ISSN 1598-0170 (Print)
ISSN 2287-1136 (Online)
http://www.jksii.or.kr

# 802.11p 기반 다중 라디오 다중채널 네트워크 환경에서 안전 메시지 전송을 위한 내쉬 협상 해법을 이용한 채널할당

# Channel assignment for 802.11p-based multi-radio multi-channel networks considering beacon message dissemination using Nash bargaining solution

권 영 호[1] 이 병 호[2*]
Yong-Ho Kwon Byung-Ho Rhee

요 약

IEEE 802.11p 차량 네트워크 환경 (WAVE)에서는 차량 운전자의 안전을 위해서 주기적으로 안전 메시지를 전송하도록 되어 있다. 차량 안전 메시지의 전송을 통해 도로상의 안전과 주행 효율을 제공하기 위해서 WAVE 표준에서는 멀티 채널 멀티 라디오 환경을 제안하고 있다. 그러나 WAVE 표준안은 안전메세지를 하나의 물리 디바이스에 하나의 채널을 이용하여 제어하고 전송하는 것으로 정의되어 있어서 다중 라디오 환경과 안전 메시지 전송 효율성을 고려하지 않았다. 또한 네트워크 무선상에서 서로 충돌이 일어나지 않는 채널을 할당하는 채널 할당은 네트워크 망구성방식을 잘 알고 있거나 모든 노드들이 같은 전송률을 가지는 무선 대역에 있어도 NP-hard한 문제로 잘 알려져 있다. 본 논문에서는 최신 802.11p와 1609.4 802.11p 표준을 이용해서 다중 채널 다중 라디오 WAVE 환경을 무선 메쉬 네트워크로 가정하여 Nash 협상 게임을 통해서 서로 간섭이 없는 채널을 할당하는 방법을 제안하고자 한다. 본 제안된 알고리즘은 시뮬레이션을 통해서 검증하였고 해당 알고리즘이 8채널 3 라디오 환경에서 랜덤 채널 할당 방법이나 Tabu 알고리즘보다 효율성이 좋다는 것을 입증하였다.

☞ 주제어 : 차량간 이동통신, 채널 할당, 다중채널

ABSTRACT

For the safety messages in IEEE 802.11p vehicles network environment(WAVE), strict periodic beacon broadcasting requires status advertisement to assist the driver for safety. WAVE standards apply multiple radios and multiple channels to provide open public road safety services and improve the comfort and efficiency of driving. Although WAVE standards have been proposed multi-channel multi-radio, the standards neither consider the WAVE multi-radio environment nor its effect on the beacon broadcasting. Most of beacon broadcasting is designed to be delivered on only one physical device and one control channel by the WAVE standard. also conflict-free channel assignment of the fewest channels to a given set of radio nodes without causing collision is NP-hard, even with the knowledge of the network topology and all nodes have the same transmission radio. Based on the latest standard IEEE 802.11p and IEEE 1609.4, this paper proposes an interference aware-based channel assignment algorithm with Nash bargaining solution that minimizes interference and increases throughput with wireless mesh network, which is deigned for multi-radio multi-cahnnel structure of WAVE. The proposed algorithm is validated against numerical simulation results and results show that our proposed algorithm is improvements on 8 channels with 3 radios compared to Tabu and random channel allocation algorithm.

☞ keyword : IEEE 802.11p, Channel assignment, Multi-channel

## 1. Introduction

VANET 환경에서 차량 통신에 대한 표준 규격은 IEEE 802.11p를 기반으로 하는 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment) [1]-[3]로 각 차량의 위치, 속도, 이동 방향을 포함하는 메시지를 주기적으로 전송하여 차량 안전주행을 위한 서비스를 제공하게 된다. WAVE에서는 주파수 대역인 5.8-5.92GHz의 DSRC (Dedicated Short Range Communication)를 이용해서 CCH (Control Channel)과 SCH (Service Channel)을 이용해서 차량 안전 메시지(beacon)를 전달하여 교통안전을 위한 주기적인 전송(periodic) 또는 사건 발생(event-driven)에 대해 차량 간 또는 외부 간 통신에 차량 정보를 서로 공유하게 된다[4]. 차량 안전 메시지는 차량 운전자들의 안전에 직결되는

[1] Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Rep. of Korea.
[2] Department of Computer Science and Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Rep. of Korea.
[*] Corresponding author (bhrhee@hanyang.ac.kr)
[Received 27 December 2013, Reviewed 08 January 2014(R2 10 March 2014), Accepted 03 April 2014]


http://dx.doi.org/10.7472/jksii.2014.15.3.63

문제이므로 해당 메시지의 전송은 멀티캐스트(Multicast)를 지원해야 하며 전송에 지연이 발생하지 않도록 멀티채널(Multi-channel)을 통해서 전송하기 위해서 IEEE std 1609.4-2010[3]에서는 MAC 프로토콜을 1개의 CCH와 SCH 여러개의 채널구간으로 나누고 해당 CCH와 SCH를 서로 50ms 주기 간격으로 서로 이용하게 정의되어 있다. 그러나 표준 규격에서는 하나 이상의 물리 디바이스를 차량에 지원하는 것으로 되어 있지만 실제 동작의 설명은 하나의 물리 디바이스를 하나의 CCH와 SCH가 50ms 주기로 교대로 사용하여 차량 안전 메시지를 전달하는 것으로 설명되어 있다. 이러한 IEEE 802.11p/WAVE 멀티채널 전송 표준 규격의 단점은 하나의 디바이스 환경으로 멀티 라디오 환경을 고려하지 않았고 하나의 CCH를 통해서 안전 메시지 전송을  관리하여 네트워크 혼잡 상황에서 안전 메시지가 포화(congestion) 상태가 될 가능성이 있고, 채널 변경시 지연이 발생할 수 있다. 또한 다중채널을 사용하게 된다면 같은 주파수 대역에서 무선을 통해 통신을 하는 노드들이 같은 채널을 사용하여 송수신을 수행하거나 또는 하나 이상의 노드를 통해서 같은 채널로 수신을 하게 되면서 채널 충돌이 발생하게 된다. 이러한 충돌 현상을 피하기 위해서 주파수 대역 내에 노드들에게 서로 중복되지 않은 채널을 할당하여 전송 효율을 높일 수 있다. 또한 채널의 수는 무한정 늘릴 수 없으며, 정해진 대역폭 안에서 분배해야 하므로 네트워크에서 사용하는 채널의 수가 많아질수록 채널당 사용할 수 있는 주파수 대역폭이 좁아지므로 중복 되지 않는 채널을 효율적으로 할당하는 것이 중요한 문제가 될 수 있다. 이러한 채널 할당 (CA: Channel Assignment) 문제는 다중채널을 가지고 있는 무선 네트워크 성능을 높이는 중요한 문제이지만 해당 채널 할당 문제는 네트워크 토플로지를 잘 알고 있어도 NP-hard문제로 알려져 있다[5]-[6]. 채널 할당 문제가 NP-hard이지만 최소 그래픽 컬러링(minimum graphic coloring)을 통해서 어느 정도 해결할 수 있음을 보여 주었다[6].

본 연구에서는 802.11p/WAVE 환경에서 효율적으로 차량 안전 메세지를 전송하기 위해서 경쟁 링크에 채널을 할당하기 위해서  802.11p/WAVE 네트워크 환경을 다중 라디오 다중 채널 기반의 무선 메쉬 네트워크(wireless mesh network) 으로 가정하여 한 개 이상의 네트워크 인터페이스 (NIC : Network Interface card)를 가지고 있어서 멀티 라디오 환경에서 다중채널을 이용할 수 있다는 가정을 기반으로 경쟁 그래프를 통해 채널 경쟁에 있는 링크를 파악하여 경쟁에 있는 노드들에게 다른 채널을 배분할 필요가 있을 경우 해당 경쟁 관계에 있는 노드들이 서로 협력해서 유한한 개수의 채널을 서로 상호 이득에 따라 채널을 배정 할 수 있다고 가정하고 Nash[9]가 제안한 내쉬 협상 게임을 통해서 N 명의 사용자가 무선 네트워크를 구성하는 각 링크에 채널을 할당하는 방법을 적용하고자 한다.

## 2. Related Works

IEEE 802.11/WAVE 표준[1]-[3]에 정의된 대로 비콘 메시지를 전송하게 되면 혼잡 상황(congested network)에서 비콘 패킷 충돌 또는 지연 되는 문제점이 발생하기 때문에 이러한 문제점을 해결하기 위한 많은 연구가 제시되었다. IEEE 802.11p/WAVE 환경에서 멀티 채널을 MAC layer에서 효율적으로 다루기 위한 연구도 제시되었는데 IEEE 802.11p 1609.4 표준을 기반으로 하는 비동기식 MAC schema[7]를 제안하였고, 수신측 SNR(signal-to-noise-ratio)을 이용하여 토큰링 방식의 멀티채널을 이용한 방식[14]의 연구가 제안되었지만  SNR을 실시간으로 측정하는 방법은 아직 해결하지 못한 상태이다. 또한 vehicular mesh networks (VMESH) protocol을 제안하여 CCH와 SCH의 타임 싱크를 이용하여 채널을 이용하는 방법을 제시한 연구[16]도 제안되었지만 두 개의 라디오를 이용하여 하나의 라디오는 CCH주기 동안 사용하여 안전 메세지 전송을 담당하고 나머지 라디오는 서비스 전송을 위해서 SCH 채널을 할당하기 위해서 적용하여 CCH와 SCH 주기 변화시 하나의 라디오가 사용하지 않는다는 단점이 존재한다.

게임이론을 적용하여 멀티채널을 이용하는 연구[17]-[19]가 제시되었는데,  두 사용자간의 내쉬 협상 게임[17]의 연장선에서 채널 분배를 방법을 제시한 방법과 공정성을 도입하여 내쉬 균형점을 통한 채널 방법[18]에 대한 연구가 있었고 그리고 무선 네트워크 채널 간섭을 로그 볼록(log convex)함수를 통해 성능 향상을 위한 내쉬 균형점[19]을 제안한 연구가 있다. 또한 본 논문의 이전 연구로 베이지안 게임이론을 통해 네트워크 혼잡 상황(congested newtwork)에서 802.11p MAC layer를 기반으로 혼잡 윈도우(congested window: CW)의 크기를 베이지안 내쉬 균형점에 따라서 비콘 재전송 할 수 있는 기법[8]을 제시하였다.

# 3. System Model

## 3.1 Channel Allocation Model

무선네트워크상에서 노드들의 구성(Network topology)을 무방향성 그래프(undirected graph)로 표현하면 *G(V,E)*로 표기 되고 여기서 *V*는 네트워크를 구성하고 있는 정점(vertex) 또는 노드를 표현하고 *E*는 네트워크 엣지 또는 링크를 표기된다. 두 노드간의 링크로 연결되었다는 것은 전파 가능한 주파수 범위 안에 있는 같은 채널을 사용한다고 할 수 있다. 각 노드가 통신을 위한 연결 링크를 유지 하게 되면 무선 통신 반경 안에 있는 다른 노드들과 간섭 현상이 발생하게 된다. 이러한 간섭 현상을 판단하여 무선 네트워크를 구성하는 모든 링크들의 간섭을 표현한 것을 경쟁 그래프(conflict graph)[10]라고 한다. 경쟁 그래프는 토플로지 그래프에서 쉽게 유도할 수 있다는 장점이 있다.

논문에서는 노드 간에 채널 할당에 따른 간섭의 표현을 binary interference model을 적용한다. binary interference model은 연결된 링크에 무선 반경 안에 있는 다른 노드와 간섭이 있거나 또는 간섭이 없다고 가정하는 모델이다. 예를 들어 간섭이 있다면 “1”로 표기하고 간섭이 없다면 “0”으로 표기한다. 이러한 binary interference model을 conflict graph를 적용하여 각 링크들의 간섭을 줄이면서 채널을 할당하는데 사용한다. 그러므로 경쟁 그래프를 통한 간섭을 표현하기 위해 두 노드가 연결된 해당 링크가 *G(V,E)*에 존재하고 해당 링크를 $E_{a,b}$라고 표기하고, 간섭거리(Interference range)를 *R* 이라고 할 경우 다음과 같이 경쟁 그래프에 값을 표기할 수 있다.

$$E_{a,b} = \begin{cases} 1, \|a-b\| \geq R \\ 0, \|a-b\| < R \end{cases} \qquad (1)$$

## 3.2 Cooperative N Bargain Game Model

무선 네트워크 노드들 링크에 채널을 할당할 때 간섭 현상을 피하기 위해서 conflict graph 결과에 따라 경쟁 노드 간에는 다른 채널을 배정해야 한다. 각 노드간 링크에 효용함수에 의해서 사용할 수 있는 총 노드에 할당할 수 있는 채널 중에 해당 링크에 할당할 경우 간섭이 최소가 될 수 있는 채널을 $C_{min}$ 이라 한다면 본 연구에서는 해당 채널을 $C_{min} = \{C^1_{min}, \cdots, C^N_{min}\}$이라고 가정한다. 그러므로 채널 간섭이 일어나서 경쟁 관계에 있는 링크에 다른 채널 할당을 위해서 각 노드들이 협조를 통해서 간섭이 최소가 될 수 있는 채널을 할당한다고 한다면 이 게임은 *N*인 협조 게임이라고 할 수 있고 해당 게임은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

*N*인 협조 게임(*N*-person cooperative game) $\Gamma = \{\{C_{min}\}, \{U_i\}\}$, $i \in N$

- $N = \{1, \ldots, n\}$ : 게임에 참여하는 각 노드(차량)들
- $C_{min}$ : 링크에 할당할 간섭이 최소인 채널
- $u_i$: 동작을 결정하는 효용함수(utility function)
- $U_i$ : 효용함수에 의해서 결정되는 보수(payoff)

*N*인 협조 게임에서는 Nash가 정의한 4가지 공리(axiom)를 만족하여 게임에 참여하는 참가자가 서로 이득을 얻어야 게임에 최적해가 존재하는 것을 증명하였고 공리를 만족하는 해당 최적해를 NBS(Nash Bargaining Solution)[9]라고 한다. NBS에 정의된 공리를 수학적으로 다음과 같은 정의 1로 설명할 수 있다.

정의 1. *N*인 협조 게임에서 채널 할당은 효용함수에 따라 이루어지고 효용함수가 볼록(convex) 함수이고 유한한 개수의 집합으로 정의할 수 있다면 이러한 각 노드의 효용함수에 의해서 결정되는 보수 집합(payoff set)을 *U* 라고 정의할 때 다음 4가지 공리를 만족한다면 NBS를 $u^* = \phi(U, C_{min})$라고 할 수 있다.

1. 파레토 최적(Pareto efficiency): 만약 모든 $u \in U$ 이고 $\sum_{i=1}^{N} u_i \geq \sum_{i=1}^{N} u_i^*, \forall i$ 라면 $\sum_{i=1}^{N} u_i = \sum_{i=1}^{N} u_i^*, \forall i$ 이다.
2. 대칭성(Symmetry): 만약 *U*가 노드 *i,j*에 대해서 대칭(symmetric)을 가지고 invariant하다면 $u_i^* = u_j^*$ 이다.
3. 선형 변환에 대한 불변성(Independence of linear transformations) : 만약 아핀 변환(affine transformation)을 $\psi$ 함수라 한다면 $\psi(\phi(U, C_{min}) = \phi(\psi(U), \psi(C_{min})$ 이다.
4. 관련성 없는 대안들에 대한 불변성(Independence of irrelevant alternatives): 만약 $u^* \in U' \subset U$ 이고 $u^* = \phi(U, C_{min})$이라면 $u^* = \phi(U', C_{min})$이다.

위에 정의 1에서 공리 1은 협상 해법이 협상 집합에서 결정됨을 뜻하고 공리 2-4는 NBS의 공평성을 의미하고, 정의 1의 공리들을 모두 만족하는 협상 게임에 존재하는 NBS는 게임 참여자의 이익을 극대화한다[9]. 그러므로 채널 사용을 극대화하기 위해서는 채널 할당에 참여하는 노드들이 정의1에 모든 공리의 수학적 특징을 만족한다면 모든 노드들은 하나의 유일한 NBS를 가지게 될 것이

다. 그러므로 채널 할당 게임의 유일한 NBS를 가지는 최적 전략 S* 는 정의 1에 공리적 수학적 특징을 따르는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$S^* = \max \prod_{i=1}^{N} (u_i(C_i) - u_i(C_{min})),$$

$$\text{s.t} \sum_{i=1}^{N} C_i = C_t, C_{min} \le C_i \le C_{d_max} \qquad (2)$$

식(2)에서 $C_{min}$는 I 번째 사용자가 요구하는 최소 채널 수, $C_t$는 총 할당 할 수 있는 채널 수, $C_{d_max}$는 링크에서 요구할 수 있는 최대 채널 개수이다.

Nash 에 의하면 공리를 따르는 NBS를 만족하려면 효용 함수가 볼록(convex) 함수이어야만 한다. 그러므로 본 연구에서는 [11]의 연구 결과를 이용하여 가우시안 간섭 채널에서 SINR을 기반으로 채널을 나누는 효용함수를 다음 식 (3)과 같이 정의한다.

$$u_i = \log_2(1 + \frac{h_i p}{\delta^2}) \qquad (3)$$

여기서 $h_i$는 채널 이득, $\delta^2$는 가우시안 잡음, $p$는 각 노드 간 전송 파워이다. 게임에 참여하는 차량은 이동 노드이기는 하지만 차량 자체에서 전송에 필요한 충분한 전력을 공급할 수 있으므로 본 연구에서는 게임에 참여하는 차량은 MAC 기반의 전송에서 고정 파워를 사용한다고 가정하여 수학적 계산을 위해서 $p$=1로 정의한다. 식 (3)으로 정해진 효용함수를 통해서 간섭 범위 안에 있는 링크를 이루고 있는 노드들이 주어진 채널을 각 링크에 할당하는 N인 협조게임을 하게 된다. 다음은 본 논문에서 제안하는 NBS를 이용하는 채널 할당 알고리즘이다.

(표 1) NBS 알고리즘 의사 코드
(Table 1) NBS algorithm pseudo code

```
Algorithm 1 Channel allocation usign NBS
initialize S*
stage 1
  N: set of one and two-hop neighbors of node i.
  for i= 1 to K radios do
      assign a random channel C_t to the R_i radio
  end for
stage 2
  set the confilct graph G(V,E)  (Eq.1)
  While E_a,b=1 , i<N and C_t-max < C_t do
    compute SINR at each link i (Eq.3)
    assign least SINR channel at link
  end while
  if C_t-max > C_t
   while i<N do
     use optimal strategy S* (Eq.2)
     assign a random channel C_t to the R_i radio
   end while
  for c{channels used by R radio of N nodes} do
   switch the R_i radio
  return S*
```

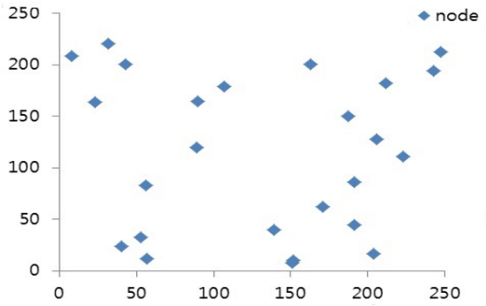
해당 알고리즘은 라디오에 주어진 채널을 노드에 할당하고 해당 라디오에 모든 채널이 할당이 되었다면 다른 라디오로 이동하게 된다. 만약 노드에 할당된 채널이 경쟁 관계에 있게 되고 노드에 주어진 라디오의 개수와 채널의 개수가 충분하다면 가장 SINR이 적은 채널을 할당하게 된다. 다른 사용자에 의해서 점유하고 있는 채널 때문에 다른 사용자가 요구하는 채널 보다 부여 할 수 있는 채널이 적고 만약 라디오가 증가할 수 있다면 최적화 전략 $S^*$를 통해서 채널을 할당할 수 있을 때 까지 계속 진행된다.

## 4. Numerical Simulation Results and Discussion

본 논문에서 제안된 경쟁 그래프 기반 N 분배 게임을 통한 채널 할당 방법의 성능을 mesh network 상에서 채널을 랜덤하게 할당(random channel assignment) 알고리즘과 같은 conflict graph를 이용하는 Tabu[12] 채널 할당 알고리즘과 비교하였다. 우선 식 (1)을 이용하여 각 링크는 두 노드 사이의 거리가 라디오 반경 보다 적을 경우 존재한다고 가정하였다. 그리고 두 홉(two-hop) 거리에 있는 노드들의 링크가 같은 채널을 가지고 있다면 간섭 링크라고 결정하였다. 따라서 채널 간섭이 일어나는 상황을 구현하기 위해서 각 노드간 링크의 전송 가능 거리는 100m이고 노드에 적용된 라디오 범위는 200m으로 노드 간 서로 간섭이 발생하는 상황을 적용하였다.

해당 시뮬레이션은 IEEE 802.11p MAC layer를 기반으로 MATLAB을 통해서 250m x250m 정사각형 범위에서 노드들은 독립적이고 동일한 분포를 갖는(independent and identically distributed) 가우시안 채널을 가정하며 25개의 노드가 임의 위치에 존재한다. 시뮬레이션 시나리오는 다음 그림 1과 같다. 시뮬레이션을 위해 사용가능한 채널은 12개이며 노드 당 라디오의 수는 2,3,4로, $h_i$=0.5, $\delta^2$=0.1 로 설정하였다. 라디오에 사용되는 채널은 완전히 중복되지 않는 채널이지만 다른 라디오에서 사용하는 채

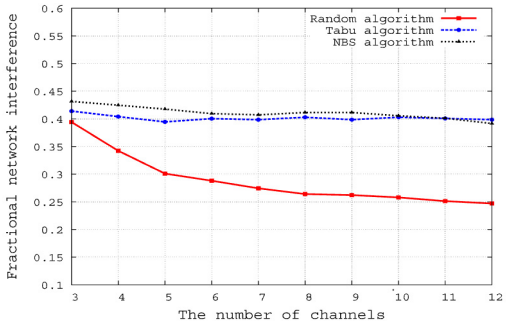
널 번호와 같을 수가 있다. 각 실험 결과는 노드들의 위치를 변경하면서 100회를 통해 얻어진 결과이다.



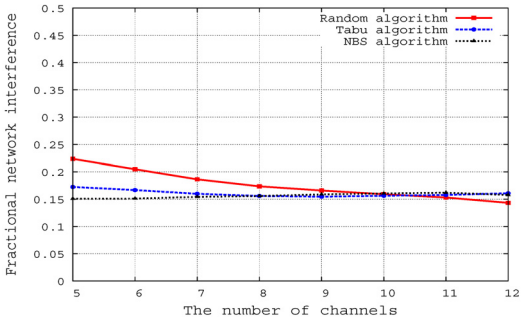

(그림 1) 시뮬레이션 시나리오
(Figure 1) Simulation Scenario

성능 측정을 위한 지표는 [13],[14]에서 제안한 fractional network interference(FNI)을 이용하여 해당 성능을 측정하였다. FNI는 경쟁 그래프를 통한 채널 경쟁 링크에 다시 채널 할당을 후에도 경쟁 관계에 남아 있는 채널의 비율이다. 다음 그림들은 NBS(Nash Bargaining Solution) 알고리즘을 비교 시뮬레이션 결과이다.

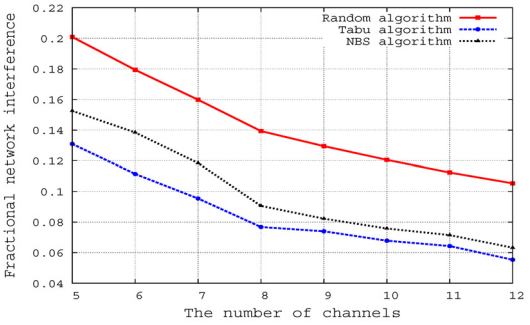
그림 2 에서 노드 당 2개의 라디오를 할당할 수 있다면 랜덤 알고리즘에 성능이 제일 좋은 것을 알 수 있다. 그림 3 에서 노드 당 사용할 수 있는 라디오가 3개로 증가하면 제안하는 알고리즘은 5채널일 경우 Tabu 보다 12.4% 우위를 보이다가 채널이 증가 할수록 감소하면서 8채널 이상 증가하면 Tabu 알고리즘과 거의 동일한 성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 랜덤 알고리즘은 그림 3에서 보듯이 10채널 이후에는 비교 알고리즘보다 약 5.8% 성능의 우위를 보이는 것을 알 수 있다.




(그림 2) 12 채널 2 라디오 FNI 비교
(Figure 2) Comparison FNI for 12 channels with 2 radios




(그림 3) 12 채널 3 라디오 FNI 비교
(Figure 3) Comparison FNI for 12 channels with 3 radios




(그림 4) 12 채널 4 라디오 FNI 비교
(Figure 4) Compariosn FNI for 12 channels with 4 radios

그림 4에서 노드 당 4 라디오가 할당 될 경우 제안된 알고리즘이 랜덤 알고리즘이 보다는 경쟁 링크를 해소하는 성능이 우수하지만 Tabu 알고리즘과는 8채널 이전에는 약 평균 18.5%의 성능 우위를 보이지만 8채널 이후에는 평균 1.4% 의 성능 개선을 보임을 알 수가 있다. 그러므로 시뮬레이션 결과를 통해서 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 3 라디오 8채널 이하일 경우와 4라디오 8채널이하일 경우가 비교 알고리즘들보다 성능이 가장 우수한 것을 알 수 있다.

## 5. Conclusion

본 논문은 802.11p/WAVE 환경에서 다중라디오 다중채널을 이용하여 안전 메시지를 전송할 수 있도록 차량간 무선 네트워크를 무선 메쉬 환경으로 보고 다중 라디

오 환경에서 경쟁 그래프(conflict grah)를 통해서 동일 채널 할당이 일어나는 링크에 효율적으로 채널 할당을 위해 내쉬 협상 해법을 적용하였다. 시뮬레이션 결과로 제안하는 알고리즘이 밀집 상황에서 8채널 이하일 경우 효율적으로 동작하는 것을 보였다. 다중 인터페이스를 구현하기 위해서는 하드웨어 비용이 증가한다는 단점이 있지만 기술 발전으로 해당 하드웨어 비용이 급격히 감소할 것으로 기대되므로 다중 인터페이스를 이용하여 여러 개의 채널을 이용하여 차량 안전 메시지를 전달할 수 있는 방법을 게임 이론을 통해서 적용할 수 있는 것을 보였다. 향후 연구로써 차량이 밀집된 상황이 아니라 일반 차량 주행 시 차선(lane)에 실제 차량의 이동 속도를 고려한 동적 환경 하에서 채널 할당 방법을 다룰 것이다.

## 참 고 문 헌(Reference)


[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] M. A. C. Lima, A. F. R. Araujo, and A. C. Cesar, “Adaptive genetic Algorithms for Dynamic Channel Assignment in Mobile Cellular Communication Systems,” *IEEE Trans. Veh. Technol*, vol.56, no.5, pp.2685-2696, Sept. 2007.

[6] S. Pinagapany and A.V. Kulkarni, “Solving Channel Allocation Problem in Cellular Radio Networks using Genetic Algorithm,” *IEEE COMSWARE*, pp.239-244, Jan. 2008.

[7] Chong Han; Dianati, M., Tafazolli, R., Xing Liu, Xuemin Shen, ″A Novel Distributed Asynchronous Multichannel MAC Scheme for Large-Scale Vehicular Ad Hoc Networks″, *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 61, Issue: 7, pp.3125-3138 Sept. 2012

[8] YongHo Kwon and Byung Ho Rhee, “A Stability of p-persistent MAC scheme for periodic safety messages with a Bayesian game model,” KICS, vol.38B, no. 7, pp.543-552, 2013

[9] J. Nash, “The bargaining problem,” *Econometrica* , vol. 18, pp. 155－62, April, 1950

[10] Jain, K., Padhye, J., Padmanabhan, V., Qiu, L.: “Impact of Interference on Multi-hop Wireless Network Performance”, *In 9th ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, pp. 66－80, 2003

[11] A. Leshem and E. Zehavi, “Cooperative game theory and the Gaussian interference channel,” *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 26, no. 7, pp. 1078－1088, Sept. 2008.

[12] A. P. Subramanian, H. Gupta, and S. R. Das. “Minimum interference channel assignment in multi-radio wireless mesh networks,” *In Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks*, SECON ’07. 4th Annual IEEE Communications Society Conference on, pages 481－490, San Diego, CA, 2007

[13] A. P. Subramanian, H. Gupta, S. R. Das, and J. Cao, “Minimum interference channel assignment in multiradio wireless mesh networks,” *IEEE Transactions on Mobile Computing,* vol. 7, no. 12, pp. 1459－1473, 2008.

[14] S. Makram and M. Günes, “Distributed Channel Assignment for Multi-Radio Wireless Mesh-Networks,” *in Proceedings of IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC’08). Marrakech, Morocco: IEEE Computer Society Press*, 2008.

[15] Y. Bi, K.-H. Liu, L. Cai, X. Shen, and H. Zhao, ″A multi-channel token ring protocol for QoS provisioning in inter-vehicle communications,″ IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 8, no. 11, pp. 5621-5631, 2009.

[16] Y. Zang, L. Stibor, B. Walke, H.-J.Reumerman, and A. Barroso, ″Towards broadband vehicular ad-hoc

networks - the vehicular mesh network (vmesh) mac protocol," in *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) 2007*, vol. 2, pp. 417-422, 2007.

[17] Z. Zhang , J. Shi , H.-H. Chen , M. Guizani and P. Qiu "A cooperation strategy based on Nash bargaining solution in cooperative relay networks" *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 4, pp. 2570-2577, 2008

[18] Z. Han, Z. Ji, and K. J. R. Liu, "Low-complexity OFDMA channel allocation with Nash bargaining solution fairness" *Proc. IEEE Globecom,* vol. 6 , pp. 3726-3731, 2004

[19] H. Boche and M. Schubert "Nash bargaining and proportional fairness for wireless systems" *IEEE/ACM Trans. Network,* vol. 17, no. 5, pp. 1453-1466, 2009

## ◐ 저 자 소 개 ◑

**권 영 호 (Yong Ho Kwon)**
2000년 2월 충북대학교 학사
2003년 2월 한양대학교 미디어통신공학과 석사
2009년 3월~현재 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정
관심분야 : 이동통신공학, D2D, 게임이론

**이 병 호 (Byung Ho Rhee)**
1975년 2월 한양대학교 전자 공학과 졸업
1977년 2월 한양대학교 전자 공학과 석사
1993년 3월 National Chiba University 박사
1981년~현재 한양대학교 컴퓨터공학부 교수
관심분야 : 네트워크, NGN, 무선망 보안