

Ad-Hoc 무선 망에서 단 방향 링크 존재 시 AODV 에 기반한 효율적인 라우팅 기법 연구

김장태*, 김기창**, 김유성**

*인하대학교 정보통신대학원 정보통신공학

**인하대학교 정보통신공학부

e-mail : coolstar@super.inha.ac.kr

An AODV-based Efficient Routing Method for Wireless Ad Hoc Networks with Unidirectional Links

Jang-Tae Kim*, Ki-Chang Kim**, Yoo-Sung Kim**

* Graduate School of Information Technology & Telecommunication, Inha University

** School of Information & Communication Engineering, Inha University

요 약

무선 Ad-Hoc 네트워크를 위한 대부분의 라우팅 프로토콜들은 모든 링크가 양방향임을 가정하고 설계되었다. 그러나 현실적으로 Ad-Hoc 네트워크에 참여하는 노드들은 서로 다른 전송 파워를 가질 수 있고, 잡음 또는 간섭 등으로 인하여 지역적이고 일시적인 단 방향 링크를 야기시킬 수 있다. 기존 Ad-Hoc 라우팅 프로토콜 중의 하나인 AODV 프로토콜은 단 방향 링크 존재 시에 이를 경로에서 제거함으로써 양방향 링크만으로 구성된 경로를 다시 탐색하게 된다. 본 논문에서는 단방향 링크 존재 시에 야기될 수 있는 AODV 프로토콜의 문제점과 이를 해결하기 위한 기존 연구들을 소개하고, 나아가서 단방향 링크 존재 시에 적용할 수 있는 AODV 프로토콜을 변형한 라우팅 알고리즘을 제안한다.

1. 서론

Ad-Hoc 네트워크는 기지국이나 AP(Access Point)와 같이 고정된 하부구조(infrastructure)를 가지지 않는 peer-to-peer 통신을 하는 이동 노드들로 구성된다. 하부구조가 필요하지 않기 때문에 네트워크를 빠르게 배치할 수 있어 재해복구 및 구조작업, 전시장, 군사작전 등에 유용하게 활용될 수 있는 장점이 있는 반면, Ad-Hoc 네트워크를 구성하는 노드들은 전원, 메모리, 대역폭, 연산 능력이 제한되어 있다는 단점이 있다.

서로 다른 전송 파워를 가지는 노드들이 있음으로써 발생하는 중요한 문제는 단 방향 링크가 생성되어 질 수 있다는 것이다. 예를 들면 노드 A 가 다른 노드들보다 높은 전송 파워를 가지고 있을 때, 노드 B 는 노드 A 의 무선 전송 범위에 있지만, 노드 A 는 노드 B 의 신호를 감지 할 수 없게 된다. 이때 링크 A→B 는 단 방향이 된다.

심지어 모든 노드가 똑같은 파워를 가지고 있다고 하더라도, 전송 시도 시에 발생하는 충돌 또는 패킷 수신에 영향을 끼칠 수 있는 잡음 등으로 인해 단 방향 링크가 형성되어 질 수 있다[1].

양방향 링크를 가정하고 설계된 AODV 라우팅 프로토콜은 특정 상황에서 단방향 링크로 인해 효율적인 작동이 불가능하다. 또한 심각한 경우에는 단방향 링크를 배제하는 기존 AODV 프로토콜로 인해 전체 네트워크의 연결성에도 손상을 끼칠 수 있다.

따라서 본 연구에서는 AODV 프로토콜을 설명하고, 단방향 링크 시 발생하는 문제점과 이를 극복하기 위한 기존 기법들을 소개한다. 나아가 단방향 링크의 문제점을 개선한 AODV 라우팅 프로토콜 알고리즘을 소개하고 실험을 통해 효율성을 제시한다.

2. 관련연구

2.1 AODV 라우팅 프로토콜

AODV 는 요구기반(On-demand) 라우팅 프로토콜로서, 소스 노드가 데이터 전송이 필요할 때 비로소 목적지까지의 라우팅 경로 탐색을 하게 된다. 경로 탐색은 다음의 과정을 거친다. 소스 노드가 목적지까지 경로를 가지고 있지 않다면, RREQ(Route Request)를 플러딩한 후 RREP(Route Reply)를 기다린다. RREQ의 네트워크 전역으로 브로드캐스팅을 피하기 위해 기존 AODV는 Expanding ring search 알고리즘을 적용한다. TTL = 1에서부터 출발하고 제한된 시간 안에 RREP를 수신하지 못하면 TTL = 2씩 증가하면서 RREQ를 재발송하게 된다.

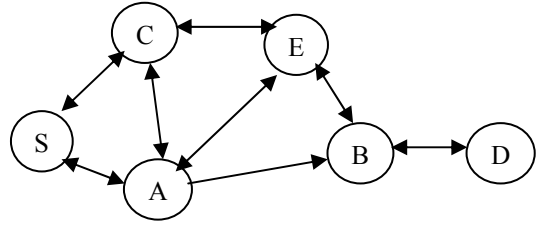
중간 노드들이 RREQ를 처음 수신했다면 RREQ를 전달한 노드를 역 경로(reverse path)의 다음 홉(next hop)으로 저장한다. 만약 중간 노드가 목적지 노드에 대한 유효한 경로를 가지고 있다면 역경로를 이용하여 RREP를 소스 노드로 유니캐스트(unicast)한다. 목적지 노드까지 RREQ 브로드캐스팅을 통한 전송 과정에서 같은 RREQ를 중복 수신하게 되는 모든 노드들은 즉시 폐기하게 된다.

목적지 노드가 RREQ를 수신하게 되면 중간 노드들과 같은 방법으로 역 경로를 형성한 후 RREP를 역 경로를 통해 소스 노드로 유니캐스트한다. RREP가 소스 노드로 이동함에 따라 각 노드에서는 목적지 노드에 대한 전방향 경로(forward path)를 설정한다[2].

2.2 단 방향 링크 존재 시 AODV 프로토콜 문제점

2.1 절에서 설명한 AODV 프로토콜의 경로 탐색은 양 방향 링크에서 올바르게 작동한다. RREP는 역경로를 따라서 소스 노드로 전달되고, 소스 노드로 도착하게 되면 목적지까지 전방향 경로가 설정된다. 그러나, 대부분 MAC 프로토콜들은 유니캐스트 전송 시에만 링크의 양방향성을 체크하게 된다. 예를 들면, IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 유니캐스트 전송에 대하여 RTS-CTS-Data-ACK 절차를 거치게 된다. RTS 전송 후에 CTS를 받아야 링크 양방향성이 보장되므로 비로소 데이터 전송을 시작할 수 있게 된다. 그러나 브로드캐스트 전송에 있어 MAC 프로토콜은 이런 링크 상태를 확인하는 절차를 거치지 않는다. AODV RREQ 패킷은 링크 레이어 브로드캐스트 전송을 이용함으로써 역 경로에는 단 방향 링크가 포함될 가능성이 있다. RREP는 유니캐스트 전송이므로 역 경로에 단방향 링크가 존재한다면, RREP 전송은 실패하게 된다[1,3].

[그림 2.1]은 노드 S가 노드 D까지의 경로를 찾기 위해 RREQ를 브로드캐스팅 하고 각 노드는 다시 RREQ를 전달하는 상황을 도식하였다. 노드 B가 D의 경로를 알고 있고, RREQ를 수신했을 때 RREP를 A로 유니캐스팅 한다. 그러나 노드 B에서 A로의 경로가 단방향 링크일 경우 RREP 전송은 실패하게 된다.



[그림 2.1] 단 방향 링크

AODV에서 모든 노드들은 RREQ를 오직 한번만 처리하게 되는데, 이것이 단 방향 링크의 문제점을 더욱 악화시키는 요인이다[4]. [그림 2.1]에서 $S \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow B \rightarrow D$ 경로로 양방향 링크가 존재함에도 불구하고, 노드 B가 A로부터 전달된 RREQ를 처리하였기 때문에 노드 E로 전달된 RREQ를 처리하지 않게 된다.

2.3 단 방향 링크 문제 해결을 위한 기존 기법들

2.3.1 BlackListing

이 기법은 AODV Internet Draft[2]에 포함된 내용으로, RREP 전송에 실패한 노드가 다음 홉을 “blacklist”에 추가함으로써, 재시도되는 RREQ를 수신하였을 경우에는 이를 무시하게 된다. [그림 2.1]을 예로 들자면, 노드 B가 노드 A로의 RREP 전송을 실패하게 되면 자신의 blacklist에 노드 A를 추가하게 된다. 이후 노드 B가 노드 A로부터 RREQ를 수신하게 되면 이를 무시하게 되고, 결국 노드 E로부터 RREQ를 수신하게 된다. Blacklist에 저장되는 시간은 디폴트 값으로 경로 탐색 최대 시도 수가 소요되는 시간 만큼 BLACKLIST_TIMEOUT에 지정하게 된다.[2,3]

이 기법은 단순하면서도 단 방향 링크가 적을 시에는 작은 오버헤드를 가진다. 그러나 단 방향 링크가 많을 때는 한번에 한 개씩 blacklist에 반복적으로 저장되어야 하기에 매우 비효율적이다. 또 다른 문제는 적절한 BLACKLIST_TIMEOUT 값 설정이 어렵다는 것이다. 작게 설정되었다면 이 기법의 효율성이 떨어질 것이고, 크게 설정되었다면 짧은 기간동안 단 방향 링크가 자주 발생될 때는 네트워크 연결성에 심각한 영향을 끼칠 우려가 있다.

2.3.2 Hello

Blacklist 기법은 경로 탐색 중에 단 방향 링크가 발견된다. 이에 반해 Hello 기법은 주기적인 Hello 패킷을 이웃 노드들과 주고 받음으로써 경로 탐색 단계 이전부터 단 방향 링크를 감지하는 방법이다. Hello 메시지는 이웃 노드들의 리스트와 각 링크의 상태를 포함한다. 예를 들어 그림 1에서 노드 B가 A로부터 Hello 메시지를 수신하였는데, 자신의 주소가 없다면 $A \rightarrow B$ 로의 링크가 단 방향임을 발견하게 된다[3,5].

이 방법의 장점은 Hello 메시지를 교환함으로써 자동적으로 단 방향 링크를 발견할 수 있다는 것이다. 그러나, 주기적이고 큰 사이즈의 Hello 패킷은 제한된 자원을 갖는 이동 노드들에게 심각한 오버헤드이다.

2.4 단 방향 네트워크의 토폴로지 분석

이번 절에서는 기존에 발표된 단방향 링크 분포에 관한 실험결과[1]를 살펴보고자 한다. 이 논문에 발표된 실험에서는 GloMoSim[6] 시뮬레이터에서 두 가지 모델을 기반으로 하였다. 첫 번째는 P-모델로서, 양방향 링크가 단방향 링크로 변환되는 확률을 P로 정의하고, 그 확률을 0에서 0.4까지 0.05씩 증가시키면서 실험하였다. 이 모델은 잡음, 충돌 및 다른 요인들로 인하여 단방향 링크가 생성되는 환경을 시뮬레이션하기 위한 것이다. 두 번째는 D-모델로서, 각 노드의 전송 범위를 서로 다르게 할당함으로써 단방향 링크를 생성하는 모델이다. 각 노드는 무작위적으로 $[N - D/2, N + D/2]$ 사이 값으로 할당되어 진다. 여기서 N은 전송범위 220m이고, D는 0m ~ 320m까지 임의의 값을 할당 받게 하였다. P-모델과 D-모델의 조밀도는 50 노드/km²으로 하고, 각각 500번 실험한 결과의 링크 분석 통계치가 발표되었다[1].

발표된 실험결과에서 알 수 있는 사실은 대부분 단방향 링크에서 역 경로로 2홉을 거치면 도달할 수 있다는 사실이다. [그림 2.1]을 예로 들자면 A → B로의 단방향 링크에서 B → E → A 경로를 거치면 노드 A로 도달할 수 있다는 것이다.

3. 단방향 링크 해결을 위한 AODV 프로토콜

본 연구에서 제안하는 알고리즘은 2.4 절에서 설명한 실험결과를 토대로 제안한다. 단방향 링크 생성시에 역경로의 대부분은 2홉으로 도달할 수 있다는 결과를 이용한다. 우선 본 연구를 위하여 기존 AODV의 RREP 패킷에 단방향 링크로 인해 도달할 수 없는 노드의 주소(Search IP Address*)와 브로드캐스팅 임을 알리는 플래그 필드(B*)를 추가하였다. 변형된 RREP는 다음과 같다.

Type	R	A	B*	Reserved	Prefix Sz	HopCount
Destination IP Address						
Destination Sequence Number						
Originator IP Address						
Lifetime						
Search IP Address*						

[그림 4.1] 변형된 RREP 형식

단방향 링크를 감지한 노드는 역경로의 다음 홉을 blacklist에 추가하는 과정을 생략하고, RREP 패킷의 IP 헤더부분 TTL = 2로 하고 플러딩 한다. 플러딩된 RREP 패킷을 수신하는 노드들은 RREP 패킷의 소스 노드로 향하는 역 경로를 가지는 노드들만 이 패킷을 처리하게 된다. [알고리즘 1]은 GloMoSim[6]에서 MAC레이어의 RTS 전송 후에 CTS를 받지 못한 경우 호출되는 AODV 관련 함수를 변경한 슈도 코드이다.

```

RoutingAodvMacLayerStatusHandler(GlomoNode *node,
                                  const Message)
{
    if ( ipHeader->ip_p == IPPROTO_AODV )
    {
        • ip 헤더에서 destAddr 추출
        • rrepPkt -> searchAddr = ip_dst;
        • RREP 패킷(B 플래그 = TRUE) 제작
        • TTL=2 셋팅 후 Network Layer로 전송
    }
}
    
```

[알고리즘 1] 브로드캐스팅 RREP 생성 절차

[알고리즘 2]는 브로드캐스팅 RREP 패킷 수신 시 변경 되어야 할 AODV 관련 함수의 슈도 코드이다.

```

RoutingAodvHandleReply(GlomoNode *node,
                       Message *msg, NODE_ADDR srcAddr,
                       NODE_ADDR destAddr, int ttl)
{
    // 브로드캐스팅 RREP ( B*==TRUE )인 경우
    else if( destAddr == ANY_DEST && B* == TURE)
    { // 수신 노드가 소스 노드이면
        if(rrepPkt->srcAddr == node->nodeAddr){
            알고리즘 3
        }
        else { // 중간 노드가 수신할 경우
            알고리즘 4
        }
    }
}
    
```

[알고리즘 2] RREP 처리 절차

[알고리즘 3]은 브로드캐스팅 RREP를 RREQ를 발송한 소스 노드가 수신했을 경우에 해당된다.

```

If ( !RoutingAodvCheckRouteExist(rrepPkt->destAddr,
                                  &aodv->routeTable) ) {
    // 첫번째로 도착한 RREP이면
    • 라우트 테이블에 경로 추가
    • 데이터 전송 시작
    else if(시퀀스번호가 크거나 hopCount가 작을 경우)
    • 라우트 테이블 경로 대체
}
    
```

[알고리즘 3] 소스 노드의 동작 절차

[알고리즘 4]는 중간 노드가 RREP 패킷을 받았을 경우에 해당되고, 소스 노드로의 역 경로를 보유하고 있는 노드들만 처리를 수행하게 된다.

```

If ( ! RoutingAodvCheckRouteExist(rrepPkt->srcAddr,,){
    If (rrepPkt->searchAddr == node->nodeAddr){
        // 역경로를 가진 단방향 링크 상위노드일 경우
        • 라우트 테이블에 경로 추가
        • searchAddr 필드 지우고, RREP 유니캐스트
    }
}
    
```

```

}
else // 역경로를 가지는 이웃 노드들인 경우
  · TTL=1 로 감소하고 RREP 패킷을 다시
    브로드캐스팅
}

```

[알고리즘 4] 중간 노드의 동작 절차

4. 실험

4.1 실험 환경

본 연구에서 제안하는 알고리즘은 GloMoSim 시뮬레이터에서 구현하였다. 실험을 위한 입력 파라미터는 다음과 같다.

- Network simulation area : 1000m * 1000m
- Number of nodes : 50
- Transmission range : 220m
- Mobility speeds : 0 ~ 10m/s
- Pause time : 10 seconds
- Bandwidth : 2Mbps
- Source nodes : 0, 10, 5, 16, 4, 48, 47
- Destination nodes : 49, 40, 15, 28, 35, 6, 33
- Mac Layer : IEEE 802.11
- Traffic Type : CBR
- Data packet size : 512 bytes
- Simulation length : 2000 seconds

4.2 실험 결과

본 실험에서 총 3 가지 시나리오로 시뮬레이션을 하였다. 우선 시나리오 1 은 위에 기술된 입력 파라미터 그대로 실험하였고, 시나리오 2 는 각 노드가 랜덤하게 전송 범위를 선택할 수 있게 하였다. 전송 범위 선택은 [220-80, 220+80] 에서 구현하였다. 시나리오 3 은 4 절에서 설명한 알고리즘으로 구현된 AODV 프로토콜로 입력 파라미터는 시나리오 2 와 동일하게 하였다. 본 실험결과는 [표 5.1] 과 같다.

[표 5.1] 컨트롤 패킷 발생수 비교

	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3
RREQ	555(87.8%)	1843(87.8%)	1276(87.3%)
RREP	77(12.2%)	255(12.2%)	185(12.7%)
Total	632	2098	1461

시나리오 2 에서는 RREP 전송 중에 단방향 링크로 인한 전송 실패가 총 74 번 발생했다. 그러나 그에 따른 전체적인 컨트롤 패킷의 증가량은 시나리오 1 에 비해 3.3 배가 증가했다. 시나리오 3 은 시나리오 2 에 비해 RREQ 는 30%, RREP 는 28%가 감소됨을 확인하였다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 앞서 살펴본 바와 같이 Ad-hoc 모바일 네트워크에서 단방향 링크로 인한 컨트롤 패킷의 증가와 단방향 링크 발생 시 변경된 RREP 브로드캐스팅 방식으로 기존 AODV 프로토콜을 변경하여 컨트롤 패킷 발생 수를 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

변경된 AODV 의 RREP 브로드캐스팅의 효율을 최대화하기 위해 기존 AODV 프로토콜의 설정 파라미터들을 좀 더 적절한 값으로 변경시킨다면 컨트롤 패킷의 발생 수를 좀 더 줄일 수 있으리라 예상된다.

또한 2.3 절에서 소개한 AODV 가 채택한 기법들은 단방향 링크가 적을 시엔 효과적이거나, 많을 때는 경로 탐색 재시도에서 발생하는 오버헤드로 인해 매우 비효율적이다. 빈번한 경로 탐색 재시도는 이동 노드들의 제한된 자원 상황과 네트워크의 안정성 및 연결성에 심각한 영향을 끼칠 수 있다.

향후에는 단방향 링크 발생 빈도수에 따라 2.3 절에서 소개한 기법들의 성능 분석 및 본 연구에서 제안한 기법과의 비교 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

- [1] Venugopalan Ramasubramanian, Daniel Mosse, "Statistic al Analysis of Connectivity in Unidirectional Ad Hoc Networks," ICPP Workshops 2002.
- [2] C. E. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das. Ad hoc On-Demand Distance Vector(AODV) Routing. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>, July. 2003.
- [3] Mahesh K. Marina, Samir R. Das "Routing Performance in the Presence of Unidirectional Links in Multihop Wireless Networks," Proceedings of ACM MobiHoc, June. 2002.
- [4] Elizabeth M. Belding-Royer, Charles E. Perkins "Evolution and future directions of the ad hoc on-demand distance-vector routing protocol," Ad hoc Networks Journal, 1(1), pp. 125-150, July. 2003.
- [5] Sharad Agarwal, "Handling Unidirectional Links in Ad Hoc Wireless Networks," DARPA CS294-1, Project Report, December 12. 2000.
- [6] Xiang Zeng, Rajive Bagrodia, Mario Gerla "GloMoSim : A Library for Parallel Simulation of Large-scale Wireless Networks," Proceedings of the 12th workshop on Parallel and distributed simulation, May. 1998.