

모바일 Ad-hoc 네트워크에서 신뢰성 있는 경로설정을 위한 프로토콜 설계

이양민^o 이재기

동아대학교 컴퓨터공학과

manson^odonga.ac.kr, jklee@dau.ac.kr

Protocol Design for setting reliable routes in Mobile Ad-hoc network

Yang Min Lee^o JaeKee Lee

Computer Engineering Department, Dong-A Univ.

요 약

모바일 Ad-hoc 네트워크는 기간망을 활용할 수 없는 특수한 지역이나 응용에 활용되는 네트워크를 의미한다. 이 네트워크 내에서는 노드의 이동성이 높고 노드 자체의 에너지 제약 등으로 인해 빈번한 네트워크 단절등이 발생하게 된다. 노드의 이동성에 따른 토폴로지 변경에 유연하게 반응하면서 패킷의 전달성을 향상시키는 기법이 모바일 Ad-hoc 네트워크 분야에 반드시 요구되며 본 논문에서는 이를 위해 혼합형 프로토콜인 PAOMDV(Possibility based AOMDV)와 OLSR-ME(OLSR with Modify Energy Efficiency)를 제안한다. 이 프로토콜을 기존의 프로토콜인 AODV, AOMDV, ZRP와 비교 실험을 수행하고 그 성능을 검증하였다.

1. 서 론

모바일 Ad-hoc 네트워크는 무선 인터페이스를 사용하는 각종 컴퓨터들이 고정된 네트워크를 사용하지 않은 상태에서 임시적으로 구성되는 네트워크를 의미한다.

모바일 Ad-hoc 네트워크에서는 네트워크 구성 노드들이 언제든지 이동할 수 있다는 특징이 있다. 이러한 노드 이동성의 특징 때문에 모바일 Ad-hoc 네트워크에서는 노드간의 잦은 링크의 단절과 이로 인한 경로 재설정 이 유발 되고 이에 따른 제어 메시지의 과도한 생성은 전체 네트워크 트래픽 증가를 유발하여 성능 감소로 이어진다. 따라서 모바일 Ad-hoc 네트워크에서는 링크 안정성을 보장하기 위해 다중경로의 구성과 불필요한 제어 메시지 발생의 최소화가 필수적이다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 동시에 고려하여 모바일 Ad-hoc 네트워크에 신뢰성을 보장할 수 있는 경로 설정 및 유지 기법을 제안하고 여기에 최소한의 제어 메시지가 발생할 수 있는 프로토콜을 제안하였다.

특히 모바일 Ad-hoc 네트워크를 클러스터로 구분하여 클러스터 내의 통신에는 OLSR-ME 프로토콜을 제안하여 제어 메시지의 풀러딩을 최소화하고 클러스터 간의 프로토콜에는 PAOMDV를 제안하여 신뢰성 있는 경로가 생성되도록 하였다. 끝으로 이러한 기법의 성능을 확인하기 위해 기존 프로토콜과 제안 프로토콜을 네 가지 인자(factor)에 대해 실험하고 결과를 비교하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 모바일 Ad-hoc 프로토콜 관련 연구를 간략히 제시하고 3장에서는 제안 프로토콜의 구조를 기술한다. 4장에서는 실험 및 분석을 하고 5장의 결론으로 맺는다.

2. Ad-hoc 프로토콜 관련 연구

모바일 Ad-hoc 네트워크 관련 프로토콜은 크게 세 가지 방식으로 구분할 수 있다¹⁾⁻⁴⁾(그림 1).

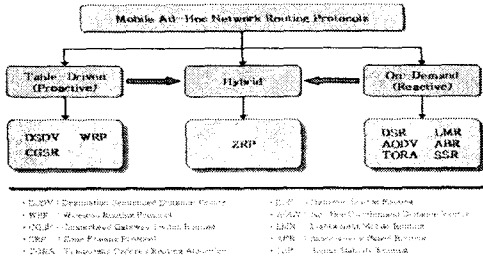
Proactive(Table-Driven)방식은 네트워크 내의 모든 이동 노드들이 항상 자신을 제외한 나머지 노드의 최신 라우팅 정보를 유지하는 기법이다. 동적으로 변하는 네트워크 토폴로지에 대응하기 위하여 라우팅 정보를 주기적으로 또는 네트워크 토폴로지상의 변경이 있을 때마다 구성 노드 전체로 전파시켜 각 노드들이 자신의 라우팅 정보를 변경하도록 한다. 이러한 사전 경로 설정 방식의 최대 장점은 전송해야 할 패킷이 발생할 경우 지연 없이 항상 최적의 루트를 통해서 라우팅이 가능하다는 것이지만 네트워크 토폴로지의 변화가 심할 경우 라우팅 정보를 네트워크 전체로 전파하기 위한 라우팅 프로토콜 메시지의 오버헤드가 크다는 것이다. 대표적인 프로토콜로는 DSDV, CGSR 등이 있다.

Reactive(On-Demand)방식은 데이터 전송에 대한 요구가 있을 때 경로를 탐색하는 방식이다. 장점으로는 Proactive 라우팅 방식이 가지는 제어 메시지의 오버헤드를 감소시킬 수 있다는 것이며, 단점으로는 트래픽이 발생하는 시점에서 경로를 탐색하기 때문에 경로 탐색에 지연이 발생하여 전체적인 전송 지연을 유발할 수 있다는 것이다. 대표적인 프로토콜은 DSR, AODV, TORA 등이 있다.

Hybrid 방식은 Proactive 방식과 Reactive 방식의 장점을 취한 기법이다. 특정 영역 내부에서는 Proactive 라우팅 방식에 기초한 IARP에 의해서 수행된다. 외부 영역에 속한 노드로의 루트 정보의 탐색은 Reactive 라우팅

방식에 기초한 IERP에 의해서 수행된다.

이러한 분류법 이외에도 MAC 계층에서의 효율성을 높이기 위한 프로토콜 연구와 구성된 경로들의 효율성을 최대화하는 프로토콜 연구, 노드의 에너지 효율성을 극대화하는 연구 등의 분류가 존재한다⁹⁾¹⁰⁾.



(그림 1) 모바일 Ad-hoc 라우팅 프로토콜 분류

3. 제안 프로토콜의 구조

동적이면서 경로의 변화가 많은 네트워크 환경에 최적인 프로토콜은 이동 중인 노드들이 서로의 존재를 인식하고 경로를 설정할 수 있는 능력과 제한된 무선 네트워크의 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있는 기능이 필요하다.

이러한 두 가지의 기능을 만족시키기 위해서는 무선 노드들 간의 다중경로를 구성할 수 있는 기법과 다중경로 설정시에 제어 메시지를 최소화할 수 있는 방법이 필요하다.

언급한 두 가지의 기본 기능을 달성하기 위해 본 논문에서 제안하는 프로토콜은 Hybrid 방식을 적용한다.

3.1 OLSR-ME 프로토콜¹¹⁾

기본적으로는 OLSR의 경로 설정 절차를 표준과 동일한 형태로 적용한다. 제안 기법에서의 주요 변경 부분은 크게 2가지이다.

첫째 OLSR이 각각의 노드들이 자신이 전송할 수 있는 최소 범위의 다중점 중계 노드의 집합을 설정하는 것에 반해 본 논문에서 제안하는 OLSR-ME는 클러스터 헤드와 보조 헤드에 해당하는 노드에서 다중점 중계 집합을 구성한다는 점이다. 클러스터 외부로의 통신은 클러스터 헤드와 포워드 노드만이 수행할 수 있기 때문에 각각의 경로 탐색은 각 노드에서 OLSR과 마찬가지로 주기적으로 이루어지지만 경로의 유지는 헤드 노드만이 수행한다.

둘째, 이러한 경로 탐색을 주기적으로 실행할 때 단순히 토폴로지만을 획득하는 것이 아니라 네트워크에 참가하는 각 노드들의 에너지 잔량과 연결성을 확인하여 임계점 이하의 에너지지를 보유하거나 연결 이웃이 없는 노드들은 경로에서 제외하는 기법을 사용한다. 이러한 기법을 추가함으로써 생성된 경로의 안정성과 생존기간을 보장할 수 있다. 알고리즘은 다음과 같다.

경로를 유지하는 동안은 본 논문에서 제안하는 부하 분산 기법을 적용하게 된다.

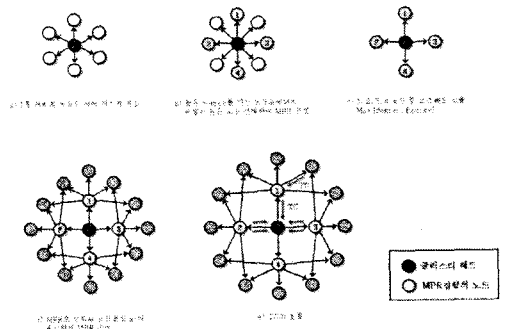
이를 통한 동작 절차는 (그림 3)에 나타내었다. 클러스

터 헤드로부터 2홉 거리의 모든 노드들이 커버될 때까지 알고리즘을 반복 적용한다. 기존의 OLSR보다 에너지 및 연결성이 뛰어난 경로를 형성할 수 있다.

[알고리즘]

- ① 초기에 선정되어 있는 클러스터 헤드를 기준으로 다중점 중계 집합 구성을 위한 초기 메시지(MPRI)를 발송
- ② 1홉 거리에 있는 모든 이웃들이 초기 메시지를 수신
- ③ 1홉 거리에 있는 이웃들도 1홉 거리에 있는 이웃 노드들로 다중점 중계 집합 구성을 위한 메시지 발송(수신 노드가 MPR Set인 경우 플러딩)
- ④ 1차적으로 구성된 라우팅 테이블을 이용하여 헤드에서 2홉 거리에 있는 노드들은 1홉 거리의 노드로 TC 발송(연결 차수와 에너지 잔류량 포함)
- ⑤ 헤드로부터 1홉에 있는 노드들은 TC들 중 {degree, energy}를 고려하여 n개의 선택하여 자신의 다중점 중계 집합으로 구성(단 $n \geq 1$)
- ⑥ 클러스터 헤드는 1홉 거리의 이웃 노드들로부터 TC를 수신하여 n개의 노드로 구성된 다중점 중계 집합을 구성
 - ⑥-1. 선택된 1홉 거리의 이웃 노드들에 대해 선택 정보(수신자들은 MS(MPR Select Set)를 조정)
 - ⑥-2. 선택된 1홉 거리의 이웃 노드들 중 MAX(degree, energy)를 선정하여 이를 보조 헤드로 이용
- ⑦ 클러스터 헤드의 다중점 중계 집합에 포함된 1홉 거리의 노드들은 이를 자신이 초기에 구성한 다중점 중계 집합으로 이를 통보
- ⑧ 1차적 경로가 완성되며, 이후에는 TC를 이용하여 토폴로지 변경 수행
- ⑨ 2홉 이웃의 노드들을 커버할 수 있을 때까지 ①-⑦의 과정을 반복

(그림 2) OLSR-ME 수행 알고리즘



(그림 3) OLSR-ME 경로 선정

3.2 PAOMDV 프로토콜

클러스터 외부에서의 경로 탐색은 클러스터 헤드 간에 이루어지는 것을 기본 전제로 한다. 사용되는 기법은 PAOMDV로서 기존의 다중경로 요구 기반 프로토콜¹⁰⁾ 연구 논문에서의 아이디어를 확장하여 대체 경로의 생존 확률을 높일 수 있는 기법을 적용하였다. 이를 통하여 경로 탐색을 수행하는 소스 노드로부터 흡이 커질 경우

에도 안정적인 수의 대체 경로를 확보할 수 있고, 노드의 과부하 상태를 막아 네트워크 생존 기간을 보다 연장할 수 있다. 더불어 안정적인 수의 대체 경로는 통신 경로 전체의 안정성을 향상시킬 수 있다.

프로토콜 수행을 위해 필요한 기본적인 가정은 다음과 같다(그림 4).

- 경로 탐색 초기에는 클러스터 헤드 간에 브로드캐스팅을 통해 경로 획득
- AOMDV 확장을 위해 RREQ 메시지 변경
- 클러스터 외부의 노드들은 이동할 확률이 상대적으로 높은 것으로 간주.
- 클러스터 헤드는 경로 탐색 절차 수행 이전에 선출
- 초기에 모든 클러스터 헤드는 통신에 필요한 에너지를 보유
- 게이트웨이 선출 기법이 적용되지 않은 초기에는 다른 클러스터로 데이터를 전달할 포워딩 노드 존재.

(그림 4) 프로토콜 수행을 위한 가정

3.2.1 경로 구축 단계

초기에 아무런 경로가 없는 경우 경로를 구축하기 위해서 수행하는 절차는 AOMDV의 기법을 그대로 따른다. 본 논문에서 제안하는 프로토콜은 1차적인 주경로(Primary Path)는 AOMDV의 경로 탐색 절차를 그대로 수행하며 여기에 RREQ 메시지에 추가적으로 노드의 에너지 레벨을 표시하도록 하여 보다 안정적인 주경로를 획득한다. 이후에 주경로를 기반으로 하는 대체 경로를 생성할 때는 에너지 레벨과 노드의 이동 확률을 동시에 고려하게 된다.

이는 우선적인 경로를 획득하는 경우, 가능한 지연을 줄이고 기존 연구들에서 그 성능이 검증되어 있는 프로토콜을 적용하는 것이 프로토콜 전체의 성능 및 안정성을 보장하기 쉽기 때문이다.

따라서 제안 프로토콜에서의 경로 구축 단계는 세부적으로 다시 3단계의 과정으로 구분할 수 있다. 이 과정들은 각각 주경로 탐색 단계, 대체 경로 탐색 단계, 경로 유지 단계이다.

3.2.1.1 주경로 탐색 단계

(그림 5)는 클러스터 외부로의 경로를 탐색하는데 있어서 가장 초기의 경로가 되는 주경로를 탐색하는 단계이며, 동작절차는 기존의 프로토콜인 AOMDV를 활용하여 수행된다.

기본적인 경로 설정은 AOMDV와 완전히 동일하지만 다음 단계인 대체 경로를 설정하기 위해서 RREQ 메시지에 포함되는 RNEM을 체크하는 것이 기존의 AOMDV와 다른 부분이다.

3.2.1.2 대체 경로 탐색 단계

대체 경로는 AOMDV 기법에 의해 노드 독립적인(disjoint node)기본적으로 존재한다. AOMDV가 RREQ의 중복 수신을 수행하였을 경우 중복 수신된 RREQ를 단순히 폐기하는 것이 아니라 RREQ 내에 포함되어 있는 경로 정보를 잠재적인 대체 경로로 포함시키게 된다. 경로로

서 포함시키기 위한 규칙은 (그림 6)을 따를 수 있다.

Algorithm

```

step 1 소스 노드(경로 탐색을 시작하는 클러스터 헤드)에서 RREQ 메시지를 발송
step 2 중간 노드들(각각 다른 클러스터의 헤드)이 RREQ를 이용하여 이전의 홉 노드 정보와 자신의 정보를 연속적으로 발생시켜 지속적인 RREQ를 브로드캐스팅
    step 2-1 이 과정에서 중복 수신한 RREQ는 잠정적 대체 경로로 사용
    step 2-2 이 과정에서 수신한 RREQ를 이용하여 잔류 에너지를 확인
step 3 중간 노드가 목적지까지의 경로를 알고 있으면 RREQ가 현재까지의 역경로를 따라 소스 노드로 반환됨
    
```

(그림 5) PAOMDV 주경로 탐색 단계 알고리즘

```

if (seqnumid < seqnumjd) or
((seqnumid == seqnumjd) and
(energyid > (energyjd + energyj) and
(hopcountid > hopcountjd)) then
seqnumid := seqnumjd;
hopcountid := hopcountjd + 1;
energyid := energyjd + energyj;
nexthopid := j;
endif
    
```

(그림 6) 중복 RREQ 수신시의 라우팅 테이블 갱신 규칙

이와 같이 주경로와 이에 대한 기본적인 대체 경로를 가진 경우라도 AOMDV 프로토콜의 경우 기본적으로는 최선형 프로토콜이기 때문에 효율적인 경로를 선택하였음을 보장하기 어렵다. 또한 경로 탐색을 시작한 노드로부터의 홉 수가 멀어질 경우 먼저 도착하는 RREQ에 대해 선행적인 개수의 독립적인 대체 경로만을 가질 수 있고 이에 따라 노드의 이동성이 커질 경우 안정적인 수의 경로가 존재함을 보장하지 못한다.

다중경로와 관련된 연구들로부터 경로 설정에 대한 과도한 지연 시간이나 안정적인 수의 경로 유지에 대한 필요성에 의해 노드 이동 확률에 기반을 둔 접근법인 다중 경로 동적 라우팅 프로토콜^[10]을 확장하여 이를 AOMDV에 적용하였다. 대체 경로의 설정 알고리즘은 (그림 7)과 같다.

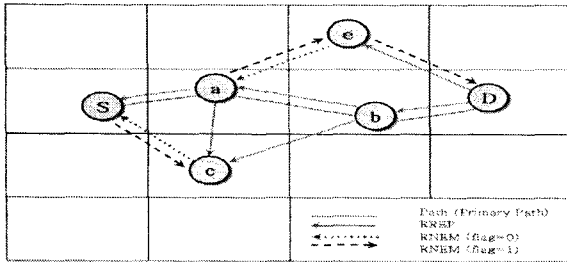
Algorithm

```

step 1 AOMDV의 프로토콜 동작 절차에 따라 초기에는 주경로를 포함하여 노드 독립적(disjoint node)인 대체 경로가 존재
step 2 RREQ가 목적지에서 소스로 전달되는 동안 이를 수신할 수 있는 1-홉 이내의 클러스터 헤드와 게이트웨이는 주경로에 2-홉 간격으로 존재 하는 후속 노드로 RNEM(Redundant Node Existence Message)발송
    step 2-1 이때 자신의 에너지 레벨도 포함하여 전송
    step 2-2 RNEM이 통보임을 알리기 위해 p.flag를 0으로 설정
step 3 RNEM을 받은 노드는 RNEM을 발송한 노드로 다시 메시지를 반송하여 대체 경로에 포함되는 노드로의 선정을 통보
    step 3-1 RNEM 반송을 알리기 위해 p.flag를 1로 설정
    step 3-2 새로 포함된 대체 노드를 실제 경로로 사용하기 위해 소스 방향으로의 선행노드는 이 대체 경로를 통해 RREQ를 목적지 노드로 보냄
    
```

(그림 7) PAOMDV 대체 경로 설정 알고리즘

(그림8)은 이와 같이 동작하는 프로토콜에서의 실제 예제를 간략하게 도식화한 것이다. (그림 8)에서 기본 경로는 S → a → b → D로 구성된다. RREP가 전송되면 노드 e와 c는 주경로 상으로 전송되는 것을 감청할 수 있다. 여기서 노드 e는 RREP의 정보를 이용하면 노드 a가 D로부터 2-홉 떨어져 있다는 사실을 확인할 수 있다. a가 목적지 D로 메시지를 전달할 때 노드 e를 사용하고자 한다면 e를 경유하여 D로 RREP를 전송하면 된다.



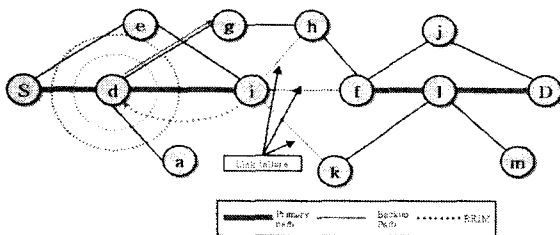
(그림 8) 대체 경로 구축의 예

3.2.1.3 경로 유지 단계

패킷의 전달 과정에서 주경로상의 노드가 이동하였을 경우 대체 경로를 경유하는 기법이 적용된다. (그림 9)와 같은 네트워크를 가정하면 노드 i에서 노드 d로의 모든 경로가 불가능한 상태를 확인할 수 있다.

제한 프로토콜에서는 이 경우 모든 대체 경로가 불가능하다는 RRIM(Route Recovery IMpossible) 메시지를 선행 노드에 통보하게 된다. d 노드가 이에 해당하며 RREQ를 활용하여 노드 d에서 새로운 경로 탐색을 시도하게 된다.

이때의 경로 사용 불가능 메시지는 소스 노드나 목적지 노드로 통보하지 않고 경로상의 중간 노드에서 직접 수행하기 때문에 보다 빠른 복구가 가능하다.



(그림 9) RRIM을 이용한 경로 유지

3.2.2 PAOMDV 프로토콜 분석 및 검증

PAOMDV를 적용하여 구성한 경로는 다음과 같은 세 가지 특징을 가진다. 중복된 RREQ를 통해 기본적으로 구성되는 대체 경로가 추가되며, RNEM을 이용하여 구성하는 다중경로에서는 주경로상의 2-홉 간격 노드들마다 대체 노드를 경유하는 추가 경로가 존재하게 되고, 추가 노드를 경유하더라도 우선 경로를 거치는 경우와 동일한 홉 수를 가지게 된다는 것이다.

여기서는 RNEM을 통하여 추가되는 대체 경로의 수를 확인하고 노드 이동 등과 같은 확률 값을 추가하였을 경우의 대체 경로 생존율을 검토하였다¹⁰⁾.

경로의 길이, 즉 홉 수를 h라고 두면 경로상의 노드 수 n = h+1로 표현가능하다. k개의 대체 노드를 이용하는 대체 경로의 수를 An(k)라 하면 이를 점화식 형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases} A_n(0) = 1, & n > 1 & (1) \\ A_n(k) = 0, & k > \lfloor n/2 \rfloor & (2) \end{cases}$$

수식 (1)과 수식 (2)를 이용한 k개의 대체 노드를 이용한 대체 경로의 수는 수식 (3)과 같다.

$$A_{n+1}(k) = A_n(k) + A_{n-1}(k-1), \quad k > 1, n > 2 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} S_{n+1} &= \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} A_{n+1}(k) + AOMDV_{E-path} \\ &= \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} A_n(k) + \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor} A_{n-1}(k) + AOMDV_{E-path} \\ &=> S_n + S_{n-1} + AOMDV_{E-path} \end{aligned} \quad (4)$$

수식 (4)는 제한 프로토콜에서의 전체적인 대체 경로 수를 나타내었다. 수식 (4)는 에너지 레벨을 고려하여 RREQ를 이용한 대체 경로의 수와 RNEM을 적용하여 구하여진 대체 경로의 수를 모두 포함한다.

아래와 같은 수식들을 활용하여 h=10, 즉 10홉까지 존재하는 네트워크에서의 대체 경로의 개수를 점화식을 이용하여 구하면 (표 1)과 같다. k는 대체 노드의 개수 의미한다.

(표 1) k개의 대체 노드를 활용하는 대체 경로의 수

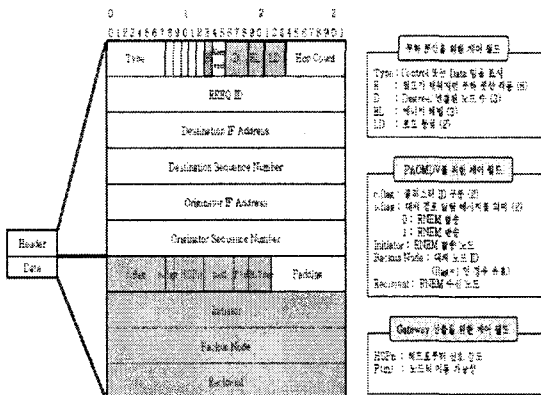
h \ k	0	1	2	3	4	5	6	7	S _n
2	1	0	0	0	0	0	0	0	1
3	1	1	0	0	0	0	0	0	2
4	1	2	0	0	0	0	0	0	3
5	1	3	1	0	0	0	0	0	5
6	1	4	3	0	0	0	0	0	8
7	1	5	6	1	0	0	0	0	13
8	1	6	10	4	0	0	0	0	21
9	1	7	15	10	1	0	0	0	34
10	1	8	21	20	5	0	0	0	55

3.3. 제한 프로토콜 패킷 구조

앞서 서술한 모든 기법들을 포함하는 제어 메시지 패킷의 구조는 (그림 10)과 같다.

기존 프로토콜인 AOMDV의 RREQ 메시지 서식을 확장하여 사용한다. OLSR-ME를 위하여 EL 필드와 D 필드가 존재하는데 이는 각각 노드의 잔류 에너지 레벨과 연결된 이웃 노드수를 표시하는 목적으로 사용된다. EL 필드는 부하 분산을 위해서 사용된다. Type 필드의 경우

제어 메시지의 종류를 구분하기 위한 필드로 사용된다.



(그림 10) 제어 메시지 서식 (RREQ의 확장)

4. 실험 및 분석

4.1 실험 환경

본 논문에서는 Qualnet 3.8을 윈도우 2000을 플랫폼으로 하는 팬티엄 IV 2.0에 설치하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 영역은 1000×1000(m)의 정방형 공간을 설정하였고, 모바일 노드의 전송 범위는 250m로 하였다. MAC 계층의 인터페이스는 IEEE에서 규정한 802.11을 사용하였고 2Mbps의 데이터 전송 대역을 가지는 것으로 하였다. 전파의 전달 형식은 Two Ray Ground이며 이동 속도 및 방향은 랜덤으로 하되 이동 속도의 경우 최고 50m/sec으로 하였다. 시뮬레이션 시간은 1회에 500sec으로 하여 동일한 실험들을 각각 10회씩 수행하였다.

실험은 노드의 수를 변화시키면서 이에 따른 네트워크 성능을 나타낼 수 있는 4개의 인자를 측정하였다. 측정 대상 인자로는 패킷 전송률, 중단간 평균 지연, 라우팅 오버헤드이다. 이러한 4개의 인자를 기존 프로토콜인 AODV, AOMDV, ZRP와 비교하여 측정하였다. 특히 노드의 수 증가에 따른 홉의 증가와 이로 인한 라우팅 오버헤드의 측정은 제안 프로토콜에서의 핵심 성능 인자이므로 노드 수의 증가와 관련된 결과들은 주요 평가 대상이 된다.

4.2 측정 및 분석

4.2.1 패킷 전송률

패킷 전송률은 네트워크 성능을 측정하는 인자들 중에 가장 핵심적인 인자이다. AODV, AOMDV, ZRP와 제안 프로토콜을 노드 수를 0에서 100까지 변화시키면서 비교하였을 때 결과는 (그림 11)과 같다.

AODV는 AOMDV, ZRP, 및 제안 프로토콜에 비해 패킷 전송률이 떨어진다. 특히 노드의 수가 증가할수록 다른 세 프로토콜에 비해 패킷 전송률이 낮아짐을 확인할 수 있다. 특히 노드수가 50개를 넘어서는 시점에서 AODV는 패킷 전송률이 80% 이하가 되지만 제안 프로토콜의 경우 여전히 85% 이상의 패킷 전송률을 보이고 있다.

4.2.2 중단간 평균 지연

중단간 평균 지연 시간은 모바일 Ad-hoc 네트워크 환경에서 특정 노드가 또 다른 노드까지의 데이터를 전송하는데 걸리는 시간을 측정하여 이들 값의 평균을 구한 것이다.

(그림 12)에서 보면 그 결과가 패킷 전송률 측정에서와 마찬가지로 확인할 수 있다. ZRP가 노드수가 적을 때는 가장 적은 지연 시간을 가진다. AODV의 경우에는 지연이 10노드일 때도 높는데, 이는 무조건적인 RREQ의 발송으로 인해 최초의 경로를 선정하는데 까지도 높은 시간을 가지는 것으로 해석할 수 있다.

AOMDV와 제안 프로토콜의 경우는 노드가 50개인 시점을 지나면서 평균 지연 시간이 증가한다. 그 이하의 노드 수에서는 다중경로를 가진 두 프로토콜이 전체적인 경로 재설정 작업을 하지 않기 때문으로 사료된다. 다중 경로가 존재하는 경우 하나의 경로 단절이 전체 네트워크의 성능을 감소시키는 경우가 발생하지 않는다는 것이다. 평균적으로 제안 프로토콜이 AOMDV에 비해 약 3.8 ms 적은 지연 시간을 가지나 그 차이가 미비하고 ZRP는 제안 프로토콜과 비교하여 평균적으로 27.8 ms 작은 지연을 가져 네 가지 프로토콜 중에서 가장 작은 지연을 나타내었다.

4.2.3 라우팅 오버헤드

라우팅 오버헤드는 라우팅 경로를 형성하는 과정에서 소요되는 라우팅 레벨(routing level)에서의 오버헤드만을 의미한다. 본 논문에서는 라우팅 오버헤드의 측정 대상으로서 하나의 홉 전송을 하나의 전송으로 간주하고 여기서 발생하는 제어 패킷 즉, RREQ, RREP, RERR, RRM, RNEM의 수를 라우팅 오버헤드로 측정하였다.

앞서의 실험들과 동일하게 네트워크 노드의 수 증가에 대해 AODV, AOMDV, ZRP와 제안 기법의 네 가지 프로토콜을 비교하였다.

(그림 13)에서와 같이 노드의 수가 증가하면 네 가지 프로토콜 모두에서 라우팅 오버헤드가 증가한다. 즉 노드가 많을수록 제어 패킷의 생성도 증가하는 것을 확인할 수 있다. 실험 결과에서 보면 AODV가 라우팅 오버헤드가 가장 큰 것을 알 수 있다.

AOMDV와 제안 프로토콜의 경우, 노드가 60일 때까지는 유사한 라우팅 오버헤드를 보이나 그 이상의 노드 수에서는 오히려 AOMDV가 제안 프로토콜 보다 평균적으로 22,000개더 적은 오버헤드를 생성한다.

이는 제안 프로토콜이 내부적으로 부하 분산을 위한 제어 메시지와 게이트웨이 선출을 위한 제어 메시지, 대체 노드 통보를 위한 메시지 등이 발생하였기 때문이다.

노드의 속도가 안정적인 상태에서는 노드의 수가 증가하더라도 라우팅 오버헤드 측면에서는 ZRP가 네 가지 프로토콜 중에 가장 우수하였다.

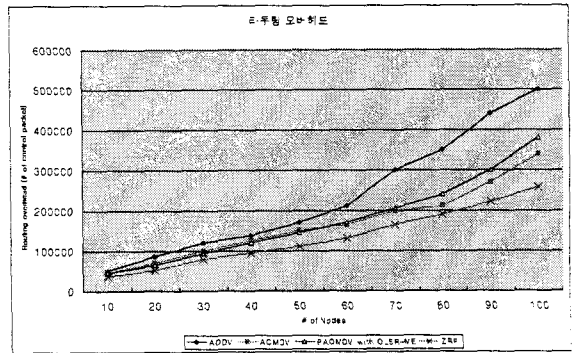
5. 결론

모바일 Ad-hoc 네트워크는 기간망을 활용할 수 없는 특수한 환경에 적용되어 사용되는 네트워크이다. 그러나 네트워크의 특성상 노드의 이동성 및 노드 자체의 제약

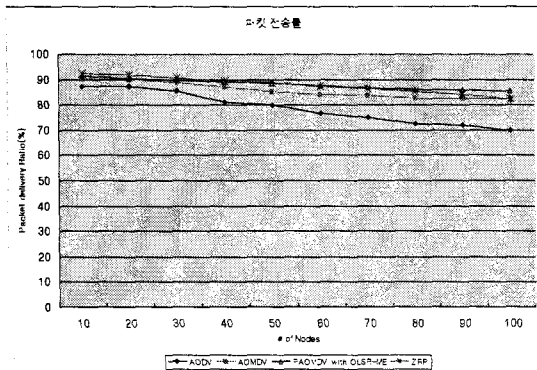
으로 인한 링크 단절이 빈번하게 일어나 네트워크로서의 성능을 만족시키기 위해서는 이러한 제약을 극복하기 위한 연구들이 요구된다.

본 논문에서는 이런 문제점을 극복하기 위해 혼합형 프로토콜을 제안하였다. 네트워크를 클러스터 단위로 구분하고 클러스터 내의 프로토콜에는 OLSR을 확장한 OLSR-ME를, 클러스터 간의 통신에서는 기존의 다중 경로 프로토콜인 AOMDV에 확률적인 기법을 추가한 PAOMDV를 적용하였다. 노드 수 증가에 따른 패킷 전송률, 중단간 지연, 라우팅 오버헤드를 기존 프로토콜인 AODV, AOMDV, ZRP와 비교하였다. 그 결과로써 패킷 전송률 제안 프로토콜이 가장 우수하였고, 중단간 지연에서는 제안프로토콜과 ZRP가 우수하였으며, 라우팅 오버헤드에서는 ZRP와 AOMDV가 보다 우수한 결과를 나타내었다.

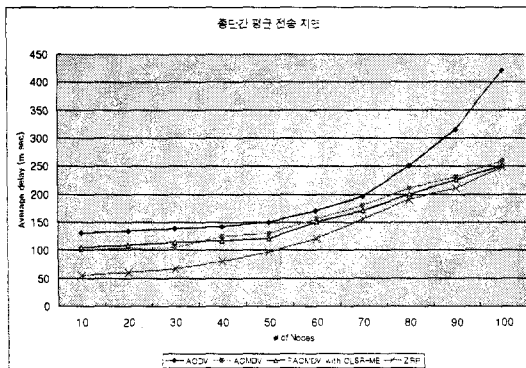
향후 과제로는 노드의 이동성에 따른 기존 프로토콜들과 비교 실험을 수행하는 것과 클러스터 내, 클러스터 간의 프로토콜을 각각 따로 실험 측정하는 것이다.



(그림 13) 노드 수 변화에 따른 라우팅 오버헤드



(그림 11) 노드 수 변화에 따른 패킷 전송률



(그림 12) 노드 수 변화에 따른 중단간 평균 지연

[참고문헌]

- 1) Mohammad Ilyas, "The Handbook of Ad-hoc Wireless Network," CRC Press, 2003. 3.
- 2) George Aggelou, "Mobile Ad Hoc Networking," McGraw-Hill, 2004. 11. 1.
- 3) Stefano Basagni, "Mobile Ad Hoc Networking," WILEY, 2004. 7. 1.
- 4) B.S.Manoj, "Ad Hoc Wireless Networks Architecture and Protocol," Prentice Hall, 2004. 6. 1.
- 5) C.K. K. Toh, "Ad Hoc Mobile Wireless Networks : Protocols and Systems," Prentice Hall, 2001.
- 6) Perkins, "Ad hoc Networking Professional," Addison-Wesley, 2001. 6.
- 7) 김중태, 모상만, 정일용, "모바일 Ad-hoc 네트워크에서의 AODV 기반 최대 비중점 다중경로 라우팅 프로토콜", 한국정보처리학회, 정보처리학회논문지C, 12권, 3호, pp. 429-436, 2005. 8.
- 8) 김기일, 김상하, "MANET에서의 다중 경로 라우팅 프로토콜 연구 동향", 충남대학교, 정보기술논문지, 2004. 6.
- 9) 한승진, "DSR 기반의 대규모 무선 애드 혹 네트워크에서 효율적인 경로 유지", 한국정보처리학회 춘계학술발표대회 논문집, 제12권, 제1호, pp. 1377-1380, 2005. 5.
- 10) 임화정, 차영환, "이동 애드 혹 네트워크를 위한 다중경로 동적 소스 라우팅 프로토콜" 한국정보처리학회, 정보처리학회논문지 C, 제12-C권, 제1호, pp. 111-120, 2005. 2.
- 11) 신재욱, 권혜연, 김응배, "이동 Ad-hoc 네트워크에서의 Flooding 기술", 전자통신동향분석, 제18권, 제6호, pp. 8-18, 2003. 12