

차량 간 통신에서 충돌을 완화하기 위한 랜덤 백오프 방안

학생회원 변재욱*, 종신회원 권성오*

Random Backoff Scheme of Emergency Warning Message for Vehicle-to-Vehicle Communications

Jaekuk Byun* *Student Member*, Sungoh Kwon** *Lifelong Member*

요약

본 연구에서는 IEEE 802.11을 기반으로 하는 무선 차량 네트워크에서 위험 경고메시지를 효과적으로 전송하기 위한 Backoff 방안을 제안한다. 차량 간 통신인 IEEE 802.11은 위험 경고메시지를 보낼 때 다중 홉 방식을 사용하고, 다중접속방안으로 CSMA/CA를 적용하므로 차량이 밀집될수록 메시지 전송 충돌 확률이 증가한다. 따라서 위험 경고메시지 전송이 시간 지연될 가능성이 높다. 또한, 배경 트래픽이 있을 경우, 위험 경고메시지가 우선 전송이 되어야 한다. 이 같은 문제를 해결하기 위해 위험 경고메시지 전송차량과 수신차량의 위치에 따라 다른 난수발생범위를 갖는 거리 기반 백오프 방안 (DDAB: Distance-Dependent Adaptive Backoff)을 제안한다. DDAB는 배경 트래픽과 경쟁하는 영역의 차량들은 작은 난수발생범위로 설정하여 배경 트래픽보다 전송 우선순위를 높이고, 같은 위험 경고메시지 간 경쟁이 빈번한 영역의 차량들은 큰 난수발생범위를 갖도록 하여 위험 경고메시지 간의 충돌을 줄인다. 실험을 통해 기존의 Backoff 방안과 비교하였으며, DDAB 방안을 적용한 경우 기존의 방안을 적용했을 때보다 성능 향상됨을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a random backoff scheme for Emergency Warning Messages (EWMs) in the vehicle-to-vehicle environment. The EWMs are disseminated from a vehicle that detects an emergency situation to other vehicles in a multi-hop fashion. Since the vehicle-to-vehicle communication based on IEEE 802.11 adapts CSMA/CA, the density of vehicles increase the probability of collisions between transmissions. Moreover, in the presence of background traffic, the EWM should have a higher priority than that of other messages in neighboring vehicles. To that end, we propose the Distant-Dependent Adaptive Backoff (DDAB) scheme, which set a different contention window for random backoff depending on the distance from the sender to the receiver. In the case when a vehicle is expected to located in the outskirts of the communication boundary, the proposed scheme makes the contention window size small in order to compete the background traffic transmission. Otherwise the contention window is set to a large number to reduce the collision possibility among the EWM transmissions. Via simulations, we show that the proposed scheme performs better than the previous schemes for EWM.

Key Words : V2V, WAVE, Cooperative Collision Avoidance, Car Safety, MAC

※ 이 논문은 2011년 울산대학교 연구비에 의하여 연구되었습니다.

* 울산대학교 전기공학부 (dreamnfancy@naver.com, sungoh@ulsan.ac.kr)(^o : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-12-645, 접수일자 : 2011년 12월 31일, 최종논문접수일자 : 2012년 3월 16일

I. 서 론

오늘날에는 정보통신 기술이 발전함에 따라 다양한 분야와의 융합 기술들이 관심을 모으고 있다. 사람과 사람 간의 정보전달이라는 기존의 제한된 의미의 네트워크에서, 이제는 사물 간의 정보 교환으로 그 의미를 확장해가고 있다. 정보통신 기술이 다른 기술 분야로 응용된 대표적인 한 예로 차량 간 혹은 차량과 도로에 설치된 노변시설 간의 정보교환을 통해 운전자에게 실시간 편의정보나 위험경고 등을 제공하는 ITS(Intelligent Transportation System) 기술이 있다.^[1]

ITS 기술을 적용하여 운전자에게 근처의 사고나 위험 요소에 관한 정보를 위험 경고메시지 (EWM: Emergency Warning Message)로 전달해 사고 피해를 줄일 수 방안이 제안되었다.^[2] 교통사고와 관련된 연구조사에 따르면 날씨나 도로상태 등 환경적 요인을 제외한 대부분의 교통사고가 운전자에게 0.5초의 반응할 시간이 주어진다면 사고를 피하거나 피해를 크게 줄일 수 있다.^[2] 운전자가 육안으로 사고 위험을 감지해 브레이크 동작으로 이어지기까지의 반응 시간은 통상 0.7~1.5초 사이^[3]인데, ITS 기술을 이용하면 운전자의 시각 반응에 의존하는 방법보다 더 멀리 신속하게 위험을 알릴 수 있으므로 사고 위험을 미연에 방지할 수 있다. 특히, 차량이 고속으로 밀집한 환경에서는 개별적인 사고가 뒤에서 오는 차량들에 의해 연쇄 추돌사고로 이어질 가능성이 매우 높으므로, 위험 경고메시지를 빨리 후방의 차량들에게 전달하여 사고 방지하는 것이 중요하다.

차량 간 통신을 이용해 차량안전을 지원하기 위한 통신규격으로 미국 ASTM (American Society of Testing Materials)에서 개발한 DSRC (Dedicated Short Range Communication) 규격이 있다.^[4] DSRC의 MAC (Medium Access Control) 과 PHY (Physical) 계층은 IEEE 802.11을 기반으로 하는 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment)^[5]로 정의된다.

IEEE 802.11을 기반으로 하는 차량 간 통신에서 운행 중인 차량의 위험 경고메시지는 연쇄 추돌 사고 방지를 위해 방송형으로 주변의 차량들에게 전달되며, 다중 홉 (Multi-hop) 방식으로 차량 열의 맨 끝 차량까지 중계된다. IEEE 802.11은 다중 접속 방식으로 CSMA/CA(Carrier Sensing Multiple

Access with Collision Avoidance)를 사용하여 차량 간 위험 경고메시지를 전송한다.^[6]

CSMA/CA는 네트워크에 참여하는 무선 단말들이 자발적으로 채널 접근을 통제해 패킷 충돌을 줄이기 위한 방법이다. 전송 준비가 된 무선 단말들은 채널 사용 여부를 감지하여, 만일 일정 시간(IFS: Inter-Frame Space) 동안 채널이 비어있는 경우 단말들의 전송 충돌을 줄이기 위해 각 단말은 임의의 시간 후에 전송을 시도한다. 정해진 범위(CW: Contention Window) 안에서 임의의 시간 동안 전송을 지연하는 것을 랜덤 백오프라고 한다^[7]. IFS와 랜덤 백오프 동안 채널 사용이 감지되면 단말은 다시 채널이 사용되지 않을 때까지 기다렸다가 같은 절차를 반복한다.

랜덤 백오프는 난수발생범위 (CW)를 조절하여 충돌 분산정도를 조절한다. 만일 난수발생범위가 전송에 참여한 단말의 수에 비해 너무 작을 경우 데이터 전송 간의 충돌로 인해 전송이 실패하는 확률이 증가하게 되고, 단말의 수에 비해 너무 클 경우 전송을 대기하는 시간 지연으로 인해 전송 지연이 발생하게 된다. 따라서 긴급한 위험 경고메시지의 전송을 위해 효율적인 랜덤 백오프 방안이 필요하다. 특히, 차량 간 통신의 경우 차량의 이동성으로 인해 네트워크의 위상이 시간에 따라 변하고, 위험 경고메시지는 전송확인 (Acknowledgement)이 없는 방송형으로 주변 차량들에게 전송되고, 이를 다중 홉 방식으로 네트워크 내의 모든 차량들에게 전송되므로 효율적인 랜덤 백오프 방안이 더욱 중요하다. 그렇지만, 차량 통신환경에서 위험 경고메시지의 전송에 맞는 랜덤 백오프에 대한 연구가 많이 진행되지 않았다.

WAVE는 차량 네트워크의 시간적 변화에 적응하기 위해 BEB (Binary Exponential Backoff)를 사용한다.^[6] BEB는 IFS나 백오프 시간을 기다리던 중 채널 사용이 감지될 때마다 자신의 CW를 두 배씩 증가시켜 CW_{max} 까지 커지게 하고, 전송을 성공적으로 마치면 CW를 다시 CW_{min} 으로 되돌아가게 하는 방법이다. BEB를 쓰는 경우 데이터 전송 간의 충돌이 빈번하게 일어나는 구간의 차량들은 대체로 큰 크기의 CW를 가지므로 서로 간의 충돌을 완화하는 반면, 노드가 덜 밀집해 패킷 충돌이 적은 구간에서는 작은 CW로 다음 전송반경의 차량들에게 신속하게 메시지를 전달할 수 있다. 하지만 백그라운드 트래픽이 많은 경우 난수발생범위(CW)가

증가하여 배경 트래픽 보다 위험 경고메시지가 늦게 전송되는 경우가 발생한다.

논문 [9]에서는 백그라운드 트래픽(Background Traffic)에 비해 위험 경고메시지를 빠르게 주위 차량들에게 전송하기 위해 고정된 작은 난수발생범위(FRB: Fixed Random Backoff)^[9]를 설정하였다. 고정된 난수발생범위(FRB)를 쓰는 경우 중계하는 단말이 증가할 경우 잦은 충돌로 인하여 전송이 실패할 확률이 높게 된다. 따라서 이러한 백그라운드 트래픽의 영향을 고려하고 차량 네트워크의 변화에도 위험 경고메시지 전송을 수용할 수 있는 MAC방안에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 차량 간 통신에서 효율적인 위험 경고메시지 전송을 위한 랜덤 백오프 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방안에서는 차량 네트워크에서 다중 홉 기반의 전송을 이어갈 때 차량 통신 반경 내의 각 영역이 갖는 특징에 따라 서로 다른 난수범위를 적용하여 위험 경고메시지간의 충돌을 줄이고, 백그라운드 트래픽에 의한 전송 지연을 줄이도록 한다.

본 논문의 구성은 아래와 같다. 제 2절에서는 기존의 IEEE 802.11(WAVE)가 갖는 전송 규격에 대해 소개하고, 방법이 갖는 문제점과 해결하기 위한 방안을 제 3절에서 제시한다. 성능 검증을 위한 실험은 제 4절에서 나타내고, 종합적인 결론을 제 5절에서 논의한다.

II. 시스템 모델 및 문제점

본 논문에서는 차량 통신 네트워크 (VANET: Vehicular Ad-hoc NETWORK)가 차량들만으로 구성되었다고 가정한다. 각각의 차량들은 IEEE 802.11

의 송수신기가 장착되어 있고, 수신기는 차량의 앞쪽과 뒤쪽에 장착되어 메시지의 수신 방향, 즉 앞의 차량으로부터의 수신인지 뒤쪽의 차량으로부터의 수신인지를 구분할 수 있다. 위험 경고메시지를 송신하는 경우 주위의 모든 차량들에게 메시지를 전달해야하므로 전방향 안테나 (Omnidirectional antenna)를 이용하여 송신한다고 가정한다. 본 장에서 통신 규격인 IEEE 802.11을 기반으로 하는 WAVE의 전송 방식과 MAC 계층을 요약하고, 차량 간 통신에서 위험 경고메시지를 전송하는데 문제점을 논의한다.

WAVE는 메시지를 노드 간 일대일로 정보를 전달하는 일대일 전송(Unicast), 다수의 노드들에게 정보를 전달하는 일대다 전송(Multicast), 그리고 송신 노드 전송 범위 안의 불특정 노드들에게 정보를 전달하는 방송형 전송(Broadcast)으로 전달할 수 있다. 위험 경고메시지는 네트워크의 모든 차량들에게 전송되어야하므로 방송형 전송 방법으로 주변의 모든 차량들에게 위험 경고를 알린다. 메시지 송신 차량의 전송 반경 밖에 있는 다른 차량들에게 위험 경고메시지를 전달하기 위해 새로운 위험 경고메시지를 수신한 차량은 주위의 다른 차량들에게 방송형 전송방법으로 전달을 한다^[11]. 또한, 이렇게 방송형으로 보내는 정보는 수신확인을 하지 않으므로 한번 전송 후 주기적으로 전송을 반복해 전송의 신뢰도를 높인다.

WAVE 규격의 MAC은 CSMA/CA를 기반으로 한다. CSMA/CA는 채널 사용 여부를 감지하던 중 일정 시간(IFS)동안 채널 비어 있으면, 일정범위(CW) 범위 내에서 난수를 발생시켜 전송을 대기한 후 전송을 실행하는 방법이다. 이러한 전송 대기 절차를 랜덤 백오프라하며, 백오프에서 발생한 난수에



그림 1. CSMA/CA의 작동 예
Fig. 1. Example of CSMA/CA

해당하는 시간동안 기다리며 수를 감소시켰을 때 먼저 0에 도달한 차량이 채널을 점유해 위험 경고 메시지(EWM)를 전송하게 된다. IFS 또는 백오프 도중 채널 사용을 감지하게 되면 자신의 백오프를 중단하고 채널이 다시 사용되지 않는 상태가 될 때까지 기다려 IFS부터 다시 채널 사용여부를 감지한다. 이러한 CSMA/CA의 작동 원리를 그림 1에 나타내었다.

WAVE는 메시지 패킷을 중요도에 따라 4개의 AC(Access Category)로 구분하고,^[12] CSMA/CA의 난수 발생범위와 IFS시간을 그림 2와 같이 다르게 설정한다. 우선순위가 높을수록 백오프를 위한 난수 범위와 IFS를 작게 설정하여 우선순위가 낮은 메시지보다 먼저 전송될 확률을 높인다.

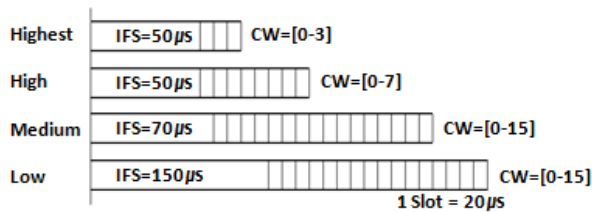


그림 2. 메시지의 중요도에 따른 Access Category
Fig. 2. Access category according to message priority

랜덤 백오프를 위한 난수의 범위(CW)는 메시지의 우선순위뿐만 아니라 네트워크의 변동성을 적응하기 위한 방안으로 사용되기도 한다. 메시지 전송에 참여한 노드가 적은 경우 작은 난수 범위로 설정하고, 노드가 많은 경우 메시지 충돌에 의한 시간 지연을 방지하기 위해 큰 난수 범위를 사용한다. 논문 [9]에서는 배경 트래픽보다 위험 경고메시지의 우선순위를 높이기 위해 고정된 작은 난수발생범위를 설정하였고, 논문 [10]는 차량의 이동성을 고려하여 다른 노드들에 의해 채널 점유로 인해 메시지 전송이 불가능할 경우 난수발생범위를 두 배로 증가시키는 BEB (Binary Exponential Backoff)를 적용하였다.

BEB를 쓰는 경우 배경 트래픽이 존재하면 불필요한 난수범위 증가를 반복하므로 배경 트래픽보다 낮은 우선순위를 갖게 되어 전송이 지연될 수 있다. 또한 차량이 많은 경우 난수 범위 증가가 빈번하므로 배경 트래픽과의 경쟁에서 불리하거나, 미 수신 영역이 발생할 경우 수신 지연이 발생한다. FRB를 쓰는 경우는 구간의 노드 밀집 특성에 맞게 필요한 난수 발생범위의 유동성을 고려하지 못하므로 비합리적이다.

위험 경고메시지를 차량 간 통신환경에서 효과적

으로 전송하기 위해서 배경 트래픽보다는 우선순위가 높아야하므로 난수발생범위가 작은 것이 좋고 위험 경고메시지 전송 간에는 충돌을 줄여야 하므로 난수발생범위가 클수록 좋다.

그림 3과 같이 차량 간 통신에서는 위험 경고메시지를 수신한 차량의 위치에 따라 전송 경쟁(Competition)을 해야 하는 대상이 다르다. 위험 경고메시지를 받은 차량 옆에서 뒤 쪽에 위치한 차량들(그림 3에서의 A영역)은 배경 트래픽보다 우선순위가 높도록 백오프를 위한 난수발생범위가 작아야 한다. 위험 경고메시지를 받은 차량 옆에서 중간에 위치한 차량들(그림 3에서의 B영역)은 위험 경고메시지 전송 간에 전송경쟁을 해야 하므로 백오프가 중복되는 확률을 줄일 수 있도록 난수발생범위가 커야한다. 따라서 차량 간 통신 환경에 맞는 백오프 알고리즘이 필요하다.

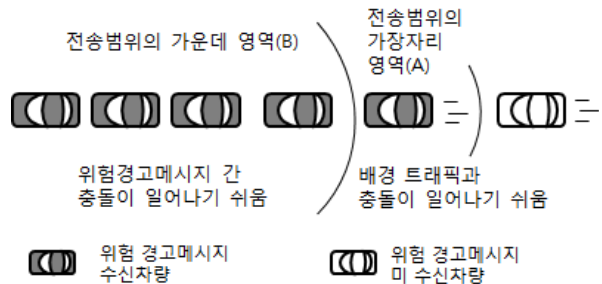


그림 3. 전송범위 각 영역의 특징
Fig. 3. Transmission area classification

III. 제안하는 알고리즘

본 연구에서는 기존 방법의 문제점을 개선하기 위해 전송 범위의 각 영역의 특성에 따라 서로 다른 난수발생범위를 갖도록 하여 성능을 개선하는 거리 기반 백오프 조정방안(DDAB, Distance-Dependant Adaptive Backoff) 방법을 제안한다. 먼저 제안하는 방법을 적용하기 위해 각 차량은 그림 4와 같이 [10]에서 제안된 MAC 메시지 구성을 이용하여 메시지 패킷을 통해 전송 차량의 위치를 알 수 있다고 가정한다. 그림 4에서 Original Vehicle ID는 최초 사고 감지 차량의 ID로, 사고 식별자(event ID)와 함께 위험 사고를 유일하게 식별할 수 있다. Msg seq no.는 메시지 순번을 나타내는 것으로 Original vehicle ID와 함께 네트워크 내에서 메시지를 유일하게 정의하기위해 사용한다. Msg type은 위험 경고 메시지라는 메시지의 종류를 식별하는 필드이고, Position은 메시지 전송 차량의 위치를 나타낸다.

그림 3에서 살펴본 것처럼 위험 경고메시지 전송은 전송 범위의 각 영역마다 요구되는 특징이 다르다. 영역의 가장자리 영역 차량들은 주로 적은 충돌

MAC header	
Origin vehicle ID	
Msg seq no.	Msg length
Msg type	Event ID
Position	
Optional Info (Speed, Acceleration, Application Data)	

그림 4. MAC 패킷 구성
Fig. 4. Message format

로 패킷을 받아 배경 트래픽과 경쟁을 하게 되고, 영역의 가운데 영역 차량들은 주로 같은 위험 경고 메시지 전송 차량들과 경쟁을 하게 된다. 따라서 효과적인 위험 경고 메시지 전송을 위해 전송범위 가장자리 영역의 차량들은 작은 난수발생범위를 유지하도록 해 배경트래픽이 먼저 전송되는 경우를 최소화하고, 가운데 영역의 차량들은 서로 간의 동시 전송으로 패킷이 손상되지 않도록 큰 난수발생범위를 갖도록 해야 한다.

제안하는 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 전방의 차량으로부터 위험 경고 메시지를 수신한 차량들은 전송 차량으로부터 떨어진 거리에 따라 다른 난수 발생 크기를 갖도록 한다. 이 때 전송차량과의 위치 관계는 그림 4와 같이 구성된 MAC 패킷의 Position과 자신의 위치를 비교하여 알 수 있다. 거리 임계값(Dth)보다 가까운 곳에서 메시지를 수신한 것으로 판단하는 차량은 미리 정해둔 $CW_{default}$ 의 크기로 다음 경쟁에 참여한다. 이 때 $CW_{default}$ 의 크기는 노드가 밀집하더라도 같은 우선순위 메시지 간 충돌을 충분히 완화할 수 있을 만큼 큰 크기를 쓴다. 거리 임계값보다 먼 곳에서 메시지를 수신한 차량들은 CW_{min} 의 크기로 다음 경쟁에 참여하여 배경 트래픽과의 경쟁에서 유리하도록 한다. 후방의 차량으로부터 위험 경고 메시지를 수신한 차량들은 자신의 전송이 후방 차량들이 보다 뒤에 있는 차량들로 메시지를 전달하는 데 방해가 되지 않도록 BEB의 방법과 같이 난수발생 크기를 두 배씩 증가

시킨다. 가장 작은 난수를 발생해 메시지 전송에 성공한 차량은 다시 CW_{min} 으로 설정하여 재전송 시 존재할 수 있는 배경 트래픽보다 우선되어지도록 한다. 이처럼 제안하는 방안의 알고리즘을 Algorithm 1에 나타내었다.

```

if (Receive messages from front) {
    if (Receive messages nearby)
        Use  $CW_{default}$  for contention;
    else
        Use  $CW_{min}$  for contention;
}
else
     $CW = \min(2*(CW+1)-1, CW_{max});$ 
if (Successfully transmit messages)
    Set  $CW_{min}$  for periodic retransmission;
    
```

Algorithm 1. 제안하는 알고리즘
Algorithm 1. Proposed algorithm

Algorithm 1과 같이 제안하는 방법을 적용하려면 메시지 전송 차량의 위치를 읽어올 수 있어서 자신의 위치와 비교할 수 있어야 한다. 이를 구현하기 위해 그림 4에서 설명한 것처럼 MAC 패킷에 발신 차량의 위치를 추가해야하지만, 추가되는 패킷의 길이는 전체 패킷에 비해 작으므로 기존의 방법에서 약간의 변경으로 구현이 가능하다. 또한, 본 연구에서 제안하는 알고리즘은 랜덤 백오프를 사용하는 다른 차량 간 통신에도 적용이 가능하다.

본 연구에서 제안하는 DDAB 방법이 기존의 방법과 비교하여 갖는 성능의 개선은 다음 절에서 실험을 통해 검증한다.

IV. 실험

본 절에서는 시뮬레이션을 통해 제안하는 랜덤 백오프 알고리즘과 다른 두 알고리즘들(BEB, FRB)의 성능을 비교한다. 기존의 방법으로 충돌이 발생할 경우 랜덤 백오프를 위한 난수 범위가 두 배씩 증가하는 BEB (Binary Exponential Backoff)^[10] 방법과 난수발생범위를 고정하는 방법 (FRB)^[9]을 고려한다. 비교 성능으로 최초 위험경고 메시지 전송으로부터 각 차량들이 위험 경고메시지를 받을 때까지의 시간 지연과 특성을 비교한다.

실험에서는 차량으로만 이루어진 네트워크를 고

려하고, 네트워크를 이루는 각 차량들은 위치정보를 아는 기기가 장착되어있어 자신의 위치를 안다고 가정한다. 논문 [10]에서 제안한 I-BIA (Intelligent Braodcast with Impicit Acknowledgement)방법과 같이 전방에서 받은 메시지에 대해 후방으로부터 같은 메시지를 받은 경우 불필요한 메시지 전송을 줄이기 위해 더 이상 전송하지 않도록 한다. 각 차량은 위험 경고메시지가 전달되는 동안 비슷한 속도로 이동하고 있어 상대적 위치가 변하지 않는 것을 가정하였다.

차량 간 통신은 IEEE 802.11을 기본 전송 규격으로 하며 실험에 사용된 차량 및 네트워크 관련 파라미터들은 논문 [9, 10]에서 사용한 파라미터를 바탕으로 정의하였으며, 아래의 표 1에 요약하였다.

표 1. 실험 파라미터들
Table 1. Simulation parameters

Vehicle related parameters	
Fixed road length	1000m
Number of Cars	20 to 100 by 20
Length of Car	4m
Number of Lane	1
Network related parameters	
Transmission range	250m
DDAB Threshold (D_{th})	200m
CW_{min}	3
CW_{max}	15
$CW_{default}$	15
Data transfer rate	11Mbps
EWM packet size	128byte
Background Traffic related Parameters	
Traffic size	[100 to 800]kbps
Traffic packet size	10kbits
Priority	The highest priority for EWM, The medium priority for Background Traffic
CW_{min}	15
CW_{max}	1023

4.1. 구간 내 메시지 수신 성능

그림 5는 도로상의 각 차량들이 위험 경고메시지를 받는 시간을 알아보기 위해 100대의 차량들을 임의로 배치하여 메시지를 전달받는 지연시간의 평균을 구한 것이다. 여기서 배경 트래픽은 100kbps로, 프레임 패킷의 최대 크기(MTU: Maximum Transmission Unit)가 1500byte임을 고려하여 각 트

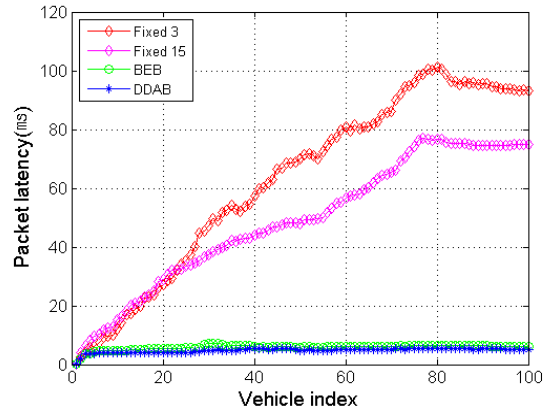


그림 5. 100대의 각 차량이 메시지를 받는 평균 전달시간 (BGT=100kbps)
Fig. 5. Average packet latency vs. Vehicle index (BGT=100kbps)

래픽 메시지의 크기를 10kbits로 설정하였다. 그림 5의 실험 결과를 보면 먼저 난수발생범위를 CW_{min} 또는 CW_{max} 로 고정한 경우 BEB 또는 DDAB를 적용한 경우보다 훨씬 더 지연이 커지는 것을 볼 수 있다. 이는 난수범위를 CW_{min} 으로 고정하면 난수범위가 너무 작아 잦은 패킷 충돌로 인해 릴레이가 발생하기 어렵기 때문이고^[14], CW_{max} 로 고정할 경우 위험 경고메시지를 보낼 때 배경 트래픽보다 늦게 보내지는 문제가 지속적으로 발생해 전송 지연이 커지기 때문이다. BEB의 경우 난수발생범위를 CW_{min} 으로 시작하지만 채널사용을 감지할 때마다 난수발생범위가 증가해, 전송이 밀집해 충돌이 빈번한 구간에서는 큰 난수발생범위로 충돌을 완화하고 전송이 드문 영역에서는 작은 난수발생범위로 신속하게 전송하므로 전반적으로 전송지연을 줄인다.^[8] 한편 DDAB의 경우 같은 위험 경고메시지 전송이 빈번한 영역은 큰 난수발생범위로 충돌을 최소화하도록 하고 전송반경 끝에서 배경 트래픽과 경쟁을 하는 영역은 작은 난수발생범위를 유지하도록 하여 난수발생범위를 고정한 두 경우보다 성능이 좋게 나타나는 것을 볼 수 있다. 난수발생범위를 고정한 두 경우 모두 BEB와 DDAB 경우에 비해 성능이 매우 나쁘므로 이후 살펴볼 결과에서는 BEB와 DDAB의 성능만을 비교한다.

그림 6은 BEB와 DDAB의 성능을 더 자세히 비교하기 위해 그림 5와 같은 조건으로 배경 트래픽이 600kbps (초당 60개의 메시지)인 경우의 평균 전송지연을 구한 것이다. 그림 6의 실험 결과를 보

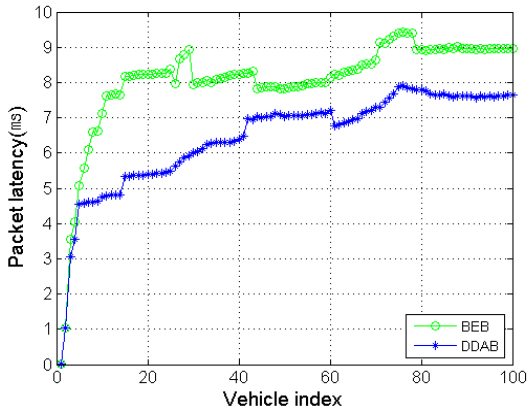


그림 6. 각 차량이 메시지를 받는 평균 전달시간 (BGT=600kbps)
Fig. 6. Average packet latency vs. Vehicle index (BGT=600kbps)

면 BEB 방법의 경우 처음 몇 대의 차량에서 전송 지연이 급격히 증가한 후 이후 차량들로부터는 서서히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 최초 위험 경고메시지를 전송 시 배경 트래픽의 전송이 끝나기를 기다리기 때문이며, 또한 서로 전송을 인지하지 못하는 노드들의 동시 전송 (Hidden node 문제^[13])으로 패킷이 손상되어 메시지 전달이 지연되기 때문이다.

BEB는 모든 영역에서 난수범위를 CW_{min} 에서 시작해 점차 난수범위를 증가시키므로, 충돌빈도에 따라 난수범위가 조절되는 동안 동시전송 또한 많이 일어나게 된다. 동시전송이 일어날 경우 각 차량의 늘어나 난수범위로 인해 후방의 차량으로 전달되는 메시지는 긴 백오프를 갖게된다. 따라서 배경 트래픽과 경쟁을 하는 영역(그림 3의 A)의 차량들은 가능한 적은 백오프를 갖을수록 유리하지만, BEB를 사용한 경우 채널 사용을 감지할 때마다 난수 범위를 증가시므로 배경 트래픽과의 경쟁에서 불리해진다.

BEB의 실험 결과에서 차량 43~60 구간의 전송 지연이 차량 17~25 구간의 전송지연보다 작은 것은 작은 난수발생범위를 이용한 동시 전송으로 인해 겹치지 않는 전송 반경들에 의해서 위험 경고메시지가 전달된 것으로 볼 수 있다. 반면 DDAB의 경우 BEB의 경우와 비슷한 패턴을 보이지만, 구간 앞부분의 차량들의 수신에서 BEB보다 작은 지연이 발생한다. 이는 BEB의 경우 배경 트래픽에 의한 채널사용 감지로 난수발생범위를 크게 하지만, DDAB의 경우 작은 CW의 값을 그대로 유지하므로 배경 트래픽보다 먼저 보내질 확률이 BEB의 경

우에 비해 더 높기 때문이다. 한편 DDAB의 경우 구간 가운데의 차량들은 큰 난수발생범위를 가지므로 서로 간의 충돌을 효과적으로 줄여 일부 구간에서 더 많은 전송 지연을 갖게 되는 것을 방지하므로 전송 지연이 단계적으로 오르는 것으로 볼 수 있다.

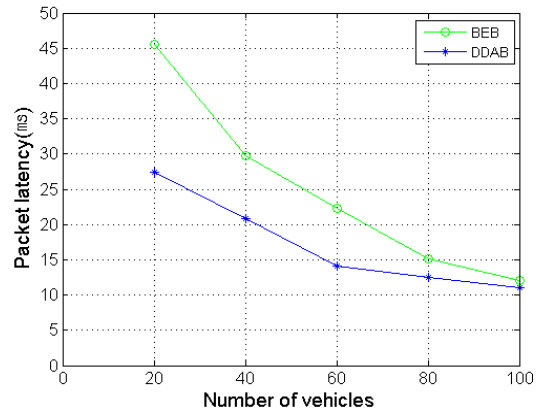


그림 7. 차량 수 증가에 따른 위험 경고메시지 전송 지연
Fig. 7. Packet latency vs. the number of vehicles

4.2. 차량 밀집도에 따른 메시지 수신 성능

위험 경고메시지 전송의 지연을 노드의 밀집 정도에 따라 살펴보기 위해 배경 트래픽 700kbps에서 1000m 구간 내 차량 수를 증가시키며 모든 차량이 위험 경고메시지를 전달받기까지 걸린 평균 시간을 그림 7에 나타내었다. 그림 7의 실험 결과를 보면 BEB와 DDAB 모두 차량이 많아질수록 배경 트래픽보다 우선순위가 높아지는 반면 같은 우선순위 메시지 간 동시 전송은 효과적으로 제어하므로 차량이 밀집할수록 전송 지연이 오히려 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만 그림 6의 설명에서 본 것처럼 BEB의 경우 초기 배경 트래픽과의 경쟁에서 발생한 전송 지연이 나머지 구간의 차량들이 메시지를 받는 성능을 저하시키므로 DDAB의 방안보다 모든 차량으로 메시지가 전달되는 시간이 더 지연됨을 알 수 있다.

위험 경고메시지가 전달되는 과정에서 전송지연을 발생시키는 요인을 더 자세히 살펴보기 위해 그림 7의 실험에서 한 경우에 대해 각 차량이 메시지를 전달받는 시간의 앞 차량과의 수신시간 차이를 그림 8에 나타내었다. 실험 결과를 보면 DDAB를 적용한 경우 앞뒤 차량 간 수신간격이 대체로 매우 작은 값을 가지는 반면, BEB를 적용한 경우 일부 구간에서 큰 지연이 발생해 뒤의 차량들까지 영향을 받는 것을 볼 수 있다. 이러한 차이는 DDAB의

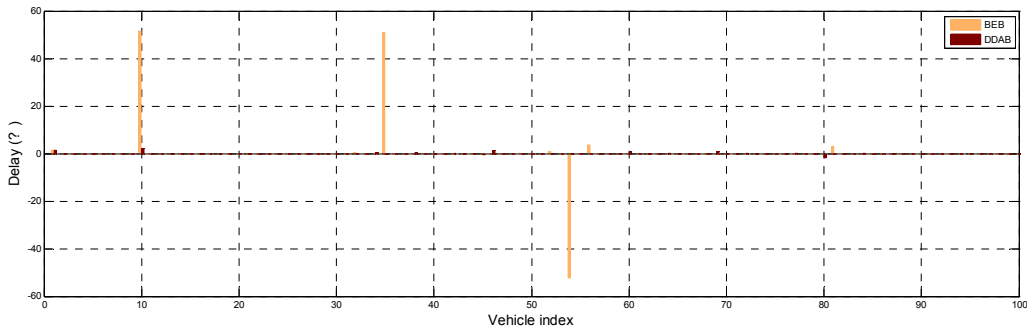


그림 8. 앞뒤 차량 간 수신시간차가 발생하는 예
Fig. 8. Delay between two adjacent vehicles

경우 메시지를 받은 차량들 중에서 전송반경 안쪽의 차량들(그림 3에서 B영역의 차량들)은 큰 난수 발생범위를 가져 충돌을 줄이고, 배경 트래픽과 인접한 영역(그림 3에서 A영역)의 차량들은 짧은 백오프로 배경트래픽 보다 전송의 우선순위가 높으므로 시스템 전체에서 차량 간 메시지 전송 지연이 적게 나타났다. 하지만 BEB의 경우 위험 경고메시지 전송간의 충돌로 인해 전송 성공률이 감소하고 난수발생범위를 점차 커지므로 전송 지연이 발생하는 경우가 생긴다. 난수발생범위(CW)의 증가는 배경 트래픽이 존재하는 경우 배경 트래픽보다 우선순위가 낮게 되어 배경 트래픽 전송이 끝날 때까지 배경 트래픽의 전송 범위 안에 있는 차량들은 위험 경고 메시지를 받을 수 없다. 따라서 그림 8과 같이 BEB가 인접 차량 간 수신시간 차이가 크게 나타나는 경우가 발생하는 것을 알 수 있다. 이웃차량 간 전송시간 차이는 해당 구간에서의 연쇄 충돌 사고 위험을 증가시킨다.

V. 결 론

본 연구에서는 IEEE 802.11을 기반으로 하는 무선 차량 네트워크에서 패킷 충돌을 줄이며 배경 트래픽과의 관계까지를 고려한 랜덤 백오프 방안을 제안하였다. IEEE 802.11은 다중 접속방식으로 CSMA/CA를 이용해 BEB 방법을 사용하는데, 이러한 방법의 특징상 전송이 빈번해지면 배경 트래픽 보다 늦게 전송되어 전송 지연이 발생한다. 기존의 방법이 갖는 전송 지연 문제를 개선하기 위해 발신 차량과의 거리를 이용한 랜덤 백오프 방안을 고려하여 배경 트래픽과 경쟁할 확률이 높은 구간은 작은 난수발생범위로 신속히 전달되도록 하고, 위험 경고메시지 전송 간 충돌이 빈번한 구간은 큰 난수

발생범위로 매우 적은 차량만 전송하도록 하여 메시지 전송 성능을 향상시키는 DDAB방안을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 방안은 실험을 통해 기존의 방안에 비해 위험 메시지 전송 성능이 개선되는 것을 보였고, 랜덤 백오프를 사용하는 다른 차량 간 통신 규격에도 적용 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] A. D. Joseph, "Intelligent Transportation Systems," *IEEE CS and IEEE ComSoc*, June, 2006.
- [2] C. D. Wang, J. P. Thompson, "Apparatus and method for motion detection and tracking of objects in a region for collision avoidance utilizing a real-time adaptive probabilistic neural network", *US.Patent No. 5,613,039*, 1997.
- [3] M. Green, "How Long Does It Take To Stop? Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times", *Transportation Human Factors*, 2(3):195-216, 2000.
- [4] ASTM E2213-03, "Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems - 5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," *ASTM International*, July, 2003.
- [5] TechnoCom, "The WAVE Communications Stack: IEEE 802.11p, 1609.4 and 1609.3", *IEEE VTC'07*, September, 2007.

- [6] K. Bilstrup, E. Uhlemann, E. G. Strom, U. Bilstrup, "Evaluation of the IEEE 802.11 MAC method for Vehicle-to-Vehicle Communication," *IEEE magazine*, 2008.
- [7] P. Brenner, "A Technical Tutorial on the IEEE 802.11 Protocol," *Breezecom Wireless Communication*, 1997.
- [8] B. Kwak, N. Song, L. E. Miller, "Performance Analysis of Exponential Backoff," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, VOL. 13, NO. 2, pp, 343-355, April, 2005.
- [9] F. Ye, M. Adams, S. Roy, "V2V Wireless Communication Protocol for Rear-End Collision Avoidance on Highways," *ICC 2008*, pp,375-379, 2008.
- [10] S. Biswas, R. Tatchikou, F. Dion, "Vehicle-to-Vehicle Wireless Communication Protocols for Enhancing Highway Traffic Safety," *IEEE Communications Magazine*, pp74-82, January, 2006.
- [11] 강문수, "V2I, V2V 차량 통신을 위한 MAC 기술," *Information Network Review*, Vol. 22, May, 2008.
- [12] C. Han, M. Dianati, R. Tafazolli, R. Kernchen, "Throughput Analysis of the IEEE 802.11 Enhanced Distributed Channel Access Function in Vehicular Environment," 2010.
- [13] B. A. Forouzan, *Data Communications and Networking*, McGrawHill, 4th Ed., 2006.
- [14] 이승관, "A study of Dynamic Channel MAC mechanism in WAVE," MS dissertation, Hanyang University, 2010

변재욱 (Jaek Byun)

학생회원



2012년 2월 울산대학교 전기공학부 학사
<관심분야> 통신공학, 차세대 통신 네트워크

권성오 (Sungoh Kwon)

중신회원



1994년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 학사
1996년 2월 :KAIST 전기 및 전자공학과 석사
1996년 3월~2001년 1월 신세기통신 기술연구소
2007년 8월 Purdue University ECE 박사
2007년 8월~2010년 2월 삼성전자 DMC연구소 수석연구원
2010년 3월~현재 울산대학교 전기공학부 조교수
<관심분야> 이동통신 네트워크, MAC 설계, 간섭제어, 최적화