

논문 2011-48TC-7-1

VANET 환경에서 실시간 데이터 포워딩 진작을 위한 적응형 인센티브/토폴로지 제어 기법

(An Adaptive Incentive/Topology Control Scheme for Stimulating Real
time Data Forwarding in VANET Environment)

배 서 연*, 김 낙 명**

(Seo-Yun Bae and Nak-Myeong Kim)

요 약

Vehicular Ad-hoc Network (VANET)은 기반시설의 도움 없이 차량 간의 무선통신을 통하여 실시간으로 항상 접속 가능한 네트워크이다. 그러나 VANET 환경을 구성하는 노드들의 잦은 토폴로지 변화, 패킷을 다른 노드로 포워딩 해주지 않는 selfishness 등의 특징은 VANET의 성능을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 이러한 네트워크 성능 저하를 개선시키기 위한 기존의 인센티브 시스템에 관한 연구들은 고정 된 값의 인센티브를 제시하거나, 값이 변화하는 인센티브를 제시하더라도 인센티브 조정 과정이 데이터 전송과 동시에 진행되지 않는다. 따라서 selfish 노드들의 데이터 포워딩을 실시간으로 진작시키는데 한계가 있으며, VANET 환경에서의 잦은 토폴로지 변화에 대한 고려가 부족하였다. 본 논문은 노드의 데이터 포워딩을 실시간으로 진작시키기 위하여 데이터 전송 중에 인센티브 값을 실시간으로 조정하여 제시하는 인센티브 구조를 제안한다. 또 경로 설정 단계에서 결정된 초기 경로 내의 노드 순서가 데이터 전송 중에 바뀐 경우, 경로재설정을 요청한 중간노드는 그 요청이 반영되어 경로가 수정되면 인센티브를 받을 수 있도록 알고리즘을 구성하였다. 시뮬레이션을 통하여, 제안하는 인센티브 구조를 사용하면 데이터의 delivery time 및 delivery ratio 측면에서 기존의 알고리즘 대비 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

Abstract

Vehicular Ad-hoc Network (VANET) is a special form of Mobile Ad-hoc Network designed to provide communications among nearby vehicles without communications infrastructure. Some characteristics in VANET environment such as high mobility, dynamic topology and selfishness of nodes can cause degradation of network quality. In this paper, we propose an adaptive incentive/topology control scheme to improve network quality in VANET by stimulating real time data forwarding and reporting changes of network topology. In the proposed scheme, an incentive suggested by the source node is updated in real time simultaneously with data transmission to stimulate real time data forwarding. In addition, when the order of the nodes in the path is changed, nodes which report the changes of network topology will get an additional incentive. By computer simulation, it is shown that the proposed incentive/topology control scheme outperforms the conventional schemes with respect to data delivery time and data delivery ratio.

Keywords : VANET, incentive, selfishness, real time data forwarding

I. 서 론

최근 전자, 통신 기술의 발달로 차량은 운송 수단으

로서의 역할 뿐 아니라 통신 노드로서의 역할도 수행할 수 있게 되었다^[1]. 이러한 차량 간의 무선통신으로 구축되는 Vehicular Ad-hoc Network (VANET)는 지능형 자동차 intelligent transportation system의 핵심 기술로 부상하고 있다. 차량 운전자는 VANET을 통하여 기본적인 인터넷 서비스 뿐만 아니라 교통 상황과 같이 안전과 직결되는 실시간 정보들을 공유할 수 있다. 즉, VANET을 통하여 차량 운전자는 편의 및 안전을 보장

* 정회원, ** 평생회원, 이화여자대학교
(Ewha W. University)

※ 본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략 기술인력양성사업 및 2009년도 한국과학재단의 지원(No.20090077710)을 받아 수행된 연구임
접수일자: 2011년3월18일, 수정완료일: 2011년7월13일

받게 되는데, 이 경우의 정보는 가장 최근의 실시간 정보일 때 가장 가치가 높다.

기반 시설 없이 이동 노드들의 필요에 의하여 자율적으로 구축된다는 점에서 VANET은 멀티 홉 Mobile Ad-hoc Network (MANET)와 유사한 속성을 가지고 있다. 멀티 홉 네트워크의 경우, 전송 경로를 구성하는 각 노드들은 데이터 포워딩 수행여부를 결정할 수 있으며, 노드들의 데이터 포워딩 행동특성은 네트워크 성능에 큰 영향을 미친다. 이때, 요청받은 데이터 포워딩을 수행하지 않는 노드들의 특성을 selfishness라고 하며, selfishness를 갖는 노드를 selfish 노드라고 지칭한다. 이러한 selfish 노드의 데이터 포워딩 참여를 높이기 위하여, MANET 환경에서 목적지노드까지 데이터가 전송된 경우 데이터 포워딩에 참여한 노드들에게 인센티브를 효과적으로 지급하는 연구들이 진행되어 왔다^[2~3]. 한편 VANET에서는 네트워크를 구성하는 차량 노드의 높은 이동성, 노드의 토폴로지 및 밀도의 잦은 변화와 같은 특성이 추가적으로 고려되어야 한다. 따라서 MANET 환경에서의 인센티브 시스템을 그대로 VANET에 적용시키기에는 무리가 있다.

VANET 환경을 고려한 인센티브 시스템에 대한 연구로는 주로 VANET의 특수한 경우인 Delay Tolerant Network (DTN)를 고려한 연구들이 있었다. Haojin Zhu과 Xiaodong Lin은 데이터가 노드를 통과할 때마다 노드의 정보 layer를 데이터에 추가하고, 최종 목적지에서는 정보 layer에 등록된 모든 노드들에게 인센티브를 지급하는 SMART (Secure Multilayer Credit-Based Incentive Scheme for Delay-Tolerant Networks) 구조를 제안하였다^[4]. 이때, layer로 구성되어 있는 데이터를 처리한 후 포워딩하기 위해서는 여러 단계가 필요하며 시간이 오래 걸린다. 따라서 데이터를 전달할 수 있는 다른 노드를 만났을 경우 opportunistic하게 데이터를 포워딩하는 DTN환경에는 적용 가능 하지만 실시간으로 데이터 전송이 필요한 환경에는 적용하기 어렵다.

Rongxing Lu와 Xiaodong Lin이 DTN환경에서 제안한 인센티브 구조 Pi (Practical Incentive)에서는 노드들의 데이터 포워딩 횟수와 데이터의 목적지 도착여부에 따라 각 노드가 받게 될 인센티브 값이 조절된다^[5]. 그러나 인센티브 조정 과정이 데이터 전송과 동시에 실시간으로 진행되는 것이 아니므로, 노드들의 데이터 포워딩 참여도를 실시간으로 변화시켜 높이기에는 부족함이 있다.

본 논문에서는 실시간 정보 전송에 적합하도록 노드의 데이터 포워딩을 실시간으로 진작시키고, VANET의 잦은 토폴로지 변화를 고려하는 인센티브 기법을 제안한다. 제안된 기법에서 소스노드는 각 세션 단위로 인센티브 값을 실시간으로 최적화하여 중간노드에 제시한다. 또 소스노드는 초기 경로 설정 단계에서 결정된 초기 경로 내의 노드 순서가 바뀐 경우, 중간노드들이 소스노드에게 경로재설정을 요청하도록 하기 위하여 설정된 인센티브를 공지한다. 이러한 인센티브 알고리즘을 사용하여 노드의 selfishness를 줄이고 노드 토폴로지 변화에 빠르게 대응하는 효과를 얻을 수 있게 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 시스템 모델을 설명한다. III장에서는 실시간 데이터 포워딩 진작을 위한 적응형 인센티브/토폴로지 기법을 제안한다. IV장에서는 모의실험을 통하여 제안된 알고리즘의 성능을 검증 및 분석하며, V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

그림 1은 본 논문에서 고려한 VANET 모델이다. 각 차량을 고유의 ID를 가진 노드라고 정의하며 각 차량노드는 802.11p 프로토콜을 기반으로 하여 통신을 한다고 가정한다. 소스노드 V_s 가 목적지노드 V_d 로 데이터를 보낼 경로가 정해지면, 경로 내의 중간노드 $V_i (i=1, 2, \dots, n)$ 들을 통하여 데이터전송이 이루어진다. 데이터가 성공적으로 전달되면 V_i 들은 V_s 가 제시한 인센티브를 받게 된다. V_i 들이 받을 인센티브에 대한 영

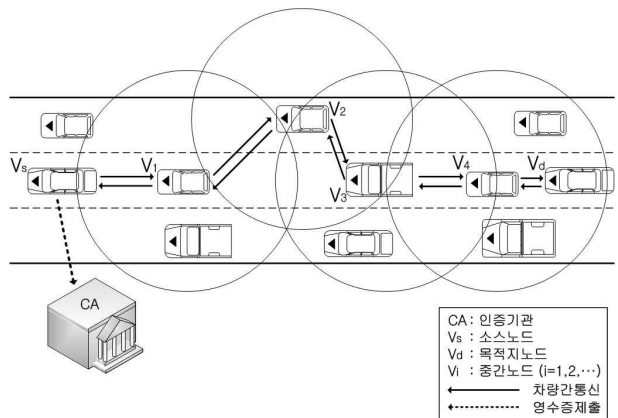


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System Model.

수증은 V_s 가 인증기관(CA)에 제출하며, 인센티브 지급에 관한 절차는 인증기관에서 이루어진다고 가정한다.

또한 V_i 들은 데이터처리에 관한 우선순위 등을 고려하여 요청받은 데이터 포워딩을 바로 수행하지 않거나, 자신의 이익을 최대화하기 위하여 데이터 포워딩 요청을 무시할 수 있다고 가정한다. 본 논문에서는 차량노드가 데이터를 포워딩하지 않는 것을 차량노드의 selfishness $\in [0, 1]$ 로 정의한다. 0은 데이터 포워딩 요청을 바로 수행한 경우이고 1은 데이터 포워딩요청을 완전히 무시한 경우이다. 만약, $V_i (i=1, 2, \dots, n)$ 들이 selfishness를 갖는 상황에서 t 라는 시간 동안 전송하고자 하는 데이터를 $data_t$ 라 하고, 그 데이터 중 t 라는 시간 동안 목적지에 도착하는 양을 throughput, 이라 하면 throughput, 은 식(1)과 같이 selfishness의 함수로 표현될 수 있다^[6].

$$\text{throughput}_t = data_t \times \prod_{i=1}^n (1 - \text{selfishness}_i) \quad (1)$$

Selfishness를 갖는 차량노드에 인센티브 시스템을 적용하면 노드의 selfishness가 줄어들게 되어 throughput의 저하를 줄일 수 있게 된다. V_s 와 V_d 는 selfishness를 갖지 않는다고 가정한다.

본 논문에서는 두 종류의 인센티브를 정의한다. 중간노드들이 데이터 포워딩을 수행하여 데이터가 V_d 에 도착한 경우에 V_s 가 각 중간노드들에게 지급하는 인센티브를 포워딩인센티브라고 정의하며, 데이터 전송 중에 초기 경로 내의 노드 순서가 바뀐 경우, 경로재설정을 요청하고 그 요청이 반영 된 중간노드들에게 V_s 가 지급하는 인센티브를 경로재설정인센티브라고 정의한다.

또한 본 논문에서는 패킷을 기반으로 한 실시간 전송을 고려한다. 연속적으로 전송되는 k 개의 메시지 패킷의 단위를 세션이라고 정의한다.

III. 실시간 데이터 포워딩 진작을 위한 적응형 인센티브/토폴로지 기법

V_s 는 V_d 로 데이터를 보낼 경로를 설정하기 위하여 route request (RREQ) 패킷을 브로드캐스팅 한다. RREQ 패킷에는 V_s 와 V_d 의 ID, RREQ 패킷이 전송된 순간의 시각 외에 경로에 참여할 중간노드들에 대한 인센티브 지급 여부가 표시된다. 여기서 RREQ 패킷이 전

송된 순간의 시각은 RREQ 패킷의 time stamp에 기록되며, 이 time stamp를 T^{RREQ} 로 정의한다. RREQ 패킷을 받은 V_d 는 RREQ 패킷이 전달되어 온 경로 상의 중간노드들의 ID를 포함하여 route reply (RREP) 패킷을 V_s 로 전송한다. RREP 패킷의 time stamp에는 RREP 패킷이 V_s 에 도착하는 순간의 시각이 기록된다. 이를 T^{RREP} 라고 정의한다.

본 논문에서 V_s 는 포워딩인센티브를 계산하기 위하여 round-off delay를 사용한다. Round-off delay는 패킷들의 time stamp에 기록된 시간의 차이로 정의한다. 첫 번째 세션에서 제시할 포워딩인센티브는 α_1 으로 나타내며, α_1 은 식(2)와 같이 round-off delay의 함수로 제안한다.

$$\alpha_1 = \begin{cases} 0 & , \quad 0 \leq d^{RR} \leq D^{RT} \\ \frac{1 - e^{-\lambda(d^{RR} - D^{RT})}}{n} \cdot W_o & , \quad d^{RR} \geq D^{RT} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 d^{RR} 는 경로설정에서의 round-off delay이다. D^{RT} 는 경로설정에서의 tolerable delay이다. D^{RT} 는 V_s 가 허용하는 delay의 최대값으로 포워딩인센티브의 지급 여부를 판단하는 기준이 된다. λ 는 round-off delay의 반영 정도를 나타내는 계수이며 n 은 중간노드들의 개수이다. 식(2)에서 W_o 에 곱해진 부분은 포워딩인센티브의 coefficient이다. W_o 는 V_s 가 한 프레임에서 하나의 중간노드에 제시하려는 최대 포워딩인센티브 값이며 W_o 에 coefficient가 곱해져 α_1 으로 계산된다. α_1 을 계산하기 위하여 지수함수를 사용함으로써 round-off delay에 따라 인센티브 조절 폭을 제어할 수 있게 된다. 또한 V_s 가 부담해야 하는 포워딩인센티브 값에 상한선이 존재하도록 하며, round-off delay가 너무 큰 경우에 대해서는 V_s 가 무리하여 인센티브 제어를 하지 않도록 한다.

V_s 와 V_d 사이의 경로가 정해지면 V_s 는 메시지 패킷 전송을 시작한다. V_s 가 전송하는 j 번째 세션의 k 번째 메시지 패킷을 $M_{j,k} = \{ID_s, m_{j,k}, T_{j,k}^M, \alpha_j, \beta_j\}$ 로 정의한다. ID_s 는 V_s 의 ID이고, $m_{j,k}$ 는 $M_{j,k}$ 에 포함 된 메시지이다. $T_{j,k}^M$ 는 $M_{j,k}$ 가 V_s 에서 전송되는 순간의 시간이 기록되는 time stamp이다. α_j 는 $M_{j,k}$ 가 V_d 에 도착할 경우, V_s 가 각 V_i 에게 지급하겠다고 제시하는 포워딩인센티브이며, 세션 단위로 결정된다. β_j 는 V_i 들이 V_s 에게 변경된

경로에 대하여 경로재설정요청을 하고 그 요청이 반영되면, V_s 가 각 V_i 에게 지급하겠다고 제시하는 경로재설정인센티브이다. β_j 는 V_s 가 시작한 communication process동안 동일한 값을 갖는다고 정의한다. $M_{j,k}$ 에 담긴 각 중간노드의 고유 정보가 다른 중간노드들에서 조작되는 것을 방지하기 위하여 $M_{j,k}$ 의 각 요소들은 encryption 된다고 가정한다.

중간노드들은 메시지 패킷 포워딩에 대하여 받고자 하는 포워딩인센티브의 최대요구값과 최소요구값을 데이터 처리에 사용되는 자원 보유 정도, 데이터 처리 우선순위 등에 따라 미리 정하여 가지고 있다고 정의한다. 각 중간노드들의 포워딩인센티브 최대요구값과 최소요구값은 각 중간노드들이 처한 상황에 따라 노드마다 다를 수 있다. $\alpha_i^{upper-th}$ 와 $\alpha_i^{lower-th}$ 를 각각 i 번째 중간노드 V_i 의 포워딩인센티브 최대요구값과 최소요구값으로 정의한다.

$M_{j,k}$ 를 받은 i 번째 중간노드 V_i 의 패킷포워딩 여부 결정모델은 그림 2와 같이 설계할 수 있다. 이 결정모델에서 F_ACTION_i 를 V_i 의 패킷포워딩 여부로 정의한다. $F_ACTION_i=1$ 이면 다음노드로 패킷을 포워딩하고, $F_ACTION_i=0$ 이면 포워딩하지 않는다고 정의한다. Γ_1 와 Γ_2 는 V_i 의 협력정도를 나타내며, $\Gamma_1 > \Gamma_2$ 이다. $M_{j,k}$ 에서 제시된 α_j 가 $\alpha_i^{upper-th}$ 보다 크면 V_i 는 $M_{j,k}$ 를 포워딩한다. 만약, α_j 가 $\alpha_i^{lower-th}$ 보다 작으면 랜덤 함수의 결과인 x 가 Γ_2 보다 큰 경우에 $M_{j,k}$ 를 포워딩하고, 그 외의 경우에는 x 가 Γ_1 보다 큰 경우에 $M_{j,k}$ 를 포워딩한다.

i 번째 중간노드 V_i 에서 포워딩되는 $M_{j,k}$ 의 형태는 $M_{j,k} = \{ID_s, m_{j,k}, T_{j,k}^M, \alpha_j, \beta_j, \sigma_{j,k}^1, \sigma_{j,k}^2, \dots, \sigma_{j,k}^n\}$ 로 나타낼 수 있다. $\sigma_{j,k}^i$ 는 V_i 가 $M_{j,k}$ 를 포워딩 했다는 증명으로 V_i 의 ID가 포함되어 있다. 중간노드들은 데이터 포워딩 참여에 대한 증명을 $M_{j,k}$ 에 첨부함으로써 포워딩인센티브를 받을 수 있게 된다.

한 세션에 속한 모든 메시지 패킷들이 V_d 에 도착하면 V_d 는 도착한 메시지 패킷들에 대한 협력확인패킷을 V_s 로 전송한다. 이때, 협력확인 패킷은 메시지 패킷이 전송된 경로의 역순으로 전송된다. V_d 가 전송하는 j 번째 협력확인 패킷을 $C_j = \{ID_d, T_j^C, \sigma_j^1, \sigma_j^2, \dots, \sigma_j^n\}$ 로 정의할 수 있다. 모든 메시지 패킷에 대하여 협력확인 패킷이 생성되고 전송되면 시스템에 오버헤드로 작용할 수 있으므로 협력확인 패킷은 세션 단위로 전송된다고

```

if  $\alpha_j > \alpha_i^{upper-th}$ 
   $F\_ACTION_i = 1$ ;
else  $x = random()$ 
  if  $\alpha_i^{lower-th} < \alpha_j < \alpha_i^{upper-th}$ 
    if  $x \geq \Gamma_1$ 
       $F\_ACTION_i = 1$ ;
    else
       $F\_ACTION_i = 0$ ;
    end
  else
    if  $x \geq \Gamma_2$ 
       $F\_ACTION_i = 1$ ;
    else
       $F\_ACTION_i = 0$ ;
    end
  end
end

```

그림 2. 중간노드의 패킷포워딩 여부 결정모델
Fig. 2. The packet forwarding action model of intermediate nodes.

가정한다. ID_d 는 V_d 의 ID이고, T_j^C 는 C_j 가 V_s 에 도착하는 순간의 시간이 기록될 time stamp이다. σ_j^i 는 한 세션에서 중간노드들이 발행한 $\sigma_{j,k}^i$ 들을 대표하는 증명이라고 정의한다. C_j 에 담긴 각 중간노드의 고유 정보가 다른 중간노드들에서 조작되는 것을 방지하기 위하여 C_j 의 각 요소들은 encryption 된다고 가정한다.

i 번째 중간노드 V_i 에서 $i-1$ 번째 중간노드 V_{i-1} 로 포워딩되는 협력확인 패킷은 $C_j = \{ID_d, T_j^C, \sigma_j^1, \dots, \sigma_j^n, \sigma_j^n, \dots, \sigma_j^i\}$ 로 표현될 수 있다. σ_j^i 는 V_i 가 C_j 를 포워딩했다는 증명이다. $(\sigma_j^1, \dots, \sigma_j^n)$ 와 $(\sigma_j^i, \dots, \sigma_j^n)$ 가 쌍을 이룰 때 최종적으로 V_s 는 포워딩인센티브 지급을 결정하므로 중간노드들이 협력확인 패킷을 포워딩하는 확률은 1이라고 가정한다.

본 논문에서 V_s 는 C_j 가 도착하는 데 걸리는 시간의 함수로 다음 세션에서 중간노드들에게 제시할 포워딩인센티브를 업데이트한다. 여기서 $d_{j,k}^M$ 을 V_s 에서 전송된 한 개의 패킷 $M_{j,k}$ 가 V_d 에 도착하는데 걸리는 시간으로 정의한다. d_j^C 는 V_d 에서 전송된 C_j 가 V_s 에 도착하는데 걸리는 시간이다. $d_{j,k}^M$ 과 V_d 에서 전송된 C_j 가 V_s 에 도착하는데 걸리는 시간 d_j^C 는 각각 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$d_{j,k}^M = \left(\sum_{i=1}^n \mu_{j,k}^{i,M} + \frac{N_{j,k}^M}{r_{j,k}^{s,M}} + \sum_{i=1}^n \frac{N_{j,k}^M}{r_{j,k}^{i,M}} \right) + \left(\frac{1 - \prod_{i=1}^n f_{j,k}^{i,M}}{\prod_{i=1}^n f_{j,k}^{i,M}} \right) \left\{ \sum_{i=1}^n \mu_{j,k}^{i,M} + \Delta_{j,k} + \left(\frac{N_{j,k}^M}{r_{j,k}^{s,M}} + \sum_{i=1}^n \frac{N_{j,k}^M}{r_{j,k}^{i,M}} \right) \right\}, \quad (3)$$

$$d_j^C = \begin{cases} \frac{N_j^C}{r_j^{d,C}} + \sum_{i=1}^n \frac{N_j^C}{r_j^{i,C}}, & \text{if successful} \\ \infty, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$\mu_{j,k}^{i,M}$ 는 i 번째 중간노드 V_i 에서의 $M_{j,k}$ 에 대한 데이터 처리 시간, $N_{j,k}^M$ 은 $M_{j,k}$ 의 bit수이다. $r_{j,k}^{s,M}$ 와 $r_{j,k}^{i,M}$ 는 각각 $M_{j,k}$ 에 대한 V_s 및 i 번째 중간노드 V_i 의 데이터 전송률이다. $f_{j,k}^{i,M}$ 는 V_i 가 $M_{j,k}$ 를 포워딩하는 확률이다. $\Delta_{j,k}$ 는 $M_{j,k}$ 가 V_s 에서 전송되어 V_d 에 전달된 후 그에 대한 ACK/NACK 패킷이 돌아오는데 걸리는 시간이다. $\Delta_{j,k}$ 는 식(5)로 표현할 수 있다.

$$\Delta_{j,k} = \left(N_{j,k}^A / r_{j,k}^{d,A} \right) + \sum_{i=1}^n \left(N_{j,k}^A / r_{j,k}^{i,A} \right). \quad (5)$$

위의 식에서 $N_{j,k}^A$ 는 $M_{j,k}$ 에 대한 ACK/NACK 패킷의 bit수이다. $r_{j,k}^{d,A}$ 와 $r_{j,k}^{i,A}$ 는 각각 $M_{j,k}$ 에 대한 ACK/NACK 패킷의 V_d 및 i 번째 중간노드 V_i 에서의 전송률이다.

식(3)의 첫 번째 항은 재전송 없이 한 번에 메시지 패킷 전송이 성공했을 때 걸리는 시간이다. 두 번째 항은 메시지 패킷의 전송 실패 상황에서 재전송을 통하여 메시지 패킷이 전송되기까지 걸리는 시간이 모두 포함되어 있다. 식(4)의 N_j^C 는 j 번째 협력확인 패킷의 bit수이다. $r_j^{d,C}$ 와 $r_j^{i,C}$ 는 각각 C_j 에 대한 V_d 및 V_i 의 데이터 전송률이다. V_i 의 협력확인 패킷 포워딩확률을 1이라고 가정하였으므로 협력확인 패킷에 대한 데이터 처리 시간은 매우 작다고 가정한다.

식 (3)과 (4)를 통하여 V_i 들의 포워딩 확률 즉, $f_{j,k}^{i,M}$ 가 패킷이 전송되는 시간인 $d_{j,k}^M$ 와 d_j^C 를 결정짓는 요소라는 것을 알 수 있다. V_s 는 $f_{j,k}^{i,M}$ 를 조절하여 데이터가 전송되는 데 걸리는 시간 $d_{j,k}^M$ 와 d_j^C 를 제어하기 위하여 포워딩인센티브를 적응적으로 최적화한다. 이때, V_s 가 식 (3)과 (4)를 사용하여 데이터가 전송되는데 걸린 시간을 실제로 계산하면 데이터처리시간이 많이 소요되므로,

본 논문에서 V_s 는 time stamp에 기록 된 시간의 차이를 사용하여 포워딩인센티브를 적응적으로 최적화하는 알고리즘을 제안한다. 즉, V_s 가 j 번째 세션의 첫 번째 메시지패킷 $M_{j,1}$ 를 전송한 후 C_j 가 V_s 에 도착하는데 걸리는 round-off delay는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$d_j^{total,R} = \sum_{l=1}^k d_{j,l}^M + d_j^C = T_j^C - T_{j,1}^M. \quad (6)$$

이 경우, 인센티브 업데이트 함수는 아래와 같이 정의된다.

$$\alpha_j = \begin{cases} 0, & 0 \leq d_{j-1}^{total,R} \leq D_{j-1}^{total,T} \\ \frac{1 - e^{-\lambda(d_{j-1}^{total,R} - D_{j-1}^{total,T})}}{n} \cdot W_o, & d_{j-1}^{total,R} \geq D_{j-1}^{total,T} \end{cases} \quad (7)$$

여기서 $d_{j-1}^{total,R}$ 은 $j-1$ 번째 세션의 round-off delay이고, $D_{j-1}^{total,T}$ 는 $j-1$ 번째 세션의 tolerable delay이다. V_s 는 $d_{j-1}^{total,R}$ 이 크면 다음 세션의 메시지 패킷, 즉 $M_{j,k}$ 에 대한 $f_{j,k}^{i,M}$ 를 높이기 위하여, 식(7)에 의거하여 인센티브를 상향조정하여 $M_{j,k}$ 에서 제시한다. 반면, $d_{j-1}^{total,R}$ 이 작으면 좀 더 작은 포워딩인센티브로도 높은 $f_{j-1,k}^{i,M}$ 를 유지시킬 수 있기를 기대하며 식(7)에 의거하여 인센티브를 하향조정하여 $M_{j,k}$ 에서 제시한다.

그림 3은 제안된 포워딩인센티브 제어 기법의 구조를 나타낸다. 포워딩인센티브가 제어되는 과정은 V_s 와 중간노드들, 그리고 V_d 사이의 피드백 구조로 표현할 수 있다. 현재의 통신경로 상에 포함된 모든 노드들의 행동이 반영되어 포워딩인센티브가 실시간으로 최적화되

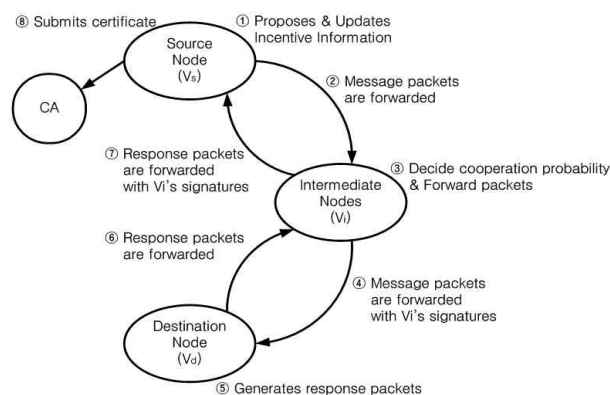


그림 3. 제안된 포워딩인센티브 제어 기법 구조
Fig. 3. The architecture of the proposed forwarding incentive control scheme.

므로, V_s 와 중간노드들, 그리고 V_d 요구를 모두 충족시킬 수 있게 된다.

한편, VANET에서는 노드들의 이동성이 크기 때문에 초기 경로 설정 단계에서 결정된 V_s 와 V_d 사이의 초기 경로 내의 V_i 들의 순서가 데이터 전송 중에 바뀔 수 있다. 그림 4는 그 예시로 초기 경로 내의 V_3 과 V_4 의 순서가 바뀐 상황을 나타낸다. 경로 내의 노드 순서가 바뀐 채로 데이터 전송이 이루어지면, 그렇지 않을 때보다 동일한 전송과워를 사용하였을 때 얻을 수 있는 데이터 전송률이 낮아지게 된다. 이때, 경로 내의 노드 순서가 바뀐 상황을 알고 있는 중간노드가 V_s 에 그 상황을 알려주는 협력행동을 한다면, V_s 는 노드 순서 변경에 대하여 경로재설정이라는 대응을 보다 빠르게 할 수 있게 된다. 따라서 V_s 는 초기에 설정된 경로 내의 노드 순서가 바뀐 경우, 중간노드들이 경로재설정요청이라는 협력행동을 하도록 M_{jk} 에서 β_j 를 제시한다.

초기 경로 설정 단계에서 결정된 경로 내의 차량노드들 중 i 번째 중간노드 V_i 를 제외한 차량노드들을 V_u , V_i 가 수신하는 V_u 의 신호의 세기를 $P_{i,u}$ 라고 정의한다. i 번째 중간노드 V_i 의 원 홉 거리에서 수신되는 신호의 세기를 $P_{i,i-1}$ 와 $P_{i,i+1}$, 멀티 홉 거리에서 수신되는 신호들의 세기를 $P_{i,u\#i\pm 1}$ 로 정의한다. 중간노드들은 수신한 신호 세기를 비교하는 기준으로 $P_i^{upper_th}$ 와 $P_i^{lower_th}$ 를 각자 정의하여 가지고 있다고 가정한다. 각 중간노드들이 얻고자 하는 데이터 전송률의 기준이 다를 수 있으므로 $P_i^{upper_th}$ 와 $P_i^{lower_th}$ 는 노드마다 다를 수 있다고 가정한다.

i 번째 중간노드 V_i 는 새롭게 도착하는 메시지 패킷에 대하여 $P_{i,i-1}$ 또는 $P_{i,i+1}$ 이 제일 클 것으로 기대한다. 그러나 경로 내의 노드 순서가 바뀌게 되면 V_i 와 원

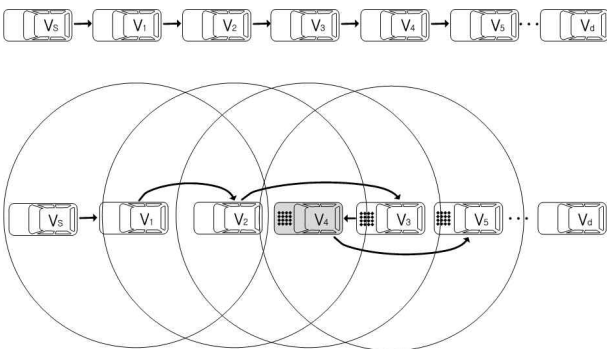


그림 4. 경로 내의 노드 순서가 바뀐 예
Fig. 4. An example of changes in the order of the nodes in the path.

```

if ( $P_{i,i\pm 1} < P_{i,u\#i\pm 1}$ ) && ( $P_i^{upper\_th} < P_{i,u\#i\pm 1}$ )
   $R\_ACTION_i = 1$ ;
else if ( $P_{i,i\pm 1} < P_{i,u\#i\pm 1}$ ) && ( $P_i^{lower\_th} > P_{i,i\pm 1}$ )
   $R\_ACTION_i = 1$ ;
else
   $R\_ACTION_i = 0$ ;
end

```

그림 5. 중간노드의 경로재설정요청 여부 결정모델
Fig. 5. The re-route request action model of intermediate nodes.

홉 거리에 위치하는 노드가 달라질 수 있다. V_i 는 높은 데이터 전송률을 얻기 위하여 원 홉 내에 존재하는 노드로부터 데이터를 전송받고자 한다. 따라서 V_i 는 원 홉 내에 존재하는 노드를 판별하고, 원 홉 내에 존재하는 노드로부터 데이터를 받기 위한 경로재설정요청 여부를 결정한다.

본 논문에서는 i 번째 중간노드 V_i 의 경로재설정요청 여부 결정모델을 그림 5와 같은 구조로 설계한다. 이 모델에서 R_ACTION_i 를 V_i 의 경로재설정요청 여부로 정의한다. $R_ACTION_i=1$ 이면 경로재설정요청 패킷을 V_s 로 전송하고, $R_ACTION_i=0$ 이면 전송하지 않는다고 정의한다. 그림 5에서 $P_{i,i-1}$ 과 $P_{i,i+1}$ 을 $P_{i,i\pm 1}$ 로 나타낸다. 만약 $P_{i,u\#i\pm 1}$ 이 $P_{i,i-1}$ 과 $P_{i,i+1}$, V_i 의 $P_i^{upper_th}$ 보다 크면 V_i 는 V_u 가 원 홉 거리에 있다고 판단하고 V_s 로 경로재설정요청을 한다. 또 $P_{i,i-1}$ 과 $P_{i,i+1}$ 이 $P_{i,u\#i\pm 1}$ 과 $P_i^{lower_th}$ 보다 작으면 V_s 로 경로재설정요청을 한다. 그 이외의 경우에는 $P_{i,i-1}$ 또는 $P_{i,i+1}$ 을 원 홉 거리에서 수신되는 신호로 판단하여 경로재설정요청을 하지 않는다고 정의한다. 이때, 경로재설정요청 패킷은 경로재설정요청이 필요한 상황이 발생할 때마다 중간노드들에서 별도로 생성되어 V_s 로 전송된다고 정의한다.

경로 내의 노드 순서가 바뀌면 그림 4와 같이 최소 3개 노드들이 노드 순서가 바뀐 것을 감지할 수 있게 된다. 최소 3개의 경로재설정요청 패킷이 연속으로 V_s 에 도착하여야 rerouting이 수행된다. Rerouting은 마지막 요청 패킷이 도착한 다음세션에 바로 적용된다.

IV. Computer Simulation

본 절에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안한 인센티브 구조의 성능을 분석한다. 메시지 패킷과 협력확

인 패킷은 각각 512bytes, 32bytes로 설정하였다. 협력 확인 패킷이 전송되는 단위인 한 세션의 크기, $k=100$ 이다. 중간노드들의 협력정도를 나타내는 Γ_1 와 Γ_2 는

각각 0.25와 0.75로 설정하였다. 경로설정에서의 tolerable delay는 0.03sec, 데이터전송시의 tolerable delay는 0.05sec으로 두었다.

그림 6(a)는 패킷 전송 시 시간에 따른 각 세션단위의 패킷 전달시간, (b)는 세션 10개 단위의 평균 패킷 전달시간을 나타낸다. 기존의 알고리즘에 비하여 패킷 전송 시 더 짧은 시간이 소요되는 것을 확인할 수 있다. 또한 제안된 알고리즘의 패킷 전달 시간은 기존의 알고리즘보다 variation이 작은 것을 확인할 수 있다. 이는 제안된 알고리즘을 사용하면 중간노드들의 패킷 포워딩 확률을 일정 범위를 크게 벗어나지 않게 실시간으로 변화시킬 수 있기 때문에 해석할 수 있다.

그림 7(a)는 패킷 전송 시 시간에 따른 각 세션단위의 패킷 전달 ratio, (b)는 세션 10개 단위의 평균 패킷 전달 ratio를 나타낸 것이다. 제안한 알고리즘을 사용하면 다음 세션에서의 포워딩 확률을 높일 수 있게 된다. 따라서 제안한 알고리즘의 패킷 전달 ratio가 기존의 알고리즘의 패킷 전달 ratio에 비하여 높은 것을 확인할 수 있다. 또한 제안한 알고리즘의 패킷 전달 ratio는 기존 알고리즘보다 variation이 작은 것을 볼 수 있다. 이는 제안한 인센티브 업데이트 알고리즘을 사용하면 각 세션 단위로 적합한 인센티브를 제시할 수 있게 되어 노드의 포워딩 확률이 일정 범위를 크게 벗어나지 않기 때문에 해석할 수 있다. 제안하는 알고리즘과 기존 알고리즘의 300개 세션에 대한 평균 패킷 전달 ratio는 각각 약 0.81, 0.54의 값을 가진다. 제안한 알고리즘을 사용하였을 경우 패킷 전달 ratio가 약 0.27만큼 향상된 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 시간에 따른 각 세션단위의 normalized throughput을 나타낸다. Normalized throughput은 식 (1)을 \mathbf{data}_i 로 나눈 값이다^[6]. 25, 26번째 세션과 63, 64, 65번째 세션의 normalized throughput 저하는 경로 내 노드 순서가 바뀌어 나타난 것이다. 제안 알고리즘의 경우 바뀐 노드의 순서가 경로재설정요청을 통하여 반영되기 때문에 이전의 normalized throughput과 비슷하게 회복되는 것을 확인할 수 있다. 반면 기존 알고리즘의 경우 바뀐 노드 순서대로 데이터 전송이 이루어져 normalized throughput 저하가 지속된다. 만약 계속적으로 노드 순서가 바뀌면 그 과정에서 초기 경로와 비슷한 순서로 노드가 다시 배치될 수 있으므로 기존 알고리즘에서도 노드 순서가 바뀐 이후에 그 이전보다 normalized throughput이 더 좋아질 수도 있다.

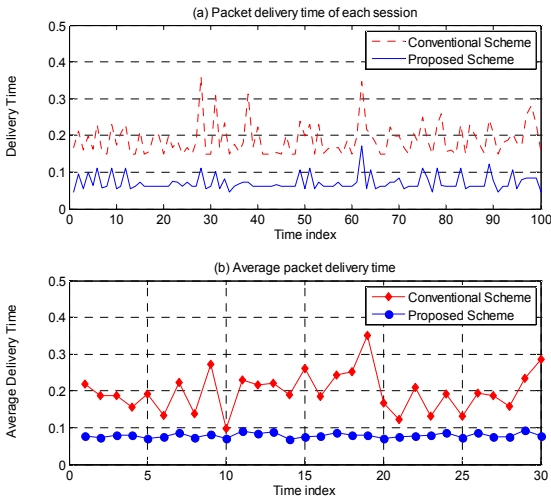


그림 6. 패킷 전송 시간
Fig. 6. Packet delivery time.

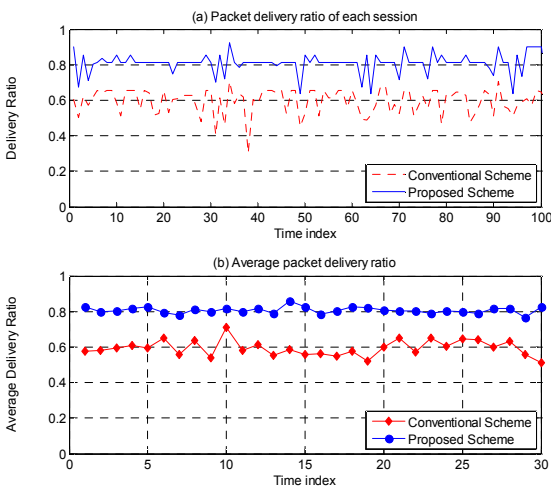


그림 7. 패킷 전송률
Fig. 7. Packet delivery ratio.

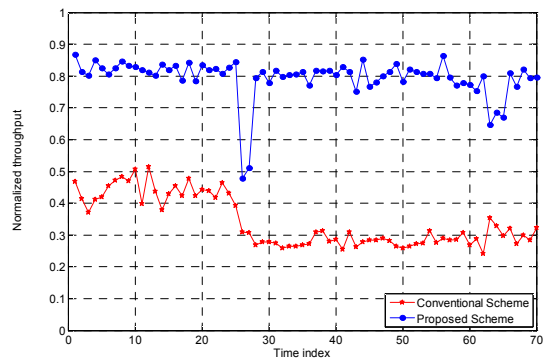


그림 8. Normalized Throughput
Fig. 8. Normalized Throughput.

V. 결 론

본 논문에서는 VANET 환경에서 노드의 selfishness를 줄이기 위한 인센티브 기법을 제안하였다. 제안된 알고리즘에서 포워딩인센티브 값은 데이터 전송 중에 실시간으로 최적화되어 중간노드들에 제시되어 노드의 데이터 포워딩을 실시간으로 진작시킬 수 있게 된다. 또한 제안된 알고리즘에서는 초기에 설정된 경로 내의 노드 순서가 바뀐 경우, 중간노드들이 그 상황을 알려 줄 수 있도록 협력을 유도하여 지속적으로 높은 데이터 전송률을 얻을 수 있게 된다. 시뮬레이션을 통하여, 제안된 알고리즘을 사용하면 기존의 알고리즘 대비 데이터의 전달 시간 및 전달 ratio, normalized throughput 측면에서 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Hartenstein, H.; Laberteaux, K.P., "A tutorial survey on vehicular ad hoc networks" Communications Magazine, IEEE Volume 46, Issue 6, Page(s): 164 - 171, June, 2008.
- [2] Rongxing Lu; Xiaodong Lin; Haojin Zhu; Chenxi Zhang; Pin-Han Ho; Xuemin Shen "A Novel Fair Incentive Protocol for Mobile Ad Hoc Networks" Wireless Communications and Networking Conference, 2008. WCNC 2008. IEEE., Page(s): 3237 - 3242, Las Vegas, Nevada, USA., March 31 2008 - April 3
- [3] Suri, N.R.; Narahari, Y., "Design of an Optimal Bayesian Incentive Compatible Broadcast Protocol for Ad Hoc Networks with Rational Nodes" Selected Areas in Communications, IEEE Journal on Volume 26, Issue 7, Page(s): 1138 - 1148, September, 2008.
- [4] Haojin Zhu; Xiaodong Lin; Rongxing Lu; Yanfei Fan; Xuemin Shen., "SMART: A Secure Multilayer Credit-Based Incentive Scheme for Delay-Tolerant Networks" Vehicular Technology, IEEE Transactions on Volume 58, Issue 8, Page(s): 4628 - 4639, October 2009.
- [5] Rongxing Lu; Xiaodong Lin; Haojin Zhu; Xuemin Shen; Preiss, B., "Pi: A practical incentive protocol for delay tolerant networks" Wireless Communications, IEEE Transactions on Volume 9, Issue 4, Page(s): 1483 - 1493, April, 2010.
- [6] Felegyhazi, M.; Hubaux, J.-P.; Buttyan, L., "Nash equilibria of packet forwarding strategies in wireless ad hoc networks" Mobile Computing, IEEE Transactions on Volume 5, Issue 5, Page(s): 463 - 476, March, 2006.

저 자 소 개



배 서 연(정회원)
2010년 이화여자대학교 전자정보
통신공학전공 학사.
2011년 이화여자대학교
전자공학과 석사 과정
<주관심분야 : VANET
Architecture, Multi-hop Relay
Architecture, Incentive Scheme>



김 낙 명(평생회원)
1980년 서울대학교 전자공학과
학사
1982년 KAIST 석사
1990년 Ph.D. Cornell University

<주관심분야 : Cross-layer optimization, Hybrid Multiple Access, LTE 및 B4G Radio Access, 다자간 채널공유기술, Cognitive Radio Systems, Communication Security, 기상 환경 Wireless Sensor/Actuator Network (W2SAN)>