
안전 메시지 전달을 위해 가우시안 모델을 적용한 하이브리드 차량 통신 시스템

오상엽*

A hybrid-vehicular communication systems using a gaussian model for sending a safe message

Sang Yeob, Oh *

요약 고속도로에서 교통사고가 발생하면 연쇄 추돌 사고를 예방하기 위해 주변 차량에게 안전 메시지를 브로드캐스트 해야 한다. 또한, 표본 개수의 증가는 메모리의 한계 때문에 추정치의 정확도가 낮은 문제점을 가진다. 본 논문에서는 가우시안 모델에 백오프 알고리즘을 적용한 RVC 시스템을 제안한다. 그리고 이웃 노드 개수의 수집 채널, 데이터 채널, RSU 통신 채널로 분리하여 통신 지연을 예방하는 MAC 프로토콜을 제안한다. 결과적으로, 기존 기법보다 제안된 프로토콜이 프레임 수신율의 약 10% 정도 개선되었음을 확인하였다.

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

Abstract When a car accident happened on a highway, the accident vehicle should broadcast a safe message to its neighbors in order to prevent a chain-reaction collision. Also, there is a problem that the estimation accuracy is low because of the memory limit from increasing the sampling count. In this paper, we proposes a HVC systems using a back-off algorithm applied to a gaussian model. And we proposes a MAC protocol preventing the communication delay by separating the neighbor count collection channel, data channel, and RSU communication channel. As a result, we show the frame reception success rate of our protocol improved about 10% than the previous protocol.

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

1. 서론

차량 네트워크는 ITS(Intelligent Transport Systems)에서 핵심 기술이다. IEEE에서는 차량 통신 지원을 위한 IEEE 802.11p WAVE를 표준화하였으며 FCC(the Federal Communications Commission)는 차량 통신을 위해 5.850-5.925 GHz의 주파수를 할당하였다[1]. 차량 네트워크는 IVC(Inter-Vehicular Communication)와 RVC(Roadside-Vehicular Communication)로 구분하며, 이 둘을 혼합한 HVC(Hybrid-Vehicular Communication)이 있다[9]. IVC는 오직 차량 간 통신만으로 정보를 전달하는 기술로 인프라스트럭처 없이 차량에 탑재된 OBU(Onboard Unit)만으로 통신한다. 반면, RVC는 도로 주

변에 설치된 기지국이라 할 수 있는 RSU(Roadside Unit)와 차량에 탑재된 OBU와 통신하는 것을 의미한다.

교통사고가 발생하면 사고 차량은 연속 추돌 사고를 예방하기 위해 사고 정보를 멀티 홉으로 주변 차량에게 IVC로 통신한다. 이를 위한 방법 중 하나는 가우시안 모델로 이웃 노드 수를 추정하여 백오프 알고리즘에 적용하여 프레임 충돌 확률을 줄이는 기법이다[3]. 하지만, 가우시안 모델에 적용하기 위해 표본을 수집하기 위한 메모리 용량 및 처리 속도의 한계 때문에 정확도를 높이는 것이 쉽지 않다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 RVC 시스템을 적용하여 중앙 서버에서 표본을 수집하고 관리할

*이 논문은 2012년도 가천대학교 교내연구비 지원에 의한 결과임. (GCU-2012-R146)

*교신저자 : 오상엽, 가천대학교 IT 대학 인터랙티브미디어 교수

논문접수: 2012년 7월 19일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2012년 8월 20일

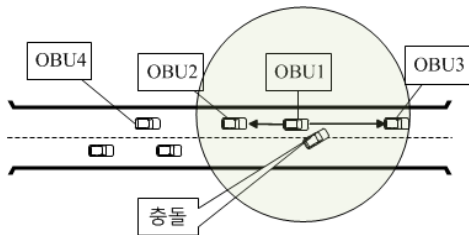
수 있도록 한다. 그리고 기존 방식과 같이 속도에 따른 이웃 노드의 수를 가우시안 모델로 가정하고 t -분포로 이웃 노드의 수를 추정한다. 그리고 이를 백오프(back-off) 알고리즘에 적용하여 경쟁에 의한 충돌 확률을 낮추는 방안을 제안한다. 또한, 이웃 노드 수를 수집하기 위해서 수집 채널, 데이터 채널, RSU 통신 채널로 구분하여 통신 지연을 감소시키는 MAC 프로토콜을 제안한다.

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 플러딩

멀티홉 기반의 브로드캐스트 전송방식에서 가장 단순한 기법은 순수 플러딩으로, 브로드캐스트로 수신한 프레임의 다시 멀티 홉으로 브로드캐스트 하는 방법이다. [그림 1]은 OBU1에서 차량 충돌이 발생하여 주변 노드에게 안전 메시지를 브로드캐스트 하는 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

ASTM 규격[7]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 [10]에서는 후방 노드가 재전송 한 메시지를 수신하면 이를 ACK로 인식하여 재전송을 중단하는 방안을 제안하였다.

차량 통신의 특성으로 인한 불안정한 SNR(Signal-to-Noise Ratio) 상태 때문에, 수신율을 높이기 위한 방안도 제안되었다. GPS 위치 정보 대신에 RSSI(Received signal strength indication)를 이용한 논문 [5]에서는 수신 세기를 이용해 안전하고 빠르게 전달 할 수 있는 중계 노드를 선택하는 방안을 제안하였다. 논문 [4]에서는 전달할 중계 노드의 최적의 위치인 DP를 계산하여 그 위치와 가장 가까운 노드를 선택하는 방안을 제안하고 있다.

이와 같은 연구에서 경쟁 방식인 경우는 차량이 밀집되어 경쟁 노드의 개수가 많으면 프레임 충돌 확률이 높아지는 단점이 있다. 또한, 최적의 중계 노드를 선택하는 기법은 선택한 중계 노드가 수신을 실패하면 지연시간이 길어지는 문제점을 가지고 있다. 본 논문은 경쟁 노드 수를 파악하기 위한 기법으로 적응적으로 백오프 값을 조절하여 프레임 충돌 확률을 낮추었으며, 경쟁 구간을 구분하여 후보지 노드가 수신을 실패하더라도 차선노드가 메시지를 전달 할 수 있도록 제안하였다. 또한, 경쟁 노드 계산에 의한 부하를 채널 분리와 중앙 서버 계산으로 최소화 하였다.

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.

멀티채널 MAC 프로토콜에서 각 스테이션이 n 개의 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[6]. DCA는 제어 채널과 N개의 데이터 채널을 할당한다. 각 노드들이 데이터 전송을 위해 가용 데이터 채널의 여부를 확인하고 노드는 가용 채널 확인을 위해 CUL(Current Usage List)과, FCL(Free Channel List)를 사용한다.

I가 채널 사용 목록의 수라고 할 때, CUL[i]는 CUL[i].host, CUL[i].ch, CUL[i].rel_time의 3가지 Field를 사용한다. CUL[i].ch은 현재 사용되는 데이터 채널이며, 이 채널을 사용하는 이웃 노드는 CUL[i].host이다. 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.

2.3 가우시안 모델

가우시안 최적화 모델은 주어진 표본 데이터 집합의 분포밀도를 단 하나의 확률밀도함수로 모델링하는 방법을 개선한 밀도 추정 방법으로 복수 개의 가우시안 확률 밀도함수로 데이터의 분포를 모델링하는 방법이다. 단일한 가우시안으로는 모델링 할 수 없는 복수개의 중심점을 가지는 1차원 데이터와 2차원 환형 데이터에 대하여 견고하게 모델링된다[8].

확률밀도함수는 가우시안 분포뿐 아니라 다른 분포가 될 수도 있다. 가우시안 최적화 밀도는 단지 확률밀도함수를 가우시안 분포로 가정하는 경우이다. 결국 최종적인 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 a_i 라고 하면 식(2)과 같은 제약조건이 따른다.

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

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

$$\Theta_i = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_M, \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_M, a_1, a_2, \dots, a_M) \quad (3)$$

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.

2.4 가우시안 모델 적용 백오프 알고리즘

백오프 알고리즘에서 백오프 값의 범위를 경쟁 노드의 개수에 따라 충돌 확률을 낮추기 위한 방안을 제안하였다[3]. 먼저, 수집 채널과 데이터 채널로 구분하고 수집 채널에서는 주기적으로 이웃 노드의 정보를 수신해 속도에 따른 이웃 노드의 수를 계산한다. 그리고 이를 10km/h의 단위 별로 속도에 따른 이웃 노드 수의 표본으로 수집한다.

사고의 발생으로 안전 메시지를 수신하면, 이를 브로드캐스트하기 위해 백오프 알고리즘을 작동하여 브로드캐스트 한다. 이 때, 이제까지 수집했던 표본을 이용하여 t-분포를 통해 이웃 노드 개수의 모 평균 구간을 95%의 확률로 추정한다. 이렇게 얻은 예언 적중 구간의 최대값을 백오프 알고리즘에 적용한다. 이 요소와 함께 전파 범위를 넓히기 위한 방안으로 안전 메시지를 전달할 노드와 송신 노드의 거리가 멀수록 송신할 수 있도록 방안을 제안하였다. 먼저, 이를 위해 다음 수식을 통해 k를 얻는다.

$$k = S_n - \left\lfloor \frac{RD}{MD} \times S_n \right\rfloor \quad (4)$$

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.

$$[(k-1)n, kn-1] \quad (5)$$

여기서 n은 다음 수식을 통해 얻는 추정된 이웃 노드의 수이다.

$$n = \alpha \times ANC + (1 - \alpha) \times NC \quad (6)$$

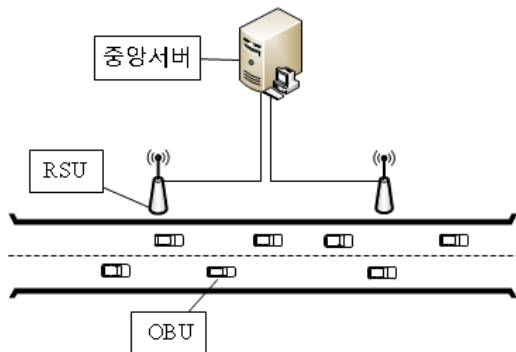
여기서 ANC는 추정된 이웃 노드의 수이고, NC는 현재 이웃 노드의 개수이다. 이웃 노드 수의 표본 개수가 적으면 추정된 값의 범위가 넓어져 정확도가 낮으므로, α 값을 적게 설정하여 현재 이웃 노드의 수의 비율을 높이고, 표본 개수가 많으면 α 값을 크게 설정한다.

이는 거리 구간에 따라 백오프 범위의 최소값과 최대값을 이용하여 수신 노드의 거리가 먼 구간에서 송신할 수 있는 우선순위를 가질 수 있도록 보장한다. 하지만, 이 선행 연구에서는 이웃 노드 개수에 대한 표본 개수가 증가 할수록 계산 량과 메모리 사용률이 폭발적으로 증가 하기 때문에 실행가능성(feasibility)이 낮은 단점을 가지고 있다. 그래서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 중앙 서버를 두고, RVC 시스템을 결합한 방안을 제안한다.

3. RSU 통신채널을 적용한 가우시안 시스템

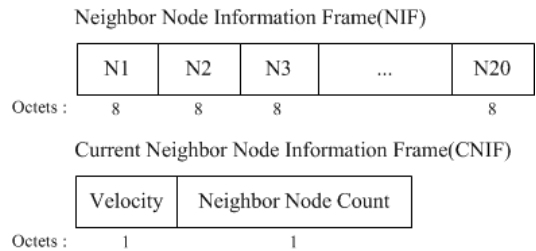
3.1 시스템 구조

아래의 [그림 2]는 본 논문에서 제안하는 시스템 구조를 보여준다. 중앙서버와 RSU 간에는 유선으로 연결되어 있으므로, 일반적인 TCP/IP 서버/클라이언트 모델로 통신한다. 각 RSU가 수집한 하나의 데이터는 전체 연산에 큰 영향을 미치지 않으므로, 1시간 이상의 일정 시간 간격으로 주기적으로 수집한 데이터를 한 번에 중앙서버로 전달한다.



[그림 2] 시스템 구조

RSU는 주기적으로 이웃 노드 정보 프레임 인 NIF (Neighbor Node Information Frame)를 브로드캐스트 한다. 이 안에는 10km/h의 속도 구간 별 추정된 이웃 노드 개수가 포함된다. [그림 3]은 본 논문에서 제안하는 프레임 포맷의 데이터 부분을 보여주고 있다. 여기서 N1은 0~10km/h의 이웃 노드의 수를 의미하며, N20은 191~200km/h의 이웃 노드의 수를 의미한다. 그러므로 200km/h까지 헤더를 제외한 데이터 부분 만 20바이트로 구성된다.



[그림 3] 프레임 포맷의 데이터 부

이를 수신한 노드들은 추정된 이웃노드의 개수를 이용하여 이를 백오프 알고리즘에 적용하고, 자신의 현재 속도와 이웃노드 개수를 CNIF(Current Neighbor Node Information Frame)에 담아 RSU에게 응답한다. 이 프레임은 헬로 메시지를 통해 얻은 이웃 노드의 수와 현재 속도를 [그림 3]의 프레임 포맷에 맞춘다. 이 프레임을 수신한 RSU는 이를 다시 중앙 서버로 보내고, 중앙 서버에서는 일정한 주기를 가지고 증가된 표본을 가지고 이웃 노드 개수의 추정 계산을 다시 수행한다. 이렇게 얻은 정보를 다시 RSU에게 전송하여 최신 정보로 유지 한다.

3.2 이웃 노드 수의 추정

이웃 노드 수의 추정 기법은 2.4절에서 언급한 백오프 알고리즘을 사용한다[3]. 기존 연구와의 차이점은 각 노드에서 계산하는 것이 아니라 중앙 서버에서 계산하는 점이 다르다. 중앙 서버에서 작업하면 다음과 같은 이점을 얻을 수 있다.

첫째, 정확도를 높이기 위한 대량의 표본 개수를 확보할 수 있다. 각 노드에서 표본을 수집하는 선행연구에서는 운전자의 습관에 따라 편중된 표본을 가지는 단점을 가지고 있다.

둘째, 큰 용량의 데이터 저장소를 확보 할 수 있다. 각

노드에서 데이터를 수집하는 것은 모바일 장비를 전제로 하고 있어 제한된 용량에 따른 한계를 가지고 있다.

3.3 멀티 채널

선행된 연구에서는 수집 채널과 데이터 채널로 구분하였다. 본 논문에서 제안하는 기법은 여기에 RSU와 통신하기 위한 채널을 하나 더 확보하여 총 3개의 채널을 가진다. 수집 채널은 선행연구와 마찬가지로 각 노드들이 랜덤하게 주기적으로 자신의 정보를 알리는 헬로 메시지(Hello Message)를 브로드캐스트 한다. 각 노드들은 이 메시지를 수신하면 일정시간 t 동안 이웃노드의 수를 수집한다.

RSU 통신 채널은 RSU가 주기적으로 브로드캐스트하는 NIF와 이에 대한 응답으로 CNIF를 수신하는 용도로 사용한다. NIF를 수신한 노드는 수집 채널에서 얻은 이웃노드 수의 정보를 CNIF에 담아 응답한다. 데이터 채널은 선행 연구와 동일하게 사고 발생 시 안전메시지를 전달하는 용도로 사용한다. 사고 발생 한 차량에서 안전 메시지를 브로드캐스트하면 이를 수신한 노드들은 RSU를 통해 수신 받은 이웃 노드 수 정보를 이용하여 백오프 알고리즘을 수행한다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 실험 환경

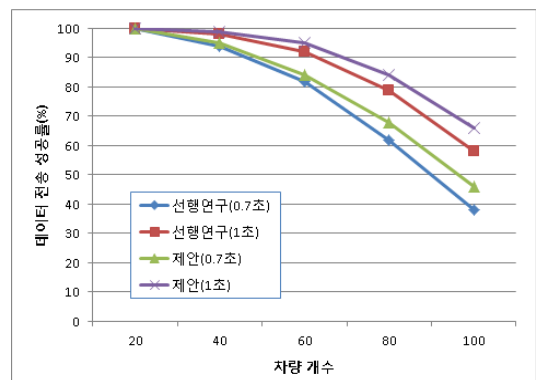
본 절에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘과 선행 연구된 기법을 MATLAB으로 시뮬레이션 한 결과를 분석한다. 시나리오는 논문 [2]를 참고한다. 특정 하나의 노드를 충돌이 난 차량으로 간주하고 여기서 안전 메시지를 주기적으로 브로드캐스트 한다. 그리고 정해진 시간 동안 각 차량에게 전달될 때까지의 시간을 지연시간으로 선정하였다. 모든 차량은 GPS가 탑재되어 위치를 알고 있으며, 프레임 충돌 경우가 아니면 프레임 손실은 발생하지 않는다고 가정한다. 그리고 본 논문에서 제안한 방안과 선행 연구의 비교를 위해 이웃 노드 수의 추정 정확도를 조정하였다. 선행연구와 제안된 기법의 추정 정확도의 정확도는 각각 50%와 95%로 설정하였다.

〈표 3〉 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 4]는 차량 수의 변화에 따라 일정 시간 (0.7초와 1초) 내에 안전 메시지를 수신한 차량의 비율을 보여준다. 차량 수가 증가 할수록 통신을 위한 경쟁 노드의 개수가 증가하며 충돌 확률이 높아진다. 이에 따라, 차량의 수가 증가 할수록 충돌에 의한 수신율이 낮아짐을 확인 할 수 있다. 또한, 잘못된 추정된 이웃 노드 개수는 백오프 범위의 최대 값이 커지는 문제가 발생해 지연 시간이 늘어나 제한 시간 내의 수신율이 낮아 질 수 있다.



〈그림 4〉 주어진 시간 이내의 프레임 수신 성공률

실험 결과를 보면 차량이 100대인 경우에 1초 내 메시지 수신율이 약 10% 정도 향상 된 것을 확인 할 수 있다. 이는 늘어난 지연 시간과 충돌 확률의 감소로 얻어진 결과로 분석된다.

5. 결 론

본 논문에서는 하이브리드 차량 통신을 이용하여 기존 가우시안 모델을 적용한 이웃 노드의 수를 추정하는 기법의 정확도를 높였다. 이웃 노드의 수는 백오프 알고리즘에서 송신 경쟁의 충돌 확률에 큰 영향을 미치는 중요한 요소이다. 기존 방안은 각 차량이 이웃 노드의 수를 수집하고 계산하기 때문에, 표본 개수가 증가하면 메모리와 처리 속도의 한계로 정확도와 실현가능성이 낮아진다. 하지만 제안된 방안은 RVC 시스템을 사용하여 중앙서버에서 이웃 노드 수를 관리하기 때문에 보다 정확하게 추정할 수 있다. 그리고 이를 백 오프 알고리즘에 적용하여 충돌 확률을 낮추어, 기존 방안 대비 약 10% 정도의 성능 개선을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] 광동용, 이소연, 윤현정, (2009). V2X 네트워크 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] 오상엽(2012), 차량간 통신에서 가우시안 모델을 적용한 백오프 알고리즘, 한국 디지털정책학회 논문지, 10(6), 225-230.

[4] 유석대, 이문근, 조기환 (2006). 교통사고 예방을 위한 차량안전메시지 중계노드 선택방법, 대한전자공학회, 전자공학회논문지-TC, 43(9), 60-68.

[5] 윤태준, 이영두, 강형서, 구인수 (2009). 차량안전통신을 위한 RSSI 기반 긴급 메시지 전송 기법, CICS 2009 정보 및 제어 학술대회 논문집, 143-144.

[6] 정성대, 이승진, 이상선 (2009). 차량 환경에서 통신 효율 향상을 위한 클러스터링 기반의 멀티채널 매체 접속제어 프로토콜 개발, 한국통신학회논문지, 34(5), 443-558.

[7] 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 International.

[8] L. R. Rabiner, B. H. Juang (1993). Fundamentals of speech recognition, Prentice Hall.

[9] M. Sichitiu, M. Kihl (2008), Inter-Vehicle Communication Systems: A Survey, IEEE Commun. Surveys & Tutorials, 10(2), 88-105.

[10] S. Biswas, R. Tatchikou, F. Dion (2006), Vehicle-to-Vehicle Wireless Communication Protocols for Enhancing Highway Traffic Safety, IEEE Communication Magazine, 74-82.

오 상 엽



- 1989년 2월 : 경원대학교 전자계산학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 광운대학교 대학원 전자계산학과 (이학석사)
- 1999년 2월 : 광운대학교 대학원 전자계산학과 (이학박사)
- 2007년 2월 ~ 현재 : 가천대학교 IT대학 인터랙티브미디어학과 교수

· 관심분야 : 버전관리, 형상관리, 음성/음향 신호 처리, 차량 통신

· E-Mail : syoh@gachon.ac.kr