
차량 간 통신에서 가우시안 모델을 적용한 개선된 백오프 알고리즘

오상엽*

A improved back-off algorithm using the gaussian model in the vehicular networks

Sang Yeob, Oh*

요약 교통사고가 발생하면 사고 차량은 주변 차량에게 안전 메시지를 멀티 홉으로 브로드캐스트 해야 한다. 하지만, 순수한 플러딩 방식을 사용하면 잦은 충돌로 인해 통신 지연이 유발되고 이로 인해 연속 충돌 사고 예방이 어렵다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 속도에 따른 이웃 노드의 수를 t-분포를 이용하여 추정하고 이를 백오프 알고리즘에 적용한다. 그리고 멀티채널을 이용하여 이웃 노드 개수의 수집 채널과 데이터 채널로 분리하여 통신 지연을 예방하는 MAC 프로토콜을 제안한다. 결과적으로, 기존 기법보다 제안된 프로토콜이 프레임 수신율이 10% 이상 개선되었음을 확인하였다.

주제어 : 차량 간 통신, 멀티 홉, 안전 메시지, 가우시안 모델, 멀티채널, 백 오프

Abstract When a car accident happened, the accident vehicle should broadcast a safe message to its neighbors in multi-hop. However, the pure flooding is difficult to protect a chain-reaction collision because of the frequent collision and the communication delay. To solve this problem, we proposes a back-off algorithm applied to the estimation of the neighbor node count using the t-distribution. And we proposes a MAC protocol preventing the communication delay by separating the neighbor's count collection channel and data channel. As a result, we show the frame reception success rate of our protocol improved more 10% than the previous protocol.

Key Words : vehicular networks, multi-hop, safe message, gaussian model, multi-channel, back-off

1. 서론

차량 네트워크는 ITS(Intelligent Transport Systems)에서 핵심 기술 중 하나로 교통사고를 예방하기 위한 안전 서비스를 위한 다양한 서비스가 연구되고 있다. IEEE에서는 차량 통신을 지원하기 위해 무선 랜 표준인 IEEE 802.11p WAVE를 표준화하였으며 FCC(the Federal Communications Commission)은 차량 통신을 위해 5.850-5.925 GHz의 주파수를 할당하였다[1]. 차량 통신은 기존 MANET(Mobile Adhoc Network)과는 다르게 배터리 효율을 크게 고려하지 않아도 되며, GPS 장비를 탑

재하여 위치 정보를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

교통사고가 발생하면 연속 충돌 사고를 예방하기 위해 사고 차량은 주변차량에게 사고 정보를 멀티 홉으로 브로드캐스트 해야 한다. 이를 위한 방법 중 하나는 순수 플러딩(Pure Flooding) 기법이다. 하지만, 이는 신뢰성 있는 통신을 지원하지 못하며 잦은 충돌로 인한 통신 지연이 유발되고 사고 예방이 어렵다.

그래서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 속도에 따른 이웃 노드의 수를 가우시안 모델로 가정하고 t-분포로 이웃 노드의 수를 추정한다. 그리고 이를 백 오프(back-off) 알고리즘에 적용하여 경쟁에 의한 충돌

* 이 논문은 2012년도 가천대학교 교내연구비 지원에 의한 결과임.

*가천대학교 IT 대학 인터랙티브미디어 교수(교신 저자)

논문접수: 2012년 6월 20일, 1차 수정을 거쳐 심사완료: 2012년 7월 10일

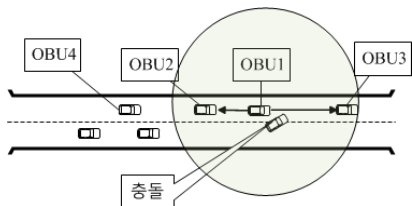
확률을 낮추는 방안을 제안한다. 또한, 이웃 노드 수를 수집하기 위해서 수집 채널과 데이터 채널로 구분하여 트래픽을 감소시키는 통신을 지원하고, 통신 지연을 예방하는 MAC 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 언급하고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 이웃 노드 수 추정을 위한 백오프 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 제안한 프로토콜을 적합성을 판단하기 위하여 시뮬레이션 평가를 수행하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 순수 플러딩을 이용한 연구

멀티홉 기반의 브로드캐스트 전송방식에서 가장 단순한 기법은 순수 플러딩이다. 이 기법은 브로드캐스트로 수신한 프레임의 다시 브로드캐스트 하는 방법으로 멀티홉 통신을 수행한다. 이는 요구 기반 라우팅 프로토콜에서 목적지 노드를 탐색하기 위한 방법으로 사용되었다. 하지만 차량 통신 환경에서는 방향성이 있기 때문에 그대로 사용하기 어렵다. [그림 1]은 OBU1에서 차량 충돌이 발생하여 주변 노드에게 안전 메시지를 브로드캐스트한 상황을 보여준다. 기본 순수 플러딩은 방향성이 없기 때문에, 안전 메시지를 수신한 OBU2와 OBU3는 이를 다시 브로드캐스트 한다. 하지만 OBU3는 충돌 지점 전방에 있는 차량이므로 사고의 위험을 알릴 필요가 없다.



[그림 1] 차량 통신 환경에서의 브로드캐스트

그래서 이러한 순수 플러딩 기법에 차량 통신 환경에 맞게 적용한 연구가 진행되었다. ASTM 규격[4]은 안전 메시지를 수신한 노드가 송신 노드의 방향이 전방인지 판별하고, 이 경우에만 주기적으로 해당 메시지를 브로드캐스트 하는 방안을 제안하였다. 즉, 이 기법을 사용하면 [그림 1]과 같은 상황에서 OBU3는 OBU1이 후방에

있으므로 안전 메시지를 재전송 하지 않는다.

ASTM 규격은 충돌 지점 이후의 차량의 재전송 트래픽을 감소시켰지만, 멀티 홉으로 전달하는 과정에서 송신 노드는 ACK를 수신할 수 없기 때문에 올바르게 전달했는지 알 수가 없다. 이를 위해 주기적으로 메시지를 송신하기 때문에 트래픽이 증가한다. 이를 방지하기 위해 논문 [6]에서는 후방 노드가 재전송 한 메시지를 수신하면 이를 ACK로 인식하여 재전송을 중단하는 방안을 제안하였다. 하지만 이 방안들도 교통 혼잡과 같은 차량이 밀집한 상황에서는 과도한 메시지의 재전송으로 인해 무선 채널의 부하가 급격하게 증가하여 브로드캐스트 스톱과 같은 문제점이 발생할 수 있다. 이 문제가 발생하면 정작 중요한 안전 메시지를 송신 할 때, 필요 시간 내에 주변노드에게 전달하지 못하여 사고를 예방할 수가 없게 된다.

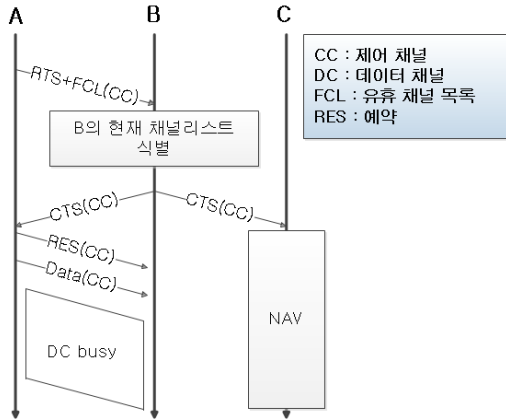
2.2 멀티 채널 MAC 프로토콜

IEEE 802.11의 CSMA/CA는 무선에서 충돌을 회피하기 위한 프로토콜로 노드 수가 증가하면 높은 전송 경쟁으로 충돌이 발생하고, 이로 인해 네트워크 성능이 저하된다.

멀티채널의 장점은 첫째, 싱글 채널의 대역폭 제한을 해결하며, 최대 데이터 처리량을 높일 수 있다. 둘째, 싱글 채널에 비해 적은 normalized propagation delay를 가지며, normalized propagation delay는 패킷전송에 걸리는 시간 당 propagation delay의 비율로서 충돌 회피 확률을 높일 수 있다[8]. 멀티채널 MAC 프로토콜에서 각 스테이션이 n개의 채널을 임의로 할당받고 개별적으로 패킷을 전송하며, 이로 인해 싱글 채널에서 발생하는 숨겨진 노드와 노출된 노드 문제가 발생되고, 다른 채널을 사용하는 노드들 사이에서 송수신 실패로 인한 지연 현상이 발생된다. 이러한 문제점을 해결하고 네트워크 처리량을 향상시키기 위하여 DCA가 제안 되었다. DCA는 제어 채널과 N개의 데이터 채널을 할당한다. 각 노드들이 데이터 전송을 위해 가용 데이터 채널의 여부를 확인하고 노드는 가용채널 확인을 위해 CUL(Current Usage List)과, FCL(Free Channel List)를 사용한다[3].

I가 채널 사용 목록의 수라고 할 때, $CUL[i]$ 는 $CUL[i].host, CUL[i].ch, CUL[i].rel_time$ 의 3가지 Field를 사용한다. $CUL[i].ch$ 은 현재 사용되는 데이터 채널이며, 이 채널을 사용하는 이웃 노드는 $CUL[i].host$ 이다.

CUL[i].rel_time은 이 채널을 사용하는 노드가 채널을 반환하는 시간 정보를 가지며, FCL에서는 전송을 요청하는 스테이션이 현재 가용채널을 CUL을 기반으로 계산한 후 RTS와 같이 전송한다. 다음 그림은 DCA MAC의 동작과정을 보여준다.



[그림 2] DCA 동작 과정

노드 A는 노드 B에 데이터를 전송하기 위해 제어 채널을 사용하여 RTS를 전송하고, RTS 패킷은 가용채널에 대한 정보 FCL을 포함한다. 노드 B는 RTS에 포함된 FCL을 수신하여 자신의 CUL과 비교한 다음 목록에 노드 A가 요청하는 데이터 채널이 가용되면 제어 채널을 이용하여 CTS를 응답한다. 노드 B로부터 CTS를 받은 노드 A는 이웃 노드가 동일한 데이터 채널을 사용하지 않도록 하기 위해 제어 채널인 RES(Reservation) 패킷을 노드 B에게 전송한다. 마지막으로 노드 A는 지정된 데이터 채널을 이용하여 패킷을 전송한다.

2.3 가우시안 모델

가우시안 최적화 모델은 주어진 표본 데이터 집합의 분포밀도를 단 하나의 확률밀도함수로 모델링하는 방법을 개선한 밀도 추정 방법으로 복수 개의 가우시안 확률밀도함수로 데이터의 분포를 모델링하는 방법이다. 단일한 가우시안으로는 모델링 할 수 없는 복수개의 중심점을 가지는 1차원 데이터와 2차원 환형 데이터에 대하여 견고하게 모델링된다[5].

확률밀도함수는 가우시안 분포뿐 아니라 다른 분포가 될 수도 있다. 가우시안 최적화 밀도는 단지 확률밀도함수를 가우시안 분포로 가정하는 경우이다. 결국 최종적

인 전체 확률밀도함수는 개의 가우시안 확률밀도함수의 선형 결합으로 식(1)과 같이 표현된다.

$$p(x|\Theta) = \sum_{i=1}^M p(x|\omega_i, \theta_i) P(\omega_i) \quad (1)$$

여기서 $p(x|\omega_i, \theta_i)$ 는 데이터 x 에 대하여 ω_i 번째 성분 파라미터 θ_i 로 이루어진 확률밀도함수를 의미하며, $P(\omega_i)$ 는 혼합 가중치로 각 확률밀도함수의 상대적인 중요도를 의미한다. 혼합 가중치를 사전확률과 같은 형태로 α_i 라고 하면 식(2)과 같은 제약조건이 따른다.

$$0 \leq \alpha_i \leq 1, \text{ and } \sum_{i=1}^M \alpha_i = 1 \quad (2)$$

확률밀도함수가 가우시안 분포를 따를 경우 θ_i 는 식(3)와 같은 파라미터 집합이 된다.

$$\Theta_i = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_M, \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_M, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M) \quad (3)$$

전체 모델을 이루는 각 가우시안 성분은 완전대각 또는 정방형 공분산 행렬의 형태를 가질 수 있다. 또한 혼합 성분의 개수는 학습 데이터 집합의 크기에 따라 조절 가능하다. 가우시안 최적화 모델로 데이터의 분포를 모델링할 경우에 혼합 성분의 개수가 충분히 주어지고 적절한 파라미터 값들만 주어진다면 이론적으로는 어떠한 연속적인 분포도 추정하여 모델링한다.

3. 시스템 모델

3.1 이웃 노드 수의 추정

속도에 따른 이웃 노드의 수가 가우시안 모델을 따른다고 했을 때, t-분포를 통해 적은 샘플의 수로도 이웃 노드의 수를 추정할 수 있다.

먼저 각 노드들은 수집시간 t 동안 0.1 비율의 시간마다 얻은 평균 속도와 평균 이웃 노드의 수를 계산한다. 평균 속도는 다음의 표와 같이 계급값을 갖는다.

〈표 1〉 속도에 따른 계급값

속도(km/h)	계급값
0 ~ 10	5
11 ~ 20	15
...	...
191 ~ 200	195

그리고 각 계급값마다 이웃 노드 수에 대한 도수 분포표를 가진다. 이는 가우시안 모델을 따르며 수집시간 t 동안의 이웃노드의 수의 평균을 계산하여 해당 평균 속도의 도수분포표에 저장한다. 예를 들어, 수집시간이 10 분이라고 했을 때, 선형적으로 속도가 70~80km/h로 변하고 이웃 노드의 수가 5~7개로 변하면, 평균 속도와 이웃 노드의 수는 각각 75km/h, 6개가 된다. 이를 계급값 75의 도수분포표 6개로 저장한다.

여기서 샘플의 수가 적기 때문에 t-분포를 이용하여 이웃 노드의 수의 모 평균의 구간을 95%의 확률로 추정할 수 있다. 이는 다음과 같은 단계로 계산된다.

여기서 샘플의 수가 적기 때문에 t-분포를 이용하여 이웃 노드의 수의 모 평균의 구간을 95%의 확률로 추정할 수 있다. 이는 다음과 같은 단계로 계산된다.

- 얻은 n개의 이웃 노드 수의 표본에서 표본평균 x와 표본표준편차 s를 계산한다.
- 표본평균 x와 표본표준편차 s, 추정하려는 모평균 μ 를 사용하고, 자유도 n-1인 t-분포를 따르는 통계량으로 예언적중구간 95%를 다음과 같이 만든다.

$$-\alpha \leq \frac{(x-u)\sqrt{(n-1)}}{s} \leq +\alpha \quad (4)$$

- 여기서 α 는 자유도 n-1에 따른 이미 계산된 한계값이다. 이 식에서 μ 에 대한 값으로 계산하면, 95%에 대한 예언적중구간을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 이렇게 얻은 예언적중구간에서 최대값을 평균 속도에 따른 이웃 노드 수의 추정 값으로 선택한다. 최대값을 선택한 이유는 경쟁 노드 수의 충돌 확률을 낮추기 위함이다.

3.2 백오프 알고리즘

IEEE 802.11p는 프레임 중요도에 따라 4단계로 구분한다. 안전 메시지의 경우 긴급 메시지로 분류하여 백오프 값의 최대값이 3 정도의 값으로 작게 책정되어 있다 [7]. 예를 들어, 긴급 메시지 인 경우 [0, 3] 사이의 값 중 랜덤하게 하나의 수를 택하고 그 시간만큼 대기 한 후 송신함으로써 충돌을 회피하는 방식이다. 여기서 다시 충돌이 발생하면 다시 랜덤하게 대기 값을 선택한다. 만약 주변 경쟁 노드의 수가 적은 상태에서 큰 수의 백오프 값을 가지면 송신 할 때까지 지연시간이 발생하고, 주변 노드의 수가 많은 상태에서 백오프 값이 적으면 충돌이 발생할 확률이 높아진다. 이처럼 주변 노드의 수에 따라 백오프 값을 적절히 조절하면 지연시간을 줄이고 충돌 확률도 낮출 수 있다.

이웃 노드의 수와 함께 전달 노드를 선택하는 우선 순위는 가급적 송신 노드와 거리가 먼 노드가 선택되어야 한다. 그 이유는 짧은 시간 안에 최대한 많은 노드가 안전 메시지를 수신해야 하기 때문이다. 그래서 수신 노드가 송신 노드와의 거리가 상대적으로 멀수록 더 빨리 데이터를 전달해야 하는 우선순위를 가져야 한다. 그래서 본 논문에서는 이웃 노드의 수와 함께 거리에 따라 우선 순위를 갖는 방안을 제안한다.

먼저, 이를 위해 다음 수식을 통해 k를 얻는다.

$$k = S_n - \left\lfloor \frac{RD}{MD} \times S_n \right\rfloor \quad (5)$$

여기서 S_n 은 거리 구간 단계의 개수이고, RD는 송수신 노드 간 거리이며, MD는 물리계층에 따른 최대 전파 수신 거리이다. 여기서 k의 값은 송수신 노드 간 거리가 멀수록 낮은 급간의 값을 갖는다. 이러한 k를 이용하여 백오프 구간을 다음과 같이 정한다.

$$[(k-1)n, kn-1] \quad (6)$$

여기서 n은 다음 수식을 통해 얻는 추정된 이웃 노드의 수이다.

$$n = \alpha \times ANC + (1-\alpha) \times NC \quad (7)$$

여기서 ANC는 추정된 이웃 노드의 수이고, NC는 현재 이웃 노드의 개수이다. 수집 된 이웃 노드 수의 샘플

개수가 적으면 추정 된 값의 정확도가 낮으므로, α 값을 적게 설정하여 현재 이웃 노드의 수의 비율을 높이고, 샘플 개수가 많으면 α 값을 크게 설정한다.

예를 들어 S_n 의 값이 4, 이웃 노드의 수가 8, 최대 전파 수신 거리가 200m 라고 가정하자. 이 때, 송수신 노드 간 거리가 180m인 노드의 백오프 구간은 [0, 7]이 되며, 30m인 노드의 백오프 구간은 [24, 31]이 된다. 이렇게 거리가 멀수록 더 빠르게 안전 메시지를 전달 할 수 있다.

3.3 멀티 채널

제안된 MAC 프로토콜에서는 이웃 노드의 수를 수집하기 위한 수집 채널과 안전 메시지를 송수신하는 데이터 채널로 구분한다. 수집 채널에서는 모든 노드들이 랜덤하게 주기적으로 자신의 정보를 알리는 헬로 메시지(Hello Message)를 브로드캐스트 한다. 각 노드들은 이 메시지를 수신하면 일정시간 t 동안 이웃노드의 수를 수집하고, 3.1에서 언급한 것과 같이 이웃 노드 수를 추정하기 위한 작업을 진행한다.

데이터 채널에서는 사고의 발생으로 사고 난 노드의 이웃 노드의 안전 메시지 수신에 발생 했을 때, 본 논문에서 제안한 백오프 알고리즘을 사용하여 일정시간 대기하고 메시지를 전달한다. 만약 대기 하는 도중에 다른 이웃 노드가 안전 메시지를 전달한 사실을 오버히어링(overhearing)하면, 해당 노드는 전달 처리를 중지한다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 실험 환경

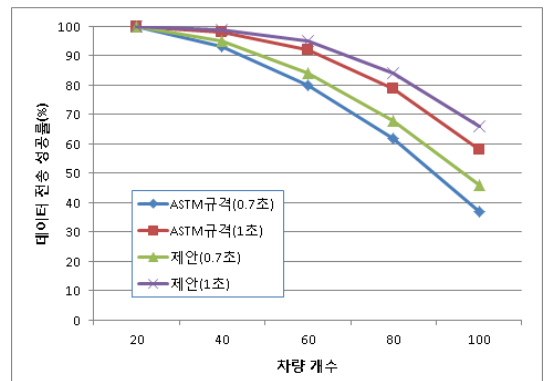
본 절에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘과 기존 방안인 ASTM 규격을 MATLAB으로 시뮬레이션 한 결과를 분석한다. 시나리오는 논문 [2]를 참고하여, 특정 하나의 노드를 충돌이 난 차량으로 간주하고 여기서 안전 메시지를 주기적으로 브로드캐스트 한다. 그리고 정해진 시간 동안 각 차량에게 전달될 때까지의 시간을 지연시간으로 선정하였다. 모든 차량은 GPS가 탑재되어 위치를 알고 있으며, 프레임 충돌 경우가 아니면 프레임 손실은 발생하지 않는다고 가정한다. 그리고 본 논문에서 제안한 방안은 각 노드가 이웃 노드 수 추정하여 값을 가지고 있다고 가정한다.

〈표 2〉 시뮬레이션 파라미터

범주	항목	값
차량 관련 파라미터	도로 길이	1000 m
	차의 수	20 ~ 100
	차의 길이	2 m
	차선 개수	1
네트워크 관련 파라미터	송신 범위	250 m
	메시지 주기	50 ms
	슬롯 크기	20 us
	데이터 전송률	11 Mbps
	데이터 크기	128 bytes

4.2 구간 내 메시지 수신 성능

차량을 도로 1000m 기준으로 고정된 위치에 균일하게 배치하고 차량의 수에 따라 기본 방안과 제안된 방안을 비교 실험하였다.



〔그림 3〕 주어진 시간 이내의 프레임 수신 성공률

〔그림 3〕은 차량 수의 변화에 따라 일정 시간 (0.7초와 1초) 내에 안전 메시지를 수신한 차량의 비율을 보여준다. 차량의 수가 증가 할수록 수신율이 낮아지는 것을 알 수 있으며, 제안한 방안이 성능이 보다 좋다는 것을 확인할 수 있다. 차량이 100대인 경우에 1초 내 메시지 수신율이 약 10% 이상 향상 된 것을 확인할 수 있다. 예를 들어, 1000m 안에 100대의 차량을 균일하게 배치하면 약 10m 마다 차량이 존재하고, 250m 반경 안에 약 25대 이상의 차량이 재전송을 위해 경쟁한다. 이 때, 백오프 범위 최대값이 작으면 충돌 확률이 높아진다는 걸 알 수 있다. 기존 방식인 ASTM 규격에서는 긴급 메시지의 백오프 최대값은 긴급 메시지의 경우 3 정도의 작은 값으로 고정

되어 있으므로, 경쟁 노드 개수가 증가 할 때 충돌 확률이 높아 수신율이 낮다. 반대로, 제안된 기법은 이웃노드 개수에 따라 백오프의 최대 범위 값이 변하므로, 충돌 확률이 감소하기 때문에 보다 좋은 성능을 보인 것으로 분석된다.

5. 결 론

본 논문에서는 차량 간 통신 환경에서 이웃 노드의 수를 추정 기법을 이용하여 차량이 밀집된 환경에서도 효과적인 안전 메시지 전달 방안을 제안하였다. 기존 방안은 백오프 알고리즘 실행 시 이웃 노드의 개수를 고려하지 않아 차량 개수가 많아지면 충돌로 인해 수신율이 낮아진다. 하지만 제안된 방안은 이웃 노드 개수의 샘플을 수집하고 이를 t-분포를 사용하여 이웃 노드 개수를 추정하였다. 그리고 이를 백 오프 알고리즘에 적용하여 충돌 확률을 낮추어, 기존 방안 대비 10% 이상의 성능 개선을 얻을 수 있었다.

향후 연구 계획으로는 수집 데이터의 양으로 인한 메모리의 사용률에 대한 오버헤드의 문제점과 부족한 샘플 수 극복하기 위해 RVC 시스템을 적용하는 방안에 대해 연구한다.

International.

- [5] L. R. Rabiner, B. H. Juang (1993). Fundamentals of speech recognition, Prentice Hall.
- [6] S. Biswas, R. Tatchikou, F. Dion (2006), Vehicle-to-Vehicle Wireless Communication Protocols for Enhancing Highway Traffic Safety, IEEE Communication Magazine, 74-82.
- [7] S. Rackley (2007). wireless networking technology from principles to successful implementation, Elsevier.
- [8] S. Wu, C. Lin, Y. Tseng and J. Sheu (2000). Multi-Channel MAC Protocol with On-Demand Channel Assignment for Multi-Hop Mobile Ad Hoc Networks," Proc. ISPAN'00, 232-237.

오 상 업



- 저자약력
- 1999: 광운대학교
전자계산학과 이학박사.
- 현재: 경원대학교 IT대학
인터랙티브미디어 교수
- 관심분야
- 소프트웨어공학, 버전관리, 형상관리, 음성인식, 음성/음향 신호처리, 차량 통신
- E-Mail : syoh@gachon.ac.kr

참 고 문 헌

- [1] 광동용, 이소연, 윤현정, (2009). V2X 네트워킹 기술 표준화 동향, TTA 저널, 124, 77-74.
- [2] 변재욱 · 권성오 (2012). 차량 간 통신 환경에서 효과적인 위험 경고 메시지 전송 방안, 한국통신학회논문지, 37(1), 1-8.
- [3] 정성대, 이승진, 이상선 (2009). 차량 환경에서 통신 효율 향상을 위한 클러스터링 기반의 멀티채널 매체 접속제어 프로토콜 개발, 한국통신학회논문지, 34(5), 443-558.
- [4] ASTM E2213-03 (2003), Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems - 5 GHz Band Dlicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, ASTM