

논문 2017-54-5-8

# 개선된 정합 비용 및 시차 지도 재생성 기반 지역적 스테레오 정합 기법

## (Local Stereo Matching Method based on Improved Matching Cost and Disparity Map Adjustment)

강 현 련\*, 윤 인 용\*\*, 김 중 규\*

(Hyun Ryun Kang, In Yong Yun, and Joong Kyu Kim<sup>©</sup>)

### 요 약

본 논문에서는 홀 영역과 시차 불연속 영역을 개선하기 위한 스테레오 정합 기법을 제안한다. 스테레오 정합 기법은 두 영상에서의 정합 점을 탐색하여 시차 지도를 추출한다. 하지만 기존의 스테레오 정합 기법들은 스테레오 영상의 베이스 라인 길이에 따라서 정확도와 정밀도가 반비례하는 문제점이 있다. 또한 영상의 폐색 영역과 특징 부족으로 인한 시차 불연속 영역이 존재한다. 제안한 기법에서는 개선된 AD-Census-Gradient 방법과 적응적 가중치 기반의 비용 결함을 통하여 불연속 영역과 오 정합 영역을 개선한 초기 시차 지도를 추출하였다. 그 후에 시차 지도 재생성 과정을 수행하여 오정합 영역을 개선함과 동시에 영상의 정밀도를 개선하였다. 실험 결과 제안하는 기법이 기존의 정합률이 높은 방법들과 비교하여 높은 수준의 정합률을 유지하면서 오정합 영역과 정밀도를 개선하였음을 보였다. 그리고 정합 오차율이 높은 영상의 경우, 최근에 발표된 스테레오 정합 방법들보다 정합 성능이 평균적으로 3.22(%)가량 증가하였다.

### Abstract

In this paper, we propose a stereo matching method to improve the image quality at the hole and the disparity discontinuity regions. The stereo matching method extracts disparity map finding corresponding points between stereo image pair. However conventional stereo matching methods have a problem about the tradeoff between accuracy and precision with respect to the length of the baseline of the stereo image pair. In addition, there are hole and disparity discontinuity regions which are caused by textureless regions and occlusion regions of the stereo image pair. The proposed method extracts initial disparity map improved at disparity discontinuity and miss-matched regions using modified AD-Census-Gradient method and adaptive weighted cost aggregation. And then we conduct the disparity map refinement to improve at miss-matched regions, while also improving the accuracy of the image. Experimental results demonstrate that the proposed method produces high-quality disparity maps by successfully improving miss-matching regions and accuracy while maintaining matching performance compared to existing methods which produce disparity maps with high matching performance. And the matching performance is increased about 3.22(%) compared to latest stereo matching methods in case of test images which have high error ratio.

**Keywords** : stereo matching, disparity discontinuity region, Hole filling, Tree filter, Weighted median filter

\*정회원, \*\* 학생회원, 성균관대학교 정보통신대학  
(Department of Information and Communication Engineering  
Sungkyunkwan University)

© Corresponding Author(E-mail : jkkim@skku.edu)

※ 본 연구는 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로  
한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(NRF -  
2013K1A3A1A20047102).

Received ; September 7, 2016 Revised ; March 3, 2017

Accepted ; April 10, 2017

## I. 서 론

최근 3D 콘텐츠가 주목 받으면서 3D 입체 영상에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이미 다시점 비디오 부호화(MVC: Multi-view Video Coding) 기술의 표준화 등이 활발히 이루어져 있고, 3D 기기는 이미 상용화 되고 있는 추세다.

이러한 추세에 맞추어 가상의 장소에서 사용자에게 현장감을 줄 수 있는 가상 시점의 영상을 생성하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 가상 시점 영상을 생성하기 위한 대표적인 방법으로 스테레오 카메라를 이용하여 깊이 정보를 추출하는 방법이 있다. 스테레오 영상에서 대응점(correspondence point)을 찾고 대응하는 시차 값을 구할 수 있는데, 이러한 상관도를 이용하여 대응점을 찾아내는 과정을 스테레오 정합 기법이라고 한다. 스테레오 정합 기법을 통해 좌우 영상의 상대적인 거리 정보가 표시된 시차 지도(disparity map)을 생성할 수 있다. 이러한 시차 정보는 좌우 영상 사이의 가상 시점을 합성할 때 필요한 깊이 정보를 변환하기 위한 중요한 정보를 제공하므로 정확한 시차 지도를 생성하는 것은 매우 중요하다.

스테레오 정합 기법은 정합 점을 찾는 방법에 따라 영역 기반(window based)<sup>[1]</sup>, 특징 기반(feature based)<sup>[2]</sup>, 에너지 기반(energy based)<sup>[3~4]</sup> 등의 방법이 있다. 영역 기반 방법은 영상 내부의 정합 창(window)에서 밝기가 비슷한 다른 시점의 정합 창을 찾아내는 방법이다. 이러한 방법은 구현이 단순하고 복잡도가 적으면서 성능이 뛰어나다. 하지만 영역 기반 방법은 폐색 영역이나 특징이 없는 영역 등에 대하여 부정합이 발생한다. 특징 기반 방법은 영상의 특징 점과 주요 구조 부분에 대해서 좌우 영상의 대응점을 추출하는 방법이다. 그리고 추출된 영역의 값을 이용하여 특징점 외의 영역을 채워야 하는데 이는 영역 기반 방법을 적용했을 때의 발생하는 부정합을 보완할 수 있다. 하지만 특징점 외의 영역의 값을 채우기 위한 과정이 필요하다. 그리고 에너지 기반 방법은 영상을 에너지로 모델링하고 에너지 함수를 최소화 시키는 값으로 적절한 변위 값을 추정하는 방법이며, 이를 위한 최적화 방법으로 그래프 컷(Graph Cut)<sup>[3]</sup>이나 신뢰도 전파(Belief Propagation)<sup>[4]</sup> 등을 사용한다. 이는 다른 방법들보다 비교적 정확한 결과를 추출할 수 있으나 에너지 함수의 최적화 과정에서 영상 전체 화소의 관계를 고려하기 때문에 정합 속도가 상대적으로 느리다. 스테레오 정합 기법은 공통적으로 좌우 영상의 베이스 라인의 길이에 따라서 정확도와 정밀도를 모두 개선하기에 어려운 문제점이 있다. 또한 영상의 폐색 영역과 특징 부족으로 인한 시차 불연속 영역과 홀 영역이 존재한다. 이로 인해 발생된 오 정합 영역은 정확한 시차 정보를 제공하지 못한다.

본 논문에서는 홀 영역과 시차 불연속성 영역에서의 부정합을 개선하기 위한 영역 기반의 지역적 스테레오

정합 기법을 제안한다. 먼저 스테레오 영상에서 화소간의 유사도를 측정하기 위해 개선된 AD-Census<sup>[1]</sup> 방법으로 정합 비용을 계산하고, 이후에 적응적 가중치 기반 비용 결합 방법<sup>[5]</sup>을 수행하여 최종 정합 비용을 결정한다. 그리고 승자 독식 방법(WTA: Winner-Take-All)<sup>[6]</sup>을 적용하여 초기 시차 지도를 생성한다. 그 후에 트리 필터(Tree filter)<sup>[7]</sup>와 가중치 미디언 필터(Weighted median filter)<sup>[8]</sup>를 이용하여 영상의 에지를 보존하면서 홀 영역과 시차 불연속성 영역을 개선한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 시차 지도를 생성하기 위한 방법을 제안하고, 3장에서 실험 결과를 비교한다. 마지막 4장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

## II. 제안하는 방법

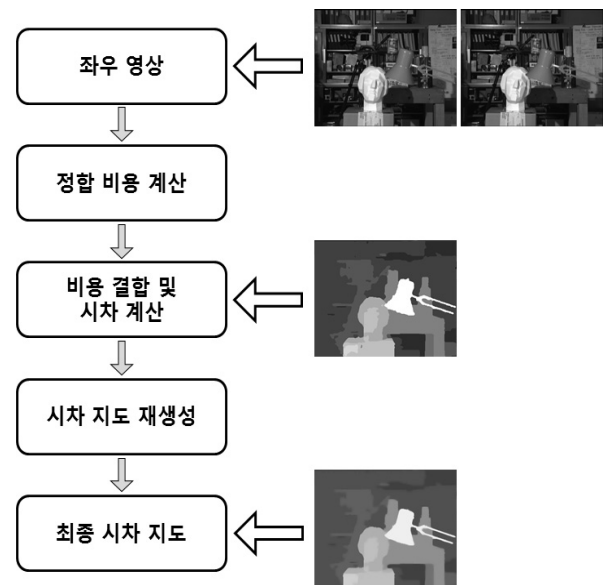


그림 1. 제안하는 시스템의 구조도

Fig. 1. Entire framework of the proposed method.

<그림 1>은 본 논문에서 제안하는 방법의 전체 시스템에 대한 구조를 도식화 한 것이다. 제안하는 기법은 개선된 AD-Census 방법을 통해 화소간의 유사도를 계산하고 3차원 비용 볼륨(cost volume)을 생성한다. 이후에 적응적 가중치 기반의 비용 결합을 수행하고 승자 독식 방법을 통해 초기 시차 지도를 생성한다. 그리고 시차 보정 시에 트리 필터와 가중치 미디언 필터를 적용하여 초기 시차 지도에 대한 홀 영역 채움과 시차 불연속성 영역을 개선한다.



$c$ 는 각 정합에 대한 결과 값이다. <그림 3>은 기존의 AD-Census 방법을 통해 구현한 초기 시차 지도와 제안한 기법을 통해 구현한 초기 시차 지도의 비교 영상이다. 그림에서 알 수 있듯이 불연속성 영역이 개선되었고, 객체의 경계부분에서도 개선되었음을 알 수 있다.

2. 비용 결합 및 시차 계산

비용 결합(cost aggregation)이란 인접한 화소의 지원 영역(support region)을 생성하고 그 안의 정합 비용의 합을 해당 화소의 최종 정합 비용으로 사용하는 단계이다. 고정적인 크기의 정합 창을 지원 영역으로 사용하면, 구현이 용이하고 화소마다 적응적으로 정합 창의 크기를 계산하는 단계를 수행하지 않기 때문에 정합 속도가 상대적으로 빠르다. 하지만 고정된 지원 영역을 사용하기 때문에 부정확한 시차 값이 나타날 수 있기 때문에, 이러한 단점을 보완하기 위해 영상을 분할<sup>[9]</sup> 하거나 영상별로 색상 차와 기하학적 차이에 따라 가중치를 다르게 부여<sup>[10]</sup> 하거나, 영상의 에지 정보에 따라 지원 영역을 다르게 생성하는 방법<sup>[5]</sup> 등이 있다.

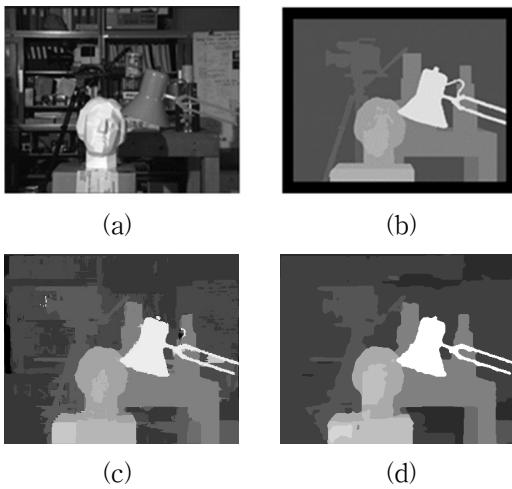


그림 4. Tsukuba 영상 (a) 색상 영상 (b) 실제 시차 지도 (c) Q. Yang<sup>[12]</sup>이 제안하는 비용 결합 방법을 이용한 초기 시차 지도 (d) 제안하는 기법의 초기 시차 지도

Fig. 4. Experimental image using Tsukuba image (a) Color image (b) Ground Truth (c) Initial disparity map using Q. Yang<sup>[12]</sup>'s Cost Aggregation method (d) Initial disparity map using Proposed method.

본 논문은 적응적 가중치 기반 비용 결합을 수행하였는데, 그 식은 아래와 같다.

$$w(u, v, m, n) = e^{-\left(\frac{\Delta c_{u, v, m, n}}{\gamma_c} + \frac{\Delta q_{u, v, m, n}}{\gamma_g}\right)} \quad (7)$$

위 식에서,  $\Delta c_{u, v, m, n}$ 과  $\Delta q_{u, v, m, n}$ 는 각각  $(u, v)$ 와  $(u + m, v + n)$ 에서의 화소의 밝기 값 차분과 유클리디안(Euclidean) 거리 차분이고,  $\gamma_c$ 와  $\gamma_g$ 는 각각 각각의 가중치를 부여하는 상수이다.

비용 결합을 수행하고 시차 계산 방법을 통해서 초기 시차 지도를 생성한다. 지역적 스테레오 정합 기법은 주로 승자 독식 방법을 이용하여 시차 지도를 생성한다. 이는 구조가 간단해서 구현이 쉬운 뿐 아니라 정합 속도가 빠르다. <그림 4>는 미들버리 연구실<sup>[11]</sup>에서 제공하는 실험 영상에 대한 초기 시차 지도의 비교 영상이다. <그림 4>의 (c)는 기존의 AD-Census 기법을 이용하여 정합 비용을 계산하고 Q. Yang<sup>[12]</sup>이 제안하는 비 지역적 비용 결합 방법을 적용하여 구현한 초기 시차 지도이다. 이를 제안한 방법의 시차 지도와 확대하여 비교했는데 이는 <그림 5>와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 제안하는 방법의 시차 지도가 기존의 비용 결합 방법보다 불연속성 영역과 경계 영역에서 개선되었음을 알 수 있다.

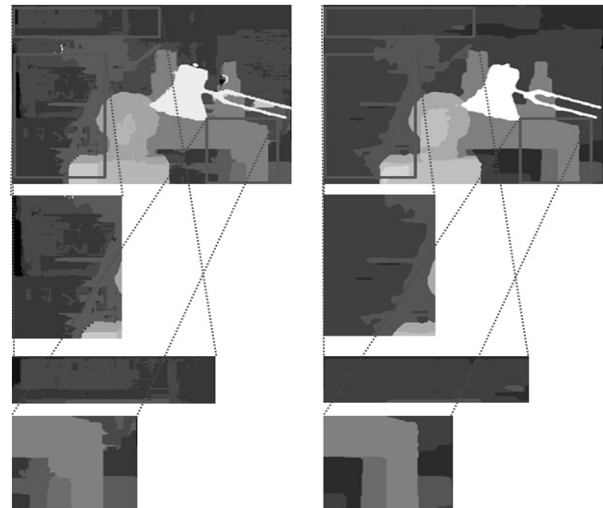


그림 5. 초기 시차지도 비교 영상 및 부분 확대 영상 (a) Q. Yang<sup>[12]</sup>이 제안하는 비용 결합 방법을 이용한 초기 시차 지도 (b) 제안하는 기법의 초기 시차 지도

Fig. 5. Comparison the Initial disparity map using Tsukuba image, and Zoom-in views of the same area (a) Initial disparity map using Q. Yang<sup>[12]</sup>'s Cost Aggregation method (b) Initial disparity map using Proposed method.

### 3. 시차 보정 방법

승자 독식 방법 이후 완성된 초기 시차 지도는 폐색 영역으로 인한 홀 영역이 존재하고 특징 부족과 반복적인 패턴 등으로 인해서 부정확한 시차 영역이 존재한다. 이를 보완하기 위해서 시차를 보정하기 위한 시차 보정 과정이 필요한데, 기존의 스테레오 정합 기법들은 주로 Bilateral Filter<sup>[13]</sup>를 이용하여 시차 보정을 수행하지만 이는 수행 시간이 느리다. 최근에는 기존의 Bilateral Filter를 개선하는 다양한 방법들이 연구되었는데, 대표적으로 트리 필터(Tree Filter)<sup>[7]</sup>와 가이드 이미지 필터(Guided Image Filter)<sup>[14]</sup> 등이 있다. 본 논문은 트리 필터(Tree Filter)와 가중치 미디언 필터(Weighted Median Filter)을 이용하여 시차 지도의 보정을 수행 하였다. 트리 필터는 Bilateral weight와 Tree ee weight를 결합한 필터로서, 영상을 트리 구조로 변환하여 강한 에지 성분은 보존하면서 영상의 잡음 성분을 제거한다. 그리고 영상을 최소 신장트리(MST: Minimum Spanning Tree) 구조로 변환하는 과정에서 불필요한 에지를 제거하고, 최대 시차 값과 독립적으로 수행되기 때문에 수행 시간이 짧으면서 일정하다. 트리 필터는 아래의 식과 같이 구현된다.

$$S_i = \sum_{j \in \Omega} w_i(j) I_j \quad (8)$$

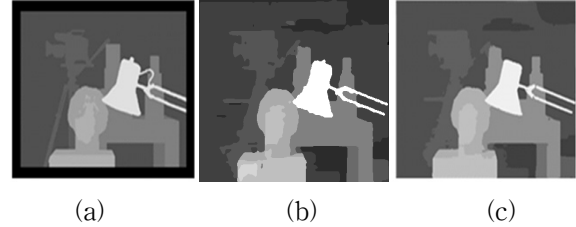


그림 6. Tsukuba 영상 실험 결과 (a) 실제 시차 지도 (b) 초기 시차 지도 (c) 개선된 시차 지도  
Fig. 6. The experiment results using Tsukuba image (a) Ground Truth (b) Initial disparity map (c) Improved disparity map.

여기서,  $i$ 는 입력 영상  $I$  내의 화소이고,  $\Omega$ 는  $I$ 의 모든 화소의 집합이다.  $I_i$ 는 입력 영상에서 화소  $i$ 의 밝기 값이고,  $w_i(j)$ 는 화소  $i$ 에 관한 화소  $j$ 의 가중치이다. Tree weight  $w_i(j)$ 는 bilateral weight  $b_i(k)$ 와 tree weight  $t_k(j)$ 로 이루어진다. tree weight  $t_k(j)$ 는 식 (10)과 같다.

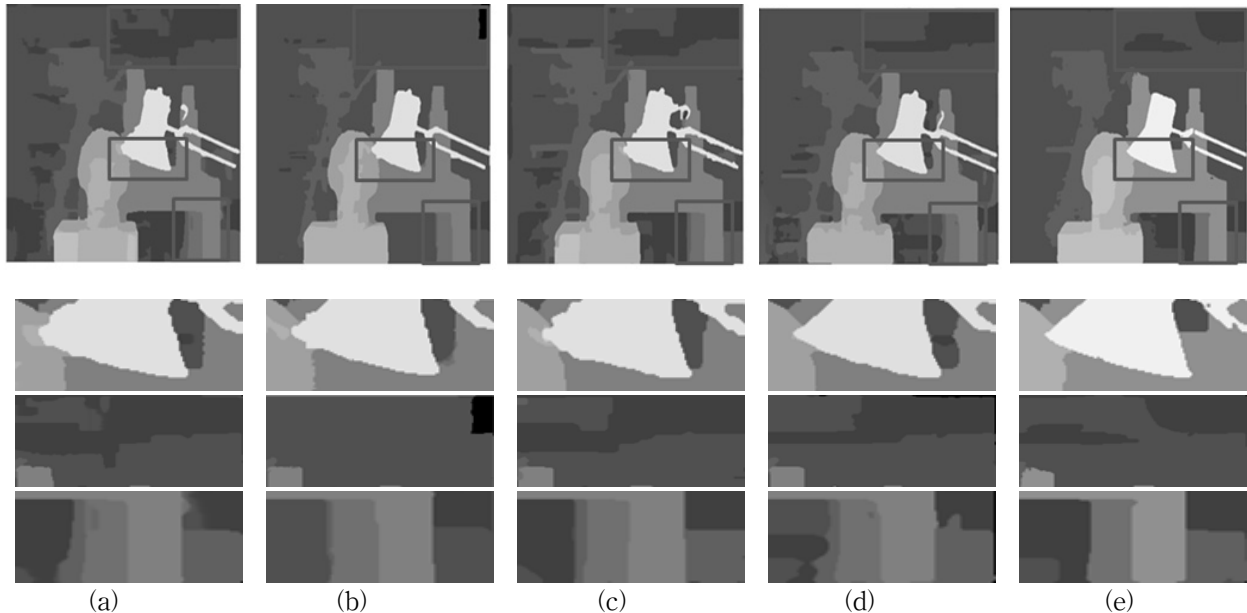


그림 7. 기존의 논문들과 본 논문의 결과 영상과 부분 확대 영상 (a) Y. Zhan 방법<sup>[15]</sup>의 시차 지도 결과 (b) M. Mozerov 방법<sup>[16]</sup>의 시차 지도 결과 (c) J. Liu 방법<sup>[17]</sup>의 시차 지도 결과 (d) G. Kordelas 방법<sup>[18]</sup>의 시차 지도 결과 (e) 제안하는 방법의 시차 지도 결과  
Fig. 7. The experiment results in a test image, and Zoom-in views of the same area (a) Result of the Y. Zhan's disparity adjustment method<sup>[15]</sup> (b) Result of the M. Mozerov's disparity adjustment method<sup>[16]</sup> (c) Result of the J. Liu's disparity adjustment method<sup>[17]</sup> (d) Result of the G. Kordelas's disparity adjustment method<sup>[18]</sup> (e) Result of the proposed method

### III. 실험 결과

본 논문에서 제안한 스테레오 정합 기법은 Intel Core I5 3.4GHz의 PC를 사용하여 실험하였고, Visual Studio 2015 버전을 통해 구현하였다. 식 (5) 에서의 정합 비용의  $\lambda_{ad}$ ,  $\lambda_{census}$ ,  $\lambda_{gradient}$  는 각각  $\lambda_{ad}$ 는 8,  $\lambda_{census}$  는 1, 그리고  $\lambda_{gradient}$  는 3 으로 설정하였다.

<그림 7>는 미들버리 연구실에서 제공하는 실험 영상을 입력하여 제안한 기법과 기존의 정합률이 높은 스테레오 정합 기법의 결과와 비교한 결과이다. 기존의 결과 영상들과 비교해보면 알 수 있듯이 제안하는 방법이 시차 불연속성 영역이 감소하였고 기존의 결과 영상에서 보이는 홀 영역 역시 감소하였음을 알 수 있다. 더 자세한 결과 분석을 위해서 본 논문의 결과 영상과 기존의 논문의 결과 영상을 확대하여 비교하였다. 두 번째 열은 실험 영상의 가운데 부분이다. 본 논문의 결과 영상이 기존 논문의 결과 보다 영상의 에지 부분이 선명히 보였음을 볼 수 있다. 세 번째 열은 실험 영상의 오른쪽 윗부분이다. 기존의 논문들은 시차 불연속성 영역과 폐색 영역으로 인한 홀 영역이 존재하지만, 본 논문의 결과 영상은 위의 부정합 영역이 감소하였음을 알

수 있다. 그리고 네 번째 열에서도 볼 수 있듯이, 본 논문의 결과 영상의 에지가 선명해졌음을 알 수 있다. 그리고 기존의 AD-Census를 적용한 논문<sup>[1]</sup>과 본 논문의 결과를 비교하였는데, 이는 <그림 8>과 같다. <그림 8>에서 알 수 있듯이, 시차 불연속성 영역이 개선되었고 영상의 정밀도 또한 향상되었음을 알 수 있다. <그림 9>와 <그림 10>은 다른 영상으로 실험한 시차지도 생성 결과이다. 시차 지도의 정확도 비교를 위해, D. Scharstein과 R. Szeliski가 제시한 방법<sup>[6]</sup> 을 이용하여 기존의 스테레오 정합 기법들과 본 논문에서 제안하는 방법의 오차율을 평가하였다. 위의 평가 방법은 미들버리 연구실에서 제공하는 오차율을 측정하는 방법과 같은데, 이는 식 (12)와 같다.

표 1. 다른 스테레오 정합 기법들과의 성능 비교  
Table1. Performance comparisons between different stereo matching methods.

Method	정합 오차율 [%]			
	Tsukuba	Venus	Teddy	Cones
[15]	1.09	0.24	5.10	3.55
[16]	1.03	0.27	9.45	2.89
[17]	1.21	0.25	6.62	4.30
[18]	1.31	0.24	6.67	5.35
<b>Proposed</b>	<b>1.61</b>	<b>0.28</b>	<b>6.07</b>	<b>4.89</b>

표 2. 다른 스테레오 정합 기법들과의 성능 비교  
Table2. Performance comparisons between different stereo matching methods.

Method	정합 오차율 [%]			
	Aloe	Baby	Rock	Wood
[12]	14.654	17.172	19.647	16.442
[19]	8.264	4.059	16.071	7.911
[20]	11.758	7.208	23.493	15.538
<b>Proposed</b>	<b>10.671</b>	<b>5.610</b>	<b>16.138</b>	<b>9.608</b>

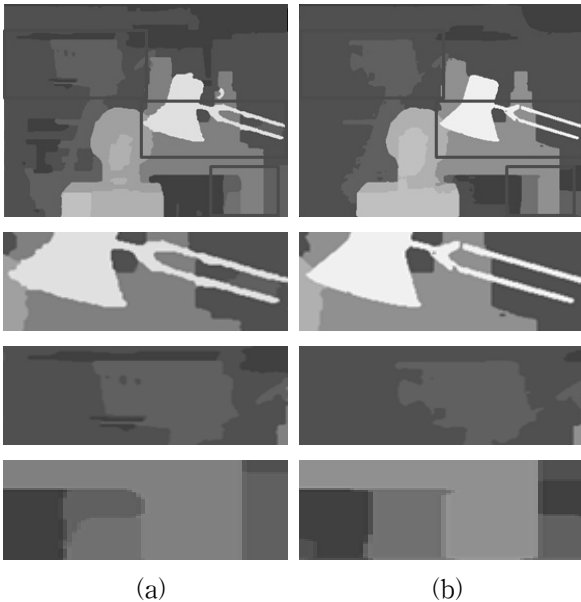


그림 8. 기존의 논문과 본 논문의 결과 영상과 부분 확대 영상 (a) AD-Census 사용 기법<sup>[1]</sup>의 시차 지도 결과 (b) 제안하는 방법의 시차 지도 결과

Fig. 8. The experiment results in a test image, and Zoom-in views of the same area (a) Result of the method using AD-Census<sup>[1]</sup> (b) Result of the proposed method.

$N$ 은 영상의 전체 화소의 개수이고,  $\delta_d$ 는 1로 설정하였다. 그리고  $d(p)$ 는 추출된 시차 지도에서 화소  $p$ 의 시차 값이며  $d_{gt}(p)$ 는 실제 시차지도  $d_{gt}$ 에서 화소  $p$ 의 시차 값이다.

위 방법을 이용하여 정합 오차율을 계산한 결과는, <표1> 과 같다. <표 1>에서도 볼 수 있듯이, 정합 오차율이 기존의 상위의 스테레오 정합 기법 결과와 비슷하거나 우위에 있음을 볼 수 있다. 이는 제안하는 방법의

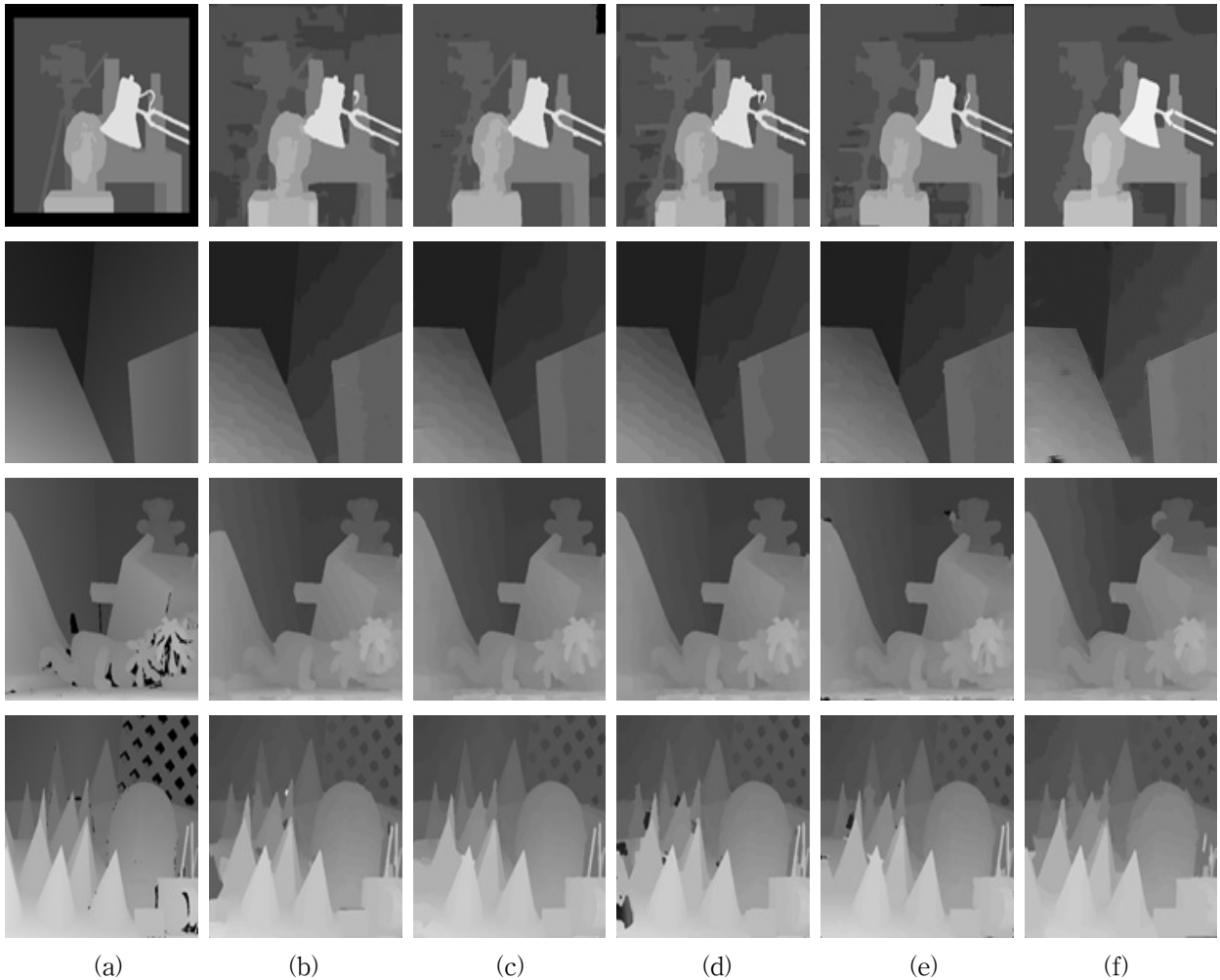


그림 9. 실험 영상에 대한 실험 결과 (a) 실제 시차 지도 (b) Y. Zhan 방법<sup>[15]</sup>의 시차 지도 결과 (c) M. Mozerov 방법<sup>[16]</sup>의 시차 지도 결과 (d) J. Liu 방법<sup>[17]</sup>의 시차 지도 결과 (e) G. Kordelas 방법<sup>[18]</sup>의 시차 지도 결과 (f) 제안하는 방법의 시차 지도 결과

Fig. 9. The experiment results in five test images (a) Ground truth (b) Result of the Y. Zhan's disparity adjustment method<sup>[15]</sup> (c) Result of the M. Mozerov's disparity adjustment method<sup>[16]</sup> (d) Result of the J. Liu's disparity adjustment method<sup>[17]</sup> (e) Result of the G. Kordelas's disparity adjustment method<sup>[18]</sup> (f) Result of the proposed method.

결과가 정합률이 높은 수준임과 동시에 영상의 정밀도가 개선되고 홀 영역과 시차 불연속 영역이 감소하여서 높은 품질의 시차지도임을 보여준다. 아래의 <표 2>에서 표시된 다른 영상과의 비교 결과는 <그림 10>과 같다. <표 2>에서도 볼 수 있듯이 제안하는 기법이 최근에 발표된 스테레오 정합 기법들과 비교하여 평균적으로 3.22% 가량 정합 오차율이 감소하였음을 확인하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 오정합 영역과 정밀도를 개선하기 위한 지역적 스테레오 정합 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 기존의 기법보다 정밀한 깊이 정보를 추출하기

위해 제안한 AD-Census를 지역적 정합 비용으로 계산한다. 또한 화소의 밝기 값과 유클리디안 거리 차이를 활용하여 적응적 정합 창을 이용하여 비용 결합을 수행하여 시차 지도의 정확도를 개선한다. 이후 시차 불연속성 영역과 아티팩트를 감소하기 위해 트리 필터와 가중치 미디언 필터를 결합한 시차 재생성 과정을 수행한다. 제안한 기법의 성능을 평가한 결과 기존의 정합률이 높은 방법들보다 대등한 정합률을 유지하면서 보다 높은 품질의 시차 지도를 추출하였다. 그리고 정합 오차율이 높은 영상으로 실험한 경우, 최근에 발표된 스테레오 정합 방법과 비교하여 평균적으로 3.22% 가량 정합 오차율이 개선되었다. 또한 결과 영상을 비교했을 때 제안하는 기법이 기존의 기법들보다 더 정밀한 결과를 획득

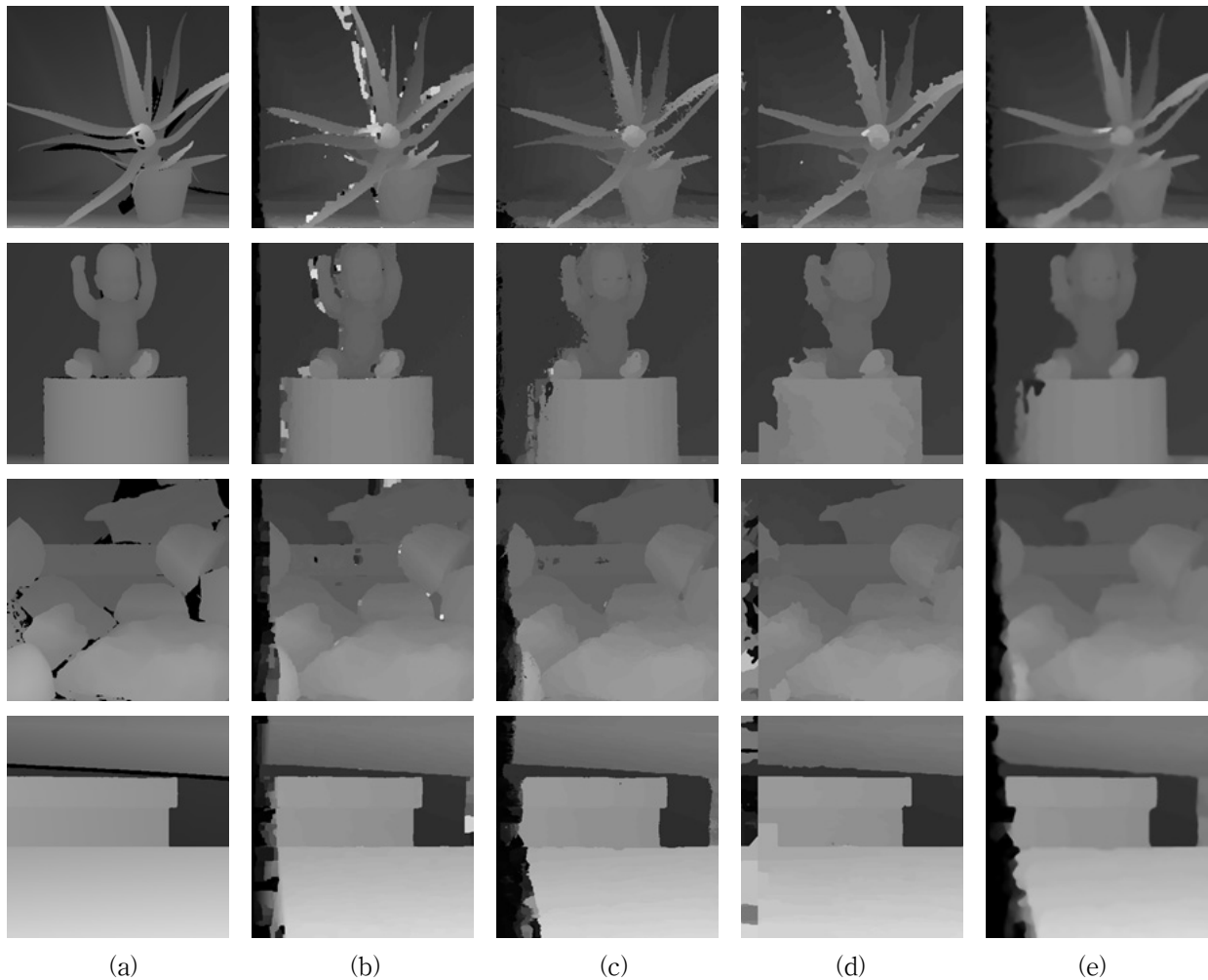


그림 10. 실험 영상에 대한 실험 결과 (a) 실제 시차 지도 (b) Yong Seok Heo 방법<sup>[12]</sup>의 시차 지도 결과 (c) K. Zhang 방법<sup>[19]</sup>의 시차 지도 결과 (d) Q. Yang 방법<sup>[20]</sup>의 시차 지도 결과 (e) 제안하는 방법의 시차 지도 결과

Fig. 10. The experiment results in five test images (a) Ground truth (b) Result of the Yong Seok Heo's disparity adjustment method<sup>[12]</sup> (c) Result of the K. Zhang's disparity adjustment method<sup>[19]</sup> (d) Result of the JQ. Yang's disparity adjustment method<sup>[20]</sup> (e) Result of the proposed method.

함을 확인하였다. 실험을 통해서 제안하는 기법이 기존의 기법들보다 정량적으로 높은 정합률 수치를 유지하면서 시차 불연속 영역과 아티팩트 영역을 감소할 뿐더러 오정합 영역 또한 개선되었음을 확인하였다.

## REFERENCES

- [1] Xing Mei, Xun Sun, Mingcai Zhou, Shaohui Jiao, Haitao Wang and Xiaopeng Zhang, "On Building an Accurate Stereo Matching System on Graphic Hardware," in Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision Workshops, pp. 467-474, Barcelona, Spain, Nov 2011.
- [2] K. Czarniecki, S. Helsen, "Feature-based survey of model transformation approaches," IBM Systems Journal, Vol. 45, no. 3, pp. 621-645, 2006.
- [3] Y. Boykov, O. Veksler, and R. Zabih, "Fast approximate energy minimization via graph cuts," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 23, no. 11, pp. 1222-1239, Aug 2002.
- [4] J. Sun, N. Zheng, and H. Y. Shum, "Stereo matching using belief propagation," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 25, no. 7, pp. 787-800, June 2003.
- [5] Yilei Zhang, Minglun Gong and Yee-Hong Yang, "Local Stereo Matching with 3D Adaptive Cost Aggregation for Slanted Surface Modeling and Sub-pixel Accuracy," in Proc. of IEEE Conf. on Pattern Recognition, pp. 1-4, Tampa, USA, Dec 2008.
- [6] D. Scharstein and R. Szeliski, "A taxonomy and evaluation of dense two frame stereo correspondence algorithms," International Journal of Computer Vision, Vol. 47, no. 1, pp. 7-42, Apr 2002.



[7] Linchao Bao, Yibing Song, Qingxiong Yang, Hao Yuan and Gang Wang, "Tree Filtering: Efficient Structure-Preserving Smoothing With a Minimum Spanning Tree," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 23, no. 2, pp. 555-569, Nov 2013.

[8] Ziyang Ma, Kaiming He, Yichen Wei, Jian Sun and Enhua Wu, "Constant Time Weighted Median Filtering for Stereo Matching and Beyond," in Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision, pp. 49-56, Sydney, Australia, Dec 2013.

[9] F. Tomasi, S. Mattoccia and L. D. Stefano, "Segmentation based adaptive support for accurate stereo correspondence," Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology, Springer, pp. 427-438, Dec 2007.

[10] K. J. Yoon and I. S. Kweon, "Adaptive support-weight approach for correspondence search," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 28, no. 4, pp. 650-656, Feb 2006.

[11] <http://vision.middlebury.edu/stereo/>

[12] Qingxiong Yang, "A non-local cost aggregation method for stereo matching," in Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1402-1409, Rhode Island, USA, June 2012.

[13] Fatih Porikli, "Constant time O(1) bilateral filtering," in Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1-8, Anchorage, USA, June 2008.

[14] Kaiming He, Jian Sun, and Xiaoou Tang, "Guided Image Filtering," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 35, no. 6, pp. 1397-1409, Oct 2012.

[15] Y. Zhan, Y. Gu, K. Huang, C. Zhang and K. Hu, "Accurate image-guided stereo matching with efficient matching cost and disparity refinement," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 26, no. 9, pp. 1632-1645, Aug 2015.

[16] M. Mozerov and J. van Weijer, "Accurate stereo matching by two step Energy optimization," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 24, no. 3, pp. 1153-1163, Mar 2015.

[17] J. Liu, C. Li, F. Mei, and Z. Wang, "3D entity-based stereo matching with ground control points and joint second order smoothness prior," The Visual Computer, Sep 2015.

[18] G. Kordelas, D. Alexiadis, P. Daras, and E. Izquierdo, "Enhanced disparity estimation in stereo images," Image and Vision Computing, Mar 2015.

[19] Kang Zhang, Yuqiang Fang, Dongbo Min, Lifeng Sun, Shiqiang Yang, Shuicheng Yan and Qi Tian, "Cross-Scale Cost Aggregation for Stereo

Matching," in Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1590-1597, Columbus, USA, June 2014.

[20] Yong Seok Heo, Kyoung Mu Lee, and Sang Uk Lee, "Robust Stereo Matching Using Adaptive Normalized Cross-Correlation," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 33, no. 4, pp. 807-822, April 2011.

— 저 자 소 개 —



강 현 련(정회원)

2015년 인하대학교 정보통신공학과  
학사 졸업.

2015년 3월~현재 성균관대학교 정보  
통신대학 석사과정.

<주관심분야: 영상신호처리, 디지털  
신호처리>



윤 인 용(학생회원)

2010년 제주대학교 해양산업공학과  
학사 졸업.

2013년 3월~현재 성균관대학교 정  
보통신대학 석박사통합과정.

<주관심분야: 영상신호처리, 디지털  
신호처리>



김 중 규(정회원)-교신저자

1980년 서울대학교 전자공학과 학사  
졸업.

1982년 서울대학교 전자공학과 석사  
졸업.

1989년 The Univ. of Michigan, Electrical Engineering  
박사 졸업.

1980년~1981년 한국전자통신연구소 위촉연구원.

1989년~1990년 University of Michigan, Post  
Doctoral Fellow.

1990년~1991년 삼성전자 선임연구원.

1992년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수.

<주관심분야: 통신, 컴퓨터, 신호처리, 반도체>