

무선 ad-hoc 네트워크 환경을 위한 효율적인 경로 유지 기법

준회원 김문정*, 정회원 엄영익**

Efficient Route Maintenance Scheme for Wireless Ad-hoc Network Environments

Moon Jeong Kim* Associate Member, Young Ik Eom** Regular Member

요 약

무선 ad-hoc 네트워크 환경이란 유선망 하부 구조의 도움 없이 이동 호스트들만으로 구성되는 임시적인 네트워크 환경을 말한다. 무선 ad-hoc 네트워크에서 호스트 간 통신을 위해 많은 라우팅 프로토콜들이 제안되고 있다. 또한 부하 균형 및 QoS를 지원하기 위한 다중 경로 라우팅 프로토콜들도 제안되고 있다. 본 논문에서는 무선 ad-hoc 네트워크 환경을 위한 효율적인 라우팅 알고리즘을 제안하며 데이터 전송률을 향상시키고 단대단 지연을 줄일 수 있는 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 각 이동 호스트는 주기적으로 경로 정보를 방송하도록 요구되지 않으며 데이터 패킷을 전송하고자 하는 이동 호스트가 경로 요청을 시작하고 경로를 설정하게 된다. 시뮬레이션을 통해 각 호스트 내에 다중 경로를 유지함으로써 경로 단절 시 보다 빠른 경로 재설정이 가능하고 또한 다중 경로의 수를 제한함으로써 경로 유지를 위한 오버헤드가 감소됨을 보인다.

Key Words : ad-hoc network, multi-path routing, on-demand protocol, end-to-end delay, faster recovery

ABSTRACT

A wireless ad-hoc network is a temporal network formed by a collection of wireless mobile nodes without the aid of any existing network infrastructure or centralized ad-ministration. Numerous routing protocols have been developed for changing messages among the nodes in a wireless ad-hoc network. Some multi-path routing protocols have also been proposed to support load balancing and QoS for wireless ad-hoc networks. In this paper, we propose not only an efficient routing algorithm for wireless ad-hoc networks but also a protocol that can improve data transmission rate and reduce end-to-end delay. In our protocol, each mobile node need not broadcast routing messages periodically and the mobile node that wants to send data packets initiates route request and route establishment procedure. By simulation, we showed that faster route recovery is possible by maintaining multiple routing paths in each node, and the route maintenance overhead can be reduced by limiting the number of multiple routing paths.

I. 서론

최근 무선 통신 기술의 발전과 무선 통신 기기들

의 소형화로 무선 ad-hoc 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 무선 ad-hoc 네트워크 환경이란 기존에 설치된 기지국 등의 중앙 관리 시스템

* 성균관대학교 정보통신공학부 분산컴퓨팅연구실 (tops@ece.skku.ac.kr)

** 성균관대학교 정보통신공학부 분산컴퓨팅연구실 (yeom@ece.skku.ac.kr)

논문번호 : KICS2004-12-309, 접수일자 : 2004년 12월 9일

※ 본 논문은 과학기술부 프론티어사업의 유비쿼터스컴퓨팅 및 네트워크원천기술개발 과제로 수행된 결과입니다.

및 유선 네트워크의 하부 구조를 이용하지 않고 이동 호스트들만으로 구성되는 임시적인 네트워크 환경이다¹¹⁻²⁾. 최근 무선 ad-hoc 네트워크와 관련된 다양한 연구 분야 중에 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 활발히 진행 중이며, 이들 라우팅 프로토콜들은 크게 테이블 기반 라우팅 프로토콜과 요구 기반 라우팅 프로토콜로 구분된다³⁾.

현재 요구 기반 라우팅 프로토콜들은 대부분 출발지 호스트와 목적지 호스트 간에 단일 경로를 설정 및 유지하도록 설계되고 있다. 최근에는 다중 경로를 유지함으로써 경로가 실패한 경우 보다 빠른 경로 재설정을 제공하기 위한 라우팅 프로토콜들에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 다중 경로 라우팅 프로토콜들은 대부분 노드/링크가 전혀 중복되지 않는 경로들을 계산하도록 함으로써 이를 위해 중간 호스트들이 중복되는 경로 요청 패킷을 확인하지 않아 매우 많은 오버헤드를 초래하며 특히 목적지 호스트에게 많은 부담을 주어 오히려 노드/링크의 중복을 허용하는 라우팅 프로토콜의 성능이 좋다는 연구 결과도 있다⁴⁻¹⁰⁾.

본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜은 요구 기반 라우팅 프로토콜로, 간단한 알고리즘을 이용하여 링크 또는 중간 호스트의 중복을 허용하는 다중 경로를 설정 및 유지하는 기법이다. 이와 같이 다중 경로를 유지함으로써 경로가 단절된 경우 빠른 경로 재설정을 제공하여 출발지와 목적지간 데이터 패킷 전송 지연을 줄이는 기법을 제안한다. 본 논문의 2절에서는 관련 연구를 소개하고, 3절에서는 제안 프로토콜의 개요와 기본 동작 및 알고리즘 등을 소개한다. 4절에서는 제안 기법에 대한 성능 평가를 보이며, 5절에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

본 절에서는 무선 ad-hoc 네트워크를 위해 제안된 라우팅 프로토콜들에 대한 전체적인 설명과 요구 기반 라우팅 프로토콜인 DSR 프로토콜과 다중 경로 라우팅 프로토콜인 MDSR 프로토콜에 대하여 설명한다.

2.1 무선 ad-hoc 네트워크 라우팅 프로토콜

무선 ad-hoc 네트워크를 위해 제안된 라우팅 프로토콜들은 그림 1에서와 같이, 테이블기반 라우팅 프로토콜과 요구기반 라우팅 프로토콜로 구분될 수 있다.

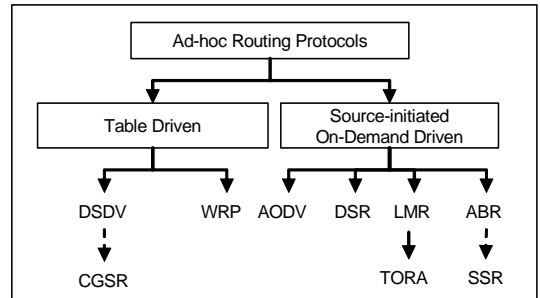


그림 1. 무선 ad-hoc 네트워크 라우팅 프로토콜 분류

테이블기반 라우팅 프로토콜은 무선 ad-hoc 네트워크에 참여하는 모든 노드들이 망 전체의 경로 정보를 유지하므로 데이터 전송시 빠른 경로 설정이 가능한 반면, 이를 위해 경로 정보가 주기적으로 전달되어야 하므로, 무선망에서 가장 큰 제약인 대역폭의 낭비를 초래하게 된다. 특히, 망의 변화가 거의 없는 경우뿐만 아니라, 망의 변화가 경로 정보를 전달하는 주기에 비해 훨씬 잦은 경우에도 이 기법은 주기적으로 전달하는 정보가 전혀 사용되지 못하는 불필요한 정보가 될 수 있다는 특징을 갖는다.

무선 ad-hoc 네트워크는 이동 호스트들만으로 구성되며, 매우 동적으로 네트워크의 변화가 발생되므로, 이러한 네트워크에서는 테이블기반 라우팅 프로토콜보다 요구기반 라우팅 프로토콜이 더 적합하다고 할 수 있다. 요구기반 라우팅 프로토콜은 데이터를 전송하고자하는 호스트가 경로 설정을 시도하게 되므로, 처음 경로를 설정하는 경우 지연이 초래되는 반면, 주기적인 경로 정보를 전송하지 않으므로, 오버헤드가 적고 네트워크 환경 변화에 적응성이 강하다는 특성을 갖는다.

2.2 DSR(Dynamic Source Routing) 프로토콜

DSR 프로토콜은 연결 지향 패킷 포워딩 기법을 사용하며, 라우팅 정보를 주기적으로 전달하지 않는다. DSR 프로토콜의 동작 방법은 크게 경로 설정 단계와 경로 유지 단계로 구분될 수 있다. 그림 2는 DSR 프로토콜의 경로 설정 과정을 보인다¹¹⁾.

DSR 프로토콜은 라우팅 정보를 주기적으로 방송하지 않으므로 네트워크의 대역폭 낭비를 줄이며, 배터리 전력이 절약되고, 사용하지 않는 경로는 계산하지 않으며, 호스트간 전송이 양방향이어야 할 필요가 없고, 네트워크 변화에 적응성을 갖는다는 장점을 갖는다.



그림 2. DSR 경로 설정 과정

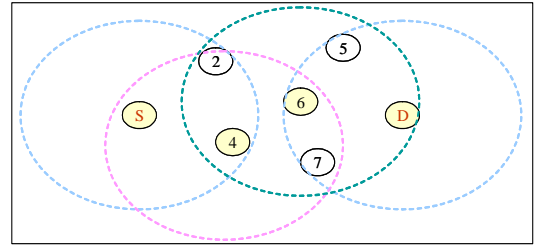


그림 4. 제안 프로토콜이 적용될 수 있는 환경

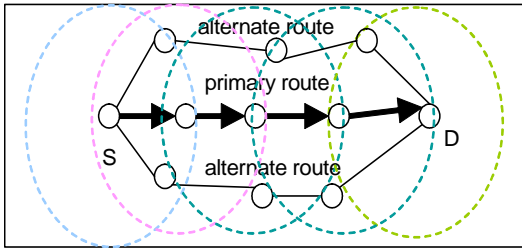


그림 3. MDSR 다중 경로 확장

2.3 MDSR(Multipath DSR) 프로토콜

MDSR 프로토콜은 DSR 프로토콜의 다중 경로 확장 기법이다⁴⁾. 다중 경로를 설정하는 경우 목적지 호스트는 다중 경로에 대해 응답하고, 소스 호스트는 처음 도착한 경로를 주 경로(primary route)로 하여 데이터를 전송하게 되고, 그 외의 경로는 예비 경로(alternate route)로 유지하여 주 경로가 단절되는 경우에 사용하게 되며, 이는 그림 3에서 보인다.

이 기법에서 목적지는 전혀 중복이 없는(disjoint) 경로를 발견하는 작업을 수행해야 하며, 이렇게 선택되는 다중 경로의 수를 제한하고 있지 않으므로, 센서 네트워크 환경 등 노드들이 밀집된 환경에서는 매우 많은 다중 경로를 유지하게 되는 단점을 갖는다. 특히, 전혀 중복이 없는 경로를 선택하기 위해 중간 호스트들은 경로 요청 패킷의 중복성을 확인하지 않으므로 매우 많은 네트워크 오버헤드를 초래하게 된다.

Ⅲ. 제안 기법

3.1 개요

본 논문에서 제안하는 프로토콜은 무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 요구 기반 라우팅 프로토콜을 사용하고, 목적지 호스트는 제한된 수의 다중 경로에 대해 응답할 수 있으며, 출발지 호스트는 수신한 경로 응답 패킷들 중에서 최적의 경로를 선택하여 데이터 패킷을 전송하기 위한 라우팅 프로토콜이다.

경로에 포함되는 각 이동 호스트는 해당 경로를 자신의 라우트 캐쉬에 유지하여, 해당 경로 상의 인접 호스트들과의 연결을 모니터링 하고, 연결이 단절된 경우에 단절되지 않은 방향으로 경로가 단절되었음을 알리게 된다. 이런 방법으로 경로 상의 각 이동 호스트들은 최신의 라우트 캐쉬를 유지하게 된다.

본 논문에서 제안하는 프로토콜은 다중 경로를 유지하는 방법이 간단하며, 다중 경로를 이용하여 단일 경로에 비해 경로 재설정 비용의 감소 및 그로 인한 출발지 호스트와 목적지 호스트 간 데이터 패킷 평균 전송 지연 시간이 감소된다는 장점을 갖는다. 그림 4는 본 논문에서 제안하는 프로토콜이 적용될 수 있는 네트워크 환경의 예를 보인다.

그림 4에서와 같이 본 논문에서 제안하는 프로토콜을 적용하기 위해서 참여하는 모든 이동 호스트들이 무선 인터페이스를 가지며 라우팅 기능을 제공하고 이웃 호스트들 간의 링크 상태 감지 서비스 기능을 갖는다고 가정한다.

3.2 패킷 형식 및 자료 구조

본 절에서는 제안 프로토콜에서 사용되는 제어 패킷들의 헤더 형식과 각 이동 호스트가 관리하는 자료 구조들을 설명한다.

3.2.1 패킷 형식

본 논문에서 제안하는 프로토콜에서, 무선 ad-hoc 네트워크 내의 통신을 위해 출발지 호스트는 목적지 호스트까지의 경로를 발견하는 과정을 먼저 수행해야 하며 이를 위해 경로 요청 패킷(RQP)과 경로 응답 패킷(RRP)이 사용된다. 설정된 경로의 단절이 발생된 경우 이를 발견한 이동 호스트는 경로가 단절된 반대 방향으로 경로 오류 패킷(REP)을 전송하게 되며, 이들 제어 패킷들은 해당 패킷 헤더 내의 Type 필드로 구분된다.

RQP(Route reQuest Packet)는 무선 ad-hoc 네트워크 내의 임의의 이동 호스트 S가 목적지 호스트

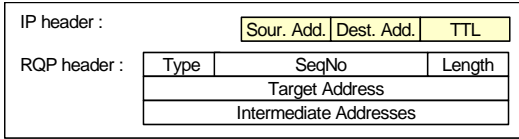


그림 5. 경로 요청 패킷(RQP) 헤더 형식

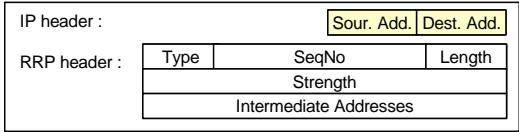


그림 6. 경로 응답 패킷(RRP) 헤더 형식

D까지의 경로를 발견하기 위해서 방송하는 패킷이며, 그림 5에서 RQP의 헤더 형식을 보인다.

RQP 헤더는 IP 헤더 뒤에 존재하게 되며, IP 헤더의 Source Address 필드에는 RQP를 생성하는 출발지 호스트 S의 주소가 기록되고, Destination Address 필드에는 제한된 방송 주소(limited broadcast address)인 255.255.255.255가 기록되며, TTL(Time To Live) 필드는 RQP가 무한히 방송되는 것을 방지하기 위해 사용된다. RQP 헤더의 SeqNo 필드는 RQP를 전달하는 중간 호스트들에 의해 동일한 RQP가 중복 처리되는 것을 방지하기 위한 목적과 RRP(Route Reply Packet)와의 알맞은 대응을 확인하기 위한 목적으로 사용되며, Target Address 필드는 목적지 호스트 D의 주소가 기록된다. RQP를 전달하게 되는 이동 호스트들의 주소는 Target Address 필드 뒤에 차례로 추가되며 그 길이는 Length 필드에 기록된다.

RRP는 RQP를 수신한 목적지 호스트 D 또는 D까지의 경로를 알고 있는 임의의 이동 호스트가 출발지 호스트 S에게 해당 경로를 알리기 위해 사용되는 패킷으로, RRP 헤더 형식은 그림 6에서 보인다.

RRP 헤더는 IP 헤더 뒤에 존재하게 되며, IP 헤더의 Source Address 필드에는 RRP를 생성하는 목적지 호스트 D 또는 D까지의 경로를 알고 있는 이동 호스트의 주소가 기록되고, Destination Address 필드에는 해당 RQP를 전송한 출발지 호스트 S의 주소가 기록된다. RRP 헤더 내의 SeqNo 필드에는 수신한 RQP 내의 SeqNo와 동일한 값이 기록되며, Strength 필드에는 RQP를 전달받은 신호 세기(signal strength)가 기록되어 출발지 호스트 S가 최적의 경로를 선정할 때 사용할 수 있도록 한다. Intermediate Addresses 필드에는 목적지 호스트 D

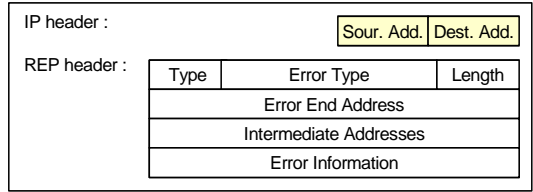


그림 7. 경로 오류 패킷(REP) 헤더 형식

로부터 출발지 호스트 S에게 RRP를 전달하게 되는 이동 호스트의 주소가 순서대로 기록되며 이 필드의 길이는 Length 필드에 기록된다.

REP(Route Error Packet)는 경로 상의 임의의 두 호스트 간의 연결이 단절된 경우 이를 발견한 중간 호스트가 출발지 호스트 또는 목적지 호스트까지의 중간 호스트들에게 이를 알려주기 위해 사용되는 패킷으로, 그림 7에서는 REP 헤더를 보인다.

REP 헤더는 IP 헤더 뒤에 존재하게 되며, IP 헤더의 Source Address 필드에는 경로 단절을 발견하여 REP를 생성하는 이동 호스트의 주소가 기록되고, Destination Address 필드에는 해당 경로상의 단절된 방향과 반대 방향의 출발지 호스트의 주소 또는 목적지 호스트로 REP를 전달하게 되는 이동 호스트의 주소가 기록된다. REP 헤더의 Error Type 필드는 데이터 전송 중에 발견된 경우와 모니터링에 의해 발견된 경우를 구별하기 위해 사용되며, 데이터 전송 중에 경로 단절이 발견된 경우에는 Error Information에 해당 데이터 패킷의 일련 번호 정보를 기록하여 해당 데이터 패킷이 재전송될 수 있도록 한다. REP 헤더의 Error End Address 필드에는 REP를 생성하는 이동 호스트와 경로가 단절된 상대 호스트의 주소를 기록하며, 해당 REP를 수신한 이동 호스트들은 REP의 Source Address 필드 내의 주소와 Error End Address 필드 내의 주소를 참조하여 자신의 라우트 캐쉬를 수정하게 된다. Intermediate Addresses 필드에는 REP를 전달할 이동 호스트의 주소부터 REP의 목적지 호스트까지의 경로가 기록되며 이 길이는 Length 필드에 기록된다.

3.2.2 자료 구조

본 논문에서 제안하는 프로토콜에 참여하는 각 이동 호스트는 라우트 캐쉬(RC)와 임시 라우트 캐쉬(TRC)를 유지하며 각 구조는 그림 8에서 보인다.

RC(Route Cache)는 다중 경로를 유지하기 위해 사용되며, 현재 능동 경로(active route)에 대한 Flag 필드의 값은 '1'로 설정하고, 그 외의 수동 경로들

SourID	DestID	Length	INs	Flag	Lifetime
(a) Route Cache (RC)					
SourID	DestID	Length	INs	Strength	Lifetime
(b) Temporal Route Cache (TRC)					

그림 8. 자료 구조

(passive routes)에 대한 Flag 필드의 값은 '0'으로 설정하여 능동 경로와 수동 경로를 구분한다. 데이터 패킷을 계속 전송하는 중이라면, 능동 경로의 단절이 알려진 경우 출발지 호스트는 바로 적당한 수동 경로를 검색하거나 필요에 따라 미리 경로 요청을 수행할 수도 있다. 따라서 RC는 목적지 호스트까지의 빠른 경로 재설정을 제공하며 경로 재설정을 위해 반복적인 경로 요청 및 경로 응답 패킷 전송으로 인한 경로 재설정 비용을 감소 시켜주는 역할을 담당한다.

TRC(Temporal Route Cache)는 최적 경로를 선정하기 위해 사용하거나 동일한 패킷에 대한 중복 처리를 방지하기 위해 사용하며, 일정 시간 동안만 정보를 유지하도록 하기 위해 Lifetime 필드를 이용한다.

3.3 기본 동작

본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜의 기본 동작은 경로 설정 단계와 경로 유지 단계로 구성되며, 경로 설정 단계는 경로 요청 단계와 경로 응답 단계로 구성된다.

3.3.1 경로 설정 단계

무선 ad-hoc 네트워크 내의 이동 호스트가 다른 이동 호스트로 데이터 패킷을 전송하고자 하는 경우, 우선 경로 요청 단계를 거치게 된다. 이동 호스트 S가 이동 호스트 D로 데이터 패킷을 전송하기 위해 경로를 요청하는 과정을 그림 9에서 보인다.

무선 ad-hoc 네트워크 내에서 데이터 패킷을 전송하고자 하는 출발지 호스트 S는 경로 요청 단계에 진입하여, 먼저 자신의 RC를 확인한다. 만일 자신의 RC 내에 목적지 호스트 D로의 경로가 존재한다면 해당 경로를 헤더에 추가하여 데이터 패킷을 D로 전송하게 된다. 그렇지 않다면, 그림 9에서 보이는 바와 같이 자신의 주소와 제한된 방송 주소, 255.255.255.255를 IP 헤더에 포함하고 목적지 호스트의 주소를 Target Address에 포함하는 RQP(경로 요청 패킷)를 생성하여 무선 네트워크를 통해 방송

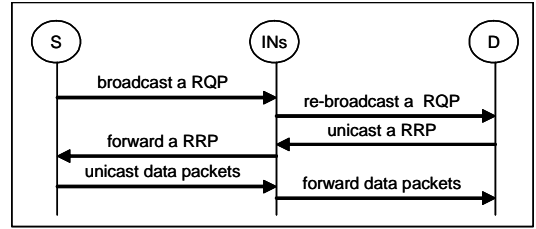


그림 9. 무선 ad-hoc 네트워크 내의 통신 과정

(broadcast)하게 된다. 이를 수신한 중간 호스트는 해당 패킷의 Target Address 필드를 확인하여 자신이 목적지 호스트가 아닌 경우, 해당 RQP 헤더의 끝에 자신의 주소를 추가하여 다시 방송하게 된다. 이 때 중간 호스트들은 수신 RQP 정보를 일정 시간 동안 유지하여 중복 처리를 방지하게 된다. 만일 RQP를 수신한 호스트가 D인 경우라면 경로 응답 단계에 진입하게 된다. 목적지 호스트는 동일한 출발지 호스트로부터 여러 개의 RQP를 수신할 수 있으며, 이 중 도착한 순서에 따라 해당 프로토콜 내에서 제한하는 수만큼의 RRP를 생성하여 전송할 수 있다.

3.3.2 경로 유지 단계

무선 ad-hoc 네트워크 내에서 능동 경로 및 수동 경로에 포함되는 각 호스트들은 경로 상의 인접 호스트들과의 연결 상태를 항시 모니터링하게 된다. 만일 자신의 RC에 유지하고 있는 경로 중에 자신과 인접한 호스트와의 연결이 단절된 경우, 이를 발견한 호스트는 자신의 RC 정보를 참조하여 단절된 방향과 반대 방향으로 연결이 단절되었음을 알리는 패킷(REP)을 전달하고 자신의 RC 정보에서 해당 경로를 제거하게 된다. 이와 같은 작업으로 인해, 출발지 호스트가 가진 RC는 항상 최신 정보를 유지하게 된다.

또한 데이터 패킷 전송 도중에 연결이 단절되었음이 발견되는 경우, 이를 발견한 호스트는 데이터 패킷의 출발지 호스트에게 REP를 전달하게 되며, 역시 자신의 RC에서 해당 정보를 제거하게 된다. REP를 수신한 출발지 호스트는 자신의 RC를 참조하여 해당 목적지로의 다른 수동 경로가 있는 경우 이를 사용하여 데이터 패킷을 재전송하게 되며, 그렇지 않은 경우 다시 새로운 RQP를 생성하여 방송함으로써 경로 요청 단계에 다시 진입하게 된다.

3.4 알고리즘

본 절에서는 제안하는 프로토콜의 동작 과정을

경로 설정 단계와 경로 유지 단계로 구별하여 보다 자세히 설명한다.

3.4.1 경로 설정 단계

본 절에서는 경로 설정 단계의 작업 절차를 출발지 호스트와 제어 패킷을 수신한 이동 호스트로 구분하여 설명한다.

1) 출발지 호스트의 작업 절차

무선 ad-hoc 네트워크 내의 이동 호스트 중 데이터를 전송하고자 하는 호스트는 먼저 해당 목적지 호스트에 대한 경로 요청 작업을 수행해야 하며, 이는 알고리즘 1에서 보인다.

출발지 호스트는 알고리즘 1을 수행 한 후 RRP를 수신하게 되면, 가장 먼저 도착한 RRP 내의 경로 정보를 자신의 RC 내에 저장한 후 능동 경로로 설정하고, 다음부터 도착하는 RRP 내의 경로 정보들은 자신의 RC에 저장하여 수동 경로로 사용한다. 만일 출발지 호스트가 가장 먼저 수신한 RRP 내의 경로 정보를 능동 경로로 사용하지 않고 최적 경로를 선택하고자 하는 경우라면 알고리즘 2에서 보이는 작업을 수행한다.

알고리즘 1. 출발지 호스트의 경로 요청

```

Tw : timeout for waiting RRP
{
  search the route to destination host in RC;
  if (found) set selected entry to 1 in RC;
  else { // not found
    create an RQP and broadcast it;
    wait(Tw);
    while (not received RRP during Tw) {
      update Tw and TTL;
      broadcast new RQP;
      wait(Tw);
    }
  }
}
    
```

알고리즘 2. 최적 경로 선정

```

Tg: period of gathering route information
{
  put route information in the RRP's
  received during Tg into TRC;
  select the route with maximum Strength
  value among the routes with minimum
  hop count;
  move the route information in TRC to RC;
  set the Flag field of the entry in RC to 1;
  set the Flag fields of other entries to 0;
  return the selected route;
}
    
```

를 선택하고자 하는 경우라면 알고리즘 2에서 보이는 작업을 수행한다.

알고리즘 2에서와 같이, 출발지 호스트는 일정 시간 수신되는 RRP 내의 정보를 TRC에 저장한 후 Length 필드와 Strength 필드의 값을 비교하여 최적의 경로를 능동 경로로 선정할 수 있다.

무선 ad-hoc 네트워크 내의 출발지 호스트가 임의의 목적지 호스트로 데이터 전송을 원하는 경우라면, 선정된 능동 경로를 전송하고자 하는 데이터 패킷의 헤더에 삽입하여 해당 목적지 호스트로 전송하게 된다.

2) 제어 패킷을 수신한 이동 호스트의 작업 절차

무선 ad-hoc 네트워크 내의 이동 호스트가 RQP를 수신한 경우의 작업 절차는 알고리즘 3에서 보인다.

알고리즘 3에서와 같이, RQP를 수신한 이동 호스트는 먼저 자신의 주소와 Target Address 필드의 값을 비교하여 자신이 목적지 호스트인지를 확인하

알고리즘 3. RQP를 수신한 이동 호스트

```

Pathmax: threshold value on the # of paths
Pathcreated: # of paths created for one S
{
  if (Addrtarget equals Addrself) {
    if (duplicate information for
    (SourceID,SeqNo) in History) {
      increase Pathcreated by one;
      if (Pathcreated greater than Pathmax )
        discard RQP; // end
    }
    else {
      insert new entry in History;
      set Pathcreated to 1;
    }
    reverse the source route in RQP;
    create RRP and transmit it to S;
  }
  else { // intermediate host
    decrease TTL by 1;
    if ((TTL equals zero) or (its own ID
    exists within header of RQP))
      discard RQP; // end
    if (find route related to Addrtarget in RC)
      create RRP and transmit it to S;
    else {
      append its own ID to the end of RQP;
      re-broadcast the RQP;
    }
  }
}
    
```

게 된다. 만일 자신이 목적지 호스트라면 동일한 출발지 호스트가 보낸 SeqNo 필드의 값이 동일한 RQP 중 다른 경로를 경유하여 수신된 RQP를 처리하였는지를 확인한다. 그렇다면 동일한 출발지 호스트가 보낸 SeqNo 필드의 값이 동일한 RQP의 수를 증가시켜 본 프로토콜에서 제한하는 최대 수를 초과하는지의 여부를 확인한다. 초과하는 경우라면 해당 RQP를 버리고, 그렇지 않는 경우라면 수신한 RQP 내의 Intermediate Addresses 필드의 값을 역으로 하여 RRP를 생성하고 출발지 호스트로 전송한다. 처음 수신하는 RQP라면 자신의 History에 일정 시간 기록하여 동일한 출발지 호스트가 보낸 SeqNo 필드의 값이 동일한 RQP에 대한 RRP 생성의 수를 본 논문에서 제한하는 최대 수를 초과하지 않도록 관리한다.

만일 RQP를 수신한 이동 호스트가 목적지 호스트가 아니라면 수신한 RQP 내의 TTL 필드의 값을 '1'만큼 감소시켜 TTL 필드의 값이 '0'이 되었거나 수신한 RQP 내의 Intermediate Addresses 필드 내에 자신의 주소가 포함되어 있는 경우라면 해당 RQP를 버린다. 그렇지 않다면, 목적지 호스트로의 경로가 자신의 RC에 존재하는지를 확인하여 만일 존재한다면 목적지 호스트 대신 RRP를 생성하여 출발지 호스트로 전송할 수 있다. 목적지 호스트로의 경로를 알지 못하는 경우, 수신한 RQP 내의 Intermediate Addresses 필드의 끝에 자신의 주소를 추가하여 해당 RQP를 다시 발송하게 된다.

무선 ad-hoc 네트워크 내의 이동 호스트가 RRP를 수신한 경우의 작업 절차는 알고리즘 4에서 보인다.

RRP를 수신한 무선 ad-hoc 네트워크 내의 중간 호스트는 자신의 RC에 수신한 RRP 내의 경로 정보를 저장하고 해당 Flag 필드는 0으로 설정한다. 그런 다음, 수신한 RRP 내의 Intermediate Addresses 필드를 참조하여 해당 경로 상의 다음 호스트로 전달한다.

알고리즘 4. RRP를 수신한 이동 호스트

```
insert new entry in RC;
set the entry's Flag to zero in RC;
forward RRP to the next host of RRP;
```

3.5 경로 유지 단계

본 논문에서 무선 ad-hoc 네트워크 내의 이동 호스트가 REP를 수신한 경우의 작업 절차는 알고리

알고리즘 5. REP를 수신한 이동 호스트

```
delete the related entry in its RC;
if (Addrdest not equals Addrself)
    forward REP to the next host on the REP;
else if (it is originator)
    if (during data transmission)
        enter route discovery phase;
```

즘 5에서 보인다.

데이터 패킷 전송 중 연결이 단절된 경우에는 REP를 생성하는 이동 호스트가 REP 내의 Error Information 필드에 전송하려던 데이터 패킷 내의 일련번호를 기록하여 전송함으로써 출발지 호스트가 해당 데이터 패킷 재전송을 가능하도록 할 수 있다. 데이터 패킷 전송 중인 출발지 호스트는 REP를 수신한 경우에 알고리즘 1과 알고리즘 2를 다시 수행하여 새로운 능동 경로를 찾고 데이터 패킷을 재전송하게 된다.

IV. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안하는 프로토콜을 평가하기 위한 시뮬레이션 도구로 C 언어로 구현된 시뮬레이션 라이브러리인 Simlib을 사용하였다¹²⁾. 본 논문에서 제안하는 프로토콜은 무선 ad-hoc 네트워크 내에서 이동 호스트들의 통신을 위해 dynamic source routing 기법을 사용하면서 다중 응답을 받고, 하나 이상의 경로를 유지할 수 있는 기법이다. 제안 프로토콜의 평가를 위해 Carnegie Mellon 대학 등에서 수행한 시뮬레이션 환경을 참조하였다¹³⁻¹⁶⁾.

제안 프로토콜의 성능 평가를 위하여 총 시뮬레이션 시간은 1180초로하고 처음 1000초 후에 180초 동안 데이터 패킷을 전송하도록 수행하였다. 본 시뮬레이션을 위해 이동 호스트들의 이동 모델은 random waypoint model을 적용하였으며¹⁷⁾, pause time은 '0'으로 하였다. 데이터 패킷은 512 bytes CBR(Constant Bit Rate)로 가정하였으며, 초당 4개의 패킷을 전송하고, 홉 간의 전송 지연 시간은 30ms라 가정하였다. 네트워크 내에는 총 40개의 이동 호스트들이 존재하며, 전송 범위를 250m로 가정하였다. 각 시뮬레이션은 총 5회 시행하여 평균을 계산하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 단일 경로를 유지하는 요구 기반 라우팅 프로토콜의 경우와 본 논문에서 제안하는

프로토콜을 적용하는 경우를 비교하며, 본 논문에서 제안하는 프로토콜을 적용하는 경우는 유지하는 다중 경로의 최대 수를 3으로 하는 경우와 5로 하는 경우를 비교하였다. 본 논문에서는 이들 세 가지 경우를 각각 unipath, multipath 1, 그리고 multipath 2로 구분하여 네트워크를 구성하는 이동 호스트들의 평균 이동 속도에 따른 비교를 보였다.

본 논문에서의 시뮬레이션은 네트워크를 구성하는 이동 호스트들의 평균 이동 속도의 증가에 대한 처리량(throughput), 오버헤드(overhead), 단대단 지연(end-to-end delay)에 대해 비교하였다. 처리량은 초당 수신되는 데이터율(bit/s), 오버헤드는 수신된 데이터에 대한 생성된 제어 패킷의 율, 단대단 지연은 각 패킷의 생성 시간에서 수신 시간을 차감한 값의 평균(ms)으로 계산하였다.

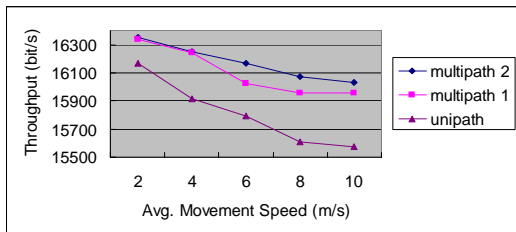


그림 10. 처리량(Throughput)

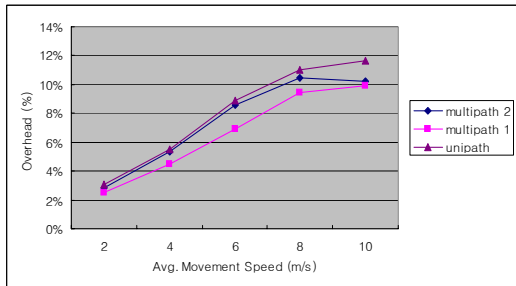


그림 11. 오버헤드(Overhead)

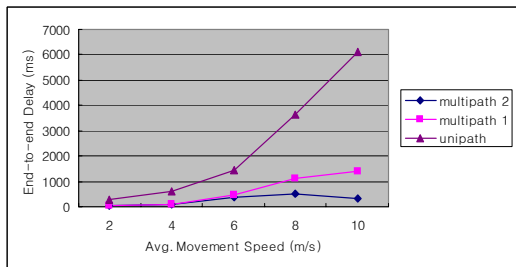


그림 12. 단대단 지연(End-to-End Delay)

그림 10은 이동 호스트들의 이동 속도 변화에 따른 처리량을 보이며, 다중 경로 라우팅 프로토콜을 적용하는 경우가 단일 경로 라우팅 프로토콜을 적용하는 경우보다 처리량이 높고 이동 속도의 증가에 따른 변화가 급하지 않음을 보인다.

그림 11은 이동 호스트들의 이동 속도에 따른 오버헤드를 보인다. 다중 경로 라우팅 프로토콜은 다중 경로를 유지하기 위한 오버헤드가 추가되는 반면 경로 재설정을 위한 경로 요청 및 응답 패킷의 수가 줄어 결국, 단일 경로 라우팅 프로토콜과 다중 경로 라우팅 프로토콜의 오버헤드는 많은 차이를 보이지 않으며 오히려 다중 경로를 3개까지 유지하는 경우의 오버헤드가 가장 낮음을 보여준다.

그림 12는 이동 호스트들의 속도 변화에 따른 단대단 지연을 보이며, 이동 호스트들의 평균 이동 속도가 6m/s 이상일 때 단일 경로 라우팅 프로토콜의 단대단 지연이 급격히 증가함을 알 수 있다. 이는 네트워크를 구성하는 이동 호스트들의 이동 속도가 증가하면 경로 단절이 빈번히 발생하게 되므로 이러한 경우 단일 경로 라우팅 프로토콜은 경로 재설정 시간이 길어지기 때문에 단대단 지연시간이 증가하게 되는 것이다.

V. 결론

무선 인터넷에 대한 사용 요구와 무선 기기 및 무선 통신의 발전으로 노트북, PDA 등의 사용이 일반화 되고 있으며, 점점 더 소형화되는 추세이다. 현재는 홈 네트워크 환경도 쉽게 접할 수 있으며, 침수형 컴퓨팅(pervasive computing)이나 유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing)에 대한 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다. 무선 ad-hoc 네트워크는 이러한 다양한 환경에 적용될 수 있는 네트워크로 이러한 네트워크 환경에서 라우팅 프로토콜들은 중요한 문제이다. 특히 유선 네트워크에서와 동일한 QoS를 요구하는 추세이므로, 네트워크 오버헤드를 고려하는 동시에 데이터 패킷 전송 지연까지 고려하는 라우팅 프로토콜이 요구된다.

본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜은 무선 ad-hoc 네트워크에서 요구기반 라우팅 프로토콜을 기반으로 한 프로토콜이므로 주기적인 라우팅 정보 교환으로 인한 오버헤드가 없는 기법이다. 또한 제한된 수의 다중 경로를 유지하도록 함으로써 경로 단절시 매번 경로 설정 단계를 거치지 않으므로 빈번한 경로 요청 및 응답으로 인한 오버헤드를 줄이

면서 보다 빠른 재설정이 가능함으로 출발지 호스트로부터 목적지 호스트까지의 데이터 패킷 전송 지연을 줄이는 효율적인 라우팅 프로토콜이다.

무선 ad-hoc 네트워크 환경을 위해 현재 제안되고 있는 여러 라우팅 프로토콜에 대한 표준화 작업이 IETF의 MANET WG에 의해 진행되고 있으나, 무선 ad-hoc 네트워크 환경은 매우 다양한 응용분야를 가지며, 각 적용되는 응용에 적합한 프로토콜들을 적절히 선택하는 것이 바람직할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 권혜연, 신재욱, 이병복, 최지혁, 남상우, 임선배 “이동 Ad-hoc 네트워크 기술 동향,” 전자통신동향분석, 18(2), pp.11-12, Apr. 2003.
- [2] K. Weniger, M. Zitterbart, “Mobile Ad Hoc Networks - Current Approaches and Future Directions,” *IEEE, Network*, 18(4), pp.6-11, Jul. 2004.
- [3] E. Royer, C-K Toh, “A Review of Current Routing Protocols for Ad-hoc Mobie Wireless Networks,” *IEEE, Personal Communications Magazine*, pp.46-55, Apr. 1999.
- [4] A. Nasipuri, S. R. Das, “On-Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks,” *Proc. International Conf. on CCN*, Oct. 1999.
- [5] A. Nasipuri, R. Castaneda, S. R. Das, “Performance of Multipath Routing for On-Demand Protocols in Ad Hoc Networks,” *ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications (MONET) Journal*, 6(4), pp.339-349, Aug. 2001.
- [6] R. Leung, J. Liu, E. Poon, A. C. Chan, B Li, “MP-DSR: a QoS-aware multi-path dynamic source routing protocol for wireless ad-hoc networks,” *Proc. 26th Annual IEEE Conf. on LCN*, pp.132-141, Nov. 2001.
- [7] M. K. Marina, S. R. Das, “On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks,” *Proc. 9th IEEE ICNP*, pp. 14-23, Nov. 2001.
- [8] S. Lee, M. Gerla, “Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad Hoc Networks,” *Proc. IEEE International Conf. on Communications*, 10, pp.3201-3205, Jun. 2001.
- [9] A. Valera, W. K. G. Seah, S. V. Rao, “CHAMP: A Highly-Resilient and Energy-Efficient Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks,” *Proc. 4th IEEE Conf. on MWCN*, pp.43-47, Sep. 2002.
- [10] D. Ganesan, R. Govindan, S. Shenker, D. Estrin, “Highly-resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor networks,” *Proc. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review archive*, 5(4), pp.11-25, Oct. 2001.
- [11] D. B. Johnson, D. A. Maltz, Y. Hu, “The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks(DSR),” draft-ietf-manet-dsr-10.txt, Jul. 2004.
- [12] M. Law, W. D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 3rd ed. McGraw-Hill, 2000.
- [13] A. Boukerche, “Performance Comparison and Analysis of Ad Hoc Routing Algorithms,” *Proc. IEEE International Conf. on PCC*, pp.171-178, Apr. 2001.
- [14] D. A. Maltz, J. Broch, J. Jetcheva, D. B. Johnson, “The Effects of On-Demand Behavior in Routing Protocols for Multihop Wireless Ad Hoc Networks,” *IEEE Journal on SAC*, 17(8), pp.1439-1453, Aug. 1999.
- [15] D. A. Maltz, J. Broch, D. B. Johnson, “Experiences Designing and Building a Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Testbed,” School of Computer Science in CMU, Technical Report 99-116, Mar. 1999.
- [16] A Boukerche, “A Simulation Based Study of On-demand Routing Protocols for Ad Hoc Wireless Networks,” *Proc. 34th Annual Simulation Symposium*, pp.85-92, Apr. 2001.
- [17] T. Camp, J. Boleng, V. Davies, “A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network esearch”, *WCMC: Special Issue on Mobile Ad Hoc Networking : Research, Trends and Applications*, 2(5), pp.483-502, Sep. 2002.

김 문 정 (Moon Jeong Kim)

준회원



1998년 2월 성균관대학교 전기
전자및컴퓨터공학부 졸업
2000년 2월 성균관대학교 전기
전자및컴퓨터공학부(석사)
2005년 2월 성균관대학교 전기
전자및컴퓨터공학부(박사)
<관심분야> 이동 컴퓨팅, 이동
에이전트, P2P 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 홈
네트워크

엄 영 익 (Young Ik Eom)

정회원



1983년 2월 서울대학교 계산
통계학과(학사)
1985년 2월 서울대학교 전산
과학과(석사)
1991년 8월 서울대학교 전산
과학과(박사)
2000년 9월~2001년 8월 Dept.
of Info. and Comm. Science at UCI 방문교수
현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수
<관심분야> 분산 컴퓨팅, 이동 컴퓨팅 시스템, 이동
에이전트, 시스템 보안 등