

MANET에서의 Reactive Routing Keyword 기반 라우팅 프로시듀어

박수현*, 신수영**

Reactive Routing Keyword based Routing Procedure in MANET

Soo-Hyun Park, Soo-Young Shin

Abstract

In MANET(Mobile Ad-hoc Network), unlike in wired networks, a path configuration should be in advance of data transmission along a routing path. Frequent movement of mobile nodes, however, makes it difficult to maintain the configured path and requires re-configuration of the path very often. It may also leads to serious problems such as deterioration of QoS in mobile ad-hoc networks. In this paper, we proposed a Reactive Routing Keyword (RRK) routing procedure to solve those problems. Firstly, we noticed it is possible in RRK routing to assign multiple routing paths to the destination node. We applied this feature into active networks and SNMP information based routing by storing unique keywords in cache of mobile nodes corresponding to present and candidate routings in a path configuration procedure. It was shown that the deterioration of QoS which may observed in Dynamic Source Routing(DSR) protocol was greatly mitigated by using the proposed routing technique.

Key Words: Mobile Ad-hoc Network, DSR 프로토콜, Reactive Routing Keyword (RRK)

라우팅 프로시듀어, 액티브 라우팅

* 국민대학교 비즈니스IT학부 교수

** 국민대학교 BIT대학원 비즈니스정보통신 박사과정

1. 서론

UIT(Ubiquitous IT)를 지원하기 위하여 기존의 MANET(Mobile Ad-hoc Network [1][2])의 필요성이 점차로 증가되어 가고 있다. IETF(Internet Engineering Task Force)의 MANET 워킹그룹 중심으로 멀티홉 (Multi-hop)으로 구성된 MANET에서 이동단말들이 통신하기 위해 필요한 Ad hoc 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[3] 모바일 Ad Hoc 네트워크가 인터넷 또는 이동통신망 등의 기반 망과 구별되는 가장 큰 특징은 고정된 중재자의 도움 없이 자율적으로 망의 구성이 가능하며, 고정된 라우터가 존재하지 않아 이동 노드간의 협력에 의한 라우팅 기능이 제공되며, 특정 서비스 제공자가 없이 단말에서 서비스가 해결되어야 한다는 점이라 할 수 있다.[4]

모바일 ad-hoc 네트워크는 데이터의 전송을 위해 우선망과는 달리 반드시 경로설정단계를 거친 후 설정된 라우팅 패스를 따라서 데이터의 전송이 이루어진다. 하지만 이동망의 특성상 빈번한 이동노드의 움직임은 이미 설정된 경로의 유지를 어렵게 하고 경로 재설정에 대한 요구가 빈번히 일어나게 된다. 이러한 과정에서 치명적인 전송 오류가 발생하여 새로운 경로 발견 메커니즘을 수행하는 동안 메시지 전송상의 패킷 드랍율(packet drop rate)이 높아지고 이에 따른 메시지 손실이 발생하게 된다. 이는 전반적이 모바일 ad-hoc 네트워크내의 QoS의 저하를 불러온다. 나아가 빈번한 노드의 이동이 있는 경우 경로유지에 투입되는 리소스의 낭비가 매우 심하게 되는 문제점이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 RRK 관리기법과 RRK 라우팅 절차를 제안하였다. RRK 라우팅은 경로설정단계에서 목적지 노드까지 멀티홉 라우팅 패스가 설정될 수 있음에 착안하였다. 액티브 네트워크[5][6][7] 및 SNMP 정보기반 라우팅을 응용하여 경로설정단계에서 설정되는 실제

라우팅 및 여러 후보 라우팅에 해당하는 이동노드들의 캐쉬에 유니크한 키워드를 저장함으로써 DSR 프로토콜에서 발생하는 QoS를 저하 등의 문제점을 크게 개선하였다.

2장에서는 본 연구의 비교 대상이 된 Dynamic Source Routing (DSR) 라우팅 알고리즘에 대해 설명한 후 3장에서는 새롭게 제안한 RRK 기법에 대해 상세히 설명하고 4장에서는 검증을 위한 이론적 배경 및 NS-2를 이용한 모의 실험의 결과를 기술한 다음 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. Dynamic Resource Routing(DSR) 프로토콜 및 개선사항

2.1 DSR 프로토콜

모바일 Ad-hoc 네트워크에서 응용되는 여러 라우팅 프로토콜 중 DSR(Dynamic Source Routing) 프로토콜은 소스라우팅 프로토콜로서 패킷을 전송하고자 하는 소스노드가 데이터의 전송을 위하여 목적지 노드까지의 중간노드들의 순서를 미리 결정하는 라우팅 메커니즘이다. 이는 온디맨드 또는 프로액티브(on-demand or proactive) 라우팅 알고리즘이라고도 하며 DSR 프로토콜은 경로설정과 유지를 위하여 주기적인 라우팅 프라퍼게이션 메시지가 없고 양방향 및 단방향 링크를 동시에 지원하는 등 다른 라우팅 프로토콜에 비하여 여러 장점을 가진다.

DSR 프로토콜은 크게 라우트 설정단계(route discovery)과 라우트 유지단계(route maintenance)로 구분되어진다. 라우트 설정단계는 소스 노드가 목적지 노드에 전송할 패킷이 있을 경우 목적지 노드로의 경로를 찾기 위하여 수행된다. 라우트 설정단계 후 목적지 노드까지의 경로는 라우트 유지단계에 의해 유지되어진다. 경로유지단계는 모바일 ad-hoc 네트워크내의 목적지까지의 라우팅을 안정상태로 유지시키는 것이 목적으로 소스노드가

목적지 노드에 패킷을 전송하여야만 가능하다. 만약 노드의 움직임에 의해 경로가 손실되면 다시 라우팅 설정단계가 수행되어진다[8][9].

2.1.1 라우팅 설정단계(Route Discovery & Record)

라우팅 설정 단계에서의 경로발견은 소스노드(source node)와 목적지 노드(destination node), 두 노드간의 패킷송수신 필요성이 있을 경우에만 동적으로 이루어지게 된다. 나아가 이러한 통신 요청이 있을지라도 오직 소스 노드의 라우팅 캐쉬에 목적지 노드까지의 경로가 저장되어 있지 않을 경우에만 경로발견을 위한 새로운 과정이 진행된다. 소스 노드는 목적지 노드를 발견하기 위하여 경로설정 요구 패킷(RREQ: route request packet)을 자신의 전파 범위에 있는 이웃노드들에 브로드캐스트한다. RREQ 패킷에는 소스 노드의 주소, 목적지 노드의 주소 그리고 소스 노드에 의해 만들어진 유일한 요구 식별자(request identifier) 정보를 포함한다. 또한 RREQ에는 소스 노드에서 중간 노드들을 포함한 목적지 노드까지의 경로를 기록하는 라우팅 레코드(route record)가 있다.

각 노드들은 RREQ의 라우팅 레코드에 기록된 경로를 자신의 라우팅 캐쉬에 저장하고 경로의 중복이나 루프를 제거하기 위해 이 목록을 관리한다. RREQ를 브로드캐스트한 노드의 전송 영역 내에서 RREQ를 수신한 노드들은 다음과 같은 단계를 수행한다.

첫째, RREQ의 수신 노드가 목적지 노드가 아닌 경우 즉, 중간 노드인 경우 RREQ가 수신 노드의 <소스 주소, 요구 식별자> 목록에 포함되어 있는지를 확인하고, 목록에서 발견될 경우는 수신된 RREQ는 이미 수신한 것으로 간주하여 중복된 RREQ를 폐기한다.

둘째, 수신 노드의 <소스 주소, 요구 식별자> 목록에 없는 경우, 수신 노드는 RREQ 상의 경로 레코드 내에 자신의 주소가 있는지를 확인한다. 만약, 자신의 주소가 발견된 경우는 루프로 간주해 폐기한다.

셋째, RREQ 상의 경로 레코드 내에 자신의 주소가 없는 경우 자신의 주소를 RREQ의 경로 레코드에 추가시키고 RREQ를 다시 브로드캐스트 한다.

넷째, RREQ의 수신 노드가 RREQ의 목적지 노드일 경우는 RREQ 상의 경로 레코드에 기록된 경로에 자신의 주소를 더한 경로를 역방향으로 바꾸어 경로설정 응답패킷(RREP : Route Reply Packet)에 복사한 후, 유니캐스트 방식으로 소스노드에게 전송하여 소스 노드에서 RREP를 수신하면 경로 설정단계는 끝난다. 소스노드와 중간 노드에서는 RREQ를 브로드캐스트 하기 때문에 다중 경로가 존재하지만 목적지 노드는 첫 번째 수신 RREQ에 대해서만 RREP로 응답한다.[8][10][11]

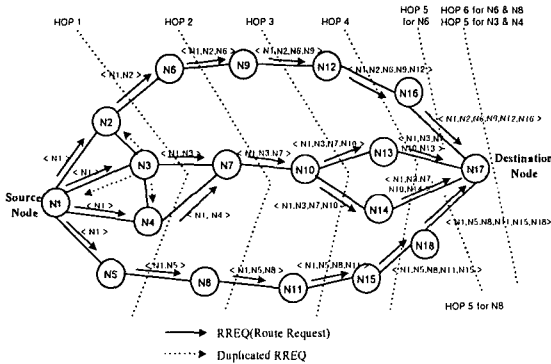
다음 <그림 1>은 소스 노드(SN) N1에서 목적지 노드(DN) N17로 데이터를 전송하기 위한 경로 설정 과정의 예로서 다음과 같다.

[Step 1] 소스 노드 N1은 자신의 전파범위 이내에 존재하는 노드 N2, N3, N4, N5로 RREQ를 브로드캐스트한다.(그림 1(a))

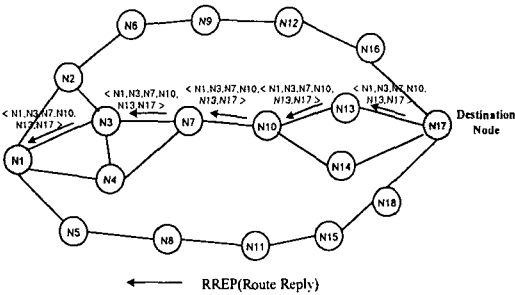
[Step 2] 네트워크 내의 HOP 1에 해당하는 노드 N2는 자신이 목적지 노드가 아니고, 자신의 경로 요구 테이블에서 RREQ의 <source node address, unique identification number>를 발견할 수 없고, RREQ 내의 경로 레코드에 자신의 주소가 없기 때문에 RREQ 내의 route record에 자신의 주소를 기록한 후 RREQ를 전파 범위 이내에 있는 노드 N1, N3 그리고 N6로 다시 브로드캐스트 한다.(그림 1(a))

[Step 3] 네트워크 내의 HOP 1에 해당하는 다른 노드 N3, N4, N5도 N2와 동일한 과정을 수행한다. 노드 N3, N4, N5는 자신이 목적지 노드가 아니기 때문에 노드 N3의 경우 자신의 전파 범위 이내에 있는 노드 N1, N2, N4로 그리고 노드 N7으로 RREQ를 다시 브로드캐스트 한다.(그림 1(a))

[Step 4] 노드 S1은 수신된 RREQ 내에 자



(a) Building Record Route during Route Discovery



(b) Propagation of Route Replies with the Route Record

<그림 1> DSR에서 라우트 발견단계에서의 라우팅 레코드 설정 및 라우트 레코드를 가진 RREP의 전달

신의 주소를 발견하기 때문에 루프를 방지하기 위해 RREQ를 폐기한다. S1과 마찬가지로 이미 받은 브로드캐스트한 패킷을 재수신한 노드 N2와 N4 각각 이미 노드 S1에서 보낸 RREQ를 수신했으므로 RREQ를 폐기한다.(그림 1(a))

[Step 5] 노드 N7의 경우 노드 N3에서 보낸 RREQ가 노드 N4에서 보낸 RREQ 보다 먼저 수신되었다고 가정하면, 노드 N4에서 전송된 RREQ는 중복 수신된 것으로 간주하여 폐기한다. (그림 1(a))

[Step 6] 노드 N10으로부터 RREQ를 수신한 노드 N13과 N14는 위의 과정들을 반복하여 목적지 노드 N17까지 RREQ를 전파한다. (그림 1(a))

[Step 7] 목적지 노드인 N17은 제일 먼저

수신한 RREQ 안의 경로 레코드에 저장된 경로에 자신의 주소를 더한 경로를 역방향으로 RREP에 복사한 후 유니캐스트한 방법으로 소스 노드에게 전송한다. 만일 N13으로부터 전송되어온 RREQ를 목적지 노드인 N17이 전송받았을 경우 최종적으로 소스 노드에서 목적지 노드까지의 최종 경로는 아래의 <그림 1>(b)와 같이 <N1, N3, N7, N10, N13, N17 >이 된다.

2.1.2 라우트 유지 단계(Route Maintenance)

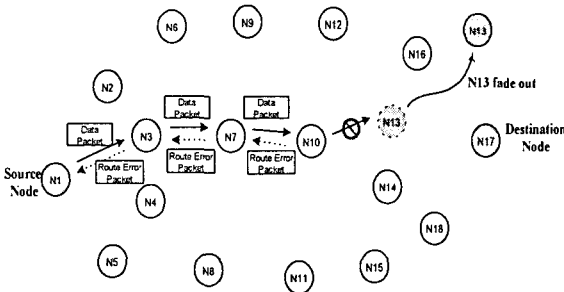
DSR 프로토콜에서는 이미 형성된 경로를 유지하기 위하여 주기적인 경로 정보를 교환하지 않고 라우트 발견과정에서 얻어진 초기의 경로를 사용한다. 이를 위하여 경로 유지를 위하여 중간 노드들은 라우트 유지단계를 수행하여 경로의 동작 상태와 에러를 탐지하고 그 사실을 소스 노드에게 알린다. 현존하는 경로상의 에러를 탐지하는 방법은 다음과 같다 [9][11].

첫번째로 IEEE 802.11에서처럼 연결 계층에서 응답 신호를 사용하는 경우, 패킷을 전송한 노드가 다음 노드로부터의 응답 신호가 도착하면 자신과 다음 노드 사이의 경로에는 문제가 없음을 인식한다. 둘째, 경로 에러를 탐지하기 위하여 감청 모드를 사용하는 것이다. 패킷을 전송한 노드에서 다음 노드가 자신이 전송한 패킷을 그 다음 노드로 전송하는 것을 감청 모드를 통해 수신하면 자신과 다음 노드 사이의 링크에 문제가 없는 것으로 인식한다. 셋째, 명백한 응답 신호를 요구하는 방법이 있다. 패킷을 다음 노드로 전송하기 전에 송신 노드는 확인 요구(acknowledgement request) 필드를 세팅하여 전송한다. 패킷을 수신한 노드는 반드시 이전 노드로 응답 신호를 보내주어야 한다. 만일 송신 노드에서 응답 신호를 수신하지 못한다면 송신 노드는 자신과 다음 노드 사이의 링크에 에러가 발생한 것으로 인식한다[8][9][11].

경로 에러 패킷은 패킷이 최대 홉(TTL)을

초과하거나 확인 패킷을 수신하지 못하였을 경우 이를 감지한 노드가 소스 노드로 경로 에러(Route Error) 패킷을 되돌려주어 정확한 에러 발생 위치를 알려준다.

<그림 2>는 에러 패킷을 이용한 경로 유지의 예를 나타냈다. 노드 N13의 이동성으로 인하여 N10 노드가 다음 노드 N13으로 더 이상 패킷을 전송하지 못한다면 노드 N5는 소스 노드 SN에 경로 에러 패킷을 전송한다. 경로 에러 패킷에는 경로 에러가 발생한 홉인 N10, N13 양쪽 노드의 주소를 포함한다. 경로 에러 패킷을 수신한 소스 노드 S1 및 경로의 중간 노드들은 자신의 캐쉬에서 해당 링크를 제거한다. 이때, 소스 노드 S1이 목적지 노드 N17의 또 다른 경로를 자신의 캐쉬에 갖고 있다면 패킷 전송은 새로운 경로를 따라 목적지 노드까지 전송된다. 캐쉬에 목적지 노드까지의 또 다른 경로가 없다면 목적지 노드를 찾기 위한 새로운 경로 발견 단계를 수행한다.



<그림 2> DSR에서의 RERR 패킷을 이용한 경로유지의 예

2.2 개선사항

DSR 프로토콜의 주요 문제점은 라우트 유지단계에서 발생하며 다음과 같은 주요 개선사항이 발생한다.

첫째, 라우트 레코드 내의 중간노드가 타지역으로 이동하여 데이터링크 레이어에서 치명적 전송에러(fatal transmission error)가 발생 시 라우트 에러 패킷을 이용하여 소스노드에

서 새로운 경로발견을 위하여 라우트 발견(route discovery)과정을 다시 수행한다는 점에서 네트워크의 전반적인 QoS를 저하시키게 된다. 예를 들어 그림 2에서 노드 N13의 Fading-out으로 인하여 N10 노드가 다음 노드 N13으로 더 이상 패킷을 전송하지 못한다면 노드 N10은 소스 노드 SN에 경로 에러 패킷을 전송한다. 경로 에러 패킷에는 경로 에러가 발생한 홉인 N10, N13 양쪽 노드의 주소를 포함한다. 경로 에러 패킷을 수신한 소스 노드 SN을 포함하여 경로의 중간 노드들은 자신의 캐쉬에서 해당 링크를 제거한다. 이때, 소스 노드 N1이 목적지 노드 N18의 또 다른 경로를 자신의 캐쉬에 갖고 있다면 패킷 전송은 새로운 경로를 따라 목적지 노드까지 전송된다. 캐쉬에 목적지 노드까지의 또 다른 경로가 없다면 목적지 노드를 찾기 위한 새로운 경로 발견 단계를 수행한다.

두 번째, 치명적 전송에러가 발생하여 새로운 경로 발견 메커니즘을 수행하는 동안 메시지 전송상의 패킷 드랍율(packet drop rate)이 높아지고 이에 따른 메시지 손실이 발생하게 된다. 나아가 빈번한 노드의 이동이 있는 경우 경로유지에 투입되는 리소스의 낭비가 매우 심하게 되는 문제점이 발생하게 된다.

3. RRR 기반 라우팅

기존의 DSR 프로토콜의 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 RRR 관리와 RRR 라우팅 프로시듀어를 제안하였다. RRR 라우팅은 경로설정단계에서 목적지 노드까지 멀티플 라우팅 패스가 설정될 수 있음에 착안하였다. 액티브 네트워크 및 SNMP 정보기반 라우팅을 응용하여 경로설정단계에서 설정되는 실제 라우팅 및 여러 후보 라우팅에 해당하는 이동노드들의 캐쉬에 유니크한 키워드를 저장함으로써 DSR 프로토콜에서 발생하는 QoS를 저하 등의 문제점을 크게 개선하였다.

3.1 Proactive Routing Keyword (PRK) Management

본 논문에서 제안한 RRK 기반 라우팅을 수행하기 위하여 키워드는 단일 Ad hoc 네트워크(sub ad hoc network 또는 local ad hoc network)에서만 유니크하게 관리되면 된다. 정보기반 라우팅[12]에서 브로드캐스트하는 키워드는 소스노드와 목적지 노드사이에서 통일되어야만 정확한 전송이 이루어질 수 있다. 따라서 본 절에서는 키워드 정보가 중앙에서 관리되도록 하는 Keyup프로시저를 제시한다.

Keyup 프로시저는 키워드 업데이트 프로시저로서, 기존 망 관리 시스템의 SNMP를 응용한 것이다. 따라서 MIB(Management Information Base)로의 접근은 SNMP PDU(Protocol Data Unit)를 통해 이루어지며[13], 중앙에서의 키워드 관리를 위해, 변경된 MIB와 같은 정보를 저장하는 mirrorMIB를 매니저에 추가하였다.

모바일 Ad hoc 네트워크내의 소스노드는 매니저로부터 필요한 인증된 키워드를 부여받는다. 매니저는 키워드의 인증 후, 인증된 키워드를 set(auth_keyword) PDU를 활용하여 소스노드로 전송한다. 액티브 노드의 키워드 변경 시에는 다시 Keyup 프로시저를 통해 변경된 키워드를 매니저로 전송하게 함으로써 키워드에 대한 정보가 중앙에서 관리되도록 한다.

3.2. RRK 라우팅 프로시저

3.2.1 RRK 기반 라우팅에서의 경로설정단계

DSR에서는 소스노드와 중간노드에서 RREQ를 브로드캐스트하기 때문에 다중경로가 존재하지만 목적지 노드는 첫 번째 수신 RREQ에 대하여만 RREP로 응답을 수행한다. 따라서 소스노드에는 실제로 유니크한 경로만 존재하게 된다.

RRK 라우팅 방안에서는 라우팅과 관련된 모든 메시지(RREQ, RREP)를 액티브 패킷으

로 구성하여 RRK 정보를 포함하게 된다. 본 방안에서도 라우트 설정단계에서는 기존의 DSR 방식과 같이 경로발견 과정을 수행한다. 하지만 차이점은 RREQ 패킷에 이미 생성된 유니크한 RRK를 첨부하여 목적지 노드로 전송하는 것이다. RREQ를 받은 목적지 노드는 이미 전송받은 RREQ에 저장된 라우트 레코드에 따라서 RREP를 응답하게 되는 데 이때, RREP 메시지에 키워드 확인 필드(keyword confirm field)를 추가한다. 이때 목적지 노드는 도착하는 여러 개의 RREQ에 중 최소의 홉 카운팅을 갖는 RREQ메시지에 대하여 RREP를 모두 응답하는 데 이 RREP 메시지에는 키워드 확인 필드를 포함하게 된다. RREP 메시지가 지나가는 이미 확정된 라우트 내에 존재하는 중간노드들은 키워드 확인(keyword confirm)을 받게되며 이러한 키워드를 받은 중간노드들은 이 키워드를 자신의 라우트 캐쉬상에 보관한다.

소스노드에서는 도착하는 여러 개의 RREP 중 첫 번째로 도착하는 RREP만을 취하고 그 후에 오는 RREP는 폐기(discard)시킨다. 이와 같은 메카니즘에 의하여 소스에서 목적지 노드까지의 다중 경로는 모두 RRK를 가지게 된다.

중간노드들은 액티브 노드로 구성이 되며 RRK를 저장하고 처리하는 실행환경(Execution Environment)를 갖는다.

다음의 RRK 알고리즘은 이와 같은 RRK 기반 라우팅에서의 경로설정단계에 대한 메커니즘을 설명하고 있다.

■ RRK algorithm

Algorithm RRK()

```
// Now a mobile node(SN:source node)
wants to send a packet to
// some DN(destination node)
```

1. SN consults its route cache to determine whether it already has a route to DN
2. IF SN has an unexpired route to DN THEN

2.1 SN uses this route to send packet to DN

3. ELSE

// SN initiates route discovery by broadcasting a route request packet

3.1 keyword = **Fetch_keyword()**;

// call keyword fetch module and get new unique keyword kw

// call DSR module and bypass new keyword keyword to get novel route record.

3.2 Call **Keyword_SEND_in_SN(keyword)**

4. ENDIF

5. Send data packet to DN along with route record

END RRK

■ Dynamic Source Routing in SN algorithm

Algorithm Keyword_SEND_in_SN(String keyword)

1. Construct Route Request(RREQ) message with [DN address, SN address, unique id number, *keyword*]

2. Send RREQ to neighbor nodes.

/* Each node receiving this RREQ packet checks whether it knows a route to the destination. If it does not, it adds its own address to the route record of the packet and then forwards the packet along its outgoing links. Each node saves this route record to route cache */

END Keyword_SEND_in_SN

아래의 알고리즘 **Keyword_PROCESS_in_DN()**은 목적지 노드에서 RREQ를 수신시 이를 처리하는 메커니즘을 보여준다.

■ Dynamic Source Routing in DN algorithm

Algorithm Keyword_PROCESS_in_DN()

1. Receive RREQ from SN

2. *Save keyword to its route cache*

3. Construct Route Response(RREP) message with route record and keyword in RREQ [route record, *keyword*]

4. Send RREP to SN along route record.

END Keyword_PROCESS_in_DN

나아가 아래의 알고리즘 **eyword_PROCESS_in_EN_for_RREP()**는 경로상의 중간노드가 목적지 노드 DN으로부터 키워드를 포함한 RREP를 수신시 이를 처리하기 메커니즘을 보여준다.

■ The algorithm for each node receiving RREP having keyword

Algorithm Keyword_PROCESS_in_EN_for_RREP()

1. Receive RREP from DN or previous node

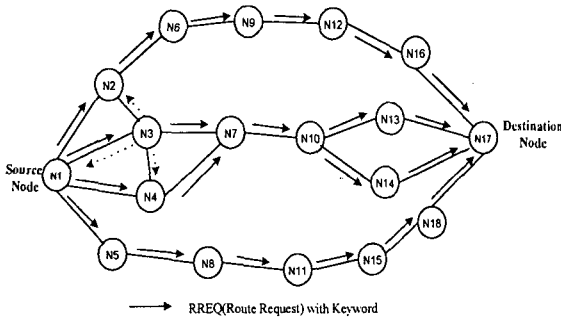
2. EN(Each Node) saves keyword extracting from RREP to its route cache

3. Send RREP to SN along with route record

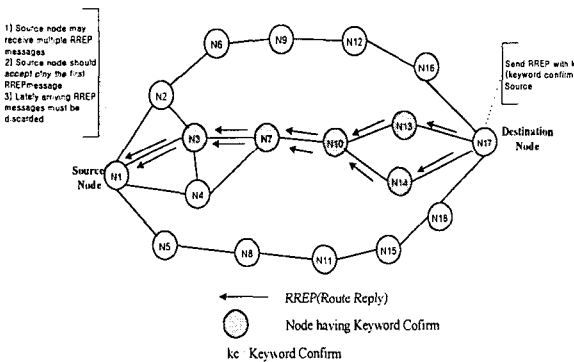
end Keyword_PROCESS_in_EN_for_RREP

<그림 3>과 <그림 4>는 RRK 기반 경로설정 단계를 보여주고 있다. 소스노드 N1이 목적지노드 N17로 데이터 패킷을 전송하고자 한다. 소스노드 N1은 우선 자신이 목적지 노드까지의 라우팅 패스를 이미 가지고 있는지를 검사하여 만일 해당 라우팅 패스를 가지고 있다면 그 패스를 이용하여 데이터를 전송한다. 하지만 소스노드가 해당 라우팅 패스를 가지고 있지 않다면 우선 새로운 경로설정단계를 거쳐야한다. RRK 기반 경로설정 단계는 다음과 같다.

[Step 1] 우선 키워드 관리 시스템으로부터 유니크한 키워드를 발행받은 다음 소스노드에서 RREQ 액티브 패킷을 구성한다. 이때 이 키워드는 REQ 액티브 패킷의 데이터 부분에 첨부하게 된다. 생성된 RREQ 액티브



<그림 3> RRK기반 라우팅에서 라우트 발견단계에서의 RREQ 액티브 패킷 전달



<그림 4> RRK기반 라우팅에서 라우트 발견단계에서의 RREP 액티브 패킷 전달

패킷을 이웃노드인 N2, N3, N4, N5로 브로드캐스트한다.

[Step 2] 네트워크 내의 홉1에 해당하는 노드 N2는 자신이 목적지 노드가 아니고, 자신의 경로 요구 테이블에서 RREQ의 <source node address, unique identification number>를 발견할 수 없고, RREQ 내의 경로 레코드에 자신의 주소가 없기 때문에 RREQ 내의 경로 레코드에 자신의 주소를 기록한 후 RREQ를 전파 범위 이내에 있는 노드 N1, N3 그리고 N6로 다시 브로드캐스트 한다.

[Step 3] 네트워크 내의 홉1에 해당하는 다른 노드 N3, N4, N5도 N2와 동일한 과정을 수행한다. 노드 N3, N4, N5는 자신이 목적

지 노드가 아니기 때문에 노드 N3의 경우 자신의 전파 범위 이내에 있는 노드 N1, N2, N4로 그리고 노드 N7으로 RREQ를 다시 브로드캐스트 한다.

[Step 4] 노드 S1은 수신된 RREQ 내에 자신의 주소를 발견하기 때문에 루프를 방지하기 위해 RREQ를 폐기한다. S1과 마찬가지로 이미 받은 브로드캐스트한 패킷을 재수신한 노드 N2와 N4 각각 이미 노드 S1에서 보낸 RREQ를 수신했으므로 RREQ를 폐기한다.

[Step 5] 노드 N7의 경우 노드 N3에서 보낸 RREQ가 노드 N4에서 보낸 RREQ 보다 먼저 수신되었다고 가정하면, 노드 N4에서 전송된 RREQ는 중복 수신된 것으로 간주하여 폐기한다.

[Step 6] 노드 N10으로부터 RREQ를 수신한 노드 N13과 N14는 위의 과정들을 반복하여 목적지 노드 N17까지 RREQ를 전파한다.

[Step 7] 목적지 노드인 N17은 제일 먼저 수신한 RREQ 뿐만 아니라 도착하는 여러 개의 RREQ에 중 최소의 홉 카운팅을 갖는 RREQ 메시지에 대하여 RREQ 안의 경로 레코드에 저장된 경로에 자신의 주소경로를 역방향으로 RREP에 복사한 후 유니캐스트한 방법으로 소스 노드에게 전송한다. 이때 RREP 액티브 패킷에는 키워드 확인 필드(keyword confirm filed)를 더하여지며 RREQ에 첨부되어온 keyword를 복사하여 저장한다.

[Step 8] RREP 메시지가 지나가는 이미 확정된 route내에 존재하는 중간노드들은 keyword confirm를 받게되며 이러한 keyword를 받은 중간노드(이 예에서는 N3, N7, N10, N13, N14)들은 이 keyword를 자신의 라우트 캐쉬상에 보관한다. 본 예에서는 N13 및 N14 로부터 전송되어온 RREQ를 목적지 노드인 N17이 전송받았었기 때문에 최종적으로 소스 노드에서 목적지 노

드까지의 최종 경로는 아래의 그림7과 같이 <N1, N3, N7, N10, N13, N17 > 및 <N1, N3, N7, N10, N14, N17 >이 된다.

[Step9] 소스노드 N1에서는 도착하는 여러 개의 RREP 중 첫 번째로 도착하는 RREP 만을 취하고 그 후에 오는 RREP는 discard 시킨다. 이와 같은 메카니즘에 의하여 소스에서 목적지 노드까지의 다중 경로는 모두 RRK를 가지게 된다. 이 예에서는 <N1, N3, N7, N10, N13, N17 >을 소스노드 N1에서 경로로 채택하였다고 가정한다.

3.2.2 라우팅 프로시듀어 및 경로유지 방안

경로유지단계에서 <그림 5>와 같이 N13이 다른 지역으로 이동하여 SN부터 DN까지의 패스가 단절되었을 경우, RERR을 소스노드로 전송하여 재라우팅이나 후보 패스들 중 하나를 선택하여 라우팅을 다시 수행할 것이 아니라 단절된 시점에서의 노드(N10)에서 키워드 정보를 가지고 있는 이동노드를 찾기 위하여 키워드 인식요청 메시지(keyword search message)를 인접노드로 브로드캐스트한다. 이후 이에 대하여 키워드 인식응답 메시지가 오는 인접노드로 라우팅을 계속 진행시킨다. 라우팅 프로시듀어 및 경로유지 방안과 관련된 RMK(Route Maintenance with Keyword)은 아래와 같다.

■ RMK(Route Maintenance with Keyword) algorithm

Algorithm RMK()

// Now an IN(Intermediate Node) receives data packet going to DN.

1. IN consults its route cache to determine where is the next hop
2. IF data link layer encounters a fatal transmission problems THEN
 - 2.1 IN broadcasts keyword_search message with it's keyword to neighbor nodes.
 - 2.2 Wait response_of_keyword_search message.

2.3 IF IN receives response_of_keyword_search message from neighbor node N THEN THEN

2.3.1 The hop in error is removed from IN's route cache

2.3.2 Forward data packet to neighbor node N

2.4 ELSE

2.4.1 Execute legacy DSR rerouting mechanism

2.4.2 END of Process

2.5 ENDIF

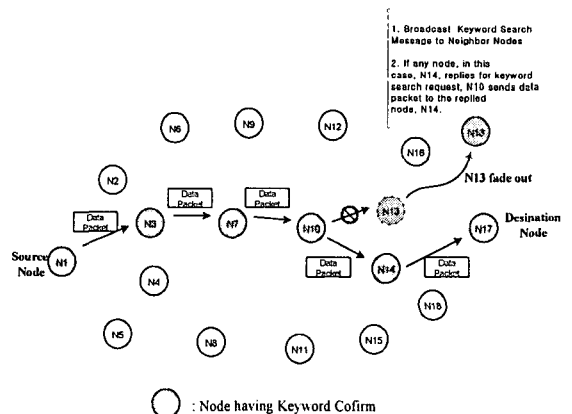
3. ELSE

3.1 Forward data packet to next hop along route cache

4. ENDF

end RMK

<그림 5>는 중간노드 경로이탈(Fading-out)의 경우 RRK기반 라우팅에의 라우팅 메커니즘을 보여주고 있다. 상세한 단계별 설명은 다음과 같다.



<그림 5> 중간노드 경로이탈(Fading-out)의 경우 RRK기반 라우팅에서의 라우팅 메커니즘

[Step 1] 중간노드 N10이 소스노드 N1로부터 목적지노드 N17로 전송되어지는 데이터 패킷을 수신하면 N10은 다음 번 홉에 해당하는 노드가 어디인지를 결정하기 위해

여 자신의 라우팅 캐쉬를 참조하여 결과 N13이 전송경로상 다음 노드임을 확인한다. [Step 2] 이때 N13이 경로 상에서 이탈되어 데이터 링크 레이어상에서 치명적인 에러가 발생하였다. 이렇게 되면 RRK라우팅 방안에서는 키워드를 첨부하여 keyword_search 메시지를 이웃 노드들로 브로드캐스트한다. 결과 N10은 N14으로부터 response_of_keyword_search 메시지를 수신한다(현 예에서 N14만이 유니크한 키워드를 가지고 있기 때문에 N14만이 response_of_keyword_search를 N10으로 응답하게 된다.). [Step 3] N10은 자신의 라우팅 캐쉬에서 N14를 제거한 후 전송하고자 했던 데이터 패킷을 N14로 전송한다. [Step 4] 중간노드 N10 response_of_keyword_search 메시지를 수신하지 못하는 경우(이 경우는 중간 노드인 N14도 경로에서 이탈되었거나 전원이 오프되는 등 경로상에서 유실된 경우가 됨) 새로운 라우트 레코드를 찾기 위하여 경로발견 메커니즘(route discovery mechanism)을 재수행한다..

4. 성능평가 및 비교분석

4.1 RRK 기반 라우팅 메트릭

이동노드의 이동은 주어진 토포그래프(topograph)내에서 시간에 대하여 랜덤으로 이동하는 일련의 이벤트로서 포아송(Poisson) 분포에 따른다. 임의의 시작시간을 t 라고 하면 임의의 모바일 노드 i 가 다음에 이동할 때까지의 시간 T_1 은 다음과 같은 확률에 따르게 된다.[14]

$$P(T_1 > t) = P_0(t) = e^{-\lambda t}$$

Ad-hoc 네트워크내의 모바일 노드 n 이 사각형모양의 토포그래프로 구성된 단위지역(unit area)내에 유니폼하게 분포되어 있고 단위지역내의 임의의 두 노드가 $r(n)$ 이내의 거리로 분포되

어 있다고 가정하면, 다음과 같은 랜덤 그래프로 구성되는 확률 모델을 갖는다. 주어진 단위지역 내에서 임의의 노드 i 가 경로이탈(fading-out)되어 다른 어떤 인접노드와의 무선링크연결이 종료된 경우(즉 고립(isolation)된 경우)의 이벤트를 I_i 라고 하면 이 경우 적어도 하나의 노드가 고립

되는 경우의 확률은 $P(\bigcup_{i=1}^n I_i)$ 가 된다. 임의의 노드의 레인지(range)내에 있는 영역은 적어도 $1/4\pi r^2(n)$ (모든 $i, 1 \leq i \leq n$)이 되며

$$P(I_i) \leq (1 - 1/4\pi r^2(n))^{(n-1)}$$

이 되게 된다. 이를 이용하여 $P(\bigcup_{i=1}^n I_i)$ 를 정의하면 아래와 같은 확률식이 완성된다.

$$\begin{aligned} P(\bigcup_{i=1}^n I_i) &\leq \sum_{i=1}^n P(I_i) \\ &\leq n(1 - 1/4\pi r^2(n))^{(n-1)} = e^{(bn + (n-1)n(1-1/4\pi r^2(n)))} \\ &= e^{(bn - (n-1)\theta(1/4\pi r^2(n)))} \\ &= e^{\frac{(bn(1 - \frac{(n-1)\theta(1/4\pi r^2(n))}{bn})}{bn}} \end{aligned}$$

이 식에서 우리는 $n \rightarrow \infty$ 가 되면 $r(n)$ 은 0으로 수렴함을 알 수 있다.[15] $\theta(n)$ 의 의미는 ad-hoc 네트워크 내에서 동시에 전송이 가능한 노드의 수를 의미한다.

ad-hoc 네트워크내의 임의의 두 노드사이의 거리인 $r(n)$ 이 $\sqrt{\frac{\ln n}{n}}$ 보다 천천히 좁혀지게 되면 망내의 임의의 노드의 무선링크연결이 종료된 경우의 확률은 0인 된다($n \rightarrow \infty$). 따라서 임의의 노드가 연결상태를 계속 유지하기 위해서는(즉, 경로이탈되는 확률이 0) $r(n)$ 이 $\sqrt{\frac{\ln n}{n}}$ 보다 천천히 좁혀지게 하면 된다[16].

토포그래프내에서 임의의 두 노드가 접속상

태를 계속 유지하기 위하여는 $n \rightarrow \infty$ 이고 $c(n) \rightarrow \infty$ 인 경우에만 $r(n)$ 은 다음과 같은 값을 가지면 된다. 여기서 $c(n)$ 은 임의의 속도로 천천히 ∞ 로 수렴하게 된다[16][17].

$$\Theta \left(\sqrt{\frac{\ln n + c(n)}{n}} \right)$$

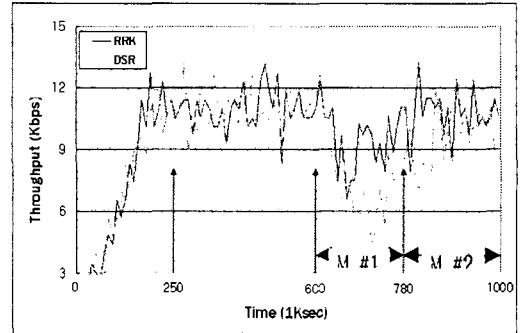
4.2 시뮬레이션

시뮬레이션 도구는 NS-2(Network Simulator 2)를 사용하였으며 기존의 DSR 알고리즘과의 비교를 통해 성능을 검증하였다. 각각 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을 발생시켜 UDP/IP 프로토콜 위에서 동작하여 전송 실패(Drop)한 패킷의 수와 처리율(Throughput)을 측정하였다. 시뮬레이션 모델은 50개의 ad-hoc 노드가 하나의 서비스 영역에 무작위로 배치되었고 이때 최대 동시 연결 가능한 송신노드와 수신노드는 20 쌍, CBR의 전송 간격은 한 개의 송신 노드에서 각각 2, 4, 8초로 발생시켰다. 다음 <표 1>은 시뮬레이션시 파라미터 값이다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터

항목	값	항목	값
Time	1000 sec	Agent	UDP
Movement #1 Start	600 sec	Traffic	CBR
Movement #1 Stop	779 sec	CBR interval	2 ⁸ sec / node
Movement #2 Start	780 sec	CBR Pkt size	510 bytes
Movement #2 Stop	999 sec	IF_Queue size	50
Nodes	50	Random	Yes
Max Links	20	Max pkts	10000 / node

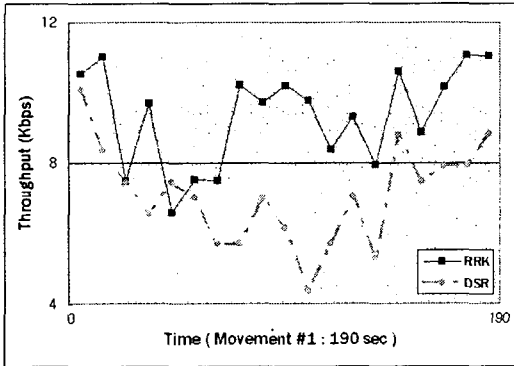
- * Movement #1 : Start 와 Stop 사이에서 모든 노드가 움직임을 갖는다.
- * Movement #2 : Start 와 Stop 사이에서 간헐적으로 임의의 노드가 움직임을 갖는다.



<그림 6> 데이터 전송률 (CBR interval : 8 sec / node)

<그림 6>은 데이터의 시간 대비 전송률의 변화 흐름을 도표로 나타낸 것이다. 먼저 0~250초까지는 네트워크의 구성 및 초기 설정 구간이며 이때는 전송률이 서서히 증가하게 된다. 250~600초 구간은 노드의 급격한 이동이 없는 상태로 안정적인 전송상태를 유지하고 있다. 위 두 구간에서는 DSR이나 RRM 기법 간에 별다른 처리율의 차이가 측정되지 않는다. 이는 제안된 알고리즘은 경로 재설정 요구가 발생할 때 적합한 해결 방법을 제시한 기법이기 때문이다. 그러나 600초가 되면 Movement #1의 시나리오를 따라 경로의 재설정 상태가 빈번히 발생하게 되어 급격한 전송률의 하락을 가져오게 된다. Movement #1 구간에서는 모든 노드가 운동하게 되고 경로 재설정을 위한 처리와 에러 패킷의 전송실패(Drop) 때문에 DSR, RRM 기법 모두 처리율 저하를 겪게 된다. 그러나 기존의 DSR 알고리즘과 비교해서 제안된 RRM 기법은 급격한 성능의 저하를 방지하고 망 전체의 효율을 증대시킨 결과를 볼 수 있다. Movement #2 구간, 즉 770초부터는 간헐적인 노드의 이동이 발생하고 다소간의 전송 오류가 발생하게 되는 구간이다.

<그림 7>은 경로 재설정 요인이 급격히 발생하는 구간(Movement #1)의 처리율을 나타낸 것인데 이 구간에서 모든 경우에 RRM은 DSR 대비 처리율이 증가 되었으며 특히 트래픽의 부하가 적은 경우 그 격차가 더욱 심하



<그림 7> 경로 재설정 요인 발생 구간의 처리율 (CBR interval : 8 sec / node)

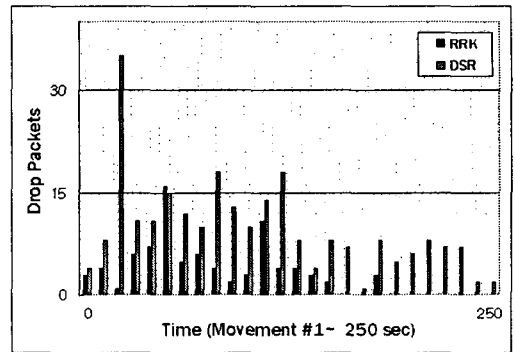
게 벌어졌다. 이는 RRK 알고리즘이 키 탐색 브로드캐스팅과 키 응답(Key response)과정 등의 제어 패킷을 송수신하기 때문에 이 때 소비되는 시간과 대역폭 때문에 전송로가 비지(Busy)상태일수록 성능의 차이가 둔화 되는 것으로 보여진다. CBR 구간이 8초 간격인 경우 최고 32.72 %가 향상되었음을 측정할 수 있었다. <표 2>는 DSR과 RRK 두가지 기법의 전송률을 처음 망의 구성시간을 제외한 전체 구간(정상적인 망 운영 구간)과 빈번한 경로 재설정 구간(Movement #1)으로 구분하여 상대적으로 비교한 것이다.

<표 2> DSR과 RRK의 전송률 비교

대상	전체 구간 (250~1000초)			경로 재설정 구간 (590~779초)		
	2	4	8	2	4	8
CBR interval (sec)	2	4	8	2	4	8
DSR (Kbps)	42.77	20.23	9.51	39.18	17.43	7.09
RRK (Kbps)	43.81	21.14	10.35	42.75	20.16	9.34
RRK - DSR 대비 전송률 증감 (%)	+2.43	+4.48	+8.80	+9.10	+15.34	+32.72

<그림 8>은 DSR과 RRK 기법의 전송실패 회수를 도식화 한 것이다. 제안한 RRK 기법은 라우팅 경로의 재설정 과정이 빈번하게 일

어나는 이동구간인 600초를 전후하여 기존의 DSR과 비교하여 성능의 저하를 둔화시키고 전송 실패 회수가 큰 차이로 감소되었다. 또 RRK 기법의 전송 실패 회수는 트래픽의 부하가 심해지는 경우, 즉 CBR 트래픽의 인터벌이 좁아질수록 증가하고 특히 이동요인이 발생하면 급격하게 증가하였다.(CBR interval이 2초인 경우 가장 심함) 또, 전송 실패의 회수가 줄어드는 만큼 처리율은 상승하는 결과가 되므로 두 가지는 반비례하는 양상을 보인다. CBR구간이 8 sec/ node 인 경우 Movement #1 구간에서 최대 200%가 감소된 것으로 측정되었다.



<그림 8> 전송 실패 회수 (CBR interval : 8 sec / node)

다음 <표 3>은 DSR과 RRK의 전송실패 회수를 상대적으로 비교한 것이다.

<표 3> DSR과 RRK의 전송실패 비교

대상	전체 구간 (250~1000초)			경로 재설정 구간(590~779초)		
	2	4	8	2	4	8
CBR interval (sec)	2	4	8	2	4	8
DSR	261	266	264	250	257	252
RRK	147	106	93	142	95	84
RRK - DSR 대비 전송실패 회수 증감 (%)	-78	-151	-184	-76	-171	-200

결국 NS-2 시뮬레이션 결과 RRK 기법은 DSR 기법과 비교하여 처리율의 향상과 전송 실패의 감소로 상당한 성능의 향상을 검증하였다.

5. 결론

최근 들어 모바일 IP, 셀룰러 IP 및 PAN (Personal Area Network) 등과 같은 광범위한 무선 액세스 시스템을 지원해야 하는 유비쿼터스 컴퓨팅 개념이 등장함에 따라 이와 같은 다양한 액세스 시스템내에서도 다양한 무선 액세스 시스템을 신속하게 수용할 수 있는 프레임워크가 필요하다는 의미에서 MANET의 중요성은 점차 증가되고 있는 추세이다[18][19].

본 논문에서는 기존의 DSR 프로토콜의 태생적인 문제점인 라우팅 유지단계에서 발생하는 라우팅 패스의 손실 및 패킷전송성공률 저하의 주요 문제점을 해결하고자 액티브 네트워크 및 SNMP 정보기반 라우팅에 기반한 RRK 라우팅 프로시듀어를 제안하였다. 액티브 네트워크 및 SNMP 정보기반 라우팅을 응용하여 경로설정단계에서 설정되는 실제 라우팅 및 여러 후보 라우팅에 해당하는 이동노드들의 캐쉬에 유니크한 키워드를 저장함으로써 DSR 프로토콜에서 발생하는 QoS를 저하등의 문제점을 크게 개선하였다.

NS-2를 활용하여 시뮬레이션을 수행한 결과 라우팅 설정단계를 마치고 망을 운영하는 중 이동노드들의 이동이 많이 발생하는 경우 경로 재설정 요인이 급격히 발생하는 구간의 처리율은 모든 경우에 RRK가 DSR과 대비하여 처리율이 증가됨을 알 수 있었으며 특히 트래픽의 부하가 적은 경우 그 격차가 더욱 많이 벌어지는 것으로 밝혀졌는데, RRK가 DSR과 비교하여 최고 32.72 %가 향상되었음을 측정할 수 있었다.

제안한 RRK 기법은 라우팅 경로의 재설정 과정이 빈번하게 일어나는 이동구간인 600초

를 진후하여 기존의 DSR과 비교하여 성능의 저하를 둔화시키고 전송 실패 회수가 큰 차이로 감소되었다. 또 RRK 기법의 전송 실패 회수는 트래픽의 부하가 심해지는 경우, 즉 CBR 트래픽의 인터벌이 좁아질수록 증가하고 특히 이동요인이 발생하면 급격하게 증가하였다. 또, 전송 실패의 회수가 줄어드는 만큼 처리율은 상승하는 결과가 되므로 두 가지는 반비례하는 양상을 보인다. CBR 구간이 8 sec/ node 인 경우 이동노드의 움직임이 최대인 Movement #1 구간에서 최대 200%가 감소된 것으로 측정되었다.

본 논문에서는 키워드 전송과 관련된 액티브 네트워크에서의 보안을 고려하지 않았으며 유니크한 키워드를 관리하기 위한 메카니즘에 대한 보완이 미래에 더욱 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- [1] 전자통신동향분석, 제18권 제2호, 전자통신연구원, 2003
- [2] Charles E. Perkins, Ad Hoc Networking, Addison-Wesley, 2001.
- [3] IETF MANET Working Group, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [4] IPv6 기반 Ad-hoc 이동 무선 네트워크를 위한 자동네트워킹 기술 IPv6 포럼 코리아 기술문서 2003-001
- [5] D. L. Tennenhouse, J. M. Smith, W. D. Sincoskie, D. J. Wetherall, and G. J. Minden, "A Survey of Active Network Research", IEEE Communications Magazine, Vol. 35, No. 1, pp80-86, January 1997.
- [6] D. Scott Alexander, Bob Braden, Carl A. Gunter, Alden W. Jackson Angelos D. Keromytis Gary J. Minden and David Wetherall, "Active Network Encapsulation

- Protocol(ANEP)", RFC, ANEP documentation, April 1997
- [7] D. L.Tennehouse and D. J. Wetherall, "Toward an active network architecture", ACM Computer Communication Review, 26(2):5-18, 1996.
- [8] C. Siva Ram Murthy and B.S. Manoj, Ad hoc Wireless Networks, Architectures and Protocols, Prentice Hall, 2004
- [9] Stefano Basagni, Marco Conti, Silvia Giordano and Ivan Stojmenovic, Mobile Ad hoc Networking, IEEE Press, Wiley Interscience, 2004
- [10] C.K. Toh, Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems, Prentice Hall PTR, 2002.
- [11] 박경배, "이동 애드혹 네트워크에서 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 액티브 네트워크 기반 접근연구", 2002년도 명지대학교 대학원 전자공학과 박사논문
- [12] <http://www.ittc.ku.edu/~ananth/845.html>, "Beacon Routing in Active Network".
- [13] Mark A. Miller, PE, "Inside Secrets SNMP Managing Internetworks", 삼각형 프레스, 1998
- [14] Dharma P. Agrawal and Qing-an Zeng, Intorduction to Wirless and Mobile Systems, Thomson Brooks/Cole, 2003
- [15] "Chap 5. Performance Analysis of Wiress Ad Hoc Networks", The Habdbook of Ad-hoc Wireless Networks", Anurag Kumar and Aditya Karnik, CRC PRESS LLC, 2003
- [16] P. Panchpakesan and D. Manjunath, "On Transmission Range in Dense Ad Hoc Radio Networks", Conference on Signal Processing and Communications SPCOM, IISc, bangalore, 2001
- [17] P.Gupta and P.R. Kumar, 'Critical Powers for Asymptonic Connectivity in Wiress Networks", A Volume in Houour of W.H. Fleming in Stochastic Analysis, Control, Optomization and Applications, 1998
- [18] Masami Yabusaki, Tasaki KoshimuzuI, et al. "IP² Network Architecture Overview", NTT DoCoMo Technical Journal, Vol. 4, No. 4, pp.5-10, Mar. 2003
- [19] Akra Miura, et al, "IP² Transport Network Technologies", NTT DoCoMo Technical Journal, Vol. 4, No. 4, pp.11-16, Mar. 2003

주 작 성 자 : 박 수 현

논문투고일 : 2004. 11. 24

논문심사일 : 2004. 12. 3(1차), 2004. 12. 13(2차),
2004. 12. 23(3차)

심사판정일 : 2004. 12. 23

● 저자소개 ●



박수현(e-mail : shpark21@kookmin.ac.kr)

1988 고려대학교 컴퓨터학과 이학사

1990 고려대학교 대학원 전산학 이학석사

1998 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 이학박사

1990~1999 (주)LG전자 중앙연구소 선임연구원

1999~2001 동의대학교 공과대학 소프트웨어공학과 교수

2002~현재 국민대학교 비즈니스IT학부 교수

2001~현재 한국SI학회 이사

관심분야 : 유비쿼터스 네트워크, 이동통신 시스템, Active Network



신수영(e-mail : sy-shin@kookmin.ac.kr)

1998 방송통신대학교 교육학사

2000 덕성여자대학교 정보통신대학원 정보통신학과 공학석사

2004~현재 국민대학교 BIT대학원 비즈니스정보통신 박사과정

관심분야 : USN, 이동통신 시스템, MAC scheduling