

초목을 포함한 도로 환경에서의 필터링 기반 주행 가능 영역 검출 방법 및 하드웨어 구조

김영현*, 하지석*, 최철호*, 문병인***
*경북대학교 일반대학원 전자전기공학부
**경북대학교 IT대학 전자공학부

young1993@knu.ac.kr, jsh02016@knu.ac.kr, qwe0725@knu.ac.kr, bihmoon@knu.ac.kr

A Method and Hardware Architecture of Drivable Area Detection Based on Filtering in Road Environment Including Vegetation

Younghyeon Kim*, Jiseok Ha*, Cheol-Ho Choi*, Byungin Moon***

*School of Electronic and Electrical Engineering,
Kyungpook National University

**School of Electronics Engineering, Kyungpook National University

요 약

초목을 포함한 도로 환경에서, 초목 영역은 도로의 특성과 매우 유사하므로 주행 가능 영역으로 판단될 수 있다. 또한, 도로 검출을 위한 대부분의 U-V 시차 기반 하드웨어 시스템에서는 한 프레임의 시차가 모두 입력되기 전까지 다음 단계의 연산을 수행할 수 없는 문제가 있다. 이에 본 논문에서는 간단한 필터링 기법을 적용하여 초목을 포함한 도로 환경에서 즉각적으로 주행 가능 영역을 검출하는 방법 및 그 하드웨어 구조를 제안한다. 제안하는 방법은 93.08%의 정확도를 보인다. 또한, 제안하는 하드웨어 구조는 기존 방법보다 Slice LUTs 기준 60.26% 및 Slice Registers 기준 53.62% 적은 하드웨어 자원을 사용한다.

1. 서론

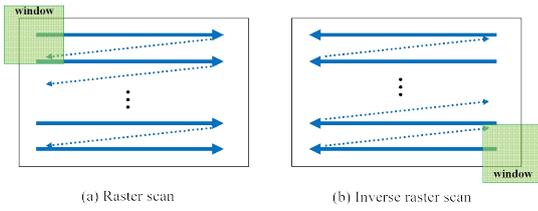
최근 자율주행 기술의 필요성이 증대함에 따라 Advanced Driver Assistant System (ADAS) 기술이 빠르게 발전하고 있다[1]. ADAS 주요 기술 중 하나인 전방 충돌 방지 보조(forward collision avoidance assist) 시스템은 주행 중에 발생 가능한 충돌을 사전에 방지하기 때문에 운전자의 안전과 편의성을 위해 필수적으로 요구되는 기술이다[2]. 전방 충돌 방지 보조 시스템을 구현하기 위해서는, 차량이 주행할 수 있는 영역을 실시간으로 정확하게 인지하는 것이 중요하다. 주행 가능 영역을 실시간으로 검출하기 위해 U-V 시차(U-V disparity) 방법을 하드웨어로 구현하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다[3-4]. 그러나, 하드웨어 플랫폼에 사용되는 일반적인 카메라 시스템에서는 래스터 스캔(raster scan) 방법으로 픽셀이 입력되므로 U-V 시차 방법을 사용하는 구조에서 시차 영상의 한 프레임이 모두 입력되기 전까지 다음 프로세스의 연산을 수행할 수 없는 단점이 있다[5]. 또한, 시골길과 같은 도로 환경은 일반적으로 초목(vegetation)을 포함하고 있으며, 초목 영역은 도로의 특성과 유사하게 시차 값이 시차 영상의

v 축 좌표에 따라 증가하는 경향을 보인다[6]. 이로 인해 초목 영역이 주행 가능 영역으로 검출될 경우, 주행 가능 영역 검출 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이에 본 논문에서는 간단한 필터 연산을 통해 래스터 스캔 방법으로 입력되는 픽셀을 즉각적으로 처리할 수 있으며, 초목 영역 제거를 통해 높은 정확도를 갖는 주행 가능 영역 검출 방법 및 하드웨어 구조를 제안한다.

2. 주행 가능 영역 검출 방법

본 논문에서 제안하는 방법은 그림 1과 같은 역 래스터 스캔(inverse raster scan) 방법[7]을 기반으로 순차적으로 입력되는 시차 및 색상 정보를 통해 영상에서 주행 가능 영역을 검출한다.

일반적인 도로 환경에서 도로의 시차 값은 시차 영상의 세로축 좌표에 따라 증가하는 경향이 있다. 이로 인해 도로 영역의 세로 방향 시차 값 차이는 객체 영역의 시차 값 차이보다 크다. 따라서 본 논문에서는 도로의 특징을 활용하여 간단한 필터링 연산을 통해 주행 가능 영역을 검출한다.



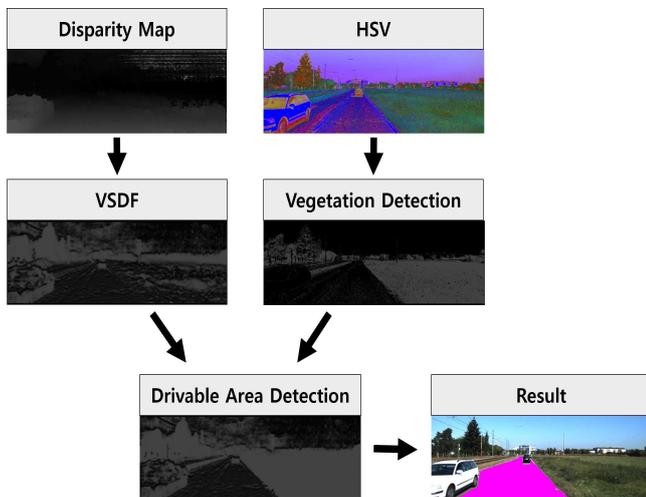
(그림 1) 역 래스터 스캔 방법

제안하는 방법의 순서도는 그림 2와 같다. 제안하는 방법은 Vertical Symmetric Difference Filter (VSDF)를 활용하여 주행 가능 영역을 검출하기 위한 연산을 수행한다. VSDF를 통한 $Cost_{VSD}$ 는 수식 (1)을 통해 계산된다.

$$Cost_{VSD} = \sum_{i=-\frac{w_u-1}{2}}^{\frac{w_u+1}{2}} \sum_{j=1}^{\frac{w_v-1}{2}} \exp(-\frac{1}{2}(d(u+i,v+j)-d(u+i,v-j))^2) \quad (1)$$

수식 (1)에서, $d(u,v)$, w_u , w_v 는 각각 중심 좌표 시차 값, 윈도우(window)의 가로 방향 크기, 윈도우의 세로 방향 크기를 나타낸다.

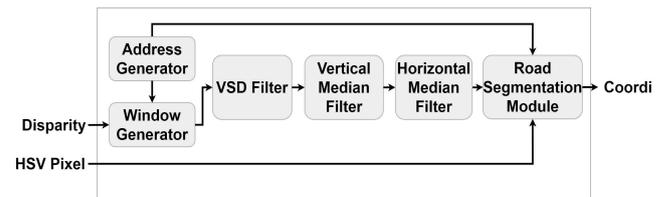
초목 영역은 도로와 마찬가지로 시차 영상의 v 축 좌표에 따라 증가하는 경향이 있다. 이로 인해 초목 영역 또한 주행 가능 영역으로 검출될 수 있다. 이에 본 논문에서는 초목 영역에 의해 발생하는 오검출을 배제하기 위해 원본 영상의 색 공간을 특정 색 검출에 용이한 Hue, Saturation and Value (HSV) 색 공간으로 변환한 후 초목을 검출한다. 최종적으로 픽셀 단위로 HSV 및 VSDF 연산을 수행하며, 각 행의 좌표에서 $Cost_{VSD}$ 가 처음으로 임계 값(threshold value)을 초과하는 열 좌표를 도로의 상단부 좌표로 판단한다.



(그림 2) 제안하는 주행 가능 영역 검출 방법의 순서도

3. 제안하는 하드웨어 구조

제안하는 전체 하드웨어 구조는 그림 3과 같다. 제안하는 하드웨어 구조는 Address Generator, Window Generator, VSD Filter, Vertical Median Filter (VMF), Horizontal Median Filter (HMF)와 Road Segmentation Module로 구성된다. Address Generator는 현재 연산이 수행되는 좌표 정보를 산출한다. Window Generator는 VSDF 연산에 수행될 윈도우를 구성한다. VSD Filter는 윈도우를 입력받아 VSDF 연산을 통해 $Cost_{VSD}$ 를 출력한다. VMF 및 HMF는 1차원 메디안 필터링 연산을 각각 수행한다. Road Segmentation Module은 메디안 필터를 통해 잡음이 제거된 $Cost_{VSD}$ 와 입력된 HSV 값을 통해 현재 좌표가 도로인지 판단한다. 현재 좌표가 도로의 상단부 좌표로 판단될 경우, 각 행에서 열 좌표를 저장한 후, 한 프레임의 영상 입력이 끝나면 저장된 각 행의 열 좌표를 출력한다.



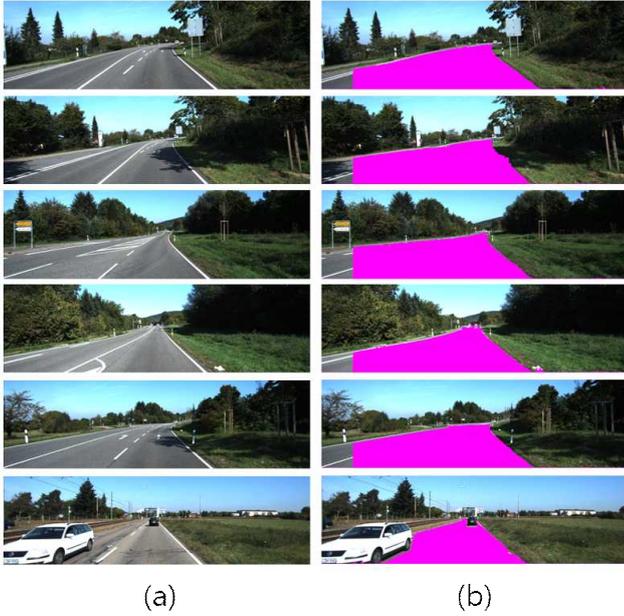
(그림 3) 제안하는 방법의 전체 하드웨어 구조

4. 실험결과

본 논문에서 제안하는 방법의 성능을 검증하기 위해 KITTI 2013 road public dataset[8]에서 초목 영역을 포함하는 95장의 영상을 활용하여 기존 방법[6]과 제안하는 방법의 정확도(accuracy)를 비교하였다. 제안하는 방법은 MATLAB R2019b를 통해 구현되었다. VSDF, VMF와 HMF에 사용된 윈도우 크기는 각각 5×15 , 1×7 , 7×1 로 설정하였다. 표 1은 기존 방법과 제안하는 방법의 정확도 비교 결과를 보여준다. 제안하는 방법의 정확도는 기존 방법보다 5.18%p 증가하였다. 그림 4는 원본 영상과 제안하는 방법의 결과 영상을 보여준다.

<표 1> 주행 가능 영역 검출 결과 비교

Method	Accuracy (%)
Conventional[6]	87.90
Proposed	93.08



(그림 4) (a) 원본 영상, (b) 주행 가능 영역 검출 결과

제안하는 하드웨어 구조의 성능을 분석하기 위해 Xilinx 사의 Vivado 2020.2를 사용하여 Virtex-7 xc7v2000tflg1925-2 칩을 타겟으로 제안하는 하드웨어 구조를 합성하였다. 시스템에 사용된 클럭 주파수는 픽셀 클럭과 동일한 74.25 MHz이며, 영상의 해상도는 1280×720이다. VSD filter, VMF와 HMF의 윈도우 크기는 각 5×15, 1×7, 7×1이다. 표 2는 기존 방법[6]과 제안하는 방법의 합성 결과 비교를 보여준다. 제안하는 하드웨어 구조는 기존 방법에 비해 Slice Registers 기준 60.26% 및 Slice LUTs 기준 53.62% 적은 하드웨어 자원을 사용한다.

기존 방법[6]에서는 열 단위로 V-시차 맵을 생성하므로, 이를 위해 한 열의 시차 영상을 입력받은 후에 각 열의 대표 시차값 탐색 및 도로 검출을 수행한다. 반면에, 제안하는 구조는 시차 값을 입력받음과 동시에 필터링 연산을 수행할 수 있다. 따라서, 제안하는 방법은 기존 방법[6] 대비 영상의 행 길이 만큼 적은 clock cycle 수를 갖는다.

<표 2> 기존 방법과 제안하는 방법의 하드웨어 자원 사용량 비교

	Conventional [6]		Proposed	
	Utilization	Available	Utilization	Available
Slice Registers	10180	2443200	4046	2443200
Slice LUTs	14173	1221600	6574	1221600

5. 결론

본 논문에서는 초목을 포함한 도로 환경에 적합한 필터링 기반 주행 가능 영역 검출 방법 및 하드웨어 구조를 제안하였다. 제안하는 방법은 한 프레임의 영상이 전부 입력될 때까지 대기할 필요 없이 필터링 연산에 필요한 영상 데이터만 입력되면 즉각적으로 연산을 수행할 수 있다. 따라서, 제안하는 방법 및 하드웨어 구조는 저비용 및 높은 정확도를 요구하는 실시간 임베디드 시스템에 폭넓게 활용될 수 있다.

Acknowledgments

본 연구는 IDEC에서 EDA Tool을 지원받아 수행하였습니다.

이 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2016R1D1A3B01015379)의 연구결과임.

참고문헌

[1] C. Nocera, G. Papotto, A. Cavarra, E. Ragonese and G. Palmisano, "A 13.5-dBm 1-V Power Amplifier for W-Band Automotive Radar Applications in 28-nm FD-SOI CMOS Technology," IEEE transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 69, no. 3, pp. 1654-1660. Mar. 2021.

[2] H.K. Kim, Y. Chung and M. Kim, "Effect of Enhanced ADAS Camera Capability on Traffic State Estimation," Sensors, vol. 21, no. 6. pp. 1-13, 2021.

[3] I. Benacer, A. Hamissi and A. Khouas, "Hardware design and FPGA implementation for road plane extraction based on V-disparity approach," In Proceeding of 2015 IEEE International Symposium on Circuit and Systems (ISCAS), Lisbon, Portugal, 24-27 May 2015, pp. 2053-2056.

[4] M. Grinberg and B. Ruf, "UAV Use Case: Real-Time Obstacle Avoidance System for Unmanned Aerial Vehicles Based on Stereo Vision," Towards Ubiquitous Low-power Image Processing Platforms, Cham, Springer, pp. 139-149, 2021.

[5] S. Kakegawa, H. Matono, H. Kido and T.

- Shima, "Road Surface Segmentation based on Vertically Local Disparity Histogram for Stereo Camera," *Int. J. ITS Res.*, vol. 16, pp. 90-97, 2018.
- [6] S. Lee, J. Hyun, Y. S. Kwon, J. H. Shim and B. Moon, "Vision-sensor-based Drivable Area Detection Technique for Environments with Changes in Road Elevation and Vegetation," *Journal of Sensor Science and Technology*, vol. 28, no. 2, pp. 94 - 100, Mar. 2019.
- [7] J. Zhang, S. Sclaroff, Z. Lin and X. Shen, B. Price and R. Mech, "Minimum Barrier Salient Object Detection at 80 FPS," In *Proceeding of 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, Santiago, Chile, 7-13 Dec. 2015, pp. 1404-1412.
- [8] J. Fritsch, T. Kühnl and A. Geiger, "A new performance measure and evaluation benchmark for road detection algorithms," In *Proceeding of 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Hague, Netherlands, 6-9 Oct. 2013, pp. 1693-1700.