

차량 애드혹 네트워크에서 경쟁원도우를 이용한 메시지 브로드캐스트 기법

(A Message Broadcast Scheme using Contention Window in Vehicular Ad-hoc Network)

김태환[†] 홍원기^{††} 김희철^{††}
 (Tae-Hwan Kim) (Won-Kee Hong) (Hie-Cheol Kim)

요약 차량 애드혹 네트워크는 이동 애드혹 네트워크의 한 종류로서 ITS를 위한 핵심 기술이다. 차량 애드혹 네트워크는 기반시설의 도움 없이 차량 간의 무선통신을 통해 임시적으로 구성되며 메시지 중계 노드로 선정된 차량들을 통해 메시지가 전파된다. 그러나 차량 애드혹 네트워크는 기존의 이동 애드혹 네트워크 보다 네트워크 토플로지와 노드밀도의 변화가 아주 심하다. 따라서, 멀티-홉 브로드캐스트를 통해 메시지를 신속히 전파하기 위해서는 효과적인 릴레이 노드 선정기법이 요구된다. 본 논문에서는 차량 애드혹 네트워크에서 효율적으로 메시지를 전파하기 위한 경쟁원도우 기반 멀티-홉 브로드캐스트 기법을 제안한다. 제안한 기법은 각 노드가 최적화된 경쟁원도우를 계산하고 노드들 간의 경쟁을 통해 최적의 릴레이 노드가 선정되도록 한다. 실험결과, 제안한 기법은 기준의 거리기반 결정적 멀티-홉 브로드캐스트 기법에 비하여 중간 단계에서 우수한 성능을 보였다.

키워드 : 차량 애드혹 네트워크, 멀티-홉 브로드캐스트, 메시지 전파, 중계 노드, 거리기반 브로드캐스트 기법

Abstract Vehicular ad-hoc network (VANET), a kind of mobile ad-hoc network (MANET), is a key technology for building intelligent transportation system (ITS). VANET is automatically and temporarily established through vehicle-to-vehicle communication without network infrastructure. It has the characteristics that frequent changes of network topology and node density are occurred and messages are disseminated through several relay nodes in the network. Due to frequent change of network topology and node density, however, VANET requires an effective relay node selection scheme to disseminate messages through the multi-hop broadcast. In this paper, we propose a contention window based multi-hop broadcast scheme for VANET. Each node has an optimized contention window and competes with each other for a relay node. The experimental results show that the proposed scheme has a better performance than the distance-based deterministic broadcast scheme in terms of message propagation delay and network traffic.

Key words : Vehicular ad-hoc network, Multi-hop broadcast, Message dissemination, Relay node, Distance-based broadcast scheme

• 이 논문은 2006학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임

[†] 정희원 : 유비쿼터스 신기술 연구센터 선임연구원
 tkim@utrc.re.kr

^{††} 정희원 : 대구대학교 정보통신공학과 교수
 wkong@daegu.ac.kr
 (Corresponding author)
 hckim@daegu.ac.kr

논문접수 : 2007년 4월 16일
 심사완료 : 2007년 8월 29일

: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대해서는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제34권 제6호(2007.12)
 Copyright@2007 한국정보과학회

1. 서론

VANET(vehicular ad-hoc network)은 ITS(intelligent transportation system)을 위한 기술로서 이동 애드혹 네트워크(mobile ad-hoc network)와 무선 센서 네트워크(wireless sensor network)가 결합된 또 다른 형태의 네트워크이다. 정보통신 기술의 발달로 자동차는 이동 수단으로서의 기능을 벗어나 점차 전자 시스템화 되어가고 있다. 지능화된 자동차는 센서를 통해 자동차 내부의 이상 유무뿐만 아니라 주행 중인 도로상황 정보까지 인지 할 수 있다. 수집된 차량상태 정보 및 주행상황 정보는 차량들 간의 무선통신을 통해 운전자의 안전개선을

위한 정보로 이용된다. 이렇듯, VANET에서 자동차는 지능과 무선통신 능력을 가진 하나의 센서 노드로서의 기능을 담당한다. VANET은 차량 응급 상황 경고, 차선 변경 보조, 교차로 주행 보조, 도로 상태 경고 및 연쇄 충돌 경고 등 운전자의 안전운전을 위한 경고서비스에 이용될 수 있다. VANET은 기지국이나 액세스 포인트와 같은 기반시설을 이용하지 않고 차량들 간의 자율적인 무선통신을 통해 임시적으로 구성되는 네트워크이다 [1]. 운전자는 VANET을 통해 운전자의 안전과 관련된 시야를 확장할 수 있을 뿐만 아니라 다양한 교통정보를 제공받을 수 있다. 따라서 VANET은 차량의 안전과 효율성뿐만 아니라 교통흐름을 크게 개선할 수 있다.

위험지역 내에 있는 모든 노드들에게 경고 메시지를 전파하기 위해서는 멀티-홉 브로드캐스트가 요구된다. 애드혹 무선 네트워크에서 브로드캐스트는 주로 소스노드의 단일 홈 거리 내에 있는 모든 노드에게 동시에 동일한 메시지를 전달하기 위한 일대다 통신기법이다. 그러나 VANET에서 노드의 통신거리는 네트워크 내의 모든 노드와 통신이 가능할 만큼 충분히 길지 않다. 따라서 위험지역에 관련되어지는 모든 노드들에게 긴급 메시지를 전파하기 위해서는 네트워크 내의 노드들 중 선택된 몇몇 노드들을 통해 메시지를 전달하는 멀티-홉 브로드캐스트가 필요하다. 그러나 VANET은 MANET과 달리 빠른 노드 이동, 네트워크 토폴로지와 노드밀도의 빈번한 변화, 잦은 네트워크 단절 등의 특징을 갖는다[2]. 더욱이 VANET에서 긴급 메시지는 운전자의 안전과 밀접히 관련되어 있기 때문에 신속히 위험지역 내의 노드들에게 전파되어야 하며, 메시지 전파에 따른 네트워크 부하를 최소화 할 수 있어야 한다.

VANET을 위해 제안된 대표적인 멀티-홉 브로드캐스트 기법에는 플러딩 기반[3,4], 테이블 기반[5-8], 클러스터 기반[9,10], 거리기반[11-14] 브로드캐스트 기법들이 있다. 플러딩 기반 브로드캐스트기법은 노드의 높은 이동성에도 불구하고 우수한 메시지 도착율을 보이지만 노드의 밀도가 높을 경우에는 급격한 대역폭 낭비를 초래한다. 테이블 기반과 클러스터 기반 브로드캐스트 기법은 노드의 이동성과 네트워크 토폴로지가 빈번히 변할 경우에 제어메시지 교환의 증가에 따른 성능저하를 가져온다. 거리기반 브로드캐스트는 네트워크 부하가 낮고 메시지 전파 지연시간이 짧기 때문에 VANET에서 비교적 우수한 성능을 보인다. 그러나 네트워크 내의 노드밀도가 낮을 경우 메시지 전달 지연시간이 증가하는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 거리기반 브로드캐스트 기법의 노드밀도에 대한 성능 의존도를 개선하기 위한 경쟁원도우 기반 멀티-홉 브로드캐스트(contention-window based

multi-hop broadcast, CMB)기법을 제안한다. 기존에 제안되었던 거리기반 멀티-홉 브로드캐스트는 메시지 전달 노드를 선택하기 위해 소스노드로부터의 거리에 따라 맹목적으로 메시지 전달 대기시간이 결정되는 결정적 멀티-홉 브로드캐스트[15] 기법이다. 이러한 이유로, 브로드캐스트 프로토콜의 성능은 노드밀도에 크게 의존하게 된다. 제안한 기법은 소스노드로부터의 거리를 기반으로 최적화된 경쟁원도우의 크기를 계산한다. 그리고 메시지 전달을 담당할 릴레이 노드를 선정하기 위해 각 노드는 주어진 경쟁원도우 내에서 임의의 메시지 전달 대기시간을 선택한다. 가장 짧은 메시지 전달 대기시간과 네트워크 부하를 최소화하는 노드가 경쟁에서 이기게 되며, 이 노드가 릴레이 노드로 선정되어 브로드캐스트 메시지를 전파한다. 경쟁원도우를 사용한 릴레이 노드 선정방법은 노드밀도가 변할 경우에도 메시지 전파 지연시간과 네트워크 부하를 최소화 할 수 있다. 실험결과, 제안한 기법이 메시지 전파 지연시간과 네트워크 부하의 정량적 성능을 나타내는 합성성능 면에서 기존의 거리기반 결정적 멀티-홉 브로드캐스트 보다 노드밀도의 변화에 상관없이 우수한 성능을 보였다. 특히, 노드밀도가 낮을 경우에 제안한 기법이 80% 이상 우수한 합성성능을 보였으며, 약 50% 짧은 메시지 전파 지연시간을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 VANET을 위한 브로드캐스트 프로토콜의 관련 연구를 소개한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 경쟁원도우 기반 멀티-홉 브로드캐스트 기법을 설명한다. 4장에서는 제안한 기법의 성능평가를 수행하고 분석결과를 설명한다. 마지막으로, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 VANET에서의 브로드캐스트

VANET에서 브로드캐스트는 주로 VANET의 응용 서비스 중 하나인 응급상황 경고 서비스 (emergency warning service)[13]에 이용된다. 응급상황 경고서비스는 위험상황을 인지한 차량이 뒤따르는 차량들에게 경고 메시지를 신속하게 전달하여 위험지역의 차량들이 사전에 위험상황에 대처하도록 하는 서비스이다.

그림 1과 같이 멀티-홉 브로드캐스트에서 전파할 메시지와 메시지 전달 권한을 가진 노드를 소스노드라 하고, 소스노드가 전송한 메시지를 수신하여 이를 재전송하는 노드를 릴레이 노드라 한다. 따라서 메시지는 릴레이 노드로 선택된 R_1, R_2, R_3, R_4 노드를 통해 뒤따르는 노드들에게 브로드캐스트 된다. VANET의 멀티-홉 브로드캐스트에서 어떤 노드가 릴레이 노드로 선택 되느냐에 따라 메시지 전파 지연시간과 네트워크 부하 등의

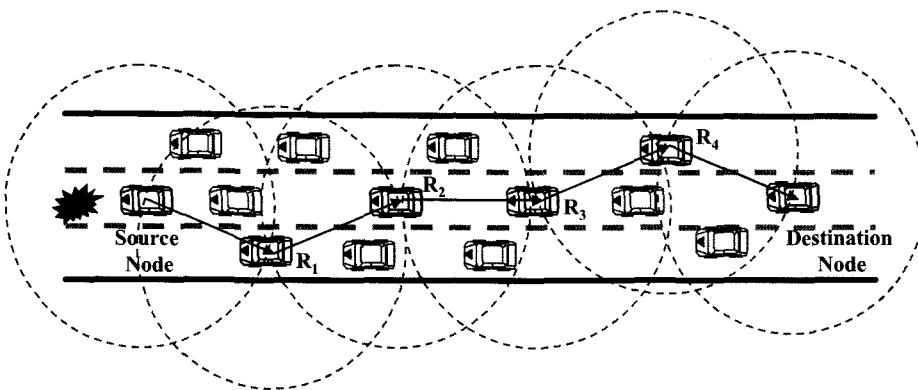


그림 1 VANET의 긴급 메시지 전파

표 1 VANET을 위한 브로드캐스트 프로토콜의 분류 및 특징

구 분	플러딩 기반	테이블 기반	클러스터 기반	거리기반
릴레이 노드 지정자	모든 노드가 릴레이 노드가 됨	소스노드	클러스터 헤더	없음
제어메시지	없음	필요함	필요함	없음
네트워크 토폴로지	수평적	수평적	계층적	수평적
메시지 도착율	매우 높음	높음	높음	매우 높음
노드의 이동 허용 정도	좋음	나쁨	나쁨	좋음
네트워크 토폴로지 변화에 대한 영향	낮음	네트워크 부하 증가	네트워크 부하 증가	낮음
노드밀도 증가의 영향	낮음	네트워크 부하 증가	네트워크 부하 증가	낮음
네트워크 부하	높음	높음	높음	낮음
종단간 메시지 전파 지연	중간	중간	중간	낮음
대표적 프로토콜	DOLPHIN, NB	TRADE, OAPB, UMB, FONIAN	SIMCOMM, CBLR	DDT, RBM, ODAM, SNB

성능이 큰 영향을 받는다. 표 1은 VANET을 위해 제안된 기존의 여러 멀티-홉 브로드캐스트 프로토콜들의 릴레이 노드 선정방법에 따른 분류와 특징들을 보여준다. 표 1과 같이 브로드캐스트 기법들은 플러딩 기반, 클러스터 기반, 테이블 기반, 거리기반 브로드캐스트 기법으로 나눌 수 있다.

기존의 플러딩은 구현이 용이하고 노드밀도와 이동성이 높을 때에도 우수한 메시지 도착율을 보이기 때문에 MANET에서 브로드캐스트 기법으로 많이 이용된다. 그러나 플러딩은 네트워크 내의 모든 노드가 메시지 전달에 참여하기 때문에 노드밀도가 증가함에 따라 대역폭과 메시지 전파 지연시간이 급격히 증가한다. VANET에서 플러딩 기반 브로드캐스트 기법은 플러딩에서 메시지 전달에 참여하는 노드의 메시지 재전송 횟수를 제한하여 네트워크 부하를 줄이는 방법을 제안하였으나, 플러딩의 브로드캐스트 스톰 문제[16]로 인하여 메시지 중복(redundant re-broadcast), 충돌(collision), 경쟁(contention) 등의 오버헤드는 크게 개선하지 못하였다. 플러딩 기반 브로드캐스트에는 NB[3], DOLPHIN[4]

등이 있다.

테이블 기반 브로드캐스트 기법은 각 노드들이 이웃 노드들과 주기적 혹은 전달 메시지 발생 시에 이웃 노드와 제어메시지 교환을 통해 이웃 노드 정보 리스트를 관리한다. 제어메시지에는 노드의 식별자, 노드의 위치, 주행방향, 속도 등의 정보가 포함되어 있어 각 노드들이 자신의 주변에 있는 노드들을 알 수 있다. 소스노드는 자신이 보유하고 있는 이웃 노드 정보를 검색하여 가장 최적의 위치에 있는 노드를 다음 릴레이 노드로 선택한다. 테이블 기반 브로드캐스트 기법은 노드의 이동성과 노드밀도가 비교적 낮을 때는 이웃 노드 정보 리스트의 유지비용이 낮기 때문에 비교적 우수한 성능을 보인다. 그러나 노드의 이동성 증가에 따른 네트워크 토폴로지가 빈번히 변할 경우에 이웃 노드의 위치정보 리스트 갱신을 위한 노드간의 제어메시지 교환이 빈번해 진다. 따라서 네트워크 부하뿐만 아니라 메시지 전파 지연시간이 증가하는 단점을 갖는다. 대표적인 테이블 기반 브로드캐스트 프로토콜에는 TRADE[5], OAPB[6], UMB[7], FONIAN[8] 등이 있다.

클러스터 기반 브로드캐스트 기법은 도로를 일정한 영역의 클러스터로 구분하고, 클러스터 헤더 노드를 통해 메시지를 전파하는 방식이다. 클러스터 헤더는 자신의 클러스터에 속해 있는 노드들의 식별자정보와 위치정보 등을 유지하고 관리한다. 이 기법 역시 네트워크 토플로지와 노드밀도의 변화가 작을 때는 비교적 우수한 성능을 보인다. 그러나 노드의 이동성이 증가하여 네트워크 토플로지 변화가 빈번해짐에 따라 클러스터 멤버 재구성과 클러스터 헤더 선정을 위한 제어메시지 교환이 증가하기 때문에 성능이 급격히 감소되는 단점을 갖는다. 또한, 계층적 토플로지 구조이기 때문에 클러스터 헤더는 클러스터 내로 유입 및 유출 되는 노드를 항상 감시하고 관리하여야 하기 때문에 클러스터 헤더 노드에게 부하가 집중되는 문제점이 있다. 클러스터 기반 브로드캐스트 프로토콜에는 SIMCOMM[9], CBLR[10] 등이 있다.

거리기반 브로드캐스트 기법은 이웃 노드와 제어메시지 교환이 필요 없고, 모든 노드들이 동등한 권한을 가지고 릴레이 노드 선출에 참여한다. 소스노드는 메시지를 전송하기 전에 메시지 내에 자신의 위치정보를 포함하여 전송한다. 메시지를 수신한 노드들은 소스노드로부터 거리를 기반으로 메시지 전달 대기시간을 계산한다. 따라서 메시지 전달 대기시간이 가장 먼저 만료된 노드가 릴레이 노드로 선정되는 방식이다. 이 기법은 메시지 전파를 위한 추가적인 오버헤드가 필요 없고 네트워크 토플로지 변화에 크게 영향을 받지 않기 때문에 다른 기법에 비하여 낮은 네트워크 부하와 짧은 메시지 전파 지연시간을 갖는다. 거리기반 브로드캐스트 프로토콜에는 DDT[11], RBM[12], ODAM[13], SNB[14] 등이 있다.

2.2 거리기반 멀티-홉 브로드캐스트

거리기반 멀티-홉 브로드캐스트 기법은 VANET의 네트워크 토플로지의 빈번한 변화에도 우수한 메시지도착율, 짧은 메시지 전파 지연시간, 낮은 네트워크 부하 등의 이점을 갖는다. 이 기법은 소스노드 혹은 사전에 정의된 특정 위치로부터의 거리에 따라 정적인 메시지 전달 대기시간을 갖는 결정적 브로드캐스트 방식이다. 따라서 노드밀도가 높을 경우에는 짧은 메시지 전파 지연시간이 보장되지만, 노드밀도가 낮을 경우에는 메시지 전파 지연시간이 증가하는 단점을 갖는다.

그림 2는 대표적인 거리기반 브로드캐스트 프로토콜의 하나인 DDT[11]의 릴레이 노드 선정기법을 나타낸다. 소스노드로부터 d_i 의 거리에 있는 각 노드 N_i 는 소스노드로부터 거리에 반비례하는 메시지 전달 대기시간 t_i 를 갖는다. 따라서 소스노드로부터 가장 멀리 있는 노드 N_3 가 가장 짧은 메시지 전달 대기시간을 갖게 되며, 메시지 전달 대기시간이 가장 먼저 만료되기 때문에 노드 N_3 이 릴레이 노드로 선정된다. 노드 N_1 과 N_2 는 자

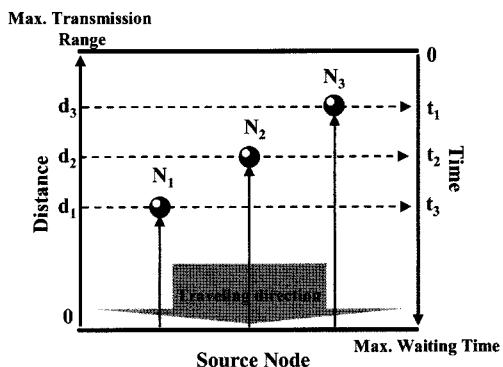


그림 2 DDT의 릴레이 노드 선정 방법

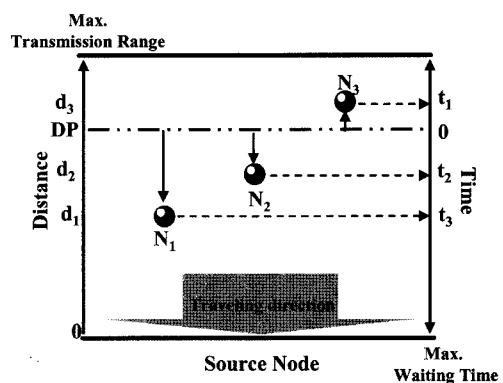


그림 3 SNB의 릴레이 노드 선정 방법

신 보다 뒤쪽에 있는 노드 N_3 로부터 메시지를 수신하게 되면 더 이상 메시지 재전송을 시도하지 않는다. DDT는 소스노드의 통신영역 가장자리에 근접한 노드일수록 짧은 메시지 전달 대기시간을 갖는다. 만약, 노드밀도가 낮아서 소스노드의 통신영역 가장자리와 가까운 위치에 노드들이 존재하지 않는다면 메시지 전파 지연시간은 그만큼 길어지게 된다. 또한, 소스노드의 최대 통신거리는 주위 환경에 많은 영향을 받기 때문에 최적의 메시지 전달 대기시간을 계산하기 어려운 단점이 있다.

SNB[14]는 DDT의 통신거리 변화에 따른 성능 저하를 개선하기 위해 제안된 기법이다. 그림 3과 같이 DDT는 소스노드가 통신영역 내의 노드들과 안정적으로 통신할 수 있는 위치 DP(designed position)를 설정하고, 각 노드들은 이 위치로부터의 거리를 기반으로 메시지 전달 대기시간을 결정한다. 소스노드의 통신영역 내의 노드 N_i 는 DP로부터의 거리에 비례하는 메시지 대기시간 t_i 를 갖는다. 따라서 DP로부터 가장 가까운 노드 N_3 가 가장 짧은 메시지 전달 대기시간을 갖기 때문에 릴레이 노드로 선정된다. SNB는 DP 설정을 통해 DDT

보다 안정적으로 보다 짧은 메시지 전달 대기시간을 가질 수 있으며, 소스노드의 최대 통신거리의 변화에도 영향을 받지 않는 이점이 있다. 그러나 SNB도 DDT과 같이 노드밀도에 따라 메시지 전파 지연시간이 의존되며, 최적의 DP를 선정하기 어려운 단점이 있다. 또한, 각 릴레이 노드의 소스노드로부터 거리가 DDT 보다 짧기 때문에 브로드캐스트 영역의 중복으로 인한 네트워크 부하가 증가하는 문제점이 있다.

3. 경쟁원도우를 이용한 릴레이 노드 선정

본 장에서는 거리기반 멀티-홉 브로드캐스트 프로토콜에서 노드밀도에 따른 메시지 전파 지연시간의 성능의존도를 개선하기 위한 경쟁원도우 기반 멀티-홉 브로드캐스트(contention-window based multi-hop broadcast, CMB) 기법을 제안한다. 제안한 기법은 소스노드로부터 거리를 기반으로 각 노드들의 경쟁원도우 크기를 계산한다. 그리고 주어진 경쟁원도우 내에서 노드들 간의 경쟁을 통해 릴레이 노드를 선정한다. 소스노드로부터 거리가 먼 노드일수록 릴레이 노드 선정을 위한 경쟁에서 이길 가능성이 가장 높으며 가장 짧은 메시지 전달 대기시간을 갖는다.

CMB는 각 노드가 주어진 경쟁원도우 내에서 임의의 메시지 전달 대기시간을 선택하도록 한다. 즉, 그림 4에서와 같이, 소스노드로부터 d_i 거리에 노드 N_i 가 위치해 있다고 가정하자. 각 노드 N_i 는 소스노드로부터 거리에 반비례하는 시간 t_i 를 최대 크기로 하는 경쟁원도우 $cw_i[0:t_i]$ 를 계산한다. 최초 계산된 노드 N_i 의 경쟁원도우 크기는 0보다 크거나 같고 t_i 보다 작다. 경쟁원도우의 크기는 소스노드로부터의 거리가 가까울수록 커지게 되고, 멀수록 작아지기 때문에 각 노드들은 소스노드의 거리에 따라 각기 다른 크기의 경쟁원도우를 갖는다. 릴레이 노드 선정을 위한 노드들 간의 경쟁을 위해 각 노

드들은 주어진 경쟁원도우 내에서 임의의 메시지 전달 대기시간을 선택한다. 가장 먼저 메시지 전달 대기시간이 만료된 노드가 릴레이 노드로 선정된다. 그러나 릴레이 노드 선정을 위한 경쟁에는 두 가지 조건이 있다. 첫째, 네트워크 내 노드들의 메시지 중복을 최소화하기 위해서는 소스노드로부터 가장 멀리 떨어진 노드가 릴레이 노드로 선정되도록 해야 한다. 소스노드의 통신영역의 가장자리에 가장 가까운 노드가 릴레이 노드로 선정되면 새롭게 브로드캐스트 되는 영역이 최대가 된다. 따라서 노드들의 메시지 중복이 최소가 된다. 둘째, 릴레이 노드로 선정된 노드는 소스노드로부터 거리에 상관 없이 가능한 가장 짧은 메시지 전달 대기시간을 갖도록 해야 한다. 이것은 릴레이 노드의 메시지 전달 지연시간이 짧은 수록 종단간 메시지 전파 지연시간도 함께 짧아지기 때문이다. 이 두 가지 조건을 만족하기 위해 CMB는 주어진 경쟁원도우의 크기를 최적화한다. 즉, 소스노드로부터 먼 노드일수록 주어진 경쟁원도우의 크기를 보다 작게 하여 짧은 메시지 전달 대기시간을 선택할 수 있도록 한다. 이것은 불필요한 메시지 전달 대기시간을 줄임으로써 소스노드로부터 가장 멀리 떨어진 노드가 보다 짧은 메시지 전달 대기시간을 선택하도록 하여 릴레이 노드 선정을 위한 경쟁에서 이기도록 한다. 또한, 노드밀도가 낮을 경우에 소스노드로부터 가장 먼 노드가 소스노드의 통신영역의 가장자리에 위치하지 않더라도 보다 짧은 메시지 전달 대기시간을 선택할 수 있도록 해준다.

경쟁원도우 크기의 최적화는 소스노드의 최대 통신반경에 대한 소스노드로부터의 거리의 비에 따라 결정된다. 즉, 소스노드로부터 가까운 노드일수록 경쟁원도우 크기의 최적화는 최소화가 되고 먼 노드일수록 최대가 된다. 그림 4에서 h 는 경쟁원도우 최적화 상수이며, 각 노드는 h 값에 따라 경쟁원도우의 크기를 조절한다. 모

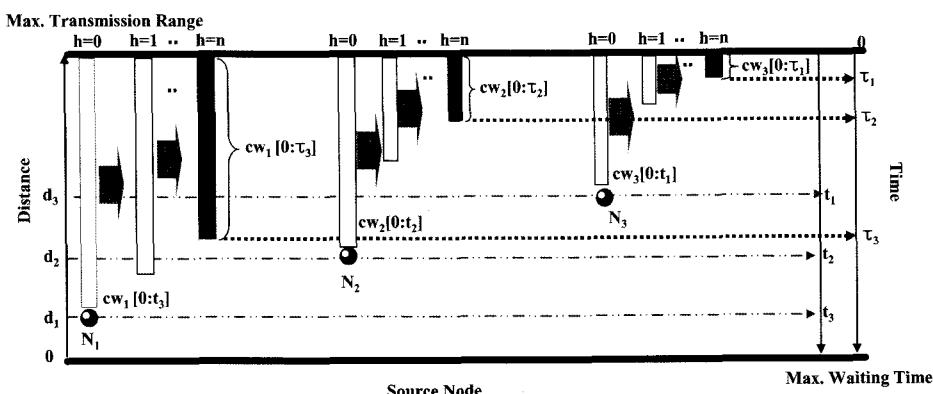


그림 4 CMB의 경쟁원도우를 이용한 릴레이 노드 선정 방법

든 노드들은 동일한 h 값을 갖는다. 즉, h 의 값이 0일 때 노드 N_i 는 $cwi[0:ti]$ 의 경쟁원도우를 가지게 되며, h 의 값이 증가함에 따라 소스노드의 최대 전송 거리에 대한 노드 N_i 의 소스노드로부터 거리의 비례 의해 $cwi[0:ti]$ 에서 $cwi[0:ti]$ 로 경쟁원도우의 크기가 줄어들게 된다. 따라서 소스노드로부터 멀리 떨어진 노드일수록 경쟁원도우의 최적화가 최대가 된다. 각 노드는 최적화된 경쟁원도우 범위 내에서 임의의 메시지 전달 대기 시간을 선택한다. 소스노드로부터 멀리 떨어진 노드는 보다 짧은 시간을 갖는 경쟁원도우를 갖기 때문에 가까운 노드보다 짧은 메시지 전달 대기시간을 선택할 수 있다. 소스노드로부터 d_i 거리만큼 떨어진 곳에 위치한 임의의 노드 N_i 의 메시지 전달 대기시간 wt_i 는 다음의 식을 통해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} wt_i &\in cwi[0:\tau_i] = \{t : 0 \leq t < \tau_i\} \\ \tau_i &= K \cdot \left(1 - \frac{d_i}{R}\right)^{h+1} \end{aligned} \quad (1)$$

여기에서, K 는 사전에 정의된 최대 메시지 전달 대기 시간을 나타내며, d_i 는 노드 N_i 의 소스노드로부터의 거리, R 은 소스노드의 최대 통신 반경, h 는 경쟁원도우 최적화 상수를 나타낸다.

그림 5는 식 (1)에서 최대 메시지 전달 대기시간 K 와 소스노드의 최대 통신반경 R 을 각각 1로 설정하였을 경우 최적화 상수 h 와 소스노드로부터의 거리에 따른 경쟁원도우의 크기 변화를 보여준다. h 의 값이 0일 때와 같이, 경쟁원도우의 최적화가 이루어지지 않았을 때는 소스노드로부터 거리에 따라 선형적인 경쟁원도우 크기를 보인다. 반면, h 의 값이 증가함에 따라 소스노드로부터 거리가 멀수록 가까운 거리에 비하여 경쟁원도우 크기의 감소비율이 커짐을 알 수 있다. 그러나 h 의 값이 증가함에 따라 가까운 거리의 경쟁원도우 크기도 먼 거리의 경쟁원도우 크기만큼 줄어든다. 따라서 경쟁원도우의 최적화가 부족할 경우에는 각 노드들의 경쟁원도우의 크기 감소폭이 작기 때문에 짧은 메시지 전달 대기 시간을 선택하기 어려우며, 소스노드로부터 먼 노드가 릴레이 노드 선정을 위한 경쟁에서 이길 가능성이 떨어진다. 반면, 경쟁원도우의 최적화가 과도할 경우에는 각 노드들이 보다 짧은 메시지 전달 대기시간을 선택할 수 있지만, 소스노드로부터 먼 거리에 노드가 위치해 있음에도 불구하고 가까운 노드가 보다 짧은 메시지 전달 대기시간을 선택하여 릴레이 노드로 선택될 가능성이 높아진다. 따라서 적당한 경쟁원도우 최적화 상수 h 값을 찾아야 한다. CMB에서 최적화 상수 h 의 값은 실험을 통해 가장 우수한 성능을 보이는 값으로 결정하도록 한다.

그림 4에서 식 (1)에 따라, 소스노드로부터 가장 가까

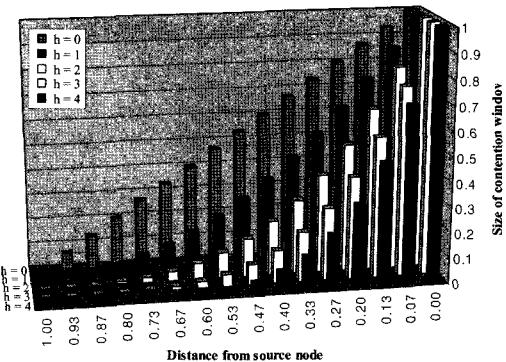


그림 5 최적화 상수 h 의 값에 따른 경쟁 원도의 크기 변화

이 위치한 노드 N_j 의 경쟁원도우 감소 비율은 최소가 되고, 가장 멀리 있는 노드 N_3 는 최대가 된다. 따라서 경쟁원도우의 크기가 가장 많이 줄어든 노드 N_3 가 노드 N_1 과 N_2 보다 짧은 메시지 전달 대기시간을 선택할 가능성이 높아지게 된다. 특히, 노드 N_3 는 소스노드의 통신영역의 가장자리에 위치하지 않음에도 불구하고 경쟁원도우 최적화를 통해 가장자리에 위치한 노드의 메시지 전달 대기시간에 균접한 짧은 대기시간을 선택할 수 있다. 따라서 CMB는 노드밀도가 낮더라도 메시지 전파지연시간을 최소화할 수 있다. 또한, 소스노드로부터 가장 멀리 떨어진 노드가 릴레이 노드로 선택될 확률이 가장 높기 때문에 브로드캐스트 영역 중복으로 인한 네트워크 부하를 줄일 수 있다.

4. 성능평가 및 분석

본 절에서는 CMB와 기존의 DDT와 SNB에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 성능평가와 비교 분석이 이루어진다. 시뮬레이션을 위한 메시지 전파 시나리오는 다음과 같다.

- 응급 상황을 인지한 노드가 최초로 경고 메시지를 생성하여 뒤따르는 노드들에게 전송한다. 이때 최초로 메시지를 생성한 노드를 원시 소스노드라 한다. 경고 메시지에는 원시 소스노드의 위치정보, 소스노드의 위치정보, 메시지 전파범위, 경고 메시지 내용 등이 포함된다.
- 뒤따르는 노드가 경고 메시지를 수신하게 되면, 수신한 메시지가 신규 메시지인지를 판단한다. 신규 메시지가 아니면 파기하고 대기 상태로 진입한다.
- 신규 메시지이면, 원시 소스노드로부터 거리를 계산하여 자신이 메시지 전파 범위 내에 있는지를 판단한다. 메시지 전파 범위 내에 있다면 릴레이 노드 선정을 위한 경쟁에 참여한다.

- d) 각 프로토콜의 릴레이 노드 선정기법에 따라 릴레이 노드 선정이 이루어진다. 릴레이 노드로 선정된 노드는 수신한 메시지 내의 소스노드 위치정보를 자신의 위치정보로 교체하여 뒤따르는 노드들에게 다시 재전송한다.
- e) 릴레이 노드 경쟁에서 실패한 노드들은 새로운 메시지 수신을 위한 대기상태로 전환한다.

컴퓨터 시뮬레이션을 위한 기본 가정 사항은 다음과 같다.

- a) 네트워크 내의 모든 노드는 GPS를 통해 자신의 위치를 알 수 있다.
- b) 각 노드들은 IEEE 802.11 DCF(distribution control function) MAC 프로토콜을 사용하며, 릴레이 노드 선정은 네트워크 계층에서 이루어진다.
- c) 노드의 차선변경 및 추월은 고려하지 않는다.
- d) 노드의 이동 속도에 비하여 메시지 전파 시간이 매우 짧기 때문에 메시지 전파시간 동안의 네트워크 토플로지 변화는 무시한다.

멀티-홉 브로드캐스트에서 노드들의 메시지 수신율은 네트워크 내 노드의 밀도와 노드들의 통신거리에 의존한다. 이것은 노드밀도가 높고 노드의 통신거리가 길수록 네트워크 단절이 감소하기 때문에 메시지 수신율이 증가한다. 따라서 노드들의 통신거리가 고정되어 있을 경우, 메시지 수신율은 노드밀도에 의해 결정된다. 실험 결과, 메시지 수신율이 97% 이상에서는 네트워크 단절이 거의 발생하지 않았으며, 수신율이 100%가 되기 위해서는 97%일 때에 비해 2배 이상의 노드밀도가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 메시지 수신율이 97% 이하일 때를 낮은 노드밀도로 정의하였고, 100% 일 때를 높은 노드밀도로 정의하였다. 표 2와 3은 시뮬레이션 파라미터를 나타내었다. 시뮬레이션을 통해 각 프로토콜의

표 2 네트워크 환경 파라미터

Item	Value
Transmission range	150 m
Designated position	110 m (for SNB)
Broadcast region	5 km
Packet length	250 bytes
Channel bandwidth	2 Mbps
Packet propagation delay	0.125 μ s (250 bytes)
Computation time	1 ms
Maximum waiting time (K)	10 ms

표 3 도로 환경 파라미터

Item	Value
Length of road	5 km
Width of lane	3.6 m
Road direction	One Way
Lanes	3
Average speed of nodes	100 km/h
Traffic density	Up to 500 nodes
Length of vehicle	4 m

종단간(end-to-end, ETE) 메시지 전파 지연시간과 네트워크 부하 등이 측정된다. 실험결과는 100번의 시뮬레이션을 통한 평균값이다.

표 4는 노드들의 메시지 수신율이 97%이고 노드의 통신거리가 150 m, 300 m, 400 m일 때, CMB에서 가장 우수한 성능을 나타낼 때의 경쟁원도우의 최적화 상수 h 를 찾기 위한 실험 결과를 나타낸다. EF (efficiency factor)는 브로드캐스트가 완료된 후 네트워크 내의 노드들이 수신한 메시지의 총합과 종단간 메시지 전파 지연시간에 대한 성능을 나타낸다. 총 메시지 수신수가 적고 메시지 전파 지연시간이 짧은 수록 높은 EF를 갖는다. 실험결과, 노드의 통신거리가 150 m일 경우, 최적화 상수 h 가 2일 때 가장 높은 EF 값을 보였다. h 의 값이 3이상일 경우 오히려 EF의 값이 감소함을 볼 수 있다.

표 4 노드의 통신거리와 최적화 상수 h 의 변화에 따른 CMB의 성능

노드의 통신거리	최적화 상수	$h=0$	$h=1$	$h=2$	$h=3$	$h=4$	$h=5$
150 m	릴레이 노드 수	41.3	37.6	36.51	37.34	38.16	38.78
	총 수신 메시지 수	666.97	608.01	595.37	606.45	620.43	634.24
	전파 지연시간 (ms)	61.142	45.659	41.966	41.472	41.916	42.555
	EF	0.605	0.889	0.988	0.982	0.949	0.915
300 m	릴레이 노드 수	21.07	18.82	18.55	18.68	18.87	19.44
	총 수신 메시지 수	308.07	280.35	275.39	276.70	282.30	289.95
	전파 지연시간 (ms)	34.156	25.158	22.711	22.163	21.995	22.306
	EF	0.575	0.857	0.967	0.986	0.974	0.935
450 m	릴레이 노드 수	13.71	12.36	12.08	12.20	12.40	12.86
	총 수신 메시지 수	184.09	168.42	163.73	165.52	168.43	172.73
	전파 지연시간 (ms)	24.617	17.860	16.076	15.456	15.426	15.625
	EF	0.557	0.840	0.96	0.987	0.972	0.936

이것은 과도한 경쟁원도우 최적화로 인하여 소스노드로부터 보다 멀리 떨어진 노드가 있음에도 불구하고 가까운 노드가 릴레이 노드로 선택되는 빈도가 높아졌기 때문이다. 노드의 통신거리가 300 m와 400 m일 때는 h 의 값이 3일 때 가장 높은 EF 값을 보였으며, 4번 이상에 서는 EF 값이 감소함을 알 수 있다. 따라서 CMB의 성능평가 실험에서 노드의 통신거리가 150 m일 경우 h 의 값은 2이다.

그림 6은 네트워크 내 노드들의 메시지 수신율이 97%일 때, 릴레이 노드로 선택된 노드들의 소스노드로부터의 거리에 따른 릴레이 노드들의 분포를 보여 준다. X축은 메시지 전파에 참여한 릴레이 노드들이고 Y축은 소스노드로 부터의 거리이다. DDT는 대부분의 릴레이 노드가 소스노드의 통신영역 가장자리 주변에 분포함을 알 수 있다. 이것은, DDT에서 소스노드로부터 가장 멀리 떨어진 노드만이 릴레이 노드로 선택되기 때문이다. SNB는 DP로 설정된 110 m 주변에 대부분의 릴레이 노드들이 분포함을 알 수 있다. 이것은 DP에 가까운 노드일수록 짧은 메시지 전달 대기시간을 갖게 되며, 이들 노드들이 릴레이 노드로 선정되기 때문이다. CMB의 경우, 경쟁원도우 내에서 가장 짧은 메시지 전달 대기시간을 선택한 임의의 노드가 릴레이 노드로 선택되기 때문에 DDT 보다는 약간 넓게 릴레이 노드가 분포됨을 볼 수 있다. 그러나 DDT와 거의 유사한 결과를 보임을 알 수 있다.

그림 7은 릴레이 노드들의 메시지 전달 대기시간의 분포를 나타내었다. X축은 릴레이 노드들이고 Y축은 메시지 전달 대기시간이다. DDT는 소스노드로부터의 거리에 정확히 반비례하는 메시지 대기시간을 갖는 것을 확인할 수 있다. SNB는 DP로 부터의 거리에 비례하여 메시지 전달 대기시간이 결정됨을 알 수 있으며, DDT보다 짧은 메시지 전달 대기시간을 갖는다. 반면, CMB는 소스노드로부터의 거리와 무관하게 거의 실시간에 가까운 메시지 전달 대기시간이 선택되는 것을 알 수 있다. DDT와 SNB는 거리에 따라 정적으로 메시지 전달 대기시간이 결정된다. 그러나 CMB는 최적화된 경쟁 원도우 내에서 임의의 메시지 전달 대기시간을 선택하기 때문에 DDT와 SNB에 비해 매우 짧은 메시지 전달 지연시간을 갖는다.

그림 6과 7의 실험결과에 대한 평균값을 표 5에 나타내었다. DDT는 소스노드로부터 가장 멀리 있는 노드만이 릴레이 노드로 선정되기 때문에 브로드캐스트에 필요한 릴레이 노드의 수가 가장 작다. 반면, 메시지 전달 대기시간이 각 릴레이 노드의 소스노드로부터의 거리에 정확히 반비례하기 때문에 평균적인 메시지 전달 대기시간이 다른 프로토콜에 비해 가장 길다. SNB는 DP에 가까운 노드가 릴레이 노드로 선정되기 때문에 DDT보다 메시지 전달 대기시간은 짧다. 그러나 각 릴레이 노드의 소스노드로부터의 거리가 가장 짧기 때문에 브로드캐스트에 소요되는 릴레이 노드 수가 가장 많다. CMB

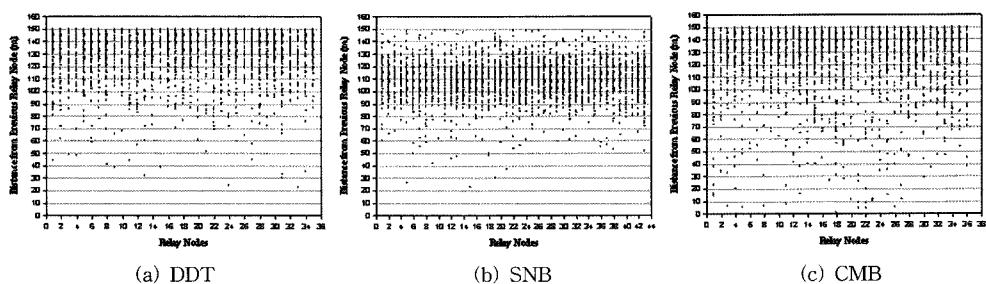


그림 6 소스노드로 부터의 거리에 따른 릴레이 노드의 분포

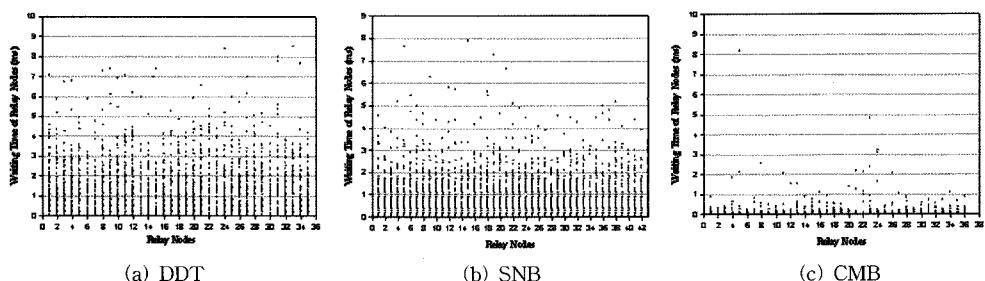


그림 7 릴레이 노드의 메시지 전달 대기시간 분포

표 5 메시지 수신율이 97%일 때 릴레이 노드의 수, 메시지 전달 대기시간, 소스노드로부터의 거리 비교

구 분	DDT	SNB	CMB
릴레이 노드 수	35	43	36.5
메시지 전달 대기시간 (ms)	1.26	0.824	0.028
소스노드로 부터의 거리 (m)	131.09	109.29	127.93

는 경쟁원도우 내에서 노드들 간의 경쟁을 통해 소스노드로부터의 거리가 가장 멀고 가장 짧은 메시지 전달 대기시간을 갖는 노드가 릴레이 노드로 선정될 수 있도록 한다. CMB에서 각 릴레이 노드의 소스노드로부터의 평균 거리가 DDT에 비하여 조금 짧은 이유는 경쟁을 통해 릴레이 노드가 선정되기 때문에 매우 드물지만 소스노드로부터 먼 노드가 있음에도 가까운 노드가 릴레이 노드로 선정될 수 있기 때문이다. 이러한 이유 때문에 CMB는 DDT보다 약간 더 많은 릴레이 노드를 필요로 한다. 그러나 각 릴레이 노드들의 평균 메시지 전달 대기시간이 다른 프로토콜에 비해 월등히 짧다.

브로드캐스트가 완료된 후 네트워크 내의 노드들의 메시지 중복 수신 횟수에 따른 노드 분포를 그림 8에 나타내었다. DDT는 브로드캐스트에 소요되는 릴레이 노드수가 가장 작기 때문에 브로드캐스트 영역의 중복이 최소가 된다. DDT는 메시지 수신 노드 중 85.5%의 노드들이 동일한 메시지를 두 번 수신하였다. 이것은 이들 노드가 이전 릴레이 노드와 다음 릴레이 노드로부터 각각 한 번씩 메시지를 수신하였기 때문이며 다른 프로토콜에 비하여 낮은 메시지 중복 수신율을 보였다. 반면, SNB는 브로드캐스트에 필요한 릴레이 노드 수가 가장 많기 때문에 브로드캐스트 영역의 중복이 최대가 된다. 따라서 메시지 수신 노드 중 55.1% 이상의 노드들이 3번 이상 메시지를 중복하여 수신하였기 때문에 다른 프로토콜에 비하여 가장 높은 메시지 중복 수신율을 보인다. CMB는 DDT보다 약간 많은 릴레이 노드를 필요로 하기 때문에 메시지를 3번 이상 중복하여 수신하는 노드의 비율이 DDT에 비해 약 9% 높다.

그림 9는 노드밀도가 변할 경우의 네트워크 부하를 나타내었다. 네트워크 부하는 브로드캐스트 영역 내에 있는 노드들이 수신한 메시지의 합으로 나타내었다. 실험결과, DDT가 가장 낮은 네트워크 부하를 보였다. 이것은 DDT에서 브로드캐스트 영역의 중복이 최소가 되기 때문이다. 반면, SNB는 브로드캐스트 영역의 중복이 다른 프로토콜에 비하여 높기 때문에 가장 높은 네트워크 부하를 보였다. 메시지 수신율이 97%일 경우, CMB는 DDT보다 4.8% 높은 네트워크 부하를 보였지만, SNB보다 15.7% 낮은 네트워크 부하를 보였다. CMB가 DDT보다 약간 높은 네트워크 부하를 보이는 것은

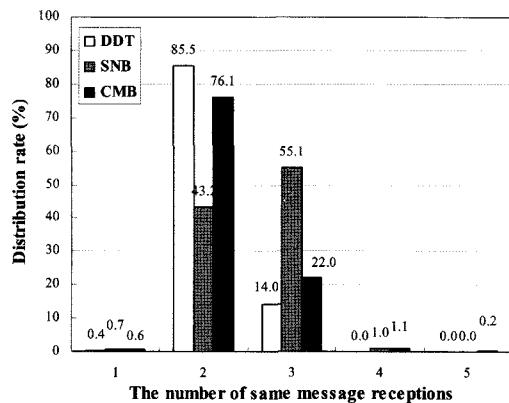


그림 8 네트워크 내의 노드들의 메시지 중복 수신 횟수에 따른 분포

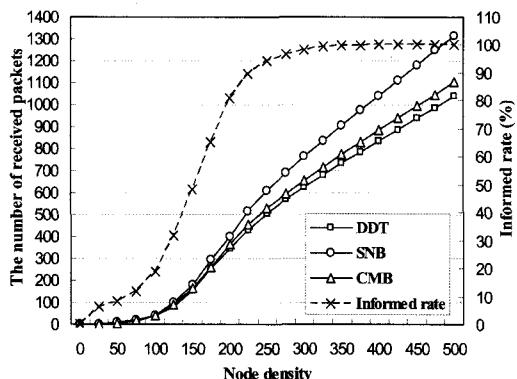


그림 9 네트워크 내 노드들의 총 메시지 수신 수

CMB가 DDT보다 브로드캐스트 영역의 중복이 약간 높기 때문이다.

그림 10은 원시 소스노드로부터 브로드캐스트 영역 내의 모든 노드들에게 메시지가 전파되어질 때까지의 종단간 메시지 전파 지연시간을 나타내었다. 실험결과, 수신율이 97%일 때 CMB는 DDT와 SNB보다 약 50% 짧은 종단간 메시지 전파 지연시간을 보였다. 특히, 노드밀도의 변화에 상관없이 거의 일정하게 짧은 종단간 메시지 전파 지연시간을 보였다. 이것은 CMB가 DDT보다 약간 많은 릴레이 노드 수를 필요로 하지만 최적화된 경쟁원도우 내에서 노드들 간의 경쟁을 통해 소스노드로부터 거리가 가장 멀고 가장 짧은 메시지 전달 지연시간을 갖는 노드가 릴레이 노드로 선정될 수 있도록 하기 때문이다. 반면, DDT와 SNB는 노드밀도가 낮을 때는 긴 종단간 메시지 전파 지연시간을 보이다가 노드밀도가 증가함에 따라 점차 감소함을 알 수 있다. 이것은 노드밀도가 증가함에 따라 소스노드의 통신영역

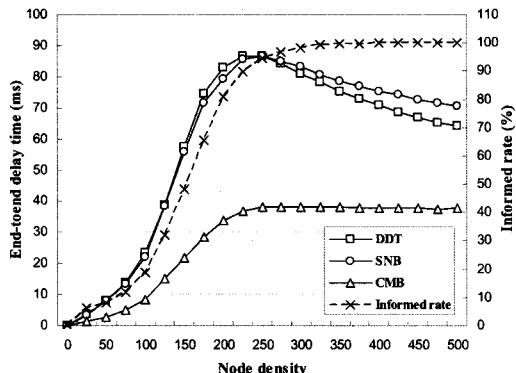


그림 10 종단간 메시지 전파 지연시간

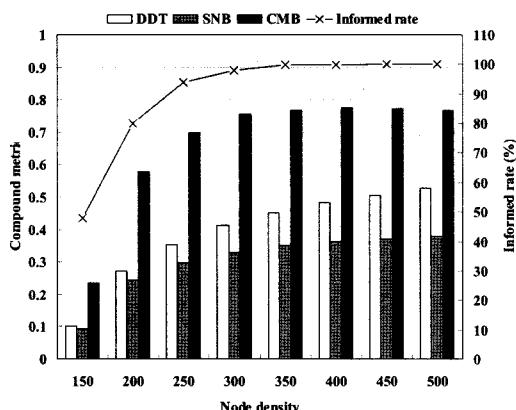


그림 11 네트워크 부하와 종단간 메시지 전파 지연시간의 합성 성능

의 가장자리 혹은 DP에 가까운 곳에 노드들이 위치할 가능성이 높아지기 때문이다. 즉, 노드밀도가 증가함에 따라 각 릴레이 노드들이 갖는 메시지 전달 대기시간은 짧아진다. SNB는 DDT보다 평균 메시지 전달 대기시간이 짧음에도 불구하고 DDT보다 긴 종단간 메시지 전파 지연시간을 보인다. 이것은 SNB가 브로드캐스트에 필요한 릴레이 노드 수가 DDT보다 많기 때문이다.

각 프로토콜의 네트워크 부하와 종단간 메시지 전파 지연시간의 정량적 성능평가를 위하여 그림 11과 같이 합성성능(compound metric)을 이용하여 노드밀도의 변화에 따른 각 프로토콜의 성능을 비교하였다. 합성성능은 식 (2)와 같이 측정된 메시지 전파 지연시간 T_{pd} 에 대한 최소 메시지 전파 지연시간에 대한 비와 측정된 네트워크 부하 O_n 에 대한 최소 네트워크 부하비의 곱으로 계산 하였다.

$$N = \{n_1, n_2, \dots, n_k\} ; \text{네트워크 내 노드들의 집합}$$

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_l\} ; \text{릴레이 노드들의 집합}$$

$$M_c = \frac{\sum_{i=1}^{l_{min}} T_C(r_i)}{T_{pd}} * \frac{(2k)}{O_n} \quad (2)$$

여기에서, l_{min} 은 브로드캐스트에 필요한 최소 릴레이 노드 수, $T_C()$ 는 릴레이 노드 r_i 의 메시지 전달 대기시간을 제외한 메시지 전송을 위한 최소 계산 시간, k 는 네트워크 내 노드의 수이다. l_{min} 은 DDT에서 소요되는 릴레이 노드 수와 같다. 이는 DDT가 소스노드로부터 가장 멀리 있는 노드만을 릴레이 노드로 선정함으로써 브로드캐스트에 필요한 릴레이 노드의 수가 최소가 되기 때문이다. 최소 메시지 전파 지연시간은 선정된 릴레이 노드들이 소스노드로부터 가장 멀리 있고 메시지 전파 지연시간이 0인 이상적인 경우의 메시지 전파 지연시간이다. 최소 네트워크 부하는 네트워크 내에 있는 모든 노드들이 두 번 메시지를 중복 수신할 경우의 이상적인 네트워크 부하이다. 실험결과, CMB가 노드밀도에 상관 없이 다른 프로토콜에 비하여 가장 높은 성능을 보였으며, SNB가 가장 낮은 성능을 보였다. 특히, 낮은 노드밀도에서 CMB는 DDT보다 80% 이상 우수한 성능을 보였으며, SNB보다 100% 이상 높은 성능을 보였다. DDT는 노드밀도가 증가할수록 프로토콜의 성능이 증가하였다. 이것은 DDT가 소스노드로부터 거리에 따라 정적으로 릴레이 노드가 결정되는 결정적 멀티-홉 브로드캐스트 이기 때문이다. 즉, 노드밀도가 증가함에 따라 소소노드의 통신영역의 가장자리에 보다 근접한 노드가 릴레이 노드로 선택되기 때문이다. SNB의 경우 노드밀도가 증가하여도 DDT에 비하여 성능이 크게 증가하지 않음을 볼 수 있다. 이것은, SNB가 노드밀도의 증가에 따라 브로드캐스트 영역 중복으로 인한 네트워크 부하가 커지기 때문이다. 반면, CMB는 노드밀도의 변화에도 다른 프로토콜에 비하여 높은 성능을 보인다. 이것은 CMB가 최적화된 경쟁원도우 내에서 노드들 간의 경쟁을 통해 소스노드로부터의 거리가 가장 멀고 가장 짧은 메시지 전달 대기시간을 갖는 노드가 릴레이 노드로 선정될 수 있도록 하기 때문이다.

5. 결론

차량 에드혹 네트워크에서 멀티-홉 브로드캐스트는 주로 운전자의 안전과 관련된 메시지를 다루기 때문에 무엇보다 신속한 메시지 전파가 요구된다. 기존의 거리기반 결정적 멀티-홉 브로드캐스트 기법의 경우 네트워크 내 노드밀도에 따라 메시지 전파 지연시간이 크게 영향을 받으며, 노드밀도가 낮을 경우 신속한 메시지 전파가 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 거리기반의 결정적 멀티-홉 브로드캐스트에서 노드밀도에 대한 성능 의존도를 개선하기 위

한 경쟁원도우 기반 멀티-홉 브로드캐스트(CMB) 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 메시지 전달에 필요한 릴레이 노드 선정을 위해 노드들 간의 경쟁을 통해 릴레이 노드를 선정하도록 한다. 이를 위해 네트워크 내의 각 노드는 소스노드로부터의 거리를 기반으로 각기 다른 크기의 경쟁원도우를 갖는다. 또한 소스노드로부터의 거리가 멀고 보다 짧은 메시지 전달 대기시간을 갖는 노드가 릴레이 노드로 선정되도록 주어진 경쟁원도우 크기를 최적화한다. 각 노드들은 최적화된 경쟁원도우 내에서 임의의 메시지 전달 대기시간을 선택하며, 가장 짧은 메시지 전달 대기시간을 선택한 노드가 릴레이 노드 선정을 위한 경쟁에서 이기게 된다. 따라서 제안한 기법은 네트워크 내 노드의 밀도가 낮더라도 노드들 간의 경쟁을 통해 짧은 메시지 전파 지연시간을 보장할 수 있다.

실험결과, 제안한 CMB는 기존 DDT 보다 약간 높은 네트워크 부하를 보였지만, 다른 프로토콜보다 종단간 메시지 전파 지연시간이 월등히 짧은 특징을 보였다. 또한 노드밀도의 변화에 상관없이 기존의 거리기반 결정적 브로드캐스트 보다 네트워크 부하와 종단간 메시지 전파 지연시간의 성능을 복합적으로 고려한 합성성능면에서 우수한 성능을 보였다. 특히, 노드밀도가 낮을 경우 CMB는 다른 프로토콜에 비하여 약 80% 이상 우수한 성능을 보였다. 제안한 CMB는 노드밀도의 변화에도 짧은 메시지 전파 지연시간을 보장 할 수 있으며, 네트워크 부하가 크지 않기 때문에 VANET에서 긴급 메시지 전파 프로토콜에 적합하다 할 수 있다.

본 논문에서 제안한 경쟁원도우 기반 멀티-홉 브로드캐스트는 VANET의 응용서비스 중의 하나인 응급 상황 경고 서비스에서 신속한 긴급 메시지 전파가 가능할 뿐만 아니라, VANET을 위한 멀티-홉 라우팅 프로토콜에서 신속한 경로발견을 위한 브로드캐스트 프로토콜로 사용이 가능한 이점을 갖는다.

참 고 문 헌

- [1] J. J. Blum, A. Eskandarian, and L. J. Hoffman, "Challenges of inter-vehicle ad hoc networks," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.5, No.4, pp. 347-351, Dec. 2004.
- [2] M. Torrent-Moreno, M. Killat, and H. Hartenstein, "The challenges of robust inter-vehicle communications," *2005 IEEE 62nd Vehicular Technology Conf.*, Vol.1, pp. 319-323, Sep. 2005.
- [3] S. Biswas, R. Tatchikou, and F. Dion, "Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety," *IEEE Communications Magazine*, Vol.44, Issue1, pp. 74-82, Jan. 2006.
- [4] K. Tokuda, M. Akiyama, and H. Fujii, "DOLPHIN for inter-vehicle communications system," *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000*, pp. 504-509, Oct. 2000.
- [5] S. Min-Te, F. Wu-Chi, L. Ten-Hwang, K. Yamada, H. Okada, and K. Fujimura, "GPS-Based Message Broadcasting for Inter-vehicle Communication," *2000 Int. Conf. on Parallel Processing*, pp. 279-286, Aug. 2000.
- [6] H. Alshaer and E. Horlait, "An optimized adaptive broadcast scheme for inter-vehicle communication," *2005 IEEE 61st Vehicular Technology Conf.*, Vol. 5, pp. 2840-2844, May 2005.
- [7] K. Gokhan, E. Eylem, O. Fusun, and O. Umit, "Urban Multi-Hop Broadcast Protocol for Inter-Vehicle Communication Systems," *Proceedings of First ACM Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2004)*, pp. 76-85, Oct. 2004.
- [8] S. H. Kim and Y. B. Ko, "An efficient Neighbor Knowledge Based Broadcasting for Mobile Ad Hoc Networks," *Springer-Verlog, LNCS*, Vol.3992, pp. 1097-1100, May. 2006.
- [9] M. Durresi, A. Durresi, and L. Barolli, "Sensor inter-vehicle communication for safer highways," *2005 19th Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications*, Vol.2, pp. 599-604, Mar. 2005.
- [10] R. A. Santos, R. M. Edwards, and A. Edwards, "Cluster-based location routing algorithm for vehicle to vehicle communication," *2004 IEEE Radio and Wireless Conference*, pp. 39-42, Sep. 2004.
- [11] S. Min-Te, F. Wu-Chi, L. Ten-Hwang, K. Yamada, H. Okada, and K. Fujimura, "GPS-based message broadcast for adaptive inter-vehicle communications," *2000 IEEE 52nd Vehicular Technology Conference*, Vol.6, pp. 2685-2692, Sep. 2000.
- [12] L. Briesemeister and G. Hommel, "Role-based multicast in highly mobile but sparsely connected ad hoc networks," *MobiHOC(Mobile and Ad Hoc Networking and Computing) 2000 First Annual Workshop*, pp. 45-50, Aug. 2000.
- [13] B. Abderrahim, "Optimized Dissemination of Alarm Messages in Vehicular Ad-Hoc Networks (VANET)," *Springer-Verlog, LNCS*, Vol.3079, pp. 655-666, 2004.
- [14] S. D. Yu and G. W. Cho, "An Effective Message Flooding Method for Vehicle Safety Communication," *Springer-Verlog, LNCS*, Vol.4159, pp. 219-228, May. 2006.
- [15] I. Stojmenovic and J. Wu, "Broadcasting and activity scheduling in ad hoc networks," *IEEE/Wiley Mobile Ad Hoc Networking*, pp. 205-229, 2004.
- [16] S. Ni, Y. Tseng, Y. Chen and J. Sheu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc

Network," In *ACM MOBICOM '99*, pp. 151-162,
Aug. 1999.



김 태 환

2002년 대구대학교 전자공학과 학사. 2004년 대구대학교 정보통신공학과 석사. 2007년 8월 대구대학교 정보통신공학과 박사. 2007년 9월~현재 유비쿼터스 신기술 연구소 선임연구원. 관심분야는 임베디드 시스템, 무선 센서 네트워크, 차량 애드

혹 네트워크



홍 원 기

1995년 연세대학교 전산과학과 학사. 1997년 연세대학교 컴퓨터과학과 석사. 2001년 연세대학교 컴퓨터과학과 박사. 2001년~2002년 UC Irvine (미) 박사후과정. 2002년~2004년 LG전자 디지털 미디어 연구소 선임연구원. 2004년~현재 대구대학교 정보통신공학부 조교수. 관심분야는 임베디드 시스템, 실시간 시스템, 무선 센서 네트워크



김 희 철

1983년 연세대학교 전자공학과 학사. 1990년 University of Southern California 컴퓨터공학 석사. 1995년 University of Southern California 컴퓨터공학 박사. 1997년~현재 대구대학교 정보통신공학과 부교수. 관심분야는 무선 센서 네트워크, 그리드 컴퓨팅, 미들웨어