

시차 정제를 위한 분리형 중앙-최댓값 필터

최철호¹, 하지석¹, 문병인^{1,2}

¹경북대학교 일반대학원 전자전기공학부

²경북대학교 IT 대학 전자공학부

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

Separable Median-Max Filter for Disparity Refinement

Cheol-Ho Choi¹, Jiseok Ha¹, Byungin Moon^{1,2}

¹Graduate School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University

²School of Electronics Engineering, Kyungpook National University

요 약

스테레오 정합을 통해 산출되는 초기 시차 영상의 정합 정확도는 고주파 및 잡음 성분에 의해 감소될 수 있다. 또한, 폐색 및 질감이 없는 영역에서 잘못된 정합 결과가 산출됨으로 인해 정합 정확도가 감소될 수 있다. 정합 정확도를 향상시키기 위해 시차 정제에 관한 선행 연구들이 수행되었지만 정제 과정을 통한 정합 정확도 성능과 처리 속도간 트레이드-오프가 존재한다. 이에 본 논문에서는 종래 시차 정제 방법 대비 향상된 처리 속도와 함께 높은 시차 정제 성능을 갖는 분리형 중앙-최댓값 필터를 제안한다. 제안하는 방법의 정제 성능 및 평균 처리 시간을 객관적으로 평가하기 위해 KITTI 2015 stereo benchmark 데이터셋을 사용하였다. 제안하는 방법의 평균 오차율은 비폐색 및 폐색 조건에서 종래 방법 대비 각각 최소 25.61% 및 23.68% 감소되었다. 또한, 제안하는 방법의 처리 속도는 종래 방법 대비 최소 13.29% 향상되었다. 따라서 제안하는 방법은 빠른 처리 속도 및 높은 정확도 성능을 요구하는 스테레오 비전 시스템에 활용될 수 있다.

1. 서론

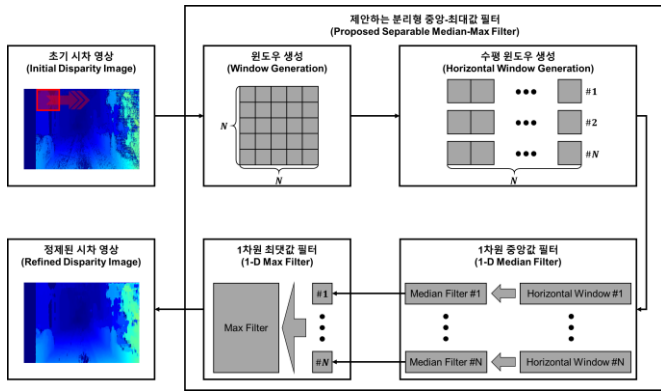
최근 자율주행 시장이 급성장함에 따라 탑승자에게 안전성 및 편의성을 제공해 줄 수 있는 첨단 운전자 보조 시스템(advanced driver assistance system)에 관한 연구들이 활발하게 진행되고 있다 [1,2]. 첨단 운전자 보조 시스템을 구현함에 있어 차량 및 보행자와 같은 객체와의 거리 정보는 필수적이다. 이러한 이유로 인해, 거리 정보로 변환될 수 있는 시차(disparity) 영상을 산출하기 위한 스테레오 정합(stereo matching)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다 [3]. 그러나 스테레오 정합을 통해 산출된 시차 영상의 정확도는 고주파(high-frequency) 및 잡음(noise) 성분에 의해 감소될 수 있다 [4]. 또한, 폐색(occlusion) 혹은 질감이 없는(texture-less) 영역에서의 부정확한 정합 결과로 인해 정확도가 감소한다는 단점이 있다 [5]. 이러한 단점을 극복하기 위해, 시차 정제 과정의 목표 중 하나인 hole-filling 을 수행할 수 있는 가중 중앙값 필터(Weighted Median Filter, WMF)가 폭넓게 활용된다 [6]. 그러나 가중 중앙값 필터는 복잡한 연산 과정으로 인해 실시간 처리가 어렵다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 분리형 가중 중앙값 필터(Separable WMF, sWMF) [7], 회소창 기반 분리형 가중

중앙값 필터(Sparse-window-based sWMF, ssWMF) [8], 다단계 하이브리드 중앙값 필터(Multistage Hybrid Median Filter, MHMF) [9] 등의 후속 연구들이 진행되었다. 그러나 종래 방법들은 정합 정확도 개선폭이 크지 않을 뿐만 아니라, 복잡한 연산 과정으로 인해 여전히 많은 연산량이 요구되므로 실시간 처리가 어렵다.

본 논문에서는 종래 시차 정제 방법 대비 처리 속도와 정합 정확도를 향상시키기 위해 시차 영상의 경향성을 활용하는 분리형 중앙-최댓값 필터(separable median-max filter)를 제안한다.

2. 제안하는 방법

제안하는 방법의 연산 과정은 그림 1 과 같다. 제안하는 방법은 정제된 시차(refined disparity) 영상을 산출하기 위해 시차 영상에서의 수직(vertical) 방향에 대한 시차 값의 경향성(tendency)을 활용한다. 시차 영상은 최상단(top) 좌표에서 최하단(bottom) 좌표 방향으로 갈수록 시차 값이 점진적으로 증가한다는 경향성이 있다 [10]. 점진적으로 증가하는 시차 값의 특성을 활용하기 위해 제안하는 방법은 수직과 수평(horizontal) 방향에 대한 연산을 나누어 수행하는 분



(그림 1) 제안하는 방법의 연산 과정

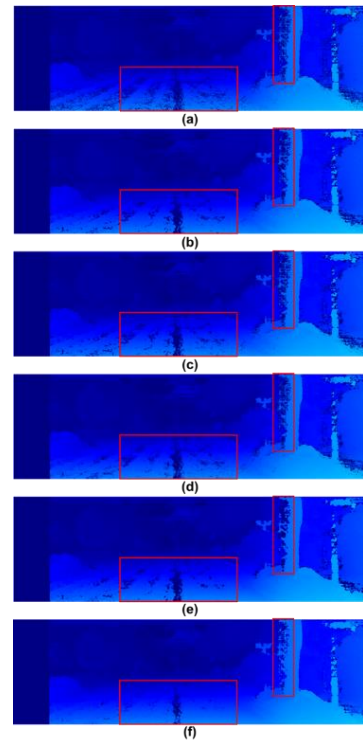
리형 연산 개념을 활용한다 [7]. 분리형 연산을 수행하기 위해 제안하는 방법은 수평 방향에 대해 1 차원 중앙값 필터를 활용함으로써 각각의 수평 윈도우 (horizontal window)에 대한 중앙값을 선정한다. 이후, 선정된 N 개의 중앙값은 1 차원 최대값 필터의 입력값으로 활용된다. 최종적으로 1 차원 최대값 필터를 통해 선정된 최대값을 정제된 시차 영상의 픽셀 값으로 산출한다.

3. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 방법의 시차 정제 성능을 평가하기 위해 KITTI 2015 stereo benchmark 데이터셋[11]을 활용하여 종래 방법과의 평균 오차율(mean error rate)을 비교하였다. 객관적인 성능 평가 및 비교를 위해, MATLAB R2021b 툴의 disparitySGM 내장 함수(built-in function)을 활용하여 초기 시차(initial disparity) 영상을 생성하였다. 내장 함수에 사용된 Disparity Range 와 UniquenessThreshold 파라미터는 각각 [0, 128]과 5 로 설정하였다.

그림 2 는 초기 시차 영상, 종래 방법 및 제안하는 방법을 적용하여 산출한 정제된 시차 영상을 각각 보여준다. 그림 3.(a)의 붉은색 주석 상자(annotation box)에서와 같이 도로와 폐색 영역에서 부정확한 정합 결과로 인한 홀(hole) 영역이 다수 발생하는 것을 확인할 수 있다. 그림 3.(b)-(e)와 같이 종래 방법을 통해 정제된 시차 영상의 경우, 정합 정확도가 향상되지만 붉은색 주석 상자로 표시된 영역에서 여전히 다수의 홀 영역이 존재함을 확인할 수 있다. 반면에 그림 3.(f)와 같이 제안하는 방법을 적용할 경우, 붉은색 주석 상자에서의 홀 영역이 감소함에 따라 종래 방법 대비 정합 정확도가 향상되는 것을 확인할 수 있다.

표 1 은 200 장의 도로 환경 영상으로 구성된 KITTI 2015 stereo benchmark 데이터셋에 대해 제안하는 방법과 종래 방법을 적용하였을 때 산출된 비폐색(non-occlusion) 및 폐색 조건에서의 평균 오차율 성능을 보



(그림 2) 초기 시차 영상 및 정제된 시차 영상:

- (a) 초기 시차 영상, (b) WMF, (c) sWMF,
- (d) ssWMF (e) MHMF, (f) 제안하는 방법

<표 1> 종래 방법 및 제안하는 방법의 평균 오차율

Methods	Mean Error Rate (%)	
	Non-occlusion Condition	Occlusion Condition
WMF	22.76	24.11
sWMF [7]	23.13	24.47
ssWMF [8]	23.75	25.08
MHMF [9]	22.30	23.65
Proposed	16.59	18.05

여준다. 제안하는 방법 및 종래 방법은 5 × 5 크기의 윈도우를 사용하였으며, KITTI 2015 stereo benchmark 에서 제공하는 공인 평가 코드를 사용하여 평균 오차율을 산출하였다. 종래 방법 중, 다단계 하이브리드 중앙값 필터는 비폐색 및 폐색 조건에서 각각 22.30% 및 23.65%의 평균 오차율 성능을 보이며 이는 가장 좋은 성능을 보인다. 제안하는 방법은 비폐색 및 폐색 조건에서 각각 16.59% 및 18.05%의 평균 오차율 성능을 보인다. 제안하는 방법의 평균 오차율 성능은 종래 방법 중 가장 좋은 성능을 보이는 다단계 하이브리드 중앙값 필터 대비 비폐색 및 폐색 조건에서 각각 25.61% 및 23.68% 향상되었다.

표 2 는 AMD Ryzen 5900X 12-Core Processor 를 사용한 소프트웨어 환경에서 산출된 제안하는 방법 및 종래 방법의 평균 처리 시간(mean processing time) 성능

을 보여준다. 다단계 하이브리드 중앙값 필터는 연속적인 중앙값 필터 구조로 인해 많은 처리 시간이 요구된다. 또한, 가중 중앙값 기반 방법들은 결과를 산출하기 위해 필요한 가중치 연산 과정 및 정렬 (sorting) 과정으로 인해 제안하는 방법 대비 많은 처리 시간이 요구됨을 확인할 수 있다. 반면에 제안하는 방법은 가중치 연산이 없는 간단한 연산 구조로 인해 종래 방법 대비 최소 13.29% 향상된 처리 속도 성능을 보인다. 따라서 표 1 과 표 2 의 실험 결과를 종합적으로 고려할 경우, 제안하는 방법은 빠른 처리 속도 및 정확한 정합 결과를 요구하는 스테레오 비전 시스템에 활용될 수 있다.

<표 2> 종래 방법 및 제안하는 방법의 평균 처리 시간

Methods	Mean Processing Time (s)
WMF	3.7966
sWMF	3.1398
ssWMF	2.4914
MHMF	4.1031
Proposed	2.1603

4. 결론

본 논문에서는 스테레오 정합을 통해 산출된 초기 시차 영상을 정제하기 위한 분리형 중앙-최댓값 필터를 제안하였다. KITTI 2015 stereo benchmark 데이터셋에 대해 5×5 윈도우 크기를 적용한 결과, 제안하는 방법의 정합 정확도는 종래 방법 대비 비폐색 및 폐색 조건에서 각각 최소 25.61% 및 23.68% 향상된 성능을 보인다. 또한, 제안하는 방법의 평균 처리 속도는 종래 방법 대비 최소 13.29% 향상되었다. 따라서 제안하는 방법은 빠른 처리 속도 및 높은 정합 정확도를 요구하는 스테레오 비전 시스템에 활용될 수 있다. 해당 연구 내용을 토대로 하드웨어 가속기 구현에 관한 연구를 수행할 예정이다.

Acknowledgement

이 논문은 2022 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2016R1D1A3B01015379)의 연구결과임

참고문헌

- [1] J. Wang, C. Peng, M. Li, Y. Li, and S. Du, "The study of stereo matching optimization based on multi-baseline trinocular model," *Multimedia Tools and Application*, early access, 2022.
- [2] D. Moolchandani, N. Shrivastava, A. Kumar, and S. R. Sarangi, "PredStereo: An Accurate Real-time Stereo Vision System," in *Proceeding of 2022 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, Waikoloa, HI, USA, 2022, pp. 4078-4087.
- [3] S. Du, Y. Liu, M. Zhao, Z. Shi, Z. You, and J. Li, "A comprehensive survey: Image deraining and stereo-matching task-driven performance analysis," *IET Image Processing*, vol. 16, no. 1, pp. 11-28, 2021.
- [4] C. Choi, Y. Kim, J. Ha, and B. Moon, "Haar Filter Hardware Architecture for the Accuracy Improvement of Stereo Vision Systems," in *Proceeding of 2021 18th International SoC Design Conference (ISOCC)*, Jeju, Korea, 2021, pp. 401-402.
- [5] X. Yang, Z. Feng, Y. Zhao, G. Zhang, and L. He, "Edge supervision and multi-scale cost volume for stereo matching," *Image and Vision Computing*, vol. 117, pp. 1-10, 2022.
- [6] Y. Zhang, Y. Gu, K. Huang, C. Zhang, and K. Hu, "Accurate Image-Guided Stereo Matching With Efficient Matching Cost and Disparity Refinement," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 26, no. 9, pp. 1632-1645, 2016.
- [7] S. Chen, X. Zhang, H. Sun, and N. Zheng, "sWMF: Separable weighted median filter for efficient large-disparity stereo matching," in *Proceeding of 2017 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, Baltimore, MD, USA, 2017, pp. 1-4.
- [8] J. Hyun, Y. Kim, J. Kim, and B. Moon, "Hardware-friendly architecture for a pseudo 2D weighted median filter based on sparse-window approach," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 80, pp. 34221-34236, 2021.
- [9] M. Aboali, N. A. Manap, A. M. Darsono, and Z. M. Yusof, "A Multistage Hybrid Median Filter Design of Stereo Matching Algorithms on Image Processing," *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, vol. 10, no. 4, pp. 133-141, 2018.
- [10] R. A. Schowengerdt, "Chapter 8 – image registration and fusion," in *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing 3rd edition*, Netherland, Elsevier, 2007.
- [11] M. Menze, and A. Geiger, "Object scene flow for autonomous vehicle," in *Proceeding of 2015 Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Boston, MA, USA, 2015, pp. 3061-3070.