

애드 혹 네트워크에서 경로 손실 회피 라우팅 프로토콜의 성능평가

(A Performance Analysis of Routing Protocols Avoiding Route breakages in Ad hoc Networks)

우 매 리[†] 정 상 준^{**} 정 영 석^{***} 김 증 근^{****}
 (Mary Wu) (Sang Joon Jung) (Youngseok Jung) (Chonggun Kim)

요약 애드 혹 네트워크의 요구 기반 라우팅 프로토콜은 노드가 이동하여 경로가 손실되는 경우, 경로 유지를 위해 지역 탐색을 수행하거나 송신 노드가 새 경로 탐색을 수행하여 경로를 유지한다. 새 경로 탐색이나 지역 경로 탐색을 수행할 경우, 전송중인 패킷의 지연이 발생한다. 경로 손실로 인한 지연을 줄이기 위해 경로 손실을 예측하고 대체 경로를 구성하여 경로 손실 지연을 줄이는 기법으로써 ARMP와 RPAODV가 있다. 이 라우팅 프로토콜은 링크 상태가 불안정 상태가 될 때, 지역적으로 대체 경로를 구성하여 경로 손실을 회피하는 기법으로써 대체 경로 생성의 성공률은 경로 손실과 전송 지연에 직접적인 영향을 가져온다. 본 연구에서는 이전에 제안된 경로 손실 회피 라우팅 기법들의 효율성을 검증하기 위해서 대표적인 요구 기반 라우팅 프로토콜인 AODV, 경로 손실 회피 라우팅 기법인 ARMP와 RPAODV의 수치 평가식을 제안하고, 각 프로토콜의 성능을 평가하였다. 또한, 제안한 수치 평가식의 효율성을 검증하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 비교 분석한다.

키워드 : 요구 기반 라우팅 프로토콜, AODV, 경로 손실, 신호 세기, 성능평가

Abstract When the movement of a node breaks the route in ad-hoc network, on-demand routing protocol performs the local route recovery or a new route search for the route maintenance. And when it performs the new route search or the local search, the packet which is transmitted can be delayed. There are ARMP and RPAODV as the methods reducing the delay resulted from the route-breakage. They predict the route-breakage and construct an alternative local route before the occurrence of the route-breakage. When the link state is unstable, the success rate of the alternative local route that can avoid the route-breakage can give a direct effect on the route-breakage and the transmission delay. To estimate the performance of routing protocols avoiding route-breakage, we suggest the numerical formulas of AODV, the representative on-demand routing protocol, and ARMP, RPAODV. To verify the efficiency and accuracy of the proposed numerical formulas, we analysis and compare with the results of the computer simulation and that of the numerical formulas.

Key words : on-demand, AODV, route-breakage, signal strength, performance analysis

1. 서론

MANET(Mobile Ad hoc Network)은 고정된 기반망의 도움 없이 이동 노드들 간에 자율적으로 구성되는 망으로써 각 이동 노드는 자신의 전파영역 내의 노드와 직접 연결을 설정하거나, 다른 이동 노드를 경유하여 연결을 설정한다. 애드 혹 네트워크의 모든 노드들은 이동성을 가지므로 네트워크 위상이 계속적으로 변하고, 낮은 대역폭과 에너지를 가진다. 또한, 각 노드는 다른 노드에 대한 경로상의 노드로 사용되므로 효율적인 데이터 전송에 있어서 배터리의 소모도 중요한 제약점이 된다

· 본 연구는 영남대학교 정보통신 연구소의 2005년도의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

† 정 회 원 : 영남대학교 컴퓨터공학과 교수
 mrwu@yumail.ac.kr
 ** 정 회 원 : 경일대학교 컴퓨터공학과 교수
 sjjung@kiu.ac.kr
 *** 정 회 원 : 경운대학교 컴퓨터공학과 교수
 ysjung@ikw.ac.kr
 **** 정 회 원 : 영남대학교 컴퓨터공학과 교수
 cgkim@yu.ac.kr
 (Corresponding author)
 논문접수 : 2005년 4월 8일
 심사완료 : 2005년 11월 1일

다. 또한 애드 혹 네트워크는 고정된 기반 망이 존재하지 않으므로 한 노드가 목적지 노드로 데이터를 전송하기 위해 망의 각 이동 노드들은 데이터 전송을 위한 경로를 지원하는 라우터의 역할을 수행한다. 애드 혹 네트워크에서는 세 가지 방식의 라우팅 프로토콜이 존재한다. 테이블 관리(table-driven) 방식[1-3]과 요구 기반(on-demand) 방식[4-11,13], 그리고 이를 혼합한(hybrid) 방식[12]으로 분류된다. 테이블 관리 방식은 주기적으로 또는 네트워크 토폴로지가 변화할 때 라우팅 정보를 방송함으로써 모든 노드가 항상 최신의 라우팅 정보를 유지하는 방식이다. 이 방식의 라우팅 프로토콜은 항상 최신의 정보를 유지하므로 트래픽 발생시 경로 탐색의 지연 없이 통신이 가능하나 각 노드가 테이블 관리를 위해 지속적인 제어메시지를 발생하므로 네트워크 상에 많은 제어 메시지 오버헤드가 발생하고 큰 대역폭이 소비된다. 요구 기반 방식은 트래픽이 발생하는 시점에서 경로를 탐색하는 방식으로 테이블 관리 방식이 가지는 제어 메시지 오버헤드와 대역폭 소비 문제를 해결한다. 요구 기반 방식은 송신 노드가 데이터 패킷을 전송하고자 할 때, 경로 탐색을 시작하여 목적지까지의 경로를 생성한다. 이 방식은 현재 활성화된 목적지에 대해서만 라우팅 테이블을 유지하므로 테이블 관리 방식에 비해서 라우팅 오버헤드가 매우 작고 대역폭의 소모도 작으므로 무선 환경에 적합하다. 그러나, 요구 기반 방식의 라우팅 프로토콜은 노드의 이동으로 현재 유지하는 경로가 손실되는 경우에는 경로를 재탐색하여 데이터 패킷을 전송하므로 새 경로를 탐색하는 동안 패킷 전송이 지연되고, 이것은 QoS에 좋지 않은 영향을 가져온다. 이 문제를 해결하기 위해서 ARMP(Active Route Maintenance Protocol) 라우팅 프로토콜은 불안정한 링크를 미리 판단하여 대체 경로를 생성하여 경로 손실을 예방한다[11]. 이 기법에서 각 노드는 모든 이웃 노드로부터 받는 신호세기의 정보를 이용하여 링크 상태를 판단하고, 링크가 불안정 상태가 될 때, 지역적으로 대체 경로를 생성하여 경로 손실을 예방한다. 대체 경로가 성공적으로 생성될 경우, 경로 손실과 경로 손실에 따른 패킷 지연은 발생하지 않는다. 따라서, 대체 경로 생성의 성공률은 네트워크 지연에 큰 영향을 미치는 요소로 간주된다. ARMP는 링크가 불안정 상태일 때, 지역적인 대체 경로를 생성하기 위해서 경로상의 다음 홉 노드와 이전 노드와 연결 가능한 다른 노드를 탐색한다. 이 조건을 만족하는 노드를 찾지 못할 때, 대체 경로 탐색은 실패하고, 경로는 손실될 수 있다. 대체 경로 성공률을 높이기 위해서 RPAODV(Robust Path AODV)가 제안되었다[13]. RPAODV는 AODV를 기반으로 하는 라우팅 프로토콜로서 링크가 불안정 상태일 때, 링크 손실을

방지하는 기법이다. RPAODV에서는 링크가 불안정 상태일 때, 경로상의 모든 상위 노드와 연결가능한 노드중에서 하나의 노드를 선출하여 대체 경로를 생성하고 경로 손실을 방지한다. 대체 경로 생성을 위한 노드의 선출 범위는 경로 상의 모든 하위 노드와 연결가능한 노드중에서 선택되므로 대체 경로 성공률이 이전 연구에 비해서 높을 가능성이 크다. 그러나, 이 연구들의 성능을 비교 분석한 연구가 없으므로 제안된 경로 손실 회피 프로토콜의 효율성의 정도를 알 수 없다. 본 연구에서는 경로 손실 회피기법의 효율성을 검증하기 위해서 평가식을 제안하고 수치 실험 결과를 분석한다. 제2장에서는 AODV, ARMP, RPAODV 라우팅 프로토콜의 개요를 설명하고, 제3장에서는 AODV와 ARMP, RPAODV의 제안된 수치 평가식을 소개한다. 제4장에서는 수치 실험을 통하여 효율성을 검증하고 이 결과를 분석한다. 제5장에서는 시뮬레이션을 통한 실험결과를 보인다. 마지막으로 제6장에서 결론을 맺는다.

2. AODV, ARMP, RPAODV 개요

AODV, ARMP, RPAODV는 요구 기반 방식 라우팅 프로토콜로서 전달할 패킷이 있는 노드는 목적지 노드에 대한 경로를 요청하여 목적지에 대한 경로를 획득한 후, 패킷을 전달한다. ARMP, RPAODV는 노드 이동으로 인한 경로 손실을 방지하기 위해서 경로 손실 회피 기법을 적용한다.

2.1 AODV

노드가 전송할 패킷이 있을 때, 경로 탐색 절차를 이용하여 목적지까지의 경로를 획득한다. 송신 노드는 목적지 경로를 획득하기 위해서 경로 요청(RREQ ; Route Request) 메시지를 플루딩한다. 경로 요청 메시지를 받은 각 노드는 메시지를 보낸 노드와 역경로(reverse path)를 수립한다. 경로 요청 메시지가 목적지 노드나 목적지 노드까지의 경로를 가지는 노드에게 도착하면 그 노드는 자신의 정보를 포함하여 경로 응답(RREP ; Route Reply) 메시지를 역경로를 따라 송신 노드까지 전송한다. 경로 응답 메시지를 받은 중간 노드들은 경로 응답 메시지를 보낸 노드를 목적지 노드의 경로에 대한 다음 홉 노드로 지정하고 이 정보를 라우팅 테이블 항목에 기록한다. 경로 응답 메시지가 송신 노드에게 도착하면 송신 노드는 데이터 패킷을 보내기 시작한다.

각 노드는 자신의 존재를 알리기 위해서 주기적으로 헬로(hello) 메시지를 방송한다. 미리 정해진 시간 내에 다음 홉 노드로부터 헬로 메시지를 받지 못하는 경우, 다음 홉 노드의 링크가 손실되었음을 인지하고, 현재 노드는 경로 에러(RERR ; Route Error) 메시지를 송신 노드 방향에 존재하는 모든 경로상의 노드들에게 전송

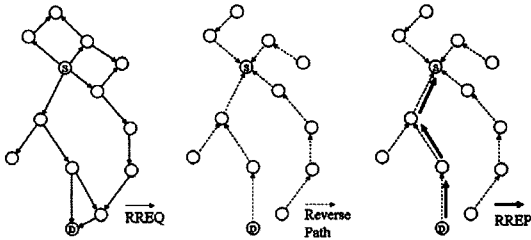


그림 1 AODV의 경로 탐색 절차

하여 경로가 손실되었음을 알린다. 송신 노드가 경로 에러 메시지를 수신하면 현재의 패킷 전송 경로가 손실되었음을 인식하고 계속적으로 패킷을 전송하기 위해서 목적지까지의 경로를 재탐색한다. 이때, 패킷 전송 지연이 발생한다. 새 경로 탐색으로 인한 패킷 전송 지연을 줄이기 위해서 AODV에서는 지역 탐색을 수행하기도 한다. 지역 탐색은 노드가 다음 홉 노드의 링크 손실을 인지하면 현재 노드가 송신 노드를 대신하여 직접 목적지에 대한 경로를 탐색하는 방식이다. 지역 경로 탐색에서 경로 요청 메시지를 방송할 때, 미리 결정된 n-홉까지만 방송한다. 지역 탐색에서 목적지 노드를 찾지 못한 경우 현재 노드는 경로 에러 메시지를 발생하여 송신 노드까지 전송하고 경로 에러 메시지를 수신한 송신 노드는 경로를 재탐색한다.

2.2 ARMP

ARMP는 경로상의 각 노드가 이웃 노드로부터 받는 신호세기를 이용하여 자신의 링크상태를 모니터링하고, 자신의 링크가 불안정 상태가 될 때, 경로가 손실되기 전에 미리 대체 경로를 구성하여 경로 손실을 방지한다. 경로상의 각 노드는 경로상의 이전 노드와 다음 홉 노드로부터 받는 신호세기를 측정하고, 측정된 결과 값이 일정 임계치 이하로 떨어질 때, 불안정 링크로 판단한다. 링크 손실을 막기 위해서 불안정 링크를 이루는 두 노드 중, 하나의 노드가 안정상태를 이루는 다른 노드로 대체된다. 속도가 빠른 노드는 경로 손실을 일으킬 가능성이 크므로 두 노드 중, 속도가 빠른 노드가 다른 노드로 대체 된다. 이것을 위해서 불안정 링크를 이루는 두 노드 중, 일정한 시간 내에 신호세기 변화량이 큰 노드가 다른 노드로 대체되어진다. 신호세기 변화량이 큰 것은 노드의 이동 속도가 빠르다는 것을 의미한다. 불안정 상태의 링크를 이루는 두 노드는 일정 시간 내의 신호 세기 변화량을 계산하여 상대 노드로 전송한다. 신호 세기 변화량을 비교하여 변화량이 큰 노드는 자신을 안정상태 링크를 이루는 다른 노드로 대체한다. 대체되는 노드는 새로 대체할 노드를 찾기 위해서 자신의 모든 이웃에게 지역 경로 재설정(LRRP : Local Route Reestablish Process) 메시지를 방송한다.

지역 경로 재설정 메시지는 경로상의 이전 노드, 다음 홉 노드, 자신의 ID를 포함한다. 이 메시지를 받은 원 홉 내의 이웃들은 자신이 패킷 상의 이전 노드와 다음 홉 노드와 통신이 가능한지 검사한다. 두 노드와 통신 가능하고, 그 링크가 안정 상태일 때, 경로 재설정 메시지를 방송한 노드에게 응답 메시지를 보낸다. 대체되는 노드는 응답 메시지를 수신한 후, 대체할 노드를 선택하고, 이 정보를 상위 노드에게 알려서 경로를 재구성한다. 지역 경로 재설정 메시지를 받은 노드 중, 메시지 상의 이전 노드, 다음 홉 노드와 통신 가능한 노드가 존재하지 않을 때, 대체 경로 생성은 실패하고, 현재 경로는 손실된다.

2.3 RPAODV

RPAODV는 AODV를 기반으로 하여 경로 손실 회피 기법을 적용한다. 경로를 이루는 각 노드는 다음 홉 노드에 대한 링크를 주기적으로 검사하고, 링크가 불안정 상태일 때, 안정 상태를 이루는 새로운 다음 홉 노드를 선택하여 경로 손실을 방지한다. RPAODV에서는 대체 경로 성공률을 높이기 위해, 선출가능한 새로운 다음 홉 노드의 범위를 확장한다. 새로운 다음 홉 노드로 선출 가능한 노드는 목적지 방향의 모든 하위 노드를 대상으로 하고 하위 노드들과 안정적인 연결을 가지는 비 경로상의 노드를 대상으로 한다. RPAODV에서 경로 손실 회피 기법을 적용하기 위해서 각 노드는 이웃 노드로부터 주기적으로 헬로 메시지를 수신할 때, 받는 신호세기를 측정한다. 경로상의 각 노드는 다음 홉 노드로부터 받는 메시지의 신호세기를 측정하여 그 값이 '안정 신호세기 임계치' 이하로 내려갈 때, 새로운 다음 홉 노드를 선출하여 경로 손실을 방지한다. 새로운 다음 홉 노드의 선출은 두 가지의 절차로 이루어진다. 먼저, 노드는 자신의 원 홉 이웃 중에 경로상의 하위 노드가 존재하는지 검사하고, 존재할 경우 신호세기가 '안정 신호세기 임계치' 이상인지 검사하여 '안정 신호 세기 임계치' 이상을 수신가능한 노드가 존재할 경우, 그 노드를 새로운 다음 홉 노드로 선출한다. 첫 번째 다음 홉 노드 선출에 실패할 경우, 비 경로상의 이웃 노드 중에 하위 노드와 안정적인 연결을 가지는 노드를 다음 홉 노드를 선출한다. 이때, 노드는 자신의 원 홉 이웃 노드가 경로상의 하위 노드와 안정적인 연결을 가지는지를 확인해야 한다. 이것을 위해서 노드는 경로 상의 하위 노드 목록을 포함하는 '수신 신호세기 요청 메시지'를 방송한다 (그림 2(a)). 노드 E의 하위 노드는 노드 D, G, F이므로 이 정보를 포함하여 '수신 신호세기 요청 메시지'를 방송한다. 이때, 노드 E의 원 홉 이웃 노드 I, J, L, N은 이 메시지를 수신한다.'수신 신호세기 요청 메시지'를 수신한 비 경로상의 노드 I, J, L, N은 경로상의 하위

노드로부터 수신 가능한 경우, 하위 노드로부터 수신하는 신호세기를 포함하여 '수신 신호세기 응답 메시지'를 전송한다. 노드 L은 경로상의 노드 E, F, G의 전송 거리 내에 존재하므로 신호세기 정보 SSEL, SSFL, SSSL를 포함하여 '수신 신호세기 응답 메시지'를 전송하고, 노드 N도 경로상의 노드 E, F, G의 전송 거리 내에 존재하므로 신호세기 정보 SEN, SSFN, SSGN를 포함하여 '수신 신호세기 응답 메시지'를 전송한다(그림 2(b)). SSIJ는 노드 J가 노드 I로부터 받는 신호세기를 나타낸다.

노드 E는 노드 L, N으로부터 수신한 '수신 신호세기 응답 메시지'의 신호세기 정보를 이용하여 다음 홉 노드를 선출한다. 비 경로상 노드 L, N 중에서 새로운 다음 홉 노드를 선택하는 기준은 현재 노드 E와 경로상의 하위 노드로부터 수신하는 신호세기 모두 '안정 신호세기 임계치' 이상인 노드로 한다.

두 번째 다음 홉 노드 선출이 실패할 경우, 송신 노드에게 경로 에러 메시지를 전송하고, 경로 에러 메시지를 수신한 송신 노드는 다시 경로를 탐색해서 경로를 재구성한다.

3. 성능 평가식

본 연구에서는 경로 회피 기법의 효율성을 검증하기 위해서 수치 평가식을 제안하고 결과를 분석하였다. 수치 평가식은 AODV에서 경로 손실시의 패킷 지연식과 ARMP, RPAODV에서 불안정 링크에 대한 복구를 수행할 때 발생 가능한 지연에 대한 식을 생성하였다. 그림 4는 지연식의 요소가 되는 홉 수 용어를 정의한다. 현재 노드 E에서 발신지 노드 S까지의 홉 수는 h_s (source hop count)로써 4이고, 현재 노드 E에서 목적지 노드 D까지의 홉 수는 h (hop count)로써 3이고, 발신지 노드 S에서 목적지 노드 D까지의 홉 수는 h_f (full hop count)로써 7이다. 경로 손실이 일어나서 새 경로가 구성되기 이전의 홉 수와 새 경로가 구성된 후의 홉 수를 p (previous)와 n (next)를 이용하여 구분한다. 경로 손실이 일어나기 전, 기존 경로에서 현재 노드에서 발신지 노드까지의 홉 수는 h_{ps} (previous source hop count)이고, 현재 노드에서 목적지 노드까지의 홉 수는 h_p (previous hop count)이고, 발신지 노드에서 목적지 노드까지의 홉 수는 h_{pf} (previous full hop count)

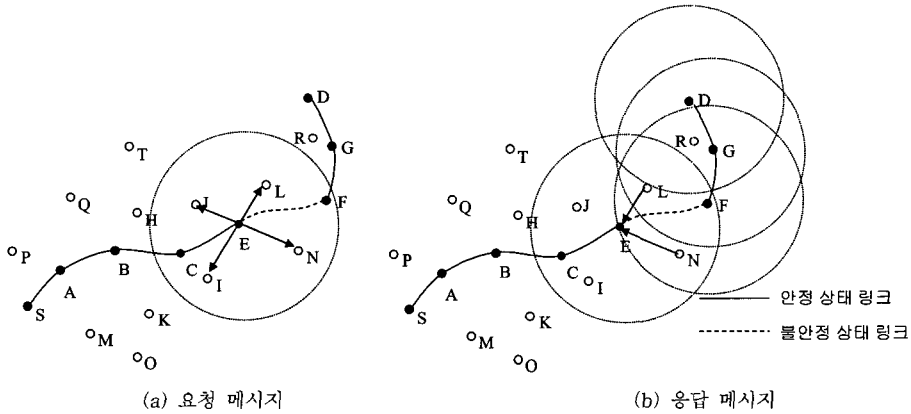


그림 2 수신 신호세기 메시지

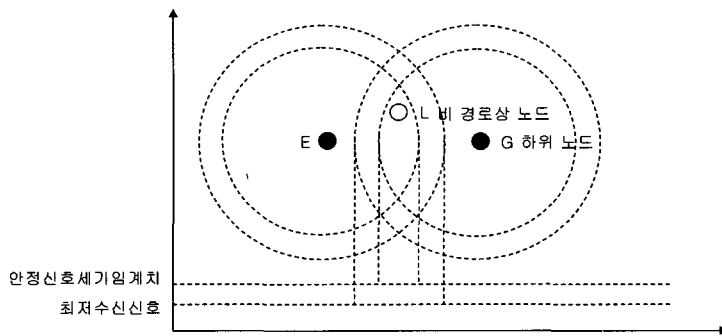


그림 3 다음 홉 노드로 선택 가능한 비 경로 노드의 기준

이다. 경로 손실이 일어난 후, 새로 탐색하여 획득한 경로에서 현재 노드에서 발신지 노드까지의 홉 수는 h_{ns} (next source hop count)이고, 현재 노드에서 목적지 노드까지의 홉 수는 h_n (next hop count)이고, 발신지 노드에서 목적지 노드까지의 홉 수는 h_{nf} (next full hop count)이다.

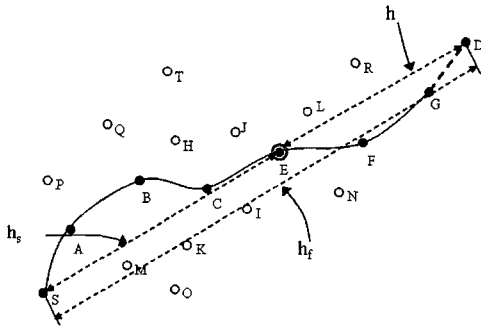


그림 4 홉 수

3.1 AODV 경로 손실 지연식

기존 AODV에서 지역 복구를 수행하지 않을 때의 지연식과 지역 복구를 수행할 때의 지연식을 생성하였다. 지연의 변수가 되는 요소는 패킷이 지나는 홉 수이다.

3.1.1 AODV 지역 복구 수행하지 않을 경우의 손실 지연식

AODV에서 지역 경로 복구를 수행하지 않을 경우, 다음 홉 노드의 경로를 손실할 때, 노드는 역 경로를 따라 송신 노드에게 경로 에러 메시지를 전송하고, 경로 에러 메시지를 수신한 송신 노드는 경로 요청 메시지를 재방송하여 경로를 탐색한다. 경로를 손실할 때 패킷 전송은 중지되고 경로를 재구성할 때 다시 패킷 전송이 시작된다. 따라서, 경로를 손실할 때, 경로를 손실하는 시점에서 새로 경로를 구성하는 시점까지 패킷지연이 발생한다. 패킷 지연은 현재 노드가 송신 노드로 경로 에러 메시지를 보내는데 걸리는 시간과 송신 노드가 경로 요청 메시지를 방송하는데 걸리는 시간과 목적지 노드가 경로 응답 메시지를 송신 노드로 전송하는데 걸리는 시간의 합으로 나타난다. AODV에서 경로가 손실될 때의 지연식 D_A 는 식 (1)과 같이 나타난다.

$$D_A = 10(h_{ps} + 2h_{nf}). \quad (\text{단위, ms}) \quad (1)$$

식 (1)에서 h_{ps} 는 새 경로 탐색 이전의 현재 노드에서 송신 노드까지의 홉 수로써, 경로 손실을 인식한 노드가 송신 노드로 경로 에러 메시지를 보내는 홉 수이다. h_{nf} 는 새로 설정된 경로의 목적지까지 전체 홉 수로써, $2h_{nf}$ 는 송신 노드가 새로 경로를 구성하는 과정에서 목적지 노드로 경로 요청 메시지를 방송하고 목적지 노드가 경로 응답 메시지를 전송하는데 소요되는 홉 수이다.

가 경로 응답 메시지를 전송하는데 소요되는 홉 수이다. IEEE Std 802.11b 표준[15]을 따르는 환경에서 1kB의 패킷을 한 홉 전송하는데 걸리는 시간이 10.4ms이고, 두 홉 전송하는데 걸리는 시간이 19.7ms이고, 세 홉 전송하는데 걸리는 시간이 29.2ms인 점을 감안하여[16], 본 연구에서는 한 홉 전송 시간을 10ms로 하여 평가식에 적용한다.

3.1.2 AODV 지역 복구 수행할 경우의 손실 지연식

AODV에서 지역 경로 복구를 수행하는 경우, 다음 홉 노드의 경로를 손실할 때, 현재 노드가 직접 경로 요청 메시지를 방송하여 목적지 노드를 탐색한다. 전송 중인 패킷은 경로 손실 시점부터 지역 복구 경로를 얻을 때까지 지연된다. AODV에서 지역 경로 복구를 사용할 때 지역 복구가 성공하는 경우의 지연식 D_{ALS} 는 식 (2)에 나타난다.

$$D_{ALS} = 20h_n. \quad (2)$$

식 (2)에서, h_n 는 새로 설정된 경로의 현재 노드에서 목적지까지의 홉 수로써, $2h_n$ 는 현재 노드가 목적지 노드를 찾기 위해 방송하는 경로 요청 메시지가 전달되는 홉 수와 경로 요청 메시지를 수신한 목적지 노드가 현재 노드로 전송하는 경로 응답 메시지 홉 수의 합이다.

지역 경로 복구가 실패하는 경우의 지연식 D_{ALF} 는 식 (3)에 나타난다. 현재 노드가 방송한 경로 요청 메시지는 지역 경로 복구 기법에서 설정된 최대 홉 수를 넘으면 폐기된다. 일정 시간이 지난 후, 현재 노드가 경로 응답 메시지를 받지 못하면 지역 경로 복구는 실패한다. 이때, 현재 노드는 송신 노드로 경로 에러 메시지를 전송하고, 송신 노드는 목적지 노드 경로를 재탐색한다.

$$D_{ALF} = 10\{2(\max(h_p, 0.5h_{ps}) + T_{LA}) + h_{ps} + 2h_{nf}\}. \quad (3)$$

식 (3)에서 T_{LA} 는 LOCAL_ADD_TTL로써 기본 값은 2이다. $\max(h_p, 0.5h_{ps}) + T_{LA}$ 는 AODV에서 경로 요청 메시지가 방송될 수 있는 최대 홉 수로써 메시지가 이 홉 수를 초과하여 전송될 때, 경로 요청 메시지는 자동적으로 폐기된다[4]. 이때, 현재 노드가 경로 응답 메시지를 기다리는 시간에 대한 홉 수를 $2\{\max(h_p, 0.5h_{ps}) + T_{LA}\}$ 로 한다. 지역 경로 복구가 실패할 때, 현재 노드는 송신 노드로 경로 에러 메시지를 보내고, 소스 노드는 새 경로 탐색을 수행한다. 식 (3)에서 h_{ps} 는 현재 노드가 역 경로를 따라 송신 노드로 경로 에러 메시지를 보내는 홉 수이고, $2h_{nf}$ 는 송신 노드가 새로 경로를 구성하는 과정에서 목적지 노드로 경로 요청 메시지를 방송하고 목적지 노드가 경로 응답 메시지를 전송하는데 소요되는 홉 수이다.

지역 경로 복구를 수행할 경우, 성공률을 이용하여 지역 복구를 성공할 때의 지연식과 실패할 때의 지연식을

하나의 식 D_{AL} 으로 나타내면 아래의 식 (4)와 같다. R_a 은 지역 경로 복구 성공률이다.

$$D_{AL} = 10\{R_a D_{ALF} + (1 - R_a) D_{ALF}\} + T_{LA} + h_{ps} + 2h_{mf} \quad (4)$$

$$= 10\{2R_a h_n + (1 - R_a)\{2(\max(h_p, 0.5h_{ps})) + T_{LA}\} + h_{ps} + 2h_{mf}\}.$$

그림 5는 AODV에서 지역경로복구 기법을 사용하지 않은 경우와 사용한 경우의 수치 지연 비교 결과를 보인다. 수치 지연은 Unix에서 C를 사용하여 실험되었다. 1Km × 1Km내의 영역에서 노드 밀도가 18이고, 노드 속도가 10m/s인 환경에서 이루어졌다. 노드 간 경로 손실이 일어날 때, 수치 지연식을 사용하여 지연을 계산한 결과이다. 지역경로복구 기법을 사용한 경우에 성공률이 낮은 경우에는 사용하지 않은 경우보다 지연이 크다. 지역경로복구가 실패할 경우에는 지역경로복구를 수행한 만큼의 지연이 추가되므로 실패할 경우에는 지역경로복구를 수행하지 않았을 때보다 더 크다. 경로 복구 성공률 R_a 이 0.65이상부터 지역경로 복구를 수행한 경우에 수행하지 않은 경우보다 더 낮은 지연을 보인다.

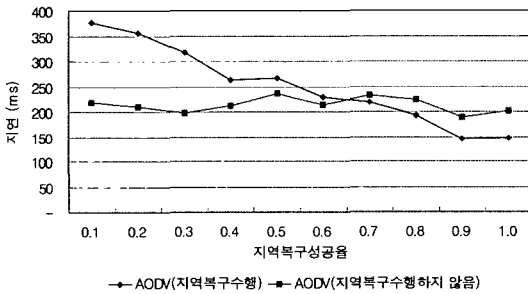


그림 5 AODV에서 지역경로복구를 수행하는 경우와 하지 않는 경우의 지연

지역 경로 복구 성공률은 노드의 밀도와 속도에 영향을 받는다. 노드 밀도는 하나의 노드의 전송 반경 영역 내에 존재하는 평균 노드 수를 밀도로 정의한다[14].

표 1은 1Km × 1Km내의 영역에서 노드간 경로 손실이 일어날 때, 지역 복구의 성공률을 실험한 결과이다. 노드밀도가 높아짐에 따라 성공률이 높아지고, 속도가 낮을수록 성공률은 높아짐을 보인다. 그러나, 노드속도에 의한 성공률의 차이는 크지 않다. 지역 복구 성공률은 노드속도 보다 밀도에 영향을 많이 받는 것으로 나타난다.

표 1 노드 밀도와 속도에 따른 지역 경로 복구 성공률

노드 밀도	4	6	8	10	12	14	16	18	20
성공률(속도 10m/s)	0.5	0.56	0.56	0.64	0.66	0.66	0.68	0.74	0.82
성공률(속도 15m/s)	0.44	0.48	0.52	0.54	0.56	0.6	0.66	0.7	0.8
성공률(속도 20m/s)	0.28	0.34	0.36	0.48	0.52	0.56	0.64	0.68	0.76

3.2 RPAODV 지연식

RPAODV는 다음 홉 노드로부터 수신하는 헬로 메시지 신호세기가 '안정 신호 세기 임계치' SS_{thr} 이하로 내려갈 때, 경로가 손실되기 전에 새로운 다음 홉 노드를 선택하여 경로 손실로 인한 패킷 지연을 줄이고, 새 경로 탐색에 요구되는 네트워크 부하를 줄인다. 경로상의 각 노드는 다음 홉 노드로부터 수신하는 신호세기가 '안정 신호 세기 임계치'이하인지 검사한다. 수신 신호세기가 이 임계치이하 일때, 다음 홉 노드에 대한 링크를 불안정 상태라고 간주하고, 새로운 다음 홉 노드를 선출한다. 그림 6은 현재 노드와 다음 홉 노드가 서로 반대방향으로 이동할 때, 다음 홉 노드에 링크의 상태 변화를 나타낸다. 시간 T_{i+1} 시점에서 현재 노드가 다음 홉 노드로부터 수신하는 신호세기는 SS_{thr} 이다. 이때, 다음 홉 노드 링크 상태는 불안정 상태가 된다. T_{i+2} 시점에서 다음 홉 링크 상태는 불안정 상태고, T_{i+3} 시점에서 다음 홉 노드로부터 수신하는 신호세기는 최저 신호세기 임계치이다. 이때, 다음 홉 노드 링크는 손실된다. RPAODV에서는 T_{i+1} 시점에서 새로운 다음 홉 노드를 선출하기 시작한다. T_{i+3} 시점이 되기 전에 새로운 다음 홉 노드가 선출되면 패킷전송 지연은 없다. T_{i+3} 시점을 지나서 새로운 다음 홉 노드가 선출되거나 선출에 실패하면 그 만큼의 패킷 지연이 발생한다. 제한한 기법에서 선출시간이 불안정 상태 시간보다 더 긴 경우 패킷 지연은 선출 시간에서 불안정 상태 시간의 차이만큼 발생한다.

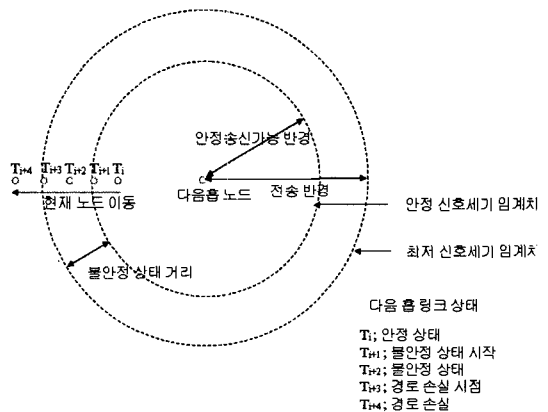


그림 6 다음 홉 노드로부터 받는 신호세기 모델

- T_i : 안정 상태
- T_{i+1} : 불안정 상태 시작
- T_{i+2} : 불안정 상태
- T_{i+3} : 경로 손실 시점
- T_{i+4} : 경로 손실

새로운 다음 홉 노드를 선출하는데 소요되는 시간의 식 T_{RPAODV_S} 은 식 (5)와 같이 나타난다.

$$T_{RPAODV_S} = 10\{3S_1 + (1 - S_1)S_2(4 + 1.5n_d) + (1 - S_1)(1 - S_2)(2 + 1.5n_d + h_{ps} + 2h_{nr})\}. \quad (5)$$

$3S_1$ 은 1차 선출시 소요되는 시간에 대한 내용으로 1차 선출이 성공할 경우 S_1 은 1차 선출의 성공 확률이다. 3은 1차 선출 시간과 새로운 다음 홉 노드로 패킷이 전송 시작되는 시간의 요소로써 그 중 1은 하위 노드 테이블에 기록된 신호세기 정보를 이용하여 '안정 신호세기 임계치' 이상인 노드를 선출하기 위해 계산하는 시간이다. 2는 새로운 다음 홉 노드가 선출되었으므로, 다음 홉 노드로 경로 갱신 정보를 보내고 확인 응답을 받는 홉 수이다. 새로운 다음 홉 노드 선출 후, 모든 하위 노드와 상위 노드는 자신의 라우팅 테이블을 갱신하나 이것은 다음 홉 노드로 패킷 전송지연에 영향을 주지 않는다.

$(1 - S_1)S_2(4 + 1.5n_d)$ 는 1차 선출이 실패한 후, 2차 선출시 소요되는 시간의 요소로서, S_2 는 2차 선출의 성공률이다. $4 + 1.5n_d$ 는 1, 2차 선출 시간과 새로운 다음 홉 노드로 패킷이 전송 시작되는 시간의 요소로써 4중에서 1은 1차 선출 시간이고, 다른 1은 2차 선출에서 원 홉 이웃 노드로 수신 신호세기 요청 메시지를 발송하는 홉 수이다. 수신 신호세기 요청 메시지를 수신한 원 홉 이웃 노드는 자신의 이웃 노드 중에 요청 메시지에 기록된 경로상의 하위 노드가 존재하는지를 검사하고, 신호세기를 기록한다. 이때, 노드 밀도 즉, 자신의 전송반경 영역 내 존재하는 평균 노드 수 n_d 만큼의 시간이 소요된다. 경로상의 하위 노드로부터 받는 신호세기를 수신 신호세기 응답 메시지에 포함해서 요청한 노드에게 전송한다. $0.5n_d$ 는 요청한 노드가 수신 신호세기 응답 메시지를 수신할 때 걸리는 시간이다. 수신 신호세기 응답 메시지는 요청 메시지를 수신한 모든 노드가 전송하는 것이 아니라, 요청 메시지에 기록된 하위 노드로부터 통신이 가능한 노드만 응답 메시지를 전송한다. $0.5n_d$ 는 요청 메시지를 수신한 노드 중, 응답 메시지를 전송하는 노드의 수이다. 나머지 2는 새로운 다음 홉 노드가 선출되었으므로, 다음 홉 노드로 경로 갱신 정보를 보내고 확인 응답을 받는 홉 수이다.

$(1 - S_1)(1 - S_2)(2 + 1.5n_d + h_{ps} + 2h_{nr})$ 은 1차 선출, 2차 선출에서 실패한 경우에 현재 노드가 경로 에러 메시지를 송신 노드에게 전송한 후, 새 경로 탐색을 수행하는데 걸리는 시간의 요소이다. 1차 선출, 2차 선출에서 실패한 경우, S_1 는 0이고, S_2 는 0이다. $2 + 1.5n_d$ 는 1차 선출, 2차 선출에 걸리는 시간이고, h_{ps} 는 현재 노드가 역 경로를 따라 송신 노드로 경로 에러 메시지를 보내는 홉 수이고, $2h_{nr}$ 는 송신 노드가 새로 경로를

구성하는 과정에서 목적지 노드로 경로 요청 메시지를 발송하고 목적지 노드가 경로 응답 메시지를 전송하는데 소요되는 홉 수이다.

불안정 상태 시간 T_{RPAODV_US} 은 노드의 링크가 불안정 상태로 있는 시간으로써 다음 식 (6)과 같이 나타난다.

$$T_{RPAODV_US} = \text{불안정 상태 거리/노드 이동 속도}. \quad (6)$$

RPAODV에서 지연식 D_{RPAODV} 는 선출시간에서 불안정 상태 시간을 뺀 시간만큼이 되고 식 (7)과 같이 나타난다.

$$D_{RPAODV} = T_{RPAODV_S} - T_{RPAODV_US}. \quad (7)$$

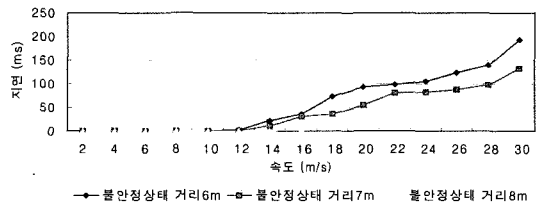


그림 7 RPAODV에서 속도 변화에 따른 지연

그림 7은 1Km x 1Km내의 영역이고 노드 밀도가 18인 환경에서 RPAODV의 노드 속도 변화에 따른 지연을 보인다. 노드간 연결이 불안정 상태일 때, D_{RPAODV} 지연식을 이용하여 계산한 결과이다. 불안정 상태 거리가 클수록 지연은 짧고 노드 속도가 증가함에 따라서 지연은 증가한다. 속도가 빠를수록 불안정 상태 시간은 짧으므로 이러한 결과를 보이는 것으로 분석된다.

3.3 ARMP 지연식

ARMP는 ANDF(Active Node Determination)와 LRRP(Local Route Reestablish Process)의 두 가지 절차로 이루어진다. ANDF는 이웃 노드로부터 받는 신호세기를 측정하고, 측정된 결과가 일정 임계치 이하로 떨어질 때, 불안정 링크로 판단하고, 링크를 이루는 두 노드 중, 대체 되어질 노드를 선택하는 절차로써 두 노드 중 이동성이 큰 노드가 다른 노드로 대체되어진다. 이 노드를 활성(active) 노드라고 한다. 그림 8에서 라우팅 경로는 A, B, C, E, F이다. 노드 B와 C는 받는

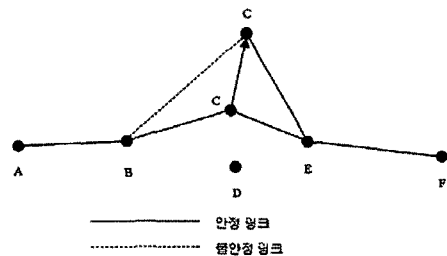


그림 8 다음 홉 노드로부터 받는 신호세기 모델

신호세기가 임계치 이하로 떨어질 때, 링크가 불안정 상태를 감지하고, 자신의 이동성과 링크상의 상대 노드의 이동성을 파악한다. 이동성이 큰 노드가 활성 노드가 된다. 아래의 모델에서 활성 노드는 C이다.

활성 노드 C는 LRRP 패킷(이전 노드, 다음 홉 노드, 자신의 ID)을 방송한다. 이 메시지를 받은 원 홉 내의 이웃들은 패킷 상의 이전 노드, 다음 홉 노드로부터 받는 신호세기를 측정하고, 패킷상의 이전 노드를 잇는 링크와 다음 홉 노드를 잇는 링크 상태가 안정 상태일 때, 노드 C에게 LRRP 응답 메시지를 보낸다. 노드 C는 라우팅 테이블을 수정하고, 수정된 정보를 상위 노드에게 알린다. 패킷 상의 이전 노드, 다음 홉 노드에 대한 링크 상태가 안정 상태인 노드가 없을 경우에 경로는 손실된다.

ARMP도 링크가 손실되기 전에 선출이 일어나므로 패킷지연은 선출시간이 불안정 상태 시간보다 더 긴 경우 패킷 지연은 선출 시간에서 불안정 상태 시간의 차이만큼 발생한다.

ARMP에서 지연식 D_{ARMP} 은 선출시간(T_{ARMP_S})에서 불안정 상태 시간(T_{ARMP_US})을 뺀 시간만큼이 되고 식(8)과 같이 나타낸다.

$$D_{ARMP} = T_{ARMP_S} - T_{ARMP_US} = 10\{S_3(5 + n_d) + (1 - S_3)(5 + n_d + h_{ps} + 2h_{nf})\} - \text{불안정 상태 거리/노드 이동 속도} \quad (8)$$

$S_3(5 + n_d)$ 는 선출시 소요되는 시간에 대한 내용으로써 S_3 는 ARMP에서 대체 경로 생성 성공률이다. 5 중, 1은 링크의 불안정 상태를 감지한 노드가 자신의 이동성 정도를 계산하는 과정으로 자신이 이웃 노드로부터 받는 신호세기의 변화량을 모두 합산하는 과정이다. 다른 1은 이 정보를 링크의 상대 노드에게 알리는 시간의 요소이다. 링크상의 끝 노드는 자신의 이동성 정보와 상대 노드의 이동성 정보를 비교하여 이 값이 큰 노드가 활성 노드가 된다. 또 다른 1은 활성 노드가 LRRP 패킷(자신의 이전 노드, 다음 홉 노드, 자신의 ID)을 방송하는 홉 수이다. LRRP를 수신한 노드는 이웃 노드로부터 수신하는 신호세기를 측정한다. n_d 는 LRRP를 수신한 노드가 자신의 이웃 노드로부터 수신하는 신호세기를 측정하는데 걸리는 시간의 요소이다. LRRP 패킷에 포함된 이전 노드와 다음 홉 노드와 안정적인 신호를 수신하는 경우, 자신의 정보를 포함하여 응답메시지를 활성 노드에게 전송한다. 이때, 소요되는 홉 수가 1이고, 활성 노드가 경로상의 이전 노드에게 경로가 갱신되었음을 알리는 홉 수가 1이다.

$(1 - S_3)(4 + n_d + h_{ps} + 2h_{nf})$ 는 선출 실패 시 소요되는 시간에 대한 요소이다. $4 + n_d$ 는 선출에 소요되는 요소이고, h_{ps} 는 현재 노드가 역 경로를 따라 송신 노드

로 경로 에러 메시지를 보내는 홉 수이고, $2h_{nf}$ 는 송신 노드가 새로 경로를 구성하는 과정에서 목적지 노드로 경로 요청 메시지를 방송하고 목적지 노드가 경로 응답 메시지를 전송하는데 소요되는 홉 수이다.

그림 9는 속도가 15m/s이고 불안정 상태거리 7m 환경에서, 노드밀도의 변화에 따른 수치 지연의 결과이다. ARMP, RPAODV에서 링크가 불안정 상태일 때, 수치 지연식을 사용하여 계산한 결과와 AODV에서 링크가 손실될 때 발생하는 지연값이다. 밀도가 증가함에 따라 지연은 감소하는 경향을 보이고, RPAODV의 지연이 제일 작은 결과를 나타낸다.

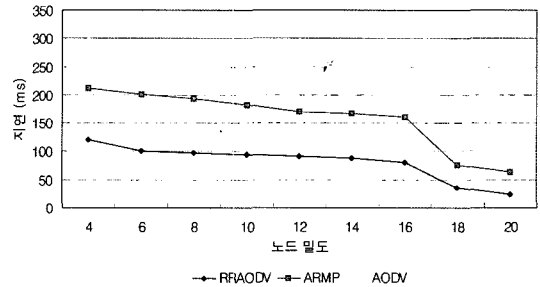


그림 9 노드 밀도 변화에 따른 수치 지연

그림 10은 노드 밀도 18이고 불안정 상태거리 7m 환경에서 속도의 변화에 따른 수치 지연의 결과이다. 속도가 증가함에 따라 지연은 증가하고, RPAODV에서 제일 좋은 성능을 보인다.

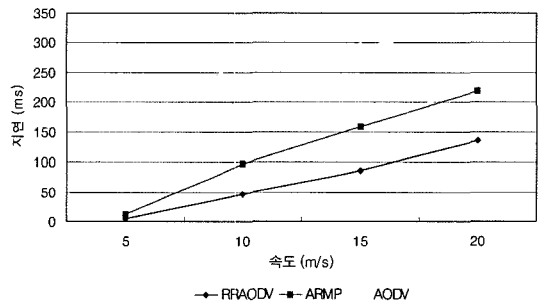


그림 10 속도 변화에 따른 수치 지연

4. 수치 평가식과 시뮬레이션의 비교 분석

제한한 수치 평가식의 정확도를 검증하기 위해서 시뮬레이션과 수치 평가 결과를 비교 분석하였다. 시뮬레이션은 Unix에서 C를 사용하여 구현하였다. 1Km x 1Km내의 영역에서 노드 밀도는 전송 범위 내에 존재하는 노드 수로써 노드 밀도 4~20으로 변화시키면서 실험을 수행하였다. 에드 혹 네트워크는 IEEE 802.11b 무

선 랜 표준을 사용하므로, 각 노드는 최대 전송 반경 250m를 가진다[15]. 노드 속도는 5m/s, 10m/s, 15m/s, 20m/s로 변화하면서 수행하였다. 불안정상태 거리는 10m로 수행되었다.

그림 11은 지역 복구를 수행한 경우의 AODV에서 지연에 대한 시뮬레이션과 수치실험 결과로써, 노드 밀도 7인 환경에서 속도가 5m/s~20m/s로 변화함에 따른 지연의 변화이다. 수치 실험과 시뮬레이션은 속도가 증가함에 따라 지연도 증가하는 비슷한 경향을 나타낸다. 속도가 증가함에 따라 경로 손실률이 크므로 지연도 증가하는 것으로 분석된다. 두 값의 비교에서 50ms~70ms의 오차가 발생한다.

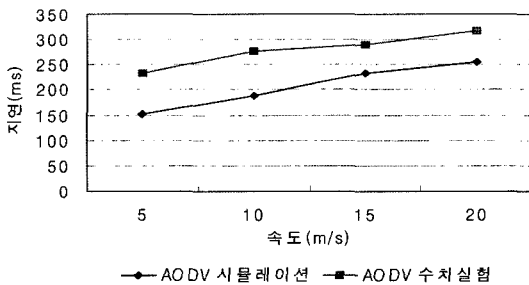


그림 11 AODV 시뮬레이션과 수치실험

그림 12는 RPAODV의 지연에 대한 시뮬레이션과 수치실험 결과로써 노드밀도가 7인 환경에서 속도가 5m/s~20m/s로 변화함에 따른 지연의 변화이다. 수치 실험과 시뮬레이션은 속도가 증가함에 따라 지연도 증가하는 경향을 보인다. 수치 실험과 시뮬레이션은 비슷한 경향을 나타내지만 두 값의 비교에서 20ms의 오차가 발생한다.

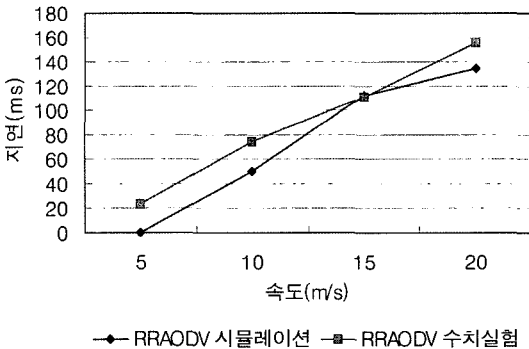


그림 12 RPAODV 시뮬레이션과 수치실험

그림 13은 ARMP에서 지연에 대한 시뮬레이션과 수치실험 결과로써, 노드밀도 7인 환경에서 속도가 5m/s

s~20m/s로 변화함에 따른 지연의 변화이다. 수치 실험과 시뮬레이션은 속도가 증가함에 따라 지연도 증가하는 경향을 보인다. 수치 실험과 시뮬레이션은 비슷한 경향을 나타내지만 두 값의 비교에서 20ms~50ms의 오차가 발생한다. 수치 실험식을 이용한 실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 지연 실험 결과는 속도가 증가함에 따라 지연도 증가하는 비슷한 경향을 보인다. 그러나, 수치 실험 결과와 시뮬레이션 결과에서 일정한 오차 값이 발생한다.

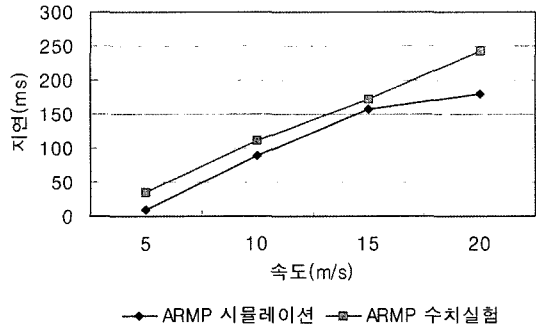


그림 13 ARMP 시뮬레이션과 수치실험

5. 결론

본 연구에서는 경로 손실을 회피하는 라우팅 기법 ARMP, RPAODV의 효율성을 검증하기 위한 수치 평가식을 제안하였다. 수치 평가식은 대표적인 요구 기반 라우팅 프로토콜 AODV와 경로 회피 기법 ARMP, RPAODV에 대해서 제어 메시지가 전달되는 홉 수를 이용하여 생성하였다. 수치 지연 결과에서 RPAODV가 AODV, ARMP보다 월등히 좋은 성능을 보인다. 수치 지연식의 정확도를 검증하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션의 지연 실험 결과와 비교를 수행하였다. 실험 결과에서 수치 실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 지연 값에서 오차가 발생한다. 속도가 5m/s~20m/s로 변하는 환경에서 AODV 수치 실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 실험은 50ms~70ms의 오차가 발생하고 RPAODV, ARMP의 실험에서 20ms~50ms의 오차가 발생한다. 이 오차는 수치 평가식에서 패킷의 한 홉 전송에 소요되는 지연의 요소를 재적용하고, 라우팅 프로토콜의 동작 과정에서 발생하는 처리 요소들을 재 적용함으로써 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 속도의 증가에 따라 수치 실험과 컴퓨터 시뮬레이션에서 비슷한 경향으로 지연이 증가한다. 제안한 수치 실험식은 실제 시뮬레이션과 비슷한 경향을 보이므로, 각 프로토콜의 효율성을 검증하는데 유효성을 가진다.

참고 문헌

- [1] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," *Comp. Commun. Rev.*, pp. 234-44, Oct. 1994.
- [2] S. Murthy and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks," *ACM Mobile Networks and App. J.*, Special Issue on Routing in Mobile Communication Networks, pp. 183-197, Oct. 1996.
- [3] Ching-Chuan Chiang, Hai-ao-Kuang Wu, Winston Liu, Mario Gerla, "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel," *Proceedings of IEEE Singapore International Conference on Networks (SICON'97)*, 1997.
- [4] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," in *Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, New Orleans, LA, pp. 90-100, Feb. 1999.
- [5] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "RFC 3561 - Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," 2003.
- [6] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," in *Mobile computing*, T. Imielinski and H. Korth, Eds. Kluwer Academic Publishers, pp. 153-181, 1996.
- [7] V. D. Park and M. S. Corson, "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile wireless Networks," in *Proceedings of IEEE INFOCOM'97*, pp. 1405-1413, Apr. 1997.
- [8] 서현곤, 김기형, "에드혹 네트워크에서 AODV에 기반한 효율적인 경로 복구 기법," *KNOM Review*, Vol. 6, No. 1, pp1-8, Jun. 2003.
- [9] C.-K. Toh, "Associativity-Based Routing For Ad-Hoc Mobile Networks," *Journal on Wireless Personal Communications*, vol.4, First Quarter, 1997.
- [10] Dube, et al, "Signal Stability based Adaptive Routing(SSA) for Ad Hoc Mobile Networks," *IEEE Personal Communication Magazine*, Feb. 1997.
- [11] Chih-Yung Chang, Shin-Chih Tu, "Active route-maintenance protocol for signal-based communication path in ad hoc networks," *Journal of Network and Computer Applications* (2002), Vol 25, 161-177.
- [12] 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.
- [13] 우매리, 김영락, 김종근, "Ad Hoc 네트워크의 경로손실 회피기반 RPAODV 라우팅", *정보처리학회 논문지 C* 제 11-C권 제7호, 2004. 12.
- [14] Michael J. Neely, Eytan Modiano, "Improving

Delay in Ad-Hoc Mobile Networks Via Redundant Packet Transfers," *Conference on Information Sciences and System*, March, 2003.

[15] IEEE Std 802.11b-1999.

[16] C.-K. Toh, "Ad Hoc Mobile Wireless Networks," Prentice Hall PTR.



우 매 리

1996년 영남대학교 이과대학 수학과 이학사. 2001년 영남대학교 컴퓨터공학과 공학석사. 2005년 영남대학교 컴퓨터공학과 공학박사. 현재 영남대학교 전자정보공학부 객원교수. 관심분야는 컴퓨터 네트워크, 네트워크 보안, 무선 네트워크,

Ad hoc 네트워크, 센서 네트워크



정 상 준

1999년 영남대학교 통계학과 이학사. 2001년 영남대학교 컴퓨터공학과 석사. 2005년 영남대학교 컴퓨터공학과 박사. 현재 경일대학교 컴퓨터공학부 전임강사. 관심 분야는 유비쿼터스 센서 네트워크, Ad hoc 네트워크, 네트워크 관리, Mobile 네

트워크, 원격 교육



정 영 석

1995년 영남대학교 전산공학과 공학사 1998년 영남대학교 전산공학과 공학석사 2003년 영남대학교 컴퓨터공학과 공학박사. 2003년~현재 경운대학교 첨단모바일산업지원센터 교육사업부장(실무위원). 2000년~현재 경운대학교 컴퓨터공학과 전임

강사. 관심분야는 Ad hoc Network, 모바일인터넷 등



김 종 근

1981년 영남대학교 전자공학과 학사. 1987년 영남대학교 전자공학과 석사. 1991년 (일본) 전기통신대학 박사. 1997년 (미국) Virginia Tech. 연구교수. 2003년 (미국) UCSC 연구교수. 현재 영남대학교 컴퓨터공학전공 교수. 관심분야는 컴퓨터 네트워크, Mobile 네트워크, 분산처리, 인터넷응용, 멀티미디어기반 가상강의 시스템