

안전한 차선 변경을 위한 센서 융합 기반 주변 차량의 경로 예측 알고리즘

김지훈*, 한동석^o

A Path Prediction Algorithm of Surrounding Vehicles Based on Sensor Fusion for Safe Lane Change

Jihun Kim*, Dong Seog Han^o

요약

본 논문에서는 안전한 차선 변경을 위한 첨단 운전자 보조시스템을 위한 주변 차량의 경로예측 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘은 레이더와 카메라 센서를 사용한 주변 환경 인식과 선형 칼만 필터를 적용한 주변 차량의 경로예측을 통하여 안전한 차선 변경 가능 여부를 판단하게 한다. 제안 알고리즘은 레이더와 카메라 센서의 입력부, 센서 융합부, 선형 칼만필터를 적용한 주변 차량의 경로 예측부, 예측 경로에 기반한 차선 변경 가능 판단부의 4단계로 동작한다. 실차 환경에서의 검증을 통하여 제안 알고리즘의 주변 차량의 경로예측 정확도가 약 95%에 이른다.

Key Words : Radar, Camera, Sensor Fusion, Path Prediction, Kalman Filter

ABSTRACT

In this paper, we propose a route prediction algorithm for surrounding vehicles for advanced driver assistance system for safe lane change. The proposed algorithm makes it possible to determine whether the lane can be safely changed by recognizing the surrounding environment using radar and camera sensors and predicting the paths of the surrounding vehicles using the linear Kalman filter. The proposed algorithm consists of an input unit from radar and camera sensors, a sensor fusion unit, a path estimation unit of surrounding vehicles using the linear Kalman filter, and a lane change decision unit based on path prediction. In actual vehicle environments, the accuracy of the path prediction for the proposed algorithm is about 95%.

1. 서론

첨단 운전자 보조 시스템(ADAS, advanced driver assistance systems)은 운전자가 운전을 효율적으로 할 수 있도록 돕는 장치 또는 기술이다. 첨단 운전자 보

조시스템은 적응형 순항 제어 시스템, 차선 유지 보조 시스템, 충돌 회피 시스템 등 기능에 따라 다양하게 분류된다¹⁻³⁾. 이러한 기능은 차량 주변 환경의 이해를 기반으로 실현된다. 첨단 운전자 보조시스템이 도입되기 전 주행의 모든 판단은 온전히 운전자의 몫이었다.

* 본 논문은 2017년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구사업(No.P0000535, 자율 주행 차용 멀티채널 V2X 통신 데이터 처리 엔진 기술개발)과 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2019R1D1A3A03103849)

• First Author : Kyungpook National University, School of Electronics Engineering, soji@knu.ac.kr, 학생(박사), 학생회원

^o Corresponding Author : Kyungpook National University, School of Electronics Engineering, dshan@knu.ac.kr, 정교수, 종신회원
논문번호 : 201905-082-C-RE, Received May 14, 2019; Revised October 9, 2019; Accepted October 26, 2019

하지만 첨단 운전자 보조시스템은 다양한 센서를 활용하여 주행 중 주변 환경을 인식하는 데 사용된다. 카메라는 환경을 이해하는 데 가장 일반적으로 사용되는 장치다. 또한, 레이더, GPS(global positioning system), 초음파 및 DSRC(dedicated short-range communication)와 같은 다양한 센서와 장치들이 첨단 운전자 보조시스템에 사용되고 있다.

이러한 기능들은 단순한 보조시스템을 넘어 완전 자율 주행 기능을 실현하기 위해서 보다 안정적인 시스템이 뒷받침되어야 한다. 최근에는 다양한 센서를 결합하여 센서의 안전성과 신뢰성을 높이는 시도가 활발히 진행되고 있다⁴⁾. 국제자동차기술자협회(SAE, Society of Automotive Engineers)는 자율 주행 자동차의 기능을 총 6단계로 구분하였다⁵⁾. 국제자동차기술자협회 기준은 전 세계 자율 주행 연구를 위한 표준으로 사용된다. 0단계는 가장 낮은 단계로서 자동화 요소를 포함하지 않는 자동차를 의미한다. 1단계는 주로 카메라 센서를 사용하여 운전자를 보조하는 단계이다. 단순히 운전자에게 보조 기능을 제공하기 위한 단계일 뿐이다. 2단계는 운전자의 보조 기능의 심화로써 단순한 제어에 개입하거나 1단계보다 많은 센서를 사용하는 차량 형태의 보조 기능을 제공한다. 그러나 센서의 오작동 및 비상 상황이 발생하게 된다면 운전자의 개입을 통해 문제를 해결하도록 설정된 단계이다. 3단계는 조향, 가속 및 감속을 센서 등의 장치를 통해 제어하는 단계이다. 3단계는 보다 심화 된 제어 기능을 제공하고 주행에 대한 높은 판단력을 요구하는 단계이다. 따라서 센서의 역할이 중요하며 높은 정확도가 필요하다. 4단계는 운전자가 차량에 개입하는 것을 최소화하는 단계이다. 충돌 및 긴급한 상황을 제외하고 센서 등의 장치를 통한 자율 주행 기능을 주로 수행하게 된다. 마지막으로 5단계는 운전자 개입이 없는 완전한 자율 차량을 의미한다. 5단계 기능을 구현하기 위해서는 전방위 환경 인식, 3D 정밀 지도, 차량 통신 등 많은 기능이 요구된다. 현재 상용화된 기능들은 국제자동차 기술자협회의 기준 중 2단계에 해당하는 수준이다. 단순히 카메라 센서 또는 레이더 센서를 이용한 보조시스템이 적용되고 있다. 3단계 이상의 자율 주행 단계 도입을 위해서는 차량용 센서의 개별적 연구와 안정성에 대한 검증이 요구될 것이다. 본 논문에서는 안전한 차선 변경 가능 여부를 판단하기 위하여 차량 측·후방 객체의 경로예측 알고리즘을 제안한다. 2장에서는 운전자 보조시스템을 위한 센서 융합 방식과 주변 차량의 경로예측에 관한 선행 연구를 소개하고 3장에서는 제안하는 알고리즘의 구성 및 동작

방법을 소개한다. 4장에서는 실제 차량 실험을 통한 알고리즘의 성능 검증 및 정확성을 판별한다.

II. 선행 연구

첨단 운전자 보조시스템은 차량 내외부에 장착된 센서들을 활용하여 운전자의 주행을 보조하는 기능을 수행한다. 가장 일반적으로 사용되는 센서인 카메라는 주로 차선 인식, 주변 객체 인식, 운전자 상태 모니터링 등에 사용된다. 레이더 센서는 객체 인식을 통해 거리를 계산하는 곳에 사용된다. 라이다 센서는 3차원 지도를 생성하거나 객체 인식 등에 사용된다. 이외에도 초음파 센서, 지자기 센서 등 다양한 센서들이 활용되고 있다. 하지만 각 센서의 주변의 환경 및 센서 특성에 따라 오작동할 가능성을 내재하고 있다. 이는 운전자 또는 보행자의 안전에 치명적인 영향을 미칠 수 있으므로 단일 센서만을 사용한 운전자 보조시스템은 높은 정확도와 안전성이 요구된다.

자율 주행 자동차에서 센서를 사용한 연구 분야는 주로 카메라 센서를 이용한 영상처리 분야이다. 흔히 주변의 차량, 보행자 및 각종 표지판 등 다양한 객체 검출의 인식 정확도와 실시간성을 높이기 위해 인공지능 기술을 접목해왔다. 하지만 단일 센서만을 사용했을 때 센서를 통해 제공 가능한 정보 한계 및 낮은 신뢰도에 대한 문제가 발생한다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 현재에는 복합 센서 또는 센서 융합을 적용한 연구가 활발히 진행되고 있다⁶⁻¹¹⁾.

주행하는 상황에서 센서를 통해 인식되는 객체는 주로 주변 차량이다. 주변 차량의 존재 여부와 경로는 자신의 경로를 생성하거나 판단하는 척도로서 자율 주행 또는 첨단 운전자 보조시스템의 중요한 요소이다. 차량의 경로를 예측하는 연구는 크게 자신의 차량 경로를 생성하거나 주변 차량의 경로를 예측하는 분야로 나뉜다. 자신의 차량 경로는 디지털 지도, 라이다 센서 등으로 인지된 주변 상황에 맞게 적절한 경로를 생성하게 된다¹²⁾.

주변 차량의 경로는 카메라, 라이다, 레이더 등으로 인지된 차량 정보만을 활용하여 생성 또는 예측하게 된다¹³⁾. 특히 주변 차량의 경로예측은 주행하는 차량 또는 운전자에게 실시간으로 주행을 판단하게 하는 구실을 한다. 따라서 본 연구에서는 레이더와 카메라 센서의 융합을 통해 정확한 주변 차량 인식과 주변 차량의 경로 생성 및 예측을 통해 안전한 차선 변경 가능 여부를 판단하는 알고리즘을 제안한다.

III. 제안하는 측·후방 차량 경로 예측 알고리즘

차량이 주행하는 상황에서 주변 차량의 인식과 차량의 정보를 획득하기 위해 제안 알고리즘은 카메라와 레이더 센서를 이용하여 먼저 주변 차량을 인식한다. 인식된 각 센서의 데이터를 센서 융합을 통해 분류, 거리, 속도 정보를 통합하고 이를 활용하여 주변 차량의 경로를 예측하게 된다. 센서 융합은 서로 다른 좌표계를 사용하는 레이더와 카메라 센서의 좌표계 융합을 토대로 진행된다¹⁴. 이 과정을 이하 센서 융합이라 통칭한다. 센서 융합은 같은 시점에 입력된 서로 다른 센서 데이터를 하나의 좌표 영역으로 통합한다. 이 과정에서 카메라 센서는 합성곱 신경망인 Tiny YOLO V2 알고리즘을 이용하여 객체를 분류한다¹⁵. 본 연구에서는 차량 분류에 적합한 학습 데이터와 임베디드 환경에서 실시간 구동을 위해 일반 YOLO 알고리즘이 아닌 경량화된 버전을 적용하였다.

카메라 센서를 통해 검출된 차량은 경계 상자의 형태로 표현된다. 센서 융합을 위해 경계 상자의 중앙점을 카메라 센서로부터 입력된 차량의 좌푯값으로 한다. 처리 속도는 약 25프레임/초이다.

레이더 센서는 검출되는 객체의 종 방향과 횡 방향 정보를 제공한다. 이는 레이더로부터 객체까지의 2차원 거룻값을 의미한다. 센서의 데이터 처리 속도는 약 50ms이다. 하지만 레이더 좌푯값을 센서 융합을 위해 변환 행렬식 계산으로 처리하므로 약 100ms로 센서 융합데이터로 처리된다. 각 센서를 통해 입력되는 데이터는 센서별 특성에 따라 입력데이터의 소실이 발생할 수 있다. 예를 들어 카메라 센서의 경우 기상 상태에 따라 객체 분류 성능이 변화한다. 레이더 센서는 횡 방향 정보의 정밀도 떨어지는 특징이 있다. 또한, 센서별 처리 속도가 상이하여 융합되는 데이터의 소실이 발생하게 된다. 이 경우 소실되는 센서 융합데이터는 경로예측을 통해 보완할 수 있다. 제안 알고리즘에서 경로예측은 선형 칼만 필터를 사용한다. 선형 칼만 필터는 본 논문의 관심 영역인 측·후방에서 다가오는 차량의 경로가 일정 구간 선형 특성을 갖기 때문에 경로예측에 적합하다. 센서 융합으로 도출된 차량의 종 방향과 횡 방향 거리 정보를 이용하여 주변 차량의 경로를 예측한다. 예측을 통해 생성된 경로는 차선 변경 판단 여부를 결정하기 위해 관측 차량과 주변 차량 간 거리와 상대속도 값을 비교한다. 비교 기준은 관심 영역인 관측 차량의 측·후방 10m 이내에 차량의 존재 여부를 판단하고 차량이 존재할 경우 상대속도가 10km/h 이내인지를 비교하여 최종적으로 차선 변경

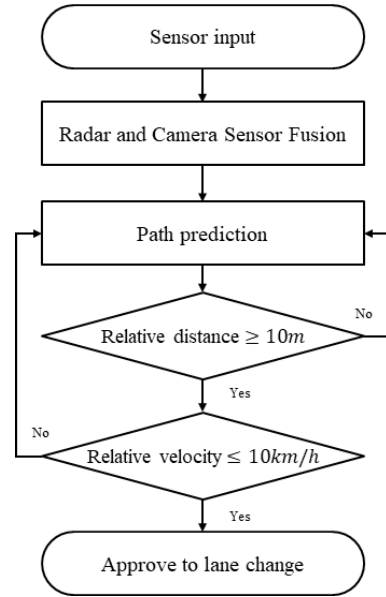


그림 1. 안전한 차선 변경 가능성 판단을 위한 경로예측 알고리즘
 Fig. 1. A Path Prediction Algorithm for Determining Safe Lane Change.

가능 여부를 운전자 또는 차량에 제공하게 된다. 차선 변경 기준은 운전자의 시야 사각 지역으로 분류되는 측·후방 약 10~20m 지역을 기준으로 한다¹⁵. 그림 1은 제안하는 안전한 차선 변경을 위한 주변 차량의 경로예측 알고리즘의 흐름도이다.

경로예측에 사용되는 정보는 레이더와 카메라 센서로부터 입력된 서로 다른 좌표계의 데이터이다. 따라서 이를 융합하기 위해 변환 행렬을 사용한다. 변환 행렬은 사전 입력된 데이터를 기준으로 하여 설정된다. 식(1)은 레이더와 카메라 센서의 융합을 위한 변환 행렬이다.

$$T_F = \begin{bmatrix} 13.5610 & 65.8925 & 320.2870 \\ -2.1380 & 4.0917 & 248.4212 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

변환 행렬은 고정된 센서의 초기 입력값으로부터 도출되며 본 연구에 사용된 초기 입력값은 표 1과 같다. 총 7개의 데이터 세트로 구성되는 초기 입력값은 검출 객체의 서로 다른 좌푯값을 의미한다. X_R, Y_R 은 레이더 센서의 입력값이고 센서로부터 검출된 객체의 종 방향과 횡 방향 거룻값이다. X_C, Y_C 는 카메라 센서의 입력값으로 이미지의 좌푯값이다. 변환 행렬을 생성하기 위한 초기 입력값의 수는 최소 4개 이상의

표 1. 변환 행렬 도출을 위한 초기 센서 입력값
Table 1. The initial sensor input value for deriving the transformation matrix.

No	X_R	Y_R	X_C	Y_C
1	5.1	-2.1	258	310
2	10	-3.3	66	328
3	7.9	-4	279	344
4	9.2	-2.1	340	357
5	7.4	-2.3	183	322
6	7	-4.4	69	325
7	13.5	-1.7	328	327

참조 데이터를 이용하여야 하며 이를 통해 정확한 변환 행렬을 도출할 수 있다.

변환 행렬 T_F 는 초기 센서 입력값과 다음 식(2)~(4)으로 도출된다.

$$T_F = \begin{bmatrix} (P^T P)^{-1} P^T U \\ (P^T P)^{-1} P^T V \\ (P^T P)^{-1} P^T I \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$P = \begin{bmatrix} X_R^1 & Y_R^1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_R^n & Y_R^n & 1^n \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$U = \begin{bmatrix} X_V^1 \\ \vdots \\ X_V^n \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} Y_V^1 \\ \vdots \\ Y_V^n \end{bmatrix}, I = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1^n \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 P 는 초기 센서 데이터 중 레이더 센서의 데이터, U 와 V 는 카메라 센서의 데이터, I 는 단위행렬이며 n 은 초기 입력데이터의 수를 의미한다. 변환 행렬을 통해 입력된 레이더 센서의 데이터는 식(5)를 통해 카메라 좌표계와 같은 좌표로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} X_F \\ Y_F \\ 1 \end{bmatrix} = T_F \times \begin{bmatrix} X_R \\ Y_R \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 X_R 와 Y_R 은 레이더 센서를 통해 인식된 객체의 종 방향과 횡 방향 거릿값을 의미하며 식(1)의 변환 행렬과의 곱셈 연산을 통해 카메라 좌표계로 변환된다. 카메라 좌표계로 변환된 값은 2차원 좌표값을 갖는다. 이는 레이더 데이터를 카메라 좌표값으로 변환하여 센서 융합데이터인 X_F 와 Y_F 로 표현된다. 이

값은 선형 칼만 필터의 초기 입력값으로 사용된다. 다음 식(6)~(11)은 인식된 주변 차량의 경로예측을 위해 사용된 칼만 필터에 대한 수식이다.

$$x_{k+1} = Ax_{k-1} + w_k \quad (6)$$

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (7)$$

여기서 x 는 변환 행렬을 통과한 센서 융합데이터이며 2차원 좌표값이다. k 는 입력데이터의 인덱스이다. A 는 상태 천이 행렬이다. w 와 v 는 각각 센서의 잡음과 측정 잡음을 의미한다. 식(8)과 (9)은 초기 입력값으로부터 경로예측에 사용되는 수식이다.

$$\tilde{x}_k^- = A\tilde{x}_{k-1}^- + Bu_{k-1} \quad (8)$$

$$P_k^- = AP_{k-1}^- A^T + Q \quad (9)$$

여기서 Bu_k 는 레이더 센서의 가우시안 랜덤 잡음을 의미한다. 칼만 변수 A 는 변환 계수를 의미하고 Q 는 시스템 오차이다. 사전에 정의된 변수 A 와 Q 는 다음과 같다.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$Q = \begin{pmatrix} 0.0001 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0001 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.0001 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0001 \end{pmatrix} \quad (11)$$

센서 융합 결과로부터 입력된 데이터가 예측 단계인 식(8)~(9)을 거쳐 주변 차량의 경로를 예측한다. 이후 다음 식(12)~(14)으로 보정된다.

$$K_k = P_k H^T (HP_k H^T + R)^{-1} \quad (12)$$

$$\tilde{x}_k = \tilde{x}_k^- + K_k (z_k - H\tilde{x}_k^-) \quad (13)$$

$$P_k = (1 - K_k H_k) P_k^- \quad (14)$$

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, R = \begin{pmatrix} 0.05 & 0 \\ 0 & 0.05 \end{pmatrix} \quad (15)$$

여기서 H 는 시스템의 측정 행렬, R 은 시스템의

측정 잡음의 공분산이다. 선형 칼만 필터를 사용하여 예측된 주변 차량의 예상 경로를 이용해 주변 차량의 예상 속도와 거리가 판별된다. 위 예측 모델을 통해 생성된 주변 차량의 예상 속도와 거리는 자차의 속도를 기준으로 상대 거리와 상대속도로 재계산된다. 식 (16)와 (17)은 예측 경로로부터 상대 거리 $\tilde{X}_{distance}(n)$ 와 상대속도 $\tilde{V}(n)$ 를 추정한 값이다.

$$\tilde{X}_{distance}(n) = \tilde{X}_F(n+1) - \tilde{X}_F(n) \quad (16)$$

$$\tilde{V}(n) = \frac{\tilde{X}_{distance}(n)}{t_{sample}} [m/s] \quad (17)$$

여기서 n 은 센서 융합데이터의 샘플 인덱스를 의미한다. t_{sample} 은 입력데이터의 간격을 의미한다. 레이더 센서와 카메라 센서의 처리 속도는 25프레임/초이다. 경로예측을 통해 계산된 예측 융합 데이터의 상관관계를 비교하여 상대 거리를 계산하고 계산된 상대 거리로부터 상대속도를 도출하게 된다. 예측된 결과를 통해 주변 차량의 예상 경로를 생성하고 안전한 차선 변경을 위한 최소 상대 거리 및 상대속도 기준에 근거하여 주행 차량의 차선 변경 가능 여부를 판단한다. 일반적으로 측·후방 안전지대로 분류되는 운전자 시야의 맹점은 차량 측·후방의 최소 10m 간격이다. 따라서 최소 10m 이상의 상대 거리를 갖고 최소 10km/h 이하의 속도를 갖는 경우 차선 변경을 승인하게 된다.

IV. 실차 검증 실험

제안 알고리즘은 실제 도로에서 레이더와 카메라 센서를 장착한 차량을 활용하여 검증하였다. 센서와



그림 2. 실험 차량의 레이더와 카메라 센서의 장착 위치
Fig. 2. Mounting position of the radar and camera sensors of the test vehicle.

알고리즘의 동작은 임베디드 보드 환경에서 구현되었다. 실험 환경은 시속 50km/h로 주행하는 상황에서 관심 영역의 차량 인식과 경로예측의 정확도를 검증하였다. 그림 2는 레이더와 카메라 센서를 장착한 실제 차량의 모습이다. 레이더 센서는 후방 범퍼 중앙, 카메라 센서는 사이드미러에 장착하여 측면과 후방의 차량을 인식하게 된다. 차량에 부착된 센서는 주변 차량의 분류, 거리 정보를 알고리즘에 제공한다. 그림 3은 각 센서로부터 입력된 주변 차량의 분류, 거릿값의 예와 센서 융합을 통해 얻게 되는 최종 정보를 나타낸다. 그림 3(a)는 차량의 사이드미러에 장착된 카메라를 통해 입력된 영상을 Tiny YOLO v2를 통해 검출된 차량의 분류 정보이다. 그림 3(b)는 차량의 후방 범퍼 중앙에 있는 레이더를 통해 검출된 차량의 거리 정보이다. 여기서 표현되는 거리는 2차원 좌표값이다. 최종으로 그림 3(c)는 제안 알고리즘의 센서 융합 과

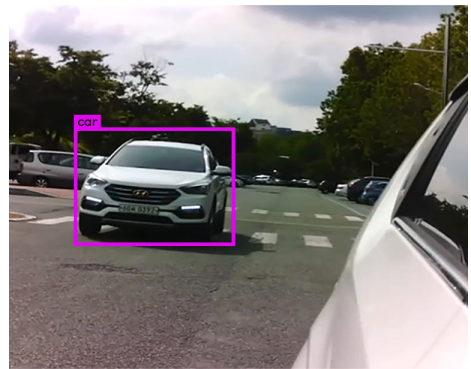


그림 3. (a) 카메라 센서를 이용한 측·후방 차량 검출(분류 정보)

Fig. 3. (a) Vehicle detection on the side and rear using camera sensors (classification information).

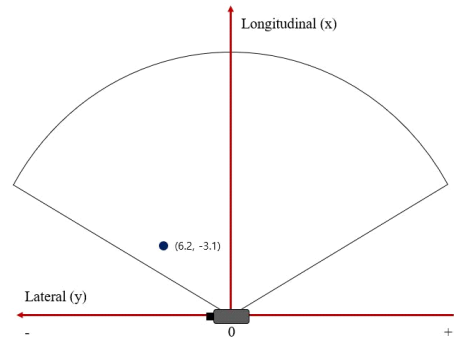


그림 3. (b) 레이더 센서를 이용한 측·후방 차량 검출(2차원 좌표 정보)

Fig. 3. (b). Vehicle detection on the side and rear using radar sensors (2D Coordinate values).

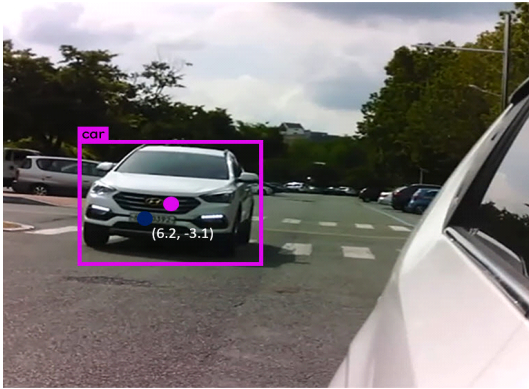


그림 3. (c) 레이더와 카메라 센서의 융합을 통한 측후방 차량 검출
 Fig. 3. (c) Rear side vehicle detection using fusion of radar and camera sensors.

정을 통과한 센서 융합데이터이다. 차량의 분류 정보와 거리 정보가 하나로 융합되며 분류 정보로 표시되는 경계 상자와 변환 행렬을 통해 처리된 레이더 좌표 데이터의 합으로 서로 다른 두 센서를 통해 검출된 차량의 분류 정보와 거릿값을 하나로 표현할 수 있게 된다.

실시간 주행 상황에서 처리된 제안 알고리즘의 레이더와 카메라 센서의 융합은 그림 4와 같이 영상 데이터로 표현할 수 있다. 표현되는 데이터는 객체의 분류 정보와 상대 거릿값이다. 그림 2의 실험 차량을 활용하여 실제 도로에서 주행하는 상황에서 실시간으로 객체 분류 및 센서 융합을 하였다. 약 7,000개의 데이터를 센서 융합 및 경로예측을 위해 사용하였으며, 센서 융합데이터 정확도는 약 95%로 변환 행렬을 사용하여 카메라 좌표계로 변환한 레이더 센서의 데이터가 검출된 차량의 경계 상자에 포함되는 경우 같은 객

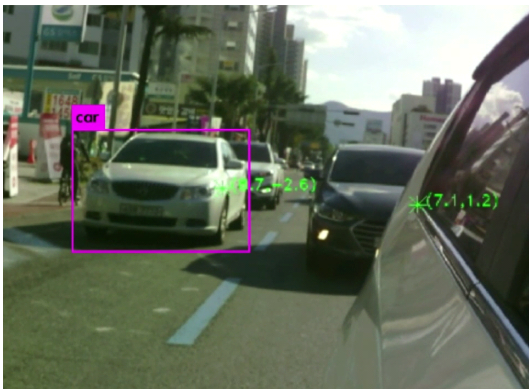


그림 4. 주행하는 상황에서 레이더와 카메라 센서 융합 및 표현되는 데이터 형태
 Fig. 4. Data radar and camera sensor fusion and representation in driving situations.

체로부터 입력된 데이터로 판단하였다. 실제 수집된 데이터에서 정확도를 판별하기 위해 카메라 센서의 데이터를 기준으로 융합하였다. 이는 지면, 가드레일, 벽 등 관심 객체 이외의 객체에서 입력되는 레이더 센서의 데이터 값을 신뢰하기 어렵기 때문이다. 카메라 센서 빛의 영향 또는 그림 4와 같이 실제 차량이 존재하지만, 정확히 분류하지 못하는 경우가 발생한다. 그러므로 차선 변경을 위해 실시간으로 입력되는 주변 차량의 데이터만을 신뢰할 수 없다. 이를 극복하기 위해 센서 융합을 통해 검출된 차량의 정보를 토대로 경로예측을 통해 실제 차량이 이동하는 경로를 사전에 예상하여 차선 변경을 판단하게 된다.

안전한 차선 변경을 위한 경로예측 실험은 두 가지 상황에서 진행되었다. 측·후방에서 다가오는 차량이 1대일 경우와 2대의 차량이 다가오는 상황으로 구분된다. 주변 차량의 예측 경로를 효율적으로 표시하기 위해 레이더 좌표계를 사용하여 실제 차량의 경로와 예측 경로를 비교하였다. 여기서 실제 차량의 위치는 절대 좌표값이 아닌 레이더 센서를 통해 검출된 차량의 상대 위치를 기준으로 한다. 실제 차량을 이용한 주행 시험은 약 5분 내외(약 7,500프레임의 데이터)로 주행 하면서 측·후방 차량을 각 센서를 이용해 검출하고 실시간으로 센서 융합 및 경로를 생성하였다. 그림 5는 전체 데이터 중 843~946프레임과 1,018~1,086프레임에서 측정 및 예측된 결과를 비교하였다. 그림 5(a)는 주변 차량이 1대일 경우 예측된 경로와 실제 차량의 이동 경로를 비교한 결과이다. 여기서 ‘measured’는 레이더 센서만을 이용하여 측정된 주변 차량의 거릿값으로 생성된 실제 차량의 경로이다. ‘predicted’는

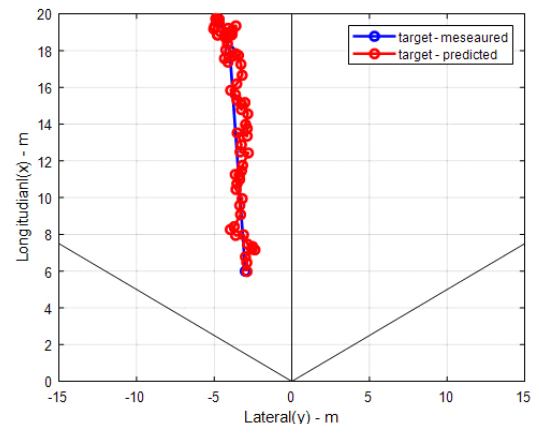


그림 5 (a) 1대의 주변 차량의 경로예측 결과 비교
 Fig. 5 (a) Comparison of path prediction results for one surrounding vehicle.

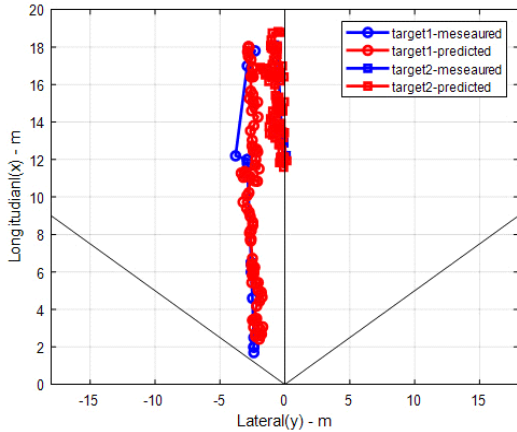


그림 5. (b) 2대의 주변 차량의 경로예측 결과 비교
 Fig. 5. (b) Comparison of path prediction results for two surrounding vehicle.

제안하는 알고리즘을 통해 센서 융합 기반으로 예측된 주변 차량의 경로이다. 실제 경로는 레이더 센서로 입력된 객체의 2차원 좌표 정보에 기반하여 생성되므로 센서 특징으로 인해 중간에 경로가 소실되는 것처럼 보인다. 그림 5(b)는 주변 차량이 2대일 경우 예측된 경로와 실제 차량의 이동 경로를 비교한 결과이다. 측정 파라미터는 그림 5(a)와 일치하며 두 대의 차량의 경로를 예측 및 측정하였다. 횡 방향 거릿값(y)이 0일 때 나타나는 주변 차량의 경로는 가속 후 감속하는 상황으로 경로 구간이 짧게 표시되었다. 제안하는 알고리즘을 통해 생성된 예측 경로는 실제 차량의 경로와 매우 유사한 것을 확인하였다. 제안하는 안전한 차선 변경을 위한 주변 차량의 경로예측 알고리즘을 적용하여 예측한 두 상황의 예측 경로 정확도는 95%

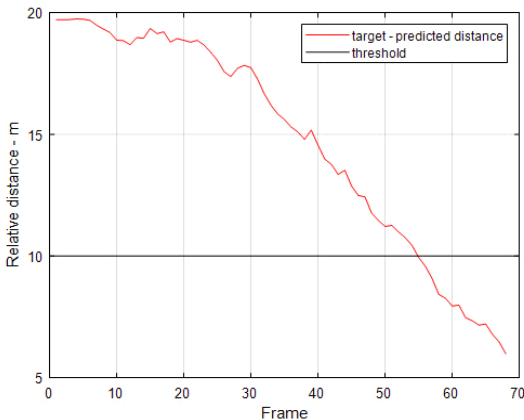


그림 6. (a) 1대의 주변 차량의 예측된 상대 거리
 Fig. 6. (a) The predicted relative distance of one surrounding vehicle.

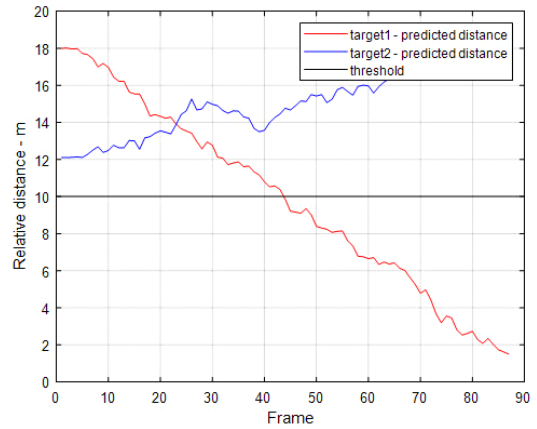


그림 6. (b) 2대의 주변 차량의 예측된 상대 거리
 Fig. 6. (b) The predicted relative distance of two surrounding vehicles.

로 실제 주행하는 상황에서 주변 차량의 이동 반경을 고려했을 때 오차 범위 2m 이내이다. 제안 알고리즘의 안전한 차선 변경 조건은 주변 차량의 상대 거리와 상대속도에 기반하여 판단한다. 그림 6은 주변 차량의 예측 경로를 통해 계산된 상대 거리를 나타낸다. 표시되는 값들은 센서 융합데이터로서 카메라 센서의 단위인 프레임을 기준으로 한다. 그림 6(a)는 측 후방에 1대의 차량이 검출된 상황이며 그림 6(b)는 측 후방에 2대의 차량이 검출된 상황이다. 예측된 상대 거리는 3장의 식(10)을 통해 산출된다. 안전한 차선 변경을 위해 주변 차량은 상대 거리가 10m 이상이며 상대속도가 10km/h 이하일 경우 차선 변경 여부를 승인하게 된다. 이 경우 예측 경로를 통해 안전한 차선 변경 가능 시간이 계산되고 이는 운전자 또는 자율 주행 자동차에 전달되어 차선 변경 중 충돌을 방지하는 중요한 요소로 작용할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 레이더와 카메라 센서의 융합을 통해 주행하는 상황에서 주변 차량을 인지하여 경로를 예측하는 연구를 진행하였다. 센서 융합을 통해 단일 센서의 단점을 보완하고 보다 정확한 주변 차량의 정보를 인식하고 이를 기반으로 주변 차량의 예상 경로를 생성하여 안전한 차선 변경을 판단하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 실제 차량과 센서를 이용하여 주행하는 실험 환경에서 알고리즘 성능을 검증하였다. 제안하는 알고리즘으로 주변 차량의 예측된 경로 정확도는 약 95%로서 거리로 환산할 경

우 측정값과의 평균 0.8m 이내로 도로 폭을 약 2m로 산정했을 때 차선을 벗어나는 치명적인 오차 분류되지 않으므로 신뢰 가능한 결과를 도출하였다.

References

- [1] U. Hofmann, A. Rieder, and E. D. Dickmanns, "Radar and vision data fusion for hybrid adaptive cruise control on highways," *Mach. Vision and Appl.*, vol. 14, no. 1, pp. 42-49, Apr. 2003.
- [2] J. C. McCall and M. M. Trivedi, "Video-based lane estimation and tracking for driver assistance: survey, system, and evaluation," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 7, no. 1, pp. 20-37, Mar. 2006.
- [3] D. C. Shaw and J. Z. Shaw, *Vehicle collision avoidance system*, US Patent 5,529,138, 1996.
- [4] C. Bila, F. Sivrikaya, M. A. Khan, and S. Albayrak, "Vehicles of the future: A survey of research on safety issues," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 18, no. 5, pp. 1046-1065, Sep. 2016.
- [5] S. I. S. J3016, *Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems*, SAE Standard J., 2014.
- [6] J. Choi, S. Ulbrich, B. Lichte, and M. Maurer, "Multi-target tracking using a 3D-Lidar sensor for autonomous vehicles," *16th Int. IEEE Conf. Intell. Transp. Syst.*, pp. 881-886, The Hague, Netherlands, Oct. 2013.
- [7] A. Broggi, S. Cattani, M. Patander, M. Sabbatelli, and P. Zani, "A full-3D voxel-based dynamic obstacle detection for urban scenario using stereo vision," *16th Int. IEEE Conf. Intell. Transp. Syst.*, pp. 71-76, The Hague, Netherlands, Oct. 2013.
- [8] S. Song, Z. Xiang, and J. Liu, "Object tracking with 3D LIDAR via multitask sparse learning," *2015 IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Automat.*, pp. 2603-2608, Beijing, China, Aug. 2015.
- [9] H. Cho, Y.-W. Seo, B. V. Kumar, and R. R. Rajkumar, "A multi-sensor fusion system for moving object detection and tracking in urban driving environments," *2014 IEEE Int. Conf. Robotics and Automat.*, pp. 1836-1843, Hong Kong, China, May 2014.
- [10] A. Asvadi, P. Peixoto, and U. Nunes, "Detection and tracking of moving objects using 2.5D motion grids," *2015 IEEE 18th Int. Conf. Intell. Transp. Syst.*, pp. 788-793, Las Palmas, Spain, Sept. 2015.
- [11] A. Rangesh and M. M. Trivedi, "No blind spots: Full-surround multi-object tracking for autonomous vehicles using cameras & LiDARs," *IEEE Trans. Intell. Veh.*, vol. 4, no. 1, pp. 588-599, Aug. 2018.
- [12] J. Ji, A. Khajepour, W. W. Melek, and Y. Huang, "Path planning and tracking for vehicle collision avoidance based on model predictive control with multiconstraints," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 66, no. 2, pp. 952-964, Apr. 2016.
- [13] A. Khosroshahi, E. Ohn-Bar, and M. M. Trivedi, "Surround vehicles trajectory analysis with recurrent neural networks," *2016 IEEE 19th Int. Conf. Intell. Transp. Syst.*, pp. 2267-2272, Rio de Janeiro, Brazil, Nov. 2016.
- [14] J. Kim, D. S. Han, and B. Senouci, "Radar and vision sensor fusion for object detection in autonomous vehicle surroundings," *2018 Tenth Int. Conf. Ubiquitous and Future Networks*, pp. 76-78, Prague, Czech Republic, Jul. 2018.
- [15] J. Redmon and A. Farhadi, "YOLO9000: Better, faster, stronger," in *Proc. IEEE conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 7263-7271, Honolulu, HI, USA, Jul. 2017.
- [16] C. Visvikis, T. L. Smith, M. Pitcher, and R. Smith, *Study on lane departure warning and lane change assistant systems*, Transport Research Laboratory Project Rpt PPR 374, Apr. 2020.

김 지 훈 (Jihun Kim)



2017년 2월 : 한밭대학교 정보통신공학 학사
2019년 2월 : 경북대학교 모바일통신공학 석사
2019년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정
<관심분야> 인공지능, 센서 융합, 차량 통신

[ORCID:0000-0002-9076-3639]

한 등 석 (Dong Seog Han)



1987년 : 경북대학교 전자 공학과 졸업
1989년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학 석사
1993년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학 박사
1996년~현재 : 경북대학교 전자공학과 교수

<관심분야> 통신 신호처리, 차량 통신용 네트워크, 레이더 및 소나 신호 검파, 인공지능

[ORCID:0000-0002-7769-0236]