

# AODV 기반 애드 혹 네트워크에서 헬로우 메시지를 이용한 효과적인 경로 유지 기법

## (An Efficient Route Maintenance Scheme Utilizing Hello Messages for AODV-based Ad Hoc Networks)

서재홍<sup>†</sup> 김기형<sup>\*\*</sup> 서현곤<sup>\*\*\*</sup>  
 (Jae-hong Seo) (Ki-hyung Kim) (Hyun-gon Seo)

**요약** 애드 혹 네트워크는 노드들의 불규칙적인 이동에 의한 위상변화와 무선네트워크의 특성상 간섭이나 다중경로 페이딩 등으로 인한 일시적인 경로 단절이 생긴다. AODV는 애드 혹 네트워크의 대표적인 요구기반 라우팅 프로토콜이며 경로 단절을 복구하기 위해 지역 경로 복구기법을 사용한다. 본 논문에서는 AODV에 기반하며 일시적인 경로 단절에 보다 효과적으로 대처하기 위하여 헬로우 메시지를 이용한 동적 경로 복구 기법(AODV-ERM)을 소개한다. 제시된 AODV-ERM은 모든 경로 단절에 대해 지역 경로 복구를 실행하지 않고 헬로우 메시지를 이용하여 빠르게 복구할 수 있다. 제시된 기법의 성능평가를 위해 NS2를 이용하여 시뮬레이션 하였으며, 실험결과 제안된 기법이 기존의 AODV에서의 경로유지 기법보다 좋은 경로 유지 성능을 보임을 보여준다.

**키워드** : 애드 혹네트워크, 요구기반 라우팅, AODV, 경로유지

**Abstract** In Ad Hoc Networks, a connection breaks due to the irregular movement of mobile nodes and the inherent characteristics of the wireless medium such as the interference and the multi-path fading. AODV, a typical on-demand routing protocol in Ad Hoc networks, uses the local repair mechanism to cope with the connection breaks. This paper proposes an efficient route maintenance scheme for AODV, named as AODV-ERM, by utilizing hello messages. The proposed AODV-ERM scheme can recover some link breaks efficiently without relying on the expensive local repair process, thereby reducing the repair time. To show the effectiveness of the proposed scheme, we performed extensive simulation with NS2. The simulation results show that the proposed scheme can reduce the repair time effectively and thus, increase the overall packet delivery ratio.

**Key words** : Ad Hoc Networks, On Demand Routing, AODV, Route maintenance

### 1. 서론

최근 무선 네트워크 기술의 급속한 발전과 더불어 이동 무선 컴퓨팅에 대한 응용 범위와 빈도가 급격히 증가하고 있다. 이동 무선 네트워크는 기지국이나 AP(access point)와 같은 하부구조(infrastructure)를 가지는 네트워크와 하부구조가 없는 애드 혹 네트워크(Ad Hoc Network)로 분류된다.

애드 혹 네트워크의 특징은 고정된 하부구조가 없기 때문에 이동 노드들끼리 데이터를 전달할 수 있어야 하는데, 이를 위해 각 이동노드들은 유선 망의 라우터 기능을 수행해야 한다. 또한, 모든 노드들은 이동성을 가지고 있기 때문에 시간에 따라 네트워크 위상이 동적으로 변하고, 배터리 상태에 따른 데이터 전송 반경이 제한되며, 낮은 대역폭과 높은 에러율을 가지고 있다. 이러한 제약조건에도 불구하고 애드 혹 네트워크는 제안 구조, 전쟁터 및 전시장 등과 같은 특수 목적뿐 아니라 하부구조가 없는 일반적인 장소에서 효과적으로 사용될 수 있다[1,2].

애드 혹 네트워크에서의 라우팅 경로 설정 프로토콜은 크게 세가지로 분류될 수 있다. 첫 번째는 프로액티브(Proactive) 또는 테이블기반(Table-driven) 라우팅 프로토콜로서 DSDV(Destination Sequenced Distance

· 이 논문은 2004학년도 영남대학교 학술연구조성비 지원에 의한 것임

† 비 회 원 : (주)윌텍 정보통신 M.Solution 연구원

i3luei2ay@yumail.ac.kr

\*\* 종신회원 : 영남대학교 컴퓨터공학과 교수

kkim@yu.ac.kr

\*\*\* 정 회 원 : 영남대학교 컴퓨터공학과 교수

moses@yumail.ac.kr

논문접수 : 2004년 1월 29일

심사완료 : 2004년 3월 5일

Vector)[3], OLSR(Optimized Link State Routing)[4], TBRPF(Topology Broadcast Based on Reverse-Path Forwarding)[5] 등이 있다. 두 번째는 리액티브(reactive) 또는 요구기반(On-demand) 라우팅 프로토콜로서 DSR(Dynamic Source Routing)[6], AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing)[7,8], TORA(Temporally Ordered Routing Algorithm)[9] 등이 있다. 마지막 세 번째는 혼합형(hybrid) 프로토콜로서 ZRP(Zone Routing protocol)[10]이 그 대표적인 예이다.

AODV는 대표적인 요구기반 라우팅 프로토콜로서, 소스노드가 데이터 전송이 필요할 때에야 비로서 목적지노드까지의 라우팅 경로를 찾게 되는데 이 과정을 라우팅 경로 탐색(route discovery)이라고 한다. 또한 일단 경로를 찾은 뒤에는 데이터 전송이 일어나게 되는데, 이때 노드들의 불규칙적인 이동으로 인한 위상변화에 민감하게 대응하지 못하고, 간섭(Interference) 또는 다중경로 페이딩(Multipath Fading)등과 같은 무선 환경 특성에 의해 라우팅 경로가 연결중간에 자주 끊기게 된다. 이러한 잦은 경로 단절 문제를 완화시키기 위해 AODV는 헬로우(Hello) 메시지를 정의하고 경로상의 이동노드들이 서로 비콘(beacon) 신호로 이용할 수 있도록 하였다. 하지만 여전히 경로 단절은 많이 일어나며, 일단 경로 단절이 일어나면 지역경로 복구(Local repair)를 수행하거나 다시 경로 탐색을 수행하게 된다. 이러한 경로 단절 문제는 애드 혹 네트워크에서 데이터 전송 시간 지연(delivery time delay)을 야기 시켜 서비스 품질(QoS)의 심각한 저하를 일으킨다. 또한 잦은 지역경로 복구 수행 중 발생하는 AODV 메시지의 방송(Broadcast)은 방송폭풍문제(Broadcast Storm Problem)를 야기하게 된다[11].

본 논문에서는 노드의 이동으로 인한 위상변화에 효과적으로 적응하고, 경로 단절이 발생되더라도 지역경로 복구 횟수를 줄이고, 또한 지역경로 복구시간을 줄임으로써 서비스품질을 향상시킬 수 있는 AODV기반의 새로운 경로 유지기법인 AODV-ERM(Efficient Route Maintenance Scheme)을 제안한다. AODV-ERM은 기존의 헬로우 메시지에 목적지 노드의 정보를 담아서 이웃노드에 방송하는데, 이로 인해 목적지 노드까지의 단축경로가 발견되면 이에 적용하는 유연성이 생기며, 또한 경로 단절시 보다 효과적으로 경로복구를 시킬 수 있음을 보인다. 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 NS2[12]와 AODV-UU[13] 시뮬레이터를 사용하였다. 성능평가 결과에서 제안된 기법이 기존의 AODV보다 높은 경로 유지율을 보임을 알 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 AODV에 대하여 소개를 하고, 3장에서 본 논문에서 제안하는

AODV-ERM을 설명한다. 그리고 4장에서 성능평가를 하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. AODV

AODV(Ad Hoc On-demand Distance Vector)는 1999년에 C. Perkins가 제안한 애드 혹 네트워크에서 대표적인 요구기반 라우팅 프로토콜이다[7]. DSDV[3]와 같이 목적지 순차번호를 사용하여 무한 카운팅(Count to Infinity)를 방지하며, DSR[6]과 같이 경로 획득 절차를 사용하지만, DSR은 라우팅 정보를 전체 경로의 cache 형태로 가지고 있는 반면 AODV는 오직 목적노드의 다음홉(Next Hop)으로 이루어진 라우팅 테이블 형태로 라우팅 정보를 관리한다. AODV의 메시지는 RREQ(Route Request), RREP(Route Reply), RERR(Route Error), HELLO, RREP-ACK로 구성되어 있다.

### 2.1 경로 설정 과정

AODV는 네트워크 내의 모든 노드에 대한 경로를 가지고 있는 테이블기반 방식과는 달리 경로가 필요할 때마다 경로설정 과정을 통해 경로를 획득하는 요구기반 라우팅프로토콜이다. 이 경로설정 과정은 송신노드가 목적노드까지 경로가 필요한 경우 RREQ를 방송(Broadcast)하는 경로요청 과정과 RREQ를 수신한 목적노드가 RREP를 전달하는 경로요청 응답과정으로 나눌 수 있다.

송신노드가 목적노드까지 데이터를 보내고자 할 때 송신노드의 라우팅 테이블 엔트리에 목적노드에 관한 정보가 없다면 그림 1(a)와 같이 RREQ를 이웃노드에게 방송하여 목적노드를 찾는다. RREQ 메시지를 수신한 노드는 그림 1(b)에서처럼 RREQ메시지내의 오리지네이터 IP주소(Originator IP Address) 필드를 이용하여 송신노드에 대해 라우팅 엔트리(역방향경로)를 생성하여 저장하고 RREQ의 목적지 IP 주소(Destination IP Address) 필드를 비교하여 자신이 목적노드인지 아닌지를 판단한다. 목적노드가 아니면 RREQ 메시지의 홉수(Hop Count) 필드에 1을 증가시켜 전달(Forward)한다.

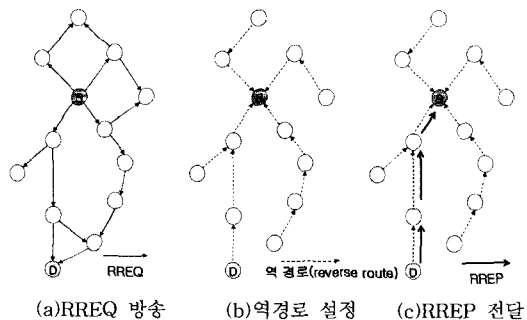


그림 1 경로 탐색 과정

모든 노드들은 자신에 대해 IP 주소 이외에 순차번호(Sequence Number)를 유지하고 있는데, 자신의 순차번호는 RREQ 생성 시 1만큼 증가되어 RREQ에 넣어지므로 동일한 송신 노드의 RREQ 메시지를 수신한 노드들은 RREQ의 오리지네이터 순차번호(Originator Sequence Number) 필드를 자신의 라우팅 엔트리에 있는 송신노드의 순차번호와 비교하여 작거나 같은 경우는 무시하여 라우팅루프가 생기는 것을 방지한다.

여러 경로를 통해 전달된 RREQ를 수신한 노드가 자신의 IP 주소와 RREQ내의 목적지 주소가 같다면, RREP를 생성하여 홉수가 가장 작은 경로를 통해 오리지네이터 노드에게 유니캐스트(Unicast)로 전달한다. 이때, RREP를 수신한 중간노드는 라우팅 테이블에 RREP의 목적지 IP 주소로 엔트리를 생성하고, RREQ에 의해 생성된 역경로를 통하여 오리지네이터노드에게 전달한다. 오리지네이터 노드가 RREP를 받으면 경로생성 과정이 완료된다. 이 과정은 그림 1(c)와 같다.

2.2 경로유지 과정

AODV는 이동성이 큰 환경을 고려하여 설계된 프로토콜이기 때문에 노드의 이동이나 다운에 의한 링크의 신뢰성을 보강해 주기 위해 연결이 이루어진 노드들은 주기적으로 헬로우 메시지를 서로 주고받는다.

헬로우 메시지는 이를 방송하는 노드의 IP 주소와 순차번호를 담고 있으며 이웃노드에게 방송하는 노드 자신의 링크가 유효함을 알리게 된다. 무선 노드들은 제한된 무선 대역폭을 사용하고 있기 때문에 이웃한 노드의 헬로우 메시지를 받지 못할 수도 있다. 때문에 헬로우 메시지를 받지 못하는 것에 대한 허용 횟수(ALLOWED\_HELLO)를 두고 있는데, 일정 시간 (ALLOWD\_HELLO \* HELLO\_INTERVAL) 동안 헬로우 메시지를 포함한 어떠한 제어 메시지도 받지 못하면 노드는 그 이웃한 노드에 대한 라우팅엔트리 상태를 INVALID로 바꾸고 지역경로 복구를 위한 대기상태로 들어간다. 그리고 데이터 패킷이 도착 하면 데이터 패킷의 목적노드로 지역경로 복구를 수행한다.

2.3 지역경로 복구

경로탐색 과정을 통해 생성된 경로는 데이터 전송 중에는 유지되어야 한다. 그러나 에드 혹 네트워크의 특성상 노드들의 불규칙적인 이동에 의해 노드의 위상이 바뀌거나 전송범위가 벗어나는 노드의 이동성에 의한 링크 단절이 있고, 또한 무선 네트워크의 특성상 간섭과 다중경로 전달 등과 같은 이유로 링크 단절이 생기게 된다. 이 때 링크단절을 발견한 노드는 두 가지 중 한 가지 방식으로 처리를 한다.

먼저 첫 번째 방법은 링크 단절이 목적노드 가까운 곳에서 생겼다면, 지역 경로복구(local repair)를 통해

경로를 복구한다. 이 때 지역 경로복구가 가능한 범위는 경로단절이 발생한 노드에서 목적지 노드까지의 홉수가 MAX\_REPAIR\_TTL (일반적으로 TTL=10) 보다 작은 범위이다.

두 번째 처리 방법은 경로 끊어짐이 MAX\_REPAIR\_TTL 보다 밖에서 생겼을 때 사용하는데, 이 때 경로단절을 발견한 노드는 RERR 메시지를 이용하여 오리지네이터 노드에게 경로 끊어짐을 알리고 RERR메시지가 통과되는 중간노드들에게는 목적노드까지 생성된 라우팅 엔트리를 삭제하도록 하고, 오리지네이터 노드는 새롭게 경로탐색 과정을 시작하게 된다.

지역 경로복구 과정은 그림 2와 같다. 노드 u와 i 사이에 경로단절이 발생 하였을 때, 노드 u는 노드 i를 다음 홉으로 하는 목적지 노드 D의 순차 번호를 1만큼 증가시키고 라우팅상태 필드를 VALID에서 INVALID로 변경 시킨다. 이 때 노드 D를 목적지로 하는 데이터 패킷이 노드 u에 도착하게 되면, 노드 D를 향해 RREQ를 방송함으로써 지역 복구를 시작하게 된다. 이때 발생된 RREQ는 노드 D까지 플러딩(flooding)되어 전달된다. RREQ를 수신한 노드 D는 노드 u까지 RREP로 응답함으로써 지역경로 복구가 완료가 된다.

노드가 경로복구를 실행하는 동안 송신노드로부터 도착한 모든 데이터 패킷은 노드의 인터페이스 큐에 저장되며,

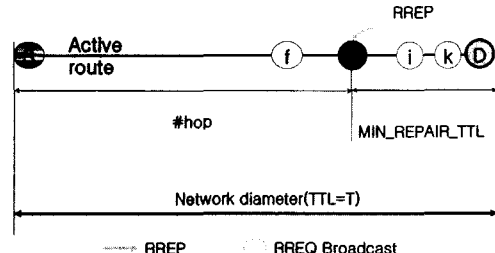
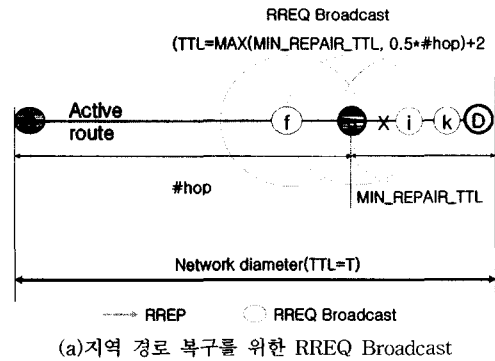


그림 2 지역 경로 복구(Local Repair) 과정

경로가 다시 복구된 후에 목적지 노드에게 전송된다.

### 3. AODV-ERM

기존의 AODV에서 한번 RREQ와 RREP에 의해 설정된 경로는 계속적으로 유지하려는 성질이 있다. 즉 노드의 이동에 의해 경로 중간 노드들 간에 단축 경로가 생길 수 있지만, 새로운 경로 탐색이 없이는 계속해서 기존의 경로를 유지하려는 것이다. 또한 기존의 AODV에서 지역경로 복구 상에서 비효율적인 부분이 있는데, 링크 단절이 발생하는 원인은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 애드 혹 네트워크의 특성상 노드의 불규칙적 이동에 의해 중간 노드 간 전송범위가 서로 벗어나서 생기는 링크 단절이 있고, 간섭 또는 다중 경로 페이딩에 의한 에러 및 802.11 MAC 계층에서의 충돌(Collision) 등에 의해 발생하는 일시적인 링크 단절이 존재한다. 전자의 경우는 링크 단절이 발생하면 이전 경로의 다음 홉 노드가 더 이상 이웃노드(Neighbor Node)가 아니게 되므로 링크가 끊어진 노드는 목적지노드까지 새로운 경로 탐색을 해야만 한다. 그러나 후자의 경우는 링크 단절이 발생하여도 단절 이전 노드의 다음 홉 노드가 여전히 이웃노드로 존재한다.

본 논문에서 제시하는 AODV-ERM은 헬로우 메시지에 목적지 노드에 대한 정보를 추가(piggyback)하여 발송한다. 헬로우 메시지를 받은 이웃노드들은 헬로우 메시지내의 목적지 노드 정보를 이용하여 끊어진 라우팅 경로를 복구할 뿐 아니라 홉 수가 적은 새로운 경로가 있다면 동적으로 경로를 변경한다.

3.1절에서 헬로우 메시지에 목적노드 정보를 추가하는 방법에 대해 설명하고, 3.2절에서 새로운 순차번호 유지 방법에 대해서 설명하고, 3.3절에서 Triggered Update 방법을 알아본다.

#### 3.1 헬로우 처리 과정

헬로우 메시지에 라우팅 테이블에 있는 목적지 노드를 추가하기 위해서는 라우팅 테이블 엔트리에서 활성화된 목적지 노드 엔트리를 찾아내야만 한다. 활성화된 목적지 노드란 데이터 전달이 실제로 일어나는 목적지 노드를 의미한다. 그러나 기존 AODV의 라우팅 테이블 엔트리의 목적지 노드 IP 주소 (Destination IP Address) 필드는 경로가 존재하는 목적지 노드를 의미하고, 활성화된 목적지 노드만을 의미하지는 않는다. 따라서 라우팅 테이블의 목적지 IP 주소 필드를 모두 헬로우 메시지에 추가하게 되면 헬로우가 무거워지게 된다.

AODV-ERM에서는 활성화된 경로의 목적지 노드 IP만을 알아내기 위해서 우선 라우팅 테이블의 엔트리 필드에 E 플래그(flag)를 추가 하였다. E 플래그는 활성화된 경로를 의미하게 된다. 즉, 데이터 패킷을 받게 되면

라우팅 하기 전에 오리지네이터노드와 목적지노드 각각의 다음 홉 노드에 대해 라우팅 타이머를 갱신하고 목적지 노드에 대해 E 플래그를 셋팅하는 것이다[4]. 따라서 주기적인 헬로우 메시지가 발송될 때 라우팅 테이블의 여러 엔트리 중에서 라우팅 상태가 VAILD하고 E플래그가 셋팅되어 있는 엔트리만 추출하는 것이 가능하다.

이렇게 추출된 정보를 새로운 형식의 헬로우 메시지의 RT\_END\_NODE 필드에 추가하여 헬로우를 발송한다. 이렇게 함으로써 경로 복구에 꼭 필요한 활성화 경로의 목적지 노드만을 헬로우 메시지에 추가할 수 있게 된다. 그림 3은 새로운 형식의 헬로우 메시지를 보여준다. 기존의 헬로우 메시지 형식인 HELLO 필드와 새로 추가된 RT\_END\_NODE 필드로 구성되어 있음을 알 수 있다.

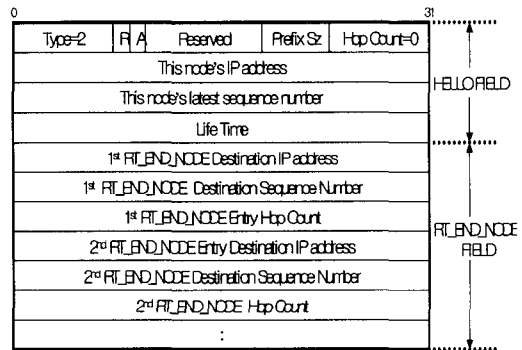


그림 3 새로운 헬로우 메시지 형식

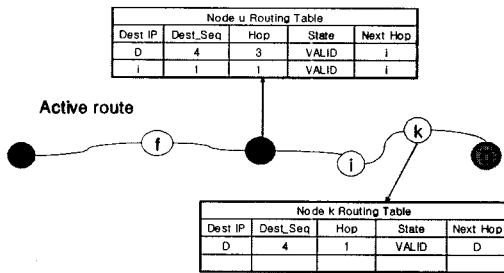
그림 3과 같이 헬로우 메시지는 HELLO 필드와 RT\_END\_NODE 필드로 구분할 수 있다. 이 두 필드는 각각 성격이 달라서 갱신 방식도 달라야 한다. HELLO 필드의 갱신 방법은 기존의 헬로우 메시지처럼 헬로우에 포함되어있는 순차번호가 우선한다. 예를 들면 라우팅 테이블에 순차번호가 높어도 헬로우 필드에 포함되어 있는 순차번호로 갱신하게 된다. 반면에 RT\_END\_NODE 필드의 라우팅 정보가 라우팅 테이블에 존재하지 않으면 추가하고, 존재하면 순차번호와 홉수 그리고 엔트리의 상태에 따라 갱신되도록 하였다. 그 갱신 조건은 다음과 같다.

RT\_END\_NODE 필드의 목적지 주소 각각에 대해 해당 순차번호를 END\_SEQ이라고 하고 홉수를 END\_HOP이라고 하자. 그리고 라우팅 테이블에 해당 목적지 주소가 있을 경우 그 목적지 주소의 순차번호를 RT\_SEQ, 홉수를 RT\_HOP, 그리고 엔트리 상태를 RT\_STATE라 한다면 라우팅 테이블엔트리의 업데이트 조건은 다음 식과 같다.

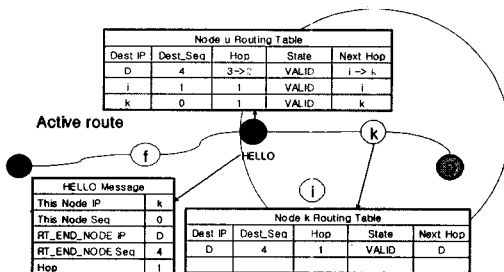
END\_SEQ > RT\_SEQ ||  
 (END\_SEQ==RT\_SEQ&&END\_HOP+1<RT\_HOP) ||  
 (END\_SEQ==RT\_SEQ&&END\_HOP+1==RT\_HOP&&  
 & RT\_STATE\_INVALID) (1)

헬로우 메시지에 활성화된 경로의 목적지 노드를 추가하게 되면 다음과 같이 세 가지 장점을 가진다. 먼저, 첫번째 장점으로 그림 4와 같이 기존의 활성화 경로보다 좀 더 짧은 새로운 경로가 가능할 때 경로를 동적으로 줄일 수 있다. 그림 4에서 노드 k가 노드 u의 전송 범위로 이동해 오면 수식 (1)에 의해 노드 u에서 활성화된 목적지 노드 D에 대해 기존의 노드 i를 경유한 경로보다 노드 k를 직접 경유하는 경로가 더 흡수가 적음을 알 수 있고 새로운 경로로 라우팅 경로를 변경하게 된다.

두 번째 장점으로, 그림 5는 경로 단절이 발생한 후 실제로 지역경로 복구가 시행되기 이전(즉, 경로의 해당 목적지로 향한 데이터 패킷이 노드 u에 도착하기 전) 헬로우 메시지를 이용해 단절된 경로가 복구될 수 있다면 지역경로 복구 횟수를 줄일 수 있게 된다. 그림 5 (a)는 노드 u와 노드 i 사이에서 간섭 및 충돌 등에 의해 일시적 경로 단절이 발생한 경우이다. 이때 노드 i가 헬로우 메시지를 발송한다면 노드 u는 활성화된 목적지 노드 D에 대한 경로가 헬로우 메시지에 있음을 확인하고(수식 1참조) 그림 5 (b)와 같이 경로를 복구하게 된다.



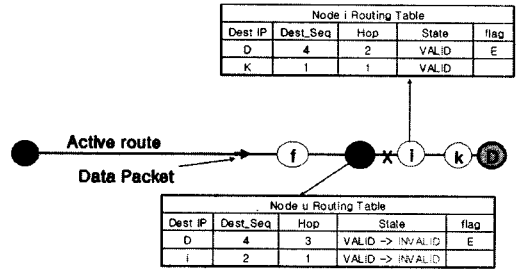
(a) 노드 k가 노드 u의 전송 범위로 이동



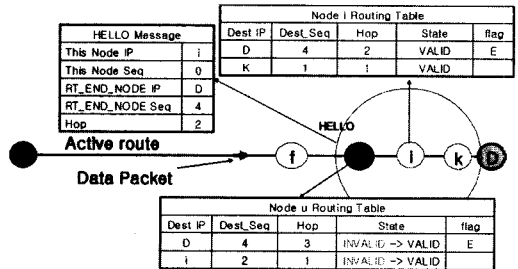
(b) 노드 k의 헬로우 메시지에 의해 노드 u의 라우팅 테이블 갱신

그림 4 동적 경로 단축

마지막 세 번째 장점으로, 그림 6은 지역경로 복구가 수행 중에도 목적지 노드에 의한 RREP 메시지가 아닌 헬로우 메시지에 의해 경로 복구가 가능하여 빠른 경로 복구가 가능함을 보인다. 그림 6 (a)에서 노드 u와

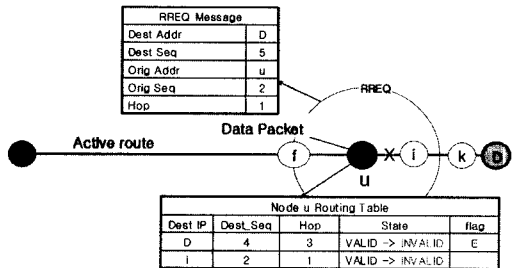


(a) 노드 u와 노드 i 사이에서 경로 단절 발생

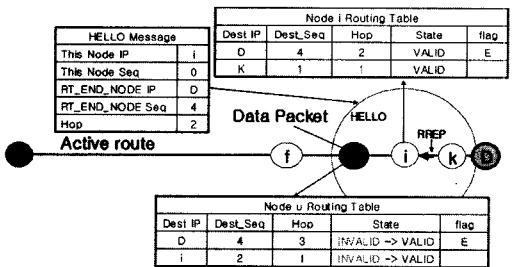


(b) 노드 u에서 헬로우 메시지에 의한 경로 복구

그림 5 지역 경로복구 전 링크 복구



(a) 노드 u에서 지역 경로 복구를 위한 RREQ 방송



(b) RREP를 받기 전 노드 i의 헬로우 메시지로 경로 복구

그림 6 RREP를 받기 전 링크 복구

노드  $i$  사이의 경로가 단절되고 데이터 패킷이 노드  $S$ 로부터 노드  $u$ 에 도착한다면 노드  $u$ 는 즉시 지역 경로 복구 프로세스에 들어가게 된다. 즉, 목적지 노드  $D$ 를 찾기 위한 RREQ 메시지를 방송하게 된다. AODV에서는 목적지 노드  $D$ 가 RREP로 응답할 때에야 경로가 복구 되겠지만, 제안된 기법에서는 그림 6 (b)와 같이 노드  $i$ 가 방송한 헬로우 메시지에 의해 경로가 빨리 복구될 수 있다.

### 3.2 순차번호 관리

AODV-ERM에서 경로 단절이 일어난 경우 지역 경로 복구를 시작하는 경로 단절 발견 노드가 목적지 노드에 대한 순차 번호를 관리 하는 방법이 변화 되었다.

그림 2에서 기존의 AODV에서는 노드  $u$ 와 노드  $i$  사이에 링크 단절이 발생되면 노드  $u$ 는 라우팅 테이블 엔트리에서 목적지 노드  $D$ 의 순차번호를 1만큼 증가시키고, 지역 경로 복구를 수행하게 된다. 따라서 지역 경로 복구를 위해 방송된 RREQ 메시지에는 1만큼 증가된 노드  $D$ 의 순차번호가 포함되어 있다. 이것은 DSDV에서와 같이 라우팅 루프를 방지하기 위함이다.

AODV-ERM에서는 노드  $i$ 가 방송하는 헬로우 메시지를 이용하여 노드  $u$ 가 빠른 경로 복구를 할 수 있게 하기 위해 노드  $u$ 의 라우팅 테이블에서 목적지 노드  $D$ 에 대한 순차번호를 1만큼 증가시키지 않는다. 다만 라우팅 루프를 방지하기 위하여 지역 경로 복구를 위하여 생성되는 RREQ에는 1만큼 증가된 노드  $D$ 의 순차번호를 사용한다.

### 3.3 트리거드 헬로우 방송(Triggered HELLO Broadcast)

그림 5에서 노드  $u$ 가 지역경로 복구 수행 중 목적지 노드  $D$ 로부터 RREP를 받기 전에 노드  $i$ 의 헬로우에 의해 업데이트되는 것을 살펴보았다. 그러나 헬로우 메시지는 HELLO\_INTERVAL(기본값: 1000msec)이란 간격으로 두고 방송된다. 따라서 경로 단절 후 노드  $u$ 가 노드  $i$ 로부터 헬로우 메시지를 받을 평균 대기시간은  $0.5 \cdot \text{HELLO\_INTERVAL}$ 이 된다. 따라서 평균대기 시간을 줄이기 위해 노드  $u$ 가 RREQ 메시지를 방송하면 이 메시지를 수신한 노드  $i$ 가 즉시 헬로우 메시지를 방송하는 트리거드 헬로우 기법을 적용하였다.

트리거드 헬로우 방송을 위해 기존의 RREQ 메시지에 L(Local Repair) 플래그를 추가하였다. 이 L 플래그는 지역 경로 복구를 위해 RREQ 메시지를 생성할 때 세팅하는 플래그이고 그림 5의 노드  $i$ 와 같이 RREQ(L=1) 메시지 방송 노드의 이웃노드는 수신한 RREQ 메시지의 L 플래그가 세팅되어 있음을 확인한 후 즉시 헬로우 메시지를 방송하고, RREQ(L=0)를 포워딩 하게 된다. L 플래그를 도입함으로써 트리거드 헬로우는 지

역 복구를 시작하는 노드로부터 1 홉 내에서만 일어난게 되는 것이다.

## 4. 성능 평가

제안된 AODV-ERM의 성능 평가를 위해 NS-2[12]를 사용하였으며 AODV-ERM 코드는 AODV-UU[13]를 기반으로 본 논문에서 제시한 알고리즘을 구현하여 시뮬레이션을 실시하였다.

시뮬레이션의 객관성을 보장하기 위해 동일한 시뮬레이션 시나리오로 AODV-ERM과 기존 AODV를 각각 시뮬레이션하여 성능을 비교평가하였다. 4.1절에서는 각 시뮬레이션 모델과 성능평가 항목에 대해서 설명하고 4.2절에서는 시뮬레이션 결과에 대해서 살펴보고 4.3 절에서는 시뮬레이션 결과를 분석하였다.

### 4.1 시뮬레이션 모델

실험에서는 50개의 노드가 1500mx600m의 사각형 지역에서 random waypoint 이동성 모델에 따라서 움직인다. 각 노드는 IEEE 802.11 표준 MAC계층을 사용한다. Radio 모델은 250m의 거리를 갖는 1세대 WaveLAN 모델을 사용하였으며 전송속도는 2Mbps이다. Random waypoint 이동성 모델에서는 각 노드가 랜덤하게 설정된 방향으로 최대 20m/sec의 속도로 이동하며 목적지에 도달하게 되면 일정한 정지시간(pause time) 동안 멈추었다가 다시 새로운 목적지를 랜덤 하게 정하고 이동을 시작한다. 본 실험에서는 0 에서 500초까지 정지시간을 변화시키며 시뮬레이션을 하였으며, 총 500 초 동안 시뮬레이션 하였다. 트래픽 소스는 CBR(constant bit rate)을 사용하였으며 10 패킷/초의 일정한 속도로 512바이트크기의 UDP 트래픽을 생성한다. 또한 실험의 정확성을 위해 모든 경우에 대해 5번씩 서로 다른 이동 시나리오를 생성하여 평균을 내었다.

실험에서는 다음과 같은 성능지수를 평가하였다. 패킷 전달 비율(Packet Delivery Ratio)은 소스에 의해 보내진 패킷과 목적지에 도달한 패킷의 수의 비율이다. 정규화된 라우팅 로드(Normalized Routing Load)는 목적지에 도달한 데이터패킷의 수와 전송된 AODV 제어 패킷의 수의 비율로서 한 개의 데이터 패킷당 필요한 제어 패킷을 의미한다. 평균 단대단 지연시간(Average End-to-End Delay)은 각각 소스에서 목적지까지의 최대 및 평균 지연시간을 의미한다.

### 4.2 시뮬레이션 결과

그림 7은 휴지시간에 따른 패킷 전달 비율을 보여준다. CBR 트래픽 모델에서 이 항목은 처리율(Throughput)과 밀접한 관계를 가지고 있다. 전체적으로 휴지시간이 50s를 제외하고 전달 비율이 증가한 것을 볼 수 있는데, AODV-ERM이 기존의 AODV에 비해 경로복구가 효

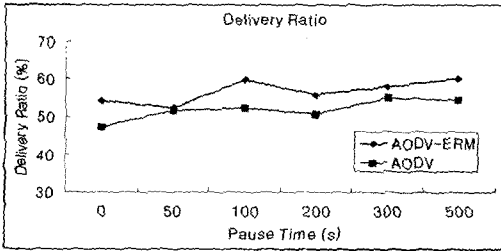


그림 7 패킷 전달 비율

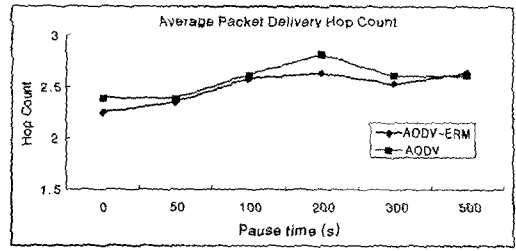


그림 10 평균 패킷 전달 홉수

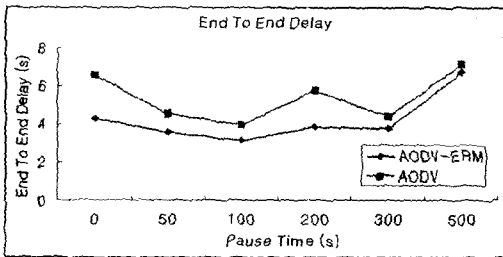


그림 8 평균 단대단 지연시간

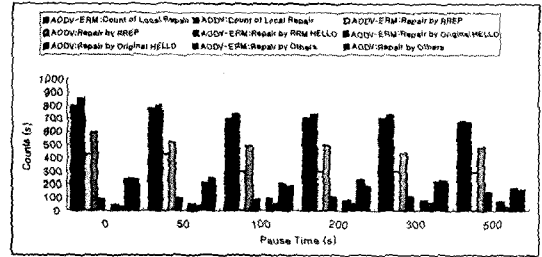


그림 11 지역 경로 복구 기법의 분석

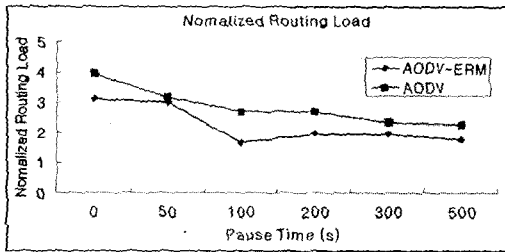


그림 9 정규화된 라우팅 로드

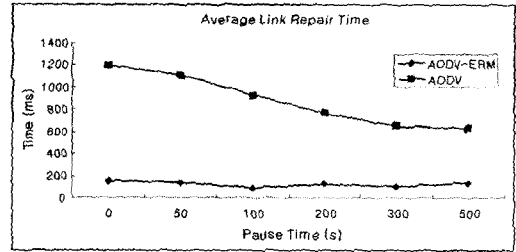


그림 12 평균 경로 복구 시간

울적으로 이루어진 것이라고 볼 수 있다.

그림 8은 평균 단대단 지연시간을 비교한 것이다. 이 항목은 데이터 패킷이 송신노드에서 출발하여 목적지 노드까지 도착한 평균 지연시간이다. 이 지연시간은 송신노드가 데이터를 보내기 위해 경로탐색 과정과, 지역 경로복구 과정에서 발생하는 시간지연도 포함하고 있다. 그림 8에서 보는 바와 같이 AODV-ERM의 지연시간이 짧은 것을 볼 수 있다. 이는 AODV-ERM은 지역 경로 복구 과정에서 이웃노드의 헬로우 메시지에 의해 경로가 복구되기 때문에 기존의 AODV에 비해 지역경로 복구과정에서 지연시간이 대폭 줄어들었고, 노드의 이동성에 의한 경로 축소가 가능하기 때문에 상대적으로 지연시간이 짧아진 것으로 볼 수 있다.

그림 9는 정규화된 라우팅 로드(Normalized Routing Load)를 보여준다. 전반적으로 AODV-ERM이 더 낮은 라우팅 로드를 보여주는데 이는 AODV-ERM이 경로가 끊어졌을 때 지역 경로 복구 전에 이웃노드로부터 경로

복구가 가능함으로써 지역 경로복구 횟수를 줄일 수 있음을 보여준다.

그림 10은 평균 단대단 패킷 전달 홉수를 그래프로 나타내었다. AODV-ERM의 헬로우 메시지는 노드의 이동성에 의해 기존의 경로보다 홉수가 작은 경로가 발견될 경우 경로단축이 가능하기 때문에 평균 단대단 패킷 전달 홉 수를 단축시키는 중요한 요소가 된다. 그림 10에서 휴지시간 500을 제외하고, 패킷 전달 Hop 수가 줄어든 것을 볼 수가 있다.

그림 11, 12, 13은 지역 경로 복구에 관한 분석결과를 보여준다. 그림 11은 지역 경로 복구 횟수와 실제적으로 경로가 복구된 원인을 분석한 것이다. AODV의 경로복구는 기본적으로 올라지네이터 노드가 목적지 노드로부터 RREP를 받았을 때 가능하고, 링크가 끊어진 노드가 목적지 노드의 바로 이웃 노드인 경우는 기본적인 헬로우 메시지에 의해서 복구가 가능하다. 그 밖의 다른 원인으로서는 지역 경로 복구 수행 중에 다른 RREQ를 전

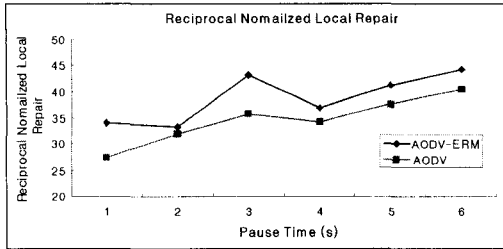


그림 13 정규화된 지역 복구 횟수

달받아 경로 복구 이루어지기도 하고, 또한 이웃노드의 방송메시지에 의해서도 가능하다. 여기서 AODV-ERM은 헬로우 메시지의 RT\_END\_NODE 필드에 의해서도 경로 복구 가능한데, 이 방법에 의해 경로가 복구될 경우 기존의 RREP에 의한 경로 복구에 비해 경로 복구 지연 시간 단축이 가능하다. 그림 11에서 보는 바와 같이 AODV-ERM은 RREP의 의한 복구가 대폭 줄어들었고 헬로우의 RT\_END\_NODE 필드에 의한 경로 복구가 이루어진 것을 볼 수 있는데, 이것은 그림 12의 경로 복구 지연시간을 줄이는 중요한 원인이 되며, 이는 바로 그림 8의 평균 단대단 지연시간을 단축시키고 그림 7의 패킷 전달 비율을 높이는 직접적인 원인이 된다.

그림 12는 지역 경로 복구 횟수를 목적노드가 받은 데이터 패킷 수로 정규화한 값의 역수를 취한 그래프이다. 이 그래프의 의미는 경로복구 1회당 목적지 노드가 받은 데이터 패킷을 의미한다. AODV-ERM은 기존의 AODV 보다 경로 복구 1회당 훨씬 많은 데이터를 전송하고 있음을 확인할 수 있다. 이것은 AODV-ERM의 경로 연결성이 강하고, 강한 연결성에 의해 전체적인 라우팅 로드가 줄어든 원인이 된다.

## 5. 결론

본 논문에서는 애드 혹 네트워크의 대표적인 요구 기반 라우팅 프로토콜인 AODV를 위한 새로운 경로 관리 기법을 제안하였다. 애드 혹 네트워크는 노드의 이동성으로 인해 네트워크 위상이 동적으로 변하고, 무선네트워크의 특성상 간섭, 다중패스 페이딩 등의 이유로 일시적 경로 단절이 발생한다. 기존의 AODV는 어떠한 이유이든 경로 단절이 발생하면 지역 경로 복구를 통해 많은 제어 메시지를 발생시킨다. 본 논문에서 제시한 AODV-ERM은 AODV의 경로 관리기능을 분석하고 헬로우메시지에 목적지 노드에 대한 정보를 추가함으로써 탄력있는 경로 관리기능을 구현하였다. 시뮬레이션 실험을 통하여 AODV-ERM이 패킷전달 비율과 전달 지연시간을 줄일 수 있음을 보였다.

## 참고 문헌

- [1] E. M. Royer and C.-K. Toh, "A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless Networks," IEEE Personal Communications, April 1998, pp. 46-55.
- [2] C.-K. Toh, "Ad Hoc Mobile Wireless Networks Protocols and Systems," Prentice Hall PTR, 2002, pp.13-25.
- [3] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," Computer Communication, October 1994, pp.234-244.
- [4] T. Clausen, P. Jacquet, A. Laouiti, P. Minet, P. Muhlethaler, A. Qayyum and Laurent Viennot, "Optimized Link State Routing Protocol," Internet Draft, IETF MANET Working Group, draft-ietf-manet-olsr-07.txt, December 2002.
- [5] R. G. Ogier, M. G. Lewis and F. L. Templin, "Topology Broadcast Based on Reverse-Path Forwarding," Internet Draft, IETF MANET Working Group, draft-ietf-manet-tbrpf-06.txt, November 2002.
- [6] D. B. Johnson, D. A. Maltz, Yih-Chun Hu and J. G. Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," Internet Draft, IETF MANET Working Group, draft-ietf-manet-dsr-07.txt, February 2002.
- [7] C. E. Perkins, "Ad Hoc On-Demand Distance Vector(AODV) Routing," Internet Draft, IETF MANET Working Group, draft-ietf-manet-aodv-12.txt, November 2002.
- [8] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," proceedings of the 2ndIEEE workshop on Mobile Computing Systems and Applications, New Orleans, LA, February 1999, pp. 90-100.
- [9] V. Park and M. Corson, "Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA) Version 1-Functional Specification," Internet Draft, IETF MANET Working Group, draft-ietf-manet-tora-spec-02.txt, October 1999.
- [10] J. Haas and M. R. Perlman, "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks," Internet Draft, IETF MANET Working Group, draft-ietf-manet-zone-03.txt, March 2000.
- [11] S.NI, Y.Tseng, Y.Chen, and J.Sheu. "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," In Proceedings of MOBICOM 1999.
- [12] K. Fall and K. Varadhan, Eds., "ns notes and documentation," 1999, available from <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [13] B. Wiberg, "Porting AODV-UU implementation to ns-2 and Enabling Trace-based Simulation," Uppsala University Master's Thesis in Computer Science, December 18, 2002.



서 재 홍

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 31 권 제 1 호 참조

김 기 형

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 31 권 제 1 호 참조

서 현 곤

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 31 권 제 1 호 참조