

MANET에서의 AODV 기반 2홉 동적 경로유지 기법 연구

문 대 근[†] · 김 학 배^{††}

요 약

이동성을 가진 다수의 노드들로 구성된 MANET (Mobile Ad-hoc Networks)에서는 네트워크 토폴로지의 빈번한 변화에 효과적으로 대응할 수 있는 요구기반 (On-Demand) 방식의 라우팅 프로토콜이 주로 사용된다. 대표적인 요구기반 라우팅 프로토콜인 AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector)는 데이터 전송을 위하여 경로의 다음노드 (Next-Hop)가 기록된 각 노드의 경로테이블을 기반으로 운영되며 설정된 경로는 유효기간이 만료되거나 경로단절이 발생되지 않을 경우에 그대로 유지된다. 본 연구에서는 AODV를 기반으로 설정된 경로의 2홉 범위 내에서 동적 경로변경을 제공하는 부분적응형 경로유지 기법 (AODV-PA)을 제안한다. 제안된 기법은 경로탐색 과정에서 경로의 다음노드 뿐 아니라 다음노드의 다음노드 (즉, 2홉-다음노드) 정보를 취득하여 상황에 따라 보다 효율적인 경로를 선택할 수 있도록 하며 이러한 경로변경으로 인한 예기치 못한 경로단절 발생을 막기 위하여 HELLO 메시지를 통한 부가적인 경로테이블 관리를 수행한다. NS-2를 이용한 시뮬레이션 결과는 제안된 기법이 기존의 AODV보다 패킷 전달비율, 지연시간, 라우팅부하 측면에서 향상된 성능을 제공함을 보여준다.

키워드 : 모바일 애드 호크 네트워크, 요구기반 라우팅, AODV, 경로유지

An AODV-Based Two Hops Dynamic Route Maintenance in MANET

Daekeun Moon[†] · Hagbae Kim^{††}

ABSTRACT

A mobile ad-hoc network (MANET) is an autonomous, infrastructure-less system that consists of mobile nodes. In MANET, on-demand routing protocols are usually used because network topology changes frequently. AODV, which is a representative on-demand routing protocol, operates using the routing table of each node that includes next-hop of a route for forwarding packets. It maintains the established route if there is not an expiration of route or any link break. In the paper, we propose a partially adaptive route maintenance scheme (AODV-PA) based on AODV, which provides dynamic route modification of initial route for selecting the effective route using not only next-hop but also next-hop of next-hop (i.e. 2-hop next node) acquired through route discovery process. In addition, the proposed scheme additionally manages the routing table for preventing exceptional link breaks by route modification using HELLO messages. We use NS-2 for the computer simulation and validate that the proposed scheme is better than general AODV in terms of packet delivery ratio, latency, routing overhead.

Key Words : Mobile ad-hoc network (MANET), On-demand routing, AODV, Route maintenance

1. 서 론

MANET은 기지국이나 유선망 등의 고정된 하부구조가 존재하지 않는 이동성을 갖는 노드들로 구성된 네트워크[1]로서 재난 및 재해지역이나 전쟁터 같은 기반시설이 없는 환경이나 홈 네트워크나 센서 네트워크, PAN (Personal Area Network) 등의 응용분야에 적용이 가능하다. MANET을 구성하는 노드들은 서로 간의 멀티 홉 경로를 통한 연결을 지원하기 위하여 라우터의 역할을 수행하며 배터리에 의한 한정된 용량의 에너지 범위 내에서 동작한다. 따라서 호

울적인 노드 간의 경로관리와 에너지 소비를 위한 적절한 라우팅 프로토콜의 적용은 네트워크 전체 성능을 좌우하는 가장 중요한 요소 중에 하나이다.

MANET에서는 노드들의 이동성으로 인한 잦은 토폴로지 변경과 한정적인 전원 용량 등의 제한요소들로 인하여 필요할 경우에만 라우팅 경로를 구성하는 요구기반 방식의 라우팅 프로토콜이 주로 적용된다. 요구기반 방식의 대표적인 라우팅 프로토콜은 DSR (Dynamic Source Routing)[3]과 AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector)[2]가 있으며 각 라우팅 프로토콜은 경로탐색, 데이터전송, 경로유지 방법을 제공한다. 소스 라우팅 방식에 기초하는 DSR은 경로탐색 과정에서 목적노드까지의 모든 경로정보를 취득하고 이를 데이터 헤더에 추가하여 전송하는 방식으로 데이터 전송

[†] 준 회 원 : 연세대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정

^{††} 정 회 원 : 연세대학교 전기전자공학과 교수

논문접수 : 2006년 12월 13일, 심사완료 : 2007년 3월 19일

을 위한 오버헤드가 상대적으로 높다. AODV는 경로탐색 과정에서 각각의 중간노드가 목적노드까지의 데이터를 전송할 수 있는 다음노드 (Next-Hop)에 대한 경로테이블을 유지하도록 함으로써 전체적인 경로정보 없이 지역적인 정보를 통하여 목적노드에 데이터를 전달할 수 있도록 하는 방식이다.

지금까지 AODV 라우팅 프로토콜을 기반으로 설정된 경로를 효율적으로 유지하기 위한 다양한 경로유지 기법 연구가 진행되어 왔다[4,5,6]. [4]에서 S. Wu, S. Ni, Y. Tseng, J. Sheu는 데이터 헤더에 목적노드까지의 홉수와 시퀀스번호를 추가하여 중간노드에 저장되어 있는 경로테이블의 해당 목적노드 내용과 비교함으로써 경로정보의 갱신이 필요한 경우 경로응답메시지 (RREP)를 통하여 해당 경로정보를 갱신하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 데이터의 헤더크기 증가와 불필요한 경로응답메시지의 브로드캐스팅을 유발할 수 있다. [5]에서 M. Tauchi, T. Ideguchi, T. Okuda는 경로단절 발생에 의한 새로운 경로탐색을 최소화하기 위해서 경로단절 이전에 수신된 전력, 경로의 중복성, 배터리, 노드의 밀도 등을 통한 경로단절의 위험성을 조사하는 방법을 제안하였다. 이 방법의 경우 경로단절의 위험성을 점검하기 위해 다양한 정보를 운영과 부가적인 제어메시지 교환으로 인한 오버헤드를 감수해야 한다. [6]에서 W. Choi, S.K. Das, I.H. Lee는 네트워크를 랜덤하게 돌아다니는 NCP (Nomadic Control Packet)을 이용한 동적 경로유지 기법을 제안하였다. 경유노드 ID 및 혼잡상태 등의 정보를 포함하는 NCP의 적용은 네트워크의 동적 관리를 제공하지만 경로갱신주기, NCP의 부하, NCP의 경유범위 등의 설정 요소에 의존적으로 동작한다.

위 관련연구들의 제약사항을 극복하기 위해 본 연구에서는 AODV를 기반으로 설정된 경로의 2홉 범위 내에서 동적 경로변경을 제공하는 부분적응형 경로유지 기법 (AODV-PA)을 제안한다. 제안된 기법은 경로탐색 과정에서 경로의 다음노드 뿐 아니라 다음노드의 다음노드 (즉, 2홉-다음노드) 정보를 취득하여 상황에 따라 보다 효율적인 경로를 선택할 수 있도록 하며 이러한 경로변경으로 인한 예기치 못한 경로단절 발생을 막기 위하여 HELLO 메시지를 통한 부가적인 경로테이블 관리를 수행한다. 이를 위하여 경로테이블에서 목적노드까지의 다음노드와 2홉-다음노드에 대한 정보를 관리할 수 있도록 경로테이블과 경로탐색을 위한 경로요청메시지 (RREQ)/경로응답메시지 (RREP)를 보완하고 주기적인 HELLO 메시지에 의해 관리되는 이웃노드 리스트를 이용하여 경로정보를 동적으로 변경하도록 한다. 또한 2홉-다음노드가 일시적으로 이웃노드로 등록되었다가 삭제되어 네트워크에 불필요한 오버헤드를 유발하거나 경로변경 후 유효기간 만료로 기존경로가 폐기되는 등의 경로변경으로 인해 발생할 수 있는 문제점을 보완하기 위해서 변경경로에서 기존 경로로의 복귀 기능과 HOLD/RELEASE 명령이 포함된 HELLO 메시지를 통한 부가적인 경로테이블 관리 기능을 제공한다. 마지막으로 경로단절에 따른 새로운 경로탐색을

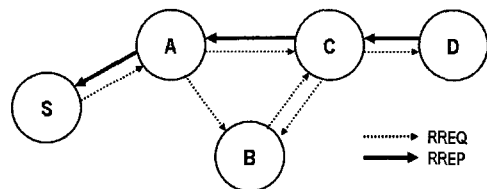
위한 경로요청메시지의 브로드캐스팅과 지연시간 증가 등의 오버헤드를 최소화하기 위해서 지역적 경로복구 기법을 적용한다. 여기에서 효율적인 경로복구를 위한 AODV 기반 지역적 경로복구 기법도 다양한 연구가 진행되어 왔으나 [8,9,10] 본 연구에서는 설정된 경로의 동적 경로유지에 초점을 맞추고 있으므로 AODV의 일반적인 지역적 경로복구 기법을 사용한다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 일반적인 AODV 라우팅 프로토콜에 대한 전반적인 내용에 대하여 언급하고 3장에서는 제안된 부분적응형 경로유지 기법에 대하여 설명한다. 4장에서는 NS-2를 통한 시뮬레이션을 통하여 제안된 기법이 향상된 성능을 제공함을 보이고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜

2.1 AODV의 경로탐색

1999년 C. Perkins가 제안한 AODV는 대표적인 요구기반 라우팅 프로토콜로 네트워크 내의 모든 노드들은 데이터 전달을 위한 경로테이블을 유지 및 관리한다. AODV의 경로탐색 및 유지관리는 경로요청메시지 (Route Request: RREQ), 경로응답메시지 (Route Reply: RREP), 경로오류메시지 (Route Error: RERR)를 통하여 이루어진다. 경로요청메시지는 소스노드가 목적노드로의 경로를 생성하기 위해 사용하는 제어메시지로 소스노드는 새로운 경로가 필요한 경우 경로요청메시지를 네트워크에 브로드캐스팅한다. 경로응답메시지는 경로요청메시지에 대한 응답으로서, 경로요청메시지를 수신한 노드가 자신이 목적노드이거나 목적노드까지의 경로정보를 가지고 있는 중간노드일 경우에 경로응답메시지를 소스노드에 유니캐스트 방식으로 전달한다. 경로오류메시지는 목적노드까지의 경로 상에 연결이 단절되었을 경우 이를 감지한 노드가 소스노드에게 경로단절을 통보 (Notify)하기 위해 사용된다. 경로오류메시지를 받은 소스노드는 목적노드까지의 새로운 경로를 생성하기 위한 경로탐색을 수행하게 된다. 그림 1은 AODV의 경로탐색 과정을 보여준다.



(그림 1) AODV 경로탐색 과정

AODV는 경로탐색 과정에서 루프 (Loop)가 생기는 것을 방지하고 정보의 최신여부를 판단하기 위해서 시퀀스번호 (Sequence Number)를 이용하는데 시퀀스번호는 번호가 높

을수록 더 최신정보임을 의미한다. 다시 말해서 경로요청메시지는 시퀀스번호를 포함하고 있으며 경로요청메시지를 수신한 노드는 해당 경로요청메시지의 시퀀스번호 기존에 수신되었던 시퀀스번호와 비교하여 같거나 작으면 해당 경로요청메시지를 처리하지 않고 폐기한다. 결국 목적노드 혹은 목적노드까지의 경로를 알고 있는 중간노드는 자신이 가지고 있는 목적노드에 대한 라우팅 정보가 경로요청메시지가 원하는 것보다 더 최신 정보일 때만 경로응답메시지로 응답하는 것이다.

2.2 AODV의 경로유지

경로탐색을 통해 생성된 경로는 기본적으로 데이터 전송 중에 지속적으로 유지되지만 MANET의 특성상 노드들의 이동이나 노드의 고장 등으로 인하여 노드 간의 연결이 단절될 가능성이 존재한다. AODV에서 단절된 연결은 링크 레이어 피드백 혹은 라우팅 레이어에서의 메커니즘을 통하여 검출된다. 일반적으로 라우팅 레이어에서의 메커니즘은 주기적으로 각 노드에서 이웃노드로 브로드캐스팅되는 HELLO 메시지를 통하여 수행된다. 다시 말해서 노드는 이웃노드로부터 일정시간 동안 HELLO 메시지를 수신하지 못하면 그 노드와의 연결이 단절된 것으로 인식하고 경로복구를 시도하는 것이다.

단절된 경로의 복구는 새로운 경로탐색을 위한 추가적인 브로드캐스팅 메시지와 지연시간의 증가를 야기하므로 이를 최소화하기 위한 효율적인 경로복구 방법이 요구된다. AODV에서는 경로단절이 발생된 위치에 따라 다른 경로복구 방법을 제공한다. 먼저 단절된 연결이 소스노드보다 목적노드에 가까운 경우에는 지역적 경로복구 (Local Recovery)를 통한 경로복구를 수행하고 그렇지 않은 경우는 경로오류메시지를 이용하여 소스노드에게 경로단절을 통보하여 소스노드가 새로운 경로탐색을 수행한다. 여기에서 지역적 경로복구는 연결의 단절을 감지한 노드들 중 경로 상으로 소스노드에 가까운 노드 (이하 단절 상위노드)가 목적노드를 향한 경로요청메시지의 브로드캐스팅함으로써 브로드캐스팅 메시지의 전송반경을 최소화하는 방식이다. 한편 단절 상위노드는 경로복구를 실행하는 동안 소스노드로부터 도착한 모든 데이터를 데이터 버퍼에 저장하고 경로가 다시 복구된 후에 목적노드로 전송을 수행하여 데이터의 손실을 최소화한다. 경로복구에 실패하면 단절 상위노드는 새로운 경로탐색을 위하여 경로오류메시지를 소스노드에게 전달하며 이 경우에는 데이터 버퍼에 저장되어 있던 모든 정보는 폐기된다.

3. AODV 기반 부분적응형 경로유지 기법 (AODV-PA)

본 장에서는 제안된 AODV 기반 부분적응형 경로유지 기법을 경로탐색과 경로유지 과정으로 나누어 보다 상세하게 설명한다.

3.1 AODV-PA의 경로탐색

AODV 라우팅 프로토콜에서는 기본적으로 경로탐색에 의해 설정된 경로가 유효기간이 지나거나 경로단절이 발생되지 않으면 보다 효율적인 경로가 존재한다고 하더라도 변경 없이 설정된 경로를 그대로 이용한다. 본 연구에서 제안된 부분적응형 경로유지 기법에서는 경로탐색에 의해 설정된 경로 상의 임의의 노드에서 보다 효율적인 경로가 있다고 판단될 경우 동적으로 경로정보를 변경하도록 한다. 여기에서 효율적인 경로는 데이터가 전달될 다음노드와 다음노드의 다음노드인 2홉-다음노드 정보를 기반으로 결정된다. 이를 위하여 소스노드에서 임의의 목적노드로의 경로탐색 과정에서 사용되는 경로요청메시지와 경로응답메시지를 그림 2와 같이 2홉-다음노드의 정보를 포함하도록 보완함으로써 메시지를 수신한 중간노드가 목적노드로의 경로 뿐 아니라 소스노드로의 경로 (역경로)에 대한 2홉-다음노드 정보를 추출할 수 있도록 하였다. 다시 말해서 경로요청메시지를 수신한 중간노드는 경로요청메시지의 2홉-다음노드 정보를 추출하여 소스노드를 목적노드로 하는 경로의 경로테이블 내용을 갱신하고 경로응답메시지를 수신한 중간노드는 경로응답메시지의 2홉-다음노드 정보를 탐색된 경로의 경로테이블에 저장한다. 또한 그림 3과 같이 각 노드에서 관리되는 경로테이블에는 2HOP_NEXT_IP, BACKUP_NEXT_IP, HOLD_FLAG 필드가 추가되었다. 여기에서 2HOP_NEXT_IP 필드는 경로의 2홉-다음노드 정보를 나타내고 BACKUP_NEXT_IP 필드는 필요에 따라 초기경로의 다음노드 정보를 백업하기

Type	Reserved	Hop Count
Destination IP Address		
Destination Sequence Number		
Source IP Address		
Source Sequence Number		
2Hop-Next Node IP Address (of Reverse Path)		

(a) 경로요청메시지 (RREQ)

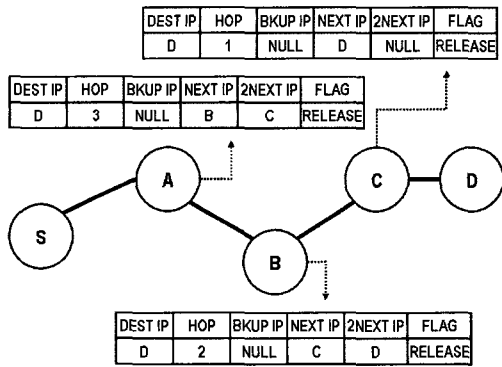
Type	Reserved	Hop Count
Destination IP Address		
Destination Sequence Number		
Source IP Address		
2Hop-Next Node IP Address		
Route Life Time		

(b) 경로응답메시지 (RREP)

(그림 2) AODV-PA 경로탐색 메시지

DESTINATION_IP	DST_SEQ_NO	HOP_COUNT	BACKUP_NEXT_IP	NEXT_IP	2HOP_NEXT_IP	PRECURSOR	ROUTE_FLAG	HOLD_FLAG	LIFE_TIME
----------------	------------	-----------	----------------	---------	--------------	-----------	------------	-----------	-----------

(그림 3) AODV-PA 경로테이블 구조



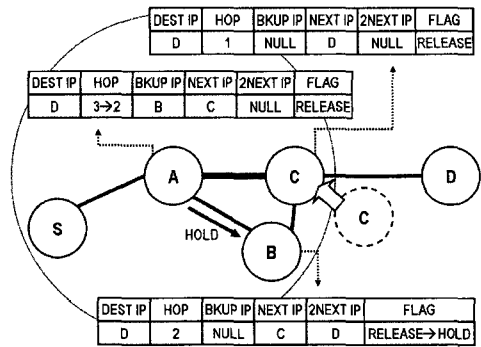
(그림 4) AODV-PA 경로탐색 결과

위해서 사용된다. 마지막으로 HOLD_FLAG 필드는 경로가 초기경로로 복귀할 경우를 대비하여 경로정보를 계속적으로 보유할 것인지를 판단하는데 사용된다. BACKUP_NEXT_IP 필드와 HOLD_FLAG 필드에 대한 내용은 다음 절에서 보다 상세하게 설명한다. 그림 4는 보낸된 경로요청메시지와 경로응답메시지를 통한 경로설정에 따라 중간노드에 저장된 해당 목적노드 관련 경로정보를 보여준다.

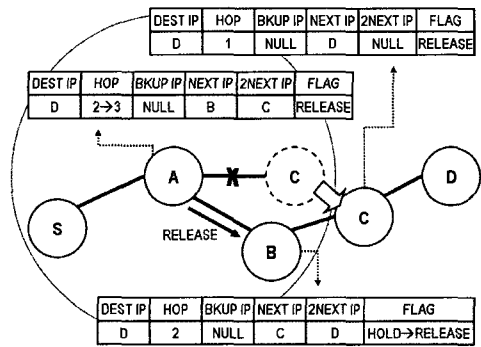
3.2 AODV-PA의 경로유지

경로탐색 과정에서 2홉-다음노드 정보를 포함한 경로테이블이 완성되면 경로 상의 각 노드들은 주기적으로 교환되는 HELLO 메시지에 의해 관리되는 자신의 이웃노드 리스트를 이용하여 부분적응형 경로유지를 수행하기 시작한다. 다시 말해서 각 노드는 주기적으로 경로테이블의 2홉-다음노드 정보와 HELLO 메시지에 의한 자신의 이웃노드 리스트를 점검한다. 여기에서 경로테이블의 2홉-다음노드가 자신의 이웃노드 리스트에 존재하는 경우 중간노드는 직접적으로 2홉-다음노드와 연결하는 것이 목적노드까지의 홉수를 줄일 수 있는 보다 효율적인 경로라고 판단하여 기존에 설정된 경로정보의 다음노드를 2홉-다음노드로 변경하고 홉수를 1만큼 감소시킨다. 예를 들어 그림 4에서처럼 경로탐색 과정을 통하여 소스노드 S에서 목적노드 D까지 경로 S-A-B-C-D가 설정되었다고 가정하자. 이 상태에서 노드 C가 이동하여 노드 A의 통신범위에 진입했을 경우 노드 A는 노드 B를 경유하는 경로보다 노드 C를 경유하는 경로가 효율적이라고 판단하고 자신의 경로테이블을 갱신하여 경로를 변경한다. 그러면 그림 5 (a)와 같이 소스노드 S에서 목적노드 D로 전송되는 데이터는 기존경로보다 홉수가 작은 S-A-C-D 경로를 이용하게 될 것이다.

그러나 제안된 부분적응형 경로유지 기법은 2홉-다음노드가 일시적으로 중간노드의 이웃노드로 등록되었다가 삭제되는 상황에서 경로변경이 수행될 경우 중간노드가 변경된 경로정보의 다음노드 연결이 단절되었다고 판단하여 지역적 경로복구나 경로오류메시지를 발생시킬 수 있으며 이로 인하여 네트워크 전체에 불필요한 오버헤드를 가할 수 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 경로테이블의 BACKUP_NEXT_IP



(a) 경로변경에 따른 동작



(b) 경로복귀에 따른 동작

(그림 5) AODV-PA 경로유지 과정

필드를 이용한다. 즉, 경로변경 시 기존경로의 다음노드 정보를 백업해 두고 변경된 경로에 단절이 발생되었을 경우 그림 5 (b)와 같이 우선적으로 기존경로로의 복귀를 시도한 후에도 그림에도 불구하고 연결이 정상화되지 않으면 지역적 경로복구나 경로오류메시지를 통한 경로재탐색을 수행하는 것이다.

다음으로 경로변경이 수행된 후 일정시간 이상 안정적으로 데이터가 전송되어 기존경로의 다음노드 내에 존재하는 목적노드의 경로정보가 유효기간 만료로 폐기되는 상황을 고려해 볼 수 있다. 이러한 상황에서 변경된 경로의 단절이 감지되면 기존경로로 복귀한다고 하더라도 경로정보가 이미 지워졌기 때문에 새로운 경로탐색으로 인한 불필요한 네트워크 오버헤드가 발생할 수 있다. 이러한 문제는 그림 5와 같이 HOLD/RELEASE 명령에 따른 부가적인 경로테이블 관리로 해결한다. 경로변경을 수행한 노드는 기존경로의 다음노드에 해당 목적노드에 대한 경로를 유지시키라는 HOLD 명령을 전송하고 HOLD 메시지를 수신한 노드는 경로테이블에서 해당경로의 HOLD_FLAG를 설정하여 유효기간 만료로 인하여 폐기되는 일이 없도록 한다. 역으로 변경된 경로가 단절되어 기존경로로 복귀할 경우에는 기존경로의 다음노드에 RELEASE 명령을 전송하여 일반적인 경로와 마찬가지로 유효기간 검사를 통한 관리가 이루어지도록 한다. 여기에서 HOLD/RELEASE 명령은 전체 네트워크에 부담을

Type	Reserved	Hop Count	Mandatory fields
Node IP Address			
Node Sequence Number			
Life Time			
Changed Route Count			
Cmd #1	Reserved		Optional fields
Destination IP Address #1			
Target IP Address #1			
Cmd #2	Reserved		
Destination IP Address #2			
Target IP Address #2			
:			

(그림 6) AODV-PA HELLO 메시지

```

Get active route table entry;
if (NEXT_IP is connected)
{
    if (2HOP_NEXT_IP is neighbor)
    {
        Build HOLD message for NEXT_IP;

        # change of route table entry
        BACKUP_NEXT_IP = NEXT_IP;
        NEXT_IP = 2HOP_NEXT_IP;
        2HOP_NEXT_IP = NULL;

        # decrease hop count by 1
        HOP_COUNT -= 1;
    }
    else
    {
        if (BACKUP_NEXT_IP != NULL)
        {
            # reinstatement of route table entry
            2HOP_NEXT_IP = NEXT_IP;
            NEXT_IP = BACKUP_NEXT_IP;
            BACKUP_NEXT_IP = NULL;

            # increase hop count by 1
            HOP_COUNT += 1;

            Build RELEASE message for NEXT_IP;
        }
        else
        {
            Send RERR message or run local recovery;
        }
    }
}
    
```

(그림 7) AODV-PA Pseudo코드

주지 않기 위해서 HELLO 메시지에 포함되어 전송되며 이를 위해 그림 6과 같이 의무필드 (Mandatory Fields)에는 일반적인 HELLO 메시지 정보를 기록하고 옵션필드 (Optional Fields)에는 필요한 경우 HOLD/RELEASE 명령을 전송할 수 있도록 HELLO 메시지를 변형하였다. 또한 HELLO 메시지 전달의 신뢰성 부족으로 인하여 발생할 수 있는 HOLD/RELEASE 명령 누락에 대한 보완책으로 HOLD/RELEASE 명령을 미리 정의된 재시도 횟수만큼 반복적으로 전달하고 이웃노드와의 연결상태에 따라 경로테이블에 저장된 경로의 HOLD 정보를 갱신할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 제안된 부분적응형 경로유지 기법은 노드 간의 연결정보를 통해서만 운영되므로 경로변경이나 기존경로의 복귀 등에 관계없이 시퀀스번호 등의 나머지 경로정보는 그대로 유지된다. 그림 7은 제안된 기법의 전체적인 처리과정을 Pseudo코드를 통하여 보여준다.

4. 시뮬레이션

본 연구에서는 NS-2[11]을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 부분적응형 경로유지 기법의 성능을 검증하였다. 시뮬레이션은 동일한 시뮬레이션 시나리오를 제안된 AODV-PA와 일반적인 AODV에 적용하여 객관성 있는 성능의 비교평가가 수행될 수 있도록 하였다.

4.1 시뮬레이션 환경

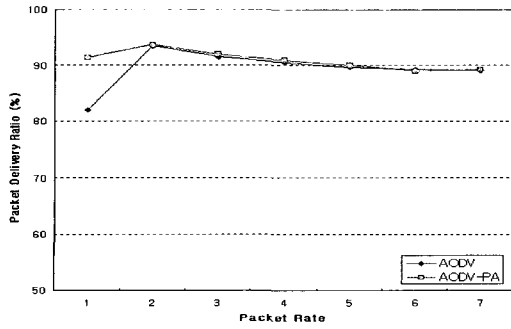
NS-2를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션은 250m×250m 범위에 100개의 노드가 분포된 네트워크 환경 하에서 수행되었다. 각 노드의 전송 반경은 50m, 채널용량은 2Mbps, 이동성은 Random Waypoint 모델을 사용하였으며 매체 접근제어 프로토콜은 IEEE 802.11을 가정하였다. 또한 노드의 최대 이동 속도는 10m/s로 설정하였다. 트래픽 소스는 512바이트 크기의 UDP 패킷을 일정한 속도로 생성시키는 CBR (Constant Bit Rate)을 적용하였고 주어진 네트워크 환경에서 동시에 최대 40개의 연결을 통한 데이터 전송이 이루어지도록 구성하였다. 시뮬레이션은 패킷 생성비율과 노드의 정지시간 (Pause Time)에 따라 성능평가인자를 추출하도록 하였으며 본 연구에서 사용된 성능평가인자는 다음과 같다.

- 패킷 전달비율 (Packet Delivery Ratio) : 소스노드에 생성된 데이터 패킷이 목적노드에 정상적으로 전달되는 비율
- 평균 단대단 지연시간 (Average End-to-End Delay) : 데이터 패킷이 목적노드까지 도달하는데 걸린 평균 시간
- 평균 단대단 패킷 전달횟수 (Average End-to-End Packet Delivery Hop Count) : 데이터 패킷이 목적노드까지 전달되는데 사용된 평균 홉수
- 정규화된 라우팅부하 (Normalized Routing Overhead) : 목적노드에 도달한 데이터 패킷 수와 전송된 경로관련 제어메시지 수의 비율

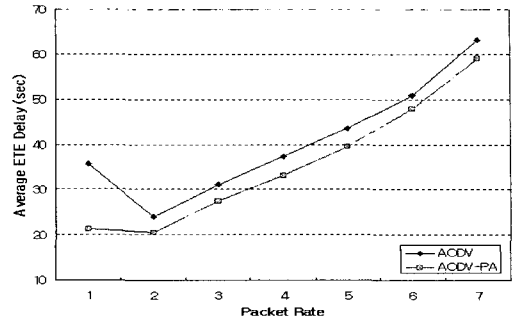
시뮬레이션을 통한 패킷 생성비율과 노드의 정지시간에 따른 AODV-PA와 AODV의 성능비교는 각각 랜덤하게 생성된 5개의 네트워크 시나리오를 기반으로 수행되었으며 각 시나리오 별로 1,000초의 시뮬레이션 시간동안 얻어진 성능인자들의 평균값을 최종 결과값으로 산출하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

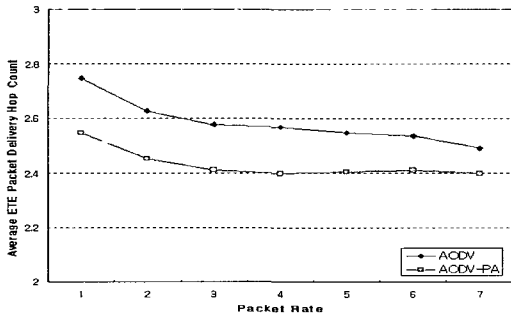
그림 8은 패킷 생성비율에 따른 AODV-PA와 AODV의 (a) 패킷 전달비율, (b) 평균 단대단 지연시간, (c) 평균 단대단 패킷 전달횟수, (d) 정규화된 라우팅부하의 상대적 비율을 보여준다. 패킷 전달비율의 경우 동일한 경로탐색 과정을 사용하는 AODV-PA와 AODV가 거의 비슷한 성능을 보이지만 AODV-PA가 AODV보다 동등이상의 패킷 전달비율을



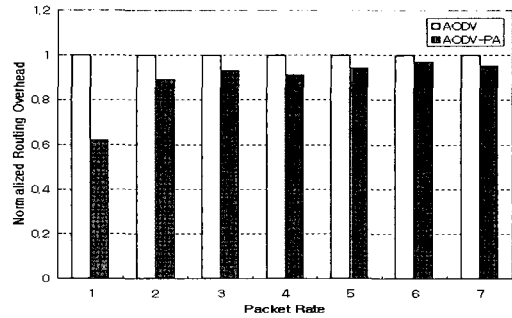
(a) 패킷 전달비율



(b) 평균 단대단 지연시간

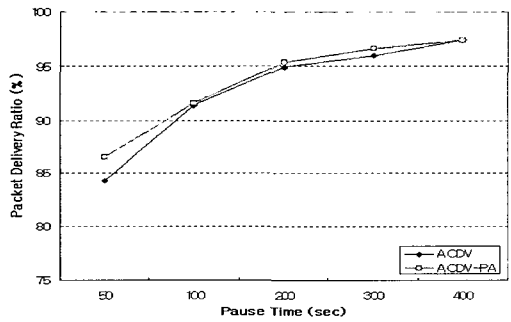


(c) 평균 단대단 패킷 전달횟수

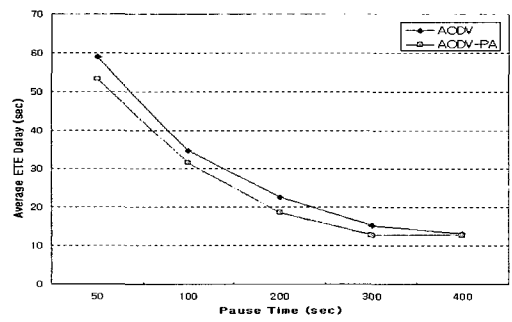


(d) 정규화된 라우팅 부하

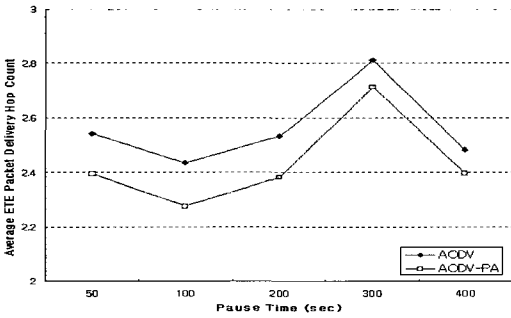
(그림 8) 패킷 생성비율에 따른 비교



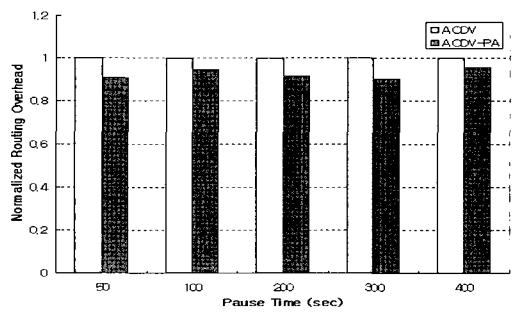
(a) 패킷 전달비율



(b) 평균 단대단 지연시간



(c) 평균 단대단 패킷 전달횟수



(d) 정규화된 라우팅 부하

(그림 9) 노드의 정지시간에 따른 비교

보이는 것을 확인할 수 있다. 평균 단대단 지연시간의 경우는 AODV-PA가 AODV보다 평균 약 10% 정도 적게 소요되며 평균 단대단 패킷 전달횟수의 경우는 평균 약 0.152홉 정도 작다. 이러한 사실은 제안된 부분적응형 경로유지 기법이 기존경로를 효율적인 경로로 변경시키는 동작이 정상적으로 수행됨을 보여준다. 마지막으로 정규화된 라우팅부하의 경우는 AODV-PA가 AODV보다 평균 약 10% 정도 적은 라우팅부하를 갖는다는 것을 보여준다. 여기에서 라우팅부하가 적다는 것은 경로탐색이나 지역적 경로복구가 상대적으로 적게 발생한다고 해석할 수 있으며 이것은 곧 단절된 연결의 발생빈도가 작다는 것을 의미한다. 따라서 제안된 기법의 적용이 전체적인 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있다.

그림 9는 노드의 정지시간에 따른 AODV-PA와 AODV의 (a) 패킷 전달비율, (b) 평균 단대단 지연시간, (c) 평균 단대단 패킷 전달횟수, (d) 정규화된 라우팅부하의 상대적인 비율을 보여준다. 그림에서 보이듯이 노드의 정지시간에 따른 AODV-PA와 AODV의 성능비교 결과는 앞서 살펴본 패킷 생성비율에 따른 비교결과와 유사한 형태를 보임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 AODV를 기반으로 경로탐색 과정 중 취득된 정보와 동적 경로변경에 따른 경로테이블 관리를 통하여 설정된 경로의 2홉 범위 내에서 동적 경로변경을 제공하는 부분적응형 경로유지 기법을 제안하였다. 제안된 기법에서는 기본적으로 경로탐색 과정에서 취득된 2홉-다음노드 정보와 HELLO 메시지에 의해 관리되는 이웃노드 리스트를 이용하였으며 동적 경로변경으로 인해 발생할 수 있는 문제점을 보완하기 위하여 변경된 경로에서 기존경로로의 복귀 기능과 HOLD/RELEASE 명령이 포함된 HELLO 메시지를 통한 추가적인 경로테이블 관리 기능을 제공하였다. NS-2를 이용한 시뮬레이션 결과는 제안된 기법이 AODV보다 패킷 전달비율, 지연시간, 라우팅부하 등의 모든 성능평가인자에서 향상된 성능을 제공함을 보여준다.

제안된 부분적응형 경로유지 기법은 각 노드가 자신과 자신의 이웃 즉, 지역적인 정보만을 이용하여 동작하므로 구현 측면에서 매우 용이하다. 그러나 본 연구에서는 경로유지의 또 다른 측면인 지역적 경로복구 기법이나 MANET에서 중요한 이슈인 네트워크 전체의 에너지 관리에 대한 고려가 부족하다. 따라서 본 연구의 신뢰성 확보를 위한 보다 다양한 네트워크 환경에서의 실험과 더불어 이러한 부분에 대한 연구가 향후 연구과제로 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] IETF Mobile ad-hoc network working group, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [2] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", Available HTTP: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>
- [3] Y.C. Hu, D.B. Johnson, and D.A. Maltz, "The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks (DSR)," Internet draft, draft-ietfmanet-dsr-10.txt, July 2004.
- [4] S. Wu, S. Ni, Y. Tseng, and J. Sheu, "Route Maintenance in a Wireless Mobile Ad Hoc Network", Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, vol.2, 2000.
- [5] M. Tauchi, T. Ideguchi, and T. Okuda, "Ad-Hoc Routing Protocol Avoiding Route Breaks Based on AODV", Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, pp.322-328, 2005.
- [6] W. Choi, S.K. Das, and I.H. Lee, "Nomadic Control Packet-Based Dynamic Route Maintenance Scheme for Adaptive Routing in Mobile Ad Hoc Networks", Proceedings. 28th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks(LCN'03), pp.140-149, 2003.
- [7] M. Idrees, M.M. Yousaf, S.W. Jaffry, M.A. Pasha, and S.A. Hussain, "Enhancements in AODV Routing Using Mobility Aware Agents", Proceedings of the IEEE Symposium on Emerging Technologies, pp.98-102, 2005.
- [8] H.L. Chen and C.H. Lee, "Two Hops Backup Routing Protocol in Mobile Ad Hoc Networks", Proceedings. 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems, vol.2, pp.600-604, 2005.
- [9] G. Liu, K.J. Wong, B.S. Lee, B.C. Seet, C.H. Foh, and L. Zhu, "PATCH: A Novel Local Recovery Mechanism for Mobile Ad-hoc Networks", IEEE 58th Vehicular Technology Conference, vol.5, pp.2995-2999, 2003.
- [10] M. Pan, S.Y. Chuang, S.D. Wang, "Local Repair Mechanisms for On-Demand Routing in Mobile Ad hoc Networks", Proceedings. 11th Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing, 2005.
- [11] "The Network Simulator, ns-2", <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>



문 대 근

e-mail : dkmoon@yonsei.ac.kr
1997년 연세대학교 전기공학과
졸업(학사)
1999년 연세대학교 대학원
전기컴퓨터공학과(공학석사)
1999년-현재 (주)현대중공업
기계전기연구소 선임연구원

2006년-현재 연세대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정
관심분야: 실시간 시스템, 고장포용 시스템, 모바일 컴퓨팅



김 학 배

e-mail : hbkim@yonsei.ac.kr
1988년 서울대학교 전자공학과
졸업(학사)
1990년 미국 미시간대학교 전기 및
컴퓨터공학과(공학석사)
1994년 미국 미시간대학교 전기 및
컴퓨터공학과(공학박사)

1996년-현재 연세대학교 전기전자공학과 정교수
관심분야: 실시간 시스템, 인터넷 웹서버 기술, 디지털시스템
고장포용 및 신뢰도 평가분야