

논문 2006-43TC-8-5

애드혹 네트워크에서의 보조 경로 설정 기법에 관한 연구

(A Study on Backup Route Setup Scheme in Ad Hoc Networks)

정 세 원*, 이 채 우**

(Se-won Jung and Chae-woo Lee)

요 약

애드 혹 네트워크는 노드의 이동에 의해 데이터 수신율의 저하, 지연 시간의 증가, 그리고 라우팅 오버헤드의 증가 등의 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위한 보조 경로 기법은 노드의 이동에 의한 통신 성능 저하를 방지하기 위해 사전에 보조 경로를 설정해두어 링크 손상이 발생하더라도 패킷 손실이 없는 신속한 경로 복구가 가능하다. 보조 경로 기법은 노드의 이동이 잦은 상황에서 단일 경로 기법보다 데이터 수신율, 지연 시간, 및 라우팅 오버헤드 측면에서 더 좋은 성능을 보인다. 하지만 보조 경로 기법은 경로 탐색 단계에 설정된 보조경로만을 사용하기 때문에 네트워크 토폴로지 변화에 의한 새로운 보조경로를 사용하지 못한다. 본 논문에서 제안하는 리액티브 보조 경로 알고리즘(Reactive Backup Routing Algorithm, RBR)은 선택적 보조 경로 유지와 보조 경로 재탐색을 통해 적은 오버헤드로 이동이 잦은 환경에서도 안정적인 데이터 수신율과 지연 시간을 보장하는 알고리즘이다. RBR은 설정된 모든 보조 경로를 주기적으로 확인하는 기존 방식과는 달리 보조 경로의 우선순위를 결정하고 보조 경로의 선택적 유지 및 사용으로 라우팅 오버헤드를 감소시킨다. 또한, RBR은 노드의 이동에 의해 보조 경로가 모두 손상되거나 경로가 변경되면 토폴로지 변화에 따라 새롭게 보조 경로를 설정하여 데이터 수신율을 높이고 지연 시간을 감소시킨다. 본 논문에서는 성능 검증을 위해 OPNET을 사용하여 단일 경로 기법 및 기존 보조 경로 기법과 RBR의 성능을 비교 분석한다.

Abstract

Due to the movement of nodes, ad-hoc networks suffer from the problems such as the decrease of data delivery ratio, the increase of end-to-end delay, and the increase of routing overhead. The backup routing schemes try to solve these problems by finding the backup routes during the route discovery phase and using them when a route fails. Generally the backup routing schemes outperform the single-path routing schemes in terms of data delivery ratio, end-to-end delay, and routing overhead when the nodes move rapidly. But when the nodes don't move rapidly, the backup routing schemes generate more routing traffics than the single-path routing schemes because they need to exchange packets to find the backup route. In addition, when the backup route fails earlier than the main route, it can not use the backup route because in many backup route algorithms, the backup route is found only at the initial route discovery phase. RBR(Reactive Backup Routing Algorithm) proposed in this paper is an algorithm that provides more stable data delivery than the previous backup routing schemes through the selective maintenance of backup route and the backup route rediscovery. To do that RBR prioritize the backup routes, and maintain and use them selectively. Thus it can also decrease the routing overheads. Also, RBR can increase data delivery ratio and decrease delay because it reestablishes the backup route when the network topology changes. For the performance evaluation, OPNET simulator is used to compare RBR with the single-path routing scheme and some of the well known backup routing schemes.

Keywords : 애드혹 네트워크, 애드혹 라우팅 알고리즘, 에너지 효율적 라우팅 알고리즘, 보조 경로

* 정회원, (주)인프라밸리
(Infravalley, Inc)

** 정회원, 아주대학교 전자공학부
(Department of Electrical and Computer
Engineering Ajou University)

※ 본 논문은 한국과학재단에서 지원하는 연구지원사업(R01-2003-000-10724-0)의 연구 결과입니다.

접수일자: 2006년1월13일, 수정완료일: 2006년8월18일

I. 서 론

언제 어디서나 사용자가 느낄 수 없는 컴퓨팅 및 네트워크가 이루어지는 유비쿼터스에 대한 관심으로 애드혹 통신망의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 애드혹

통신망은 AP(Access Point)와 같은 인프라 없이 단말 간의 통신으로 구성되는 무선망으로, 주로 군사용 네트워크나 긴급 구조 및 통신 재난 백업 목적을 지닌 비상업용 네트워크에서 활용되고 있다. 이러한 에드혹 통신망은 이동 컴퓨팅 기능을 가진 호스트이자 이동 애드혹 라우팅 기능을 가진 라우터로 동작하는 노드에 의해 구성된다^{[1][2]}. 노드의 잦은 이동으로 인해 네트워크는 동적인 토폴로지를 가지며 유선망에 비해 경로의 변경과 네트워크 구성, 해제가 빈번하다. 이외에도 각 노드는 다른 노드를 이용해 멀티 홉으로 통신을 하기도 하며 여러 노드 간의 협력에 의해 보안 및 라우팅을 제공하는 분산 운영 기능을 갖는다^[3]. 이처럼 에드혹 통신망은 기존 무선망과 다른 다양한 특징을 가지기 때문에 이에 관련된 수많은 연구가 진행되고 있다. 에드혹 통신망 분야에서는 불안정한 링크 특성 해결 방안, TCP 성능 향상 기법^[4], QoS 보장을 위한 메커니즘^{[5][6][7]}, 애드혹 라우팅 기술^{[8][9]}, 경로 특성 연구^[10], 보안과 인증 등에 관한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 이동성이 높은 환경을 위한 애드혹 라우팅 기술에 초점을 맞춘다.

에드혹 라우팅 프로토콜은 On-Demand 방식, Table-Driven 방식, 그리고 둘을 혼합한 Hybrid 방식으로 나뉜다^[11]. Table-Driven 방식은 항상 네트워크의 모든 노드에 대한 라우팅 정보를 유지하는 방식으로 보낼 데이터가 생기면 유지하고 있던 라우팅 정보를 이용해서 바로 보낼 수 있기 때문에 On-Demand 방식에 비해 전송 지연이 적다. 하지만 네트워크의 크기가 클 경우, 이 방식은 많은 라우팅 정보의 교환을 필요로 하기 때문에 많은 라우팅 오버헤드가 문제가 된다. 반면, On-Demand 방식은 전송할 데이터가 발생할 때에만 경로를 찾아서 이를 이용하는 방식으로 라우팅 정보의 교환이 적어 노드의 수가 많은 애드혹 네트워크에 적합한 라우팅 방식이다. 하지만 이 방식 또한 몇 가지 문제를 가진다. 그 중 하나가 전송 지연이 크다는 점이다. Table-Driven과는 달리 이 방식은 데이터 전송을 하지 않을 경우에는 라우팅 정보를 유지하고 있지 않기 때문에 데이터 발생 시 플러딩(Flooding)에 의해 목적지까지의 경로를 찾는 데 시간이 걸리게 된다. 또 다른 문제점은 잦은 플러딩의 발생으로 인해 오버헤드가 커질 수 있다는 점이다. On-Demand 방식은 플러딩을 통해 경로를 찾는 데 이 때 발생하는 라우팅 패킷의 양은 상당하다. 하지만 새로운 경로를 찾는 경우뿐만 아니라 사용하던 경로 상에 링크의 단절이 발생한 경우에도 플러

딩은 발생한다. 그렇기 때문에 노드의 이동으로 인해 네트워크가 빈번히 변화하는 환경에서 On-Demand 방식은 잦은 플러딩의 발생으로 인해 라우팅 오버헤드가 증가하게 된다.

On-Demand 방식에서의 잦은 플러딩으로 인한 오버헤드와 전송 지연의 증가 문제를 해결하기 위해서 보조 경로 기법을 도입한 BSR(Backup Source Routing)이 소개되었다^[12]. BSR은 On-Demand 방식에서 경로 탐색 과정 중 선택된 경로 이외에 보조 경로(Backup Route)를 추가로 설정하여 보다 안정적인 데이터 전송이 가능하게 한다. 또한, BSR은 다른 보조 경로 기법과는 달리 중간(Intermediate) 노드의 캐쉬를 사용하지 않고도 보조 경로를 이용할 수 있는 장점을 가진다. 이 외에도 보조 경로를 사용하는 다양한 알고리즘이 제안되었다^{[13][14][15][16]}.

앞서 소개한 알고리즘들은 일부 링크 손상이 발생할 경우에도 부분적인 경로 복구를 통해 경로 재탐색의 발생 없이 데이터 전송을 가능케 하고자 한다. 하지만 이들은 경로 탐색 단계에 탐색된 보조 경로만을 사용하기 때문에 노드의 이동에 의한 보조 경로의 손상을 겪는다. 보조 경로의 부재에 의한 성능 저하를 방지하기 위해서는 노드의 이동에 따라 손상된 보조 경로를 다시 설정해주어야 한다. 또한, 기존 보조 경로 기법들은 모든 보조 경로의 손상 여부를 주기적으로 확인하기 때문에 보조 경로 유지에 많은 비용이 든다. 따라서 본 논문에서는 효과적인 보조 경로 유지와 능동적인 보조 경로 재탐색을 수행하는 RBR(Reactive Backup Routing)을 제안한다. RBR은 능동 보조 경로 재탐색을 통해 네트워크 토폴로지 변화에 따라 새로운 보조 경로를 설정하며, 모든 보조 경로에 대해서 보조 경로 유지를 수행하는 BSR과는 달리 보조 경로에 우선순위를 부여하고 이에 따라 선택적으로 보조 경로를 유지한다. RBR은 기존 방식보다 다양한 보조 경로 사용과 선택적 보조 경로 유지로 인해 데이터 수신율을 향상시킬 뿐만 아니라 라우팅 오버헤드를 감소시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. RBR의 이해를 돕기 위해 II절에서 기존 보조 경로 기법에 대해 살펴본 후, III절에서 RBR의 동작 및 특성에 대해 자세히 살펴본다. 그리고 IV절에서는 성능 검증을 위하여 OPNET 10.0을 사용하여 RBR과 기존 알고리즘의 성능을 비교한다. 그리고 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 기존 라우팅 알고리즘

이번 장에서는 RBR의 이해를 돕기 위해 기존 알고리즘에 관하여 소개한다. 첫 번째로 대표적인 On-Demand 방식이자 RBR의 기반이 되는 DSR^[17]을 소개한다. 그 다음으로 기존에 제안된 보조 경로 라우팅 기법인 AODV-BR^[13]과 BSR(Backup Source Routing)^[12]을 각각의 소절에서 소개한다.

1. DSR (Dynamic Source Routing)

동적 소스 라우팅 알고리즘(Dynamic Source Routing, DSR)은 간단하면서도 오버헤드가 적은 대표적인 On-Demanding 방식으로, 소스가 목적지를 향하는 경로 상에 있는 모든 노드의 주소를 패킷에 포함함으로써 패킷을 목적지까지 전달하는 라우팅 알고리즘이다^[17]. DSR의 동작은 데이터를 전송하기 이전에 목적지로의 경로를 알기 위한 경로탐색 단계(Route Discovery Phase)와 경로탐색 단계를 통해 알게 된 경로가 끊임없이 유지되고 있는지를 감시하는 경로 유지 단계(Route Maintenance Phase)로 나눌 수 있다.

DSR에서 각각의 이동 노드는 찾은 경로를 저장하기 위해 경로 캐쉬(Route Cache)를 유지한다. 한 이동 노드가 다른 이동 노드로 데이터를 보낼 때, 소스 노드는 우선 목적지를 향하는 경로가 경로 캐쉬 안에 존재하는지 검사한다. 만약 경로가 발견되지 않을 경우, 목적지에 도달하는 경로를 찾는 단계를 경로 탐색 단계(Route Discovery Phase)라고 한다. 경로 탐색 단계는 그림 1과 같다.

소스 노드는 RREQ(Route Request) 메시지를 브로드캐스트(Broadcast)함으로써 경로 탐색 단계를 시작한다. RREQ는 플러딩을 통해 목적지로 전달된다. 이 때 RREQ는 전달된 경로 정보를 저장하는 소스 경로 필드(Source Route Field)를 포함하기 때문에 플러딩 과정에서 전달되어 온 노드들의 주소가 하나씩 소스 경로 필드에 추가된다. 만약 RREQ를 받은 노드가 목적지까지의 경로를 경로 캐쉬에 가지고 있으면, 이 경로를 RREQ의 소스 경로 필드에 추가하고 RREP(Route Reply)에 이 정보를 실어서 소스로 보냄으로써 목적지까지의 경로를 소스에 알려주게 된다. 만약 RREQ를 받은 노드가 목적지라면, 마찬가지로 RREP를 소스로 보내어 목적지까지의 경로를 알려준다. 소스는 이 과정을 통해 얻어진 경로 정보를 데이터 패킷의 소스 경로 필드에 삽입하여 목적지까지 패킷을 전달할 수 있다.

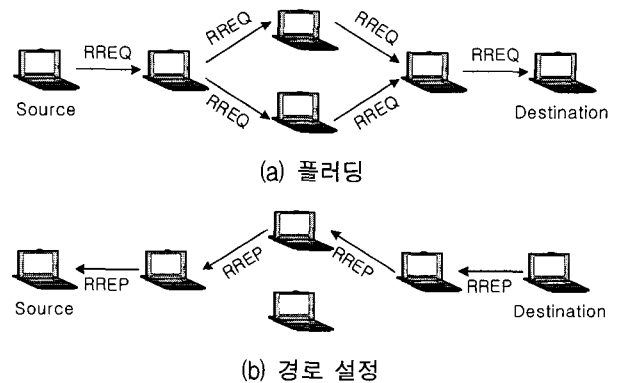


그림 1. DSR의 경로 탐색 절차
Fig. 1. Route Discovery in DSR.

애드혹 네트워크는 이동 노드의 이동 패턴, 링크 품질 또는 전력 여유 등에 따라 토폴로지가 수시로 변하므로, 경로 탐색 단계를 통해 경로를 찾은 후에도 단절된 링크가 없는지 수시로 경로를 모니터링하고 단절이 발생한 경우 경로를 복구해주어야 한다. 이처럼 경로 탐색을 통해 수집된 경로가 계속해서 사용 가능한지 관찰하고 단절된 경로를 복구하는 단계를 경로 유지 단계(Route Maintenance Phase)라고 한다. 예를 들어 노드의 이동에 의해 링크가 단절된다면 이를 포함하는 경로는 더 이상 사용될 수 없다. 그렇기 때문에 DSR에서 각 노드는 링크의 단절 여부를 주기적으로 확인하고, 이 과정 동안 링크의 단절이 발견되면 경로를 재설정해주어야 한다. 링크 검사 및 경로 재설정의 세부 과정은 다음과 같다. 각 노드가 응답 요청(Ack. Request) 메시지를 전송하면 이를 받은 노드가 응답(Acknowledgment) 메시지로 응답함으로써 링크가 잘 동작함을 이전 노드에게 알려준다. 만약 응답 메시지가 오지 않는다면, 링크가 단절된 것으로 판단하여 소스 노드로 RERR(Route Error) 메시지를 보내어 다른 경로를 사용하도록 한다. 만약 소스 노드의 경로 캐쉬에 다른 소스 경로가 존재하지 않는다면 경로 찾기 단계를 다시 수행하게 된다. 이런 이유로 빠르게 변화하는 네트워크에서 DSR은 경로 찾기 단계의 잦은 수행으로 인해 라우팅 오버헤드가 증가하게 되는 문제점이 있다.

2. AODV-BR (Ad hoc On demand Distance Vector - Backup Routing)

보조 라우팅 알고리즘(Ad hoc On-Demand Distance Vector -Backup Routing, AODV-BR)은 링크 손상으로 인한 데이터 손실을 방지하기 위하여 보조 경로를 이용하는 AODV기반의 보조경로 기법이다^[13]. 패킷의

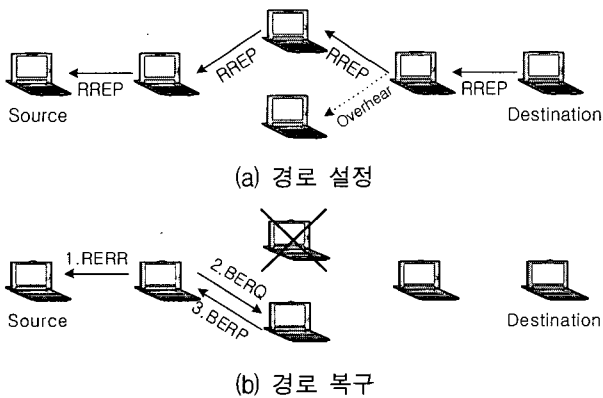


그림 2. AODV-BR의 경로 탐색 및 경로 복구 절차
Fig. 2. Route Discovery and Route Recovery in AODV-BR.

소스 경로 필드를 이용하는 DSR과는 달리 AODV는 중간 노드의 캐쉬를 이용하여 데이터를 목적지까지 전송한다. 그렇기 때문에 AODV는 패킷 헤더의 크기가 작은 반면 중간 노드의 캐쉬 사용이 잦은 특징을 가진다. 하지만 DSR 기반의 보조 경로 기법이 캐쉬를 이용하여 보조 경로를 사용하기 때문에 보조 경로 수집 및 유지 방식은 AODV 기반의 보조 경로 기법과 동일하다. 따라서 RBR은 DSR 기반이지만 AODV 기반 보조 경로 기법과 비교될 수 있다.

AODV-BR의 보조 경로 수집 방법은 다음과 같다. AODV-BR은 경로탐색 과정 동안 RREP의 오버허어링(Overhearing)을 통해서 보조 경로 정보를 수집해두기 때문에 링크 손상의 발생에도 보조 경로를 통해 손실 없이 데이터를 목적지까지 전송한다. 하지만 보조 경로를 지속적으로 사용하면 네트워크 토폴로지의 변화에 따른 최적 경로를 사용하는데 한계가 있기 때문에 AODV-BR은 링크 손상이 발생할 때마다 경로 탐색 과정을 다시 수행한다. 이러한 이유로 AODV-BR은 최적 경로를 사용할 수 있지만 라우팅 오버헤드 면에서 기존의 AODV보다 향상된 성능을 보이지 못한다. 또한, AODV-BR은 그림2-(a)에서처럼 보조 경로 설정이 오직 RREP의 오버허어링을 통해서만 이루어지기 때문에 보조 경로에 제약이 따른다. 그림 2-(b)에서와 같이 링크 손상이 발생할 경우, 이를 감지한 노드는 BERQ(Backup Existence Request)를 브로드캐스트하고 이를 수신한 노드 중에서 보조 경로를 가진 노드는 보조 경로를 BERP(Backup Existence Reply)에 넣어 응답한다. 그렇기 때문에 링크 손상이 복구되기 위해서는 BRRP를 수신할 때까지의 시간이 소모된다.

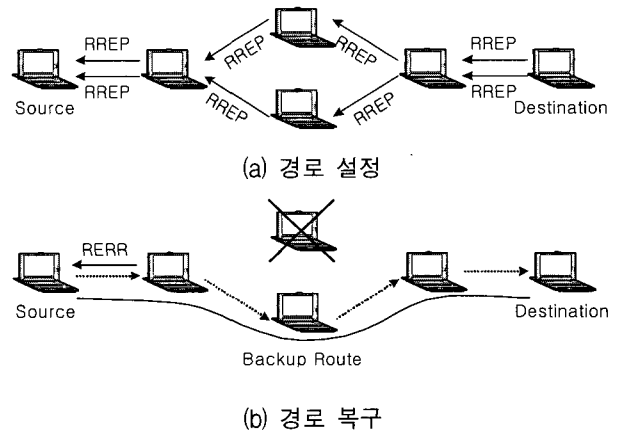


그림 3. BSR의 경로 탐색 및 경로 복구 절차
Fig. 3. Route Discovery and Route Recovery in BSR.

3. BSR (Backup Source Routing)

보조 소스 라우팅 알고리즘(Backup Source Routing, BSR)^[12]은 데이터 손실뿐만 아니라 경로 탐색 과정에 의한 라우팅 오버헤드까지 감소시키기 위해 보조 경로를 사용한다. BSR은 그림 3-(a)와 그림 3-(b)에서 보듯이 경로 탐색 과정에서 추가적인 라우팅 트래픽을 통해 보조 경로를 미리 설정해두어, 링크 손상의 발생에도 보조 경로를 사용해 경로 탐색 단계를 다시 수행하지 않고 곧바로 데이터를 목적지까지 전송한다. 그렇기 때문에 링크 손상이 발생할 때마다 경로를 다시 탐색하는 AODV-BR과는 달리 BSR은 경로 탐색수를 줄여 라우팅 오버헤드가 감소한다. 또한, BSR은 노드의 이동에 의한 보조 경로의 손상을 감지하기 위해 주경로 상의 각 노드는 주기적으로 보조 경로의 존재를 확인하여 잘못된 보조 경로 정보를 삭제한다.

BSR은 보조 경로의 설정 및 사용으로 노드의 빠른 이동에도 기존 방식보다 높은 데이터 수신율, 적은 지연 시간, 그리고 적은 라우팅 오버헤드를 보인다. 하지만 보조 경로의 사용이 경로 탐색 과정 동안 설정된 경로로 제한되기 때문에 네트워크 토폴로지의 변화에 최적화된 경로를 사용하지 못하는 단점을 가진다. 따라서 보조 경로 사용의 효율성을 높이기 위해 네트워크의 변화에 따라 능동적으로 보조 경로를 설정하는 새로운 기법이 요구된다.

III. 계층적 경로 변경 라우팅 알고리즘

기존의 보조 경로를 사용하는 라우팅 기법은 경로 탐색 과정 동안 탐색한 보조 경로만을 사용한다. 그렇기 때문에 기존 방식들은 네트워크의 토폴로지 변화에 따

른 최적의 보조 경로를 사용하기에는 한계가 있다. 본 논문에서는 토폴로지 변화를 인식하여 능동적으로 보조 경로를 재설정하는 능동 보조 라우팅(Reactive Backup Routing, RBR)을 제안한다.

RBR의 설명은 다음 세 단계로 나뉜다. 첫째는 경로 탐색 단계이다. 경로 탐색 단계에는 주경로의 탐색 및 설정뿐만 아니라, 보조 경로의 설정이 이루어진다. 둘째는 보조 경로 유지 단계이다. 경로 탐색 단계에 설정된 보조 경로는 노드의 이동에 따라 사용 불가능해질 수 있기 때문에 각 노드는 경로 유지 단계를 통하여 이를 확인함으로써 잘못된 보조 경로의 사용을 방지한다. 마지막으로 보조 경로 재탐색 단계이다. 이 단계에서는 토폴로지의 변화에 따라 새로운 보조 경로를 설정한다.

1. 경로 탐색 단계

RBR은 링크 손상이 발생할 경우, 부분적인 경로 변경이 가능하도록 하기 위해 보조 경로 저장 기법을 사용한다. 보조 경로 저장 기법은 경로 탐색 단계에서 주 경로 외에 추가적인 경로를 미리 찾아서 각 노드의 라우팅 캐쉬에 저장해두는 방법이다. 따라서 주경로가 단절되더라도 사전에 수집되어 있는 보조 경로를 사용하여 경로 재탐색 없이 지속적인 데이터 전송이 가능하다. RBR에서의 경로 탐색 단계는 다음과 같다.

DSR에서의 경로 탐색 단계는 RREQ와 RREP의 두 가지 제어 신호의 교환을 통해 진행된다. 하지만 RBR에서는 추가적인 제어 신호를 사용하여 보조 경로를 확보한다. 이때 사용되는 제어 신호는 RRREP (Redundant Route Reply)로 정의한다. 우선, RBR에서 RREQ와 RREP의 교환 방식은 DSR과 동일하다. 그림4-(a)와 그림4-(b)에서와 같이 RREQ가 소스 노드로부터 플러딩되어 목적지까지 도달하면 목적지는 RREP로 응답하며 찾은 경로를 소스 노드에게 알려준다. 이와 마찬가지로 RREQ에 대한 보조 경로가 존재할 경우, RREP의 전달과 동시에 그림4-(a)에서 보듯이 RRREP를 추가로 전송함으로써 보조 경로를 인근 노드에게 알려주고 이를 수신한 노드는 보조 경로를 캐쉬에 저장한다. 본 논문에서는 그림 4에 표기한 바와 같이 보조 경로의 시작점이 되는 노드를 보조 노드(Backup Node, BN)으로 정의한다.

RREP를 수신한 노드는 이를 역경로 방향으로 포워딩(Forwarding)한 후 자신의 경로 캐쉬를 통해 보조 경로의 유무를 판단하여 RRREP를 전송 여부를 결정한다. 플러딩 과정에서 각 노드는 RREQ를 수신시 RREQ가 지나온 경로 정보를 경로 캐쉬에 저장한다. 그렇기

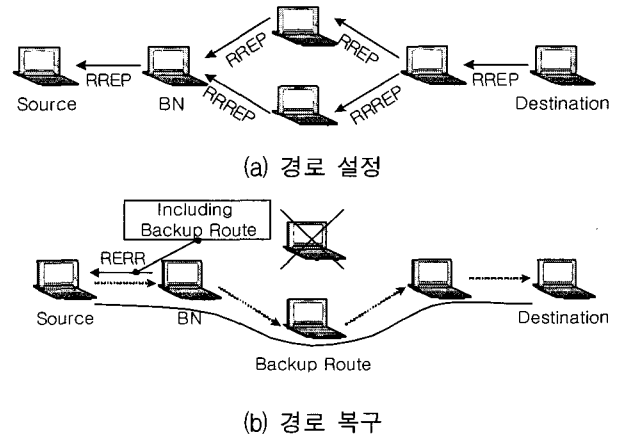


그림 4. RBR의 경로 탐색 및 경로 복구
Fig. 4. Route discovery and route recovery in RBR.

때문에 각 노드는 RREP를 수신했을 때 경로 캐쉬를 검색함으로써 가능한 보조 경로를 판단할 수 있다. 경로 캐쉬 검색시 보조 경로를 판단하는 방법은 다음과 같다. 우선, 동일한 소스 노드로부터의 중복된 RREQ를 수신한 경우, 보조 경로가 존재한다고 판단할 수 있다. 하지만 보조 경로의 홉 수가 주경로의 홉 수보다 클 경우, 효율성이 떨어지기 때문에 보조 경로의 홉 수가 주요 경로의 홉 수와 동일한 경우에만 보조 경로가 존재하는 것으로 가정한다.

노드의 밀도가 높아질수록 가능한 보조 경로의 수가 증가한다. 그렇기 때문에 보조경로 유지에 사용되는 라우팅 트래픽을 최소화하기 위해서는 각 보조경로에 대한 랭킹(Ranking) 과정을 통해 우선순위의 보조 경로를 먼저 사용하는 것이 바람직하다. RBR은 가장 오래 지속될 수 있는 보조 경로를 우선하기 위하여, 보조 경로 설정 단계에 각 홉의 수신 전력을 토대로 보조 경로의 우선순위를 결정한다. 이를 위해 RRREP에 수신 전력 필드가 추가되고, RRREP을 수신한 각 노드는 자신의 수신 전력값의 역수가 RRREP의 수신 전력 필드값보다 클 경우 수신 전력 필드값을 자신의 수신 전력의 역수로 수정한다. 최종적으로 보조 경로를 저장하는 중재 노드는 수신 전력 필드의 값이 작은 보조 경로에 대해 이 값이 큰 보조 경로보다 높은 우선순위를 둔다. 보조 경로의 우선순위는 다음의 수식으로 표현된다. 여기서 Backup Cost(i)는 보조 경로 i의 비용을 의미하며, BR은 보조 경로에 포함되는 노드의 집합을 의미한다. 또한, Receiving Power(j)는 RRREP를 수신한 노드 j의 수신 전력을 의미한다.

$$Backup\ Cost(i) = \max_{all\ j \in BR} \frac{1}{Receiving\ Power(j)} \quad (1)$$

앞에서 설명한 경로 탐색 단계를 통해 보조 경로를 알게 된 노드는 주경로 상에서의 통신 단절이 발생할 경우, 그림 4-(b)에서와 같이 RERR(Route Error)를 사용해 보조 경로를 소스 노드에 알림으로써 소스 노드는 경로 탐색 단계를 재수행하지 않고 보조 경로를 사용하여 통신을 지속할 수 있다.

2. 보조 경로 유지 단계

보조 경로는 경로 탐색 단계 동안에 설정된 이후, 노드의 이동에 의해서 사용이 불가능해질 수 있다. 이러한 잘못된 보조 경로를 확인 절차 없이 그대로 사용하는 것은 데이터가 손실을 야기할 우려가 있다. 뿐만 아니라 이는 불가능한 데이터 전송을 시도함으로써 불필요한 자원을 낭비하게 된다. 안정적인 보조 경로의 확보를 위해 RBR은 설정된 보조 경로를 주기적으로 확인하여 손상된 보조 경로는 재빨리 캐쉬로부터 삭제되는 것이 바람직하다. 이번 절에는 작은 라우팅 오버헤드로 보조 경로의 손상 여부를 확인하는 경로 유지 기법에 대해 설명한다.

그림 5는 보조 유지 절차와 그에 따른 보조 노드의 캐쉬 상태를 보여준다. 보조 경로 정보를 가진 보조 노드는 그림5에서와 같이 보조 경로로 BMRQ(Backup Maintenance Request) 메시지를 보낸다. 이를 수신한 보조 경로의 노드는 BMRP(Backup Maintenance Reply) 메시지로 응답한다. 만약 주경로 상의 노드가 BMRP 메시지를 들으면, 보조 경로가 사용 가능한 것으로 판단하여 이를 유지한다. 반면 BMRP 메시지를 일정 시간 안에 받지 못할 경우, 보조 경로가 손상된 것으로 판단하여 이를 캐쉬로부터 삭제한다. 그림 5-(a)에서는 보조 노드가 BMRQ에 대한 BMRP를 수신하여 보조 경로 정보를 캐쉬에 그대로 유지한다. 하지만 그림 5-(b)에서 보조 노드가 BMRQ에 대한 BMRP를 수신하지 못해 캐쉬로부터 보조 경로를 삭제한 것을 확인할 수 있다.

앞서 설명한 예는 보조 경로가 한 개 존재할 경우의 보조 경로 유지 절차이다. 하지만 네트워크 밀도가 높아질수록 가능한 보조 경로의 수가 증가한다. 이 경우 모든 보조 경로에 대해 주기적으로 확인 절차를 거치는 것은 상당한 오버헤드를 야기할 수 있다. 따라서 RBR은 보조 경로 설정 동안의 랭킹 과정을 통해 결정된 최우선 보조 경로를 우선적으로 확인한다. 차선의 보조 경로들에 대한 확인 절차는 최우선 보조 경로가 손상되었을 경우에만 순차적으로 수행된다. 이런 방법으로 마

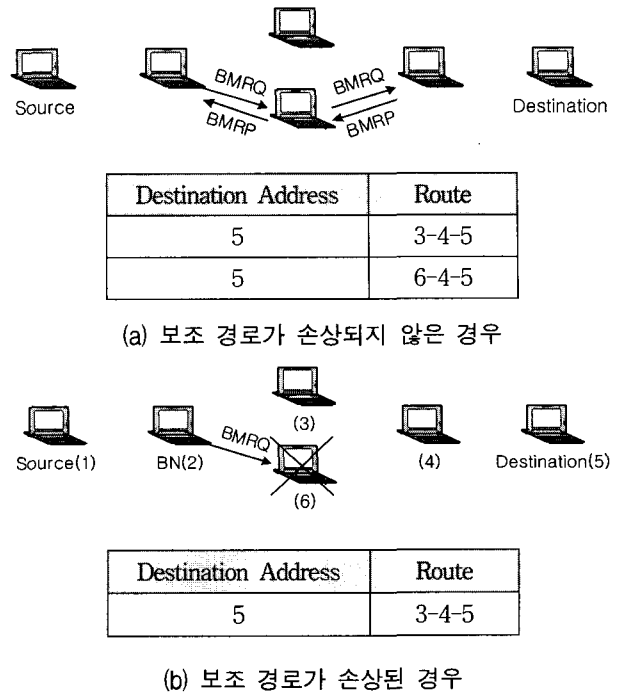


그림 5. 보조 경로 유지 절차
Fig. 5. Backup route maintenance.

지막 순위의 보조 경로까지 삭제될 경우 보조 경로가 다시 탐색된다.

기존에 제안된 BSR은 모든 보조 경로에 대한 확인 과정을 주기적으로 수행한다. 이는 다양한 보조 경로를 사전에 확인해두기 때문에 링크가 손상되었을 때 보조 경로를 신속하게 사용할 수 있도록 해준다. 하지만 BSR은 보조 경로의 주기적 확인을 위해서 많은 라우팅 트래픽이 발생하는 단점을 가진다. 이처럼 보조 경로를 사용하는 효율성은 보조 경로 유지비용과 상반된다. 이러한 관계에 관해서는 IV장의 시뮬레이션 결과를 통해서 분석하고자 한다.

3. 보조 경로 재탐색 단계

RBR은 네트워크 토폴로지의 변화에 따라 보조 경로를 다시 설정한다. 하지만 보조 경로를 재설정하기 위해서는 라우팅 트래픽이 증가하게 된다. 따라서 라우팅 트래픽을 최소화하면서 보조 경로의 사용을 최적화하기 위해 RBR은 다음 두 경우에 보조 경로를 재탐색한다. 첫째로 설정된 보조 경로가 노드의 이동에 의해 모두 삭제될 경우, 보조 경로의 재탐색을 수행한다. 보조 경로 기법의 주요 목적인 데이터 손실의 방지를 위해서는 주경로 상의 각 노드는 하나 이상의 보조 경로를 두는 것이 바람직하기 때문에 보조 경로의 부재시 재탐색을 통해 새로운 보조 경로를 설정하도록 한다. 둘째로 주

경로의 노드가 이동하여 보조 경로로 대체될 경우, 보조 경로의 재탐색을 수행한다. 이런 경우에 보조 경로의 설정은 이전 경로를 중심으로 구성되어 있기 때문에 주변의 노드는 변경된 경로를 중심으로 보조 경로를 새롭게 설정한다. 각 경우의 보조 경로 재탐색 단계는 다음의 두 소절을 통해 설명된다.

가. 보조 경로 부재에 의한 보조 경로 재탐색

보조 경로가 모두 삭제 됐을 경우에는 데이터 손실의 확률이 높아지기 때문에 RBR은 이런 경우 새로운 보조 경로를 탐색하여 전송의 안정성을 높여준다. 그림6는 보조 경로의 부재에 의한 보조 경로 재탐색 과정을 보여준다. 여기서 실선이 주경로를 나타내며, 점선은 보조 경로를 나타낸다. 노드2는 노드6을 보조 경로로 사용하던 중 그림 6(a)에서와 같이 노드6이 노드2의 전송 범위 밖으로 이탈하게 되면 그림 6-(b)에서와 같이 새로운 보조 경로를 탐색한다. 보조 경로를 손실한 노드2는 BRRQ(Backup Route Request)를 전송하게 되고, BRRQ는 k홉까지 전달된다. 만약 k홉 이내에 보조 경로가 존재할 경우 BRRP(Backup Route Reply)를 통해서 보조 경로를 설정한다. 그림 6-(b)에서는 노드7이 노드2의 전송 범위 안으로 이동해 새로운 보조 경로로 설정되는 과정을 보여준다.

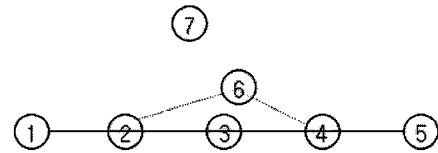
나. 경로 변경에 의한 보조 경로 재탐색

주경로에 링크 손상이 발생하여 보조 경로로 주경로가 변경된 경우, 보조 경로가 주경로의 일부가 되어 변경된 주경로를 중심으로 보조 경로를 새롭게 설정한다. 이 때, 보조 경로 재탐색의 오버헤드를 최소화하기 위해 재탐색 과정은 경로 변경이 발생한 지역에서만 수행된다. 그림 7는 경로 변경에 의한 보조 경로 재탐색 과정을 보여준다. 여기서 실선이 주경로를 나타내며, 점선은 보조 경로를 나타낸다. k=2를 가정하였을 때, 주경로에 대한 보조 경로의 설정은 그림 7-(a)와 같다. 하지만 노드3이 경로를 이탈하여 노드6이 대신 주경로로 선택 되면, 노드3을 기준으로 설정된 보조 경로1과 보조 경로3은 사용 불가능해진다. 따라서 그림 7-(b)와 같이 노드6은 BRRQ를 브로드캐스트하여 자신을 기준으로 보조 경로를 다시 탐색한다. 이 때 그림 7-(b)에서 노드6으로부터 소스에 가까운 노드1은 BRRQ의 수신을 통해 보조 경로를 저장하게 되고, 노드6보다 목적지에 가까운 노드5는 BRRP로 이에 응답함으로써 노드6에 보조 경로 정보를 알려준다. 그림 7-(c)는 보조 경로 재탐색

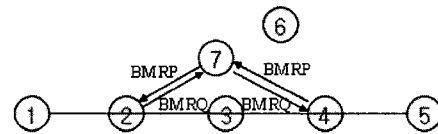
이후의 주경로와 보조 경로를 보여준다.

IV. 모의실험 및 성능 분석

본 논문에서는 성능 검증을 위해 OPNET 10.0^[18]에 구현된 DSR을 기반으로 AODV-BR, BSR, 그리고 RBR을 구현하고 이들의 성능을 비교하였다. 기존의 DSR 및 보조 경로 기법인 AODV-BR, BSR과의 비교를 통해 RBR의 보조 경로 설정의 효율성을 검증하였다. 또한, RBR의 선택적 보조 경로 유지에 의한 성능을 기존 방식과 비교하기 위해 보조 경로 재탐색을 수행하지 않고, 선택적 보조 경로 유지만을 수행하는 알고리즘(Non-RBR)의 성능도 함께 비교한다. 성능 비교 항목

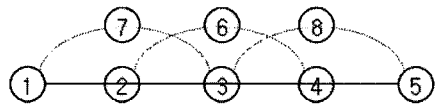


(a) 보조 경로의 존재

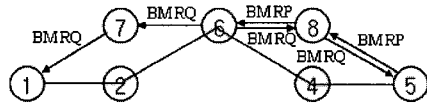


(b) 보조 경로의 손상 및 새로운 보조 경로의 설정

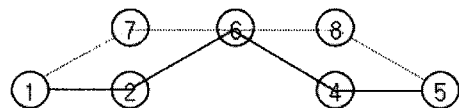
그림 6. 보조 경로 재탐색의 발생 및 절차
Fig. 6. Occurrence and process of backup route rediscovery.



(a) 경로 변경 이전의 주경로 및 보조 경로



(b) 경로 변경에 의한 보조 경로 재탐색



(c) 경로 재탐색 이후의 주경로 및 보조 경로

그림 7. 경로 변경에 의한 보조 경로 재탐색
Fig. 7. The backup route rediscovery happened by the route alternation.

으로 이동성에 따른 각 알고리즘의 데이터 수신율, 라우팅 오버헤드, 그리고 RREQ의 발생을 비교한다. 이번 절에서는 시뮬레이션 환경 설정을 먼저 살펴본 후, 각각의 결과를 분석한다.

1. 시뮬레이션 환경

이번 절에서는 시뮬레이션에 사용된 시나리오와 파라미터 설정에 관하여 소개한다. 본 논문에서는 노드의 이동에 의한 패킷 손실을 분석하기 위해 다양한 이동 속도에서 시뮬레이션을 하였다. 또한, 이동에 의한 패킷 손실에 대한 쉬운 분석을 위하여 트래픽 부하에 의한 패킷 손실이 발생하지 않도록 트래픽 부하를 비교적 낮게 설정하였다. 자세한 시뮬레이션 설정은 다음 표 1과 표 2에서와 같다.

데이터링크 프로토콜은 IEEE 802.11 Distributed Coordination Function(DCF)^[21]로 가정한다. 각 노드의 전송 범위는 250미터로 가정하고, 채널 용량은 2Mbps로 가정한다. 또한, 본 논문에서는 데이터의 전송에 RTS(Request-To-Send)와 CTS(Clear-To-Send)^[19] 제어 패킷을 사용한다.

시뮬레이션 시나리오는 다음과 같이 구성된다. 네트워크는 가로 750m, 세로 750m의 지역에 50개의 노드를 포함한다. 또한, 총 세션(Session)의 수는 3개이며, 각 세션은 5packet/sec의 전송 속도로 512byte의 패킷을 전송한다.

이동성을 지원하기 위해 랜덤 방향 이동 모델(Random waypoint mobility model)^[20]이 사용된다. 랜덤 방향 이동 모델은 네트워크의 노드가 랜덤하게 선택된 한 지점으로 이동한 후 멈추고 일정시간 후 다시 이동을 반복하는 모델이다. 각 노드는 무작위로 한 지점을 선택하고, 일정한 속도로 이 지점을 향해 이동한다. 노드가 그 지점에 도달하면, 정지 시간(Pause Time)을 기다린 후 다시 다른 지점을 선택하여 동일한 방식으로 이동한다. 본 논문에서는 정지 시간을 10초로 설정하고, 이동 속도를 0m/s에서 20m/s까지 달리하여 성능을 비교한다.

표2는 라우팅 프로토콜과 관련된 파라미터의 설정을 보여준다. 애드혹 라우팅 프로토콜의 파라미터인 캐쉬 타이머(Cache Timer)는 30초로 설정한다. 본 논문에서 비교되는 모든 라우팅 프로토콜에서 각 노드는 여러 방법으로 수집된 라우팅 경로를 경로 캐쉬에 저장하고, 일정 시간이 지나면 이 경로를 삭제한다. 이 때 경로 삭제를 위해 사용되는 기준 시간이 캐쉬 타이머이다. 캐

표 1. 시나리오 설정
Table 1. Scenario setting.

파라미터	설정값
전송 범위 (m)	250
데이터링크 계층의 전송률 (Mbps)	2
노드의 수 (개)	50
네트워크 크기 (m×m)	750×750
정지 시간 (s)	10
이동 시간 (m/s)	0, 5, 10, 15, 20
세션의 수 (개)	3
세션당 전송 속도 (packet/s)	5
패킷 크기 (byte)	512

표 2. 라우팅 프로토콜에 대한 파라미터 설정 값
Table 2. Parameter values for the routing protocol.

파라미터	설정값
경로 캐쉬 타이머 (s)	30
보조 경로 확인 타이머 (s)	0.01
TTL(Time-to-Live) of RREQ (hops)	7
TTL(Time-to-Live) of BRRQ (hops)	2

쉬 타이머 값이 크게 설정될수록 저장된 경로를 오랜 시간 동안 사용하는 것을 의미한다. 이동성이 낮은 시나리오에서는 큰 캐쉬 타이머 값이 경로 탐색의 발생수를 줄여주어 라우팅 오버헤드를 적게 발생시킬 것이다. 하지만 이동성이 높은 시나리오에서 큰 캐쉬 타이머 값을 설정하는 것은 노드의 이동에 의해 이미 손상된 경로를 캐쉬로부터 사용되도록 하기 때문에 불가능한 데이터 전송을 시도하는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이동성이 높은 시나리오까지 실험하기 위하여 비교적 캐쉬 타이머 값을 작은 30초로 설정하였다.

RBR에서 보조 노드는 보조 경로 확인을 위해 보조 경로로 BMRQ를 보내어 일정 시간 안에 BMRP를 받지 못하면 이 경로를 캐쉬로부터 삭제한다. 이 때 BMRP의 수신까지 기다리는 시간이 보조 경로 확인 타이머로 정의되며, 이 값은 0.01초로 설정되었다.

또한, 본 논문에서는 DSR과 기타 알고리즘의 경로 탐색 단계에 사용되는 RREQ의 TTL(Time-to-Live)값을 7홉으로 설정하였으며, 많은 보조 경로와 보조 경로 홉수의 증가로 인한 보조 경로 유지비용 증가를 방지하기 위해 RBR의 보조 경로 탐색 단계에 사용되는 BRRQ의 TTL값을 2홉으로 작게 설정하였다.

2. 결과 분석

본 소절에서는 RBR의 성능 검증을 위해 노드의 이동 속도에 따른 데이터 수신율, RREQ 전송횟수, 라우팅 오버헤드 비율, 그리고 종단간 전송지연을 기존 알고리즘들과 비교한다. 비교 대상으로 대표적인 On-Demand 방식인 DSR, AODV에 보조 경로 기능을 추가한 AODV-BR, 그리고 DSR에 보조 경로 기능을 추가한 BSR이 사용된다. 또한, 선택적 보조 경로 유지가 RBR의 성능에 미치는 영향을 확인하기 위해 보조 경로 재탐색을 수행하지 않고 오직 선택적 보조 경로 유지를 수행하는 RBR의 성능을 비교한다.

그림 8은 노드의 이동 속도에 따른 데이터 수신율을 보여준다. Non-RBR은 보조 경로 재탐색을 사용하지 않고 기존 방식에 선택적 보조 경로 유지 기능만을 추가한 알고리즘의 성능을 의미한다. 그림8에서 보듯이 이동 속도가 0m/s일 때에는 모든 알고리즘이 100%의 데이터 수신율을 보여주지만, 이동 속도가 점차 증가할수록 RBR은 기존 알고리즘보다 우수한 성능을 보여준다. DSR은 보조 경로의 사용이 전혀 이루어지지 않기 때문에 한 링크만 손상되더라도 무조건적인 데이터 손실 발생으로 인하여 데이터 수신율이 가장 낮다. AODV-BR은 링크 손상이 발생한 경우, 패킷을 곧바로 버리지 않고 주변 노드로 보조 경로가 있는지 요청하여 응답이 있으면 이를 이용하여 패킷을 전송한다. 그렇기 때문에 AODV-BR은 DSR보다 데이터 수신율이 높게 나타난다. 하지만 AODV-BR은 보조 경로의 설정이 RREP의 오버헤더링을 통해서만 가능하기 때문에 보조 경로의 사용이 많지 않다. 이와는 달리 BSR과 RBR은 경로 탐색 단계에 RRREP를 통해 보조 경로를 능동적으로 설정하기 때문에 보조 경로가 AODV-BR보다 많이 설정되어 잦은 링크 손상에도 높은 데이터 수신율을 보인다. 본 논문에서 제안한 RBR은 경로 탐색 단계에서의 보조 경로 설정 이외에도 보조 경로가 네트워크 토폴로지 변화에 의해 모두 삭제 될 경우, 새롭게 보조 경로를 탐색한다. 그렇기 때문에 RBR의 데이터 수신율이 가장 높게 나타나는 것을 그림에서 확인할 수 있다. 또한, Non-RBR은 보조 경로 재탐색이 안되기 때문에 BSR과 데이터 수신율이 거의 동일하게 나타난다. 이처럼 RBR은 선택적 보조 경로 유지를 사용하지만 BSR에서 모든 보조 경로를 주기적으로 확인할 때와 같이 링크 손상에도 데이터를 손실 없이 보낸다.

보조 경로 기법은 보조 경로를 설정하고 유지하기 때문에 부가적인 트래픽이 발생한다. 하지만 보조 경로

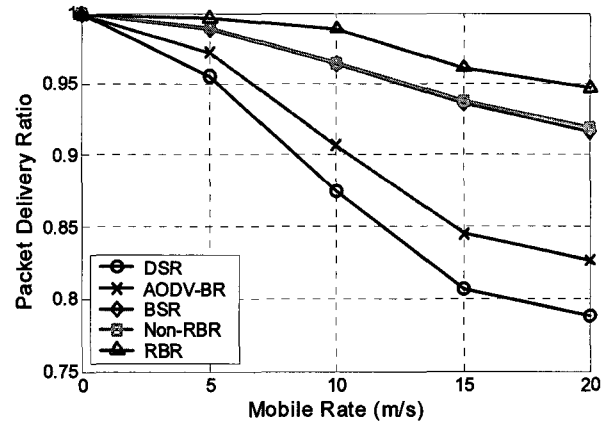


그림 8. 데이터 수신율
Fig. 8. Data delivery ratio.

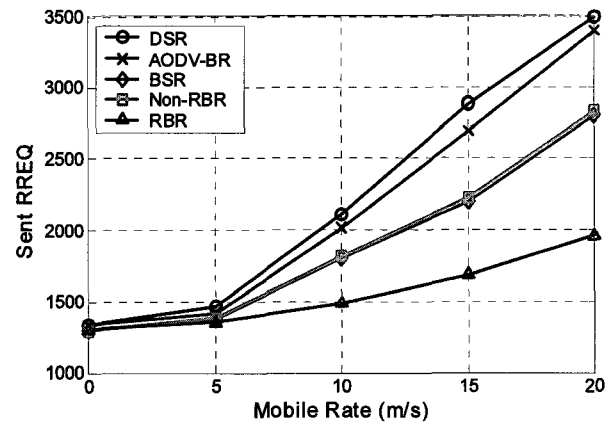


그림 9. RREQ의 발생량
Fig. 9. The amount of the generated RREQ.

기법은 링크 손상이 발생하더라도 보조 경로를 이용하여 경로 재탐색없이 경로 복구를 수행하기 때문에 플러딩의 발생이 감소한다. 단일 경로 기법은 플러딩이 발생하면 RREQ가 네트워크 전체로 브로드캐스트되기 때문에 이는 상당한 라우팅 오버헤드의 증가를 야기한다. 이러한 플러딩 발생을 비교하기 위해 각 알고리즘의 RREQ 발생량이 비교되었다. 그림 9는 노드의 이동 속도에 따른 RREQ의 브로드캐스트 횟수를 보여준다. 캐시 타이머에 의해 주기적으로 라우팅 정보가 삭제되기 때문에 그림에서 보듯이 노드가 움직이지 않는 시나리오에서도 RREQ의 전송량이 비교적 높게 나타난다. 이동 속도가 증가함에 따라 각 알고리즘의 RREQ 전송량이 증가한다. 이 중 DSR은 보조 경로의 사용이 전혀 없기 때문에 RREQ의 전송량이 가장 크게 증가한다. 또한, AODB-BR도 보조 경로가 있을 경우 전송되던 패킷을 보조 경로로 전송하긴 하지만 경로 최적화를 위해 경로 탐색을 다시 수행하기 때문에 RREQ의

전송량은 DSR과 거의 비슷하게 나타난다. 하지만 보조 경로가 손상되기까지 이를 지속적으로 사용하는 BSR과 RBR은 이동 속도의 증가에도 RREQ의 발생량이 비교적 적게 증가한다. RBR은 보조 경로의 설정이 네트워크 토폴로지의 변화에 따라 능동적으로 이루어지기 때문에 경로 탐색이 가장 적게 발생하여 RREQ의 발생량이 가장 작다. 이를 통해 RBR이 보조 경로를 많이 사용하고 있음을 알 수 있다. 또한, Non-RBR은 BSR과 RREQ의 발생량이 거의 동일하게 나타난다. 이는 그림 8에서 보듯이 Non-RBR은 BSR보다 보조 경로 유지 비용을 감소시키지만 링크 손상에 대한 신속한 경로 복구를 보인다.

그림 10는 노드의 이동 속도에 따른 라우팅 오버헤드 비율을 보여준다. 여기서 라우팅 오버헤드 비율은 전송된 라우팅 트래픽 / 수신된 데이터 트래픽으로 정의한다. 그림에서 보듯이 노드가 정지하거나 이동 속도가 낮은 시나리오에서는 BSR과 RBR의 라우팅 오버헤드 비율이 DSR과 AODV-BR보다 높게 나타난다. 이는 보조 경로의 설정과 유지에 필요한 라우팅 트래픽의 발생 때문이다. BSR과 RBR은 경로 탐색 과정 동안 보조 경로를 설정하기 위한 RRREP의 전송과 보조 경로를 유지하기 위한 BMRQ 및 BMRP 패킷의 전송 때문에 보조 경로가 사용되지 않는 이동성이 낮은 시나리오에서는 오히려 높은 라우팅 오버헤드 비율을 보인다. 하지만 노드의 이동 속도가 증가함에 따라 BSR과 RBR은 보조 경로의 사용을 통해 경로 탐색의 발생을 줄이기 때문에 라우팅 오버헤드 비율이 DSR과 AODV-BR보다 낮게 나타난다. Non-RBR은 선택적 보조 경로 유지를 통해 BSR보다 적은 라우팅 오버헤드를 보인다. Non-RBR과 BSR의 차이는 이동 속도가 느릴수록 커진다. 이는 Non-RBR이 사용되지 않는 보조 경로에 대해 적은 라우팅 트래픽만을 발생시키기 때문이다. 또한, AODV-BR은 보조 경로의 설정에 부가적인 트래픽이 사용되지 않기 때문에 이동성이 낮은 시나리오에서 DSR과 거의 동일한 라우팅 오버헤드 비율을 보인다. 하지만 AODV-BR은 이동성이 높은 시나리오에서 링크 손상이 발생할 때마다 보조 경로의 여부를 확인하기 위해 인근 노드에 부가적인 라우팅 트래픽을 발생시키기 때문에 라우팅 오버헤드가 DSR보다 높게 나타난다.

그림 11은 노드의 이동 속도에 따른 종단 간 지연시간을 보여준다. 종단 간 지연시간은 시뮬레이션이 지속되는 시간 동안 각각의 수신된 데이터에 대한 종단 간 지연시간의 평균으로 정의한다. 노드의 이동 속도에 따

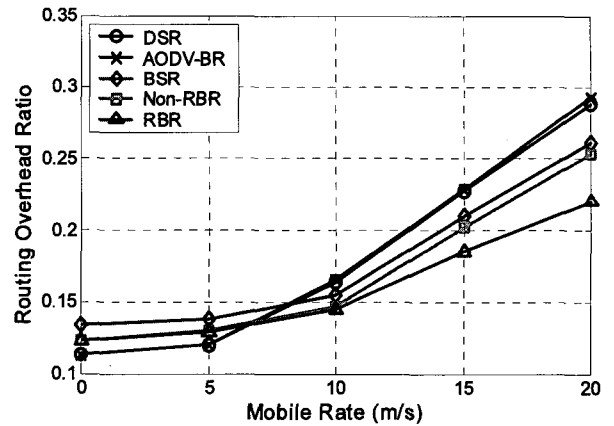


그림 10. 라우팅 오버헤드 비율

Fig. 10. Routing overhead ratio.

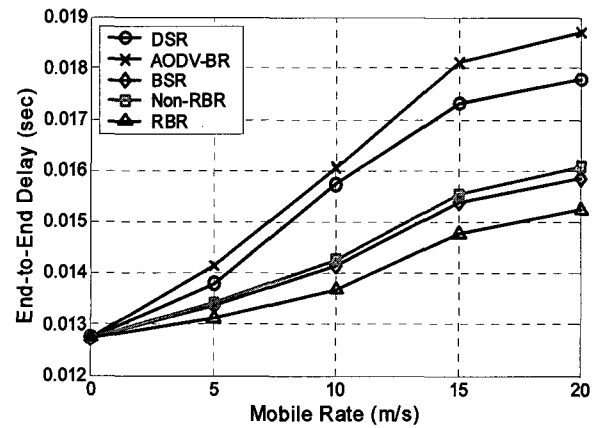


그림 11. 종단 간 지연시간

Fig. 11. End-to-End Delay.

른 라우팅 오버헤드 비율을 보여준다. DSR은 노드의 이동에 의해 링크 손상이 발생하면, 경로를 다시 탐색한 후 데이터를 전송하기 때문에 이동 속도가 증가함에 따라 지연시간도 증가한다. AODV-BR도 마찬가지로 링크가 손상되면 경로를 다시 탐색하여 지연시간이 증가한다. 하지만 AODV-BR은 링크 손상 시에 데이터를 버리지 않고 BERQ와 BERP를 사용하여 보조 경로 여부를 확인한 후에 보조 경로가 존재하면 이를 전송한다. 그렇기 때문에 AODV-BR은 이동 속도가 증가함에 따라 DSR보다 더 긴 지연시간을 보인다. 반면, BSR과 RBR은 보조 경로를 미리 설정해 두기 때문에 링크가 손상되면 확인 절차없이 존재하는 보조 경로를 바로 사용할 수 있다. 그렇기 때문에 BSR과 RBR은 DSR에 비해 짧은 지연시간을 보인다. 또한, RBR은 보조 경로를 더 안정적으로 유지하기 때문에 경로 재탐색의 수행이 BSR보다 적기 때문에 지연시간을 더 감소시킨다. Non-RBR은 그림 9에서 확인한 바와 같이 BSR보다 라

우팅 오버헤드를 줄인다. 하지만 Non-RBR은 그림 11에서 보듯이 지연 시간이 증가하는 문제를 가진다. Non-RBR은 최우선 보조 경로가 손상된 경우에만 다른 보조 경로의 손상 여부를 확인한다. 그렇기 때문에 중간 노드가 최우선 보조 경로의 손상이 감지하지 못한 채 데이터 전송을 시도할 경우 가능한 보조 경로를 순서대로 확인하여 지연 시간이 증가하는 단점을 가진다. 이때, 지연 시간의 증가는 이동 속도가 증가할수록 더 커진다.

V. 결 론

에드혹 네트워크는 노드의 이동으로 인한 잦은 토폴로지 변화에 의해 데이터 손실과 지연시간이 증가하는 한계가 존재한다. 때문에 보다 높은 질의 데이터 전송을 보장하기 위해 이동성 지원이 강화된 새로운 라우팅 알고리즘이 요구된다.

본 논문에서는 네트워크 토폴로지 변화에 따른 능동적 보조 경로 설정 기법과 보조 경로 유지 기법에 관한 RBR을 제안하였고, OPNET을 사용하여 RBR이 기존 보조 경로 기법보다 더 효율적인 보조 경로 탐색 및 유지로 데이터 수신율, 라우팅 오버헤드, 그리고 지연시간 측면에서 더 좋은 성능을 나타냄을 검증하였다.

보조 경로 기법은 이동이 잦은 네트워크에서 링크 손상에 의한 데이터 손실을 방지하기 위하여 보조 경로를 설정한다. 하지만 기존 방식은 경로 탐색 단계 동안에 설정된 보조 경로만을 사용하기 때문에 네트워크의 변화에 최적화된 보조 경로의 사용에는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 RBR은 필요에 따라 새로운 보조 경로를 능동적으로 탐색한다. 그렇기 때문에 RBR은 이동이 잦은 네트워크에서 기존 방식보다 보조 경로의 사용이 많아져 데이터 수신율과 지연시간 측면에서 더 좋은 성능을 보인다. 또한 RBR은 경로 탐색의 발생 감소뿐만 아니라 보조 경로 유지에 최소화된 라우팅 트래픽을 사용하고 플러딩의 발생을 최소화시키기 때문에 라우팅 오버헤드를 감소시킨다. 하지만 IV장에서 살펴본 바와 같이 선택적 보조 경로 유지 기능은 노드의 이동 속도가 증가할수록 종단 간 전송 지연 시간을 증가하는 문제를 가진다. 반면, 이동 속도가 느릴수록 보조 경로 유지 기능은 적은 라우팅 트래픽으로 유사한 전송 지연을 보이기 때문에 더 효율적이다. 본 논문에서의 시뮬레이션에서는 선택적 보조 경로에서 하나의 보조 경로만을 주기적으로 확인한다. 하지만 노드의 이동이 빠른 환경에서는 하나 이상의 보조 경로를 유지하는 것이 바람직

하다. 그렇기 때문에 RBR은 이동 속도에 따라 유지하는 보조 경로의 수를 조절한다면 라우팅 오버헤드와 지연 시간 측면에서 더 좋은 성능을 보일 것이다.

기존 보조 경로 기법과 RBR은 이동이 잦은 네트워크에서 보조 경로의 사용을 통해 DSR보다 더 좋은 데이터 수신율을 보인다. 하지만 이는 이동이 적은 네트워크에서는 불필요한 보조 경로의 설정 및 유지비용으로 라우팅 오버헤드가 증가하는 단점이 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 네트워크의 이동성에 따른 적절한 보조 경로 탐색 및 유지의 주기를 설정할 수 있는 방법이 지속적으로 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Elizabeth M.Royer and Chai-Keong Toh, "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," IEEE Personal Communications, vol. 6, pp. 46-55, 1999. 4.
- [2] Jyoti Raju and J.J.Garcia-Luna-Aceves, "A Comparison of On-Demand and Table Driven Routing for Ad-Hoc Wireless Networks," Proc. IEEE ICC, 2000. 6.
- [3] 권혜연, 신재욱, 이병복, 최지혁, 남상우, 임선배, "이동 Ad Hoc 네트워크 기술 동향," 전자통신동향 분석 제18권 제2호 2003. 4.
- [4] Taichi Yuki, Takayuki Yamamoto, Masashi Sugano, and Masayuki Murata, Hideo Miyahara, and Takaaki Hatauchi, "Improvement of TCP Throughput by Combination of Data and ACK Packets in Ad Hoc Networks," IEICE Trans. Commun., vol. E87-B, no. 9, pp. 2493-2499, 2004. 9.
- [5] Satyabrata Chakrabarti and Amitabh Mishra, "QoS Issues in Ad Hoc Wireless Networks," IEEE Communications Magazine, vol. 39, issue. 2, pp. 142-148, 2001. 2.
- [6] 강경인, 박경배, 유충열, 정찬혁, 이광배, 김현욱, "이동 에드 혹 네트워크에서의 QoS를 지원하는 라우팅 프로토콜," 한국통신학회논문지 '02-4 vol. 27, no. 4C pp. 273-281, 2002. 4.
- [7] 강경인, 박경배, 유충열, 정찬혁, 이광배, 김현욱, "단방향 이동 Ad Hoc 망에서의 다중경로를 이용한 QoS 라우팅 프로토콜," 정보처리학회논문지 C 제 9-C권 제6호, pp. 935-944. 2002. 12.
- [8] Tomyuki Ohta, Munehiko Fujimoto, Ryotaro Oda, and Yoshaki Kakuda, "A Class of Hierarchical Routing Protocols Based on Autonomous Clustering for Large Mobile Ad Hoc Networks," IEICE Trans. Commun., vol.

- E87-B, no. 9, pp. 2500-2510, 2004. 9.
- [9] Xiaoyan Hong, Kaixin Xu and Mario Gerla, "Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Network, vol. 16, pp. 11-21, 2002. 7-8.
- [10] Wei-Ho Chung, "Probabilistic Analysis of Routes on Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Communications Letters, vol. 8, Issue. 8, pp. 506-508, 2004. 8.
- [11] C-K Toh, "Ad Hoc Mobile Wireless Networks-Protocols and Systems," Prentice Hall PTR. 2002.
- [12] Song Guo, Oliver Yang, Yantai Shu, "Improving Source Routing Reliability in Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 16, no. 4, pp. 362-373, 2005. 4.
- [13] Sung-Ju Lee, Mario Gerla, "AODV-BR:Backup Routing in Ad hoc Networks," IEEE WCNC '00, vol. 3, pp. 1311-1316, 2000. 9.
- [14] Alvin Valera, Winston Seah, S.V. Rao, "Cooperative Packet Caching and Shortest Multipath Routing In Mobile Ad hoc Networks," IEEE INFOCOM '03, pp. 260-269, 2003.
- [15] Shinji Motegi, Hiroki Horiuchi, "AODV-Based Multipath Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," IEICE Trans. Commun., vol. e87-b, no. 9, pp. 2477-2483, 2004. 9.
- [16] Sangkyung Kim, Wonjong Noh, Sunshin An, "Multi-path Ad Hoc Routing Considering Path Redundancy," IEEE ISCC '03, vol. 1, pp. 45-50, 2003.
- [17] D. Johnson, D. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," in Mobile Computing, T. Imielinski and H. Korth, Eds., pp. 153-181, Kluwer Academic Publishers, Norwell, Mass., 1996.
- [18] Vincent D. Park, M. Scott Corson, "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks," IEEE INFOCOM '97, 1997. 4.
- [19] Zygmunt J. Haas, "A Routing Protocol for the Reconfigurable Wireless Network," ICUPC '97, vol. 2, pp. 565-566, 1997. 10.
- [18] OPNET Modeler 10.0, OPNET Technologies, Inc.
- [19] IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee, Wireless LAN Medium Access Protocol (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, IEEE Std 802.11-1997. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY, 1997.
- [20] T. Camp, J. Boleng, V. Davies, "A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research," Wireless Comm. & Mobile Computing (WCMC): Special Issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends, and Applications, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, 2001.

 저 자 소 개



정 세 원(정회원)
 2003년 8월 아주대학교
 전자공학과 학사 졸업
 2005년 8월 아주대학교
 전자공학과 석사 졸업
 2005년 9월~현재 (주)인프라밸리
 연구원

<주관심분야 : 유비쿼터스 네트워크, 802.11 WLAN, 에드 혹 네트워크>



이 채 우(정회원)
 1985년 서울대학교 제어계측
 학사 졸업.
 1988년 한국과학기술원
 전자공학과 석사 졸업.
 1995년 University of Iowa
 박사 졸업.

1985년 1월~1985년 12월 (주)금성통신 연구원.
 1988년 9월~1999년 3월 한국통신 선임연구원.
 1999년 3월~2001년 9월 Lucent Technologies
 Korea 이사.
 2001년 9월~2002년 2월 한양대학교 겸임교수.
 2002년 3월~현재 아주대학교 전자공학과
 조교수.

<주관심분야 : 광대역 통신망, Ubiquitous networking, Traffic Engineering>