

이동 애드 혹 네트워크를 위한 다중경로 동적 소스 라우팅 프로토콜

임 화 정[†] · 차 영 환^{††}

요 약

이동 애드-혹 네트워크는 물리적 위치 이동이 가능한 노드들에 의해 자체적으로 형성되는 시스템으로 동적 위상을 고려한 라우팅 프로토콜을 필요로 한다. 본 논문에서는 IETF의 라우팅 프로토콜 DSR을 확장한 R-DSR이라 불리는 온-디맨드 다중경로 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜에서는 DSR에 의해 구축되는 단일 경로 상의 2-홉 간격의 모든 노드들에 대해 별도의 노드를 경유하는 추가 경로가 연결된다. 수학적 분석을 통하여 DSR 관련 연구 중 가장 대표적인 방법 중의 하나인 Das의 다중경로 프로토콜보다 더 높은 메시지 전달 확률을 제공함을 보였다.

A Multi-path Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks

Hwa-Jung Lim[†] · Yeong-hwan Tscha^{††}

ABSTRACT

A mobile ad-hoc network is an autonomous system of mobile nodes which are free to move around randomly and organize themselves arbitrarily, hence a routing protocol that handles the dynamic network topology changes is required for the network. In this paper we present a multi-path on-demand routing protocol called R-DSR (Robust Dynamic Source Routing), an extension to the existing IETF protocol DSR. The proposed protocol has it that every pair of 2-hop away nodes on the single route is additionally connected via an alternative node. Throughout mathematical analysis we show the proposed protocol reveals higher message delivery rate than that of the Das's multi-path protocol, currently known as one of the most typical approaches related to DSR.

키워드 : 애드-혹 네트워크(Ad-hoc Networks), DSR 프로토콜(DSR Protocol), 다중경로 라우팅(Multi-Path Routing)

1. 서 론

이동 애드-혹 네트워크(mobile ad-hoc networks)는 물리적 위치 이동이 가능한 노드(node)들에 의하여 자체적으로 형성되는 시스템으로 전송 트래픽(traffic) 발생시 온-디맨드(on-demand)에 의한 관련 노드들간의 동적인 경로 구축과 이를 이용한 전달이 효율적인 것으로 알려져 있다. 이와 관련된 IETF의 대표적인 표준 라우팅 프로토콜로는 DSR(Dynamic Source Routing Protocol)과 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector protocol) 등을 들 수 있다 [1-4].

이러한 온-디맨드 방식의 프로토콜은 단일 최단 경로(shortest path)를 이용한 루팅을 실시하므로 경로 상의 노드가 이동하게 되면 경로를 재 구축해야 하는 번거로움과 이에 따른 시간 지연이 불가피하다. 이를 보완하기 위한 방법의 일환으로 정보 전달률의 향상과 및 빠른

경로 재 구축이 가능한 다중경로(multi-path) 구축 프로토콜에 관한 연구들이 활발하게 진행되어 오고 있다 [5-11].

AODV와 관련된 대표적인 다중경로 구축 프로토콜로는 Das가 제안한 것을 들 수 있다[5]. 목적지(destination) 노드에서는 먼저 도착하는 k 개의 경로구축 요청 메시지 RREQ(Route Request)에 대해 별도의 k 개의 경로 구축 응답메시지 RREP(Route Reply)를 근원지(source) 노드로 전달하여 근원지와 목적지 사이에 k 개의 독립적인 경로를 확보하는 방법이다. 높은 신뢰성을 보장하지만 경로 구축에 따른 지연 시간이 길어지며 과중한 메시지 발생이 불가피하여 현실적으로 한계가 있다.

DSR 관련 대표적인 다중경로 프로토콜 역시 Das가 제안한 프로토콜들을 들 수 있다[6]. AODV 경우와 유사하게 근원지와 목적지 사이의 k 개의 경로를 갖는 다중경로 구축 프로토콜과 기존의 단일 경로(우선 경로, primary route라 함)상의 각각의 노드로부터 목적지 노드로 별도의 경로(대체 경로, backup route라 함)를 갖도록 하는 다중

[†] 준 회 원 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 강사

^{††} 정 회 원 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수
논문접수 : 2003년 12월 3일, 심사완료 : 2004년 9월 23일

경로 구축 프로토콜이 있다[6]. 전자의 문제점은 다중경로 AODV[5]와 같다. 후자의 문제점으로는 선택된 대체 경로상의 노드가 이동 시 우선 경로상의 노드로 되돌아와 경로를 재구축하게 되는데 여기서 지연시간을 유발하는 백트래킹(backtracking)이 발생하게 된다. 이러한 점은 특히, 경로의 길이가 길어지는 광역 애드-혹 네트워크의 경우에 더욱 심각하게 된다.

Jie Wu[8]가 제시한 다중경로 프로토콜에서는 근원지 노드가 RREQ를 2회에 걸쳐 서로 다른 경로 구축 요청을 실시하여 목적지 노드로 하여금 2개의 최단 경로를 선택하도록 한다. 노드를 달리하는 2개의 경로가 구축되는 경우에 위와 유사한 백트래킹이 불가피하게 되고, 링크를 달리하는 경로의 경우에는 메시지 전달률이 크게 향상되지 않는 단점이 있다.

애드 혹 네트워크에서의 다중 경로에 관한 최근 연구 중에는 Quality of service의 보장에 관한 연구[18]나 영상정보의 전송[15]에 관한 응용을 들도 있다. Jawhar와 Wu는 다중 경로를 사용하는 경우 대역폭 예약과 할당에 관한 방법 들을 요약 정리하고, 다중 경로가 공통적으로 공유하는 노드 상에서의 경쟁적 자원예약 시도로 인한 문제를 해결하기 위한 방법을 집중적으로 제시하고 있다. Wei와 Zakhor는 DSR을 기반으로 다중경로를 이용한 비디오 정보 전송을 위해 다중경로들간에 특정 비율이상의 노드들이 공통적으로 공유되지 않도록 원래의 우선적 또는 일차적(primary) 경로상의 각각의 노드로부터 목적지 노드로 개별적인 이차적인(secondary) 경로를 설정하는 방법에 관해 연구하였다. 그러나 이는 DAS의 연구[5,6]에서 이미 고려된 경로 구축 방법에서 이차적인 경로 상의 일부 노드들이 제한적으로 공유되도록 한 것이다. Chen과 Hou[17]는 DSR에서 경로를 구축하기 위해 주고받는 메시지들로 하여금 각 노드의 이웃한 노드들의 정보를 추가적으로 교환하도록 하여 자신의 선행 노드들이 이웃한 노드들과 어떠한 위상적 연결관계를 갖는지를 알 수 있도록 하였다. 그러나 이와 같은 방법은 네트워크가 커짐에 따라 추가정보를 전달하는 부담이 증가될 뿐만 아니라, 노드의 이동에 따른 관련 이웃 노드들의 정보 갱신시 부담이 큰 단점을 갖는다. 한편, 경로상의 각 노드로 하여금 2-홉내의 노드들간의 링크상의 트래픽을 동적으로 모니터링하고 이들에 따른 혼잡제어(congestion control) 방법을 인터넷에 적용한 연구[16]도 있다.

이 밖에도 Lee와 Gerla[9,10], Spohn과 Garcia-Luna-Aceves[11], Roy 및 Garcia-Luna-Aceves [12]등의 연구가 있다. 그러나 DSR 다중경로 구축 프로토콜을 확장한 다중경로 프로토콜 중 실용성과 구현 가능성이 높으면서도 메시지 전달확률이 가장 대표적인 것으로는 Das가 제안한 프로토콜들[5] 중 두번째에 해당 하는 것을 들 수

있다[6].

본 연구 역시 DSR 프로토콜에서의 다중경로 구축에 관한 것이다. 다른 연구와 근본적인 차이점은 DSR의 경로 구축을 위해 목적지 노드에서 근원지 노드로 전달되는 응답 메시지가 경유하는 경로(즉, 일차적 경로) 상의 노드에 이웃한 노드들에 의해 일차적 경로상의 2-홉간의 노드들을 연결하는 메시지를 생성하여 이차적인 우회 경로를 추가적으로 생성한다는 점이다. 무선 매체를 이용하는 노드가 "무차별(promiscuous) 모드"로 동작함을 이용하는 본 방법은 가능한 추가 메시지의 발생을 적게 하고 원래의 DSR 프로토콜[4]의 기본기능을 변형하지 않도록 한다. 확장을 통해서 이러한 우선 경로 주변의 이웃 노드들 간에 추가적인 연결 경로를 갖도록 함으로써 근원지와 목적지를 연결하는 다중경로들이 홉 수에 관해 지수적인 개수의 많은 경로가 존재하도록 하여 보다 안정적인 정보 전달이 되도록 한다. 우회 경로의 구축에는 우선 경로 상의 노드에 이웃한 노드들만 참여하게 되므로 적은 수의 제어 메시지로 복수 개의 경로를 구축할 수 있다.

2장에서는 제안 프로토콜의 기본 특성과 절차를 기술한다. 3장에서는 수식을 이용한 제안 프로토콜의 메시지 전달 확률을 분석하고 다른 프로토콜과 비교하도록 한다. 결론에서는 본 연구의 결과 및 향후 연구에 대해 언급한다.

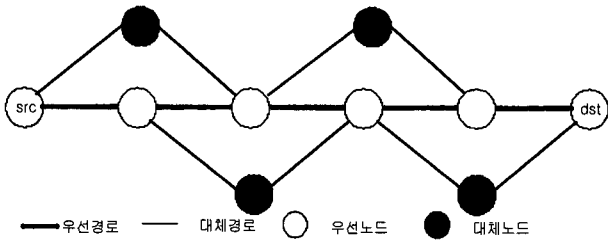
2. 제안 프로토콜

2.1 다중경로 구성

일반적으로 온-디맨드 프로토콜을 사용하는 이동 애드-혹 네트워크에서는 메시지 전송에 앞서 경로 구축을 위해 소요되는 시간이 메시지 전송 시간외에 추가적으로 요구된다. 그러나 노드의 이동성을 고려할 때 지속적인 경로를 유지하는 proactive(또는 table-driven) 라우팅 프로토콜에 비해 전체적인 메시지 전달률과 전송지연시간에서 보다 유리한 것으로 알려져 있다[1, 13].

본 논문에서는 이와 같은 온-디맨드 라우팅 프로토콜 중 IETF의 표준의 하나인 동적 소스 프로토콜 DSR[4]을 확장하여 노드 이동에 따른 경로 유지 확률이 높은 다중경로를 구축하는 R-DSR(Robust DSR)로 명명된 다중경로 구축 프로토콜을 제안한다.

제안된 R-DSR에서의 근원지 노드와 목적지 노드 간에 (그림 1)과 같은 다중경로를 구축한다. DSR에 의해 생성되는 경로(즉, 우선 경로) 상의 모든 노드는 목적지로 향하는 후속 노드가 이동 할 때 이를 대체할 수 있는 대체 노드와 연결된다. 단, 대체 노드는 우선 경로상의 2-홉 간격의 노드들과 통신 가능한 노드로 국한된다.



(그림 1) 제안 프로토콜의 다중경로 구성

이와 같은 대체 노드들을 이용한 제안된 다중경로의 특징으로는 기본적인 DSR 프로토콜[4]에 의해 구성되는 경로와 동일한 홉(hop) 수의 대체 경로를 갖는다는 것이다. 즉, 경유 되는 대체 노드 수의 수와 관계없이 동일한 홉 수의 경로들이 근원지와 목적지 사이에 존재한다.

이러한 다중경로는 DSR의 목적지 노드에서 전송되는 경로구축 요청에 대한 응답 메시지 RREP(Route Reply) 내에 나열되는 경로상의 노드와 이와 이웃한 노드들에 의해서만 결정된다. 즉, RREP가 발생시 이를 엿들은 이웃한 노드는 RBKP(Route Backup) 메시지를 생성하여 우선 경로상에서 2-홉 떨어진 노드에 자신을 대체 노드로 하는 대체 경로가 존재함을 알려준다. 그러면, 이를 수신한 해당 노드는 맨 처음 도착하는 RBKP를 보낸 노드를 대체 노드로 선정하고 이러한 사실을 대체 노드에 RBKP 메시지를 반환 전송함으로써 대체 경로의 구축을 상호 확인한다.

본 논문에서는 위와 같은 조건을 만족하는 대체 노드가 루팅 경로상에 언제나 존재한다고 가정한다. 이는 비교 연구[5,6]에서 해당 방식의 최대 성능을 위해 가정한 것처럼, 본 논문에서 제안하는 방식의 최고 성능을 얻기 위한 것으로, 이러한 제약사항을 완화하는 경우에 제안 방식을 적용할 수 없게 된다. 아울러, 각각의 노드는 자신의 이웃 노드들의 존재 여부를 지속적으로 점검, 관리하는 링크레벨의 기능을 가지고 있으며, 자신으로부터 1-홉(hop) 떨어진 이웃한 노드들이 누구인지를 정확히 알 수 있다고 가정한다. 또한, 모든 노드는 전방향(omni-directional) 안테나를 사용하며, 임의의 한 노드에 의해 전송되는 메시지는 그로부터 이웃한 노드들이 언제나 수신 또는 엿들을 수 있는 "promiscuous 모드"를 가정한다.

2.2 프로토콜 동작 절차

제안 프로토콜의 동작은 다중경로의 구축 단계와 유지 보수 단계로 나뉜다.

2.2.1 경로 구축 단계

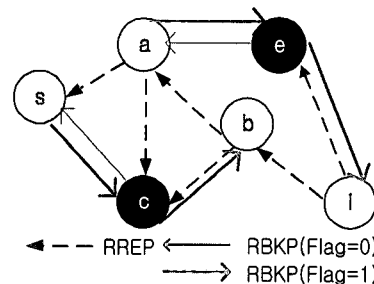
경로 구축 단계는 우선 경로를 구축하는 단계와 대체 경로를 구축하는 단계로 구분할 수 있다. 우선 경로를 구축

하는 단계는 근원지 노드에 발생하는 경로 요청 메시지 RREQ(Route Request)의 브로드캐스트로부터 이에 대한 목적지 노드에서의 응답 메시지 RREP의 발생에 의해 우선 경로가 구축되는 과정이다. 이는 기존의 DSR 프로토콜[4]을 적용함을 가정하며 설명을 생략한다. 제안 프로토콜에 의해 구축되는 다중경로는 RBKP 메시지에 의해 다음과 같이 이루어진다.

대체 경로는 근원지 노드로부터 일련의 중간 노드를 거쳐 최종적으로 브로드캐스트되는 RREQ를 수신한 목적지 노드에서 반송되는 RREP내에 명기된 우선 경로 상의 노드와 이와 이웃한 노드들에 의해서 결정된다. 먼저, RREP가 목적지에서 근원지로 전달되는 과정에서 이를 엿듣게 되는 1-홉 거리의 이웃한 노드는 RBKP메시지를 생성하여 우선 경로상에 서로 2-홉 간격으로 존재하는 후속 노드로 전달한다(Flag=0, (그림 3)의 메시지 형식 참조).

해당되는 후속 노드는 여러 개의 RBKP가 도착하는 경우 맨 처음 도착하는 RBKP를 보낸 노드를 대체 노드로 선정한다. 선정된 결과를 확인하여주기 위해서 RBKP 메시지는 전달 순서의 역 과정을 통하여 다시 반환된다(Flag=1, (그림 3)의 메시지 형식 참조).

(그림 2)에서 도착지 *i*로부터 발생되어 *b*로 향하는 RREP내에는 선정된 우선 경로 정보 *s-a-b-i*가 존재한다. 이를 엿들은 노드 *e*는 *a*에게 *b*가 이동하거나 장애 발생시 자신을 이용하는 대체 경로가 가능함을 RBKP를 전송하여 알려준다. 여기서, 노드 *e*가 RREP 내의 경로 정보로부터 *b*의 후속 노드 즉, *i*로부터 2-홉 떨어져 존재하는 노드가 *a*임을 알 수 있다. 노드 *a*가 목적지 *i*로의 메시지 전달 시 *e*를 대체 노드로 사용하고자 결정한다면 RREP를 노드 *e*를 경유하여 *i*로 보냄으로써 해당 대체 경로의 구축이 완결된다.



(그림 2) RBKP를 이용한 경로 구축 예

(a) 메시지 형식

R-DSR구축절차

/*

Type : RBKP 메시지 유형 값.

Flag : 대체 경로 구축 요청인 request시 0, 이에 대한 응답인 reply시 1.

Initiator : RBKP를 발송하는 노드 id.

BackupNode : Flag=1인 경우에만 유효하며 RBKP를 형성하는 대체 노드 id를 나타냄.

Recipient : RBKP의 수신 도착지 노드 id.

Src : RREQ를 요청한 근원지 노드 id.

Dst : RREQ의 도착지에 해당하는 RREP를 생성한 노드 id.

SessionNo : Src에서 Dst로 구축된 경로들을 구분하기 위한 정수. 구축 요청 시마다 1씩 증가.

*/

RBKP를 이용한 대체 경로 구축 절차

/*RREP를 엮은 모든 노드 z에 대해 해당 RREP를 증계한 우선 경로 상의 노드를 x, 수신된 RREP내의 경로상에 x로부터 근원지 노드 방향으로 2-홉 떨어진 후속 노드를 y라고 가정*/

/* RREP를 증계하는 우선 경로상의 노드로부터 1-홉 이웃한 노드 z에 의해 대체 경로 구축을 위한 RBKP 메시지가 발송 */

z는 x 및 y가 모두 자신의 이웃이면

Type ← RBKP, Flag ← 0, Initiator ← z, Recipient ← y로 설정 한 후 RREP로부터 Src와 Dst 및 SessionNo 해당 값을 추출, 복사하여 생성된 RBKP 메시지를 전송한다.

/* RBKP 메시지를 수신한 우선 경로상의 노드 y는 대체 경로를 설정 */

RBKP를 수신한 y는 루팅 테이블 내에 근원지 Src에서 도착지 Dst로 세션 번호가 SessionNo인 우선 경로에 대해 x와 자신 사이에 존재하는 노드가 이동 시 이용될 대체 노드가 없다면

Type ← RBKP, Flag ← 1, Initiator ← y, BackupNode ← z, Recipient ← x로 설정한 후 z로 RBKP를 전송한다.

/*RBKP를 수신한 z*/

RBKP를 수신한 z는 Src와 Dst 사이의 우선 경로상에는 2-hop 떨어져 존재하는 x와 y 사이에

자신을 통한 대체 경로가 설정됨을 확인 등록하고 RBKP를 x로 전달한다.

/*RBKP를 수신한 x*/

RBKP를 수신한 x는 자신과 y 사이에 z를 이용한 대체 경로가 이용 가능함을 등록한다.

(b) 대체 경로 구축 절차

(그림 3) RBKP 메시지 형식과 이를 이용한 대체 경로 구축 절차

(그림 2)의 경우 DSR에 의해 구축되는 경로 즉, 우선 경로로 s-a-b-i이 얻어지는데, R-DSR에 의해 s-c-b와 a-e-i인 대체 경로가 추가로 구성되어 우선 경로상의 노드 a 또는 b가 이동하는 경우 대체 경로로의 루팅이 가능하게 된다.

설명된 RBKP 메시지의 형식과 이를 이용한 대체 경로의 추가적 구성에 관한 절차를 나타내면 (그림 3)과 같다.

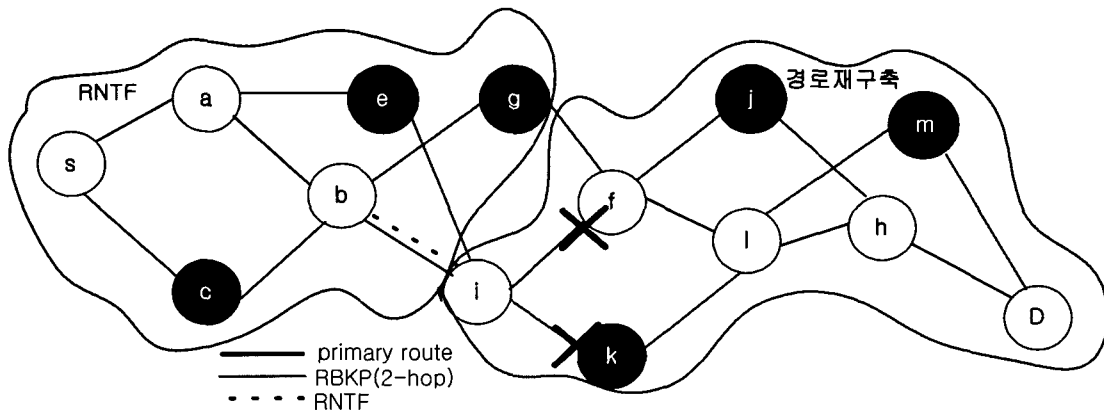
RBKP 메시지 형식

Type	Flag	Initiator	BackupNode	Recipient	Src	Dst	SessionNo
------	------	-----------	------------	-----------	-----	-----	-----------

2.2.2 경로 유지 단계

목적지로의 메시지 전달과정에서 우선 경로상의 노드가 이동하는 경우 해당 노드의 대체 노드를 경유하는 루팅이 즉시 시행된다. 이 때 루팅 경로 상의 특정 노드의 이동 상태를 경로 상의 다른 노드들에게 알리지 않는다. 다만, (그림 4)의 노드 i와 같이 도착지 d로의 우선 경로 및 대체 경로 모두가 이용 불가능할 경우를 이를 알리는 RNTF (Route Notification) 메시지를 선행 노드 b로 알려주며 RREQ를 이용하여 d로의 새로운 다중경로의 구축을 시도하게 된다.

림 4)의 노드 i와 같이 도착지 d로의 우선 경로 및 대체 경로 모두가 이용 불가능할 경우를 이를 알리는 RNTF (Route Notification) 메시지를 선행 노드 b로 알려주며 RREQ를 이용하여 d로의 새로운 다중경로의 구축을 시도하게 된다.



(그림 4) RNTF를 이용한 경로 유지 관리

이것은 기존의 온-디맨드 프로토콜들[3-13]과 다른 점이다. 즉, 경로상의 변화를 근원지와 목적지 노드들에게 알리지 않으며, 기존의 모든 경로가 이용가능 하지 않을 때에 비로서 RNTF를 발생하고 새로운 경로 구축을 경로상의 중간 노드에 의해 실시하도록 한다.

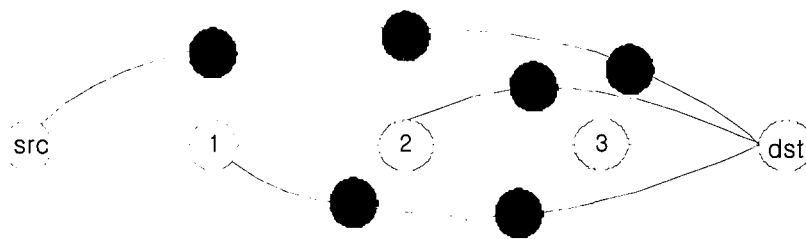
3. 프로토콜 분석

본 장에서는 수학적 분석을 통해 제안 프로토콜과 관련 프로토콜의 메시지 전달률을 상호 비교, 분석한다. 비교 대상인 Das의 다중경로 프로토콜[6]의 분석에서의 문제점은 기존 유선 망에서 고려되는 링크 단위의 고장률 분석 모델을 적용하여 메시지 전달률을 얻었다는 점이다. 그러나 애드-혹 네트워크에서의 이동성은 노드 중심적이며, 비록 링크별 이동률을 고려하더라도 동일 노드에 연결된(incident) 링크 전체에 대해 종속관계를 추가적인 이동확률로 고려해야 한다.

이에 본 절에는 노드별 이동확률이 주어진 상황에서 제안된 프로토콜의 다중경로와 Das의 프로토콜에 의해 구성된 다중경로의 경로 유지확률을 구하여 메시지 전달률의 척도로 사용한다.

3.1 기본 사항

다중경로를 고려함에 있어 대체 노드들을 거치지 않는 우선 경로(PP : Primary Path)와 대체 노드들 적어도 하나 경유하는 대체 경로(BP : Backup Path)들을 모두 고려하여 경로 유지 확률을 구한다.



(그림 5) Das의 다중경로 프로토콜[6]

일반적으로 h -홉의 우선 경로가 (그림 5)와 같은 형태의 대체 경로들을 갖는 경우의 근원지 노드와 목적지 노드간의 어느 한 경로가 유지될 확률 $P(h)$ 은 $P(h) = (1-X)^{h+1} (1+(h-1)X)$ 이 된다.

3.3 제안 프로토콜

(그림 1)과 같이 제안된 프로토콜 R-DSR에 의해 구축되는 다중경로에서는 우선 경로 상의 2-홉 간격의 노드들마다 대체 노드들을 경유하는 추가 경로가 존재하고, 대체 경로를 경유

첫 번째, 근원지와 목적지를 포함하여 최소 4노드 즉, 홉 수 3이상의 상호 독립적 이동성을 갖는 노드들로 구성된 다중경로를 고려한다.

두 번째, 하나의 노드가 이동하여 현재의 이웃한 노드들과의 통신권역을 벗어날 확률(간단히 이동확률이라 칭함)을 X 라 한다. 즉, 이동하지 않을 확률은 $1-X$ 이다.

3.2 Das의 다중경로 프로토콜[6]

Das[6]에 의해 제안된 프로토콜 중 비교 대상인 프로토콜에 의해 구성되는 다중경로는 (그림 5)과 같은 유형이다. 즉, 홉 수가 h 인 우선 경로 상에서 목적지 노드를 제외한 $h-1$ 개의 노드로부터 목적지 노드로 개별적인 경로가 구성되며, 이때 모든 경로의 홉 수는 동일하다고 가정한다.

(그림 5)에서 우선 경로는 4-홉으로 구성되어 있으므로 하나의 노드가 유지될 확률은 $(1-X)$ 이고 5개의 노드로 구성되는 우선 경로가 생존할 확률은 $(1-X)^5$ 이다. (그림 5)에서, 3개의 대체 경로 들이 존재함을 주의하라.

첫 번째, 대체 경로가 유지될 확률은 src의 후속 노드 1이 이동하고 src에서 dst를 연결하는 대체 경로 상의 모든 노드가 이동하지 않는 경우의 확률이다. 즉, $X(1-X)^5$ 이다. 두 번째 대체 경로가 유지될 확률과 세 번째 대체 경로가 유지될 확률 역시 각각 $X(1-X)^5$ 이다. 따라서 (그림 5)의 다중경로가 유지될 확률은 이들의 합인 $(1-X)^5 (1+3X)$ 가 된다.

하더라도 우선 경로를 거치는 경우와 동일한 홉 수를 갖는다.

경로의 길이 즉, 홉 수를 h 라고 하면 경로 상의 노드 수 n 은 $n=h+1$ 로 주어진다. 이 때 k 개의 대체 경로의 개수 $A_n(k)$ 를 점화식의 형태로 나타내면 다음을 만족한다. 단 $k=0,1,2,\dots, h-1$ 이다.

$$A_n(0)=1, n>1$$

$$A_n(k)=0, k>[n/2]+ ([x]^+ \text{ 은 } x \text{와 같거나 큰 수 중 가장 작은 정수를 표기한다})$$

$$A_{n+1}(k) = A_n(k) + A_{n-1}(k-1), k > 1, n > 2$$

이와 같은 식으로부터 얻어진 총 경로의 개수 S_n 를 구하는 식은 <수식 1>과 같다.

<표 1>에는 이해를 위해 $h=10$ 일 때까지의 관련 값들을 나타내었다. 여기서, k 개의 대체 노드를 경유하는 루팅 경로의 수를 k -BP로 표기한다. 예를 들면 0-BP은 0개의

대체 노드를 거치는 즉, 우선 경로를 이용하는 경우의 경로 수를 나타내고, 4-BP은 4개의 대체 노드를 사용하는 경우의 루팅 경로의 수를 나타낸다.

<표 1>에 나타난 값들로부터 일반적인 관계식을 도출하여 홑수 h 의 근원지에서 목적지로의 다중경로가 연결되었다는 조건 하에 k -BP가 사용되었을 조건부 확률 $P_n(k)$ 은 <수식 2>와 같이 구한다.

<수식 1> 제안 프로토콜 R-DSRI의 총 경로의 수: S_n

$$\begin{aligned}
 S_{n+1} &= \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} A_{n+1}(k) = \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} A_n(k) + \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} A_{n-1}(k) \\
 &= \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} A_n(k) + \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor} A_{n-1}(k) \\
 &= S_n + S_{n-1}
 \end{aligned}$$

<표 1> 홑 당 R-DSRI의 총 경로 수

	0-BP	1-BP	2-BP	3-BP	4-BP	5-BP	6-BP	7-BP	
H \ K	0	1	2	3	4	5	6	7	S_n
2	1	0	0	0	0	0	0	0	1
3	1	1	0	0	0	0	0	0	2
4	1	2	0	0	0	0	0	0	3
5	1	3	1	0	0	0	0	0	5
6	1	4	3	0	0	0	0	0	8
7	1	5	6	1	0	0	0	0	13
8	1	6	10	4	0	0	0	0	21
9	1	7	15	10	1	0	0	0	34
10	1	8	21	20	5	0	0	0	55

<수식 2> k -BP가 사용되었을 조건부 확률 $P_n(k)$

$$\begin{aligned}
 P_n(k\text{-BP}) &= (k\text{-BP 경로개수}) \cdot P_n(\text{근원지와 목적지가 동시에 이동할 확률}) \\
 &\quad (P_n(\text{우선 경로상의 } n-2-k \text{개의 노드들이 이동할 확률})) \\
 &\quad \cdot (P_n(\text{우선 경로상의 } k \text{개의 노드들이 이동하지 않을 확률})) \\
 &\quad \cap (k \text{개의 대체 경로의 노드들이 이동할 확률})
 \end{aligned}$$

<수식 3> 제안 프로토콜 R-DSR1의 경로 생존확률 : $P_1(n)$

$$P_1(n) = \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} \Pr_n \{k\text{-BP}\} = (1-X)^n \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} A_n(k) X^k$$

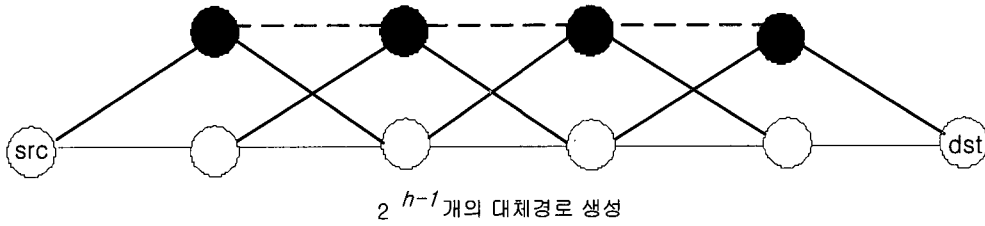
따라서 근원지에서 목적지로 홉 수 h 즉, 노드 수 $n(=h+1)$ 의 어느 한 경로가 유지될 확률 $P(n)$ 로 나타내면 <수식 3>과 같다.

도록 한다. 논의의 편의성을 위해 지금까지 고려된 R-DSR을 R-DSR1로 지칭하고 다음과 같이 확장된 다중경로를 구축하는 프로토콜을 각기 R-DSR2와 R-DSR3이라고 한다.

3.4 제안 프로토콜의 확장

R-DSR에 의해 구축되는 다중경로에서 더 많은 대체 경로를 확보하기 위해 2.2.1에서 제안된 프로토콜을 확장하여 얻어지는 다중경로를 추가적으로 고려하여 비교하

1) 이웃한 대체 노드들이 연결된 경우 : R-DSR2
(그림 6)과 같이 이웃한 대체 노드들 상호 직접 연결되는 경우이다(점선으로 나타내는 경로).



(그림 6) 제안 프로토콜 R-DSR2

이는 대체 노드간에 별도의 메시지를 주고 받음으로써 쉽게 구축될 수 있는데, 우선 경로상의 이웃한 노드가 연속적으로 이동하더라도 R-DSR1보다 더 많은 수의 경로가 근원지와 목적지간에 유지되는 특징을 갖는다.

(그림 6)에서 보듯이 $h=5$ 일 때 모두 $2^{h-1}=2^{5+1}$ 개의 경로가 생성된다. 우선 경로의 생존확률은 $h+1$ 개의 노드가 일렬로 배열되어 있으므로 $(1-X)^6$ 이다. 근원지와 목적지를 제외한 우선 경로상의 $h-1=4$ 개의 노드들 중 1개, 2개, 3개 및 4개가 각기 이동할 경우의 경로 수는 $4C_1, 4C_2, 4C_3$ 및 $4C_4$ 이다. 따라서 그림 6과 같은 다중경로 중 어느 한 경로가 유지될 확률은 $(1-X)^6(4C_0 + 4C_1 \cdot X + 4C_2 \cdot X^2 + 4C_3 \cdot X^3 + 4C_4 \cdot X^4)$ 이 된다.

R-DSR2에 의해 구축되는 홉 수 h 인 다중경로에서 어느 한 경로가 유지될 확률의 일반식은 <수식 4>와 같다.

<수식 4> 제안 프로토콜 R-DSR2의 생존확률 $P_2(h)$

$$P_2(h) = (1-P)^{(h+1)} ({}_{h-1}C_0 \cdot P^0 + {}_{h-1}C_1 \cdot P^1 + {}_{h-1}C_2 \cdot P^2 + {}_{h-1}C_3 \cdot P^3 + \Lambda + {}_{h-1}C_{h-2} \cdot P^{h-2} + {}_{h-1}C_{h-1} \cdot P^{h-1}) = (1-P)^{(h+1)} \sum_{i=0}^{h-1} {}_{h-1}C_i \cdot P^i$$

2) R-DSR2에서 대체 경로의 길이가 홉 수 3인 경우 : R-DSR3

지금까지는 대체 경로를 이용하더라도 우선 경로를 이용할 때와 동일한 홉 수를 갖는 경우만을 고려하였으나, (그림 6)과 동일한 형태이되 대체 노드를 경유 할 때마다 홉 수가 1씩 더 증가하는 경우를 고려한다. 이러한 경우의 어느 한 경로가 생존할 확률은 <수식 5>와 같다.

<수식 5> 제안 프로토콜 R-DSR3의 생존확률 $P_3(h)$

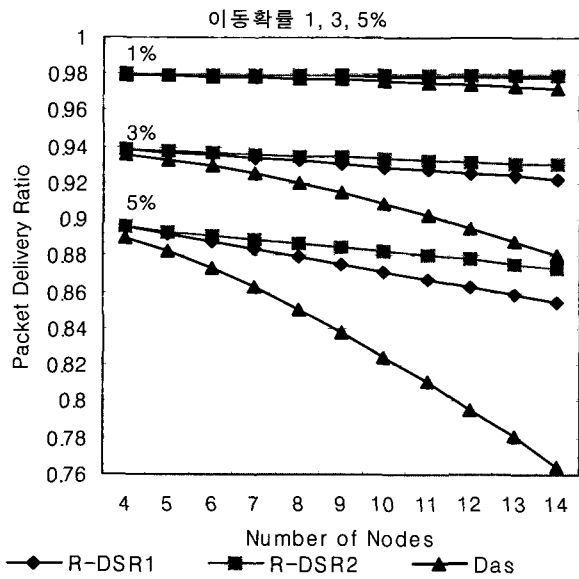
$$P_3(h) = (1-P)^{(h+1)} ({}_{h-1}C_0 \cdot P^0(1-P)^0 + {}_{h-1}C_1 \cdot P^1(1-P)^1 + {}_{h-1}C_2 \cdot P^2(1-P)^2 + \Lambda + {}_{h-1}C_{h-2} \cdot P^{h-2}(1-P)^{h-2} + {}_{h-1}C_{h-1} \cdot P^{h-1}(1-P)^{h-1}) = (1-P)^{(h+1)} \sum_{i=0}^{h-1} {}_{h-1}C_i \cdot P^i(1-P)^i$$

3.5 분석

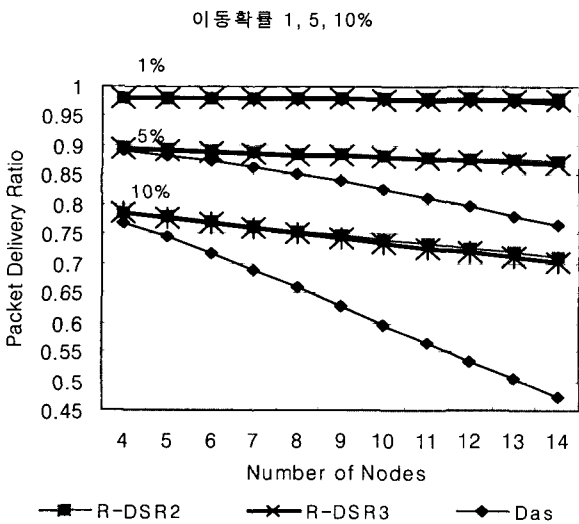
3.5.1 메시지 전달확률

(그림 7)는 노드의 이동확률을 1%, 3% 및 5%로 가정하는 비교적 낮은 이동성의 경우의 경로유지 즉, 메시지 전달률을 비교한 것이다. 이동확률의 변화에 대해 제안 프로토

콜 R-DSR1과 R-DSR2에 의해 구축되는 다중경로들은 비교적 고른 경로 유지확률을 보이는 반면, Das[6]의 프로토콜 경우 홑 수가 증가함에 따라 급격히 감소함을 알 수 있다. 이에 대한 이유는 (그림 5)에서 유추 할 수 있듯이 Das가 제안한 다중경로에서는 홑 수의 증가에 따라 대체 경로의 길이가 선형적으로(linearly) 비례하여 증가하게 되면서 대체 노드 이동에 따른 대체 경로의 유지확률은 반대로 낮아지게 되기 때문이다.



(그림 7) 메시지 전달률(이동확률 1,3,5%)



(그림 8) 메시지 전달률(이동확률 1,5,10%)

제안 프로토콜의 경우는 R-DSR2가 R-DSR1보다 다소 우수한 것으로 나타났는데, 이웃한 대체 노드들간의 경로를

추가함으로써 홑 수 h 인 우선 경로가 전체 2^{h-1} 개의 경로들을 형성하게 되기 때문이라고 볼 수 있다. R-DSR3와 R-DSR2는 메시지 전달률에서는 거의 유사한 결과를 보여주고 있다. 전체적으로는 동일한 개수의 다중경로들을 유지하기 때문으로 해석된다.

이동률의 증가에 따라 제안 방식의 우수성은 더욱더 명백하게 된다. 예를 들면 (그림 8)에서 이동율이 10%일 때를 고려하면 Das[6]의 경우 홑 수 14에서 45%의 전달률을 보이나, 제안 프로토콜은 70%이상을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

따라서, 제안 프로토콜은 홑 수가 길고 이동성이 비교적 많은 광역 애드-혹 네트워크에서 보다 우수한 메시지 전달률을 제공한다고 결론 내릴 수 있다.

3.5.2 총 경로 수

비교 분석한 프로토콜들이 생성하는 경로들의 총 갯 수들을 나타내면 <표 2>와 같다. 제안된 방식은 홑 수의 증가에 따라 Das의 프로토콜보다 훨씬 더 많은 경로 수를 갖게 된다. 예로서, R-DSR2의 경로 수는 Das의 프로토콜보다 5 홑일 때 약 3배, 10홑 일 때 약 500배의 경로 증가를 보이고 있다. 앞서의 경로 생존률 분석에서 나타나듯이 제안 프로토콜에 의해 구축되는 다중경로는 위상적인 구성이 (그림 6)에 나타나듯이 홑 수 h 에 대해 2^{h-1} 로 주어지므로 홑 수에 대해 지수적으로(exponentially) 주어진다. 한편, Das의 프로토콜은 (그림 5)에서 보듯이 홑 수 h 에 대해 $h-1$ 개가 존재하므로 선형적으로 증가한다.

<표 2> 대체 경로를 포함한 총경로 수

홑 수 \ 프로토콜	Das	R-DSR 1	R-DSR 2
3	3	2	4
5	5	5	16
8	8	21	128
10	10	55	512
13	13	233	4096

4. 결 론

본 논문에서는 IETF의 라우팅 프로토콜 DSR(dynamic source routing)을 확장한 R-DSR(robust DSR)이라 불리는 온-디맨드 다중경로 구축 프로토콜을 제안하였다. DSR에 의해 구축되는 단일 경로 상의 2-홑 간격의 모든 노드들이 대체 노드를 경유하여 추가적으로 연결되도록 함으로써 홑 수의 증가 없이 다중경로를 구축할 수 있도록 고려

하였다. 수학적 분석을 통하여 관련 연구 중 가장 우수한 것으로 알려진 Das의 다중경로 프로토콜[6]보다 더 높은 메시지 전달 확률을 제공함을 확인하였다. 연구 결과는 다음과 같다.

첫 번째, Das의 다중경로는 홉 수의 증가에 따라 패킷 전달률이 급격히 감소하는 양상을 띠는 반면에 제안 프로토콜 R-DSR1과 R-DSR2는 홉 수의 증가에도 불구하고 패킷 전달률이 거의 일정하게 유지되는 안정적인 경로 생존률을 보이고 있어 이동성이 비교적 높은 애드-혹 네트워크 환경에 적합하다고 할 수 있다.

두 번째, 제안 프로토콜 R-DSR1, R-DSR2 및 R-DSR3 모두 생성되는 대체 경로의 수가 지수적 증가를 보이는 반면, Das의 경우에는 선형적 증가를 나타내어 노드 이동에 따른 이용 가능한 대체 경로의 수가 제안 프로토콜에서는 상대적으로 많게 된다. 따라서, 루팅 경로의 홉 수가 길어지는 광역 네트워크에 유리한 프로토콜이라 할 수 있다.

아울러 제안 프로토콜을 이용하면 구축되는 다중경로에서 대체 경로의 위상적 특성에 의해 보다 빠른 대체 경로의 복구도 가능할 것으로 기대된다.

본 논문에서는 다루지 않은 제안 프로토콜의 시뮬레이션을 통한 분석 결과와의 심층적 비교 및 제안 프로토콜과 관련 프로토콜의 지연 시간의 비교 등에 관한 추후 연구를 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] K. Rafique, *A survey paper of mobile ad hoc networks*, Columbia University, New York Class Project ELEN 6951, report13, 2002.
- [2] IETF MANET Working Group(<http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>).
- [3] C.E. Perkins, E.M. Belding-Royer, and S.R. Das, "Ad hoc on-demand vector (AODV) routing," *draft-ietf-manet-aodv-12.txt*, Nov., 2002.
- [4] D. B. Johnson, D. A. Maltz, Y.-C. Hu, and J. G. Jetcheva, "The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks(DSR)," *draft-ietf-manet-dsr-07.txt*, Feb., 2002.
- [5] M. K. Marina and S. R. Das, "On-demand multipath distance vector routing for ad hoc networks," *Proc. ICNP*, pp.14-23, 2001.
- [6] A. Nasipuri, R. Castaneda, and S. R. Das, "Performance of multipath routing for on-demand protocols in mobile ad hoc networks," *ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications(MONET)*, Vol.6, No.4, pp.339-349, 2001.
- [7] P. Papadimitratos, Z. J. Haas, and E. G. Sirer, "Path set selection in mobile ad hoc networks," *Proc. MobiHoc'02*, pp.1-11, 2002.
- [8] J. Wu, "An extended dynamic source routing scheme in ad hoc wireless networks," *Proc. HICSS'02*, 2002 (http://www.cse.fau.edu/~jie/research/publications/Publication_files/edsr.pdf).
- [9] S.-J. Lee and M. Gerla, "AODV-BR : backup routing in ad hoc networks," *Proc. WCNC'00*, pp.1311-1316, 2000.
- [10] S.-J. Lee and M. Gerla, "Split multi-path routing with maximally disjoint paths in ad hoc networks," *Proc. ICC'01*, pp.3201-3205, 2001.
- [11] M. Spohn and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Neighborhood aware source routing," *Proc. MobiHoc'01*, pp.11 - 21, 2001.
- [12] S. Roy and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Using minimal source trees for on-demand routing in ad hoc networks," *Proc. INFOCOM '01*, 2001 (<http://www.so.ee.ucsc.edu/labs/ccrg/>).
- [13] C.-K. Toh, *Ad hoc mobile wireless networks : protocols and systems*, Prentice-Hall, 2002.
- [14] C.-K. Toh, "Associativity-based routing for ad-hoc mobile networks," *Wireless Personal Communications*, Vol.4, no.2, pp.1-36, 1997.
- [15] W. Wei and A. Zakhor, "Robust multipath source routing protocol(RMPSR) for video communication over wireless ad hoc networks," *Proc. ICME'04, 2004* (<http://www.video.eecs.berkeley.edu/papers/weiwei/icme2004.pdf>).
- [16] I. Gojmerac, T. Ziegler, F. Ricciato, and P. Reichl, "Adaptive multipath routing for dynamic traffic engineering," *Proc. GLOBECOM'03*, 2003(<http://userver.ftw.at/~reichl/publications/GLOBECOM03.pdf>).
- [17] W.-P. Chen and J.C. Hou, "Dynamic, ad-hoc source routing with connection-aware link-state exchange and differentiation," *Proc. GLOBECOM'02*, 2002 (http://lion.cs.uiuc.edu/publications/all/globecom2002_8.pdf).
- [18] I. Jawhar and J. Wu, *Quality of service routing in mobile ad hoc networks*, in Resource management in wireless networking : M. Cardei, I. Cardei and

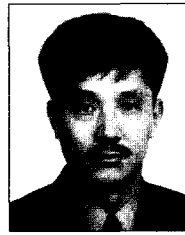
D.-Z. Du(Eds), Kluwer Academic Publishers, 2004
(http://www.cse.fau.edu/~jie/research/publications/Publication_files/qosbk.pdf).



임 화 정

e-mail : hjlim76@sangji.ac.kr
1995년~1999년 상지대학교 행정학과(학사)
2001년~2003년 상지대학교 컴퓨터정보공학과(석사)
2003년~현재 상지대학교 컴퓨터정보공학부(외래강사)

관심분야 : 이동 애드-혹 네트워크, 통신 프로토콜, 알고리즘



차 영 환

e-mail : yhtscha@sangji.ac.kr
1979년~1983년 인하대학교 전자계산학과(학사)
1983년~1985년 한국과학기술원 전산학과(석사)
1989년~1993년 인하대학교 대학원 전자계산학과 박사

1985년~1990년 한국전자통신연구원 선임연구원
1986년~1987년 미국 NIST(NBS) 초청과학자
1993년~1994년 서울대학교 컴퓨터신기술공동연구소 특별연구원
2004년~2005년 터어키 Bogazici 대학 컴퓨터공학과 객원교수
1994년~현재 상지대학교 컴퓨터정보공학부 전임강사, 조교수 및 부교수

관심분야 : 네트워크 구조, 통신 프로토콜, 알고리즘