
고속도로에서 차량 안전 통신을 위한 교통사고 위험 예측 알고리즘

오상엽*

A Traffic Hazard Prediction Algorithm for Vehicle Safety Communications on a highway

Sang Yeob, Oh*

요 약 차량 안전 통신은 교통사고 예방에 중요한 기술 중 하나이다. 이를 위해 교통사고가 발생하면 연쇄 충돌 사고를 예방하기 위한 안전 메시지를 전달하는 많은 프로토콜이 연구되었다. 이러한 프로토콜은 노드가 안전 메시지를 발생시키는 시점을 교통사고가 발생 했을 경우로 가정한다. 만약, 교통사고 위험을 예측하여 안전 메시지를 전달한다면 운전자는 빠른 대응 조치가 가능하다. 그래서 본 논문에서는 통신 기법을 이용한 교통사고 위험 예측 알고리즘을 제안한다. 결과적으로, 제안된 알고리즘을 기존 프로토콜에 적용한 결과 약 4~5 %의 더 높은 프레임 수신율을 보여 주었다.

주제어 : 차량 안전 통신, 교통사고 위험, 예측, 안전 메시지, 고속도로

Abstract Vehicle safety communications is one among the important technologies in order to protect a car accident. For this, many protocols forwarding a safe message have studied to protect a chain-reaction collision when a car accident occurs. most of these protocols assume that the time of generating a safe message is the same as an accident's. If a node predicts some traffic hazard and forwards a safe message, a driver can response some action quickly. So, In this paper, we proposes a traffic hazard prediction algorithm using the communication technique. As a result, we show that the frame reception success rate of using our algorithm to the previous protocol improved about 4~5%.

Key Words : Vehicle Safety Communications, traffic hazard, prediction, safe message, highway

1. 서론

차량 안전 통신(VSC)은 교통사고 예방을 통해 운전자의 안전성을 높이기 위한 중요 기술 중 하나이다. 차량 통신에서 넓은 대역폭과 고속 데이터 전송이 목적인 다른 응용들과는 다르게 낮은 전송 지연과 높은 메시지 전달 신뢰도를 요구한다[12][13]. 차량의 속도가 증가할수록 교통사고 위험이 높아지기 때문에[1], 고속도로에서는 더 낮은 전송 지연으로 후속차량에게 위험을 알려야 한다. 이를 위해 많은 안전 메시지 전달 프로토콜 연구가 진행되었다

[5][7][9][11]. 여기서 일반적으로 안전 메시지를 발생시키는 시점을 교통사고가 발생했을 때로 가정한다.

만약 교통사고가 발생하기 전에 미리 안전 메시지를 발생시킨다면 기존 프로토콜 통신과는 별개로 더 낮은 지연 시간을 달성 할 수 있다. 일반적으로 해당 차량이 교통사고가 발생했는지의 여부는 추가적인 하드웨어 장비 및 센서를 설치하여 알아낸다. 이러한 경우 다음과 같은 단점을 가지게 된다. 첫째, 추가적인 하드웨어 비용이 든다. 둘째, 대형 교통사고 시에는 장비의 고장으로 동작하지 않을 가능성이 있다. 마지막으로 급정거를 통해 교

*이 논문은 2012년도 가천대학교 교내연구비 지원에 의한 결과임.(GCU-2012-R181)

*가천대학교 IT 대학 인터랙티브미디어 교수(교신 저자)

논문접수: 2012년 9월 14일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2012년 10월 14일

통사고가 발생하지 않는 경우 여전히 연쇄 충돌 사고에 대한 위험이 있다.

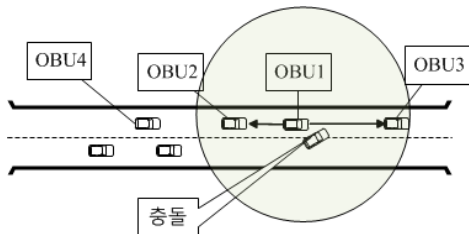
본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 통신 기술을 이용한 교통사고 위험 예측 알고리즘을 제안한다. 다른 프로토콜과 상호 호환성을 높이기 위해 헬로 메시지(Hello message) 기법을 사용하였으며, 차량의 제동거리, 속도, 위치를 이용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 언급하고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 제안한 프로토콜의 적합성을 판단하기 위해 실험 평가를 수행하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 안전 메시지 전달 기법

애드 혹 네트워크에서 사용하는 일반적인 플러딩(flooding) 방식은 전 방향으로 브로드캐스트 한다. [그림 1] OBU1이 안전 메시지를 브로드캐스트 했을 때, OBU2와 OBU3이 수신 하는 상황을 보여준다. 애드 혹 네트워크에서는 전방향을 가정하므로 OBU2과 OBU3이 모두 브로드캐스트한다. 하지만, 안전 메시지 전달 기법에서는 후방 차량에게만 메시지를 브로드캐스트하면 된다.



[그림 1] 차량 통신 환경에서의 브로드캐스트

이를 위해 ASTM 규격[9]은 사고 발생 차량이 안전 메시지를 송신하면, 수신한 노드들 중 후방에 위치한 노드들이 주기적으로 브로드캐스트 하는 기법을 제안하였다. 이는 일반 애드 혹 환경에서와 같이 전 방향에 전달하는 방법과는 차별된다. ASTM 규격이 사고 지점 후방 차량의 재전송으로 트래픽을 감소시켰지만, 송신 노드는 ACK를 수신할 수 없기 때문에 전달한 메시지가 올바르게 전달했는지 알 수가 없다. 그래서 주기적으로 메시지를

를 송신하여 수신하지 못했을 경우를 예방한다. 이는 트래픽 증가를 초래한다. 이러한 문제를 예방하기 위해 논문 [11]에서는 후방 노드가 재전송 한 메시지를 수신하면 이를 ACK로 인식하여 재전송을 중단하는 방안을 제안하였다.

[3]에서는 동일한 위험요소에 대해 다수의 노드가 반응하면, 중복된 메시지 전달 및 충돌 확률의 증가 문제를 해결하기 위한 프로토콜을 제안하였다. 여기서는 클러스터링을 사용하여, 클러스터 멤버들이 생성한 다수의 메시지를 하나로 통합하여 클러스터 헤드가 후방에 전달한다. 긴급메시지 전달시 ACK로 응답을 확인하고 클러스터헤드의 헬로 메시지에 긴급메시지를 포함한다.

[4]은 송신 노드의 백터와 위치 정보를 이용하여 특정 지점을 정하고, 해당 지점으로부터 긴급 메시지를 수신한 노드들의 거리를 통해 그룹 헤드를 선택한다. 가까울수록 대기 시간이 짧고, 헤드로 선정되어 후방에 메시지를 전달하면 다른 노드들은 침묵한다.

[6]에서는 이웃 노드의 개수를 수집하여 가우시안 모델을 적용한 백오프 알고리즘을 제안하였다. 이를 위해 주기적으로 이웃 노드의 정보를 수신해 속도에 따른 이웃 노드의 수를 계산하여 이웃 노드 수를 수집한다. 그리고 가우시안 모델에 적용하여 이를 백오프 알고리즘에 적용하였다. 또한 안전 메시지를 전달 할 때, 전파 범위를 넓히기 위한 방안으로 안전 메시지를 전달할 노드와 송신 노드의 거리가 멀수록 송신할 수 있도록 방안을 제안하였다.

RSU를 이용한 연구도 진행되었는데 그 중에 하이브리드 차량 통신 시스템은 다음과 같은 3가지의 기능으로 구성된다[7]. 첫째, 멀티채널을 이용한 이웃 노드 정보 수집과 RVC(Roadside-Vehicular Communication) 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 이웃 노드 수의 표본으로 수집한

다. 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.

이러한 안전 메시지 전달 기법들은 사고 발생 시점이나 운전자의 위험요소 인식으로 안전 메시지를 발생시킨다. 본 논문에서는 이렇게 다양한 안전메시지 전달 프로토콜에 접목시킬 수 있는 교통사고 위험 예측 알고리즘을 제안한다.

2.2 자동차 제동거리

본 논문에서는 교통사고 위험을 예측하기 위해 속도의 감속과 제동거리에 관한 연관성으로 시나리오를 제시하였다. 이를 위해 본 절에서는 제동거리에 대해 설명한다.

자동차 제동거리는 운전자가 실제로 브레이크에 의해 제동이 시작한 순간부터 자동차가 멈출 때까지 진행한 거리를 의미한다. 국내의 보안기준에는 최고 80 km/h 이상인 자동차는 승차정원(최대 인원 탑승) 상태에서 처음 속력 50 km/h에서 22 m 이내에서 정지해야 하고, 최고 80 km/h 이하인 자동차는 처음 속력 35 km/h에서 14 m 이내에서 정지해야 한다고 규정되어 있다. 여기에 더하여 운전자가 어떤 보행자나 도로표지를 보고 정지하기 위해 브레이크를 작동하기까지 자동차의 이동 거리를 공주 거리라고 한다. 이는 브레이크 조작 반응시간(PBRT; Perception-Brake Reaction Time)과 연관되어 있으며 기대되지 않은 조건에서 평균 브레이크 조작 반응시간은 1.1초이며, 85th 백분위수에 해당하는 반응시간은 2.0초로 분석되었다[8]. 보다 정확한 제동 거리를 위해서는 이러한 공주거리도 고려해야 하지만, 본 논문에서는 제동 거리만을 고려하였다.

그래서 본 논문에서는 운전자가 위험 요소를 발견했을 때 그에 따른 반응으로 급정거를 하는 상황을 인식하기 위한 방안을 제안하기 위해 제동거리를 이용한다.

2.3 전방충돌경고 시스템

전방의 위험요소를 인지하고 운전자에게 경보를 발생

시키는 전방충돌경보 시스템에 대한 연구는 통신 분야가 아닌 자동차 하드웨어 분야로 연구되었다.

[10]에서는 센서 장비를 통해 얻은 속도와 거리로 경고 한계치를 설정하여 이에 따라 운전자에게 경고를 하는 방안을 제안하였다. [2]에서는 [10]에서 제안한 알고리즘을 기반으로 휴먼팩터를 얻기 위해 VR 기반 차량 시뮬레이터를 이용하여 적용하였다. 하지만, 이러한 연구에서는 전방에 위험이 있는 해당 차량의 운전자에게만 위험을 경고하기 때문에, 고속도로에서와 같이 매우 빠른 속도의 연쇄추돌사고는 예방하기가 어렵다. 이를 위해서는 차량 안전통신을 통해 사고위험을 인식한 노드가 후방노드에게 멀티 홉으로 안전 메시지를 알리는 것이 필요하다. 그래서 본 논문에서는 통신장비를 제외한 추가적인 하드웨어 없이 차량안전통신에 호환될 수 있도록 헬로 메시지 기반한 교통사고 위험 예측 알고리즘을 제안한다.

3. 교통사고 위험 예측 알고리즘

본 논문에서는 본 알고리즘이 적용된 장비가 모든 차량에 탑재되어 있으며 음과 같은 상황을 가정한다.

첫째, 장비에는 통신 모듈이 탑재되어 있다.

둘째, 장비에는 자신의 차량 속도 정보를 얻을 수 있는 채널이 연결되어 있다.

셋째, 장비에는 GPS가 탑재되어 있어 위치 정보를 얻을 수 있다.

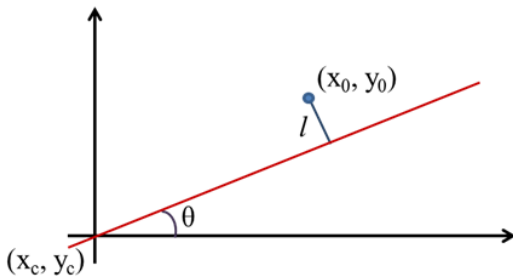
3.1 전방 차량과의 거리 계산

전방 차량의 거리를 계산하기 위해 주기적으로 모든 차량은 자신의 ID와 위치 정보를 담은 헬로 메시지를 브로드캐스트한다. 이를 수신한 노드는 자신이 이동하는 방향 벡터를 계산하여 후방 차량에게서 얻은 위치 정보는 모두 버린다. 그리고 전방 차량이 같은 차선에 있는지 확인하기 위해, 해당 차선에서 전방 차량의 거리를 계산한다. 예를 들어, 차량이 폭이 4인 차선 중앙에서 이동한다고 가정했을 때 좌표 (0, 0)에서 (100, 0) 지점으로 이동한다고 하자. 그러면 차선의 y 값은 2와 -2라는 것을 알 수 있다. 이 때 (30, 4) 지점에 있는 차량은 같은 차선이 아니고, (40, 1) 지점의 차량은 같은 차선이라는 것을 알 수 있다. 이를 위해 자신의 방향 벡터를 통해 각도(θ)를 계산한다. 그리고 자신의 좌표를 중심 좌표 (x_c, y_c)로

놓고 전방 차량의 좌표를 (x_0, y_0) 로 놓으면 다음 수식을 통해 차선에서 전방 차량의 거리인 l 를 얻을 수 있다.

$$l = |(x_0 - x_c)\sin(-\theta) + (y_0 - y_c)\cos(-\theta)| \quad (1)$$

[그림 2]는 수식 (1)을 도식화하여 보여준다. 이 그림과 같은 상황에서 $-\theta$ 만큼 (x_0, y_0) 를 회전시키면, 변환된 절대값 y 의 값이 차선 중점과의 거리 된다.



[그림 2] 수식 (1)에 대한 도식화

이렇게 얻은 거리 l 를 통해 다음 수식으로 전방 차량이 같은 차선에 있는지 판별할 수 있다.

$$\begin{cases} true, & l < \frac{line_width}{2} \\ false, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

여기서 $line_{width}$ 는 차선의 폭을 의미한다. 즉, l 의 값이 차선의 폭의 중앙에서의 거리의 반 이하이면 같은 차선으로 판별한다.

이렇게 같은 차선에 있다고 판별되면, 헬로 메시지를 수신한 노드는 송신 노드의 위치와 자신의 위치를 다음 수식으로 거리를 계산한다.

$$length = \sqrt{(x_c - x_0)^2 + (y_c - y_0)^2} \quad (3)$$

이렇게 얻은 거리 값을 송신 노드의 ID와 함께 저장한다. 만약 다른 노드의 헬로 메시지를 통해 거리가 더 가까운 차량 정보를 얻으면 저장된 정보를 갱신한다.

3.2 교통사고 위험 예측 알고리즘

고속도로에서 운전자는 교통사고 위험 요소를 발견하면 급제동을 시도한다. 그래서 본 논문에서는 노드의 가속도를 감시하다가 일정 수치 이하이면 교통사고 위험이 있다고 인식하는 기법을 제안한다. 이를 위해 먼저 다음 수식으로 차량의 현재 속도(V_n)를 I_v 초 주기로 계산한다.

$$V_n = (1 - \alpha) \times V_{n-1} + \alpha \times V_{current} \quad (4)$$

여기서 n 은 1부터 시작하는 양의 정수이며, n 이 1인 경우에는 V_{n-1} 의 값은 0이 된다. V_{n-1} 은 이전에 계산한 속도이며, a 의 값은 현재 속도가 누적 속도 값 V_n 에 미치는 비율을 조절한다. 이렇게 현재 속도를 그대로 사용하지 않는 이유는 속도의 변화에 대한 민감도를 낮추기 위함이다. 그리고 다음 수식으로 I_v 초 마다 가속도(V_a)를 계산한다.

$$V_a = \frac{V_{current} - V_{n-1}}{I_v} \quad (5)$$

여기서 감속을 하는 경우에는 V_a 의 값이 음수를 가진다.

교통사고 위험 인식을 판별하는 경우는 다음과 같다. 첫째, 계산된 V_a 가 임계치인 $A_{threshold}$ 값 이하인 경우이다. 이 경우는 속도가 급하게 감속된 경우를 의미한다.

둘째, 계산된 V_a 가 임계치인 $\frac{A_{threshold}}{2}$ 값 이하이고 속도에 따른 제동거리와 전방 차량과의 거리가 0 이하일 경우이다. 이 경우는 급제동을 하더라도 사고가 날 확률이 높은 경우이기 때문에, 가속도의 임계치를 낮춰 더 빨리 안전 메시지를 발생할 수 있도록 한다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 실험 환경

본 절에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 선행 연구[6]에 적용한 경우와 적용하지 않은 경우 상황에 대해 ns-2를 이용하여 실험하였다. <표 1>은 실험할 때 사용한 시뮬레이션 파라미터이다.

차량 시나리오는 4차선 중 3차선에 가장 먼저 좌측

2500 m 지점에서 출발하여 0 m 지점까지 이동한다. 그 후 속 차량들은 1/3 차선과 2/4차선의 차량이 움직이며, 차간 거리는 속도에 따른 안전거리로 설정한다. 그리고 제동 거리를 제동 거리 계산기를 이용하여 계산한다[14]. 이렇게 구한 제동 거리 지점부터 등가속도운동으로 감속하여 0 m 지점에서 멈출 수 있도록 한다. 예를 들어, 아스팔트 도로 같은 경우 100 km/h의 속도는 제동 거리가 56.23 m이다. 그러므로 56.23 m 지점에서 감속을 시작해 0 m 지점에서는 속도가 0 km/h이 될 수 있도록 한다. 이 지점에 도착했을 때 교통사고가 발생한 것이라고 가정한다.

〈표 1〉 시뮬레이션 파라미터

범주	항목	값
차량 관련 파라미터	도로 길이	2500 m
	속도	60~160 km/h
	차의 길이	2 m
	차선 개수	4
	차선의 폭	4 m
네트워크 관련 파라미터	안전거리 시간	2 초
	송신 범위	250 m
	MAC	IEEE 802.11p
	TTL	5
	데이터 전송률	11 Mbps
	$A_{threshold}$	-20 m/s
	I_v	0.5 초
a	0.25	

4.2 구간 내 메시지 수신 성능

수신율은 0 m 지점으로부터 1000 m 이내에 있는 차량들에 대해서만 계산한다. TTL이 5이고 전송 범위가 250 m 이므로 1000 m로 설정하였다.

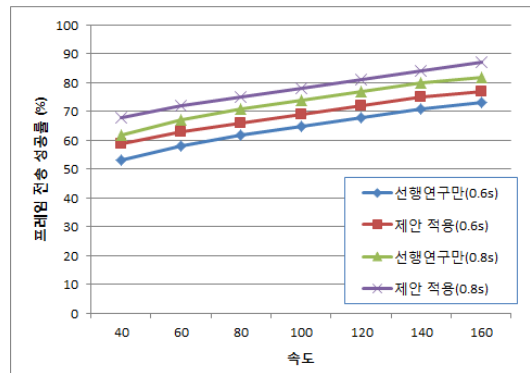
[그림 3]는 속도 변화에 따라 일정 시간 (0.6초와 0.8 초) 내에 안전 메시지를 수신한 차량의 비율을 보여준다. 속도가 빨라지면 경쟁 노드의 개수도 줄어들기 때문에 충돌 확률이 감소한다. 그래서 속도 증가에 따라 수신율이 높아지는 걸 확인 할 수 있다. 실험 결과를 보면 제안된 알고리즘이 적용되면 수신율이 약 5% 정도 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 일반적인 안전 메시지 전달 프로토콜에 결합할 수 있는 교통사고 위험 예측 알고리즘을 제안하였

다. 이 알고리즘은 일반적인 전달 프로토콜에서 사용하는 헬로 메시지를 기반으로 하고 있기 때문에 적용하기에 호환성이 높다. 다른 추가적인 하드웨어 설치 없이 적용할 수 있으며 사고가 발생하지 않은 경우에도 급제동의 여부를 판단하여 후속 차량에 대한 사고를 예방할 수 있도록 지원한다. 기존 선행연구에 적용한 결과 데이터 전송 수신율이 5% 정도 증가 하는 것을 확인하였다.

향후 연구 계획으로는 본 논문의 알고리즘에 적합한 MAC 프로토콜에 대한 연구를 진행할 예정이다.



〈그림 3〉 속도에 따른 프레임 수신 성공률

참고 문헌

- [1] 고한검, 이진수, 김지호 (2012), 실시간 차량정보 및 도로교통상황을 고려한 실시간 안전정보 제공에 관한 연구, 대한토목학회논문집 32(4 D), 291-303.
- [2] 권성진, 전지훈, 구태운, 조기용, 서명원 (2005), 휴먼팩터를 고려한 전방차량 충돌 경고 알고리즘, 한국자동차공학회 2005년도 추계학술대회논문집, 1713-1718.
- [3] 박정서, 박태근 (2010), 고속도로상의 차량간 통신에서 에러에 강한 긴급메시지 전달 기법, 한국통신학회 논문지, 35(12), 1113-1121.
- [4] 박정화, 강문수 (2012), 차량 네트워크를 위한 긴급메시지 브로드캐스트 기법, 한국멀티미디어학회지, 15(3), 372-379.
- [5] 변재욱 · 권성오 (2012). 차량 간 통신 환경에서 효과적인 위험 경고 메시지 전송 방안, 한국통신학회논문지, 37(1), 1-8.
- [6] 오상엽 (2012), 차량간 통신에서 가우시안 모델을 적용한 백오프 알고리즘, 한국 디지털정책학회 논문지,

10(6), 225-230.

- [7] 오상엽 (2012). 안전 메시지 전달을 위해 가우시안 모델을 적용한 하이브리드 차량 통신 시스템, 한국디지털정책학회, 10(7), 161-166.
- [8] 이수범, 김원철, 홍다희, 오동섭 (2002), 차량주행속도에 따른 운전자 인지반응시간 연구, 대한토목학회논문집, 22(6), 1105-1116.
- [9] 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.
- [10] Peter Seiler, Bongsob Song, J. Karl Hendrick (1998), Development of a collision avoidance system, SAE Special Publications, ITS Advanced Controls and Vehicle Navigation Systems, 1332, 97-103.
- [11] S. Biswas, R. Tatchikou, F. Dion (2006), Vehicle-to-Vehicle Wireless Communication Protocols for Enhancing Highway Traffic Safety, IEEE Communication Magazine, 74-82.
- [12] T. Hasegawa et al. (2004), A Concept Reference Model for Inter-Vehicle Communication (Report2), Proc. Of IEEE ITS 2004, 810-815..
- [13] W. Chen, S. Cai (2005), Ad hoc Peer-to-Peer Network Architecture for Vehicle Safety Communications, IEEE Communications Magazine, 43(4), 100-107.
- [14] <http://forensicdynamics.com/stopping-distance-calculator>, 제동 거리 계산기-Stopping (Braking) Distance Calculator.

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/음향 신호 처리, 차량 통신

· E-Mail : syoh@gachon.ac.kr