

베이지안 게임모델을 적용한 P -persistent MAC 기반 주기적 안정 메시지 전송 방법

권영호*, 이병호^o

A Stability of P -persistent MAC Scheme for Periodic Safety Messages with a Bayesian Game Model

YongHo Kwon*, Byung Ho Rhee^o

요 약

차량통신간 자동차의 정보를 포함하는 메시지인 비콘을 주변의 자동차들에게 주기적으로 전송함으로써 차량간의 안전을 보장해야 할 필요가 있다. 그러나 IEEE 802.11p/WAVE 환경에서는 혼잡상황에서 비콘 전송을 경쟁윈도우(Contention window)를 기반으로 한 MAC (Medium Access Control)에서 해결하도록 하였기 때문에 비콘 전송 과정에 충돌이 발생한다. 본 논문에서는 차량 혼잡 상황에서 비콘의 충돌을 막기 위해서 MAC 구조를 슬롯 p -persistent CSMA (Carrier Sense Multiple Access)라 가정하여 전송 확률에 대한 보수행렬(payoff)을 이용한 비협조적 베이지안 게임이론을 적용하여 베이지안 내쉬 균형점(BNE)을 도출하였다. 본 논문에서는 도출된 BNE를 가지고 포화 상태에서 비콘 전송률을 높일 수 있는 혼잡 제어 알고리즘을 제안했다. 제안된 알고리즘으로 경쟁윈도우크기와 주변 자동차 수에 관련된 함수를 통해 전송 확률을 계산하였다. 시뮬레이션 결과를 통해서 제안된 알고리즘이 안정적으로 동작함을 보였다

Key Words : vehicular safety communications, game theory, 802.11p, beacon, p -persistent

ABSTRACT

For the safety messages in IEEE 802.11p/WAVE vehicles network environment, strict periodic beacon broadcasting requires status advertisement to assist the driver for safety. In crowded networks where beacon message are broadcasted at a high number of frequencies by many vehicles, which used for beacon sending, will be congested by the wireless medium due to the contention-window based IEEE 802.11p MAC. To resolve the congestion, we consider a MAC scheme based on slotted p -persistent CSMA as a simple non-cooperative Bayesian game which involves payoffs reflecting the attempt probability. Then, we derive Bayesian Nash Equilibrium (BNE) in a closed form. Using the BNE, we propose new congestion control algorithm to improve the performance of the beacon rate under saturation condition in IEEE 802.11p/WAVE vehicular networks. This algorithm explicitly computes packet delivery probability as a function of contention window (CW) size and number of vehicles. The proposed algorithm is validated against numerical simulation results to demonstrate its stability.

* 주저자 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학부 차세대네트워크 연구실, phylio@hanyang.ac.kr, 학생회원
^o 교신저자 : 한양대학교 컴퓨터공학부 차세대네트워크 연구실, bhrhee@hanyang.ac.kr, 정회원
 논문번호 : KICS2013-06-237, 접수일자 : 2013년 6월 10일, 최종논문접수일자 : 2013년 7월 17일

I. 서 론

IEEE 802.11p/WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment) 환경^[1-3]에서는 각 차량의 위치, 속도, 이동 방향을 포함하는 메시지를 주기적으로 전송하여 차량 안전주행을 위한 서비스를 제공하게 된다. WAVE에서 사용하는 주파수는 DSRC(Dedicated Short Range Communication)로 고정된 대역인 5.8-5.92GHz의 대역폭에서 CCH(Control Channel)과 SCH(Service Channel)을 이용해서 차량 안전 메시지를 전달하여 교통안전을 위한 주기적인 전송 메시지를 차량 간 또는 외부 간 통신에 이용한다^[4].

차량 안전을 위한 주기적 전송 메시지는 CCH에 의해 전송하는 메시지 주기에 따라 두 가지로 나눌 수 있는데 차량 간 통신을 위한 짧은 주기를 가지는 메시지를 안전 메시지 혹은 “비콘(beacon)”이라고 하고 WBSS(WAVE Basic Service Set) 생성과 WBA(WAVE Service Announcement)를 위한 전송 메시지로 나눌 수 있다. 비콘은 해당 차량의 정보와 차량 안전 운행에 필요한 정보를 담고 있어서 이웃한 차량에게 비콘 전송을 통해서 각 차량 간에 현재 주행 상황에 대해서 실시간으로 알 수가 있고 차량 간에 위험 사항이 존재할 경우 미연에 알려주어서 사고를 방지할 수 있는 기능을 한다. 이러한 비콘 메시지의 정보를 최대한 활용하여 802.11p/WAVE에서 차량 간 안전을 위한 통신이 이루어지고 먼 거리의 차량과의 안전 메시지를 위한 통신에는 다른 차량들을 경유하여 통신해야 한다. 이에 따라 멀티홉(multi-hop)을 최소화 하는 경로를 구하는 라우팅도 필요로 한다^[5].

802.11p/WAVE 환경 하에서 비콘 메시지의 전송은 IEEE 802.11p는 IEEE 802.11e의 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access) MAC Sub-layer를 프로토콜 기반으로 하여 차량 간 비콘 메시지의 전달을 하고 있기 때문에 무선 채널 상태와 전송거리에 따라서 각 차량 간에 비콘 메시지 전달시 패킷 손실이 발생할 수 있다^[6]. 혼잡 구간과 같은 많은 차량이 밀집된 지역에서는 빈번한 비콘의 전송이 차량 간 통신 트래픽을 유발할 수 있으므로 네트워크 혼잡으로 인한 비콘의 전송 실패와 지연이 급격히 증가할 수 있다.

본 논문에서는 차량 밀집이 발생하게 되어 빈번한 비콘 전송이 발생할 경우에 전송 실패와 지연이 생기는 혼잡상황에서 비콘의 전송률을 높이기 위해

서 게임이론을 적용하였다. WAVE 802.11p/WAVE에서는 MAC 프로토콜을 기반으로 하여 패킷 전송과 수신이 이루어지고 송수신을 위한 한정된 자원인 채널을 획득하려고 하는 유한한 차량들이 참가하는 일종의 게임 구조라고 할 수 있다. 게임 이론^[7]은 게임에 참가하는 사용자(player)들이 이성적이라 가정하고 각 사용자들은 자신들이 최대 이익을 얻는 방향으로 행위를 한다고 본다. 이익을 얻기 위한 행위를 결정하는 것을 ‘전략’이라고 하고 사용자들의 해당 전략으로 비롯되는 행위에 대한 결과의 균형 상태를 ‘내쉬 균형’(Nash Equilibrium)이라고 한다. 게임이론은 일반적 협조(cooperative)와 비협조적(non-cooperative)으로 나눌 수가 있는데 협력적 게임은 플레이어가 서로 협력할 때의 행동들에 관한 것인데 실제 경쟁상황에서는 모든 사용자가 공통된 이득을 취하기보다는 개인이 이득을 취하기 위한 이기적인 행위를 하는 경우가 많기 때문에 비협조적인 게임이론을 중심으로 생각할 수 있다. 실제 무선 네트워크상에서 비협조적 게임은 여러 사용자가 한정된 매체를 서로 효율적으로 공유하면서 통신하는 방법론을 제공할 수 있다. 이를 위해서 네트워크 혼잡 상황에서 비콘의 전송률을 높이기 위해서 WAVE 802.11p의 MAC 기반을 *p*-persistent CSMA 구조라고 가정하였다. 이를 통하여 비콘 전송에 비협조적 게임이론을 적용했는데, 전송 전송률은 자신에 정보를 알고 있으나 수신하는 상대 측에 대한 정보를 완전히 알지 못한다는 점을 이용해서 게임이론의 하나인 베이저안 게임(Bayesian Game) 모델을 적용하여 전송확률에 따른 효용함수(Utility Function)를 통해서 최대효율을 얻을 수 있는 단힌 베이저안 내쉬 균형(Bayesian Nash Equilibrium; BNE)을 수학적으로 유도한다. 위 조건을 기반으로 최적화된 CW(Contention Window)를 유도하여 네트워크 혼잡상황에서 비콘 전송률을 높일 수 있는 알고리즘을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 네트워크 혼잡 상황에서 비콘을 효율적으로 전송하기 위해 제안된 관련 연구들을 살펴본다. 3장에서는 베이저안 게임을 적용하기 위해 해당 게임 모델과 유틸리티 함수를 수학적으로 분석하여 비콘 전송을 위한 혼잡 제어 알고리즘을 제시한다. 4장에서는 제안한 알고리즘을 적용한 모델에 대한 안정성과 성능 평가를 시뮬레이션을 통해 보이고 그리고 마지막 5장에서는 결론과 추가 연구에 대해서 제시한다.

II. 연구 배경

이번 장에서는 혼잡 네트워크 상태에서 비콘을 효율적으로 전송을 위한 관련 연구를 살펴본다. 먼저 802.11p MAC 기반 비콘 전송에 관하여 간단히 요약한 후 기존에 제안되었던 전송 방법과 이전 연구의 제시한 방법에 문제를 제기한다. 본 논문에서는 네트워크 혼잡 상황에서 게임이론을 적용하기 위해서 차량을 노드라고 표현할 것이다.

2.1. 802.11p MAC 기반 전송 과정

IEEE 802.11p MAC 기반의 EDCA 방식은 사용자 우선순위를 8개로 나누고 서로 다른 우선순위를 가진 데이터 프레임의 전송을 위해서 4개의 AC (Access Category)를 정의하고 AC에 속한 프레임을 전송하기 위해서 기존 802.11 DCF (Distributed Coordination Function)가 사용하는 DIFS (Distributed Inter Frame Space), CW (Contention Window) 대신에 우선순위에 따라 각각 다른 AIFS (Arbitration Interframe Space)값과 CW 값을 가지게 된다^[1]. AIFS와 CW의 값이 작을수록 우선순위가 높은 것으로 간주하여 우선 전송되게 한다. 채널이 비어있고 송신 프레임이 MAC 큐에 도착하면 AC 별로 backoff 기능을 수행하며 4개의 큐가 각기 다른 AIFS 시간 동안 기다린다. backoff 카운터가 0이었으나 채널이 busy인 상태 또는 큐에 있는 패킷이 성공적으로 전송이 되었을 경우 backoff 모드로 들어가고 CW의 크기는 변화가 없다. 만약 동시에 backoff를 마친 AC가 하나 이상 존재할 경우에는 AC간의 충돌은 가장 높은 우선순위를 가지는 AC에 있는 프레임이 다른 AC보다 CW와 AIFS 길이가 짧기 때문에 먼저 처리되고 다른 AC들은 CW 값을 증가시켜 다시 backoff 카운터를 갱신한다. backoff 시간은 랜덤하게 $[0, CW]$ 안에서 선택된 값과 802.11p 슬롯 길이의 곱으로 정해지게 된다. 우선순위가 높은 AC 패킷이 동시에 전송이 되거나 패킷 전송이 실패하는 경우는 backoff 시간은 CW_{max} 값을 취하거나 아니면 $2 * CW$ 로 결정이 된다.

2.2 관련 연구

IEEE 802.11p MAC은 carrier sensing 기법을 통해서 채널 상태를 감지하므로 전송범위에 위치한 노드 수가 증가할수록 채널 상태는 충돌된 패킷의 전송으로 오랫동안 점유 상태에 머물게 된다. 이로 인해 비콘 전송이 지연되는 현상이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 주변 자동차들의 GPS를 이용한 위

치 측정으로 해당 이웃 노드에 위치 오차가 임계값 범위를 벗어날 경우 비콘을 전달하는 방법^[7]이 제안된 적이 있으나 모든 차량의 위치 정보를 테이블 형태로 가지고 있어서 과거 위치와 현재위치를 항상 비교해야 한다는 문제가 있다. 또한 고정 비콘 주기를 기반으로 비콘의 채널 부하가 임계값보다 작아지도록 비콘 송신 전력을 제어하는 방법^[8]이 제안되었지만 위치정보와 각 노드의 파워 값을 모두 항상 계산해야 하는 문제가 있었다. 비콘 메시지의 혼잡을 감소하기 위해서 차량의 위치 경로에 따라 비콘 전송률과 전송 파워를 감소시키는 방법^[9]이 있으나 전송채널이 혼잡이 일어나지 않은 상태로 복귀해도 알지 못하고 항상 해당 차량의 전송파워를 먼저 감소시키거나 증가시키는 것을 적용하는 문제점이 있었다. 최근 연구로는 숨겨진 노드 (Hidden node) 문제를 고려하여 비콘 메시지의 최소 전송률을 주변 차량의 비콘 전송 에러율 (Beacon Error Rate)로 결정하는 프로토콜^[10]을 제안하기도 했는데 전송 구간별로 나누어 일정 임계값이 도달할 때까지 지속적으로 전송파워를 높이는 문제가 있어서 다른 일부 구간에서 혼잡이 발생하여도 혼잡이 발생한 해당 구간내의 상태를 혼잡상태로 인식하지 못해서 전송이 지연되는 현상이 발생할 경우가 있다

위에서 설명한 기존 연구들은 네트워크 혼잡시 비콘 전송 문제를 해결하기 위해서 주변 이웃 노드의 수를 예측하여 비콘 전송에 필요한 채널을 제어하는 방법과 예측된 이웃 노드 수를 통해 해당 비콘 전송률, 전송 파워를 일정 수준으로 제어하여 CW의 크기를 조절하거나 비콘 전송이 필요한 채널 용량을 일정 수준으로 유지하는 방법이었다. 제안된 방법들은 임의의 노드에 게 유리하게 작동하여 네트워크에서 노드들 간에 공정성을 저하시킬 수 있다. 하지만 본 논문에서는 이웃 노드의 수를 예측가능 하다면 각 노드의 비콘 관련 확률을 통해 최적 균형인 BNE를 도출하였다. 본 논문에서 제안한 방법은 BNE를 통해서 최적화된 CW 사이즈로 비콘을 전송하므로 각 노드의 공정성을 훼손시키지 않고 기존 802.11p MAC구조를 그대로 이용할 수 있는 장점이 있다.

III. 베이지안 게임 모델 및 제안 알고리즘

본 논문에서 가정하고 있는 상황은 비콘 메시지를 송신하는 대상은 자신의 정보를 알고 있어도 주위에 있는 수신자의 정확한 상태를 알 수가 없다는 것이다. 다만 데이터를 수신 받는 상대측도 최대 이익을 얻는 방향으로 동작할 것이라는 것을 가정할 뿐이다. 다시

말해서 전송측은 자신의 상태를 알고 있어도 수신측을 하는 측에 상태를 알 수 없는 비대칭 정보 (Asymmetric Information)로 이루어진 불완전 정보 (Incomplete Information)이라고 할 수 있기 때문에 [11]에 정의 되어 있는 베이지안 게임 모델에 적합하다. 이러한 베이지안 게임 모델을 802.11p/WAVE에 적용하기 위해서는 다음과 같은 가정이 필요하다.

- 전송 가능한 범위 안에 있는 각 차량들을 노드(Player)로 가정하고 노드의 개수가 유한 (Finite)하고 숨겨진 터미널 (Hidden Terminal)은 존재하지 않는다.
- 일정한 전송 시간을 가지는 타임 슬롯 시스템 상에서, 한 타임 슬롯 안에는 채널이 변하지 않고 슬롯 안에 전송을 위한 패킷들이 항상 있다. 즉, 포화조건 (Saturation Condition)상에서 동작한다.
- 비콘의 시작을 하나의 신호 (Signal)로 본다.
- 통신 범위 안에 있는 게임에 참가 하는 플레이어의 수를 항상 알고 있다.

전송 가능한 범위 내에 N 개의 노드가 있다고 가정하면 해당 노드들은 주어진 타임 슬롯 안에서 서로 전송을 시작하거나 기다리는 상태이고 주어진 채널대역폭 안에서 채널을 선택하여 전송을 시작하려고 할 것이다. 만약 수신측 노드가 패킷이 없는 상태라면 메시지를 정상적으로 수신할 것이고 아니라면 충돌 (Collision)이 발생할 것이다. 주어진 가정에서 802.11p에서 단일 홉 (single-hop) MAC 기반의 전송을 p -persistent CSMA 모델로 가정하고 패킷 전송에 관련하여 베이지안 게임 모델을 적용하였다. 802.11p EDCA와 p -persistent CSMA의 차이점은 backoff 주기가 지수분포 (exponential distribution)로 CW 에 의해서 결정이 된다는 것이다^[12]. 또한 802.11p EDCA에서 AIFS 구간이 AC에 따라 그 길이가 달라지기 때문에 CW 에 의한 802.11p backoff 주기를 p -persistent CSMA에서 동일하게 하기 위해서는 슬롯 시간 $t_{slot} = 1.3\mu s$ 에서 같은 backoff 주기를 가진다는 것을 [13]에서 증명하였다. [13]의 결과를 가지고 p -persistent CSMA에서 노드가 주어진 슬롯 시간 내에 채널을 통해서 패킷을 전송할 확률을 p 라고 한다면 $1-p$ 는 주어진 슬롯시간에 채널 상태가 바쁜(Busy)상태로 패킷이 전송되지 않고 있는 idle 상태로 정의할 수 있다. 확률 p 는 Bianchi 모델[14]과 802.11p 성능 측정 결과인 [15]를 이

용하여 CW 식으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$p = \frac{1}{CW+2} \quad (1)$$

N 개의 경쟁 노드에서 전송될 확률 p 를 가지고 다음과 같은 확률을 구할 수 있다.

$$p_{idle} = (1-p)^N \quad (2)$$

$$p_{tr} = Np(1-p)^{N-1} \quad (3)$$

$$p_{at} = 1 - (1-p)^N \quad (4)$$

위 식에서 p_{idle} 은 패킷 전송이 일어나지 않는 확률을 p_{tr} 은 패킷 전송이 한번 일어날 확률이고 p_{at} 은 한번 패킷 전송이 일어날 확률을 의미한다. 식 (2)-(3)에 의해서 성공적으로 전송할 확률을 p_s , 충돌(Collision)로 인한 확률을 p_c 라고 한다면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$p_s = \frac{Np(1-p)^{N-1}}{1 - (1-p)^N} \quad (5)$$

$$p_c = \frac{1 - Np(1-p)^{N-1} - (1-p)^{N-1}}{1 - (1-p)^{N-1}} \quad (6)$$

위 식 (5)-(6)들은 [16],[17]에서 도출된 적이 있다. 식 (1)-(6)을 이용하여 베이지안 게임 이론 적용을 위해서 각 노드의 비콘 전송 상태에 효용함수를 정의할 수 있다. 한 타임 슬롯 안에는 채널이 변하지 않고 만약 주어진 슬롯이 빈 상태를 찾아서 사용자가 전송을 시작하였다면 전송은 성공적이고 만약 슬롯이 비어 있지 않다고 한다면 해당 메시지의 전송은 실패라고 할 수 있다. 이러한 행위 자체를 비용 관점에서 본다면 전송이 성공한 것을 1의 값을 가진다고 한다면 전송에 필요한 비용은 채널을 이용해서 메시지 전송을 하므로 채널을 통한 전송이 발생할 경우 비용이 발생한다고 가정하고 이 비용을 c 라고 가정할 때 c 는 $0 < c < 1$ 의 범위에서 존재한다고 할 수 있다. 만약 idle 상태라고 한다면 비용은 0이라고 가정한다. 송수신자 관계에서 효용을 정의 하자면 주어진 슬롯 타임 안에서 패킷이 채널을 얻어서 전송될 경우 채널을 통한 전송률을 유지하는 것을 이득 G 라고 한다면

$G = Nr$ 이라고 표현할 수 있다. 여기서 r 은 전송률을 의미한다. 그러므로 전송, 유티, 충돌의 세 가지 이득 함수를 G_s, G_c, G_f 라고 하고 이득 함수에 따른 전송 효율함수 U_s , 충돌 효율 함수 U_f , 유티 효율함수 U_{idle} 이라고 한다면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$U_s = p_s G_s - C_i \quad (7)$$

$$U_f = p_c G_f - C_i \quad (8)$$

$$U_{idle} = p_c G_i \quad (9)$$

여기서 C_i 는 비용함수로 전송을 할 경우에 해당 전송을 할 경우 채널을 획득하기 위해서 노드에서 필요한 비용을 나타낸 함수이다. 위 식 (7)-(9)에서 정의된 효율함수를 이용하여 802.11p p-persistent CSMA 에 적용하기 위한 베이지안 게임 모델을 G 라고 한다면 $G = (\Theta, S, P, U)$ 로 나타낼 수 있고 비콘 전송이 802.11p backoff 카운터에 의해서 횟수가 정해져 있는 유한 게임 (Finite Game)이라고 가정한다면 비콘 전송 게임 모델 G 는 [11]을 이용해서 다음과 같이 정의할 수 있다.

- A set of players: 비콘 전송범위에 있는 유한한 차량(노드)들이다.

$$N = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad i, j \in N$$

- A type set: $\Theta = \Theta_1 \times \dots \times \Theta_I$ 로 나타내고 Θ_i 는 플레이어에 행동 θ_i 에 따라 결정되는 플레이어의 타입이다. 유한 게임에서는 행동이 바로 플레이어 타입이다. $\theta_i = \Theta_i$ (' \times '는 Cartesian Product를 나타낸다)
- S : 플레이어 i, j 가 취할 수 있는 가능한 행동(전략)들이다. 노드는 전송(Transmit: T) 이거나 전송하지 않음(Wait: W)의 두 가지 행동을 취할 수 있다.
- P : 결합 확률로 $P(\theta_1, \dots, \theta_i)$ 라고 나타낼 수 있다. 유한 게임에서는 $P(\theta_i) > 0$ for all $\theta_i \in \Theta_i$ 라고 할 수 있다.
- U : Payoff 함수로 $U_i : S \times \theta \rightarrow \mathbb{R}$

전송 채널을 공유하는 입장에서 동시에 전송을 하려고 한다면 플레이어들 간에 서로 충돌이 발생

할 것이다. 그러나 만약 게임에 참가하는 두 노드를 x_1, x_2 라고 가정한다면 x_1 이 전송하거나 전송을 하지 않는 상태를 선택했다고 해도 x_2 는 x_1 의 상태에 관계없이 자신이 행동을 결정하게 된다. 각 플레이어들은 자신이 취하는 행동으로 다른 플레이어에게 어떤 불이익을 주지 않을 것이라고 생각하고 자신의 이익을 최대화 하는 행동을 취하려고 한다. 각 게임에 참여하는 경기자가 하나의 전략을 선택하고 고수하는 것을 순수 전략 (Pure Strategy)이라고 하고 이러한 순수 전략 하에서는 사용자의 유형에 따라서 행동들이 결정이 된다^[11]. 순수 전략 기반에서 각 노드들의 행위는 최상의 반응 (Best Response)으로 가정하여 패킷을 전송하는 행동을 T라고 하고 전송하지 않는 행위를 W라고 한다면 노드 j 가 행위를 취할 전략을 S_j 라 하고 노드 i 가 가질 전략을 S_i 라고 가정하였다. 이때 노드 j 가 노드 i 전략에 따라 가질 수 있는 효율 (Payoff) 함수를 U_j 라고 한다면 전송 노드 $i \in \{1, \dots, N\}$ 일 경우에 수신 노드 j 의 효율함수는 다음 식과 같이 나타낸다.

$$U_j(S_1, \dots, S_N) = \begin{cases} U_s & \text{if } S_j = T \text{ and } S_i = W \text{ for all } i \neq j \\ U_f & \text{if } S_j = T \text{ and } S_i = T \text{ for some } i \neq j \\ U_{idle} & \text{if } S_j = W \end{cases} \quad (10)$$

혼잡상황에서 비콘 메시지 전달을 위해서는 항상 전송 효율이 높아야 하므로 $U_f < U_s$ 이고 $U_{idle} < U_s$ 라고 할 수 있다. 그러므로 $U_f < U_{idle} < U_s$ 아니면 $U_{idle} < U_f < U_s$ 일 때 효율이 어느 쪽인지를 결정해야 하는데 단순 전략 하에서 $U_f < U_{idle}$ 이라면 수신자는 idle상태에 머물려고 할 것이다. 그러므로 송신자의 최상의 응답은 전송을 선택하는 것이고 이때 베이지안 내쉬 균형(BNE)가 존재하게 된다. 만약 $U_{idle} < U_f$ 라면 수신자는 항상 전송이 실패하는 상태가 되는 것이고 수신자의 최상의 응답은 전송의 상관없이 실패 (Fail)가 되기 때문에 BNE는 존재하지 않게 된다. 그러므로 BNE를 구하려면 $U_f < U_{idle} < U_s$ 인 상태에서 고려해야 한다.

$U_f < U_{idle} < U_s$ 상태에서 p-persistent CSMA의 BNE를 구하기 위해서는 [11]에 의하여 노드가 전송을 택할 순수 전략 S 일 때 유한

BNE는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$S_i(\theta_i) \in \operatorname{argmax}_{s_i' \in s_i} \sum_{\theta_i} P(\theta_i | \theta_{-i}) U_i(S_i', S_{-i}(\theta_{-i}), \theta_i, \theta_{-i}) \quad (11)$$

이것은 플레이어가 자신의 유형을 알고 있을 때 기대 효용을 극대화하기 위해서 주어진 유형에 따라 최대 효용을 얻을 수 있는 전략을 선택해야 한다는 것이다. 위 식에서 최대 효용을 얻을 전략은 전송에 성공할 때 1이라는 값을 얻는 것으로 가정했으므로 플레이어는 전송을 하는 전략을 취하는 것이 최대 효용이 되고 BNE는 $U_f < U_{idle} < U_s$ 일 때 비콘 패킷 전송 노드 i 가 취할 수 있는 전략 집합을 $i = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 한다면 전송 전략 s 에 따라 노드의 행위가 결정되고 이때 수신 노드 j 의 기대 효용함수는 n 개의 노드가 비콘 통신 환경 내에 있을 경우 식 (7)-(9)를 이용해서 다음 식 (12)로 나타낼 수 있다.

$$E(U_j(s_1, s_2, \dots, s_n)) = U_s s \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n-1} (1-s) + U_f s \left[1 - \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n-1} (1-s) \right] + U_{idle} (1-s) \quad (12)$$

위 식 (12)를 본 논문에서는 전송 전략 s 를 취할 때 최대 효용을 얻는다고 가정했으므로 최대 기대 효용 값을 얻기 위해 s 로 미분하여 0이 되는 값을 취하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial U_j}{\partial s} = U_s (1-s)^{n-1} + U_f (1 - (1-s)^{n-1}) - U_{idle} = 0 \quad (13)$$

식 (13)에 의해서 수신 노드 j 에 효용을 극대화할 수 있는 식은 다음 식과 같다.

$$s = (s_i = T) = 1 - \left(\frac{U_{idle} - U_f}{U_s - U_f} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (14)$$

$$E(U_j(s_1, \dots, s_{j-1}, s_j, s_{j+1}, \dots, s_n)) = U_{idle} \quad (15)$$

식 (13)-(15)을 통해 노드 $j \in \{1, \dots, n\}$ 일

때 전략은 $S_{j|i} = \{1, \dots, n\}$ 를 취함으로써 BNE를 이루는 것을 알 수 있고 최적 전송 효용은 U_f, U_{idle}, U_s 에 대한 식으로 나타낼 수 있고 최적의 전송 효용은 U_{idle} 에 의해서 결정된다는 것을 알 수 있다.

해당 비콘 프레임을 효율적으로 전송하기 위해서는 최적화된 CW를 찾는 것이 중요하다. 가정된 시스템 모델에서 베르누이 분포로 패킷이 도착한다고 한다면 프레임 L_i, L_s, L_c 을 유티 슬롯, 성공슬롯, 충돌 슬롯의 길이라고 정의하고 유티 슬롯의 길이가 1의 값을 가진다고 가정 한다면 성공슬롯과 충돌 슬롯의 길이는 비콘 프레임의 길이를 [18]에서 제안된 500byte를 이용하여 계산하면 88 슬롯 값을 가지게 된다. 이 값을 가지고 비콘 프레임에 대한 전송 효율을 S_{th} 라고 한다면 각 프레임에 따른 확률을 적용해서 [19]에서 제안된 802.11p의 성능 평가를 참조로 하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S_{th} = \frac{L_s p_s}{L_i p_{idle} + L_s p_s + L_c p_c} \quad (16)$$

제안한 시스템 모델 하에서 비콘 메시지가 전송 가능한 거리 내에 유한 N 개의 차량이 있다면 프레임의 전송 효율을 나타낸 식 (16)은 식 (1)-(6)을 통해서 CW에 관한 함수로 나타낼 수 있고 CW에 최적 해를 W 라고 한다면 해당 최적 해를 구하기 위해 W 에 대한 미분을 취하면 다음 방정식의 해가 된다.

$$(L_c - 1) \left(1 - \frac{1}{W+1} \right)^N + L_c \left(\frac{N}{W+1} \right) = 0 \quad (17)$$

$\frac{1}{W+1} \ll 1$ 이므로 수식을 테일러급수의 전개식으로 근사화를 다음과 같이 할 수 있다.

$$\left(1 - \frac{1}{W+1} \right)^N \approx 1 - \frac{N}{W} + \frac{N(N+1)}{2W^2} \quad (18)$$

위 식 (18)을 식 (13)에 대입하면 해당 프레임에 대한 근사해를 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$W \approx \frac{N(N+1)(L_c - 1)}{-N + \sqrt{N^2 + 2N(N+1)(L_c - 1)}} \quad (19)$$

주위 차량의 수 N 이 충분히 크다면 위 식 (19)는 다음과 같은 식으로 근사화 된 해를 구할 수 있다.

$$W \approx \frac{(L_C - 1)N}{\sqrt{2L_C - 1} - 1} \quad (20)$$

실제 CW 에 크기 구간은 자연수가 되어 하므로 최적 CW 인 W_{opt} 는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$W_{opt} = \operatorname{argmax}_{\|w\|} [s(\lfloor W_{opt} \rfloor), s(\lceil W_{opt} \rceil)] \quad (21)$$

식 (12)-(21)을 이용해서 혼잡 상황에서 비콘 전송은 통신 반경 내에 차량 수를 알고 있다면 각 차량 간 효용 함수를 이용해 BNE 를 구하고 해당 BNE 에 따라 최적 CW 에 따라 비콘 전송을 한다. 만약 차량 수의 정보를 모른다면 기존 CW 를 이용해서 backoff 카운터를 설정한 후 비콘을 전송한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 다음 그림 1과 같다.

Algorithm1 Contention window updating mechanism with BNE
While do
If the vehicle v receives broadcast containing the current number of transmitting vehicles N then
Calculate W_{opt} based on Equation (21)
Set $CW_{min}=CW_{max}=W_{opt}$
else
use previous CW
end if
end while

그림 1. 베이직한 내쉬 균형에 의한 Contention Window 변경 알고리즘
Fig. 1. The algorithm for Contention Window updating mechanism with BNE

IV. 실험 및 성능 평가

본 논문에서는 비콘 통신 반경 내에서 많은 노드들이 존재해서 네트워크 혼잡 상황이라고 가정하였다. 네트워크 혼잡 상황에서는 무선 네트워크가 포화상태가 될 수 있다. 포화 상태라는 것은 네트워크 상에 비콘 전송에 참여하는 노드들이 모두 보낼 데이터가 항상 MAC 계층에 큐에 존재한다는 것이다.

본 논문에서 제안된 알고리즘을 적용할 경우 포화 상태에서도 비콘이 충돌 없이 전송되는 것을 보여주기 위해서 MATLAB[®]을 이용하여 실험을 하였다.

먼저 시뮬레이션을 통해 네트워크에 참여한 노드 수를 증가하여 BNE 의 변화를 측정하였다. 그림 2는 비용 계수 C 를 0.1로 했을 경우 비콘 통신 반경 내에 게임에 참여하는 플레이어 수를 0에서부터 시작하여 5씩 증가시켰을 때 전송 BNE 과 U_{idle} 효용함수 관계를 시뮬레이션 한 결과이다. 아래 그림 2의 그래프 결과에서 보듯이 게임의 참여하는 플레이어 수가 증가함에 따라 BNE 는 급격하게 낮아지는 것을 알 수가 있다. 또한 시뮬레이션의 결과로 게임에 참여하는 노드의 수가 20명이 초과 할 경우에는 전송 확률 BNE 값인 0.05에 근접하게 한번 나타난 다음 급격하게 0 값 이하로 떨어지게 되는 것을 보아 노드 증가에 따라 비콘 충돌이 발생할 확률이 높아져서 전송이 제대로 이루어지지 않을 가능성이 있는 것을 알 수 있다. 그러므로 비콘을 전달할 수 있는 통신 반경에 있는 플레이어 수는 20명 이하일 때 의미 있는 값을 가진다고 가정할 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통해서 비콘을 전달할 수 있는 통신 반경 안에 플레이어 수는 5 안팎일 경우가 BNE 가 가장 좋으며 패킷을 전송하기 위해서 대기하는 시간이 많아질수록 비콘이 전송될 확률이 낮아진다고 할 수가 있다.

그림 3는 식 (21)을 통해서 최적의 CW 의 크기를 비콘 전송 가능한 통신 반경 내의 노드의 수에 따라 나타난 시뮬레이션 결과이다. 해당 그래프에서 주변 노드 N 에 대해서 선형적으로 증가함을 알 수가 있다. 그림 2의 그래프 상에서 노드 수는 통신 반경 내의 자동차의 수와 같으므로 BNE 를 구할 때 사용했던 노드 수에 일치하는 값을 보면 $N=5$ 일 경우 $W_{opt}=35.57$, $N=10$ 일 경우 W_{opt} 는 71.14, $N=15$ 일 경우에는 $W_{opt}=106.7$ 임을 알 수가 있다.

다음 시뮬레이션에서는 혼잡 상황에서의 비콘 전송에 발생하는 충돌에 대한 처리 방법에 대해서 802.11p EDCA와 비교하였다. WAVE에서는 AIFS 구간을 AC에 따라 그 길이가 다르지만 시뮬레이션에서는 수학적 간소화를 위해서 [13]에서 가정한 802.11p EDCA 모델을 적용하였다. 시뮬레이션에서 측정된 항목은 정규화 된 처리량 (normalized throughput)을 기준으로, 다른 말로 채널이용률이라고도 한다, 게임에 참여하는 노드 수를 최대 20까지 증가하면서 처리량 변화를 측정하였다. 시뮬레이션의 결과는 그림 4와 같다. 비교 대상인 802.11p EDCA 모델은 단말의 수가 증가할

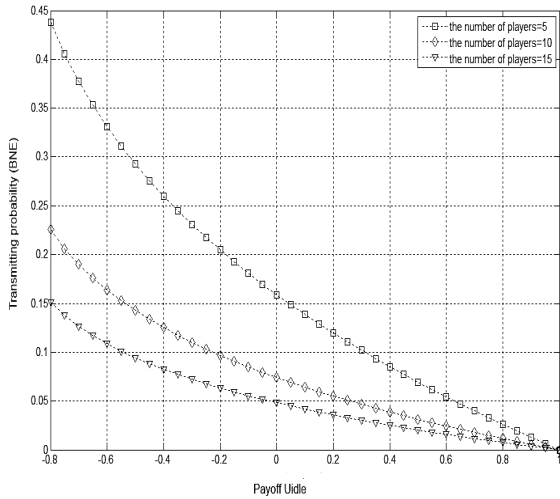


그림 2. 베이지안 내쉬 균형에 의한 전송 확률과 U_{idle} 변화
Fig. 2. Value of probability and U_{idle} with Bayesian Nash Equilibrium

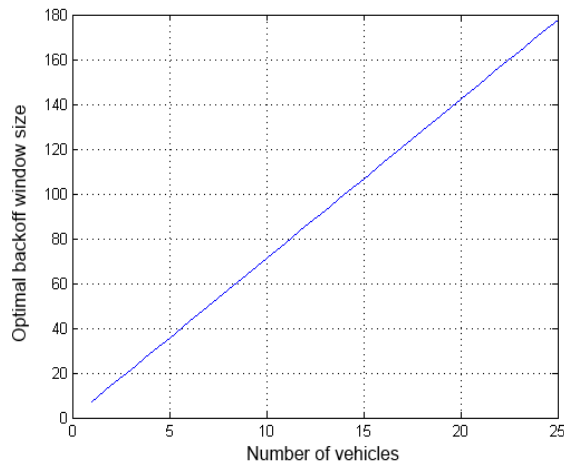


그림 3. 통신 반경 내의 차량 수에 따른 최적 CW 크기
Fig. 3. The optimal CW size vs. number of vehicles

수록 처리량이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 노드의 수가 증가할수록 충돌이 발생할 확률이 높기 때문이다. 반면 본 논문에서 제안된 비콘 전송 방법은 노드의 수가 증가하더라도 처리량이 크게 감소하지 않는다. 이러한 결과는 비콘 전송에 충돌이 발생할 경우 BNE를 통해서 전송에 참여하는 각 노드들에게 전송 기회를 균등하게 보장하기 때문이다.

본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용한 시스템 모델이 안정성이 있는지 확인하기 위해서 [18]에서 제안한 N 개의 노드가 패킷을 전송하기 위해서 경쟁하고 있을 경우 모든 노드가 λ (packets/slot)의 속도로 전송할 때 이 네트워크가 안정성을 가질 경우의 조건은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

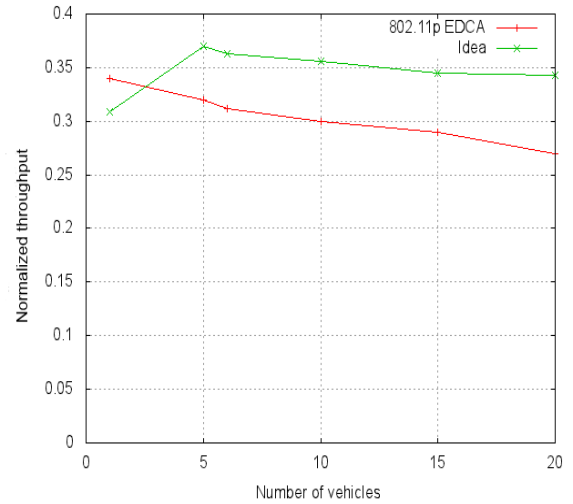


그림 4. 정규화 된 네트워크 처리량 비교
Fig. 4. Normalized networks throughput comparisons

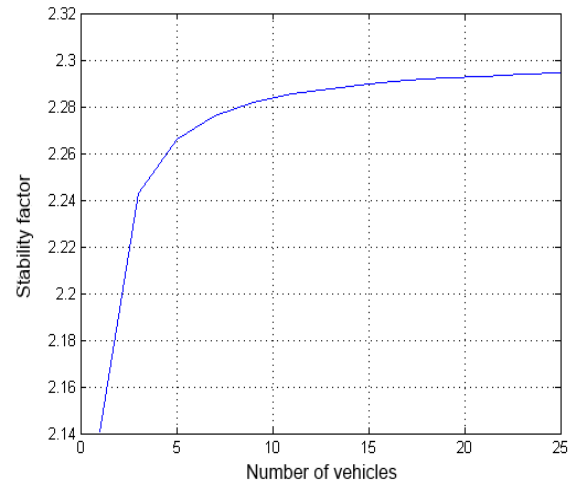


그림 5. 포화 상태에서의 안정성 지수
Fig. 5. Stability factor for the saturation case

$$p(1-p)^{N-1} > \lambda \quad (22)$$

식 (22)을 이용하여 각 노드의 전송속도를 0.034(packets/slot)일 경우로 가정하여 안정성에 대하여 시뮬레이션을 한 결과가 그림 5이다.

해당 그래프를 보면 비콘 통신 반경 내의 주변 차량의 수가 증가하여 포화상태(Saturation)인 시스템이 되어도 안정성 지수인 2.3에 근접하게 동작하는 것을 알 수 있다. 즉 BNE로 최적 CW를 구하여 확률 p 에 따라 전송 하는 방법은 비콘 전송에 참여하는 노드의 수가 증가하더라도 임의 노드에 유리하게 적용하지 않고 네트워크에 참여하고 있는 노드들에게 공정한 기회를 주게 되므로 네트워크 안정성을 유지한다.

V. 결 론

본 논문에서는 802.11p/WAVE 에서 차량들이 일정하게 밀집되어 있는 네트워크 혼잡상태에서 비콘을 효율적으로 전달하기 위해서 게임이론인 베이지안 게임을 적용하였다. 게임이론을 적용하기 위해서 효용함수와 확률에 따른 수학적 모형을 제시하였고 베이지안 내쉬 균형에 의한 최적 경쟁 윈도우 크기에 따라 비콘을 전송하는 알고리즘을 제시하였다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘으로 시뮬레이션을 수행한 결과 비콘 통신 반경 내의 차량 수를 알 경우에 기존의 방법들보다 본 논문에서 제안하는 방법이 비콘 전송에 더 나은 성능을 보였다. 또한 제안된 알고리즘을 적용한 시스템 모델이 안정적인 것을 시뮬레이션을 통해 보였다.

향후 연구로, 첫째 실제 차량은 이동 속도가 있기 때문에 비콘 메시지 전송 반경 내 게임에 참가하는 플레이어의 수가 변하는 것을 적용할 필요성이 있다. 둘째 포화 상태가 아닌 일반적인 상황에서 숨은 노드 문제를 해결할 수 있도록 RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send)을 이용하는 게임 모델을 만드는 것이 유용하리라 본다.

References

- [1] IEEE, *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments*, IEEE Std. 802.11p-2010, 2010.
- [2] IEEE, *IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) –Networking Services*, IEEE Std. 1609.3-2010, 2010.
- [3] IEEE, *IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Multi-channel Operation*, IEEE Std. 1609.4-2010, 2010.
- [4] F. Bai and H. Krishnan, “Reliability analysis of DSRC wireless communication for vehicle safety applications,” in *Proc. IEEE Intell. Transportation Syst. Conf. (ITSC)*, pp. 355-362, Toronto, Canada, Sep. 2006.
- [5] O. Tonguz, N. Wisitpongphan, F. Bai, P. Mudalige, and V. Sadekar, “Broadcasting in VANET,” in *Proc. IEEE Mobile Networking Veh. Environments*, pp. 7 - 12, Anchorage, U.S.A., May 2007.
- [6] F. Ye, M. Adams, and S. Roy, “V2V wireless communication protocol for rear-end collision avoidance on highways,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Workshops (ICC)*, pp. 375 - 379, Beijing, China, May 2008.
- [7] A. Boukerche, C. Rezende, and R. W. Pazzi, “Improving neighbor localization in vehicular Ad Hoc networks to avoid overhead from periodic messages,” in *Proc. IEEE GLOBECOM*, pp. 1 - 6, Honolulu, U.S.A., Nov.-Dec. 2009.
- [8] M. Torrent-Moreno, J. Mittag, P. Santi, and H. Hartenstein, “Vehicle-to-vehicle communication: fair transmit power control for safety-critical information,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 7, pp. 3684 - 3703, Sep. 2009.
- [9] C. L. Huang, Y. P. Fallah, R. Sengupta, and H. Krishnan, “Adaptive intervehicle communication control for cooperative safety systems,” *IEEE Network*, vol. 24, no. 1, pp. 6-13, Jan.-Feb. 2010.
- [10] R. S. Y. Fallah, C. L. Huang, and H. Krishnan, “Analysis of information dissemination in vehicular Ad-Hoc networks with application to cooperative vehicle safety systems,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 1, pp. 233-247, Jan. 2011.
- [11] M. J. Osborne, *An Introduction to Game Theory*, Oxford University Press, 2003
- [12] F. Cali, M. Conti, and E. Gregori, “Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit,” *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 8, no. 6, pp. 785 - 799, Dec. 2000.
- [13] Y. Wang, A. Ahmed, B. Krishnamachari, and K. Psounis, “IEEE 802.11p performance evaluation and protocol enhancement,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Veh. Electron. Safety (ICVES 2008)*, pp. 317 - 322, Columbus, U.S.A., Sep. 2008.
- [14] G. Bianchi, “Performance analysis of the

IEEE 802.11 distributed coordination function,” *IEEE J. Selected Areas Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 535-547, Mar. 2000.

[15] C. Han, M. Dianati, R. Tafazolli, and R. Kernchen. “Throughput analysis of the IEEE 802.11p enhanced distributed channel access function in vehicular environment.” in *Proc. IEEE 72nd Veh. Technol. Conf. Fall (VTC 2010-Fall)*, pp.1-5, Ottawa, Canada, Sep. 2010.

[16] Y. Wang, A. Ahmed, B. Krishnamachari, and K. Psounis, “IEEE 802.11p performance evaluation and protocol enhancement,” in *Proc. 2008 IEEE Int. Conf. Veh. Electron. Safety (ICVES)*, pp. 317-322, Columbus, U.S.A., Sep. 2008.

[17] W. Alasmay and W. Zhuang, “The mobility impact in IEEE 802.11p infrastructureless vehicular networks,” in *Proc. IEEE 72nd Veh. Technol. Conf. Fall (VTC 2010-Fall)*, pp. 1 - 5, Ottawa, Canada, Sep. 2010.

[18] W. Luo and A. Ephremides, “Stability of N interacting queues in random-access systems,” *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 45, no. 5, pp. 1579 - 1587, July 1999.

권영호 (YongHo Kwon)



2000년 2월 충북대학교 학사
2003년 2월 한양대학교 미디어통신공학과 석사
2009년 3월~현재 한양대학교 전자컴퓨터통신공과 박사과정
<관심분야> 이동통신공학, 2D, 게임이론

이병호 (Byung Ho Rhee)



1975년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업
1977년 2월 한양대학교 전자공학과 석사
1993년 3월 National Chiba University 박사
1981년~현재 한양대학교 컴퓨터공학부 교수

<관심분야> 네트워크, NGN, 무선망 보안