

Timed Bargaining Based Routing Protocol for the Vehicular Ad-Hoc Network

Hee Tae Jang[†] · Sung Wook Kim^{††}

ABSTRACT

In this paper, we propose a new opportunistic routing scheme based on timed bargaining game. The proposed algorithm effectively formulates the opportunistic routing mechanism as an repeated bargaining model using timed learning method. Additionally, we formulate a new contention window adjusting scheme for reduce collision rate. Simulation results indicate that the proposed scheme has excellent performance than other existing schemes under widely diverse VANET environments.

Keywords : VANET, Timed Bargaining Game, Contention Window, Routing Protocol, Game Theory

차량 애드 혹 네트워크 환경에서 제한시간 협상 게임 기반의 확률적 라우팅 프로토콜 기법

장 희 태[†] · 김 승 욱^{††}

요 약

본 논문에서는 동적인 차량 애드혹 네트워크 환경에서 시간의 흐름에 따라 상황에 적응하는 효율적인 경로 설정을 위해 제한시간 협상 게임 기반의 확률적 라우팅 프로토콜 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 주기적인 메시지로 차량 간 신뢰도와 링크유지시간을 구하고, 이를 통해 차량 간의 링크 만족도를 정의한다. 각 차량은 그 정보를 이용해 포워딩할 데이터가 발생한 경우 자신의 효용을 최대화 하기 위해 가장 좋은 차량을 선택하게 된다. 따라서 목적지까지 링크 만족도의 총 합인 경로 만족도를 최대화 하는 경로에 가중치를 부여해 선택될 확률을 높여준다. 또한 메시지를 우선순위로 나누고, 우선순위에 따라 메시지의 경쟁 윈도우를 다르게 적용하여 충돌률을 감소시켰다.

키워드 : 차량 애드혹 네트워크, 시간 협상 게임, 경쟁 윈도우, 라우팅 프로토콜, 게임 이론

1. 서 론

최근 차량의 급격한 증가와 무선 통신 기술의 발전으로 차세대 교통 체계 구현을 위한 지능형 교통 시스템의 핵심 기술로써 전세계적으로 이동 애드혹 네트워크(MANET: Mobile Ad-hoc Network)의 특수한 분야인 차량 애드혹 네트워크(VANET: Vehicular Ad-hoc Network)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 기본적으로 각 차량들이 송수신하는 메시지는 주기적으로 전송하는 비콘 메시지(beacon message)와 위급한 상황이 발생 했을 때 전송하는 긴급 메시지(emergency message)로 구분할 수 있다[1]. 주기적으로 전송하는

비콘은 차량의 속도, 위치, 방향 등의 기본 정보를 포함하여 단일 홉 방송(one-hop broadcast)으로 통신하게 된다. 이와 반대로 긴급 메시지는 전방의 충돌 사고 혹은 앞 차량의 급제동으로 발생할 수 있는 사고를 미연에 방지하기 위해 상황을 인지한 그 즉시 다중 홉 방송(multi-hop broadcast)으로 통신하게 된다[1]. 안전한 정보 교환 서비스를 제공하기 위해서는 차량 네트워크 특성에 적합한 효율적인 라우팅 프로토콜의 설계가 네트워크 성능에 있어 가장 중요한 요소이다. 차량 애드혹 네트워크는 차량의 빠른 이동성과 잦은 토폴로지의 변화로 인해 빈번한 링크 단절, 짧은 링크 지속시간 등의 문제점을 지닌다[2]. 차량의 높은 이동성을 특징으로 하는 차량 애드혹 네트워크에서 기존의 라우팅 프로토콜을 그대로 적용하는 것은 신뢰성 있는 라우팅 성능을 보장할 수 없다.

차량 애드혹 네트워크의 또 다른 특징은 도심과 같이 교통이 혼잡하고 장애물이 많은 곳에서는 메시지의 전송 성공

[†] 비 회 원 : (주)트레이스 전문연구요원
^{††} 종신회원 : 서강대학교 컴퓨터공학과 교수
Manuscript Received : July 21, 2015
First Revision : November 19, 2015
Accepted : November 21, 2015
* Corresponding Author : Sung Wook Kim(swkim01@sogang.ac.kr)

물이 매우 낮아진다는 것이다. 메시지 전송물이 낮아지게 되는 가장 큰 이유 중 하나는 메시지 간의 충돌이다. 메시지의 충돌은 전송 범위 내에 있는 둘 이상의 노드가 동시에 전송했을 때 발생할 수 있다. 이러한 충돌률을 줄이기 위해 메시지가 충돌할 경우 경쟁 윈도우(contention window)를 이용해 백오프 시간(backoff time)을 조절한다[3]. 그러나 기존의 백오프 시간을 적용하는 기법은 단순한 수식 구조로 이루어져 있어 매우 동적인 특징을 가진 차량 애드혹 네트워크에서는 큰 효과를 기대하기 어렵다. 또한, 차량 간의 연결성이 보장되고 충돌률을 낮출 수 있는 경쟁 윈도우를 사용하여 라우팅 경로를 선정했다 하더라도 중간 차량들이 자신의 이득 없이 메시지를 전파해줄 확률은 매우 낮다. 최근 통신 네트워크에서 이에 대한 해답으로 게임이론이 중요하게 연구되고 있다. 기존의 연구된 VANET 라우팅은 토폴로지 기반, 위치 기반, 클러스터 기반 등 현재까지 많은 연구가 되었으나 네트워크 상의 이기적인 차량의 존재 가능성은 고려하지 않았기 때문에 게임 이론의 적용은 큰 의미가 있다[4].

게임이론의 협상 해법 중 하나인 내쉬 협상 해법(Nash Bargaining Solution)은 네트워크 자원을 공평하게 분배해 효율적이고 공평한 만족도를 이끌어내는 협조적 게임이론의 한 분야이다[5]. 기존의 내쉬 협상 해법 모델은 모든 참가자들이 서로의 정보를 완전히 알고 있다고 가정하기 때문에 실제 차량 애드혹 네트워크 상황에 적용시키는 것은 무리가 있다.

본 논문에서는 동적인 차량 애드혹 네트워크 환경에서 시간의 흐름에 따라 상황에 적응하는 효율적인 경로 설정을 위해 경쟁 윈도우를 사용한 제한시간 협상 게임 기반의 확률적 라우팅 프로토콜 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 경로를 설정함에 있어서 주기적인 메시지를 이용해 이웃 차량의 신뢰도와 링크유지시간을 계산하여 해당 링크의 만족도를 구한다. 링크 만족도는 곧 효율과 직결되므로 각 차량들은 자신의 효용을 최대화하기 위해 만족도를 최대화 하는 차량을 선택하게 된다. 따라서 송신지부터 목적지까지의 링크 만족도를 모두 합한 경로 만족도를 최대화하는 경로를 선택해 나간다. 목적지 차량은 주기적으로 역방향 패킷을 보내 차량들이 더 좋은 경로를 선택하도록 장려한다. 결과적으로 경로 만족도를 최대화 하는 경로에 가중치를 부여하여 해당 경로가 더 자주 선택될 수 있도록 한다. 또한 네트워크 환경의 전송 범위 내에서 동시에 두 대 이상의 차량이 패킷을 전송함으로써 발생하는 충돌률을 줄이기 위해 메시지의 우선순위에 따라 메시지의 경쟁 윈도우를 다르게 적용하는 기법을 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 내쉬 협상 해법(NBS: Nash Bargaining Solution)

내쉬 협상 해법(NBS)은 협조적 게임이론의 협상 해법으로 1950년대 경제학자이자 수학자인 존 내쉬(John Nash)에 의해 고안되었다. NBS는 오직 각 참가자의 선호도에 관한 정보에 기반해 협상의 해를 구하는 것이다. 이 협상 게임 모델

은 가능한 합의 집합에 대한 기대 효용 함수(expected utility function)와 협상이 결렬되었을 때 결과에 의해 형성된다. 내쉬는 바람직한 협상 해법을 위한 6개의 공리를 제시했다.

협상 합의점(agreement point)은 전략 벡터 $(s_1, \dots, s_n) \in S$ 이며, S 는 전략 프로파일의 집합으로 협상 과정의 결과이다. 협상 결렬점(disagreement point) 또한 전략이며 이는 비협조적 행동의 결과로 선택될 전략으로써 협상 과정의 실패했을 때 얻게 되는 방식이다. 각 참여자 i 는 자신만의 효용 함수($U_i(s_i)$)를 가진다. 또한 이 함수는 최소로 요구되는 효용 값($U_i(s_i^0)$)을 가지며, 이는 협상 결렬점에서 얻어지는 값이다. $S = (U_1(s_1), \dots, U_n(s_n)) \subset R^n$ 은 가능한 보수의 집합으로, 컨벡스 성질을 만족하며, 범위의 제한이 있다고 가정한다. $d = (d_1, \dots, d_n) = (U_1(s_1^0), \dots, U_n(s_n^0)) \in R^n$ 는 협상 결렬점이다. 또한 F 는 협상 함수로써 $F(S, d) \rightarrow R^n$ 로 나타낸다. 만약 아래와 같이 내쉬가 제시한 6개의 공리가 모두 만족된다면, $X^* = (x_1^*, x_2^*, x_n^*) = F(S, d)$ 는 내쉬 협상 해법(NBS)이라고 할 수 있다[5].

공리에 의해 결정되는 NBS는 내쉬 곱을 최대화 한다. n 명의 참가자가 있을 때, 내쉬 곱 $G(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$G(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n (X_i - d_i)^{a_i} \quad (1)$$

X_i 는 참가자 i 의 효용이고 d_i 는 최악의 경우인 협상이 실패했을 때 참가자들이 각자 얻게 되는 협상 결렬점(disagreement point)에서 참가자 i 의 효용이다. a_i 는 참가자 i 의 협상력(bargaining power)으로 모든 참가자들의 협상력이 동일할 경우 생략이 가능하다. 협상력이 같은 경우, 공유하는 자원에 대해 상대적으로 낮은 효용을 가진 경우 혹은 협상 결렬점에서 얻는 효용이 상대적으로 큰 참가자에게 그렇지 않은 참가자에 비해 많은 자원이 할당된다. 반대로 협상력이 서로 다른 경우에는 협상력이 상대적으로 큰 참가자에게 그렇지 않은 참가자에 비해 많은 자원이 할당된다.

2.2 게임이론 기반의 VANET 프로토콜

기존의 연구된 VANET 라우팅은 토폴로지 기반, 위치 기반, 클러스터 기반 등 현재까지 많은 연구가 되었다. 그러나 선행 연구에서는 신뢰도와 같이 실질적인 파라미터를 고려하지 않기 때문에 확률적인 차량 네트워크 환경에 바로 적용되기에는 무리가 있다. 실제 VANET 환경에서 차량이 자신에게 할당되는 이득 없이 메시지를 전파해줄 확률은 매우 낮다. 최근 통신 네트워크에서 이에 대한 해답으로 게임이론이 중요하게 연구되고 있다. VANET 프로토콜에서 게임이론을 적용한 사례 중 하나는 연합 게임(Coalition game) 기반의 프로토콜 기법이다[6]. 위 기법은 협력적 연합을 이루는 참여자들에게 보상을 함으로써 모든 참여자들이 협력적 행동을 통해 전체 연합(Grand coalition)을 이룰 때 각

플레이어에게 가장 이상적인 효용을 갖는 기법을 제안하였다. 또 다른 기법 중 하나인 포워딩 게임(Forwarding game)은 협력하는 참여자에 대해 신뢰도 값을 부여해 이를 효용과 매칭 시킴으로써 자발적인 협력을 유도하는 기법을 제안하였다[7].

본 논문에서는 동적인 차량 애드혹 네트워크에 적응적으로 대응할 수 있도록 제한시간(Timed)의 개념을 도입하였다. 제한시간 효용함수는 참가자의 행동과 제한시간을 참가자의 만족도와 결부시키기 위해 새롭게 정의하였으며, 3장에서 이를 포함한 라우팅 프로토콜을 서술하고자 한다.

3. 제안된 기법

이번 장에서는 경쟁 윈도우를 사용한 시한 협상 게임 기반의 V2V 라우팅 프로토콜을 자세히 설명한다. 또한 제안하는 기법을 적용함으로써 VANET 환경에서 목적지까지 최적의 경로를 통해 전송하고 충돌횟수 또한 줄이는 방법에 대해 기술하도록 한다.

3.1 링크 만족도와 패킷 포워딩 알고리즘

본 논문에서는 제어팩터로 차량 간 링크 유지시간(LMT, Link Maintaining Time), 최종 신뢰도(FT, Final Trust), 그리고 링크 강화 함수(LRF, Link Reinforcement Function)를 고려하여 링크 만족도(LS, Link Satisfaction)를 정의하였다. 차량 간 링크 유지시간 $LMT_{ij}(t)$ 은 차량 i 와 j 가 시점 t 에 얼마나 오래 링크를 유지할 수 있는지를 의미하고 오랜 유지될수록 더 좋은 링크가 될 수 있다. 링크 유지시간은 이웃 차량들과의 주기적인 메시지 교환으로 계산될 수 있으며 다음과 같이 정의한다.

$$LMT_{ij}(t) = (D_M + |d_{ij}(t)|) / |\vec{v}_i(t) - \vec{v}_j(t)| \quad (2)$$

D_M 은 각 차량의 최대 전송범위, $d_{ij}(t)$ 는 차량 i 와 j 간의 시점 t 에서의 거리, 그리고 $\vec{v}_i(t)$ 와 $\vec{v}_j(t)$ 는 차량 i 와 j 간의 시점 t 에서의 속도를 나타낸다. 따라서 Equation (2)는 차량 i 와 j 간의 링크 유지시간을 의미하며, 링크 유지시간이 길수록 좋은 포워딩 차량이 된다. 최종 신뢰도($FT_{ij}(t)$)는 직접 신뢰도(direct trust)와 간접 신뢰도(indirect trust)로 구성되며 직접 신뢰도($DT_{ij}(t, \Delta_t)$)는 차량 i 가 j 에 대해 시점 t 에 특정 시간 Δ_t 동안 측정된 값이며 다음과 같이 나타낸다.

$$DT_{ij}(t, \Delta_t) = \quad (3)$$

$$(1 - W_{history}) \times \frac{1}{LT} \sum_{i=1}^{LT} \frac{CNT_{success}(i, j, \Delta_t)}{CNT_{total}(i, j, \Delta_t)} + DT_{ij-prev} \times W_{history}$$

LT 는 신뢰도가 측정된 이산 시간의 수를 의미한다. 신뢰도 정보는 시간간격 Δ_t 동안 계산되고 이웃 차량들에게 주기적인 메시지에 포함되어 전파된다. $CNT_{total}(i, j, \Delta_t)$ 는 i 가 j 와 이산 시간 Δ_t 동안 연결(connection)된 총 횟수를 나타내고, $CNT_{success}(i, j, \Delta_t)$ 는 i 가 j 와 이산 시간 Δ_t 동안 성공적인 연결의 횟수를 나타낸다. $DT_{ij-prev}$ 는 차량 i 가 현재 직전까지 j 에 대해 측정된 과거 신뢰도 이고, 상수 $W_{history}$ 는 과거 신뢰도에 대한 가중치 값이다. 만약 한 번도 연결된 적이 없다면 $DT_{ij}(t, \Delta_t)$ 는 디스카운트 팩터($W_{discount}$)를 곱한 값으로 직접 신뢰도가 조정된다. 간접 신뢰도($IDT_{ij}(t, \Delta_t)$)는 차량 i 가 j 에 대해 이웃 차량들에 의해 측정하는 것으로, 시점 t 에 시간 간격 Δ_t 동안 이웃 차량들 n 이 차량 j 에 대해 경험한 직접 신뢰도 값($DT_{nj}(t, \Delta_t)$)과, 차량 i 가 n 에 대해 시점 t 에 Δ_t 동안 경험한 직접 신뢰도 값($DT_{in}(t, \Delta_t)$), 그리고 차량 i 가 n 에 부여한 가중치($C_n(t, \Delta_t)$)로 구성되며 다음과 같이 나타낸다.

$$IDT_{ij}(t, \Delta_t) = \quad (4)$$

$$\frac{\sum_n (DT_{nj}(t, \Delta_t) \times DT_{in}(t, \Delta_t) * C_n(t, \Delta_t))}{\sum_n (DT_{in}(t, \Delta_t) \times C_n(t, \Delta_t))}$$

C_n 은 차량 i 가 이웃 차량 n 에 부여한 가중치를 의미하며 다음과 같이 나타낸다.

$$C_n = \frac{DT_n}{\sum_{k \in N} DT_{ik}} \quad (5)$$

DT_{ik} 는 차량 i 가 이웃 차량 k 에 대해 측정된 직접 신뢰도 이고, DT_n 은 차량 i 가 이웃 차량 n 에 대해 측정된 직접 신뢰도이다. 따라서 C_n 은 차량 i 의 전체 통신 가능한 이웃 차량 집합 N 에 대해 측정된 직접 신뢰도의 총 합에 대해 차량 n 의 직접 신뢰도가 차지하고 있는 비율을 나타낸다. 본 논문에서는 계산된 직접 신뢰도와 간접 신뢰도를 바탕으로 최종 신뢰도를 다음과 같이 나타낸다.

$$FT_{ij}(t) = W_{direct} \times DT_{ij}(t, \Delta_t) + \quad (6)$$

$$(1 - W_{direct}) \times IDT_{ij}(t, \Delta_t)$$

W_{direct} 는 직접 신뢰도에 대한 가중치를 나타내며, 직접 신뢰도와 간접 신뢰도에 대한 중요도를 조절하기 위한 상수이다. 또한, 최종 신뢰도에 대한 임계값을 부여해 특정 레벨 이상의 링크 만족도를 보장할 수 있도록 한다.

$$FT_{th} = \frac{\sum_{n=1}^N FT_{in}}{C(N)} \quad (7)$$

$C(N)$ 은 이웃 차량 집합 N 의 총 수를 의미한다. $\xi_{ij}(t)$ 는 링크 강화 함수로써 좋은 경로에 가중치를 부여한다. 따라서 순차적 바게이닝 게임을 통해 $\xi_{ij}(t)$ 값은 동적으로 변하게 된다. 본 논문에서는 앞서 설명한 차량 간 링크 유지 시간과 최종 신뢰도 값을 통해 링크 만족도를 계산해 낼 수 있다. 차량 i 에서 차량 j 에 대한 링크 만족도는 다음과 같이 나타낸다.

$$LS_{ij}(t) = [\alpha \times (D_M + |d_{ij}(t)|) / |\vec{v}_i(t) - \vec{v}_j(t)|] + [(1 - \alpha) \times [FT_{ij}(t) + \xi_{ij}(t)]] \quad (8)$$

제어 파라미터 α 는 링크 유지시간과 신뢰도 사이의 가중치 값으로써 네트워크 상황에 따라 적응적으로 바뀐다. 제안하는 알고리즘에서는 α 값은 두 차량 간의 상대속도비에 따라 조정되며 상대속도비는 다음과 같이 나타낸다.

$$\alpha = \frac{\min(|\vec{v}_i(t)|, |\vec{v}_j(t)|)}{\max(|\vec{v}_i(t)|, |\vec{v}_j(t)|)} \quad (9)$$

높은 링크 만족도 값을 가지는 링크가 상대적으로 높은 QoS값을 갖게 되므로 순차적인 게임 과정에서 링크 만족도를 기반으로 포워딩을 결정하게 된다. 제안 기법에서는 LS값을 통해 경로 만족도 PS(Path Satisfaction)를 정의한다. PS는 송신 차량으로부터 목적지 차량까지의 링크 만족도의 총 합으로 계산된다. PS값에 기반해, 라우팅 알고리즘은 확률적으로 멀티홉 라우팅 경로를 설정하게 된다.

처음 라우팅 과정에서, 송신 차량은 PS의 초기 값(PS=0)을 브로드캐스트 한다. 통신 커버리지 영역에서 메시지를 받은 릴레이 차량들은 각자 링크 만족도를 계산하고 PS값을 $PS + \log(LS)$ 와 같이 업데이트 한다. 링크 만족도의 계산은 전송 범위 내에 있는 차량들 간의 주기적인 비콘 메시지를 통해 측정이 가능하다. 몇몇 릴레이 차량들은 이웃 차량들로부터 하나 이상의 PS값을 받을 수도 있다. 네트워크의 자가 구성과 독립적이고 효율적인 경로제어를 위해 각 릴레이 차량들은 이웃 차량 정보 및 경로 만족도 정보를 테이블 형태로 유지한다. 예를 들어, 차량 i 는 $PS_1, \dots, PS_k, \dots, PS_{|N_i|}$ 와 같이 다수의 PS값을 받을 수 있다. PS_k 는 이웃 차량 k 가 전송한 PS값을 말한다. N_i 는 차량 i 의 총 이웃 집합을 의미하고, $|N_i|$ 는 이웃의 총 수를 의미한다. 이 경우, 차량 i 는 수신한 여러 경로 만족도 중 이를 최대화 할 수 있는 PS_i 를 다음과 같이 선정한다.

$$PS_i = \operatorname{argmax}_{k \in N_i} (PS_k + \log(LS_{ik})) = \operatorname{argmax}_{k \in N_i} \left(\sum_{LS_k \in I_k} \log(LS_i + \log(LS_{ik})) \right) \quad (10)$$

PS_i 는 차량 i 가 수신한 경로 만족도이고, 경로 만족도는

링크만조도의 합으로 나타낼 수 있다. 좋은 라우팅 경로를 선정하기 위해 목적지 차량에 도달할 때까지 반복적으로 경로 선정 알고리즘이 수행되며, 차량 k 는 차량 i 에게 현재까지 누적된 경로만족도 PS_k 에, 차량 k 와 i 의 링크만족도까지 합하여 포워딩하게 된다. 차량 i 는 수신한 경로만족도 중 가장 높은 경로만족도를 선정하게 되며, 위 수식을 통해 현재 상황에서의 가장 좋은 경로를 생성할 수 있게 된다. I_k 는 송신 차량부터 릴레이 차량 k 까지 선택된 링크들의 집합이다. Equation (10)에 따라, 차량 i 는 적응적으로 하나의 이웃 차량을 선택하는 동시에 PS_i 값을 최대화할 수 있다.

3.2 게임 모델

본 논문에서 제안하는 게임 모델은 $G = \langle N, S_{set}, \{U_1, \dots, U_n\} \rangle$ 로 표현할 수 있다. N 은 참가자의 수, S_{set} 은 전략 집합, 그리고 $U_i \in \{U_1, \dots, U_n\}$ 는 참가자 i 의 효용함수이며 다음과 같이 표현한다.

$$\operatorname{optimize}_S: U_i(S_i) \rightarrow R, \quad S_i \in S_{set} \quad (11)$$

그러나 이러한 정적 게임 모델은 순차적 게임에 적용될 수 없다. 따라서 시점에 따라 변화하는 시한(timed)의 개념을 설명하기 위해 효용 함수의 정의를 아래와 같이 수정한다.

$$U_i(S_i(t), t) = \int_0^t U_i(S_i(t)) dt \cong \sum_0^t U_i(S_i(n)), \quad \text{s.t., } S_i(t), S_i(n) \in S_{i, set} \quad (12)$$

$U_i(S_i(t), t)$ 는 시점 t 에서 참가자 i 의 효용을 나타내고, $S_i(t)$ 는 시점 t 에서 참가자 i 의 전략을 나타낸다. 제안하는 게임 모델은 송신 차량부터 목적지 차량에 이르기까지 시간이 지남에 따라 순차적으로 효용이 발생한다. 단계적인 반복을 하는 동안, 측정된 PS값은 확률적으로 가장 적합한 릴레이 차량을 선정하는 동시에 재귀적으로 포워딩 된다. 최종적으로 목적지 차량은 하나 또는 그 이상의 라우팅 패킷을 수신한다. 다양한 라우팅 경로는 각기 다른 PS값을 갖게 되므로 패킷 포워딩 히스토리에기반해, 목적지 차량은 가장 적합한 라우팅 경로를 다음과 같이 선정한다. 선정된 라우팅 경로는 여러 경로를 통해 라우팅이 가능하지만 차량들 개인의 효용으로 정의되는 링크만족도의 곱이 최대화되는 경로를 순차적으로 찾아 선택하여 연결된 것이다. 따라서 아래의 식과 같이 NBS를 만족시키는 경로 Γ 가 최종적으로 선택되게 된다.

$$\Gamma = \operatorname{argmax}_{\left\{ \begin{matrix} P_i, P_i \in P_{set} \\ LS_k \in P_i \end{matrix} \right\}} \int_{t=T_s}^{t=T_c} \log(LS_k) dt = \operatorname{argmax}_{\{P_i, P_i \in P_{set}\}} \sum_{LS_k \in P_i} \log(LS_k) \quad (13)$$

Γ 는 링크 만족도의 총 합이 가장 높은 경로를 의미한다. P_{set} 은 설립된 라우팅 경로의 집합이고, P_i 는 송신 차량으로부터 목적지 차량까지의 경로 중 i 번째 라우팅 경로를 의미한다. T_s 와 T_e 는 각각 패킷 포워딩의 시작과 종료 시간을 의미한다. 참가자들은 경로 만족도를 최대화하는 경로를 선택해야 하므로 순차적으로 릴레이 차량을 선택하는 과정에서 근시안적으로 링크 만족도를 최대화하는 경로를 선택한다. 목적지 차량은 다음 확률적 라우팅 경로 결정을 위해 가장 좋은 경로 Γ 를 학습해야 한다. 목적지 차량은 주기적으로 역방향 패킷을 보내 Γ 내에 있는 릴레이 차량들의 학습함수를 다음과 같이 수정한다.

$$\xi_{ij} = \theta(t) = \begin{cases} \theta(t) = \theta(t-1) + \Delta_{\theta}, & \text{if } l_{ij} \in \Gamma \\ \theta(t) = \theta(t-1), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

역방향 패킷은 목적지 차량이 수신한 경로 만족도 중 가장 높은 값을 가진 경로의 정보를 포함하고 있으며 이를 통해 학습을 수행하게 된다. l_{ij} 는 차량 i 와 j 의 링크를 의미하고 Δ_{θ} 는 학습 팩터이다. 만약 l_{ij} 가 Γ 내에 존재한다면, ξ_{ij} 는 단조적으로 증가하여 순차적인 게임 과정에서 선정될 확률이 높아지게 된다. 제안 기법에서는 제한시간 P^M 을 정의하여 마다 학습함수와 모든 파라미터를 초기 값으로 설정해 동적인 VANET 환경에 효과적으로 적용할 수 있다.

3.3 제안하는 경쟁 윈도우 제어 기법

앞서 제안한 게임이론에 기반한 확률적 라우팅 프로토콜을 통해 효율적인 경로가 설정되었다 하더라도 라우팅 과정에서 충돌률이 높다면 제안한 라우팅 기법은 의미가 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 패킷 충돌률의 감소를 위해 메시지를 재전송하기까지의 시간인 백오프 타임을 결정하는 경쟁 윈도우 제어 기법을 제안한다. 이는 네트워크상으로 전송되는 패킷에 우선순위를 부여하여 수신률을 높이는 데에 그 목적이 있다. 기존의 경쟁 윈도우 기법은 메시지의 중요도를 고려해야 하는 VANET 환경에 적용될 경우 좋은 성능을 기대하기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 우선순위가 다른 두 패킷이 충돌했을 경우 더 높은 우선순위를 갖는 메시지의 백오프 시간을 낮은 우선순위를 갖는 메시지보다 더 짧게 하여 네트워크 성능을 높였으며 메시지의 우선순위는 Table 1과 같이 정의한다.

Table 1. Message Priority

Priority	Type of VANET Message
Priority 1	Accident message
Priority 2	Accident warning message
Priority 3	Warning related message
Priority 4	Periodic message

Table 1을 기반으로 메시지 우선순위에 따라 경쟁 윈도우를 제어한다. 높은 우선순위를 갖는 메시지에 대해 경쟁 윈도우 시간을 짧게 하여 더 높은 전송 성공률을 보장받을 수 있을 것이다. 다양한 메시지는 다양한 QoS를 요구하기 때문에 Table 1에서와 같이 메시지를 4개의 클래스로 분류하고 각 클래스 마다 이전에 전송한 패킷의 성공 여부에 따라 다른 cw 값을 할당한다. 메시지 m 에 대한 cw 값은 다음과 같이 결정된다.

$$cw_i(m) = \begin{cases} \xi_1 + [cw \times 1 / C]^{1-\xi_1}, & \text{if } m \in \text{priority1} \\ 1^{cw_{max}}, & \\ \xi_2 + [cw \times 2 / C]^{1-\xi_2}, & \text{if } m \in \text{priority2} \\ 2^{cw_{max}}, & \\ \xi_3 + [cw \times 3 / C]^{1-\xi_3}, & \text{if } m \in \text{priority3} \\ 3^{cw_{max}}, & \\ \xi_4 + [cw \times 4 / C]^{1-\xi_4}, & \text{if } m \in \text{priority4} \\ 4^{cw_{max}}, & \end{cases} \quad (15)$$

$s.t.$, C = 우선순위의 총 개수
 {이전 패킷 전송이 성공한 경우
 {이전 패킷 전송이 실패한 경우

$\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$ 는 지속성계수(persistence coefficient)이다. cw 는 가장 최근 경쟁 윈도우 값을 의미하며 m 은 전송 메시지를 의미한다. 이전 패킷이 실패한 경우는 각 우선순위에서 경쟁윈도우 최대값으로 설정한다. 제안하는 경쟁 윈도우 조절 기법은 전송하려는 메시지의 우선순위에 따라 백오프 시간을 다르게 가짐으로써 효율적으로 패킷 충돌을 줄일 수 있다.

4. 성능 평가

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 경쟁 윈도우를 사용한 협상 게임 기반의 라우팅 성능 시뮬레이션을 통하여 기존에 제안된 타 기법들과 비교한다. 본 논문에서 제안하는 기법의 성능 평가를 위한 환경은 C++을 사용하였고, 차량 네트워크 환경은 Table 2와 같이 설정하였다.

Table 2. Network Composition/Parameter for Simulation

Parameter	Value
The minimum number of vehicles	100
The maximum number of vehicles	150
The seize of network	1000m × 1000m
The Beacon cycle	1 second
$W_{history}$	0.3
W_{direct}	0.7
$\xi_1/\xi_2/\xi_3/\xi_4$	0.01/0.04/0.15/0.8
Δ_{θ}	50
α	Depend on vehicles' velocity

실험을 위해서는 다음과 같은 몇 가지 가정이 필요하다. 우선 실험 환경은 차량 간 통신에 있어 방해가 되는 건물 등의 장애물이 존재하지 않는 고속도로로 가정했고, 차량은 직선으로만 계속해서 주행하고 있다고 가정하였다. 또한 차량의 속도는 고속도로인 것을 감안하여 80km/h에서 100km/h 사이에서 랜덤한 값으로 설정하였고, 전송 범위는 250m로 가정하였다. 차량 애드혹 네트워크의 동적인 환경 특성상 NBS의 수렴성을 증명하는 것은 불가능하다. 따라서 수행한 시뮬레이션을 통해 제안된 기법의 성능이 증가함을 보이는 것을 목적으로 하였다. 각 실험의 성능 평가 기준은 주기적으로 전송하는 비콘 성공률 (Beacon Success Rate: BSR), 라우팅 성공률(Routing Success Rate: RSR), 평균 비콘 성공률(Average Beacon Success Rate: ABSR), 평균 라우팅 성공률(Average Routing Success Rate: ARSR) 등에 대해 비교하였다. 제안하는 알고리즘의 성능 분석을 위해 기존의 경쟁 윈도우 기법인 G-CSMA/CA 기법[8], 경쟁 윈도우를 확률적으로 조절하는 PPR 기법[9] 들을 통해 비콘 성공률을 비교하였고, LLA 라우팅 기법[10]을 비교 대상으로 선정하였다. 선정 근거는 제안된 기법과 가장 유사한 기법, 그리고 여러 기법들 중 객관적으로 비교 가능한 기법을 엄선하여 성능평가를 수행하였다, 각 실험은 100회 반복 시뮬레이션을 수행하여 그 평균값을 사용하였다.

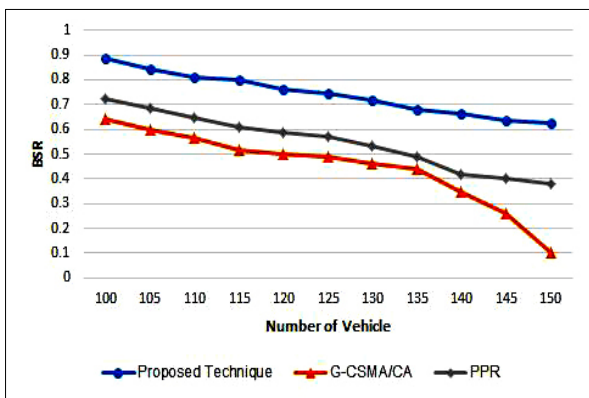


Fig. 1. BSR against the Number of Vehicles

Fig. 1은 도로 내에 존재하는 차량 수 변화를 주는 상황에서 제안된 기법과 G-CSMA/CA, PPR 기법의 비콘 성공률(BSP)을 보여준다. 실험결과, 제안 기법이 G-CSMA/CA 기법에 비해 약 30%, PPR 기법에 비해 약 20% 좋은 성능을 보였다. 확률적으로 경쟁 윈도우를 조절하는 PPR 기법은 상대적으로 좋은 성능을 보였지만, G-CSMA/CA 기법은 차량 수가 많아질수록 성능이 급격히 떨어진다. 그 이유는 메시지의 우선순위를 고려하지 않고, 경쟁 윈도우의 조절 방식이 고정된 형식이므로 차량이 증가할수록 같은 경쟁 윈도우 값을 가진 차량 수가 증가해 충돌확률이 높아지기 때문이다. 제안 기법은 메시지 우선순위에 따라 경쟁 윈도우를 각기 다른 방식으로 조절하기 때문에 다른 두 기법보다 좋은 성능을 내는 것을 확인할 수 있었다.

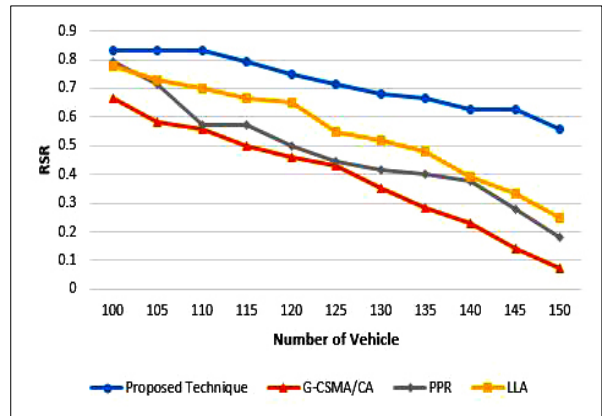


Fig. 2. RSR against the Number of Vehicles

Fig. 2는 도로 내에 존재하는 차량 수에 변화를 주는 상황에서 제안된 기법과 G-CSMA/CA, PPR, 그리고 LLA 기법의 라우팅 성공률(RSP)을 보여준다. 실험결과 제안기법은 G-CSMA/CA 기법에 비해 약 33%, PPR 기법에 비해 약 24%, LLA 기법에 비해 약 17% 더 좋은 성능을 보였다. 확률적으로 경쟁 윈도우를 조절하는 PPR과 수신 가능한 모든 방향으로 라우팅을 시도하는 LLA는 G-CSMA/CA에 비해 좋은 성능을 보였다. 그러나 메시지의 우선순위를 고려하지 않고 경쟁 윈도우의 조절 방식이 단순한 G-CSMA/CA 기법은 차량 수가 많아짐에 비례해 데이터의 전송률이 떨어져 라우팅 성능이 저하된다. 제안 기법은 우선순위를 적용한 경쟁 윈도우를 사용하기 때문에 충돌률이 다른 기법에 비해 낮은 것을 확인할 수 있었다.

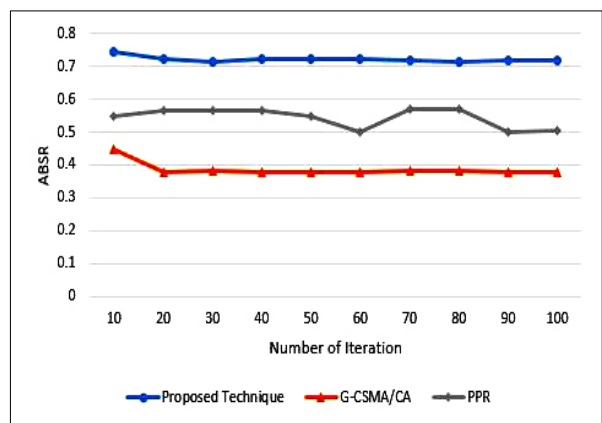


Fig. 3. ABSR against the Number of Rounds

Fig. 3은 시뮬레이션을 반복함에 따라 각 기법마다 평균 비콘 성공률(ABSP)을 비교한다. 제안한 기법은 G-CSMA/CA 기법에 비해 실험 결과 약 33% 높은 성공률을 보였고, PPR 기법에 비해 약 20% 높은 성공률을 보임을 확인할 수 있었다. 그 이유는 라운드 수를 오랫동안 지속해도 제안 기법은 다른 라우팅 프로토콜과 다르게 메시지가 충돌했을 때 우선순위로 경쟁 윈도우를 다르게 조정하기 때문이다.

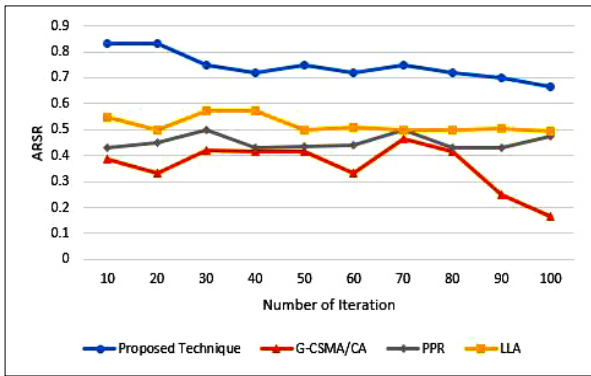


Fig. 4. ARSR against the Number of Rounds

Fig. 4는 시뮬레이션을 반복함에 따라 각 기법마다 평균 라우팅 성공률(ARSP)을 비교한다. 제안한 기법은 G-CSMA/CA 기법에 비해 실험 결과 약 38% 높은 성공률을 보였고, PPR 기법에 비해 약 29% 높은 성공률을 보였다. 그리고 LLA 기법에 대해서는 약 22% 높은 라우팅 성공률을 보임을 확인할 수 있었다. 그 이유는 네트워크 환경이 동적으로 변화해도 제안하는 링크 만족도를 이용한 라우팅을 통해 가장 좋은 성능의 경로를 선택할 수 있고, 경쟁 윈도우 조절기법을 통해 충돌률을 낮출 수 있기 때문이다.

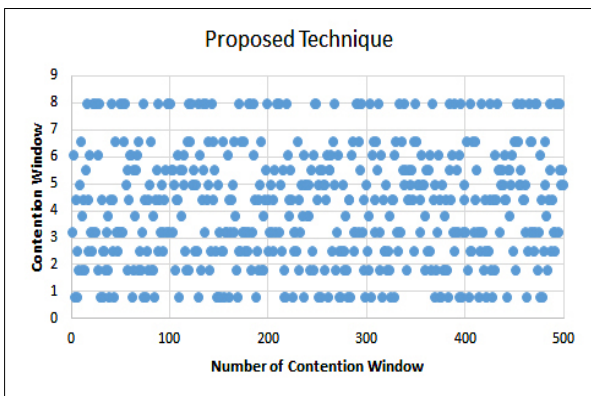


Fig. 5. CW distribution against the Number of Datas of Proposed Technique

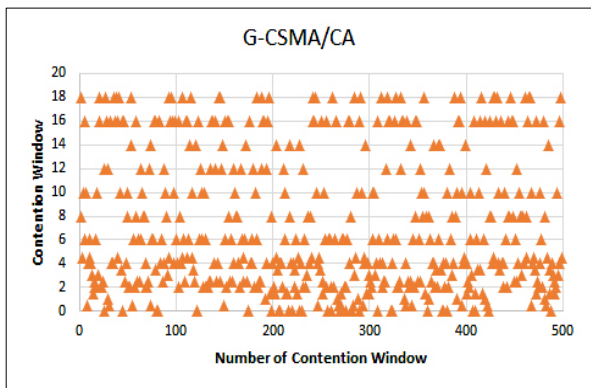


Fig. 6. CW distribution against the Number of Datas of G-CSMA/CA

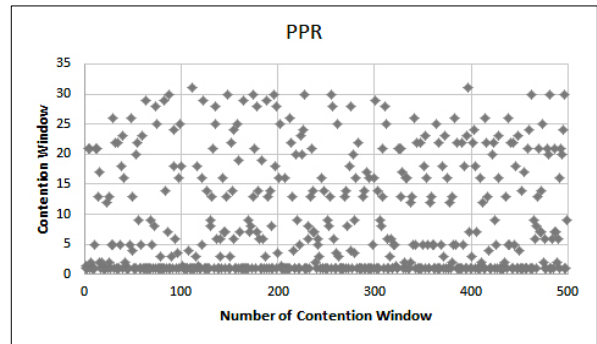


Fig. 7. CW distribution against the Number of Datas of PPR

Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7은 제안 기법을 포함해 경쟁 윈도우를 사용하는 기법들과의 경쟁 윈도우 분포를 나타낸다. 분포가 고르게 퍼져있는 것이 다양한 경쟁 윈도우 값을 가지므로 충돌률이 낮아지게 된다. 위 실험은 100대부터 150대까지의 경우를 모두 나타내기에는 데이터양이 너무 많으므로 중간 값인 125대의 경우로 경쟁 윈도우 값 500개를 산출해 분포를 나타내었다. 제안 기법에서는 경쟁 윈도우 데이터가 증가함에 관계없이 사용하는 고른 경쟁 윈도우 값 분포를 갖는다. 반면 G-CSMA/CA와 PPR 기법은 특정 경쟁 윈도우 값 범위에 집중되어 있다. 따라서 제안 기법이 다른 기법보다 충돌률을 낮출 수 있으므로 더 좋은 성능을 낼 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 차량 애드혹 네트워크 환경에서 효율적인 라우팅을 제공하기 위해 메시지에 우선순위별로 충돌 시의 백오프 타임을 결정하는 경쟁 윈도우를 각기 다르게 계산하는 방법을 적용하여 비콘 메시지 전송과 라우팅 전송 과정에서 발생하는 충돌률을 줄이는 라우팅 프로토콜 기법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제안 기법이 G-CSMA/CA, PPR에 비해 더 높은 비콘 성공률을 기록하였으며, 라우팅 기법에서도 제안기법이 G-CSMA/CA, PPR, LLA 기법에 비해 더 좋은 성능을 보였다. 제안 기법은 네트워크 내의 차량 수가 증가해도 다항시간 내에 더 좋은 성능을 유지함으로써 상황 변화에도 탄력적으로 대응할 수 있음을 확인할 수 있었고, 경쟁 윈도우 분포 역시 차량 125대에서 각 기법마다 데이터 500개를 산출했을 때 제안 기법이 다른 기법에 비해 균일하게 데이터가 분포되어 있음을 확인하여 더욱 효율적인 라우팅 기법임을 증명하였다.

References

[1] J. Joo, H. Lee, J. Kim, and D. Han, "A Dual Beaconing Scheme for Effective Context Awareness in Vehicular Ad Hoc Networks," *The Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.39B, No.2, pp.114-122, 2014.

[2] K. Lee, K. Han, K. Jo, Y. Back, and J. Kim, "An Efficient Broadcast Scheme for Disseminating Emergency Message in Urban Vehicular Ad-Hoc Networks," *The Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.38, No.7, pp.605-611, 2013.

[3] M. Ghazvini, N. Movahedinia, K. Jamshidi, and N. Moghim, "Game Theory Applications in CSMA Methods," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, Vol.15, No.3, pp.1062-1087, 2012.

[4] S. Kim, "Game theory and Applications," *The Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 30, No.12, pp.66-75, 2013.

[5] Z. Han, D. Niyato, W. Saad, T. Başar, and A. Hjørungnes, "Game Theory in Wireless and Communication Networks," Cambridge University Press 2011.

[6] T. Chen, L. Zhu, F. Wu, and S. Zhong, "Stimulating Cooperation in Vehicular Ad Hoc Networks: A Coalitional Game Theoretic Approach," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, Vol.60, No.2, pp.566-579, Nov., 2010.

[7] S. Jian-Hao and T. P. Wang, "Delay-Aware Routing based on Game Theory in Vehicular Wireless Networks," Taichung University Press.

[8] L. Zhao, L. Guo, J. Zhang, and H. Zhang, "Game-theoretic medium access control protocol for wireless sensor networks," *Communications, IET*, Vol.3, No.8, pp.1274-1283, 2009.

[9] E. M. Cheung, G. W. Wong, and R. W. Donaldson, "Probabilistic Contention Window Control in 802.11 WLANs," *Communications, Computers and signal Processing, 2003. PACRIM. 2003 IEEE Pacific Rim Conference on*, Vol.2, pp. 654-658, 2003.

[10] J. Rak, "LLA: A New Anypath Routing Scheme Providing Long Path Lifetime in VANETs," *Communications Letters, IEEE*, Vol.18, No.2, pp.281-284, 2013.



장희태

e-mail : heetaejang@gmail.com

2013년 가천대학교 의료공학부 IT학과
(학사)

2015년 서강대학교 컴퓨터공학과(석사)

2015년~현 재 (주)트레이스 전문연구요원
관심분야: 게임이론, 차량 애드 혹 네트워크



김승욱

e-mail : swkim01@sogang.ac.kr

1993년 서강대학교 전자계산학과(학사)

1995년 서강대학교 전자계산학과(석사)

2003년 Syracuse University, Computer
Science(박사)

2004년~2005년 Post Doc. The Center for
Advanced Systems and Engineering (CASE), Syracuse, NY,
U.S.A

2006년~현 재 서강대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야: 게임이론, 이동통신, 멀티미디어 통신, 네트워크
자원관리, QoS.