

---

# 하이브리드 차량 통신 시스템에서 연쇄 충돌 사고 방지를 위한 TDMA 기반 MAC 프로토콜

오상엽\*

## A TDMA-based MAC protocol in hybrid-vehicular communication systems for preventing a chain-reaction collision on a highway

Sang Yeob, Oh \*

**요 약** 고속도로의 교통사고는 차량의 빠른 속도로 연쇄 충돌 사고를 발생시킨다. 이를 예방하기 위해 사고 차량은 주변 차량에게 안전 메시지를 브로드캐스트 해야 한다. 여기서 이웃 노드의 개수가 많으면, 프레임 충돌 확률이 높아진다. 이를 해결하기 위해, 선행 연구로 채널을 분리하여 충돌 없이 안전 메시지를 전달하는 시스템이 제안되었다. 하지만, 여러 채널의 분리는 하드웨어의 개발 비용의 증가로 실현가능성이 낮아진다. 그래서 본 논문에서는 하나의 채널로 통신할 수 있는 슈퍼프레임을 적용한 TDMA 기반 MAC 프로토콜을 제안한다. 결과적으로, 제안된 프로토콜이 기존 프로토콜과 거의 같은 프레임 수신율을 보여주었다.

**주제어** : 하이브리드 차량 통신, 슈퍼프레임, 안전 메시지, 가우시안 모델, 백 오프

**Abstract** A car accident on a highway occurs a chain-reaction collision because of a vehicle's fast velocity. In order to prevent it, the accident vehicle should broadcast a safe message to its neighbors. If there are many neighbor nodes, a frame collision probability is high. To solve this, it was proposed for a system as a previous study to send a safe message without frame-collision using separating channels. However, the separation of multiple channels make feasibility low because of increasing hardware's development cost and complexity. In this paper, we proposes a TDMA-based MAC protocol using a single channel. As a result, we show the frame reception success rate of our protocol was almost the same as the previous protocol.

**Key Words** : hybrid-vehicular communication, superframe, safe message, gaussian model, back-off

---

### 1. 서론

차량 통신을 표준 프로토콜은 IEEE 802.11p WAVE가 있으며, FCC(the Federal Communications Commission)는 5.850-5.925 GHz의 주파수를 차량 통신을 위해 할당하였다[1]. 차량 네트워크는 오직 차량에 탑재된 OBU(Onboard Unit)만으로 통신하는 IVC (Inter-Vehicular Communication)와 도로 주변에 설치된 RSU(Roadside Unit)과 OBU 간 통신하는 RVC

(Roadside-Vehicular Communication)로 구분된다. 그리고 이 둘을 혼합한 HVC(Hybrid-Vehicular Communication)가 있다[6].

고속 도로에서 교통사고가 발생하면 빠른 속도 때문에 연쇄 충돌 사고가 발생할 확률이 높으며, 사고 차량은 이를 예방하기 위해 안전 메시지를 주변 차량에게 IVC로 전달한다. 이를 위한 선행 연구로 가우시안 모델로 이웃 노드 수를 추정하여 백오프 알고리즘에 적용하고 채널을 분리하여 프레임 충돌 확률을 줄이는 HVC 시스템이 있

---

이 논문은 2012년도 가천대학교 교내연구비 지원에 의한 결과임.(GCU-2012-R163)

\*가천대학교 IT 대학 인터랙티브미디어 교수(교신 저자)

논문접수: 2012년 8월 3일, 1차 수정을 거쳐 심사완료: 2012년 9월 5일

대[3]. 이 시스템에서는 충돌을 예방하기 위해 3개의 채널로 구분하였는데, 이는 하드웨어 개발의 복잡성과 비용이 증가하여 실행가능성(feasibility)이 낮은 문제점이 있다.

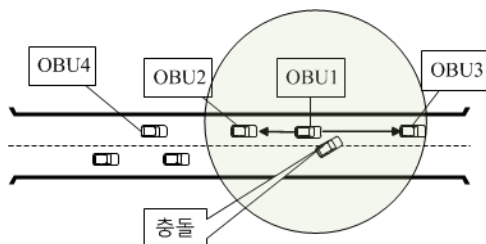
본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 3개의 채널에서 했던 작업을 하나의 채널로 통합하고 이를 위해 TDMA(Time Division Multiple Access)와 CSMA(Carrier Sense Multiple access) 기반 슈퍼프레임(superframe)을 적용한 MAC 프로토콜을 제안한다. 이렇게 채널을 하나로 통합하여 성능은 유지하면서 하드웨어 개발 비용과 복잡성을 감소시키는 장점을 가진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 언급하고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 TDMA 하이브리드 차량 통신 시스템을 설명한다. 4장에서는 제안한 프로토콜을 적합성을 판단하기 위하여 실험 평가를 수행하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 순수 플러딩

멀티 홉 브로드캐스트 전송방식으로 순수 플러딩은 수신한 프레임을 다시 브로드캐스트하는 가장 단순한 기법이다. [그림 1]은 OBU1에서 교통 사고가 발생하여 안전 메시지를 브로드캐스트 하는 상황을 보여준다. 안전 메시지를 수신한 OBU2와 OBU3는 이를 다시 브로드캐스트 한다. 하지만 OBU3는 이미 사고가 후방에서 발생한 내용을 수신 했으므로 사고의 위험과는 상관이 없다. 이는 오히려 운전자에게 혼란스러운 정보가 될 뿐이다.



[그림 1] 차량 통신 환경에서의 브로드캐스트

ASTM 규격[4]은 이러한 문제점을 해결하기 위해 안전 메시지를 수신한 노드가 사고지점이 전방 인 경우에만 주기적으로 다시 브로드캐스트 하는 기법을 제안하였

다. 이 기법은 [그림 1]과 같은 상황에서 OBU3는 쓸데없이 메시지를 다시 브로드캐스트 하지 않는다. ASTM 규격이 사고 지점 후방 차량의 재전송 트래픽을 감소시켰지만, 멀티 홉 전달에서 송신 노드는 ACK를 수신할 수 없기 때문에 올바르게 전달했는지 알 수가 없다. 그래서 주기적으로 메시지를 송신하여 수신하지 못했을 경우를 예방하는데, 이는 트래픽 증가를 초래한다. 이를 방지하기 위해 논문 [7]에서는 후방 노드가 재전송 한 메시지를 수신하면 이를 ACK로 인식하여 재전송을 중단하는 방안을 제안하였다.

### 2.2 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 분포 뿐 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.

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

여기서  $f(x|\omega_i, \theta_i)$ 는 데이터  $x$ 에 대하여  $\omega_i$ 번째 성분 파라미터  $\theta_i$ 로 이루어진 확률밀도함수를 의미하며,  $P(\omega_i)$ 는 혼합 가중치로 각 확률밀도함수의 상대적인 중요도를 의미한다. 혼합 가중치를 사전확률과 같은 형태로  $\alpha_i$ 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  $\theta_i$ 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.

### 2.3 멀티채널을 이용한 하이브리드 차량 통신 시스템

이 시스템은 크게 다음과 같은 3가지의 기능으로 구성된다. 첫째, 멀티채널을 이용한 이웃 노드 정보의 수집과 RVC 시스템과의 통신이다. 채널은 이웃 노드 정보 수집 채널, 데이터 채널, RSU 통신 채널로 구성된다. 수집 채널에서는 이웃 노드를 식별하기 위한 정보를 교환하는 채널이고, 데이터 채널은 안전메시지를 전달할 때 사용하는 채널이다. RSU 통신 채널은 이웃 노드의 정보를 중앙 서버에 전달하기 위해 사용하는 채널이다.

둘째, 가우시안 모델을 이용한 이웃 노드 개수 추정 알고리즘이다. 수집 채널에서는 주기적으로 이웃 노드의 정보를 수신해 속도에 따른 이웃 노드의 수를 계산한다. 그리고 이 정보를 RSU 통신 채널에서 중앙 서버로 전달된다. 중앙 서버에서는 이를 10km/h의 단위 별로 속도에 따른 이웃 노드 수의 표본으로 수집한다. 그리고 수집한 표본으로 t-분포를 통해 이웃 노드 개수의 모 평균 구간을 95%의 확률로 추정한다. 이렇게 얻은 예언 적중 구간의 최대 값을 선택하여 RVC 시스템을 통해 각 속도에 따른 추정 이웃 노드 추정 개수를 각 차량들에게 전달한다.

마지막으로, 가우시안 모델로 추정된 이웃 노드 정보를 이용한 개선된 백오프 알고리즘이다. 백오프 알고리즘에서 경쟁 노드의 개수에 따라 백오프 값의 범위를 조정하여 충돌 확률을 낮추기 위한 방안을 제안하였다. 교통사고의 발생으로 안전 메시지를 수신하면, 백오프 알고리즘을 작동한다. 이 때, 중앙 서버로부터 수신한 이웃 노드의 정보와 현재 수집된 정보를 이용하여 백오프 알고리즘에 적용한다. 이 요소와 함께 전파 범위를 넓히기 위한 방안으로 안전 메시지를 전달할 노드와 송신 노드의 거리가 멀수록 송신하는 방안을 제안하였다.

먼저, 이를 위해 다음 수식을 통해  $k$ 를 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 송신 노드 간 거리이며, MD는 물리계층에 따른 최대 전파 수신 거리이다. 여기서  $k$ 의 값은 송신 노드 간 거리가 멀수록 낮은 급간의 값을 갖는다. 이러한  $k$ 를 이용하여 백오프 구간을 다음과 같이 정한다.

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

여기서  $n$ 은 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,  $\alpha$  값을 적게 설정하여 현재 이웃 노드의 수의 비율을 높이고, 표본 개수가 많으면  $\alpha$  값을 크게 설정한다.

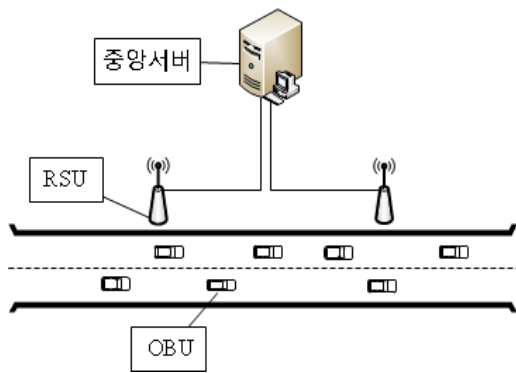
이 선행 연구에서는 채널을 3개나 사용하기 때문에 하드웨어 복잡성과 비용 증가에 따른 실행가능성(feasibility)이 낮은 단점을 가지고 있다. 그래서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 하나의 채널로 이 모든 작업을 할 수 있도록 TDMA와 CSMA 기반 수퍼프레임을 적용한 시스템을 제안한다.

## 3. 시스템 모델

본 장의 시스템 모델은 2.3에서 언급한 선행 연구를 기반으로 수정된 부분만을 설명한다.

### 3.1 시스템 구조

본 논문에서 제안하는 기법은 [그림 2]와 같이 선행 연구[3]와 같은 시스템 구조를 가진다.



[그림 2] 시스템 구조

### 3.2 슈퍼프레임

[그림 3]는 본 논문에서 제안하는 슈퍼프레임을 보여 준다. 기존의 연구에서 3개의 채널로 구성했던 작업을 하나의 채널로 처리하기 위해 시간에 따라 처리내용을 구분하였다.

비컨 구간에서 RSU는 슈퍼프레임 주기 마다 비컨을 브로드캐스트 한다. OBU는 비컨을 수신하여 시간 동기화 한 후, 통신을 시작할 수 있다.

이웃 노드 정보 응답 구간에서는 CSMA 기반으로 이웃 노드 정보를 수집한 노드에 한하여 자신이 수집한 정보를 RSU에게 응답한다. RVC 시스템에서 RSU는 위치가 고정 되어 있고, OBU는 수십에서 수백 킬로미터의 속도로 이동하기 때문에, 신호 세기의 감쇄 현상으로 거리가 멀수록 수신율이 낮다. 이를 예방하기 위해, RSU와 거리가 가까운 OBU가 거리가 먼 OBU 보다 먼저 응답할 수 있도록 RSSI(Received Signal Strength Indication)

을 적용한 알고리즘을 제안한다.

기본적으로, 비컨 수신에 따른 동시 응답 충돌을 예방하기 위해 기본적인 백오프 알고리즘을 사용한다. 또한, 수신한 비컨의 RSSI 크기에 따라 백오프 범위 구간을 구분하여 응답할 수 있도록 한다. RSSI 크기는 거리가 가까울수록 기하급수적(exponential)으로 증가하기 때문에, 최대 RSSI 크기의 30%이상과 그 이하로 구분한다. 그리고 백오프 최대값이  $n$ 이라고 했을 때, 각 노드의 백오프 범위(range)는 다음과 같다.

$$\begin{cases} R \geq (0.3 \times RSSI_{max}) & range = [0, n \times \frac{2}{3}] \\ R < (0.3 \times RSSI_{max}) & range = [n \times \frac{2}{3}, n] \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $R$ 은 수신한 비컨의 RSSI 값을 의미하고,  $RSSI_{max}$ 는 RSSI의 최대값을 의미한다. 이렇게 하면, RSU와 가까운 OBU 송신의 높은 우선순위를 보장한다.

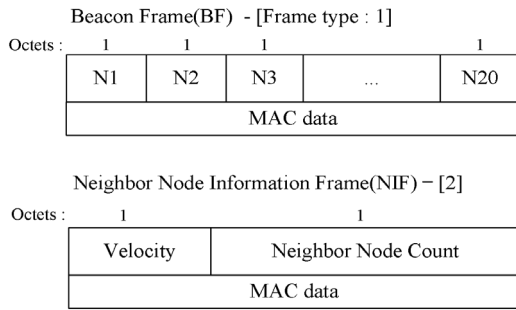
[그림 4]는 본 논문에서 제안하는 프레임 구조이며, [그림 5]의 BF는 비컨의 데이터 부분을 보여준다. 여기서  $N1$ 은 0~10km/h의 이웃 노드의 수를 의미하며,  $N20$ 은 191~200km/h의 이웃 노드의 수를 의미한다. 그러므로 200km/h까지 헤더를 제외한 데이터 부분 만 20바이트로 구성된다. [그림 5]의 NIF는 비컨 수신 후 RSU에 응답하는 데이터 부 구조이다.



[그림 4] 제안된 슈퍼프레임

Octets :	1	2	4	4	variable	2
	Frame type	Sequence number	Src. address	Dst. address	Data	Frame check seq.
	MAC header				MAC data	MAC footer

[그림 3] MAC 프레임 구조



[그림 5] 데이터 구조

NIF의 시퀀스 번호는 BF의 시퀀스 번호와 동일하게 설정하여 응답한다. 만약, NIF를 응답하려는 경쟁 노드가 같은 시퀀스 번호의 NIF를 송신한 것을 오버헤어링하면 송신과정을 중지한다. 이웃 노드의 정보이기 때문에, RSU 주변의 노드들은 거의 비슷한 정보를 가지고 있을 것이기 때문에 RSU가 각지에 분포되어 있다는 가정하에 하나의 정보로 충분하기 때문이다. 이렇게 RSU에서 수신한 NIF의 정보는 이웃 노드 개수를 추정하기 위한 표본으로 사용되기 위해 중앙 서버로 전달된다. 중앙 서버에서는 일정한 주기를 가지고 증가된 표본을 가지고 이웃 노드 개수의 추정 계산을 다시 수행한다. 이렇게 얻은 정보를 다시 RSU에게 전송하여 비컨을 송신하기 위한 최신 정보로 유지 한다.

이웃 노드 정보 수집 구간에서는 선행연구와 마찬가지로 각 노드들이 랜덤하게 주기적으로 자신의 정보를 알리는 헬로 메시지(Hello Message)를 브로드캐스트 한다. 각 노드들은 이 메시지를 수신하면 일정시간 동안 이웃노드의 수를 수집한다. 이 구간은 비컨을 수신 한 후에 동작하며, 이웃 노드 정보 응답 구간에 사용하는 NIF의 값을 설정하기 위해 사용한다. 안전 메시지 전달 구간에서는 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.

### 3.3 슈퍼프레임 구간 시간 설정

프레임 전송 시간은 프레임 크기 / 전송 속도로 계산한다. 비컨 구간 기간은 비컨 전송 시간이다. 이웃 노드 정보 응답 구간의 기간은 최대 전파 지연 시간 + 백오프 최대값 + NIF 전송 시간으로 계산된다. 이웃 노드 정보

수집 구간의 기간은 다음의 수식으로 계산된다.

$$P_C = (backoff_{max} + p_{max} + time_{HM}) \times S_n \quad (2)$$

여기서  $p_{max}$ 는 최대 전파 지연 시간이고,  $backoff_{max}$ 는 백오프 최대값이고,  $time_{HM}$ 는 헬로 메시지의 전송시간을 의미한다.  $S_n$ 은 헬로 메시지를 송신하는 최대 개수를 의미한다. 안전 메시지 전달 구간은 다음의 수식으로 계산 된다.

$$P_S = (backoff_{max} + p_{max} + time_{SM}) \times SM_n \quad (3)$$

$SM_n$ 은 안전 메시지를 송신하는 최대 개수를 의미한다. 이와 같이 파라미터에 따라 구간의 기간이 설정된다.

## 4. 실험 결과 및 분석

### 4.1 실험 환경

본 절에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘과 선행 연구된 기법을 MATLAB으로 시뮬레이션 한 결과를 분석하며, 시나리오는 논문 [2]를 참고한다. 마지막 위치의 노드를 충돌 난 차량으로 선택하고 안전 메시지를 주기적으로 브로드캐스트 한다. 그리고 정해진 시간 동안 각 차량에게 전달될 때까지의 시간을 지연시간으로 선정한다. 실험 환경의 차량은 GPS가 탑재되어 자신의 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 확률을 조정하였다.

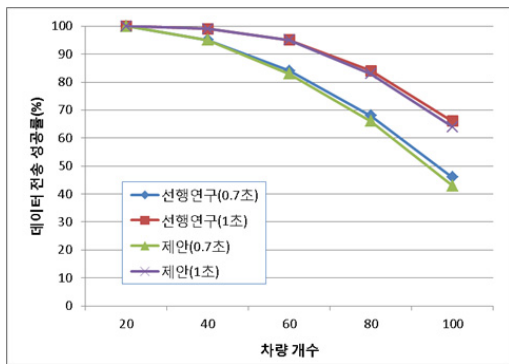
<표 1> 시뮬레이션 파라미터

범주	항목	값
차량 관련 파라미터	도로 길이	1000m
	차의 수	20~100
	차의 길이	2m
	차선 개수	1
네트워크 관련 파라미터	송신 범위	250m
	메시지 주기	50ms
	슬롯 크기	20us
	데이터 전송률	11Mbps
슈퍼프레임 파라미터	데이터 크기	128bytes
	헬로 메시지 최대 개수	3개
	안전메시지 전달 최대 개수	6개

## 4.2 구간 내 메시지 수신 성능

1000m의 고속도로 위에 차량을 고정된 위치에 균일하게 배치하고 차량의 수에 따라 기본 방안과 제안된 방안을 비교 실험하였다.

[그림 6]은 차량 수의 변화에 따라 일정 시간 (0.7초와 1초) 내에 안전 메시지를 수신한 차량의 비율을 보여준다. 차량 수가 증가하면, 송신 경쟁 노드의 개수가 증가하기 때문에 충돌 확률이 높아진다. 본 연구의 목표는 채널 3개로 나뉜 선형연구에서 채널 한 개로 거의 같은 성능을 내는 것이다. 실험 결과를 보면 제안된 기법이 성능이 선형연구보다 낮지만 차량이 100대인 경우에도 1초 내 메시지 수신율이 약 1% 정도 안되는 것을 확인 할 수 있다.



[그림 6] 프레임 수신 성공률

## 5. 결론

본 논문에서는 채널 하나로 TDMA와 CSMA 기반의 슈퍼프레임을 적용한 MAC 프로토콜을 제안하여, 채널 3개의 선형 연구만큼의 성능을 보여주었다. 기존 방안은 3개의 채널을 사용하기 때문에 네트워크의 충분한 자원으로 좋은 성능을 보여 줄 수 있었지만, 하드웨어 개발 복잡성과 비용의 증가로 실행 가능성이 낮다. 하지만 제안된 방안은 하나의 채널을 시간에 따라 나누어 사용함으로써 최대의 성능을 이끌어 낼 수 있었다. 이는 네트워크 대역폭 이용률(bandwidth utilization)을 극대화 시키는 장점을 가진다. 채널이 하나이기 때문에 비록 선형 연구보다는 성능이 미세하게 낮긴 하지만 약 1% 미만의 차이 밖에 나지 않음을 보여주었다.

## 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] 오상엽 (2012). 안전 메시지 전달을 위해 가우시안 모델을 적용한 하이브리드 차량 통신 시스템, 한국디지털정책학회, 10(7), 161-166.
- [4] ASTM E2213-03 (2003), Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems - 5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, ASTM International.
- [5] L. R. Rabiner, B. H. Juang (1993). Fundamentals of speech recognition, Prentice Hall.
- [6] M. Sichertiu, M. Kihl (2008), Inter-Vehicle Communication Systems: A Survey, IEEE Commun. Surveys & Tutorials, 10(2), 88-105.
- [7] 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



- 1991년 2월 : 광운대학교 대학원 전자계산학과(이학석사)
- 1999년 2월 : 광운대학교 대학원 전자계산학과(이학박사)
- 2007년 2월~현재 : 가천대학교 IT대학 인터랙티브미디어학과 교수
- 관심분야 : 버전관리, 형상관리, 음성 신호 처리, 차량 통신

· E-Mail : syoh@gachon.ac.kr