

이동 애드 혹 망에서 다중 전송속도를 갖는 MAC 기반의 효율적인 반응형 라우팅 프로토콜

이 재 훈[†] · 임 유 진^{**} · 안 상 현^{***}

요 약

이동 애드 혹 망(MANET)은 유선 인프라스트럭처의 도움 없이 이동 노드들 간에 서로 협력하여 무선 다중-홉으로 통신을 할 수 있도록 해주는 네트워크이다. 따라서 MANET에서는 서로의 전파 범위에 있지 않은 노드들 간에 통신할 수 있도록 해주는 경로 설정 방법이 필수적이며, MANET의 특성을 고려한 반응형(reactive) 라우팅 프로토콜 중의 하나로 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector)가 제안되었다. 이 방식은 경로 설정을 위한 메트릭으로 홉 수를 사용하며, 결과적으로 거리가 먼 인접 노드를 경로 상의 다음 노드로 선택하게 되어 상대적으로 낮은 전송 속도를 갖는 경로가 설정되어 망 전체 처리율이 저하되는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 다중 전송속도를 갖는 MAC 기반의 효율적인 반응형 경로 설정 기법을 제안한다. 모의실험을 통하여 제안된 기법의 성능을 분석하였으며, 실험 결과로부터 제안 기법이 기존 방법에 비해서 우수한 성능을 제공하는 것을 알 수 있었다.

키워드 : 다중 전송속도 기반 MAC, MANET, 반응형 라우팅 프로토콜

An Efficient Reactive Routing Protocol based on the Multi-rate Aware MAC for Mobile Ad Hoc Networks

Jae-Hwoon Lee[†] · Yujin Lim^{**} · Sanghyun Ahn^{***}

ABSTRACT

Mobile ad hoc networks (MANETs) allow mobile nodes to communicate among themselves via wireless multiple hops without the help of the wired infrastructure. Therefore, in the MANET, a route setup mechanism that makes nodes not within each other's transmission range communicate is required and, for this, the Ad-hoc On-demand Distance Vector (AODV) was proposed as one of the reactive routing protocols well suited for the characteristics of the MANET. AODV uses the hop count as the routing metric and, as a result, a node selects the farthest neighbor node as its next hop on a route, which results in a problem of deteriorating the overall network throughput because of selecting a relatively low data rate route. In this paper, we propose an efficient reactive routing protocol based on the multi-rate aware MAC. Through the simulations, we analyze the performance of our proposed mechanism and, from the simulation results, we show that our proposed mechanism outperforms the existing mechanism.

Key Words : Multi-Rate Aware Mac, Manet, Reactive Routing Protocol

1. 서 론

MANET(mobile ad-hoc network)은 유선 인프라스트럭처의 도움 없이 노드들 간에 서로 협력하여 다중-홉(multi-hop)으로 정보를 전달할 수 있도록 해주는 네트워크이다[1]. MANET은 이전에는 군용통신에서 사용할 목적으로 고려되었지만, 최근에는 센서 네트워크나 홈 네트워크와 같은 일반적인 상용 망에서도 적용되고 있다. MANET은 일반적으로

IEEE 802.11a, b, g[2]나 Bluetooth[3]와 같은 MAC 프로토콜을 이용하여 구성된다. 이러한 MAC 프로토콜은 신호의 품질과 거리에 따라 서로 다른 전송율을 제공한다. 즉, 노드 간 거리가 짧아 상대적으로 신호대잡음비(SNR: Signal-to-Noise Ratio)가 충분히 높은 경우에는 높은 전송 속도를 이용하여 트래픽을 전송할 수 있지만, 그렇지 않은 경우에는 낮은 전송 속도를 이용하여 전송해야 한다. IEEE 802.11b는 거리와 SNR에 따라서 1Mbps, 2Mbps, 5.5Mbps 그리고 11Mbps의 속도를 제공하며, IEEE 802.11a는 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 그리고 54 Mbps의 속도를 제공한다[4]. 이 경우 송신과 수신 노드는 서로 어떤 전송 속도를 이용하여 통신할 것인지를 결정해야 한다. 전송 속도를 결정하기 위한 한 가지 방법으로서 ARF(Auto Rate Fallback) 방식이 제안되었다[5].

※ 본 논문은 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크원천기술 개발사업의 지원에 의하여 이루어졌음.

† 종신회원: 동국대학교 정보통신공학과 교수(교신저자)

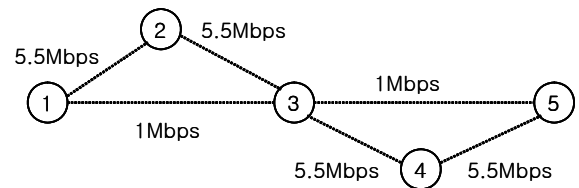
** 정 회 원: 수원대학교 정보미디어학과 전임강사

*** 정 회 원: 서울시립대학교 컴퓨터과학부 교수

논문접수: 2007년 9월 8일, 심사완료: 2007년 12월 13일

이 방식은 802.11 표준에서 정의된 링크 계층의 ACK 프레임 이용하며, 미리 정해진 수만큼 ACK 프레임을 연속적으로 수신하면 송신 노드는 전송 속도를 증가하고, 미리 정해진 수만큼 ACK 프레임을 연속적으로 수신하지 못하는 경우에는 전송 속도를 감소한다. 또한 수신측에서 전송 속도를 결정하여 송신측에 알려주기 위한 RBAR(Receiver Based Auto Rate) 방식도 제안되었다[6]. 이 방식에서 수신측은 RTS(Request To Send) 프레임의 SNR을 이용하여 가장 적합한 전송속도를 선택하여 CTS(Clear To Send)를 통하여 송신측에 알려준다.

MANET을 구성하고 있는 노드들 중 두 개의 노드가 서로 통신을 하고자 하지만 둘이 서로의 전파 범위에 있지 않은 경우에는 다른 노드의 도움을 받아 다중-홉으로 통신을 해야 한다. 즉, 중단간 경로를 결정하기 위한 경로 설정 기법이 필수적이라 할 수 있다. 현재 MANET에서의 경로 설정 기법은 크게 예방형(proactive) 방식과 반응형(reactive) 방식으로 구분할 수 있다[1]. 예방형 방식은 노드들이 경로 관련 정보를 MANET 내의 다른 모든 노드들에게 주기적으로 전송함으로써 경로를 설정하는 방식이다. 이 방식에서는 모든 노드가 주기적으로 경로 관련 제어 메시지를 전송하기 때문에 특히 노드의 이동성으로 인하여 토폴로지가 변화하는 경우에는 오버헤드가 많이 발생한다는 단점이 있다. 반면 반응형 방식은 상위 계층으로부터 트래픽을 전송하라는 요청을 수신했을 때 비로소 노드가 중단까지의 경로를 찾는 방식이다. 이 방식에서는 노드의 이동으로 인하여 토폴로지가 변화하더라도 전송할 트래픽이 있는 경우에만 경로를 찾기 때문에 경로 설정을 위한 제어 메시지 전송으로 인한 오버헤드가 작으며 따라서 MANET 환경에 적합하다고 할 수 있다. MANET에서 반응형 경로 설정 기법으로서 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector)[7]나 DYMO(Dynamic MANET On-demand)[8]와 같은 프로토콜이 제안되었다. AODV 기반의 경로 설정 기법의 동작은 다음과 같다. 전송할 트래픽을 가지고 있는 소스 노드가 목적지 노드까지의 경로를 가지고 있지 않은 경우에는 RREQ(Route Request) 메시지를 브로드캐스트한다. RREQ 메시지를 수신한 중간 노드는 자신이 동일한 메시지를 이전에 수신한 적이 있는 지를 확인하여 만일 있으면 버리고, 그렇지 않은 경우에는 다시 그 메시지를 브로드캐스트한다. 이와 같은 방법으로 RREQ 메시지는 MANET 내에서 브로드캐스트되어 목적지 노드에게로 전달된다. RREQ를 수신한 목적지 노드는 소스 노드로 RREP(Route Reply) 메시지를 유니캐스트 방식으로 전송하며, 중간 노드들은 RREP 메시지를 전달함으로써 경로를 설정한다. 기존의 AODV 기반의 경로 설정 기법에서는 경로를 설정하기 위한 메트릭으로 홉 수(hop count)를 사용한다. 즉, 소스와 목적지 노드 간에 최소 홉을 가지는 경로를 선택하게 되며, 이 경우 인접 노드 간 거리가 멀어지게 되어 상대적으로 낮은 전송 속도를 이용하여 트래픽을 전송하게 되어 망 전체 처리율이 저하되는 문제가 발생하게 된다. 또한 이 프로토콜에서는 항상 먼 거리의 인접 노드를 선택하게 되기 때문에 노드의 이동성으로 인하여 경로 상에 있는



(그림 1) 서로 다른 속도를 가지는 링크로 구성되는 MANET 망 구조의 예

인접 노드 간 거리가 조금만 멀어지게 되어도 경로가 끊어지는 문제가 발생할 수 있다. 즉, 유선과 달리 무선에서는 홉 수를 이용한 경로 설정이 최적의 성능을 제공한다고 할 수 없다. 예를 들어, (그림 1)과 같은 MANET 환경 구조에서 1번 노드로부터 5번 노드로 트래픽을 전송하는 경우 기존의 AODV 기법을 이용하게 되면 1→3→5의 경로를 이용하여 트래픽이 전달되게 되며, 이 경우의 최대 전송속도는 1 Mbps가 된다. 반면 1→2→3→4→5의 경로를 이용하여 트래픽이 전달되게 되면, 최대 전송속도는 5.5 Mbps가 되어 트래픽 처리율이 향상되게 된다.

앞에서 언급한 것과 같은 다중 전송속도를 갖는 MAC을 MANET의 경로 설정에 이용하고자 하는 시도가 있어 왔다. [9]에서는 높은 전송 속도를 갖는 링크를 찾기 위하여 MAS (Multi-rate Aware Sub-layer)를 정의하였다. 이 방식에서는 중간 노드가 인접 노드들 간의 정보를 엿들어 자신을 통하여 전송하는 경우와 직접 전송하는 경우에 어떤 것이 처리율이 높은 지를 판단하여 만일 자신을 거치는 것이 좋다고 판단하면 인접 노드들에게 자신을 거치도록 하는 방법이다. 이 방법에서는 2-홉 인접 노드에 대한 상태 정보를 관리해야 하기 때문에 오버헤드가 증가하고, 또한 네트워크 계층의 토폴로지와 링크 계층의 토폴로지가 상이하다는 단점이 있다. 또한 이 기법에서는 다음 홉을 결정하기 위한 메트릭으로 링크의 전송 속도의 역수를 이용한다. 그렇지만, 실제로 802.11 MAC에서 패킷의 전송 시간은 링크의 전송 속도뿐만 아니라 RTS, CTS와 같은 제어 정보로 인한 지연도 고려되어야 한다. 따라서 단순히 전송 속도의 역수를 취하는 것만으로는 실제 패킷을 전송하는데 걸리는 시간을 정확하게 측정할 수 없다. [10]에서는 높은 처리율을 얻기 위하여 패킷의 실제 전송 시간을 나타내는 MTM(Medium Time Metric)을 기반으로 하는 예방형 방식의 프로토콜을 제안하였다. 그렇지만, 앞에서 언급한 것과 같이 특히 노드의 이동성이 빈번한 MANET 환경에서는 예방형 경로 설정 기법은 반응형 경로 설정 기법에 비해서 제어 메시지로 인한 오버헤드가 높기 때문에 비효율적이다. [11]에서는 MTM을 이용하는 AODV 기반의 예방형 경로 설정 기법을 제안하였다. 이 방식에서는 RREQ 메시지를 전송한 중간 노드가 자신이 전송한 RREQ 메시지에 있는 것보다 작은 메트릭을 가지고 있는 또 다른 RREQ 메시지를 수신하는 경우에는 그 메시지를 재전송함으로써 중단 간에 높은 처리율을 갖는 경로를 찾는 방식이다. 이 방식에서는 중간 노드가 여러 개의 RREQ 메시지를 브로드캐스트할 수 있으며 이로 인한 오버헤드가 증가할 수 있다. 이 방식은 802.11a와 같이

MAC에 더 많은 전송 속도가 정의되어 있는 경우에 더 많은 RREQ 메시지의 브로드캐스트로 인한 오버헤드의 증가로 인하여 망의 성능이 저하되는 문제가 발생하게 된다.

본 논문에서는 다중 전송속도를 갖는 MAC 기반의 효율적인 반응형 경로 설정 기법을 제안하고자 한다. 제안된 기법은 많은 수의 RREQ 브로드캐스트로 인한 오버헤드를 줄이면서도 기존의 홉 기반의 반응형 경로 설정 기법보다 좋은 성능을 제공한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 제안된 프로토콜의 동작을 설명한다. 제 3 장에서는 모의실험을 통하여 제안된 프로토콜의 성능을 다양한 환경에서 분석하고, 제 4 장에서 결론을 맺는다.

2. 다중 전송속도를 갖는 MAC 기반의 반응형 경로 설정 기법

이 논문에서는 경로 설정을 위한 메트릭으로 참고문헌 [10]에서 정의된 MTM을 이용하고자 한다. 즉, 한 노드는 이웃 노드로부터 전송된 메시지를 수신할 때 측정될 수 있는 SNR을 이용하여 전송 속도를 계산하고, 이를 기반으로 이웃 노드 간 링크에 대한 메트릭을 계산한다. 또한 이 논문에서 제안된 기법은 AODV를 기반으로 이루어져 있다. 그렇지만, 제안 기법은 DYMO와 같은 반응형 경로 설정 기법에 모두 적용될 수 있다. 목적지 노드로 트래픽을 전송하고자 하는 소스 노드는 목적지 노드까지의 경로가 설정되어 있는지를 확인하여 만일 없으면 RREQ 메시지를 생성하여 브로드캐스트한다. RREQ 메시지에는 참고문헌 [7]에서 정의되어 있는 것과 같이 RREQ ID, 목적지 노드의 IP 주소, 목적지 노드의 IP 주소에 대한 순서 번호, 소스 노드의 IP 주소, 그리고 소스 노드의 IP 주소에 대한 순서 번호 등에 대한 정보가 포함된다. 또한 RREQ 메시지에는 이 논문에서 정의하는 업스트림 노드의 IP 주소와 메트릭 필드가 포함된다. 소스 노드로부터 전송되는 RREQ 메시지의 업스트림 노드의 IP 주소 필드에는 소스 노드의 IP 주소가 설정되고, 메트릭은 0으로 설정된다.

RREQ 메시지를 수신한 중간 노드는 자신이 이전에 동일한 RREQ 메시지를 수신한 적이 있는 지를 확인하여 만일 수신한 적이 없으면 소스 노드와 목적지 노드에 대한 경로 테이블 엔트리를 만든다. 경로 테이블 엔트리에는 (1) 소스 노드 주소, (2) 소스 노드로의 업스트림 노드 주소, (3) 메트릭, (4) 목적지 주소 노드, (5) 목적지 노드로의 다음-홉(next-hop) 노드 주소, (6) 다음-홉으로의 메트릭과 그 외 필요한 정보 등이 포함된다. 또한 중간 노드는 RREQ 메시지를 전송한 노드의 주소(즉, RREQ 메시지를 포함하고 있는 IP 패킷에 있는 소스 주소)를 업스트림 주소 필드에 저장한다. 그리고 중간 노드는 RREQ 메시지가 포함되어 있는 패킷의 SNR을 측정하여 업스트림 노드로부터 자신까지의 메트릭을 계산하여 이 정보를 경로 테이블 엔트리의 메트릭 필드에 저장한다. 그런 후에 이 노드는 RREQ 메시지를 만들어 다시 브로드캐스트한다. 이 메시지의 업스트림 노드

필드와 메트릭 필드는 각각 경로 테이블 엔트리에 있는 업스트림 노드 필드의 값과 메트릭의 값이 설정된다.

만일 중간 노드가 이전에 RREQ 메시지를 수신한 적이 있으면, 그 노드는 RREQ 메시지에 있는 업스트림 노드 필드의 값이 경로 테이블 엔트리의 업스트림 노드 주소 값과 동일한지를 확인하여 만일 다르다면 수신한 메시지를 버린다. 만일 같으면, 노드는 RREQ 메시지가 포함되어 있는 패킷을 수신할 때 측정할 수 있는 SNR을 이용하여 계산된 메트릭과 RREQ 메시지에 들어있는 메트릭을 더한 값을 경로 테이블 엔트리에 있는 메트릭 필드에 있는 값과 비교하여, 만일 더한 값이 크면 수신한 RREQ 메시지를 버린다. 만일 더한 값이 작으면, 이 노드는 경로 테이블 엔트리의 업스트림 노드 필드의 값을 RREQ 메시지를 전송한 노드 주소로 변경하고, 또한 메트릭도 RREQ 메시지를 수신할 때 측정된 SNR 값을 이용하여 계산된 값으로 변경한다.

소스로부터 브로드캐스트된 RREQ 메시지는 중간 노드를 거쳐 목적지 노드에게로 전달된다. RREQ 메시지를 수신한 목적지 노드는 자신의 경로 테이블 엔트리를 갱신하고 소스 노드에 대한 업스트림 노드에게로 RREP 메시지를 유니캐스트한다. RREP 메시지에는 기존의 목적지 노드 주소, 목적지 노드 주소에 대한 순서 번호, 소스 노드 주소뿐만 아니라 메트릭도 포함된다. RREP 메시지 내의 메트릭은 RREP 메시지를 전송하는 노드의 경로 테이블 엔트리에 있는 메트릭으로 설정된다. RREP 메시지를 수신한 중간 노드는 RREP 메시지를 포함하는 IP 패킷의 소스 주소를 자신의 경로 테이블 엔트리의 다음-홉 필드에 저장하고, RREP 메시지에 있는 메트릭을 다음-홉으로의 메트릭에 저장한다. 이 정보를 이용하여 노드는 다음-홉으로 트래픽을 전송할 전송율을 알 수 있다.

RREQ 메시지와 RREP 메시지가 교환되면 소스 노드와 목적지 노드 간에 경로가 설정되며, 경로 상에 있는 각 노드는 자신의 경로 테이블 엔트리의 다음-홉으로의 메트릭에 설정되어 있는 전송율로 트래픽을 전송할 수 있다.

목적지 노드에게로 가까이 갈수록 (목적지 노드를 포함해서) 중간 노드는 RREP 메시지를 업스트림 노드에게로 전송한 후에 다른 노드로부터 더 좋은 경로를 위한 RREQ 메시지를 수신할 수 있다. 이 경우 노드는 다음과 같은 두 가지 방법의 하나로 동작할 수 있다. 첫 번째 방법은 일단 노드가 RREP 메시지를 전송하고 나면, 그 이후에 들어오는 RREQ 메시지를 무시하는 것이다. 이 방법의 경우 제어 정보 전송으로 인한 오버헤드는 적지만 목적지 노드에게로 가까이 가면 갈수록 낮은 속도의 경로를 선택할 가능성이 높아진다. 반면 두 번째 방법은 노드가 RREP 메시지를 전송했다 하더라도 다른 업스트림 노드로부터 더 좋은 경로를 위한 RREQ 메시지를 수신하면, 경로 테이블에 있는 업스트림 노드 정보를 최신의 정보로 갱신하고 RREP 메시지를 새로운 업스트림 노드에게로 전송하는 것이다. 이 방법에서는 RREP 메시지를 수신한 노드가 또 RREP 메시지를 수신하면, 다시 자신의 경로 테이블 엔트리를 갱신한다. 이 방법은 더 좋은 경로를 선택할 수 있다는 장점은 있지만 추가적인 RREP 메시지 전송으로 인해 오버헤드가 증가한다는 단점이 있을 수 있다.

앞에서 언급한 프로토콜을 (그림 1)의 예를 이용하여 설명하면 다음과 같다. 소스 노드 1이 목적지 노드 5에게로 트래픽을 전송하고자 하지만 목적지 노드로의 경로가 없는 경우 소스 노드는 목적지 노드까지의 경로를 찾기 위하여 RREQ 메시지를 브로드캐스트한다. 이 메시지는 브로드캐스트 메시지가므로 가장 멀리 보낼 수 있도록 가장 낮은 속도로 전송되며, 전송 범위에 있는 모든 노드들(즉, 노드 2와 3)이 이 메시지를 수신한다. 노드 3은 노드 1로부터 수신한 RREQ 메시지가 포함되어 있는 패킷의 SNR을 이용하여 노드 1로부터 자신까지의 최대 전송속도가 1 Mbps라는 것을 알 수 있다. 노드 3은 자신의 경로 테이블 엔트리의 업스트림 노드 필드를 1로 설정하고, 또한 1Mbps를 나타내는 값인 5.45를 메트릭에 저장한다[10]. 그런 후에 노드 3은 RREQ 메시지를 만들어 다시 브로드캐스트한다. 노드 1로부터 브로드캐스트된 RREQ 메시지를 노드 2도 역시 수신한다. 노드 2는 수신한 RREQ 메시지의 SNR을 이용하여 노드 1로부터 자신까지의 전송속도가 5.5 Mbps라는 것을 알 수 있다. 노드 2는 자신의 경로 테이블 엔트리를 갱신하고, 또한 RREQ 메시지를 만들어 다시 브로드캐스트한다. 이 RREQ 메시지의 업스트림 노드 필드에는 1이, 그리고 메트릭에는 5.5 Mbps를 나타내는 값인 1.44가 설정된다[10]. 노드 2로부터 브로드캐스트된 RREQ 메시지는 다시 노드 3이 수신한다. 노드 3은 수신한 메시지의 정보를 이용하여 업스트림 노드인 1에서 자신으로의 직접 경로보다 노드 2를 거치는 경로가 더 좋다고 판단하고, 자신의 경로 테이블 엔트리의 업스트림 노드 정보를 기존의 1에서 2로 변경한다. 또한 메트릭도 노드 2로부터 수신한 RREQ 메시지의 SNR을 이용하여 계산된 값으로 변경한다.

한편 노드 3으로부터 브로드캐스트된 RREQ 메시지를 전송 범위 내에 있는 노드 4와 5가 수신한다. 목적지 노드 5는 경로 테이블 엔트리의 업스트림 노드 필드의 값을 3으로 설정한다. 또한 노드 5는 수신한 RREQ 메시지의 SNR을 이용하여 최대 전송속도가 1 Mbps라는 것을 알 수 있으며, 이 값에 해당하는 값을 메트릭에 저장한다. 그런 후에 경로가 설정되었다는 것을 노드 1에게 알리기 위하여 RREP 메시지를 만들어 업스트림 노드인 노드 3에게 전송한다. RREP 메시지를 수신한 노드 3은 목적지 노드로의 다음-홉 주소 필드를 5로 설정하고, 또한 RREP 메시지 내에 있는 메트릭 값을 다음-홉 메트릭에 저장한다.

한편 노드 3으로부터 브로드캐스트된 RREQ 메시지를 노드 4도 수신한다. 노드 4는 자신의 경로 테이블 엔트리를 갱신한 후에, RREQ 메시지를 만들어 다시 브로드캐스트한다. 이 RREQ 메시지의 업스트림 노드 필드에는 3, 그리고 메트릭에는 5.5 Mbps를 나타내는 값이 설정된다. 노드 4로부터 브로드캐스트된 RREQ 메시지를 수신한 노드 5는 앞에서 설명한 두 가지 방법의 하나로 동작할 수 있다. 즉, 첫 번째 방법은 이미 노드 5가 RREP 메시지를 노드 3에게로 유니캐스트했으므로, 노드 5는 노드 4로부터 수신한 RREQ 메시지를 무시하는 것이다. 이렇게 하면 오버헤드의 수는 적지만, 노드 3에서 노드 5로의 경로가 1 Mbps로 설정되어 낮은 전송속도의 경로가 선택된다는 단점이 있다. 반면, 두 번째 방법은 비록 노드 5가 이미 RREP 메시지를 전송했다

하더라도 노드 4로부터 수신한 RREQ 메시지를 이용하여 노드 3으로부터 노드 5로의 직접 경로보다, 노드 3에서 노드 4를 거쳐 노드 5로 오는 경로가 더 좋다고 판단되면, 노드 5는 자신의 경로 테이블 엔트리의 업스트림 노드 필드를 당초의 3에서 4로 수정한 후에 노드 4에게로 RREP 메시지를 전송하는 것이다. 노드 5로부터 전송된 RREP 메시지를 수신한 노드 4는 자신의 경로 테이블 엔트리를 갱신하고 또한 RREP 메시지를 노드 3에게로 전송한다. 노드 4로부터 전송된 RREP 메시지를 수신한 노드 3은 목적지 노드인 노드 5로의 다음-홉(next-hop) 값을 당초 5에서 4로 변경한다. 이 방법은 앞에서 설명한 것과 같이 더 좋은 경로를 선택할 수 있다는 장점은 있지만, 추가적인 RREP 전송으로 인한 오버헤드가 발생한다는 단점이 있다.

3. 성능분석

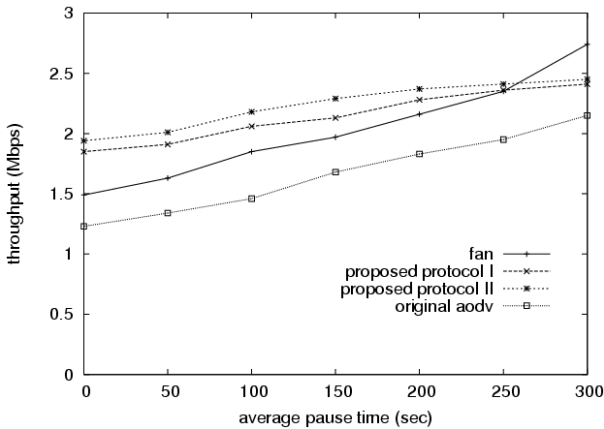
이 장에서는 모의실험을 통하여 기존의 최소 홉 수 기반의 AODV 프로토콜과 Z. Fan [11]에서 제안된 기법, 그리고 본 논문에서 제안된 기법의 성능을 비교 평가하였다. 본 논문에서 제안된 기법은 2장에서 설명한 바와 같이 목적지 노드가 RREP 메시지 전송 후 수신되는 RREQ 메시지를 무시하는 방법(제안 방법 I)과, 목적지 노드가 RREP 메시지를 전송했다 하더라도 더 좋은 경로를 위한 RREQ 메시지가 수신되면 새로운 업스트림 노드에게 RREP 메시지를 전송하는 방법(제안 방법 II), 두 가지를 모두 실험하였다. 성능 평가 요소로는 처리율과 제어 오버헤드를 사용하였다. 처리율은 전체 노드의 처리율을 합한 값이며, 제어 오버헤드는 제어 메시지의 총 개수를 뜻한다.

모의실험을 위하여 네트워크 시뮬레이터 ns-2[12]를 사용하였으며, 실험에 사용된 파라미터는 <표 1>과 같다. 또한 링크의 비용 계산을 위하여 [10]에서 제안된 MTM을 사용하였다.

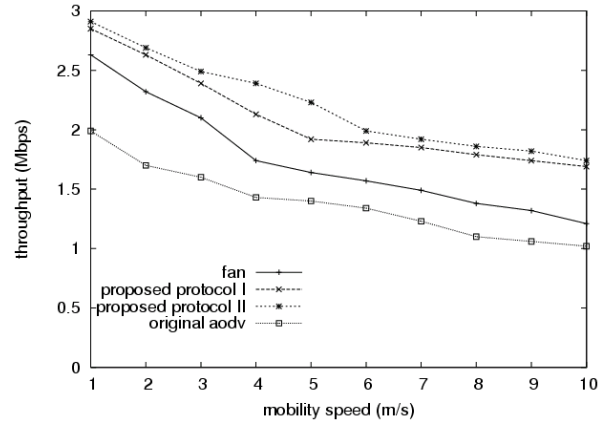
(그림 2)와 (그림 3)은 평균 정지 시간(average pause time)이 변화하는 환경에서 처리율과 제어 오버헤드를 측정한 결과이다. 이때 노드의 이동 속도는 최대 7m/s이다. 그림 2에서 노드의 이동성이 전혀 없을 때(30초)는 Fan 프로토콜이 더 좋은 성능을 보이며, 노드가 이동성을 가지게 되면 제안된 프로토콜 I, II가 더 좋은 성능을 보이고, 노드의 이동성이 높아질수록 최대 23%까지 차이가 커지게 된다. 이는 제

<표 1> 모의실험 파라미터

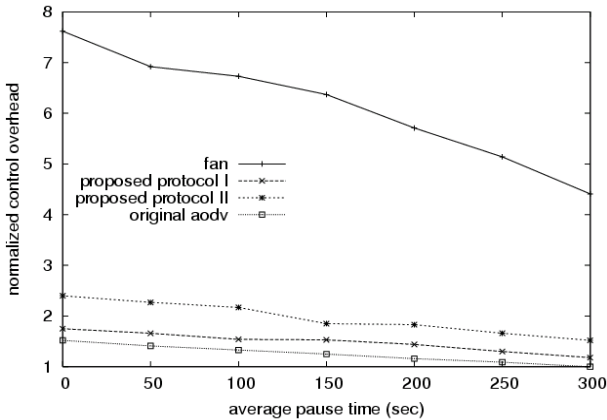
파라미터	값
망 크기	1500m x 500m
노드 수	30
TCP 연결 수	10
응용	FTP
MAC	IEEE 802.11b
다중 전송속도 MAC	RBAR
전파(propagation) 모델	Two-ray ground model
이동성 모델	Random waypoint model
패킷 크기	1000 바이트



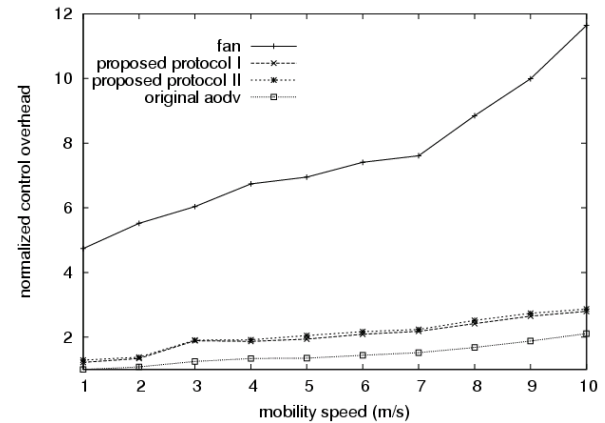
(그림 2) 평균 정지 시간에 따른 처리율



(그림 4) 노드의 이동성에 따른 처리율



(그림 3) 평균 정지 시간에 따른 제어 오버헤드



(그림 5) 노드의 이동성에 따른 제어 오버헤드

안된 프로토콜이 더 좋은 경로 선택을 위한 정보 갱신을 지역적으로 실행하는 반면, Fan 프로토콜은 보다 넓은 영역에 걸쳐 정보 갱신을 실행하기 때문에 더욱 높은 속도의 경로를 선택할 가능성이 많아지기 때문이다. 그러나 노드가 이동성을 가지게 되면 중간 노드가 여러 개의 RREQ 메시지를 브로드캐스트할 수 있는 Fan 프로토콜은 많은 제어 오버헤드를 일으킬 수 있으므로 이로 인하여 처리율이 급격하게 저하된다. 제안된 프로토콜의 경우 프로토콜 II가 목적지 노드의 다중 RREP 전송으로 인하여 프로토콜 I에 비하여 최신 정보 갱신이 추가로 발생하게 되므로 프로토콜 I에 비하여 약간 좋은 성능을 보인다.

(그림 3)은 평균 정지 시간의 변화에 따른 제어 오버헤드를 보여주며, 가장 작은 제어 오버헤드 값(300초일 때 original aodv 값)을 기준으로 정규화하였다. 제어 오버헤드의 경우 기존의 최소 홉 수 기반의 AODV 프로토콜을 중심으로 제안된 프로토콜이 평균 22% 정도 더 많은 오버헤드를 발생시킨다. 그러나 이러한 추가적인 제어 오버헤드로 인하여 더 높은 속도의 경로 설정이 가능해지며 이로 인하여 전체적인 처리율이 평균 37% 증가되는 효과를 얻을 수 있음을 그림 2에서 확인하였다. 반면 Fan 프로토콜의 경우는 20%의 성능향상을 얻기 위하여 6배 정도의 높은 제어 오버헤드를 요

구한다. Fan 프로토콜이 이렇게 높은 오버헤드를 야기하는 이유는 중간 노드가 여러 개의 RREQ 메시지를 브로드캐스트할 수 있게 됨으로써 이로 인한 오버헤드가 증가하고, 이는 노드의 이동성이 높아질수록 심각해지기 때문이다.

(그림 4)와 (그림 5)는 노드의 최대 이동 속도가 변화하는 환경에서의 성능 측정 결과이다. 각 실험 시 사용된 평균 정지 시간은 0초이다. 제어 오버헤드는 가장 작은 제어 오버헤드 값(속도가 1m/s일 때 original aodv 값)을 기준으로 정규화하였다. 앞서 살펴본 바와 같이 노드의 이동성이 높아질수록(10m/s) Fan 프로토콜은 이동성이 낮을 때(1m/s)에 비하여 제어 오버헤드가 2.5배 정도 증가하며, 또한 기존 AODV와 이 논문에서 제안된 프로토콜에 비해서 각각 최대 5배와 72%정도 많은 오버헤드를 발생시키므로 처리율은 55% 감소하게 된다. 반면 제안된 프로토콜도 이동성이 낮을 때에 비하여 이동성이 높을 때가 제어 오버헤드 측면에서 2.2배 정도 증가하지만, 전체 제어 오버헤드 측면에서 기존 AODV에 비하여 40% 정도 추가적인 오버헤드를 보이기 때문에 Fan 프로토콜에서처럼 성능에 치명적인 영향을 미치지 않으며, 대신 높은 속도의 경로 설정이 가능해짐으로써 기존 AODV에 비하여 60%, Fan 프로토콜에 비하여 30%의 처리율 향상을 보인다.

4. 결 론

MANET은 유선 인프라스트럭처의 도움 없이 IEEE802.11과 같이 무선 망을 이용하여 노드들끼리 서로 협력하여 다중 홉으로 정보를 전달할 수 있도록 하기 위한 네트워크이다. IEEE802.11과 같은 MAC 프로토콜은 신호의 품질과 거리에 따라 서로 다른 전송율을 제공하며, 노드가 거리가 짧아 상대적으로 SNR이 충분히 높은 경우에는 높은 전송 속도를 이용하여 트래픽을 전송할 수 있지만, 그렇지 않은 경우에는 낮은 전송 속도를 이용하여 전송한다. MANET에서의 경로 설정 기법으로 AODV 방식이 제안되었다. AODV 방식은 홉 수를 메트릭으로 사용하기 때문에, 소스와 목적지 노드 간에 최소 홉을 가지는 경로를 선택하게 된다. 따라서 이 방식에서는 거리가 먼 인접 노드를 선택하게 되어 상대적으로 낮은 전송 속도를 이용하여 트래픽을 전송하게 되어 망 전체 처리율이 저하되는 문제가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위하여 여러 가지 방법이 제안되었지만, 이 방법들도 제어 오버헤드의 증가로 인한 성능 저하의 문제점이 발생하게 된다.

이 논문에서는 다중 전송속도를 갖는 MAC 기반의 MANET 환경에서 AODV 기반의 효율적인 경로 설정 기법을 제안하였다. 논문에서는 참고문헌 [10]에서 정의된 MTM을 경로 설정을 위한 메트릭으로 정의하였다. 기존의 AODV에서 사용되는 메트릭 대신에 MTM을 메트릭으로 사용하게 되면 AODV의 경우보다 더 많은 홉 수를 거치게 되어 성능에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 그렇지만, IEEE 802.11에서 RTS/CTS를 사용하고, 또한 패킷의 크기가 큰 경우에는 성능 저하가 많지 않으며, 실시간 멀티미디어 트래픽과 같이 지연에 민감한 트래픽은 패킷의 크기가 작으므로 패킷의 크기를 고려하여 MTM을 조정한다면 지연에 민감한 트래픽에 적합한 경로를 설정할 수 있다[10].

제안 기법의 성능은 ns-2를 이용한 모의실험을 통하여 분석하였으며, 분석한 결과는 기존의 AODV 기법뿐만 아니라 기존에 제안된 기법보다 좋은 성능을 제공한다는 것을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] C. Perkins, *Ad Hoc Networking*, Addison Wesley, 2001.
 [2] IEEE Std. 802.11, *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, 1999.
 [3] Bluetooth Core Specification v2.0, Bluetooth Special Interest Group, <http://www.bluetooth.org>.
 [4] IEEE Computer Society. *802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High Speed Physical Layer in the 5 GHz Band*, Sep. 1999.
 [5] A Kamerman and L. Monteban, "WaveLAN-II: A high-performance wireless LAN for the unlicensed band," *Bell Labs Technical Journal*, pp. 118-133, Summer 1997.
 [6] G. Holland, N. H. Vaidya and P Bahl, "A rate-Adaptive MAC protocol for multi-hop wireless networks," *Mobile Computing and Networking*, pp.236-251, 2001.

[7] C. Perkins, C. Belding-Royer and S. Das, "Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing," RFC 3561, July 2003.
 [8] I. Chakeres and C. Perkins, "Dynamic MANET On-demand (DYMO) Routing," work in progress, May 2007.
 [9] Y. Seok, J. Park and Y. Choi, "Multi-rate Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.*, pp. 1749-1752, Spring 2003.
 [10] B Awebuch, D. Holmer and H. Rubens, "High Throughput Route Selection in Multi-rate Ad Hoc Wireless Networks," *Proc. IFIPTC Working Conf. WONS 2004*, pp. 253-270, 2004.
 [11] Z. Fan, "High throughput reactive routing in multi-rate ad hoc networks," *IEE Electronics Letters*, vol.40, no.25, pp. 1591-1592, Dec. 2004.
 [12] The network simulator, ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.



이 재 훈

e-mail : jaehoon@dongguk.edu

1985년 2월 한양대학교 전자공학과 (학사)

1987년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(석사)

1995년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사)

1987년 3월~1990년 4월 데이콤 연구원

1990년 9월~1999년 2월 삼성전자 정보통신부문 선임연구원

2000년 3월~2000년 12월 삼성전자 자문교수

1999년 3월~현재 동국대학교 정보통신공학과 부교수

관심분야: 초고속통신, 다중 액세스 프로토콜, 인터넷 프로토콜, 광 네트워크 프로토콜



임 유 진

e-mail : yujin@suwon.ac.kr

1995년 숙명여자대학교 전산학과(학사)

1997년 숙명여자대학교 전산학과(석사)

2000년 숙명여자대학교 전산학과(박사)

2002년 서울시립대학교 연구교수

2003년 University of California Los Angeles 박사 후 연구원

2004년 삼성종합기술원 전문연구원

2004년~현재 수원대학교 정보미디어학과 전임강사

관심분야: 에드혹네트워크, 센서네트워크



안 상 현

e-mail : ahn@venus.uos.ac.kr

1986년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)

1988년 서울대학교 컴퓨터공학과(석사)

1993년 University of Minnesota 컴퓨터학과(박사)

1988년 (주)데이콤 연구원

1994년 세종대학교 컴퓨터학과 전임강사/ 조교수

1998년~현재 서울시립대학교 컴퓨터과학부 교수

관심분야: 에드혹네트워크, 센서네트워크, 홈 네트워크, 이동통신, 라우팅프로토콜