

적응형 채널 접근을 이용한 차량 간 통신 기반 사고 알림 기술에 관한 연구

이 지 훈[†]

요 약

차량 간 통신 기술을 적용한 차량의 안전 시스템은 시시각각 변하는 정보를 주변 차량으로 신속히 전파될 수 있기 때문에 사고 발생 위험 최소화 및 추돌 사고의 확산을 방지할 수 있을 것으로 기대된다. 현재 차량 간 통신 지원을 위해 IEEE 802.11 DCF 기반 Flooding 기법을 활용한 정보 전달 기술을 활용하는 방안이 제시되고 있지만, 차량 밀도가 높아짐에 따라 Broadcasting 메시지 빈도에 의해 추가적인 연쇄 추돌 현상 발생 확률 증가라는 문제점이 제시되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 연쇄 추돌 방지를 위한 V2V 통신 기반의 사고 알림 Broadcasting 기술을 제시하며, 이는 사고 발생 시 각 차량의 정량적 우선순위에 의거하여 공유 채널의 선점 권리를 자동적으로 부여하여 인접 지역으로 위험 메시지를 신속하게 전파하는 방법을 제안한다. 또한, 제안 방안의 성능 검증을 위해 시뮬레이션을 통해 기존 Flooding 기반 방안과의 비교 분석을 수행한다.

A Study on Chain Collision Prevention Scheme using Vehicle-to-Vehicle Communications

Ji-Hoon Lee[†]

ABSTRACT

It is expected that the vehicle safety systems using vehicle-to-vehicle communication can reduce the possibility of vehicle collision and prevent the chain crash by promptly delivering the status of neighboring vehicles. Many IEEE 802.11 DCF based Flooding schemes have been proposed, but they may generally expose the problems that the chances of a chain-collision reaction are sharply increased as the vehicle density has increased. Therefore, this paper proposes the chain-collision prevention scheme using a broadcasting-based adaptive report. The proposed method can adaptively allocate the preemption right based on a quantitative priority order and then promptly deliver the warning messages in neighboring areas. Moreover, it is shown from simulation that the proposed scheme provides the performance gains over the existing Flooding based scheme.

Key words: Vehicle-to-Vehicle communication(차량 간 통신), Collision warning(사고알림), Chain collision prevention(연쇄추돌 방지)

1. 서 론

최근 첨단 IT 기술을 활용하여 교통과 관련한 다양한 문제를 해결할 수 있는 ITS(Intelligent Tran-

sport System)의 도입이 활발히 추진되고 있다. 이러한 ITS 시스템에서 다양한 정보 및 데이터를 효율적으로 송수신하기 위한 통신 기술의 중요성이 특히 강조되고 있는데, 도로 및 시설물의 기지국과 차량

※ 교신저자(Corresponding Author) : 이지훈, 주소 : 충남 천안시 동남구 상명대길 31(330-720), 전화 : 041) 550-5411, FAX : 041) 550-5355, E-mail : vincent@smu.ac.kr
접수일 : 2012년 11월 22일, 수정일 : 2012년 12월 12일

완료일 : 2013년 1월 3일

[†] 정회원, 상명대학교 정보통신공학과

※ 본 연구는 상명대학교 교내선발과제 (2012-A000-0229) 연구비 지원으로 수행되었음.

간의 통신 기술인 ‘차량-인프라 통신 기술 (V2I, Vehicle-to-Infrastructure communication)’ 이외에도 도로 인프라를 거치지 않고 주행하는 차량끼리 직접 통신할 수 있는 ‘차량 대 차량 통신 기술 (V2V, Vehicle-to-Vehicle communication)’의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이는 사고의 발생, 도로 정보, 차량 주행 상태 등을 인접 차량과 실시간으로 통신함으로써 보다 안전하고 효율적인 주행을 도울 수 있다 [1,2].

V2V 통신 기술은 차량 주행 및 교통과 관련된 다양한 응용 서비스에 적용될 수 있는데, 인프라를 거치지 않고 실시간으로 빠르게 정보를 전송할 수 있기 때문에 특히 충돌 감지 및 전방의 사고 전파 등 주로 안전성을 증가시킬 수 있는 서비스에서 주요하게 사용될 것으로 예상된다. 자동차는 도로와 달리 고속으로 주행하는 것이 특징이고 다양한 원인으로 운전자의 집중도가 저하될 위험이 높으므로 특정 지점의 차량 사고는 연쇄적인 추돌 사고로 이어질 가능성이 크다. 따라서 V2V 통신 기술을 적용한 차량의 안전 시스템은 시시각각 변하는 정보를 주변 차량으로 신속히 전파될 수 있기 때문에 사고 발생 위험 최소화 및 추돌 사고의 확산을 방지할 수 있을 것으로 기대된다[1-3].

본 논문은 이러한 V2V 통신 기반 서비스 가운데 위험 상황에 따른 주행로 변경 및 예상 충돌 방지를 위한 기술을 다루며, 이를 통해 주변 위치에 차량들이 존재하는지를 판단하여 충돌 위험시 운전자에게 주행로 변경 등 예상 위험 경로를 적절히 제공할 수 있다. 또한 피할 수 없는 충돌에 대해 미리 경고함으로써 에어백, 전방범퍼, 안전벨트를 미리 제어할 수 있도록 준비하여 차량과 운전자의 충격을 최소화하는데 도움을 줄 수 있다.

따라서, 이와 같은 기능을 적절하게 제공하기 위해서는 무엇보다도 각 차량들이 자신의 주변 차량에 자차의 정보를 담은 메시지를 실시간으로 Broad-

casting (Flooding)할 수 있어야 한다[1-3]. 현재 V2V 통신 기반의 Broadcasting을 지원하기 위해서는 다양한 통신 기술이 제안되고 있는데 특히 IEEE 802.11 기반의 무선랜 기술이 주목받고 있다. 그러나, 무선랜 기술은 Broadcasting 메시지 빈도에 의해 추가적인 연쇄 추돌 현상 발생 확률 증가라는 문제점이 제시되고 있다[4-8].

그러므로 본 논문에서는 연쇄 추돌 방지를 위한 V2V 통신 기반의 사고 알림 Broadcasting 기술을 제시하며, 이는 사고 발생 시 각 차량의 정량적 우선순위에 의거하여 공유 채널의 선점 권리를 자동적으로 부여하여 인접 지역으로 위험 메시지를 신속하게 전파하는 방법을 제안한다.

2. 802.11 기반 차량 간 통신

차량 통신을 이용한 사고 방지 기능을 제공하기 위해서는 각 차량들이 자신의 주변 차량에 자차의 정보를 담은 메시지를 실시간으로 Broadcasting (Flooding)할 수 있어야 한다. 현재 V2V 통신 기반의 Broadcasting을 지원하기 위해서는 다양한 통신 기술이 제안되고 있는데 특히 IEEE 802.11 기반의 무선랜 기술을 다양한 차량들이 공통채널을 공유하는 DCF (distributed coordination function) 전송 방식을 사용하여 기반 인프라가 없는 차량 간 데이터 교환을 효율적으로 지원할 수 있다[1-2]. DCF 전송 방식은 그림 1과 같이 각 노드의 공통 사용 가능 채널 (공유 채널)에 대한 경쟁을 기반으로 하는 것이다. 즉, 두 개 이상의 노드가 동시에 채널을 사용하고자 할 때는 채널이 비었음을 감지한 후 각자의 대기 시간(contention window, CW)을 기다린 후에 임의의 시간에 채널에 접근하여 사용권한을 획득한다. 이는 구현이 용이하고 일정한 형태의 통신망 구성이 없는 애드혹 기반의 차량 통신 환경에서 높은 효율성을 가져올 수 있다는 장점이 있지만, 임의의 두 노드가

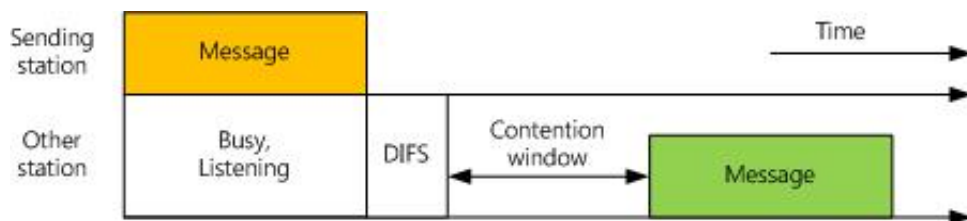


그림 1. IEEE 802.11 DCF 모델에서의 다수 노드간 채널 접근 절차

동시에 접근함으로써 충돌(collision) 현상이 발생할 수 있고 이로 인해 메시지 전송 시간이 지연될 위험이 높기 때문에 연쇄 충돌을 방지하기 어려울 수 있다. 또한, V2V 통신의 브로드캐스팅 방식에서는 적합한 지역으로 메시지를 중복 송/수신하지 않고 중계하는 것이 중요한데, 임의의 노드가 메시지를 중계할 경우 인근 노드가 두 개 이상의 노드로부터 메시지를 중복적으로 수신하여 과부하를 일으킬 가능성이 높다. 또한, 메시지가 너무 좁은 지역으로만 전파되거나 혹은 필요이상으로 넓게 전파함으로써 다른 용도로의 채널 자원 사용을 방해할 가능성이 높기 때문에 이에 대한 개선이 필요하다.

3. 제안 방식

본 논문은 차량 간 통신을 이용한 효율적 사고 알림 기술에 관한 것으로, 제안 방안의 구체적인 동작 내용은 다음과 같다.

3.1 구성 환경 가정 및 초기 위험 경고 알림

본 논문에서는 일반 도로 및 고속도로 등 여러 차량들이 다중 차선으로 나뉘어 같은 방향으로 주행하는 환경을 가정한다. 여기에서 앞서가던 임의의 차량(예, $V(W)$)이 불의의 사고를 입게 되면 그림 2와 같이 차량 $V(W)$ 로부터 신속하게 위험 경고 (Accident warning: AW) 메시지가 전파된다. 이 때 각 차량은 자신의 주행 중 위치 정보를 GPS, 셀룰러 통신 등을 활용하여 실시간으로 얻을 수 있음을 가정할 수 있기 때문에 AW 메시지에는 사고 발생 시각 및 해당 사고 지점의 위치 정보 등을 포함할 수 있다. 사고 지점과 인접하여 주행 중인 차량들은 $V(W)$ 로부터 송신된 AW 메시지를 수신 후 메시지의 정보를 분석하는데,

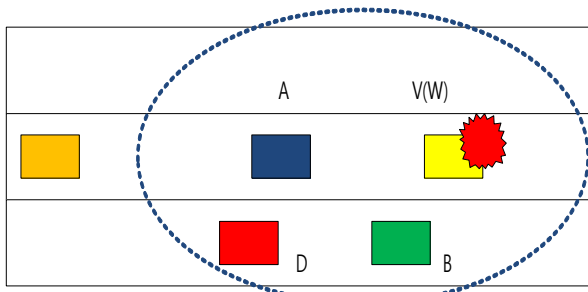


그림 2. 전방 차량의 사고 발생시 1차 위험 경고 메시지 전파

$V(W)$ 의 전방 차량들은 사고의 영향을 받지 않기 때문에 인지 후 특별한 조치를 취하지 않는 반면, $V(W)$ 의 후방 차량들은 이를 통하여 사고 발생을 인지하고 속도를 낮출 수 있다.

3.2 각 차량별 연쇄충돌 확률 계산

$V(W)$ 로부터 직접적인 AW 메시지를 수신한 $V(W)$ 의 후방 차량들은 해당 사고로부터 자신이 연쇄적인 충돌 사고를 입을 확률 (Rear-end collision probability: RC)을 계산할 수 있다. 여기에서 RC는 해당 사고의 영향이 자차에 미칠 확률 $FC(k)$ 와 자차와 앞 자동차의 급정지할 때의 충돌 확률 $DC(k)$ 의 곱으로 정의할 수 있다. 그러므로 임의의 차량 $V(k)$ 의 RC인 $RC(k)$ 는 다음과 같다.

$$RC(k) = DC(k) \cdot FC(k)$$

여기에서 $FC(k)$ 는 사고 지점으로부터 자차의 거리 및 사고 차량과 동일 차선에 위치해 있는지의 여부와 밀접하게 관계되므로 다음의 식을 통하여 계산할 수 있다.

$$FC(k) = \frac{1}{\alpha^{f(D(k),R)} \cdot \beta^{L(k)}}$$

$$f(D(k),R) = \left\{ \lceil i \rceil \mid \frac{D(k)}{R} - 1 < i \leq \frac{D(k)}{R} \right\}$$

상기 식들에서 α, β 는 $FC(k)$ 산출을 위한 적정계수, $D(k)$ 및 $L(k)$ 는 사고 지점과 자차와의 상대 거리 및 사고 차량과 자차 간의 이격 차선 수, R 은 사고 발생이 영향을 미칠 수 있는 위험 반경 거리이다. $f(D(k),R)$ 은 정량적 간소화를 위해 정수 값으로 제한한다. 따라서, 상기 식들을 바탕으로 사고 지점으로부터의 거리 및 차선 이격 정도에 따라 자차의 사고 위험 노출 가능성을 정량적으로 파악할 수 있다.

다음으로 $DC(k)$ 는 전방 자동차와 자차가 급정지할 때 서로 충돌할 가능성으로서 급정지 후 이격 거리가 일정 거리 이하로 줄어들 확률로 표현할 수 있다. 즉, 그림 3과 같이 $V(k)$ 의 급정지할 때 전방 자동차와의 예상 이격 거리를 $X(k)$, 안전을 위한 일정한계치 거리를 π 라 하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$DC(k) = \Pr[X(k) < \pi]$$

여기에서 그림 3과 같이 현재 이격 거리를 H , 전방 차의 정지거리를 $F(k)$, 자차의 정지거리를 $R(k)$ 라

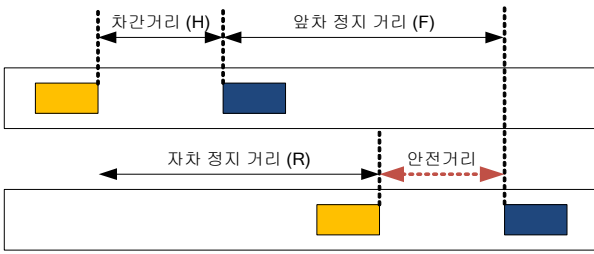


그림 3. 앞 뒤 차량 간의 안전거리 산출

하면 $X(k)$ 의 예상 가능한 평균치 $E[X(k)]$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E[X(k)] = H + F(k) - R(k)$$

여기에서 $X(k)$ 의 표준편차를 $s(k)$ 라 하면 $X(k)$ 는 정규분포 $Z(X(k), \sigma^2(k))$ 를 따른다고 가정할 수 있다. 그러므로 $DC(k)$ 는 $X(k)$ 의 CDF (cumulative distribution function)을 이용하여 다음과 같이 계산하여 얻을 수 있다.

$$DC(k) = G(\pi, E[X(k)], \sigma(k))$$

$$G(x, \mu, \sigma) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$$

3.3 인접 지역으로의 위험 경고 중계

위와 같이 자신의 위험 확률을 계산한 $V(w)$ 의 후방 차량들은 이를 바탕으로 자신이 해당 메시지를 중계하기 위한 공유 채널에 접근할 수 있는 채널 접근 대기 시간 (contention window: CW)을 산출할 수 있다. 단, AW 메시지를 수신한 모든 차량들이 채널에 접근하는 것을 막고 메시지의 중계가 무한정 반복되는 것을 막기 위해 사전에 정의된 확률 threshold 이상의 RC 값을 가진 차량만 채널에 접근할 수 있다. 따라서 이상의 RC 값을 가진 차량들은 자신의 RC 값에 비례하여 메시지 수신 직후의 CW 를 가질 수 있는데, 임의의 차량 $V(k)$ 의 CW 인 $CW(k)$ 는 그림 4와 같이 다음의 식을 통하여 얻을 수 있다.

$$CW(k) = \max(T_{min}, T_{max} \cdot RC(k)) \text{ subject to } RC(k) > \lambda$$

여기에서 T_{max} 와 T_{min} 은 각각 사전에 정의된 CW 의 최대값과 최소값으로 정의할 수 있다. 따라서 이와 같은 CW 를 산출한 각 차량은 자신의 CW 가 경과한 직후 AW 메시지를 전송할 수 있는데, 여기에서는 상대적으로 RC 값이 낮은 차량들이 사고 지점에서

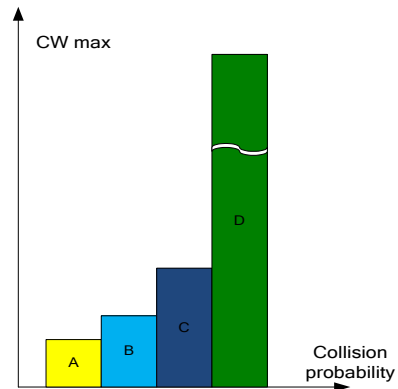


그림 4. 충돌 확률에 따른 각각의 CW 산출

비교적 원거리에 위치하므로 인접 차량들에게 신속하게 위험을 알릴 수 있고 중복적인 메시지 수신을 방지할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 따라서 상기 식에 따라 그림 5와 같이 λ 이상의 RC 값중 가장 낮은 값을 갖는 차량 (예, 그림 5에서 차량 $V(A)$)이 AW 메시지를 최우선적으로 중계할 수 있는 권리를 얻게 된다. 이때 초기 메시지를 수신 후 다시 중계되는 AW 메시지를 재수신한 차량은 자신의 CW 가 경과 후 채널 접근 시각이 되었더라도 AW 메시지 송신을 중계할 수 없으므로 메시지가 중복적으로 전송되는 것을 방지할 수 있다. 반면 자신의 CW 가 끝날 때까지 중복되는 AW 메시지를 받지 못한 차량은 자차가 위치한 영역으로는 메시지가 전달되지 못했거나 혹은 이전 우선순위의 차량이 AW 메시지를 중계하지 못하는 등의 이상 상황을 인지하고 신속하게 AW 메시지를 전송함으로써 인접 차량에게 위험을 알리게 된다.

이와 같은 방법으로 AW 메시지는 그림 6과 같이 순차적으로 인근 지역으로 재전송되고 마찬가지로 이를 수신한 차량들로 동일한 방법으로 메시지를 중계할 수 있다. 그러나 차량의 충돌 위험은 상기 충돌 위험 확률 계산에 의하여 사고 지점으로부터의 거리

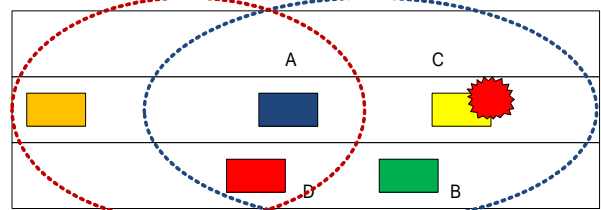


그림 5. 1차 위험 경고 메시지 수신 후의 2차 위험 경고 메시지 중계

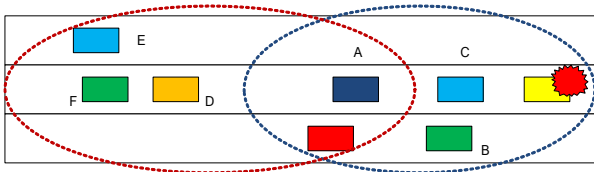


그림 6. 2차 위험 경고 메시지 수신 후의 3차 위험 경고 메시지 중계

가 멀어질수록 급격히 저하되기 때문에 AW 메시지는 무한정 반복적으로 재생되지 않고 위험 상황에 따라 일정 반경까지만 전송됨으로써, 메시지를 중계할 필요가 없는 지역까지 메시지가 전송되는 것을 방지할 수 있다.

간소화된 전체 동작 절차는 그림 7과 같다.

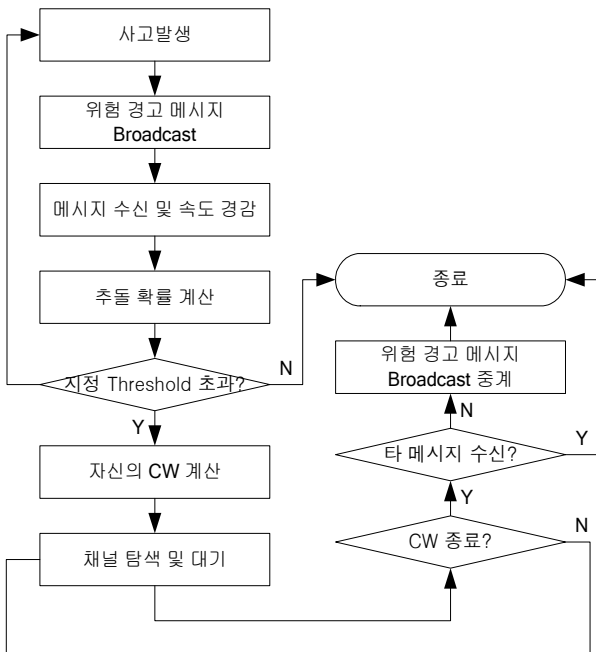


그림 7. 제안 방안의 동작 절차

4. 성능 분석

본 절에서는 제안한 적응형 채널 우선 접근 방식과 Flooding 기반의 기존 시스템을 시뮬레이션을 사용하여 비교 분석하여 평가한다. 무선 채널 특성은 802.11b 규격을 따르며, 11Mbps의 채널 비트율을 갖는다. 무선 전송 범위는 DSRC [1]에서 제안한 것처럼 300 미터로 규정하였으며, 기본 비콘 메시지 주기는 100ms로 하였다. MAC 프로토콜은 IEEE 802.11 DCF를 근간으로 전송거리 250m를 갖는 공통 데이

터 채널을 사용하며, 그 위에 제안 방안을 추가하였다.

그림 8에서는 총 3개의 차선으로 이루어진 임의의 도로에서 랜덤하게 차량 사고를 발생시키고 이에 따라 발생하는 제어 메시지의 발생량을 측정하였다. 그림에서 보이는 바와 같이 제안 방안은 기존 Flooding 기반의 방안 대비 사고 알림 메시지 전송을 평균적으로 약 76% 감소시킴을 확인할 수 있었다. 이는 제안 방안을 적용함으로써 full-flooding에 의해 전체 차량에 사고 알림 메시지가 전송되는 것을 방지하고, 사고 근접 영역내의 차량으로만 메시지 전송을 국한시킴으로써 제어 메시지 오버헤드를 감소시키는 것이다.

그림 9는 채널 접속 접근 권한 조절을 통한 네트워크 전송 효율을 검증하기 위해 사고 알림 메시지가 사고 영역내 차량들에 사고 알림 메시지 전송이 완료되는 시간을 측정된 결과를 보여준다. 그림 9에서 보이는 것처럼, 기존 Flooding 기반 방안은 차량 사고 유무에 상관없이 주기에 따라 모든 차량들이 비콘 메시지를 지속적으로 발생하여 주변의 차량들이 차

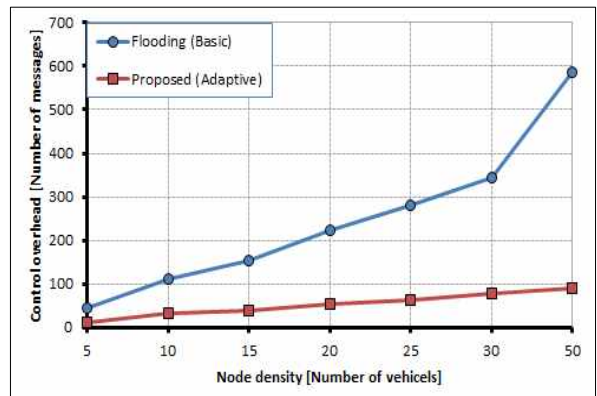


그림 8. 메시지 오버헤드 비율

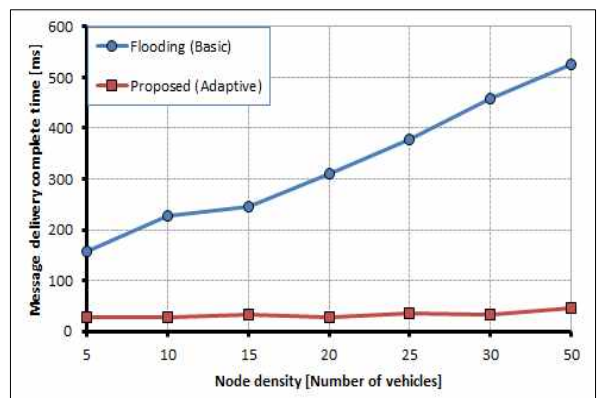


그림 9. 메시지 전송 완료 시간

량 사고를 감지하게 되는데, 이 때 차량 사고 정보를 전달하는 역할을 수행하는 relay 차량들의 전송 주기에 따라 사고 감지 시간이 좌우된다. 따라서, 차량의 밀도가 높아짐에 따라 차량 감지 지연 시간도 함께 증가하게 된다. 이와 달리, 제안 방안은 사고 근접 영역내의 차량들만 사고 알림 메시지를 재전송하여 메시지의 충돌 확률을 낮춤과 동시에 차량 사고 감지 시간을 평균적으로 약 80ms 감소시킴을 확인할 수 있었다. 이는 제안 방안이 차량 수의 증가와는 무관하게 차량 사고 정보를 빠르게 전달함에 따라 후속 사고의 재발 가능성을 낮출 수 있음을 의미한다.

5. 결 론

본 논문의 제안방안은 다음과 같은 주요 특징을 갖는다. 첫째, 제안 방안은 일반적인 애드혹 통신에서 요구하는 각 노드간 상태를 공유하기 위한 비콘 메시지의 주기적인 교환을 요구하지 않는다. 따라서, 제안 방안은 이러한 비콘 메시지의 교환 없이 사고 발생시 이를 효과적으로 알릴 수 있도록 함으로써 효과적인 사고 알림을 가능하게 한다. 다음으로, 각 차량 간 채널 선점 경쟁으로 인한 충돌을 방지할 수 있다. 즉, 충돌 위험을 최대한 방지함으로써 메시지가 보다 빠르게 위험 지역 내 차량으로 전파될 수 있도록 한다. 또한, 메시지의 중복 수신을 방지하고 적정 위험 지역에 한정하여 메시지를 전파할 수 있다. 제안하는 차량 위험도 기반 채널 접근 및 전송 방식은 각 차량들이 동일한 메시지를 수신하는 것을 최대한 억제하고 위험 알림이 불필요한 지역까지 메시지가 전파되는 것을 방지함으로써 채널 자원의 과다 사용을 억제할 수 있게 한다.

참 고 문 헌

[1] W. Fisher, *Development of DSRC/WAVE Standards*, IEEE 802.11-07/2045r0, 2007.
 [2] IEEE, *Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE) in Standard 802.11 Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems, Local*

and Metropolitan Area Networks, Specific Requirements, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 802.11p/ D1.0, 2006.

[3] IEEE, *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE 802.11 WG, 1999.
 [4] T. Elbatt, S.K. Goel, G. Holland, H. Krishnan, and J. Parikh, "Cooperative Collision Warning using Dedicated Short Range Wireless Communications," *ACM Workshop on Vehicular Ad hoc Networks*, pp. 1-9, 2006.
 [5] T. Kosch, I. Kulp, M. Bechler, M. Strassberger, B. Weyl, and R. Lasowski, "Communication Architecture for Cooperative Systems in Europe," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 47, No. 5, pp. 116-125, 2009.
 [6] R. Uzcategui and G. Acosta-Marum, "Wave: a Tutorial," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 47, No. 5, pp. 106-133, 2009.
 [7] K. Padmavathi and R. Maneendhar, "A Surveying on Road Safety using Vehicular Communication Networks," *Journal of Computer Applications*, Vol. 5, No. EICA2012-4, pp. 460- 465, 2012.
 [8] 박정화, 강문수, "차량 네트워크를 위한 긴급 메시지 브로드캐스트 기법," *멀티미디어학회논문지*, 제15권, 제3호, pp. 372-379, 2012.



이 지 훈

1998년 3월~2001년 8월 고려대학교 대학원 전자공학과 공학박사
 2001년 9월~2002년 3월 고려대학교 차세대인터넷 센터 Research fellow

2002년 4월~2012년 2월 삼성전자 종합기술원 전문연구원
 2012년 3월~현재 상명대 정보통신공학과 조교수
 관심분야: 미래인터넷, CCN, 이동통신, M2M, 네트워크 보안