

차량간 통신을 위한 경쟁 기반 멀티 홉 MAC 포워딩 프로토콜

Contention-based Multi-hop MAC Routing Protocol for Inter-vehicular Communication

이우신

(광운대학교 컴퓨터공학과,
wlee@kw.ac.kr)

이혁준

(광운대학교 컴퓨터공학과,
hlee@kw.ac.kr)

박 인

(광운대학교 컴퓨터공학과,
inpark@kw.ac.kr)

신홍철

(광운대학교 컴퓨터공학과,
shh9980@kw.ac.kr)

Key Words : ITS, WAVE, P1609, V2V

목 차

- | | |
|-------------------------|------------------|
| I. 서론 | 4. 시퀀스 번호 테이블 유지 |
| II. 멀티홉 MAC 포워딩 프로토콜 | III. 실험 및 성능 분석 |
| 1. MMFP의 기본 알고리즘 | IV. 결론 |
| 2. 포워딩 테이블의 유지 | 참고문헌 |
| 3. 경쟁 기반 포워딩 노드 선택 알고리즘 | |

I. 서론

Intelligent Transport System (ITS)는 기존 교통체계에 전자, 정보, 통신, 제어 등의 지능형 기술을 접목함으로써 운전자에게 신속하고 안전한 운전 환경을 제공하기 위한 차세대 교통체계이다. ITS는 차량에 장착된 다양한 종류의 센서들과 차량간 통신(inter-vehicular communication)을 통하여 공공 안전 서비스를 비롯한 다양한 응용 서비스를 제공할 수 있다. 차량간 통신은 기간망의 통신 범위를 확대할 수 있을 뿐만 아니라 기지국의 경유 없이 신속한 정보의 전파를 가능하게 함으로써 통신 장비의 설치비용 감소 및 네트워크의 통신 용량 증가에 기여할 수 있다. 이러한 차량간 통신은 멀티 홉 무선 라우팅을 통하여 이루어지며 애드혹(ad hoc) 네트워크의 응용 분야중 하나이다.

기존 애드혹 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 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[6-8] 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 이러한 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 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 가중치 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 동작

을 위하여 IEEE 802.11 MAC[9] 계층을 확장하여 설계하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MMFP의 알고리즘에 관한 설명을 진행하고 3장에서는 실험을 통하여 MMFP의 성능을 분석한다. 마지막으로, 4장에서는 결론 및 향후 계획을 논의한다.

II. 멀티홉 MAC 포워딩 프로토콜

MMFP는 각 노드들이 수신한 프레임의 목적지 주소가 포워드 테이블(forward table)에 등록되어 있는지의 여부에 따라 프레임용 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.

1. MMFP의 기본 알고리즘

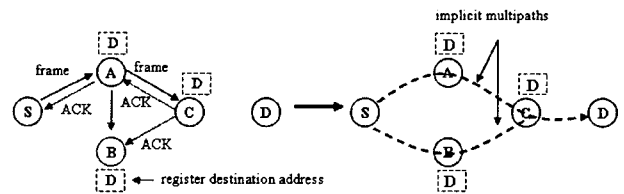
테이블에 등록되어 있을 경우 유니캐스트 방식으로 프레임을 포워딩 하며 그렇지 않을 경우 플러딩 방식으로 모든 이웃 노드들에게 프레임을 전송한다. 이때, 유니캐스트 포워딩은 다음 홉(next hop) 주소 정보를 기반으로 하여 종단 간(end-to-end) 경로를 따라 전송되는 기존의 토폴로지 기반 라우팅 프로토콜의 방식과는 다르게 동작한다. 각 노드는 경로 설정 과정의 부하를 줄이기 위하여 목적지 노드에 대한 경로 정보를 유지하지 않으며 따라서 다음 홉 노드에 대한 정보는 존재하지 않는다. 단지 각 노드는 자신으로부터 목적지 노드에 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 포워딩 함으로써 결과적으로는 유니캐스트와 동일한 방식으로 멀티 홉 전송이 이루어진다. 이러한 전송 방식은 형식적으로는 위치 기반 라우팅과 흡사하다.

암목적 유니캐스트 프레임의 포워딩 노드는 포워드 테이블 엔트리의 유효 시간(refresh time), RSSI(Received Signal Strength Indicator), 홉카운트, 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 프레임 수신한 노드에서는 ACK를 전송하며 이때 가장 높은 가중치 값을 가지는 노드가 가장 먼저 ACK를 전송하고 ACK를

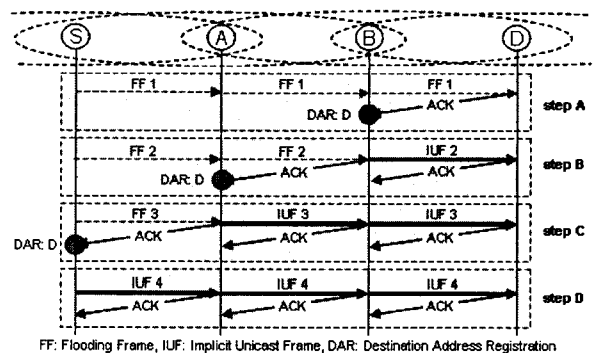
수신한 다른 이웃 노드들은 포워딩을 자제하고 수신한 암목적 유니캐스트 프레임을 폐기한다. 이러한 가중치 기반 ACK 전송을 위하여 가장 긴 재밍 신호(jamming signal)를 전송한 노드가 통신 매체를 예약하는 black-burst[10,11] 방식을 사용한다. 최종 목적지 노드는 프레임 수신 후 SIFS 가 지난 뒤에 ACK를 전송하도록 함으로써 가장 높은 가중치를 보장한다. 동일한 가중치를 갖는 노드들이 다수 존재할 경우 ACK 충돌(collision)이 발생할 수 있으며 이를 방지하기 위해서는 충돌해지(collision resolution)가 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 2.3절에서 논의한다.

2. 포워딩 테이블의 유지

포워드 테이블의 주 목적은 모든 도달 가능한 노드에 관한 정보를 유지하는 것이다. 포워드 테이블의 각 엔트리는 {destination_addr, refresh_timer}의 두 필드로 구성되며 destination_addr은 도달 가능한 노드들의 주소를 나타낸다. refresh_timer는 해당 엔트리의 유효기간을 나타내며 값이 0이 되면 그 엔트리는 소멸된다. 각 노드는 수신 프레임으로부터 이 정보를 유추해내며 다음은 정보 유추 동작의 2가지 경우를 나타낸다.



<그림 1> 암목적 다중경로 생성의 예



<그림 2> 포워드 테이블 업데이트의 예

첫 번째로 데이터 프레임을 수신한 경우에는 원천지 및 송신 노드가 역방향으로 도달 가능함을 알 수 있으며, 따라서 원천지 및 송신 주소를 반영하여 포워드 테이블의 엔트리를 등록 하거나 기존 엔트리가 존재할 경우 refresh_timer를 갱신한다. 두 번째로 ACK를 수신한 경우는 ACK가 자신에게 전송되었는지의 여부에 따라 두 가지 세부 경우로 나뉜다. 해당 노드

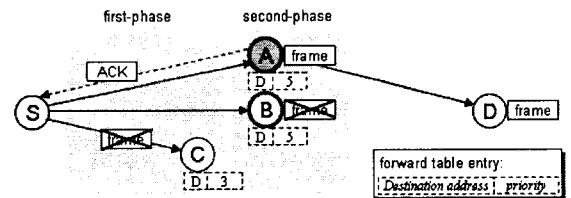
가 전송한 데이터 프레임에 대한 ACK를 수신한 경우에는 ACK를 전송한 이웃 노드를 통하여 목적지 노드에 도달되는 경로가 존재하거나 혹은 여전히 유효하다는 의미이기 때문에 암목적 유니캐스트 프레임에 대한 ACK일 경우 전송한 데이터 프레임의 목적지 주소에 해당되는 기존의 엔트리를 갱신하며 플러딩 프레임에 대한 ACK일 경우 새로운 엔트리를 등록한다. 마지막으로 이웃 노드가 전송한 데이터 프레임에 대한 ACK를 수신한 경우에는 데이터 프레임을 전송한 이웃 노드를 통하여 목적지 노드에 도달 가능하기 때문에 수신한 데이터 프레임의 목적지 주소를 포워드 테이블에 등록한다.

그림 1에서 우리는 암목적 다중경로(multipath)가 생성되는 것을 관찰할 수 있다. 즉, B가 D를 포워드 테이블에 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 프로토콜들에 비하여 MMFP는 별도의 경로 재설정 과정 없이 프레임 포워딩이 가능하다.

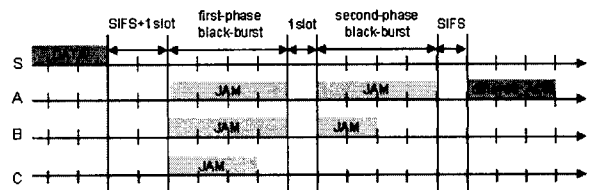
목적지 노드가 포워드 테이블에 등록되어 있지 않은 경우 송신 노드는 플러딩 프레임을 주변에 모든 이웃 노드들에게 브로드캐스트 한다. 플러딩 프레임은 목적지 노드의 주소가 포워드 테이블에 등록된 노드에 도달할 때까지 반복적으로 재플러딩 되어서 전송된다. 목적지 주소가 등록된 노드는 플러딩 프레임을 암목적 유니캐스트 프레임으로 변환하여 전송하며 수신 노드로부터 ACK를 수신한다. 이때, 그림 1에서처럼 데이터 프레임과 ACK를 수신한 주변의 이웃 노드들은 자신의 포워드 테이블에 목적지 주소에 해당되는 엔트리를 등록한다. 이러한 포워드 테이블 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 2는 이와 같은 과정을 나타낸다. S는 D가 포워드 테이블에 등록되어 있지 않기 때문에 플러딩 프레임을 전송하며 이웃 노드인 A도 수신한 플러딩 프레임을 재플러딩 한다. B는 D가 포워드 테이블에 등록되어 있기 때문에 A로부터 수신한 플러딩 프레임에 대해 ACK를 전송하고 암목적 유니캐스트 프레임을 포워딩 한다. 이때, ACK를 수신한 A는 D를 포워드 테이블에 등록하게 되며 S로부터 다음 플러딩 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. 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 프레임에 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.



(a) A wins a contention and forwards the frame



(b) Forwarding node selection using two-step black-burst

<그림 3> 2단계 black-burst를 이용한 경쟁 기반 포워딩 노드 선택 알고리즘의 동작 예

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. 본 논문에서 우리는 RSSI를 이용하여 가중치 값을 계산하며 RSSI는 다음과 같은 경로 손실 레디오 전파 모델(path-loss radio propagation model)[12]을 이용하여 통신하는 두 노드간의 거리를 반영하기 위해 사용한다.

$$\frac{P_{RX}}{P_{TX}} = Cd^{-\alpha} \quad (1)$$

PRX는 수신 신호의 세기비를 나타내며 d는 두 노드간의 거리를 나타내고 PTX는 전송 신호의 세기를 나타내며 C는 안테나 이득(antenna gain)과 파장(wavelengths), 그리고 안테나 높이(antenna height)를 반영한 상수값을 나타내고 α 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 승

리 하도록 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 3은 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 프레임을 폐기 한다. 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.

4. 시퀀스 번호 테이블 유지

MMFP는 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 {source_addr, sequence_num, forwarding_flag, refresh_timer}의 4개 필드 로 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. 이는 동시에 두개의 노드가 delayed_ack를 전송한 경우, ACK 충돌이 발생하며 송신자는 ACK를 수신하지 못했기 때문에 데이터 프레임을 재전송 하게 된다. 이때, 재전송된 프레임의 시퀀스 번호가 중복되었기 때문에 수신 노드들은 재전송된 프레임을 중복 프레임으로 인식하여 폐기 한다. 따라서 송신자는 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.

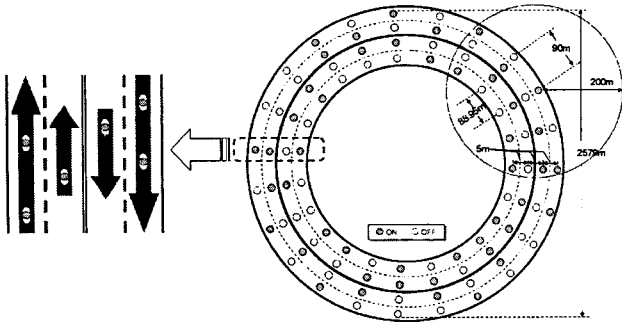
Forwarding_flag은 초기값은 0이며 해당 프레임을 포워딩한 경우 1로 설정하여 중복된 프레임을 수신했을 때 프레임 헤더의 retry_field값과 forwarding_flag 값이 모두 1일 경우 delayed_ack의 충돌이 발생했음을 인지하고 ACK를 재전송 하도록 함으로써 포워드 테이블 오류를 방지한다.

III. 실험 및 성능 분석

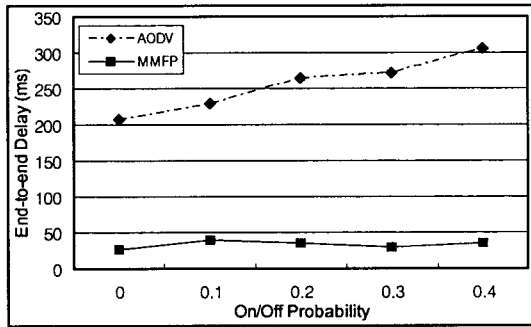
MMFP의 성능을 분석하기 위해서 우리는 ns-2 시뮬레이터를 이용하여 AODV와 성능을 비교하였다. MMFP는 네트워크와 IEEE 802.11 MAC 계층 간에 서브 계층으로 구현하였으며 ns-2[13] 시뮬레이터의 802.11b 모듈에 설정되어 있는 시스템 파라미터를 변경하여 802.11g의 ERP-OFDM을 구현하였다. 시뮬레이션 시나리오는 4차선 고속도로를 운행 중인 360개 차량간의 통신을 나타내며 도로상에 차량이 진입하고 빠져나가는 효과를 나타내기 위하여 on/off 상태를 정의하였다. 'on' 상태는 차량이 고속도로에 진입해서 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.

각 노드의 전송 거리는 200m이며 전송 속도는 54Mbps로 설정하였다. 두 노드간의 거리는 차선에 따라 90m와 88.95m로 설정하였으며 다른 차선에 존재하는 노드간의 거리는 초기에 5m로 설정하였다. 동일한 차선에 존재하는 모든 노드들은 같은 속도로 움직이며 4개의 차선에서 운행되는 노드간의 속도 차이는 최대 40m/s로 설정하였다. 10개의 랜덤하게 선택된 노드들이 30초 동안 10pkts/s의 트래픽을 주어진 거리에 위치하는 목적지 노드와 통신 하도록 하였으며 실험이 진행됨에 따라 각 차량은 주어진 on/off 확률에 따라 주기적으로 자신의 상태를 변화하도록 하였다. 실험은 원천지와 목적지 노드들 간의 거리(720, 1080, 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 전송율(delivery ratio)의 변화를 측정하였다.

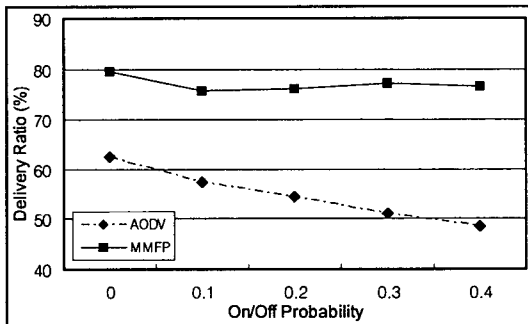
그림 5와 6은 원천지와 목적지 노드의 거리를 1440m로 고정된 상태에서 on/off 확률의 변화에 따른 MMFP와 AODV의 성능 변화를 나타낸다. 그림 5는 on/off 확률값의 크기에 상관없이 MMFP의 중단 간 지연시간이 AODV에 비해 항상 낮은 것을 나타낸다. On/off 확률값이 0.1과 0.4일 때, MMFP는 27ms와 34ms를 나타내었으며 AODV는 207ms와 306ms를 나타내었다. 이는 on/off 확률이 증가함에 따라 AODV가 빈번한 경로 재설정으로 인한 지연시간 증가로 고통 받기 때문이며 이에 비하여 MMFP는 암묵적 다중경로의 생성으로 인하여 경로 단절 시에도 추가적인 지연시간의 발생 없이 데이터 포워딩이 가능한 것을 확인할 수 있다. 그림 6에서 우리는 on/off 확률의 값이 0.1에서 0.4로 변화할 때 MMFP(79.6, 76.5%)가 상대적으로 AODV(62.5, 42.8%)에 비해 높은 전송율을 나타냄을 알 수 있다. 이는 on/off 확률이 증가함에 따라 경로 단절로 인한 AODV의 프레임 손실 폭이 증가하게 되기 때문이다.



<그림 4> 4-lane 양방향 진행 시나리오



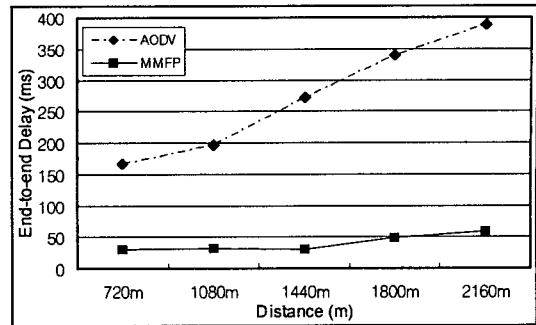
<그림 5> End-to-End delay vs. on/off probability



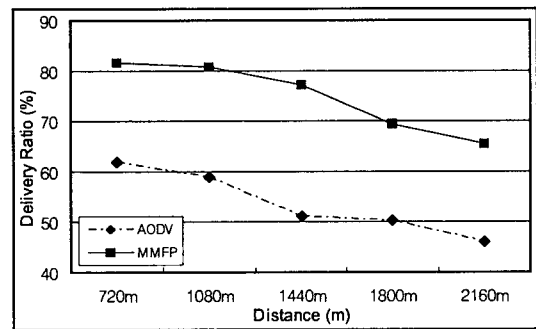
<그림 6> Delivery ratio vs. on/off probability

그림 7과 8은 on/off 확률이 0.3일 때 원천지와 목적지 노드 간의 거리의 변화에 따른 MMFP와 AODV의 종단 간 지연시간과 전송율을 측정된 것이다. 그림 8에서 MMFP-RT와 MMFP-RSSI가 원천지와 목적지 노드간의 거리의 변화에 관계없이 항상 MMFP가 더 낮은 종단 간 지연시간을 나타내는 것을 확인할 수 있다(720m(MMFP: 29ms, AODV: 166ms), 2160m(MMFP: 58ms, AODV: 388ms)). 이는 AODV의 경우 거리가 증가함에 따라 경로 단절의 발생을 증가 및 이로 인한 누적 큐잉 지연시간의 증가로 인해 종단 간 지연시간이 급격히 증가함에 비하여 MMFP는 경로 단절로 인한 큐잉 지연시간의 발생이 작기 때문에 상대적으로 지연 시간의 증가폭이 낮은 것을 확인할 수 있다. 그림 9에서 MMFP와 AODV의 전송율은 거리가 증가함에 따라 전체적으로 감소하였으며 평균적으로 MMFP가 AODV에 비하여 전송율이 가장 높게 측정되었다. 거리가 720m에서 2160m로 증가할 때 MMFP의 전송율

은 81.5%에서 65.5%로 감소하였고 AODV는 61.8%에서 46%로 감소하였다.



<그림 7> End-to-end delay vs. distance



<그림 8> Delivery ratio vs. distance

IV. 결론

본 논문에서 우리는 경로 설정 과정 및 위치 정보와 같은 추가적인 정보를 사용하지 않는 새로운 멀티 홉 라우팅 프로토콜인 MMFP를 제안하였다. 제안한 MMFP는 경로 설정 및 유지 과정이 필요 없기 때문에 차량의 높은 이동성으로 인하여 신속한 정보 전달 및 지연시간에 민감한 차량간 통신 환경에 적합하다. MMFP는 IEEE 802.11 MAC을 확장하여 설계되었으며 이는 구현적인 측면에서도 높은 장점을 가질 수 있다. 추가적으로 MMFP에서 포워딩 노드 선택 과정과 플러딩 프레임 전송 시 위치 정보를 사용하도록 확장할 경우 더 높은 성능의 향상을 기대할 수 있을 것이며 이에 대한 연구를 진행할 계획이다.

참고문헌

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, Jrg 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), pages 243254, Boston, Massachusetts, August 2000.
7. Christian Lochert, Hannes Hartenstein, Jing Tian, Holger Fubler, Dagmar Herrmann, Martin Mauve. "A Routing Strategy for Vehicular Ad Hoc Networks in City Environments" IEEE Intelligent Vehicles Symposium, June 2003.
8. Holger Fuber, Jrg 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. ANSI/IEEE, "802.11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY)
10. 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. 16891694, Nov. 1996.
11. 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. 19621966, Dec. 2003.
12. T. S. Rappaport, Wireless communications, principles and practice, Prentice Hall, 1996.
13. The Network Simulator(ns-2). <http://www.isi.edu/nsnam/ns>