< 기술논문 >

센서융합 검증을 위한 실시간 모니터링 및 검증 도구 개발

김 현 우* · 신 승 환 · 배 상 진

현대오토론 주행제어팀

Development of a Monitoring and Verification Tool for Sensor Fusion

Hyunwoo Kim* · Seunghwan Shin · Sangjin Bae

Hyundai-Autron Company, Mtek IT Tower, 344 Pangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi 463-400, Korea

(Received 31 October 2013 / Revised 13 January 2014 / Accepted 13 January 2014)

Abstract : SCC (Smart Cruise Control) and AEBS (Autonomous Emergency Braking System) are using various types of sensors data, so it is important to consider about sensor data reliability. In this paper, data from radar and vision sensor is fused by applying a Bayesian sensor fusion technique to improve the reliability of sensors data. Then, it presents a sensor fusion verification tool developed to monitor acquired sensors data and to verify sensor fusion results, efficiently. A parallel computing method was applied to reduce verification time and a series of simulation results of this method are discussed in detail.

Key words : Autonomous emergency braking(긴급제동), Smart cruise control(지능형 순항 제어), Sensor fusion(센서 융합), Parallel computing(병렬 컴퓨팅), Radar(레이더), Vision(비전)

Nomenclature

- A : standard deviation, σ
- B : variance, σ^2
- C : sensor distribution, σ^{-2}

1. 서 론

최근 운전자의 운전 편의성을 증대시키기 위해 지능형 순항 제어(Smart Cruise control, SCC), 긴급제동 시스템(Autonomous Emergency Braking, AEB), 차선이탈경보 시스템(Lane Departure Warning System, LDWS),¹⁾ 사각 탐지 시스템(Blind-spot Detection System, BDS) 등과 같은 다양한 첨단 운전자 보조

시스템(Advanced Driver Assistance System, ADAS)의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 리서치 기관인 Frost & Sullivan 보고서에 의하면, 한국의 ADAS 매출은 2011년 2,760만 달러에서 2018년 5억 960만 달러로 늘어날 것으로 예상하고 있다. 이 전망은 향후 ADAS 시스템이 자동차에서 차지하는 비중이 상당히 증가할 것이라는 것을 대변해주고 있다. 기본적으로 ADAS 시스템은 다양한 형태의 센서들을 컴포넌트로 하여 구성된다. 센서들은 차량 주변 환경(차량, 물체, 장애물 등)에 대한 정보를 인지하며, 이러한 데이터들은 ADAS 시스템에 기초 데이터로 활용되기 때문에 센서 데이터는 시스템에서 중요한 요소로 작용한다. 따라서, 센서 데이터에 대한 신뢰도를 높일 필요가 있으며, 현재 센서의 신뢰도를 증가시키기 위한 센서 융합 관련 기술들이 개발되고 있다.

SCC/AEB 시스템의 경우, 현재 레이더 및 비전의 두 가지 센서를 기반으로 개발이 이루어지고 있다.

*A part of this paper was presented at the KSAE 2013 Annual Conference and Exhibition

*Corresponding author,

E-mail: HyunWoo.Kim@hyundai-autron.com

SCC/AEB 시스템은 이 두 센서를 이용해 전방 물체를 식별하여 제어를 수행하게 된다.^{7,8)} 레이더와 비전센서를 이용한 센서 융합은 센서가 융합되는 단계(Low/High/Hybrid level)와 이를 처리하는 방식(동기/비동기)에 의해 구분이 가능하다.²⁾ Low level 센서 융합은 각 센서의 raw 데이터를 조합하여 새로운 raw 데이터 정보를 생성하는 것을 말하며, high level 센서 융합은 센서 개별적으로 정보를 처리한 이후의 데이터를 활용하는 센서 융합 방법이다. Hybrid level 센서 융합은 두 가지의 융합 방법을 접목시켜 개별 센서 결과로 각 센서의 raw 데이터 처리에 영향을 주는 방법을 말한다. 센서 융합 처리 방식은 low level 센서 융합을 동기적으로 처리하는 방식,³⁾ high level 센서 융합을 동기적으로 처리하는 방식⁴⁾과 비동기적으로 처리하는 방식이 있으며, 이와 관련된 연구들이 수행되어 왔다.

센서 데이터를 융합하여 신뢰도 있는 데이터를 생성하는 것도 중요하나, 생성된 센서 융합 데이터의 검증 또한 중요한 사항이다. 기존의 센서 융합 관련 연구들은 시나리오 기반으로 주행 데이터를 확보하여, 센서 데이터와 융합 결과를 비교하는 검증 방식을 많이 채택하였다. 하지만, 시나리오 기반 검증방법은 다양하게 발생 할 수 있는 주행 상황 및 조건들을 모두 반영하기에는 한계가 발생한다. 본 논문에서는 시나리오를 설정하여 주행 데이터를 확보하는 방식이 아닌 선행차량과 주행차량에 데이터 취득 장비를 구비한 상태에서 조건에 상관없이 일반 주행 상황에 대한 데이터를 최대한 많이 확보하는 방법으로 진행하였다. 즉, 날씨, 도로 조건, 교통 상황 등 다양한 주행 상황에서 데이터를 취득하고, 이 데이터를 기반으로 생성된 센서 융합 결과를 검증하였다.

본 논문에서는 레이더 센서, 비전 센서 정보 및 센서 융합된 정보를 실시간으로 모니터링하고, 센서 융합 결과를 효과적으로 검증할 수 있는 도구를 개발하였다. 센서 융합 방법으로는 Bayesian 기법을 적용하였으며, DGPS (Differential DGPS) 장비를 이용하여 주행차량과 선행차량의 절대적 위치를 기반으로 센서 데이터 정보들의 정확성을 측정하였다. 또한, 방대한 양의 검증 데이터를 빠르고 효율적으

로 검증하기 위해 병렬 컴퓨팅(parallel computing) 기능을 적용 및 구현하였다.

2. 센서 융합 방법

Bayesian 기법은 복수의 센서를 조합하는데 유용한 센서 융합 기법이다. Bayesian 센서 융합 기법은 각 센서로부터 취득하는 위치 추정 정보에 미리 정의한 분포도를 이용하여 최적의 위치 추정치를 계산하는 방법이다.⁵⁾

일반적으로 Bayesian 센서 융합은 여러 센서의 정보의 혼합으로부터 최적의 위치를 얻어내고자 하는 방법으로, 두 개의 센서(Z_1, Z_2)에 대해, H 를 위치 정보, σ 를 센서의 측정 표준편차, Z 를 센서의 측정 정보라고 한다면, Bayesian 기법에 근거한 최적 위치 추정치 $\hat{H}$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.⁶⁾

$$\hat{H} = \frac{\sigma_1^{-2} \cdot Z_1 + \sigma_2^{-2} \cdot Z_2}{\sigma_1^{-2} + \sigma_2^{-2}} = \frac{\sum_i \sigma_i^{-2} \cdot Z_i}{\sum_i \sigma_i^{-2}} \quad (1)$$

두 개의 센서를 각각 레이더(radar)와 비전(vision)이라고 한다면, 식 (1)은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\hat{H} = \frac{\sigma_{\text{radar}}^{-2} \cdot Z_{\text{radar}} + \sigma_{\text{vision}}^{-2} \cdot Z_{\text{vision}}}{\sigma_{\text{radar}}^{-2} + \sigma_{\text{vision}}^{-2}} \quad (2)$$

즉, 최적 위치 추정치 $\hat{H}$ 는 레이더 및 비전 센서 측정 정보에 해당 센서 분포도 역수인 σ^{-2} 를 가중치로 곱하여, 이를 가중 평균한 결과로 나타낸다. 결과적으로, $\hat{H}$ 는 큰 가중치 값을 갖는 센서의 영향을 많이 받게 된다.

최초 비교 데이터 취득 시에는 레이더 측정 정보와 비전 센서 측정 정보에 동일한 가중치를 부여하여 센서 융합을 실시하였다. 그 이후 DGPS 위치 정보와 레이더 센서 및 비전 센서의 측정 정보의 오차를 이용하여 각각의 분포도를 계산하고, 이 결과 값을 가중치로 다시 적용하여 센서 융합을 실시하여 그 차이를 확인하였다.

3. 센서 융합 검증 도구

3.1 도구 개요

센서 융합 데이터를 육안을 통해 실시간으로 확

Fig. 1 Sensor fusion tool display

인하고, 레이더 및 비전 센서 측정 데이터와 동시에 비교할 수 있는 센서 융합 검증 도구를 개발하였다. 이 도구는 기존 상용화된 레이더 및 비전 센서 제조업체들이 제공하고 있는 센서 지원 도구의 기본적인 기능들을 포함하면서, 센서 융합 기법을 이용해 계산된 센서 융합 데이터까지 표현할 수 있도록 개발되었다. 또한, 센서 융합 결과에 대한 자동 검증 기능을 포함하고 있다. Fig. 1은 센서 융합 검증 도구의 기본 화면 UI를 나타낸다.

3.2 개발 요구사항

센서 융합 검증 도구 개발에 있어 중요한 요구사항은 다음과 같이 정의된다.

- 1) 레이더와 비전 센서의 경우, 센서 내부적으로 처리된 측정 정보들을 CAN 통신을 이용해 출력하기 때문에, 개발 도구는 두 센서의 CAN 통신 데이터를 읽어 들여야 한다.
- 2) 측정된 레이더와 비전 센서 정보뿐만 아니라, 센서 융합 결과를 동시 혹은 선택적으로 모니터링 가능해야 한다.
- 3) 레이더 센서, 비전 센서, 센서 융합 데이터의 신뢰도를 측정하기 위해 이들 값들과 비교할 수 있는 절대적 위치 값을 확보하여 검증해야 한다.

- 4) 센서 융합 검증 시간을 효율적으로 단축하는 기능이 포함되어야 한다.

3.3 주요 기능

레이더 및 비전 센서로부터 측정되는 선행차량까지의 상대거리, 각도 데이터를 위치 좌표 값으로 변환하여 Fig. 2의 tracking 화면과 Fig. 3의 카메라 영상 화면에 데이터가 오버레이 되도록 표시하였다. 센서 융합 데이터도 마찬가지로 방식을 이용하여 화면에 표시할 수 있도록 하여, 실제 주행 차량의 전방 환경을 감지한 결과와 센서 융합된 데이터를 육안으로 확인할 수 있도록 하는 모니터링 기능을 개발하였다. 이 기능을 통해 실제 센서 데이터와 센서 융합 결과 데이터의 직관적인 비교가 가능하다.

영상의 경우, 실시간 카메라 영상에 데이터를 오버레이하는 화면, 주행 중 영상을 기록할 수 있도록 지원하는 화면, 그리고 기록된 영상 데이터를 재생하는 화면을 제공하여 실시간 확인뿐만 아니라 기록된 데이터를 어떠한 시점에서도 확인이 가능하도록 하는 기능도 포함하고 있다.

상용화된 레이더 센서 및 비전 센서의 경우, low level에서 처리되는 감지 알고리즘의 수정이 어렵기 때문에, 기존 raw 데이터 정확도를 검증해 보기 위해

Fig. 2 Sensor data tracking (road)

Fig. 3 Sensor data tracking (camera)

DGPS 정보를 이용하였다. DGPS (Differential DGPS)는 미리 정확하게 측정된 고정위치에서 GPS 위성신호를 수신해 위치오차를 줄인 후 사용자에게 전송하고, 사용자는 GPS신호에서 수신한 DGPS 신호를 보정해 보다 정확한 위치를 알려주는 기술을 말한다. DGPS의 위치 오차는 항법 장비의 경우 대략 10mm 이내, 데이터 취득용 장비 또는 해양 측량용 장비의 경우는 1m 정도가 된다. 본 논문의 실험에서는 2cm 정도의 위치 정확도를 가진 DGPS 장비를 사용한다. DGPS는 위성시간, 위도, 경도, 속도, 진행방향 각도 등의 정보만을 제공해주기 때문에, 센서 데이터와 비교를 위해서는 두 대의 DGPS 정보를 이용하여 상대거리와 각도 값을 구해야 한다. 따라서, DGPS를 주행 차량 및 선행 차량 각각에 설치하고, 서버 통신을 이용해 두 차량의 GPS 정보를 모두 취득하는 기능을 사용한다. 취득 데이터는 도구 내에서 상대거리 및 각도 데이터 형태로 변환된다. 선행

Fig. 4 DGPS client

Fig. 5 DGPS server

차량에 장착된 DGPS에서 취득하는 정보들은 Fig. 4의 client를 통해 Fig. 5의 server로 GPS 정보를 전송하게 된다.

Fig. 6에서는 선행차량 및 자차량에서 전송되는

Fig. 6 DGPS data monitoring

DGPS 데이터를 모니터링하고, 현재 각 차량의 위치를 지도상에 표시하는 화면을 보여준다.

두 차량에 장착된 DGPS 장비와 레이더 및 비전 센서로부터 데이터가 출력되는 실험 환경만 구축이 되면 도구를 이용한 센서 융합 자동 검증이 가능하기 때문에, 다양한 주행 환경에서의 주행 데이터 취득이 용이한 장점이 있다. 하지만, 취득되는 데이터 만큼 검증하고자 하는 데이터의 양 또한 늘어나기 때문에, 증가하는 검증 데이터를 효율적으로 검증해야 할 필요가 있다. 센서 융합 검증 도구에서는 이러한 검증 시간을 효율적으로 단축시키기 위해 parallel computing 기법을 적용한다. Parallel computing 기법은 여러 개의 프로세서를 이용하여 작업을 병렬로 나누어 수행함으로써 고성능 연산이 가능하기 때문에, 방대한 데이터 크기의 양을 검증하는데 효과적이다. 데이터를 프로세스 개수만큼 나누어 병렬로 처리하기 때문에 프로세서의 개수만큼의 시간 단축 효과를 기대할 수 있다. Fig. 7은 자동 검증을 수행하는 화면을 보여준다.

도구의 센서 융합 검증 기능을 사용하기 위해서는 레이더와 비전 센서 데이터뿐만 아니라 센서 융합된 데이터도 함께 입력되어야 한다. 즉, SCC/AEB 시스템에서 센서 융합 데이터를 생성하여 보내줄 수 있어야 한다. 하지만, 개발된 센서 융합 검증 도구에서는 센서 융합을 입력 값으로 전달하는 수단이 없이도 센서 융합의 검증이 가능하다. Matlab/Simulink

모델 형태로 센서 융합 기법을 라이브러리(dll)화하여 도구와 연동한다. 그러면 레이더와 비전에서 들어오는 데이터는 이 라이브러리를 통해 센서 융합 데이터가 생성되어, 별도의 센서 융합 데이터 입력 없이 센서 융합 기법의 검증이 가능하다.

또한, 센서 융합 도구에는 기본적으로 주행 차량 속도와 yaw rate 값, 센서 융합 데이터 정보, 그리고 주행 차량 GPS 정보 등이 표시되도록 메인 화면이 구성되어 있다.

4. 센서 융합 검증

4.1 검증 방법

먼저, 센서 융합을 실시하기 위해 주행 데이터를 취득한다. 취득한 데이터를 기반으로 레이더 센서 및 비전 센서의 분포도 값을 산정하기 위해서 레이더 센서와 비전 센서의 상대 거리 및 각도 값의 가중치를 균등하게 설정하고 최초 센서 융합을 실시한다.

그 이후, 주행 시 취득한 DGPS 위치 정보와 레이더/비전 센서의 측정 정보 오차를 계산한다. 오차의 계산은 센서 융합 검증 도구에서 자동으로 수행된다. 계산된 레이더와 비전 센서 오차 값을 이용해 표준편차 및 분산(분포도) 값을 구한다. 계산된 분포도 값의 역수 값을 가중치로 재설정하여 센서 융합을 다시 실시한다. 가중치 값을 균등하게 반반씩 설정했을 때의 센서 융합 값과 레이더 및 비전 센서의 분포도를 구했을 때의 센서 융합 값을 비교하여 얼마 정도의 값 차이가 발생하는지 확인한다. 즉, 분포도 계산 값을 피드백하여, 센서 융합을 실시함으로써 센서 융합 데이터 값의 오차가 어떻게 변화하는지의 경향을 파악한다.

센서 융합 검증 도구에서는 Fig. 8과 같이 센서 융합 데이터와 GPS 데이터 차이를 모니터링 할 수 있으며, 차이 정보를 포함한 데이터를 자동으로 생성하여 표시해준다.

Parallel computing 기법을 이용한 시간 단축 효율성을 알아보기 위해 도구 기능에 포함된 검증 시뮬레이션 기능을 이용하여 1시간, 5시간, 10시간, 15시간, 20시간의 주행 데이터를 single computing과 parallel computing으로 각각 시뮬레이션을 실시하여 시간을 측정하고, 이에 따른 시간 효율을 계산한다.

Fig. 7 Parallel computing simulation

Fig. 8 Sensor fusion vs. GPS data

4.2 검증 결과

Table 1에서는 센서 융합 데이터 생성을 위해 레이다와 비전 센서의 가중치를 각각 0.5로 설정하여 주행했을 때의 평균 오차와 이 결과를 바탕으로 계산된 가중치를 반영한 평균 오차를 나타낸다. 가중치에 따른 센서 융합 데이터의 평균 오차를 비교한 결과, 센서 융합 상대거리 표준편차 1.39는 1.35로, 각도에 대한 표준편차는 0.80에서 0.79로 편차가 각각 줄어든 것을 확인할 수 있다.

총 5개(1시간, 5시간, 10시간, 15시간, 20시간)의 주행 데이터를 검증 시뮬레이션 기능을 수행하여 자동 검증한 결과, Table 2와 같이 single computing으로 시뮬레이션을 수행한 시간보다 parallel computing 기법을 적용했을 때의 시뮬레이션 시간이 평균 72% 정도 단축된 것으로 나타났다. 만약, 1년 동안의 누적 주행 시간 데이터가 2,000시간이라고 가정한다면, single computing으로는 12.6시간의 검증 시

Table 1 Sensor distribution & sensor fusion standard deviation

가중치 적용	정보	가중치($1/\sigma^2$)		센서 융합 표준편차
		레이더	비전	
전	상대거리	0.5	0.5	1.39
	각도	0.5	0.5	0.80
후	상대거리	0.61	0.38	1.35
	각도	0.59	0.41	0.79

Table 2 Verification reduction time (%)

	주행시간	Single (sec)	Parallel (sec)	시간 효율(%)
1	1시간	22.7	6.1	72.91
2	5시간	52.7	13.4	74.5
3	10시간	103.2	29.9	71.04
4	15시간	153.8	47.0	69.39
5	20시간	204.4	56.5	72.35
평균				72.04

간이 소요되겠지만, parallel computing 기능을 사용하는 경우에는 3.3 시간 정도로 대폭 줄일 수 있을 것이다. 즉, 검증하는 데이터의 크기가 커질수록 시간 단축 효과는 더 증가할 것이라 예상된다.

5. 결 론

SCC/AEB 시스템 개발을 지원하기 위해 각 센서에 특화된 지원 도구의 한계를 넘어 레이다와 비전 센서를 동시에 모니터링하고, 센서 융합 데이터를 효율적으로 검증하기 위한 센서 융합 검증 도구를 개발하였다. 센서 융합 데이터 생성은 Bayesian 기법을 이용했으며, 이 데이터를 절대적 위치를 갖는 DGPS 데이터와 비교하여 그 정확성을 측정하였다. 실 주행 데이터(레이더 및 비전 센서 데이터)를 기반으로 각 센서의 분포도를 계산하였으며, 계산된 가중치를 이용하여 센서 융합 실시 결과를 비교하였다.

Parallel computing 기법을 이용해 센서 융합 데이터 검증 시뮬레이션을 실시하였으며, 수행 결과 약 72% 정도의 검증 시간이 단축되었다. 이 시뮬레이션 기능을 더 많은 CPU코어를 가진 장비에서 수행한다면 더 많은 시간이 단축될 것이라 예상한다.

센서 융합 모니터링 및 검증 개발 도구가 향후 SCC/AEB 시스템을 비롯한 ADAS 관련 시스템을 개발하는데 있어, 개발 지원 도구로써 광범위하게 응용될 수 있도록 레이다 및 비전 센서를 비롯한 더 다양한 센서 정보 처리 기능과 더불어 추가적으로 시스템 개발에 필요한 기능 요구사항을 반영하여 센서 융합 검증 도구를 개선해 나가고자 한다.

References

- 1) H. Kim, D. Lim and B. Song, "Multiple Vehicle

- Recognition Based on Radar and Vision Sensor Fusion for Lane Change Assistance,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.969-974, 2013.
- 2) F. Liu, J. Sparbert and C. Stiller, “IMMPDA Vehicle Tracking System Using Asynchronous Sensor Fusion of Radar and Vision,” IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.168-173, 2008.
- 3) B. Steux, C. Laureau, L. Salesse and D. Wautier, “Fade: A Vehicle Detection and Tracking System Featuring Monocular Color Vision and Radar Data Fusion,” IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.632-639, 2002.
- 4) A. Sole, O. Mano, G. P. Stein, H. Kumon, Y. Tamatsu and A. Shashua, “Solid or Not Solid: Vision for Radar Target Validation,” IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.819-824, 2004.
- 5) J. K. Hackett and M. Shah, “Multi-sensor Fusion: a Perspective,” Proc. of IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.1324-1330, 1990.
- 6) M. Y. Kim, S. T. Ahn and H. S. Cho, “Bayesian Sensor Fusion of Monocular Vision Laser Structured Light Sensor for Robust Localization of a Mobile Robot,” Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol.16, No.4, pp.381-390, 2010.
- 7) S. Lee and B. Song, “Situation Awareness based Primary Vehicle Detection using Radar and Vision Sensor Fusion,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.821-826, 2012.
- 8) K. Choi, H. Jin, S. Jeong and J. Oh, “Radar and Camera Data Association Scheme Using Adaptive Gating Algorithm in Sensor Fusion System,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.1703-1706, 2011.