

차량간 통신을 위한 비경로형 멀티 홉 패킷 포워딩 프로토콜

(Pathless Multihop Packet Forwarding Protocol for Inter-vehicular Communication)

이 우 신 [†]

이 혁 준 ^{**}

(Woosin Lee)

(Hyukjoon Lee)

요 약 기존의 네트워크 토폴로지 기반 애드혹 라우팅 프로토콜들은 차량간 통신 환경에 적용할 경우 차량의 높은 이동성에 기인한 빈번한 네트워크 토폴로지의 변화로 인해 높은 경로 재설정 부하가 발생하기 때문에 적합하지 않다. 위치 기반 라우팅 프로토콜은 부수적인 경로 설정 과정이 없기 때문에 일반적으로 차량간 통신 환경과 같이 이동성이 높은 환경에 적합한 것으로 알려져 왔다. 그러나 위치 정보의 획득 및 유지를 위한 위치정보 제공 서비스와 같은 추가적인 과정이 필요하며 위치 정보의 부정확성으로 인한 프로토콜의 오작동성 문제가 존재한다. 본 논문에서는 수신한 데이터의 주소 정보를 이용하여 도달 가능한 목적지 노드들의 목록을 유지하고 이 정보를 이용하여 경로 설정 과정 및 위치 정보와 같은 추가적인 정보의 사용 없이도 멀티 홉 패킷 포워딩이 가능한 MMFP(Multi-hop MAC Forwarding Protocol)을 제안한다. MMFP는 시간 종속적인 기능들의 정확한 동작을 위하여 IEEE 802.11 MAC 계층을 확장하여 설계하며 실제 도로 환경을 모델링 한 실험 시나리오를 이용한 실험을 통하여 AODV보다 높은 성능을 나타냄을 보인다.

키워드 : 차량간 통신, MAC 포워딩, 멀티 홉 라우팅, 애드혹 네트워크

Abstract Conventional topology-based routing protocols are not suitable for inter-vehicular communication, where frequent route updates are necessary due to continuous and abrupt changes in network topology. Position-based routing protocols are widely accepted to better serve their purpose in such a scenario as they do not require path discovery or maintenance. However, they have to deal with the overhead of the location service and inaccurate position information. This paper proposes the MMFP (Multi-hop MAC Forwarding Protocol) for inter-vehicle communication that relies on reachability information collected from received packets in making a forwarding decision without path discovery. The MMFP is designed as an extension to the IEEE 802.11 MAC layer to ensure accuracy in its time-critical operations. This paper also presents some simulation results that demonstrate the superior performance of the MMFP over AODV in a realistic inter-vehicular communication.

Key words : Inter-Vehicular Communication, MAC Forwarding, Multi-hop Routing, Ad hoc Network

1. 서 론

ITS(Intelligent Transport System)는 기존의 교통 체계에 전자, 정보, 통신, 제어등의 지능형 기술을 접목

함으로써 운전자에게 신속하고 안전한 운전 환경을 제공하기 위한 차세대 교통 체계이다. ITS는 차량에 장착된 다목적의 센서들과 차량간 통신(inter-vehicular communication) 기술을 이용하여 공공 안전 서비스를 비롯한 다양한 응용 서비스를 제공할 수 있다. 차량간 통신은 기간망의 통신 범위를 확대할 수 있을 뿐만 아니라 가시국의 경유 없이 신속한 정보의 전파를 가능하게 함으로써 통신 장비의 설치비용 감소 및 네트워크의 통신 용량 증가에 기여할 수 있다. 이러한 차량간 통신은 기반 시설 없이 네트워크를 구성하는 차량간에 멀티 홉

· 본 논문은 2007년도 「서울시 산학연 협력사업」의 「나노-IP/SoC체계 기술혁신사업단」의 지원으로 이루어졌습니다.

[†] 학생회원 : 광운대학교 컴퓨터공학과
wlee@kw.ac.kr

^{**} 중신회원 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수
hlee@kw.ac.kr

논문접수 : 2006년 12월 28일

심사완료 : 2007년 5월 21일

무선 라우팅을 통하여 통신이 이루어지며 차량간 통신 네트워크(Vehicular Ad hoc Network, VENET)는 이동 애드혹(ad hoc) 네트워크의 주요 응용 분야 중 하나이다.

차량간 통신 네트워크는 통신에 참여하는 차량의 높은 이동속도 및 차량의 이동 패턴으로 인하여 다음과 같은 주요 특징을 가진다. 첫째로 차량의 높은 이동속도로 인하여 네트워크 토폴로지의 변화가 빈번하게 발생한다. 둘째로 고속으로 이동하는 차량간의 통신 시 도플러 효과(dopler effect)등으로 인하여 전송 실패가 빈번하게 발생할 수 있다. 셋째로 차량의 대용량 데이터를 이용할 수 있기 때문에 다른 애드혹 네트워크에 비해 전력 소모 문제의 중요성이 낮다. 마지막으로 고속으로 이동하는 차량간에는 통신 가능 시간이 짧으며 이로 인하여 신속한 데이터의 전달이 중요하다. 따라서 차량간 통신을 위한 라우팅 프로토콜들은 네트워크 토폴로지의 빈번한 변화와 링크 상태의 불안정성을 고려하고 신속한 데이터의 전달이 가능하도록 설계되어야 한다.

기존 이동 애드혹 라우팅 프로토콜들은 경로 설정 및 데이터 전달 방식에 따라 토폴로지 기반 라우팅 프로토콜과 위치 정보 기반 라우팅 프로토콜로 구분될 수 있다. 토폴로지 기반 라우팅 프로토콜들은[1-4] 네트워크 토폴로지 정보를 이용하여 원천지 노드(source node)와 목적지 노드(destination node) 간에 경로를 설정하고 설정된 경로를 이용하여 데이터를 전송하는 방식을 사용한다. 그러나 차량간 통신 환경은 앞서 논의한 것처럼 차량의 높은 이동성으로 인하여 네트워크 토폴로지의 변화가 빈번하게 발생하기 때문에 이러한 토폴로지 기반 라우팅 프로토콜들은 빈번한 경로 재설정 과정을 경험하게 되고 따라서 경로 재설정을 위한 제어 패킷 부하(control packet overhead)의 증가 및 데이터 패킷의 손실과 지연 시간 증가로 인하여 심각한 성능의 저하가 발생한다[5]. 위치 기반(position-based) 라우팅 프로토콜들은[6-12] 이러한 토폴로지 기반 라우팅 프로토콜들의 문제점을 해결하기 위하여 경로 설정 과정을 배제하고 목적지 노드의 위치정보를 이용하여 데이터를 전송하는 방식으로써 송신 노드(transmitter)는 이웃 노드들과 목적지 노드의 위치정보를 이용하여 목적지 노드와 가장 가까운 이웃 노드로 패킷을 포워딩(forwarding)하는 방식을 사용한다. 이러한 방식은 원천지 노드와 목적지 노드 간에 특정 경로를 설정하지 않기 때문에 네트워크 토폴로지의 변화로 인한 추가적인 경로 재설정 과정이 필요 없다는 장점이 있다. 그러나 목적지 노드와 이웃 노드들의 위치정보를 유지하기 위한 추가적인 위치정보 제공 서비스(location service)가 필요하며 이러

한 위치정보 제공 서비스의 부하는 토폴로지 기반 라우팅 프로토콜의 경로 설정 과정과 유사한 $O\sqrt{n}$ 의 복잡도를 나타낸다. 또한 차량의 높은 이동성에 기인한 위치정보의 부정확성(position-inaccuracy)이 발생할 수 있으며 이로 인한 프로토콜의 오작동성 문제가 존재하기 때문에 이를 해결하기 위한 추가적인 프로토콜이 필요하다[5].

본 논문에서는 차량간 통신 환경에서 빈번한 네트워크 토폴로지의 변화 및 전송 실패로 인한 제어 패킷 부하의 감소를 위하여 네트워크 토폴로지 정보를 이용한 경로 설정 과정이 없으면서 위치정보와 같은 추가적인 정보를 사용하지 않는 차량간 통신을 위한 새로운 멀티 홉 라우팅 프로토콜인 MMFP(Multi-hop MAC Forwarding Protocol)을 제안한다. MMFP는 기존의 MAC 브릿지의 필터 테이블(filter table)을 응용하여 각 노드들이 수신 데이터의 주소 정보를 바탕으로 멀티 홉 전송이 가능한 노드들의 목록을 유지하고 이 목록을 참고하여 수신 데이터의 포워딩 여부를 결정한다. 이때, 각 노드들은 두 가지의 데이터 포워딩 모드를 유지한다. 암묵적 유니캐스트(implicit unicast) 모드는 목적지 노드에 대한 정보를 보유한 수신 노드(receiver)들이 가장치 정보를 이용하여 수신 데이터의 포워딩을 위한 경쟁을 수행하며 경쟁에서 승리한 노드가 데이터를 유니캐스트 방식으로 포워딩 한다. 브로드캐스트(broadcast) 모드는 목적지 노드에 대한 정보를 보유한 이웃 노드가 존재하지 않을 경우에 사용되며 데이터를 수신한 모든 노드들은 수신 데이터를 브로드캐스트 방식으로 플러딩(flooding) 한다. MMFP는 시간 종속적인 기능들의 정확한 동작을 위하여 IEEE 802.11 MAC[13] 계층을 확장하여 설계하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 차량간 통신에 적용될 수 있는 기존의 애드혹 라우팅 프로토콜에 관한 연구들에 대해 살펴봄과 3장에서는 MMFP의 알고리즘에 관한 설명을 진행하고 4장에서는 실험을 통하여 MMFP의 성능을 분석한다. 마지막으로, 5장에서는 결론 및 향후 계획을 논의한다.

2. 관련 연구

1장에서 논의한 것처럼 차량간 통신에 적용될 수 있는 애드혹 라우팅 프로토콜들은 경로 설정 여부와 데이터 포워딩 방식에 따라 토폴로지 기반 라우팅 프로토콜과 위치 기반 라우팅 프로토콜로 분류할 수 있다[5].

토폴로지 기반 라우팅 프로토콜은 주기적으로 또는 네트워크 토폴로지상의 변화가 있을 때마다 라우팅 정보를 네트워크 전체로 전파하여 모든 노드들이 항상 최신의 경로 정보를 유지하도록 하는 테이블 관리 방식

(DSDV(Destination-Sequenced Distance Vector Protocol)[1])과 전송 트래픽이 발생하는 시점에서 경로를 탐색하고 경로 정보는 경로 상의 각 노드에 임시적으로 저장되도록 하는 요구 기반 방식(DSR(Dynamic Source Routing), AODV(Ad Hoc On-demand Distance-Vector)[2,3]), 그리고 작은 범위의 네트워크에 대한 라우팅 정보는 테이블 관리 방식으로 유지되 작은 네트워크간의 패킷 교환이 발생할 경우 요구 기반 방식을 사용함으로써 두 방식의 장점을 결합한 하이브리드 라우팅 방식(ZRP(Zone Routing Protocol)[4]) 등이 있다. 테이블 관리 라우팅 방식은 패킷 발생시 지연 시간 없이 항상 최적의 경로를 통해서 패킷을 전송할 수 있는 장점이 있으나 전체 네트워크의 토폴로지 정보를 항상 유지해야 되기 때문에 네트워크 토폴로지의 변화가 빈번한 차량간 통신 환경에서는 라우팅 정보를 네트워크 전체로 전파하기 위한 라우팅 부하가 성능 저하의 원인이 될 수 있다. 요구 기반 라우팅 방식은 테이블 관리 라우팅 방식의 테이블 유지를 위한 라우팅 부하를 감소시킬 수 있으나 트래픽이 발생하는 시점에서 경로를 설정하기 때문에 이로 인한 지연 시간이 발생한다. 하이브리드 라우팅 방식은 상위 두 가지 방식의 장점을 효과적으로 결합하였으나 테이블 관리 라우팅 방식의 적용 범위를 결정하기가 어려우며 차량간 통신 환경에서 빈번한 경로 재설정으로 인한 성능저하 문제를 해결하지는 못한다.

위치 기반 라우팅 프로토콜들은 빈번한 경로 재설정으로 인한 성능 저하를 방지하기 위하여 경로를 설정하는 과정 없이 데이터 패킷을 목적지 노드로 포워딩 하는 방식을 이용하며 목적지 노드에 대한 포워딩 방식에 따라 그리디 패킷 포워딩(greedy packet forwarding) 방식과 제한된 범위 플러딩(restricted directional flooding) 방식, 그리고 계층적 라우팅(hierarchical routing) 방식으로 분류할 수 있다.

그리디 패킷 포워딩 방식은 목적지 노드와 가장 가까운 이웃 노드를 포워딩 노드로 선택하는 방식이다. 이 방식에서는 전송 노드보다 목적지 노드에 가까운 노드가 없을 경우 라우팅 불가능 영역(routing void zone) 문제가 발생하며 이 문제를 해결하기 위하여 지역 복구 모드(local recovery mode)를 사용한다. GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)[6]은 이웃 노드들의 위치 정보를 이용하여 평면(planar) 그래프를 생성하고, 라우팅 불가능 영역이 발생할 경우 그래프 상에서 오른손 법칙을 사용하여 포워딩 노드를 선택하는 퍼리미터(perimeter) 방식을 사용한다. GPSR은 경로 정보를 생성하고 유지 할 필요가 없다는 장점이 있으나 토폴로지 정보에 기초한 평면 그래프를 이용하기 때문에 이동성

이 높은 환경에서는 라우팅 루프가 발생할 수 있으며 또한 포워딩 과정에서 최단 경로를 선택하지 않을 수 있다. GSR(Geographic Source Routing)[7]은 직선 도로 상에서는 라우팅 불가능 영역이 발생하지 않는 점에 착안하여 도로 맵 상에서 원천지 노드와 목적지 노드 간에 존재하는 교차로를 포워딩 영역으로 사용하는 방식을 제안하였다. GSR은 GPSR의 퍼리미터 방식과 같은 추가적인 지역 복구 모드를 사용할 필요가 없으나 도로 맵 정보를 이용하여 목적지 노드와의 경로상에 존재하는 교차로들의 위치정보를 획득해야 하기 때문에 추가적인 부하가 발생한다. CBF(Contention-Based Forwarding)[8]은 이웃 노드들의 위치정보를 유지하기 위해 소요되는 추가적인 부하를 줄이기 위하여 각 이웃 노드들이 자신과 목적지 노드와의 거리를 계산하고 이를 이용하여 포워딩 경쟁을 하는 방식이다. 그러나 이러한 네트워크 계층의 경쟁 기반 포워딩 방식은 하위 계층의 큐 지연시간과 패킷 처리시간을 고려하지 않았기 때문에 시간 종속적인 기능들의 동작에서 오류가 발생할 수 있다.

제한된 범위 플러딩 방식은 원천지 노드가 보유한 목적지 노드의 위치정보가 부정확할 경우 라우팅 오류가 발생할 수 있는 점을 고려하여 목적지 노드가 존재할 확률이 높은 영역으로 제한적인 플러딩을 하는 방식이다. DREAM(Distance Routing Effect Algorithm for Mobility)[9]은 노드의 이동 속도와 목적지 노드의 위치 정보 획득 시간을 이용하여 현재 목적지 노드의 존재 예상 지역을 설정하고 그 지역에 있는 모든 노드들에게 데이터 패킷을 플러딩 하는 방법을 제안하였다. 또한 DREAM은 거리 효과(distance effect)를 고려하여 위치 정보의 갱신(update) 시 거리에 따른 갱신 주기에 차이를 둬으로써 위치정보 갱신의 부하를 부분적으로 감소시켰다. 그러나 기본적으로 위치정보 갱신과 데이터 전송이 플러딩 방식으로 동작하기 때문에 높은 통신 부하를 가지며 추가적인 복구 모드를 사용하지 않기 때문에 라우팅 불가능 영역 문제를 해결하지 못한다. LAR(Location-Aided Routing)[10]은 경로 설정을 위한 제어 패킷 전송 시 목적지 노드의 위치정보를 이용하여 제한된 플러딩을 함으로써 요구 기반 방식을 사용하는 에드혹 라우팅 프로토콜의 경로 설정 부하를 감소시키는 방법을 제안하였다. 그러나 LAR은 차량간 통신 환경에서 발생하는 빈번한 경로 재설정으로 인한 패킷 손실 문제는 해결하지 못하였다.

마지막으로 계층적 라우팅 방식은 위치 기반 라우팅 방식과 토폴로지 기반 라우팅 프로토콜을 접목함으로써 빈번한 경로 재설정으로 인한 성능저하와 위치정보 유지를 위한 부하를 감소시키기 위한 방식이다. [11]에서

Santos는 기존의 클러스터 기반 라우팅 방식과 위치 정보 기반 라우팅 방식을 결합하여 클러스터 헤드 노드가 멤버 노드의 위치정보와 다른 클러스터 헤드 노드의 위치정보를 보유함으로써 네트워크의 효율을 높이는 방식을 제안하였으며, [12]에서 L. Blazevic는 원천지 노드와 목적지 노드 간의 거리에 따라서 위치 기반 라우팅 방식과 테이블 기반 라우팅 방식을 적절히 혼용하여 사용함으로써 네트워크의 확장성을 높이고 효율적인 패킷 전송이 가능하게 하는 방식을 제안하였다. 그러나 이러한 계층적 라우팅 방식은 네트워크의 계층적 구조를 형성하기 위한 추가적인 부하가 발생한다.

3. Multi-hop Forwarding Protocol

MMFP는 각 노드들이 수신한 프레임의 목적지 주소가 포워드 테이블(forward table)에 등록되어 있는지의 여부에 따라 프레임을 특정 이웃 노드로 유니캐스트 포워딩 하거나 혹은 주위의 모든 이웃 노드들에게 브로드캐스트 하도록 한다. 따라서 각 노드는 자신의 포워드 테이블에 등록되어 있는 주소 정보를 이용하여 멀티 홉 포워딩을 수행하기 때문에 추가적인 경로 설정 및 유지를 위한 부하가 발생하지 않는다. 이 포워딩 프로토콜은 서론에서 언급한 것처럼 네트워크 계층과 MAC 계층에서의 프로토콜 동작 간의 시간적인 격차에서 발생하는 오류 문제를 해결하기 위해서 IEEE 802.11 MAC 애드혹 모드를 수정하여 설계된다. 이러한 MAC 포워딩 방식의 프로토콜은 별도의 라우팅 프로토콜 계층을 필요로 하지 않기 때문에 플러그인 플레이(plug-in-play)가 용이하다. 본 절의 나머지 부분에서는 이 프로토콜에 대하여 자세한 설명을 진행한다.

3.1 MMFP의 기본 알고리즘

MMFP의 기본 알고리즘은 MAC 브릿지의 동작을 응용한 것이다. MAC 브릿지는 수신한 프레임의 목적지 주소가 필터 테이블에 등록되어 있을 경우 목적지 노드가 연결된 랜 세그먼트로(LAN segment) 프레임을 포워딩 하며 그렇지 않을 경우 연결되어 있는 모든 랜 세그먼트로 프레임을 플러딩 한다. 이를 응용하여 MMFP는 수신 프레임의 목적지 주소가 포워드 테이블에 등록되어 있을 경우 유니캐스트 방식으로 프레임을 포워딩 하며 그렇지 않을 경우 플러딩 방식으로 모든 이웃 노드들에게 프레임을 전송한다. 이때, 유니캐스트 포워딩은 다음 홉(next hop) 주소 정보를 기반으로 하여 종단간(end-to-end) 경로를 따라 전송되는 기존의 토폴로지 기반 라우팅 프로토콜의 방식과는 다르게 동작한다. 각 노드는 경로 설정 과정의 부하를 줄이기 위하여 목적지 노드에 대한 경로 정보를 유지하지 않으며 따라서 다음 홉 노드에 대한 정보는 존재하지 않는다. 단지 각 노드

는 자신으로부터 목적지 노드에 도달 가능한 경로가 존재 하는지에 대한 것만을 알 수 있기 때문에 각 노드는 다음 홉 주소를 이용한 프레임 포워딩 대신에 브로드캐스트 기반 전송 방식을 사용하고 이를 수신한 이웃 노드 중에서 하나의 노드만이 프레임을 포워딩함으로써 결과적으로는 유니캐스트와 동일한 방식으로 멀티 홉 전송이 이루어진다. 이러한 전송 방식은 형식적으로는 위치 기반 라우팅과 흡사하다.

암묵적 유니캐스트 프레임의 포워딩 노드는 포워드 테이블 엔트리의 유효 시간(refresh time), RSSI(Received Signal Strength Indicator), 홉 카운트, 인터페이스 큐 길이(interface queue length) 등을 반영한 가중치 값에 의해 선택되며 이때 목적지 노드와의 거리 정보를 사용하면 위치 기반 라우팅 방식이 된다. IEEE 802.11 MAC과 마찬가지로 유니캐스트 프레임을 수신한 노드에서는 ACK를 전송하며 이때 가장 높은 가중치 값을 가지는 노드가 가장 먼저 ACK를 전송하고 ACK를 수신한 다른 이웃 노드들은 포워딩을 자제하고 수신한 암묵적 유니캐스트 프레임을 폐기한다. 이러한 가중치 기반 ACK 전송을 위하여 가장 긴 재밍 신호(jamming signal)를 전송한 노드가 통신 매체를 예약하는 black-burst[14,15] 방식을 사용한다. Black-burst는 채널 사용을 원하는 노드들이 특정 기간 동안 채널에 제밍을 발생시킨 후 채널을 검사하여 매체가 활성화 되어 있지 않을 경우 데이터를 전송하는 방법으로써 음성 트래픽의 QoS 보장을 위한 CAMA/CA의 개선 프로토콜로써 고안되었다. 최종 목적지 노드는 프레임 수신 후 SIFS 가 지난 뒤에 ACK를 전송하도록 함으로써 가장 높은 가중치를 보장한다. 동일한 가중치를 갖는 노드들이 다수 존재할 경우 ACK 충돌(collision)이 발생할 수 있으며 이를 방지하기 위해서는 충돌 해지(collision resolution)가 수행되어야 한다. MMFP는 이를 위하여 가중치 기반의 첫 번째 black-burst와 랜덤 백오프(random backoff) 기반의 두 번째 black-burst의 2단계 black-burst를 수행하며 자세한 내용은 3.3절에서 논의한다. 그림 1은 MMFP의 기본 알고리즘 플로우를 나타낸다. 3.2절부터는 이 프로토콜에 대한 자세한 설명을 진행한다.

3.2 포워드 테이블 유지

포워드 테이블의 주 목적은 모든 도달 가능한 노드에 관한 정보를 유지하는 것이다. 포워드 테이블의 각 엔트리는 $(destination_address, refresh_timer)$ 의 두 필드로 구성되며 $destination_address$ 는 도달 가능한 노드들의 주소를 나타낸다. $refresh_timer$ 는 해당 엔트리의 유효기간을 나타내며 값이 0이 되면 그 엔트리는 소멸된다. 각 노드는 수신 프레임으로부터 이 정보를 유추해

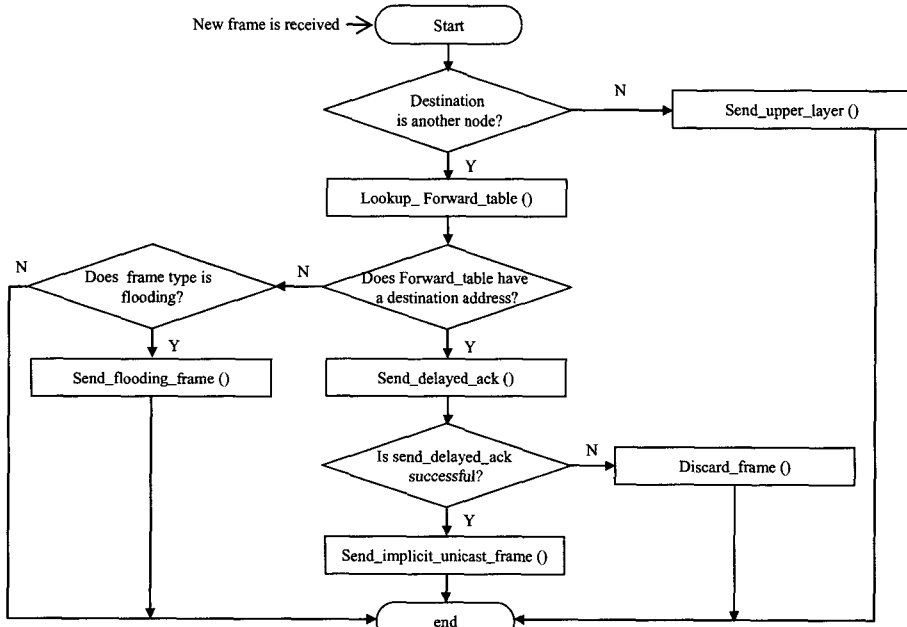
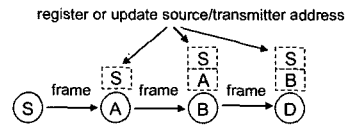


그림 1 MMFP의 기본 알고리즘

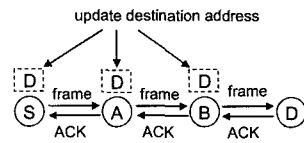
내며 다음은 정보 유추 동작의 2가지 경우를 나타낸다.

1. 데이터 프레임 수신한 경우: 이 경우, 원천지 및 송신 노드가 역방향으로 도달 가능함을 알 수 있으며, 따라서 원천지 및 송신 주소를 반영하여 포워드 테이블의 엔트리를 등록하거나 기존 엔트리가 존재할 경우 *refresh_timer*를 갱신한다.
2. ACK 수신한 경우: ACK를 수신한 경우에는 ACK가 자신에게 전송되었는지의 여부에 따라 두 가지 경우로 나뉜다.
 - A. 해당 노드가 전송한 데이터 프레임에 대한 ACK를 수신한 경우: ACK를 전송한 이웃 노드를 통하여 목적지 노드에 도달되는 경로가 존재하거나 혹은 여전히 유효하다는 의미이기 때문에 암목적 유니캐스트 프레임에 대한 ACK일 경우 전송한 데이터 프레임의 목적지 주소에 해당되는 기존의 엔트리를 갱신하며 플러딩 프레임에 대한 ACK일 경우 새로운 엔트리를 등록한다.
 - B. 이웃 노드가 전송한 데이터 프레임에 대한 ACK를 수신한 경우: 데이터 프레임을 전송한 이웃 노드를 통하여 목적지 노드에 도달 가능하기 때문에 수신한 데이터 프레임의 목적지 주소를 포워드 테이블에 등록한다.

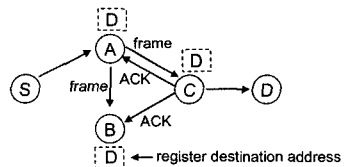
그림 2는 위의 두 가지 경우에 대한 예를 나타내며 특히 그림 2의 (c)에서는 암목적 다중경로(multipath)가 생성되는 것을 관찰할 수 있다. 즉, B가 D를 포워드 테



(a) An example of case 1



(b) An example of case 2-A



(c) An example of case 2-B

그림 2 포워드 테이블 엔트리 유지의 예

이들에 등록함으로써 S와 D간에는 S-A-C-D와 S-B-C-D의 두 가지 암목적 다중경로가 생성되며 A 혹은 B 노드가 이동하더라도 S와 D간에는 여전히 프레임 포워딩이 가능하다. 따라서 A가 이동할 경우 경로 재설정 과정을 수행해야 하는 토폴로지 기반 라우팅 프로토콜

들에 비하여 MMFP는 별도의 경로 재설정 과정 없이 프레임 포워딩이 가능하다.

목적지 노드가 포워드 테이블에 등록되어 있지 않은 경우 송신 노드는 플로딩 프레임 주변에 모든 이웃 노드들에게 브로드캐스트 한다. 플로딩 프레임은 목적지 노드의 주소가 포워드 테이블에 등록된 노드에 도달할 때까지 반복적으로 재 플러딩 되어서 전송된다. 목적지 주소가 등록된 노드는 플로딩 프레임을 암목적 유니캐스트 프레임으로 변환하여 전송하며 수신 노드로부터 ACK를 수신한다. 이때, 그림 2의 (c)에서처럼 데이터 프레임과 ACK를 수신한 주변의 이웃 노드들은 자신의 포워드 테이블에 목적지 주소에 해당되는 엔트리를 등록한다. 이러한 포워드 테이블 갱신은 원천지 노드에서 목적지 노드로 프레임이 반복해서 전송됨에 따라 목적지 노드에서 원천지 노드 방향으로 퍼져가게 되며 일정 프레임 전송이 반복되면 결과적으로 원천지 노드까지 목적지 노드를 포워드 테이블에 등록하게 되며 따라서 원천지 노드에서 목적지 노드까지 암목적 유니캐스트 방식으로 데이터는 전달된다. 그림 3은 이와 같은 과정을 나타낸다. S는 D가 포워드 테이블에 등록되어 있지 않기 때문에 플로딩 프레임을 전송하며 이웃 노드인 A도 수신한 플로딩 프레임을 재플러딩 한다. B는 D가 포워드 테이블에 등록되어 있기 때문에 A로부터 수신한 플로딩 프레임에 대해 ACK를 전송하고 암목적 유니캐스트 프레임을 포워딩 한다. 이때, ACK를 수신한 A는 D를 포워드 테이블에 등록하게 되며 S로부터 다음 플로딩 프레임을 수신하게 되면 ACK를 전송하고 결과적으로 S는 D를 포워드 테이블에 등록한다. 이러한 역방향 포워드 테이블 등록 및 갱신으로 인하여 원천지 노드가 목적지 노드에 대한 엔트리를 포워드 테이블에 보유하지 않더라도 플러딩은 제한적인 횟수만큼만 발생하게 되며 프레임 전송이 진행됨에 따라 결과적으로 암목적 유니캐스트 방식으로 전송이 진행되게 됨으로써 플러딩으로 인한 네트워크의 성능 저하는 일시적으로만 발생한다.

3.3 경쟁 기반 포워딩 노드 선택 알고리즘

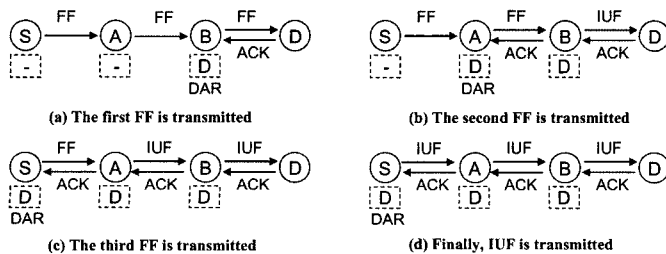
위에서 논의한 것처럼, 수신한 프레임의 목적지 주소에 대한 정보를 보유한 포워딩 노드들은 2단계 black-burst를 통해 ACK 전송을 위한 경쟁을 하게 되며 경쟁에서 승리한 노드가 수신한 프레임을 포워딩하고 경쟁에서 탈락한 노드들과 ACK를 수신한 이웃 노드들은 수신한 프레임을 폐기함으로써 프레임이 중복 전송되는 것을 방지하고 추가적으로 플러딩 프레임의 확산을 줄이는 효과를 가진다. 이때 경쟁에서 승리한 노드가 전송하는 ACK는 기존 IEEE 802.11 MAC에서 전송되는 ACK에 비하여 black-burst 단계에서 소요되는 시간만큼 지연되어 전송되기 때문에 우리는 이를 delayed_ACK라고 지칭한다.

수신한 프레임의 목적지 주소가 자신의 포워드 테이블에 등록된 노드들은 SIFS+1슬롯이 경과한 후에 전송 매체가 비활성화(idle) 하면 black-burst를 진행한다. 이때 SIFS+1슬롯 동안 대기한 후에 전송 매체의 활성화를 검사하는 이유는 목적지 노드가 SIFS 후에 ACK를 전송하기 때문에 목적지 노드에게 ACK의 전송 우선권을 보장하기 위함이다. 첫 번째 가중치 기반 black-burst는 각 포워딩 노드들이 자신의 가중치에 따라 재밍 신호의 크기를 결정하고 가장 긴 재밍 신호를 송신한 노드가 포워딩 권한을 획득한다. 재밍 신호의 크기는 다음의 식으로 계산한다.

$$\text{The length of black - burst} = [(priority_value) \cdot Drange] \cdot slot_time \tag{1}$$

*priority_value*는 해당 포워딩 노드의 가중치를 나타내며 [0, 1]의 값을 가진다. *Drange*는 첫 번째 black-burst단계에 할당된 최대 슬롯 수를 나타내며 *slot_time*은 한 슬롯의 크기(IEEE 802.11 a/g에서는 9 microseconds)를 나타낸다.

본 논문에서 우리는 포워드 테이블의 엔트리 유효 시간과 RSSI를 이용하여 가중치 값을 계산한다. 유효 시간은 엔트리 정보의 유효성을 반영하며 RSSI는 다음과 같은 경로 손실 레디오 전파 모델(path-loss radio pro-



FF: Flooding Frame, IUF: Implicit Unicast Frame, DAR: Destination Address Registration, : forward table

그림 3 역방향 포워드 테이블 등록 및 갱신의 예

pagation model)[16]을 이용하여 통신하는 두 노드간의 거리를 반영하기 위해 사용한다.

$$\frac{P_{RX}}{P_{TX}} = Cd^{-a} \quad (2)$$

P_{RX} 는 수신 신호의 세기비를 나타내며 d 는 두 노드간의 거리를 나타내고 P_{TX} 는 전송 신호의 세기를 나타내며 C 는 안테나 이득(antenna gain)과 파장(wavelengths), 그리고 안테나 높이(antenna height)를 반영한 상수값을 나타내고 a 는 2~4 사이의 값을 가지는 경로 손실 팩터(path loss factor)를 나타낸다. RSSI를 이용하여 계산된 거리는 값이 클수록 높은 가중치를 가지며 이는 결과적으로 송신 노드에서 가장 멀리 떨어진 이웃 노드가 가장 높은 가중치를 보유하여 경쟁에서 승리하도록 한다. 따라서 원천지 노드와 목적지 노드간의 데이터 전송 시 평균 홉 수가 최소가 되는 경로로 데이터는 전송된다.

첫 번째 black-burst는 제한된 슬롯을 이용하여 동작하기 때문에 2.1절에서 논의한 것처럼 동일한 재밍 신호 크기를 가지는 이웃 노드들이 존재할 수 있다. 이 경우, 동일한 크기의 재밍 신호를 송출한 이웃 노드들의 경우 자신이 경쟁에서 승리했다고 판단하기 때문에 ACK 충돌이 발생할 수 있으며 따라서 ACK 충돌 해지를 위하여 두 번째 black-burst를 수행한다. 두 번째 black-burst는 전파 지연을 고려하여 1슬롯 후에 시작되며 재밍 신호의 크기는 랜덤하게 선택된다. 이때 IEEE

802.11 a/g의 RST/CTS로 인한 홉 당 전송 부하는 약 13 슬롯이기 때문에 2단계 black-burst의 최대 크기를 13슬롯으로 제한할 경우 추가적인 부하는 발생하지 않는다.

그림 4는 2단계 black-burst를 통해 포워딩 노드가 선정되는 과정을 나타낸다. 포워딩 경쟁에 참여한 노드들은(A, B, C) 첫 번째 black-burst에서 자신의 가중치를 이용하여 재밍 신호의 크기를 산출하고 이때 A와 B가 가장 높은 가중치를 가졌기 때문에 가장 긴 재밍 신호를 송신한다. C는 자신의 재밍 신호의 송신이 끝난 후에 전송 매체가 활성화(busy) 되어 있기 때문에 경쟁에서 탈락한 것을 인지하고 수신한 데이터 프레임에 폐기한다. 이후에 A와 B는 랜덤 백오프 기반 두 번째 black-burst를 실행한다. A과 B는 정해진 범위 내에서 랜덤 수를 선택하고 이 크기만큼의 재밍 신호를 송신한다. A가 가장 긴 재밍 신호를 송신하였기 때문에 경쟁에서 승리하였으며 delayed_ack를 송신하고 수신한 프레임을 재포워딩 한다.

3.4 시퀀스 번호 테이블(Sequence Number Table) 유지

MMFPP는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜에서 중복 프레임 처리를 위해 사용하는 시퀀스 번호를 이용하여 라우팅 루프를 방지한다. 시퀀스 번호 테이블은 멀티 홉 전송 프레임에 대한 중복 검사가 가능하도록 기존 IEEE 802.11 MAC의 시퀀스 넘버 테이블을 확장하여

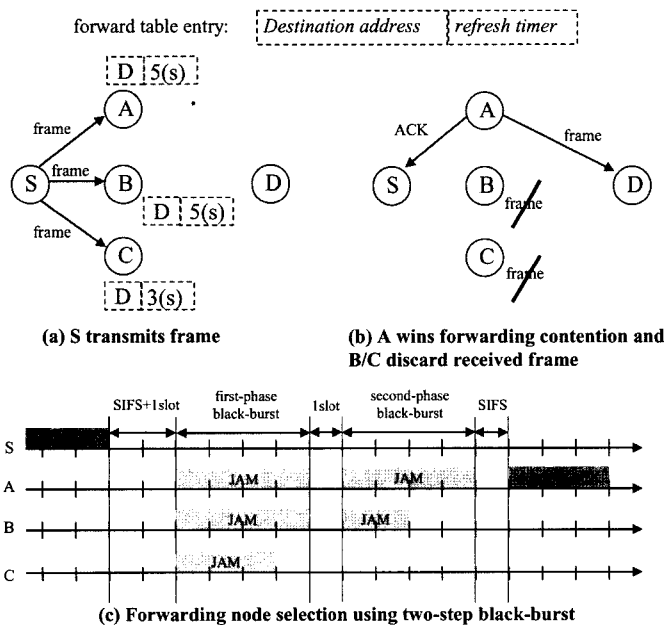


그림 4 2단계 black-burst를 이용한 경쟁 기반 포워딩 노드 선택의 예

{source_address, sequence_number, forwarding_flag, refresh_timer}의 4개 필드로 구성한다.

Forwarding_flag은 2단계 black-burst가 제한된 수의 슬롯을 사용하여 동작하기 때문에 발생할 수 있는 delayed_ack의 충돌로 인한 포워드 테이블 오류 문제를 해결하기 위해 사용한다. 그림 5에서 A와 B가 동시에 delayed_ack를 전송한 경우, ACK 충돌이 발생하며 S는 ACK를 수신하지 못했기 때문에 데이터 프레임들을 재전송 한다. A와 B는 재전송된 프레임의 시퀀스 번호가 중복되었기 때문에 재전송된 프레임을 중복 프레임으로 인식하여 폐기 한다. 따라서 S는 결과적으로 일정 횟수 동안 반복해서 재전송을 해도 ACK를 수신하지 못하기 때문에 재전송에 실패한 것으로 인식하고 해당 엔트리와 프레임을 삭제하게 된다. 이러한 포워드 테이블 오류로 인한 프레임 손실을 방지하기 위하여 자신이 포워딩한 프레임을 나타내는 forwarding_flag을 사용한다. Forwarding_flag은 초기값은 0이며 해당 프레임을 포워딩한 경우 1로 설정하여 중복된 프레임을 수신했을 때 프레임 헤더의 retry_field값과 forwarding_flag 값이 모두 1일 경우 delayed_ack의 충돌이 발생했음을 인지하고 ACK를 재전송 하도록 함으로써 포워드 테이블 오류를 방지한다.

3.5 IEEE 802.11 MAC의 확장

MMFP는 멀티 홉 전송을 위하여 IEEE 802.11 MAC 프레임 헤더의 수신, 송신, 목적지, 원천지 등의 네 개의 주소 필드를 사용한다. 이는 IEEE 802.11 MAC 프레임 헤더의 from/to DS 필드의 값을 1로 설정함으로써 가능하다. 암목적 유니캐스트와 플러딩 프레임이 모두 브로드캐스트 방식으로 전송되기 때문에 수신 주소는 브로드캐스트 주소를 사용한다. 따라서 기존 IEEE 802.11 MAC 프레임 헤더의 type-subtype 필드에서 사용되지 않는 비트를 이용하여 암목적 유니캐스트 프레임(10-1000)과 플러딩 프레임(10-1001)을 구별할 수 있도록 정의한다. IEEE 802.11 MAC 표준은 모든 브로드캐스트 프레임의 경우 기본 전송 속도(basic rate)로 전송함으로써 제어 패킷의 전송 에러 발생을 최소화 하도록 정의하고 있다. 그러나 제안하는 MMFP에서는 암목적

유니캐스트와 플러딩 프레임의 경우 데이터 프레임이기 때문에 데이터 전송 속도를 이용하도록 한다. 마지막으로 MMFP는 브로드캐스트 주소를 이용하여 데이터 프레임을 전송하기 때문에 RTS/CTS를 사용하지 않으므로 인한 프레임 충돌 및 손실 문제는 유니캐스트 프레임의 재전송을 통해 해결한다.

4. 실험 및 성능 분석

MMFP의 성능을 분석하기 위해서 우리는 ns-2 시뮬레이터를 이용하여 AODV와 성능을 비교하였다. MMFP는 네트워크와 IEEE 802.11 MAC 계층 간에 서브 계층으로 구현하였으며 AODV의 active_route_timeout과 max_rreq_timeout은 10 seconds로 설정하였으며 rreq_retry는 3회, 그리고 local_repair_wait_time은 0.15 seconds로 설정하였고 MAC 프로토콜은 ns-2[17] 시뮬레이터의 802.11b 모듈에 설정되어 있는 시스템 파라미터를 변경하여 802.11g의 ERP-OFDM을 구현하였다. 또한 MMFP에서 포워드 테이블 엔트리의 refresh_timer의 유지 시간은 AODV의 경로 정보 유지 시간과 같은 10s로 설정하였다. 표 1은 실험에 사용한 파라미터들의 값을 나타낸다. 실험은 2개의 시나리오를 이용하여 진행하였다. 첫번째 시나리오인 그림 6은 2차선 고속도로에서 같은 방향으로 운행중인 180개 차량간의 통신을 나타내며 동일한 차선에 존재하는 모든 노드들은 같은 속도로 움직이고 두 차선에서 운행되는 노드간의 속도 차이는 10m/s로 설정하였다. 두번째 시나리오인 그림 7은 4차선 고속도로에서 반대 방향으로 운행 중인 360개의 차량간 통신을 나타내며 차선 간 속도 차이는 최대 40m/s로 설정하였으며 실제적인 통신 모델을 적용하기 위하여 fading 모델로 ricean distribution[18]을 사용하였다. 추가적으로 차 량이 진입하고 빠져나가는 효과를 나타내기 위하여 on/off 상태를 정의하였다. 'on' 상태는 차량이 고속도로에 진입해서 통신에 참여하는 것을 나타내며 'off' 상태는 고속도로를 빠져나가 통신에 참여하지 않는 상태를 나타낸다. 각각의 노드는 주기적으로 0.0에서 0.4 사이의 확률로 상태 변화를 수행 한다.

실험 시나리오에서 각 노드의 전송 거리는 200m이며

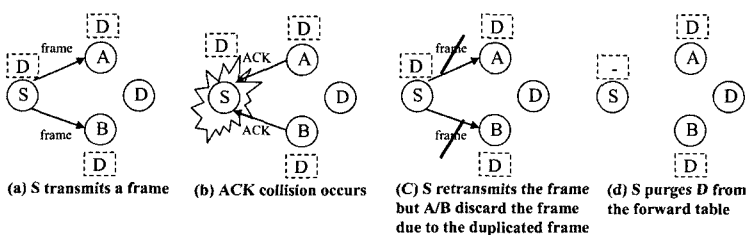


그림 5 포워드 테이블 오류의 예

표 1 실험 파라미터

파라미터	값
CWMin(slots)	15
SlotTime(microseconds)	9
Preamble length(bits)	120
PLCPHeaderLength(bits)	24
PLCP DataRate(Mbps)	6
전송 속도(Mbps)	54
전송 범위(m)	200
트래픽 종류	CBR
UDP payload size(bytes)	1024
Ricean K factor	6

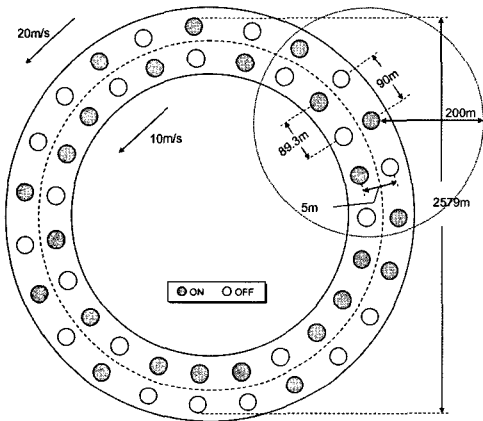


그림 6 2차선 동일방향 진행 고속도로 시나리오

전송 속도는 54Mbps로 설정하였다. 두 노드간의 거리는 차선에 따라 90m와 89.3m로 설정하였으며 다른 차선에 존재하는 노드간의 거리는 초기에 5m로 설정하였다. 각 노드들은 자신의 통신 범위에 9개의 이웃 노드들을 가지며 10개의 랜덤하게 선택된 노드들이 20초 동안

10pkts/s의 트래픽을 주어진 거리에 위치하는 목적지 노드와 통신 하도록 하였다. 실험의 편리성을 위하여 선택된 원천지와 목적지 노드는 항상 'on' 상태를 유지하도록 하였으며 나머지 노드들은 실험 시작 시 각각 절반씩 'on' 상태와 'off' 상태에 있도록 설정하였다. 그리고 실험이 진행됨에 따라 각 차량은 주어진 on/off 확률에 따라 주기적으로 자신의 상태 변화를 검사한다. 따라서 특정 차량의 주변 네트워크 토폴로지는 계속해서 변화한다.

첫번째 실험은 원천지와 목적지 노드들 간의 거리 (360, 720, 1080, 1440, 1800m)와 on/off 확률(0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4)의 변화에 따른 종단 간 지연시간(end-to-end delay)과 전송률(delivery ratio)의 변화를 측정하였다. MMFP의 성능은 포워드 테이블의 엔트리 유효 시간을 가중치로 사용하는 MMFP-RT와 RSSI를 가중치로 사용하는 MMFP-RSSI의 두 가지에 대해 측정하여 비교하였다.

그림 8과 9는 원천지와 목적지 노드의 거리를 1440m로 고정한 상태에서 on/off 확률의 변화에 따른 MMFP와 AODV의 성능 변화를 나타낸다. 그림 8은 on/off 확률값의 크기에 상관없이 MMFP의 종단 간 지연시간이 AODV에 비해 항상 낮은 것을 나타낸다. On/off 확률 값이 0.1과 0.4일 때, MMFP-RSSI는 14ms와 13ms를 나타내었으며 MMFP-RT는 50ms와 48ms가 측정되었고 AODV는 128ms와 238ms를 나타내었다.

우리는 on/off 확률이 증가함에 따라 AODV가 빈번한 경로 재설정으로 인하여 큐잉 지연시간이 증가함을 관찰할 수 있었으며 이는 결과적으로 종단 간 지연시간 증가의 원인이 되었다. 그에 비하여 MMFP는 암묵적 다중경로의 생성으로 인하여 경로 단절 시에도 추가적인 지연시간의 발생 없이 데이터 포워딩이 가능 했으며

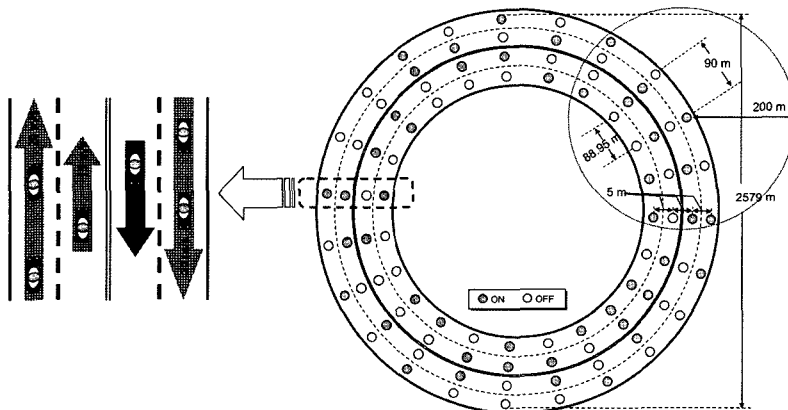


그림 7 4차선 반대방향 진행 고속도로 시나리오

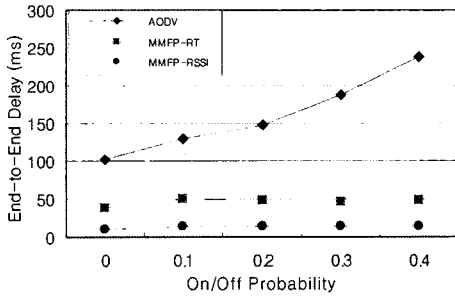


그림 8 실험 1: on/off 확률값의 변화에 따른 중단 간 지연시간의 변화

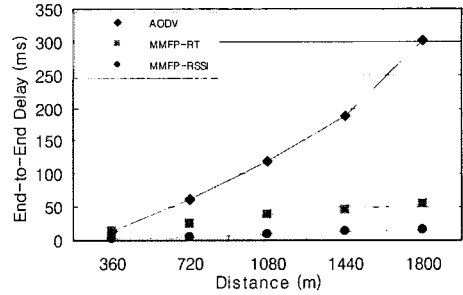


그림 10 실험 1: 거리의 변화에 따른 중단 간 지연시간의 변화

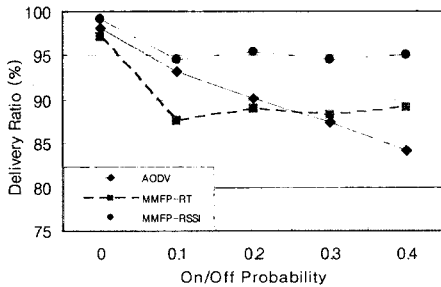


그림 9 실험 1: on/off 확률값의 변화에 따른 전송률의 변화

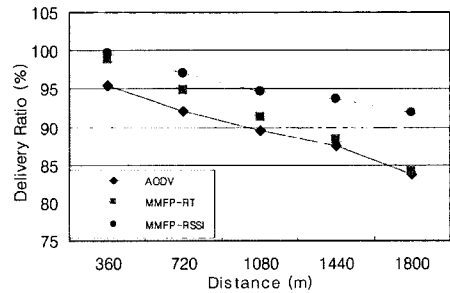


그림 11 실험 1: 거리의 변화에 따른 전송률의 변화

따라서 on/off 확률의 증가에도 불구하고 일정한 중단 간 지연시간을 나타내었다. 특히, MMFP-RSSI는 MMFP-RT에 비하여 상대적으로 낮은 중단 간 지연시간을 나타내었는데 이는 MMFP-RSSI의 경우 송신 노드에서 가장 멀리 떨어진 노드가 포워딩 노드로 선정되기 때문에 MMFP-RT에 비하여 원천지와 목적지 노드 간의 평균 홉 카운트(MMFP-RSSI: 9.1홉, MMFP-RT: 10.2홉)가 더 작기 때문이며 또한 포워딩 경쟁 노드들 간의 black-burst 과정 시 동일한 가중치를 가진 이웃 노드들이 존재할 경우 발생하는 ACK 충돌로 인한 중복 프레임의 발생이 더 적었기 때문이다.

그림 9에서 우리는 on/off 확률의 변화에 관계없이 MMFP-RSSI가 상대적으로 MMFP-RT와 AODV에 비해 가장 높은 전송률을 나타냄을 알 수 있다. 그러나 on/off 확률이 0.1일 때 MMFP-RT(88%)는 AODV(93%)에 비해 낮은 전송률을 기록하였다. 이는 MMFP-RT의 경우 on/off 상태 전환 시 발생하는 큐 리셋과 숨은 노드 문제(hidden node problem)로 인한 프레임 손실이 AODV의 경로 단절로 인한 프레임 손실에 비해 더 많기 때문이다. 그러나 on/off 확률이 증가함에 따라 경로 단절로 인한 AODV의 프레임 손실 폭이 더 커지게 되며 결과적으로 on/off 확률이 0.4일 때에는 MMFP-RSSI(95%)와 MMFP-RT(89%)가 AODV(84%)에 비해 높은 전송률을 나타내었다.

그림 10과 11은 on/off 확률이 0.3일 때 원천지와 목적지 노드간의 거리의 변화에 따른 MMFP와 AODV의 중단 간 지연시간과 전송률을 측정 한 것이다. 그림 10에서 MMFP-RT와 MMFP-RSSI가 원천지와 목적지 노드간의 거리가 360m(MMFP-RSSI: 2.2ms, MMFP-RT: 13.5ms, AODV: 12.8ms)일 때를 제외하고는 항상 더 낮은 중단 간 지연시간을 나타내었다. 거리가 1800m로 증가할 경우 MMFP-RSSI는 16.9ms, MMFP-RT는 53ms로 증가하였으며 AODV는 302ms로 대폭 증가하였다. 이는 AODV의 경우 거리가 증가함에 따라 경로 단절의 발생을 증가 및 이로 인한 누적 큐잉 지연시간의 증가로 인해 중단 간 지연시간이 급격히 증가하기 때문이다. 그러나 MMFP의 경우 AODV에 비해 상대적으로 거리에 따른 중단 간 지연시간의 증가폭이 작았으며 그 이유는 경로 단절로 인한 큐잉 지연시간의 발생이 작았기 때문이다. 추가적으로, MMFP-RSSI가 가장 낮은 중단 간 지연시간을 나타내었다. 그림 11에서 MMFP와 AODV의 전송률은 거리가 증가함에 따라 전체적으로 감소하였으며 평균적으로 MMFP-RSSI의 전송률이 가장 높게 측정되었다. 거리가 360m에서 1800m로 증가할 때 MMFP-RSSI의 전송률은 99%에서 91%로 감소하였고 AODV는 95%에서 83%로 감소하였다.

두번째 실험은 차량이 반대 방향으로 운행중인 4차선 도로에서 원천지와 목적지 노드들 간의 거리(720, 1080,

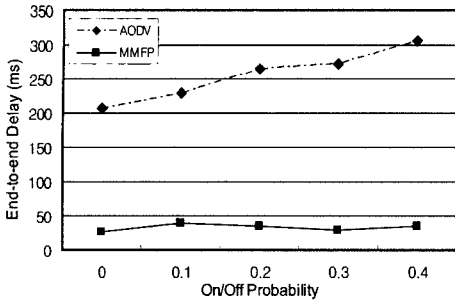


그림 12 실험 2: on/off 확률값의 변화에 따른 중단 간 지연시간의 변화

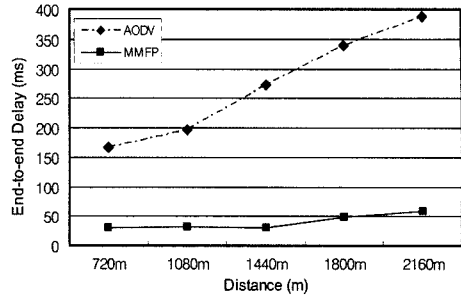


그림 14 실험 2: 거리의 변화에 따른 중단 간 지연시간의 변화

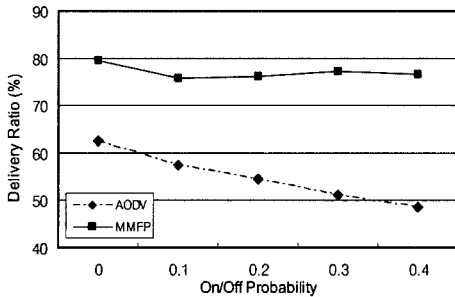


그림 13 실험 2: on/off 확률값의 변화에 따른 전송률의 변화

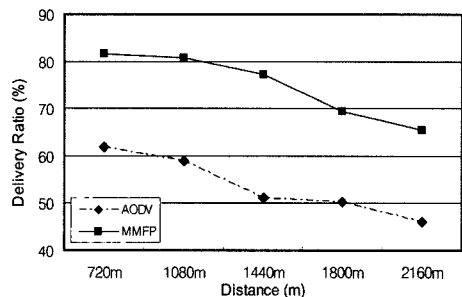


그림 15 실험 2: 거리의 변화에 따른 전송률의 변화

1440, 1800, 2160m)와 on/off 확률(0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4)의 변화에 따른 중단 간 지연시간(end-to-end delay)과 전송률(delivery ratio)의 변화를 측정하였다. MMFP의 가중치는 첫번째 실험에서 얻어진 결과를 바탕으로 RSSI만을 사용하였으며 그림 7은 두번째 실험의 시나리오를 나타낸다.

그림 12와 13은 on/off 확률의 변화에 따른 MMFP와 AODV의 성능 변화를 나타내며 원천지와 목적지 노드간의 통신 시작 거리는 1440m로 설정하였다. 그림 12와 13에서 우리는 MMFP가 on/off 확률값의 변화에 상관없이 AODV에 비해 항상 높은 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다. On/off 확률값이 0.1과 0.4일 때, MMFP에서는 27ms와 34ms의 중단 간 지연시간과 79.6%와 76.5%의 전송률이 측정된 것에 비하여 AODV는 207ms와 306ms의 중단 간 지연시간과 62.5%와 48.6%의 전송률을 나타내었다. 이는 첫번째 실험 시나리오와 마찬가지로 AODV의 경우 빈번한 경로 단절 및 재설정으로 인한 큐잉 지연 시간 증가와 패킷 손실로 인해 성능 저하가 발생하는데 비해 상대적으로 MMFP는 암묵적 다중경로의 생성을 통하여 경로 단절 시에도 추가적인 경로 생성 과정 없이 패킷 포워딩이 가능하기 때문이다. 특히, 두번째 시나리오의 경우 반대 방향 진행 차량간 통신 시 통신 하는 차량간의 높은 상대 속도로 인한 경

로 단절의 발생 빈도 증가와 rician fading 모델의 사용을 통한 추가적인 패킷 손실로 인하여 MMFP와 AODV 간의 성능 차이가 더 확연하게 드러나게 되었다.

그림 14와 15는 on/off 확률값이 0.3일 때, 원천지와 목적지 노드간의 거리 변화에 따른 MMFP와 AODV의 성능 변화를 나타낸다. 거리가 증가함에 따라 MMFP와 AODV 모두 중단 간 지연시간이 증가하였으며 전송률은 감소하였으나 MMFP가 항상 AODV 보다 높은 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. AODV는 거리가 720m와 2160m일 때, 중단 간 지연시간은 166ms와 388ms이 측정되었으나 이에 비하여 MMFP는 29ms와 58ms가 측정되었다. 또한 AODV의 전송률은 61.8%에서 46%로 감소한데 비해 MMFP는 81.6%와 65.5%를 나타내었으며 결과적으로 MMFP가 거리값의 변화에 관계없이 약 20%의 더 높은 전송률을 나타내었다. 이는 거리가 증가함에 따라 AODV의 경우 경로 단절 및 재설정으로 인한 지연 시간 및 패킷 손실이 급격히 증가하는데 비하여 MMFP는 암묵적 다중 경로를 이용한 패킷 포워딩을 통해 추가적인 지연시간의 발생 없이 패킷 전달이 가능하기 때문이다.

5. 결론

본 논문에서 우리는 차량간 통신 환경에서 별도의 경로 설정 과정 및 위치 정보와 같은 추가적인 정보를 사

용하지 않으면서도 멀티 홉 패킷 전송이 가능한 새로운 멀티 홉 라우팅 프로토콜인 MMFP를 제안하였다. 제안한 MMFP는 경로 설정 및 유지 과정이 필요 없기 때문에 차량의 높은 이동성으로 인하여 빈번한 경로 단절이 발생할 수 있는 차량간 통신 환경에서 신속한 정보 전달을 위해 적합하게 사용될 수 있다. 또한 우리는 고속도로 환경을 모델링한 실제적인 실험 시나리오를 통해서 MMFP가 AODV의 성능을 비교, 분석하였으며 실험 결과는 MMFP가 빈번한 경로 단절 및 재설정으로 인해 성능 저하가 발생하는 AODV에 비해 상대적으로 높은 성능을 나타냄을 보인다. 향후에는 MMFP의 암묵적 다중경로 생성을 통한 성능향상에 관하여 수학적 분석을 통하여 그 효과를 증명하기 위한 과정을 진행할 것이다.

참고 문헌

- [1] C.E.Perkins and P. Bhagwat, "High Dynamic Destination Sequenced Distance-Vector Routing(DSDV) for Mobile Computers," In Proc. Of ACM SIGCOMM'94, pp. 234-244, October 1994.
- [2] D. Johnson and D. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," drift-ietf-manet-dsr-09.txt, IETF Internet draft, April 2003.
- [3] C. Perkins, E. Belding-Royer and S. Das, "Ad Hoc On-demand Distance Vector(AODV) Routing," IETF RFC 3561, July 2003.
- [4] Z.J. Haas and M.R. Pearlman, "The Zone Routing Protocol(ZRP) for Ad hoc Networks," draft-ietf-manet-zone-zrp-04.txt, IETF Internet Draft, Nov. 1997.
- [5] Martin Mauve, Jörg Widmer, "A Servey on Position-Based Routing in Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Network, Vol.15, No.6, 2001.
- [6] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," In Proceedings of the sixth annual ACM/IEEE International Conference on Mobile computing and networking(MobiCom'00), pp. 243-254, Boston, Massachusetts, August 2000.
- [7] Christian Lochert, Hannes Hartenstein, Jing Tian, Holger Füßler, Dagmar Herrmann, Martin Mauve. "A Routing Strategy for Vehicular Ad Hoc Networks in City Environments," IEEE Intelligent Vehicles Symposium, June 2003.
- [8] Holger Füßler, Jörg Widmer, Martin Mauve, and Hannes Hartenstein, "A Novel Forwarding Paradigm for Position-Based Routing(with Implicit Addressing)," in IEEE Computer Communications Workshop(CCW 2003), pp. 194-200, Dana Point, CA, 2003.
- [9] S. Basagni et al., "A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility(DREAM)," Proc. 4th Annual ACM/IEEE Int. Conf. Mobile Computing and Networking, MOBICOM '98, Dallas, TX, USA, pp. 76-84, 1998.
- [10] Y.-B. Ko and N. H. Vaidya, "Location-Aided Routing(LAR) in Mobile Ad Hoc Networks," ACM/Baltzer WINET J., Vol.6, No.4, pp. 307-21, 2000.
- [11] Santos, R.A.; Edwards, R.M.; Edwards, A., "Cluster-based location routing algorithm for vehicle to vehicle communication," Radio and Wireless Conference, 2004 IEEE, pp. 39-42.
- [12] L. Blazevic, L. Buttyan, S. Capkun, S. Giordano, JP. Hubaux, and J. Le Boudec., "Self-organization in mobile ad-hoc networks: the approach of terminodes," IEEE Communication Magazine, 2001.
- [13] ANSI/IEEE, "802.11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY).
- [14] Sobrinho, J.L. Krishnakumar, A.S., "Distributed multiple access procedures to provide voice communications over IEEE 802.11 wireless networks," GLOBECOM '96. Communications: The Key to Global Prosperity, Vol.3, pp. 1689-1694, Nov. 1996.
- [15] Jacob, L., Li Xiang, Zhou Luying, "A MAC protocol with QoS guarantees for real-time traffics in wireless LANs," ICICS-PCM 2003, Vol.3, pp. 1962-1966, Dec. 2003.
- [16] T. S. Rappaport, Wireless communications, principles and practice, Prentice Hall, 1996.
- [17] The Network Simulator(ns-2), <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [18] G. L. Stüber, Principles of Mobile Communication, Kluwer Academic 1996.



이우신

2001년 2월 광운대학교 컴퓨터공학과 학사. 2003년 2월 광운대학교 컴퓨터공학과 석사. 2003년 3월~현재 광운대학교 컴퓨터공학과 박사과정. 관심분야는 크로스레이 설계, 이동 멀티홉 라우팅, 무선 멀티홉 릴레이 네트워크, MAC 포워딩



이혁준

1987년 8월 University of Michigan Computer Science 학사. 1989년 6월 Syracuse University, Computer Science 석사. 1993년 12월 Syracuse University, Computer Science 박사. 1994년 3월~1996년 2월 삼성전자(주) 멀티미디어 연구소 선임연구원. 1996년 3월~현재 광운대학교 컴퓨터공학과 정교수. 관심분야는 무선 네트워킹, 이동 컴퓨팅, 인터넷 분산컴퓨팅