 100초로 선택되었다. 소스 단말은 75개의 모든 단말들 중에서 임의로 50개가 선택되며 선택된 소스 단말 모두 연속적인 비트 전송률을 가진다. 패킷 크기는 64byte이고 패킷 전송률은 4packets/sec이다. 또한 링크의 대역폭은 2Mbps이다. 이동 단말의 전파 도달거리(R)는 250미터이다. 만약 AODV-GPS의 경우 *stable\_zone\_radius*는 이동 단말이 최고 속도(20m/sec)일 때 (R - 40)미터이고 최저 시속(10m/sec)일 때 (R - 20)미터로 하여 속도에 따른 변동폭을 최소화 하였다. 따라서 *stable\_zone\_radius*는 단말의 속도에 따라 210미터에서 230미터까지의 변동폭을 갖는다. 본 논문은 변화하는 단말의 이동성 패턴을 표현하기 위해 무작위로 추출한 시나리오 파일을 작성하였으며 공정성을 위하여 두 프로토콜들에 동일한 시나리오 파일을 적용하였다.

4.2. 시뮬레이션 결과

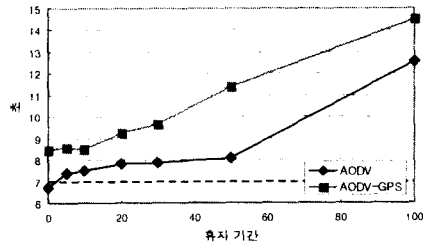
[그림 3]은 휴지 기간 변화에 대한 평균 경로 유지 시간에 대한 결과이고, 제안하는 AODV-GPS가 기존의 AODV에 비해 이동 단말의 평균 경로 유지 시간이 길다는 것을 볼 수 있다. 그만큼 AODV-GPS에 의한 경로가 AODV에 의한 경로보다 더욱 안정적임을 알 수 있다. [그림 4]는 두 프로토콜의 경로가 끊어진 후부터 경로가 재 설립될 때까지의 평균 소요시간을 비교한 것이다. 여기서 우리는 AODV가 AODV-GPS에 비해 짧음을 알 수 있다. 이것은 AODV의 홉 수가 AODV-GPS의 홉 수에 비해 더 짧기 때문이다. 그러나 [그림 6]을 보면 하나의 소스 단말이 총 시뮬레이션 시간동안 경로를 설립하는데 소비한 시간의 총 합인 경우 AODV-GPS가 AODV보다 더 작은 값을 갖는다. 그 이유는 [그림 5]에서 보는 바와 같이 총 시뮬레이션 시간동안 경로 끊어짐의 횟수는 AODV-GPS가 AODV보다 상당히 적기 때문이다. 따라서 AODV-GPS의 경우 홉 수의 증가에 따라 AODV에 보다 평균 경로 설립 소요시간이 더 길지만 경로의 끊어짐 횟수를 줄임으로써 결론적으로 제어 부담감(control overhead)을 의미하는 경로 설립 소요시간의 총 합을 줄이게 된다. 우리는 본 시뮬레이션을 통하여 AODV-GPS에 의한 경로가 기존의 AODV에 의한 경로보다 더욱 안정적임을 증명함으로써 그만큼 end-to-end delay를 줄일 수 있음을 예측할 수 있다.

5. 결론

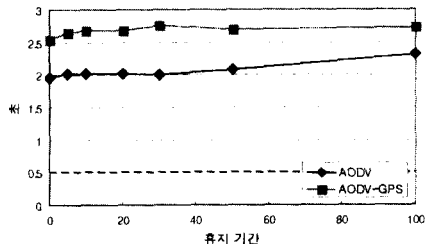
Ad-hoc 네트워크상에서 토폴로지는 단말의 이동성에 의해 급격하고 예측할 수 없도록 변화한다. 기존에 제시된 프로토콜인 AODV의 경우 경로 설립 시 선정되는 경로의 견고함에 대한 방안은 없으며 결과적으로 새로운 경로의 재설립으로 인해 발생하는 상당한 부담(overhead)들을 안고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 안정된 경로를 찾기 위한 AODV-GPS라는 새로운 경로 선택 알고리즘을 제안했다. 본 논문에서는 GPS 기술을 사용하여 이동 단말의 위치와 방향, 속도 등을 계산하였으며 이러한 GPS 정보들을 이용하여 안정 지역과 경로 지역 같은 가상 지역 개념을 제안하였다. 이러한 가상 지역은 이동 단말의 속도와 방향에 따라 전송 범위 내에서 동적으로 변화되어지는 것을 볼 수 있었다. 이에 따라 이동 단말의 속도와 방향을 고려한 AODV-GPS에 의해 선택되어진 경로는 단말의 이동성에도 불구하고 쉽게 끊어지지 않는 믿음직한(안정된) 경로임을 알 수 있다. 본 논문의 시뮬레이션 결과에 의해 우리는 AODV-GPS에 의해 선택된 경로가 AODV에 의한 경로보다 유지 시간이 커짐을 알 수 있고 그만큼 경로의 끊어짐의 횟수가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 특히, AODV-GPS는 단말의 이동성이 상당히 높은 경우에 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

6. 참고 문헌

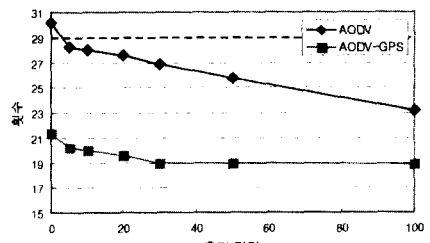
[1] Kevin Fall and Kannan Varadhan. *ns notes and documentation*. The VINT project, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, May 1998.  
 [2] Samir R. Das, Charles E. Perkins, and Elizabeth M. Royer. Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad-hoc networks. In *Proceedings of the Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2000)*, pages 3-12, March 2000.



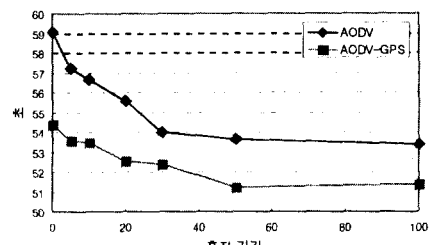
[그림 3] 평균 경로 유지 시간



[그림 4] 평균 경로 (재)설립 소요 시간



[그림 5] 평균 경로 끊어짐 횟수



[그림 6] 경로 (재)설립 소요시간의 총합

[3] Elizabeth M. Royer and Chai-Keong Toh. A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless Networks. *IEEE Personal Communications*, pages 46-55, April 1999.  
 [4] Charles E. Perkins and Elizabeth M. Royer. Ad-hoc on-demand distance vector routing. In *Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA'99)*, pages 90-100, February 1999.  
 [5] D. Johnson and D. Maltz. Dynamic source routing in ad-hoc wireless networks. In T. Imielinski and H. Korth, editors, *Mobile Computing*, chapter 5. Kluwer Academic, 1996.  
 [6] S. Basagni, I. Chlamtac, and V. R. Syrotiuk. Dynamic source routing for ad-hoc networking using the global positioning system. In *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference 1999 (WCNC'99)*, pages 301-305, September 1999.  
 [7] E. D. Kaplan, editors. *Understanding the GPS: Principles and Applications*. Boston: Artech House, February 1996.  
 [8] The CMU Monarch Project. The CMU Monarch Projects Wireless and Mobility Extensions to ns, URL: <http://www.monarch.cs.cmu.edu/>. (2000-04-25). Work in progress.