
영상의 특징점과 비용함수를 고려한 스테레오 정합개선

백영민* · 최현준** · 서영호* · 김동욱*

Improve Stereo Matching by considering the Characteristic Points of the Image
and the Cost Function

Yaеung-Min Paik* · Hyun-Jun Choi** · Young-Ho Seo* · Dong-Wook Kim*

본 논문은 서울시 신기술 연구개발 지원사업(NT080528)의 연구결과입니다.

요 약

본 논문에서는 최종 변이영상의 정확도를 높이기 위해 영상의 특징점을 이용한 적응적 가변 정합창 방법과 교차 일치성 검사의 신뢰도를 높이는 방법을 제안한다. 제안한 적응적 가변 정합창 방법은 색상정보를 이용하여 영상을 분할하고 분할된 각 영상의 특징점을 찾아 그 특징점들의 유무에 따라 정합창의 크기를 적응적으로 가변시키는 방법이다. 또한 제안한 교차 일치성 검사 방법은 최적의 변이와 차상위 최적의 변이에 대한 비용함수 값들을 비교하여 비용함수 값 자체가 너무 크거나 두 비용함수의 차이가 너무 적은 경우를 찾아내어 처리하는 방법이다. 제안한 두 방법에 대한 Middlebury에서 제공한 네 가지 실험영상을 대상으로 실험한 결과 적응적 가변 정합창 방법은 최대 18.2%의 오차율을 감소시켰다. 또한 제안한 교차 일치성 검사는 최대 7.4%의 신뢰도를 향상시킨 것으로 나타났다.

ABSTRACT

This thesis proposes an adaptive variable-sized matching window method using the characteristic points of the image and a method to increase the reliability of the cross-consistency check to raise the correctness of the final disparity image. The proposed adaptive variable-sized window method segments the image with the color information, finds the characteristic points in each segmented image, and varies the size of the matching window according to the existence of the characteristic points inside the window. Also the proposed cross-consistency check method processes the two cases with the cost values corresponding to the best disparity and the second-best disparity: when the cost values themselves are too large and when the difference between the two cost values are too small. The two proposed methods were experimented with the four test images provided by the Middlebury site. As the results from the experiments, the proposed adaptive variable-sized matching window method decreased up to 18.2% of error ratio and the proposed cross-consistency check method increased up to 7.4% of reliability.

키워드

스테레오 정합, 시차, 교차 연속성 검사, 3차원

Key word

stereo matching, disparity, cross-consistency check, 3D

* 광운대학교 실감미디어 연구소 (교신저자, dwkim@kw.ac.kr)

접수일자 : 2010. 03. 01

** 안양대학교 정보통신공학과

심사완료일자 : 2010. 03. 31

1. 서 론

스테레오(stereo) 비전은 컴퓨터 비전의 한 분야로서 최근 컴퓨터 공학의 발달과 더불어 인간의 능력을 컴퓨터에 접목시키고자 하는 연구와 노력이 활발하게 진행되고 있다. 컴퓨터 비전은 인간의 시각 시스템을 컴퓨터로 구현하려는 분야로서 컴퓨터 및 기계가 인간과 같은 시각 지능을 갖도록 만드는 컴퓨터 기술이라고 할 수 있다[1]-[4].

영상의 정합(matching)은 스테레오 비전의 중요한 과제로서, 3차원 공간상의 한 점이 좌우 두 영상에 투영되는 점의 대응성(correspondence)을 찾아내는 과정이다[5-7]. 스테레오 비전에서 이러한 과정을 스테레오정합(stereo matching)이라 부르며 두 영상에서 선택된 점들이 대응점을 가지는가를 판단하고 그 점에서의 깊이 정보의 지표가 되는 변이(disparity)를 계산하는 것이 핵심이다. 이러한 변이 정보를 이용하여 3차원 공간의 표면을 기술할 수 있다.

영상의 대응점간의 유사성을 통해 변이 값을 찾는 방법으로 크게 전역 기반 방법(global method) [8-10]와 지역 기반 방법(local method)[11]으로 나눌 수 있다. 전역 기반 방법은 영상전체를 대상으로 에너지 함수를 최소화하는 변위 값을 찾음으로써 정합을 수행한다. 이 방법은 높은 정확도를 가지지만, 다른 스테레오 방법에 비하여 상대적으로 많은 연산이 요구되어 실시간 구현에 어려움이 있다. 지역 기반 방법은 영상의 국부에 해당하는 정합창(matching window) 내의 쉼터와 밝기 값을 통해 각 화소의 변위 값을 찾게 된다. 전역 기반 방법에 비해 간단하면서도 효율성이 높으나, 균일한 색상을 가지는 영역(homogeneous region)과 객체의 깊이 불연속(depth discontinuities) 등에는 좋지 않은 결과를 발생시킨다.

이러한 어려움을 극복하기 위해 균일한 색상을 가지는 영역과 객체의 깊이 불연속 등에 정확도를 높이면서 전역 기반 방법에 비해 연산량이 적은 방법들이 제안되고 있다. 이와 같은 방법은 적절한 정합창의 크기와 모양을 화소에 특징에 맞게 선택함으로써 정확도를 높이게 된다.

Kanade[12]는 정합창 내의 밝기와 변이를 이용해서 적절한 정합창을 선택하였으나 정합창의 모양이 직사

각형으로 고정되어 경계 영역 정확도가 낮았다. 또한, Vekseler[13]는 정합창의 크기와 모양을 선택적으로 결정하였으나, 정합창의 모양이 일반적이지 못하고, 사용자에 의해 파라미터를 변경시켜주어야 하는 단점을 가지고 있다. Yoon[14]은 정합창 내 화소간의 거리에 따른 가중치와 색상 성분의 밝기 값의 차이에 따라 가중치를 부여하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 균일한 색상을 가지는 영역과 객체의 깊이 불연속 등에서 정확한 결과를 얻는다. 또한, Gu[15]는 Yoon의 가중치 방법을 변형함과 동시에 적절한 후처리 방법을 제안하였다. Yoon의 방법과는 다르게 초기 변이 지도를 생성한 후 가중치 방법을 후처리에도 적용함으로써 좀 더 정확한 결과를 얻었다.

한편, 교차 일치성 검사(cross-consistency check)는 좌우 영상 중 하나의 영상을 기준으로 대응점을 찾은 후에 찾아진 대응점을 기준으로 다시 역으로 원래의 기준 영상에서 대응점을 찾는 방법을 말한다[16]. 교차 일치성 검사는 좌우 변이정보를 통해 쉽게 오정합을 검출하는 장점을 가지고 있다. 그러나 정합창을 이용한 스테레오 매칭 방법의 경우는 정합창의 크기가 커질수록 창 내에 왜곡되는 영역이 많이 포함되어 실제 경계보다 확장되어 나타나게 된다. 이러한 문제점으로 인해 교차 일치성 검사 방법으로는 물체의 경계에서 발생하는 오정합을 찾을 수가 없게 된다.

본 논문에서는 초기 변이지도의 정확도 향상을 위해 색상정보를 이용하여 특징점을 추출한 뒤 이를 통해 영역별로 정합창의 크기를 달리 적용하는 적응적 가변 정합창 방법을 제안한다. 또한 물체 경계부분의 폐색영역에서 많이 발생하는 오정합을 검출하기 위해 기존의 좌우 영상 변이정보를 이용한 방법과 비용함수 값의 최소값과 차상위 최소값의 차이를 비교하는 방법을 동시에 적용하는 알고리즘을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 영역 기반 스테레오정합 알고리즘에 대한 소개하고, 3장에서 본 논문에서 제안한 방법들을 설명한다. 4장에서 이를 이용하여 실험을 통한 결과를 보이고, 5장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구 방향을 기술한다.

II. 영역 기반 스테레오정합 알고리즘

본 논문에서는 영역 기반 방법을 대상으로 하며, 본 장에서는 이 방법에 대해 간략히 설명하고, 이 방법에 있어서의 문제점들을 알아본다.

2.1. 초기 변이지도

변이는 시차 또는 변위라고도 하며 영상 면에서 물체 표면까지의 거리인 깊이를 알아내는데 중요한 역할을 한다. 일반적으로 영역 기반 정합 방법은 비교하는 단위에 따라 화소 단위 또는 정합창 단위의 정합으로 나눌 수 있다. 화소 단위의 정합이 가장 단순하며 구현이 간단하지만, 정합 과정에서 발생할 수 있는 불확실성이 가장 크다. 따라서 이러한 모호성을 극복하기 위하여 정합창 단위의 정합 방법을 주로 사용한다. 기준점을 중심으로 하는 정해진 정합창 내에 있는 화소들의 밝기와 컬러정보 값들이 비교 대상이며, 다른 영상의 여러 정합창들을 차례로 비교하여 교차상관(cross-correlation) 값이나 비용함수를 최적화하는 정합창의 기준점을 상응하는 점으로 결정한다.

그림 1은 정합창을 이용한 정합 방법을 나타낸 것으로, 두 카메라로부터 얻어진 좌우 영상 중 좌영상의 한 점 (x, y) 를 중심으로 한 정합창 내에 있는 화소들의 밝기 값을 동일한 에피폴라 라인 상에 있는 우측 영상의 한 점에서의 정합창을 기준으로 탐색 범위(search range) $d()$ 만큼 수평으로 움직이면서 정합 점을 찾는다. 이 그림은 정합창의 크기는 $1 \times 5[\text{pixel}^2]$ 이며 탐색범위가 21[화소]인 예를 보이고 있다. 두 영상 간 대응되는 점의 거리 차이가 d 일 때 좌우 영상에 대해 다음 수식을 만족해야 한다.

$$f_{\text{cost}}[SR\{I_L(x,y)\}] = f_{\text{cost}}[SR\{I_R(x-d,y)\}] \quad (1)$$

여기서, $f_{\text{cost}}[r]$ 은 또는 비용함수, $SR[p]$ 는 p 를 중심으로 한 정합창 내의 화소들 집합을 나타내고, $I_L(p,q)$ 와 $I_R(p,q)$ 는 (p,q) 위치에 있는 좌영상과 우영상의 화소 값을 각각 나타낸다.

영역 기반 정합 방법의 구현에 있어 정합창의 크기 선택은 실제 변이 정보 정확성에 결정적인 요인이 되며, 지금까지 발표된 연구에서는 균일한 격자 크기(grid

size)를 갖는 사각형 정합창이 사용되고 있다. 형식적으로 $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7, 9 \times 9$ 를 주로 사용하며 창 크기가 작을 때에는 잡음에 민감하고, 반면에 너무 크면 창 내에 왜곡되는 영역이 많이 포함되기 때문에 오정합이 일어나게 된다. 이러한 현상에 대한 결과를 그림 2에서 나타내었다.

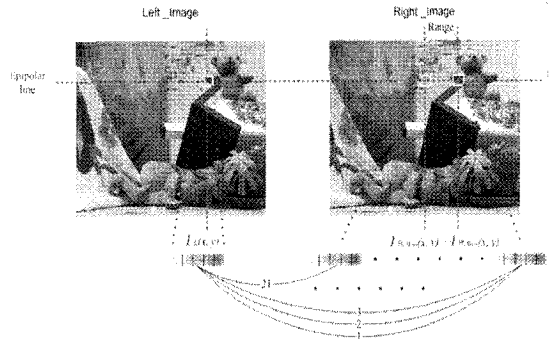


그림 1. 영역 기반 정합 방법
Fig. 1. Area-based matching method

이 그림은 그림 1의 스테레오 영상을 대상으로 여러 크기의 정합창을 사용하여 구한 변이영상(disparity image)이다. 그림에서 보듯이 정합창이 작은 경우에는 경계부분의 변이 값이 비교적 정확하지만, 평활한 영역에서는 부정확한 결과를 나타낸다. 반면 큰 정합창을 사용한 경우는 평활한 영역에서의 변이 값이 상대적으로 정확하나 경계면과 같이 복잡한 영역에서는 그 정확도가 떨어진다.

물체의 경계면은 물체와 배경이 떨어져 있는 경우가 많기 때문에 좌영상과 우영상에서 서로 다른 현상이 발생한다. 물체의 좌측에서는 좌영상에는 있으나 우영상에는 없는 부분이 발생하고, 반면 물체의 우측부분은 좌영상에는 없으나 우영상에는 있는 부분이 발생한다.

두 영상 중 기준영상에는 보이고 참조영상에는 보이지 않는 영역을 폐색영역(occlusion region), 참조영상에는 존재하나 기준영상에는 존재하지 않는 영역을 비폐색영역(disocclusion)이라고 한다. 일반적으로 기준영상에 대한 변이영상을 생성하기 때문에 비폐색영역은 문제가 없으나 폐색영역은 정합이 어려운 문제가 발생한다.

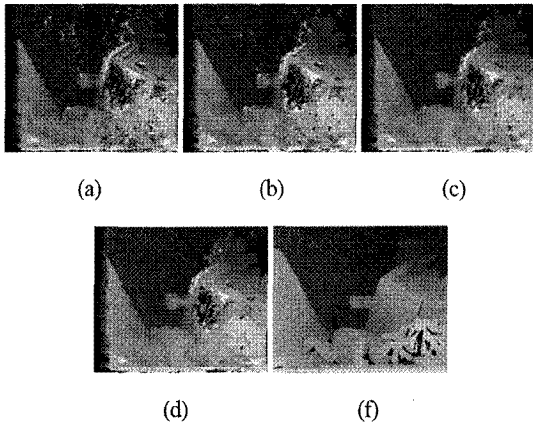


그림 2. 정합창의 크기에 따른 추출된 변이영상; (a) 3×3 크기의 윈도우 정합, (b) 5×5 크기의 윈도우 정합, (c) 7×7 크기의 윈도우 정합, (d) 9×9 크기의 윈도우 정합, (e) 실제 변이지도.

Fig. 2. Extracted disparity image according to the matching window size; (a) using 3×3 size matching window, (b) using 5×5 size matching, (c) using 7×7 size matching, (d) using 9×9 size matching, (e) ground truth map.

폐색영역 문제를 해결하기 위해 좌우 영상에서 추출한 특징을 사용하여 정합이 가능한 점을 찾은 후 그 점들 중에서 가장 정합이 잘 이루어진 점을 찾아 정합하는 방법이 제안되었다. 정합 요소로 사용되는 대표적인 특징으로는 특징 점의 방향성, 특징 점의 영역화, 특징 점 영역 그리고 모서리의 점 등이 있다. 따라서 단순한 밝기 값에 기인한 특징이 아닌 불연속성으로부터 추출한 특징을 이용하여 정합함으로써 정합한 결과는 광학적 변화에 강한 특성을 가지게 된다. 또한 해당 영상 전체에 대한 정합탐색을 하지 않고 추출된 특징 중에서 정합이 가능한 점으로 찾으므로 연산량이 작고 속도가 빠르다는 특징을 갖는다.

그러나 전체 영상에 대한 조밀한 변위 맵을 구할 수 없고 변위 맵을 이용한 화상의 복원이 불가능하며 이러한 단점을 보완하기 위한 별도의 처리가 뒷받침 되어야 한다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 영상의 특징을 추출한 뒤 이를 통해 정합창의 크기를 결정하는 특징 점을 이용하는 영역 기반 방법이 제안되었다. 입력 영상을 소벨(Sobel) 연산자를 이용하여 특징 점을 얻고 정합창의 크기를 결정하여 초기 변위를 얻는다. 이 방법에 적용된 결과를 그림 2-4에서 나타내었다.

그림 3 (b)는 (a) 영상에 대한 특징 점들로 사용할 영상의 에지들을 추출한 결과이며, (c)는 이 에지들을 사용한 가변 정합창 방법으로 구한 변이지도, 그리고 (d)는 오정합이 없는 실제의 변이지도를 각각 나타내고 있다. 그림 3 (c)와 그림 2의 변이영상을 비교하면 경계면과 평활지역 모두에서 비교적 정확한 변이 값이 구해졌음을 알 수 있다.

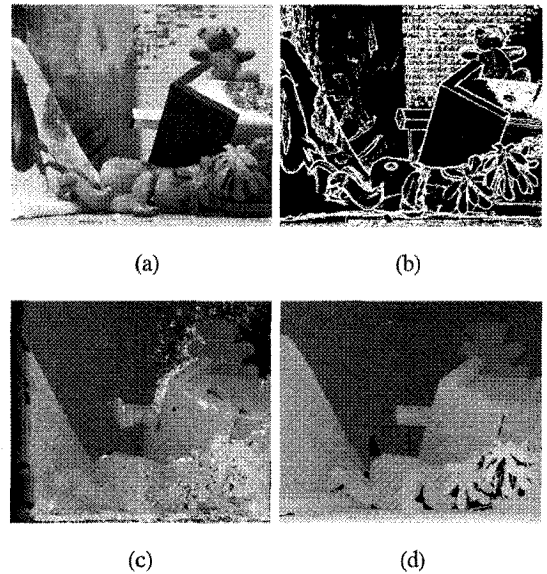


그림 3. 가변 정합창 방법; (a) 원 영상, (b) 경계 영상, (c) 가변 정합 창이 적용된 결과, (d) 실제 변이지도

Fig. 3. Variable-sized window technique; (a) original image, (b) edge image, (c) disparity which variable-sized window technique applied, (d) ground truth map.

2.2. 교차 일치성 검사

본 초기 변이지도는 물체 경계부분의 폐색영역에서 많이 발생한 오정합을 그대로 포함하고 있으므로, 보다 신뢰성 높은 변이지도를 얻기 위해서는 오정합을 검출하여야 한다. 폐색영역은 오른쪽 원 영상에는 존재 않는 영역이기 때문에 변이 값을 찾기가 매우 어렵다. 이 문제점을 해결하기 위해 사용되는 한 방법이 쌍방향으로 교차 일치성 검사 방법이다. 이것은 좌측 영상으로부터 계산된 변이와 우측 영상을 기준으로 계산된 대응 점의 변이는 서로 일치해야 한다는 조건으로, 이를 만

족하지 못하는 변이를 갖는 화소는 정합에서 제외시키는 방법이다. 그러나 일반적으로 좌영상 기준의 변이와 우영상 기준의 변이가 정확히 일치하는 것은 그 제약조건이 너무 강하기 때문에 어느 정도의 차이를 갖는 것을 허용한다.

교차 일치성 검사를 통해 폐색영역을 포함하는 오정합 화소를 찾는 것이 일반적이다. 오정합을 찾는 방법은 좌·우영상에서 대응점의 변이 값의 차이가 미리 정의된 임계값을 초과할 경우 해당 화소를 오정합으로 간주한다. 식 2는 교차 일치성 검사를 이용하여 부정확한 변이를 검출하는 식을 나타낸다.

$$f(x) = |D_{LR}(x) - D_{RL}(x - D_{LR}(x))| \quad (2)$$

$$D_{crosscheck}(x) = \begin{cases} D_{LR}(x), & f(x) \leq T_{crosscheck} \\ fail, & f(x) > T_{crosscheck} \end{cases}$$

여기서 D_{LR} 는 왼쪽 기준으로 찾은 초기 변위 값, D_{RL} 는 오른쪽 기준으로 찾은 초기 변위 값을 나타내고, $D_{crosscheck}(x)$ 는 교차 일치성 검사를 통과한 x 의 변이값을 나타낸다. 또한 $T_{crosscheck}$ 은 교차 일치성 검사의 임계치를 나타낸다. 그림 4는 이 교차 일치성 검사 결과를 나타내고 있는데, (a)의 초기 변이영상에 대해 교차 일치성 검사를 수행한 결과가 (b)이다. 이 그림에서는 오정합 화소들을 구분하기 위해서 교차 일치성 검사를 통과한 화소의 값을 '0', 통과하지 못한 화소의 값을 '255'로 하였다. 이 때 $T_{crosscheck}$ 은 '1'로 하였다.

2.3 후처리

앞 절에서 본 바와 같이, 일반적으로 스테레오정합 알고리즘을 통해 얻어진 변이지도는 폐색영역이나 오정합 화소들을 많이 포함하고 있다. 이런 화소들의 변이 값의 정확도를 높이기 위해 특정 제약 조건을 적용하는 후처리 과정이 수행된다. 일반적으로는 오정합으로 판단되는 영역은 인접한 변이 값으로 채우는 방법(hole filling)을 적용하고, 균일한 색상을 가지는 영역을 보정하는 평활화(smoothing) 방법을 많이 사용한다.

그림 5는 스테레오정합 알고리즘의 결과인 초기 변이지도와 후처리 방법(hole filling과 평활화)이 적용된 변이지도를 나타내고 있다.

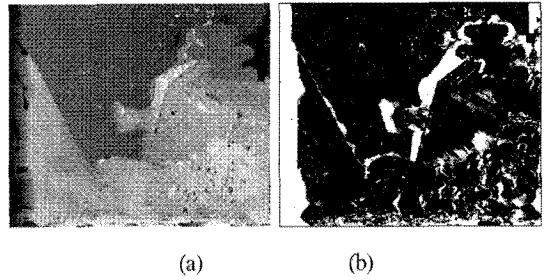


그림 4. 교차 일치성 검사: (a) 초기 변이지도, (b) 폐색영역 검출

Fig. 4. Cross-consistency check; (a) initial disparity map, (b) detection of occluded areas

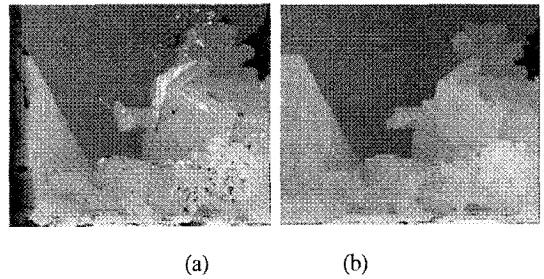


그림 5. 후처리 방법이 적용된 변이지도; (a) 초기 변이지도, (b) 후처리를 적용한 결과.

Fig. 5. The result of a disparity map which refinement technique is applied: (a) initial disparity map, (b) disparity which refinement technique applied.

이 제약조건은 일반적으로 변이정보가 얻어진 후 변이영상을 기준으로 각 화소들간의 관계를 규정하여 변이영상을 개선하기 위한 기법으로 응용된다. 식 1의 크기에 임계값을 정하여 그 크기를 제한하면 변이를 조절할 수 있다. 변이영상을 후처리하는 과정에서 한 변이가 주변의 변이보다 상대적으로 너무 크거나 작은 값을 갖는 경우를 판별하여 보정할 수 있다. 그러나 물체의 경계에서 실제 변이를 왜곡할 수도 있기 때문에 선택적으로 적용하여야 한다.

III. 제안한 방법

앞 장에서 설명한 교차 일치성 검사를 바탕으로 본 장에서는 초기 변이지도의 정확도를 높이기 위한 영역 기반 스테레오정합 방법과 교차 일치성 검사의 정확도를 향상시키기 위하여 비용함수를 이용하는 방법을 제안한다. 교차 일치성 검사의 정확도를 떨어뜨리는 요인은 주로 영상 내 균일한 색상을 가지는 영역에서 변이정보가 정확하게 획득되지 않는 점과, 물체의 경계 부근에서 정합창의 크기가 적당하지 못하여 변이정보가 왜곡되는 현상이다. 따라서 이들을 해결하기 위한 방법을 제안하고자 한다.

3.1 제안한 영역 기반 스테레오정합 방법

그림 2에서 본 바와 같이, 정합창의 크기에 따라 다소 차이가 있지만, 초기 변이영상에서 가장 오정합이 많은 부분은 폐색영역과 균일한 영역이다. 정합창이 작으면 경계부분이 정확해지나 균일영역의 변이값은 부정확해지고, 반대로 정합창이 크면 균일영역의 변이가 정확해지고 경계부분이 부정확해진다.

이것은 정합창이 작으면 균일영역 자체가 정합창에 비해 매우 커 기준영상의 정합대상점과 동일한 특성을 가진 점들이 참조영상에 다수 존재하기 때문이다. 따라서 오차범위 내의 비용함수 결과를 가진 점들이 많이 발생하게 되고, 그 중 최적의 비용값을 갖는 점을 택한다고 해도 그 점이 정확한 정합점일 확률은 그리 높지 않다.

정합창이 커지면 경계부분, 즉 폐색영역의 오정합이 많이 나타난다. 이는 정합창의 크기가 커질수록 창 내에 왜곡되는 영역이 많이 포함되기 때문이다. 또한, 한 화소를 정합하기 위해서는 창 내에 밝기 변화가 포함되어야 하지만, 포함된 밝기 변화 내에서는 변이의 변화까지도 포함하고 있기 때문에 변이지도에서 실제의 변이 경계보다 확장되어 나타나는 “foreground-fattening” 현상이 지속되게 된다.

3.1.1 색상정보를 이용한 특징점 추출

정합창의 크기에 따라 정합창의 크기에 따라 오정합이 발생하는 영역이 다른 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 영역에 따라 정합창의 크기를 적응적으로 변화시키는 방법을 제안한다. 영역은 경계영역과 그 외

의 영역으로 구분하는데, 이것은 영상의 특징점들을 찾음으로써 가능하다. 본 논문에서는 영상의 에지들을 영상의 특징점들로 사용한다.

영상의 에지들을 찾기 위해서 본 논문에서는 먼저 영상을 영역분할하고 각 분할된 영역의 에지들을 찾아 그 에지들을 결합하는 방법을 사용하였다. 영역을 분할하는 방법은 생상정보를 사용하는 방법으로서, 기본적으로는 **R, G, B, W(white)**의 네 영역으로 분할하는 방법을 사용하였다.

그러나 일반적인 영상 자체에서 추출한 에지들은 그 경계가 모호한 경우가 많다. 따라서 본 논문에서는 먼저 각 영역을 더욱 뚜렷히 구분하기 위해서 평균 이동(mean-shift) 알고리즘을 사용하였다. 이 방법은 각각의 화소의 위치 정보와 색상 정보를 동시에 고려하여, 비슷한 색상 특징 값을 갖는 영역을 분할할 뿐 아니라, 그 분할된 영역의 대표 값 또한 출력한다. 이 방법은 객체와 객체간의 경계 영역을 뚜렷하게 해주는 효과를 준다.

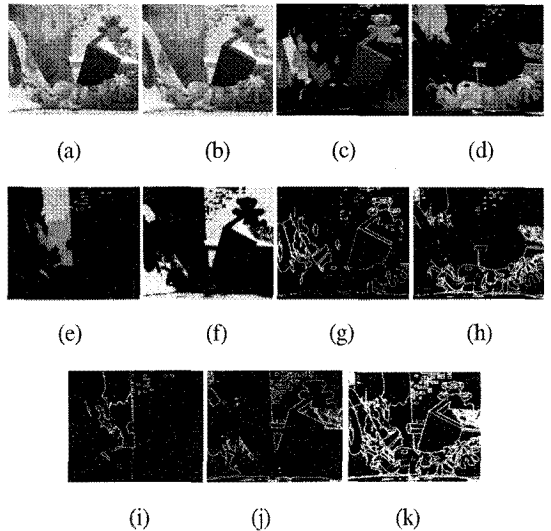


그림 6. 에지영상 추출 ; (a) 원 영상, (b) 평균 이동 알고리즘 적용 결과, 분할된 (c) R 영상, (d) G 영상, (e) B 영상, (f) W 영상, 분할된 영상에서 추출한 에지 (g) R 영상, (h) G 영상, (i) B 영상, (j) W 영상, (k) 결합된 에지 영상.

Fig. 6. Edge image extraction: (a) original image, (b) the result from applying the mean-shift algorithm, the segmented image of (c) R, (d) G, (e) B, (f) W, the extracted edge of the image of (g) R, (h) G, (i) B, (j) W, and (k) the combined edge image.

평균 이동 알고리즘을 적용한 영상을 R, G, B, W로 분할한 후, 각 분할된 영상의 에지는 소벨 연산자를 적용하여 구하였다. 전체 영상에 대한 에지영상은 각 분할영상의 에지들을 모두 합하여 구하였다. 그림 6은 Teddy 영상에 대해 소벨 연산자를 적용한 결과, R, G, B, W로 영상 분할한 결과, 각 분할영상에서 추출한 에지, 그리고 분할영상의 에지들을 합하여 전체영상의 에지영상을 만든 결과를 예로 보이고 있다.

3.1.2 특징점들을 이용한 적응적 가변 정합창 방법

정합창을 이용한 스테레오 매칭은 정합창의 크기에 따라 영역별로 정확도가 달라진다. 이러한 특성을 고려하여 초기 변이지도를 생성할 때 영상의 특징점들, 즉 에지성분에 따라 적응적으로 정합창의 크기를 조절하는 방법을 제안한다. 이 방법은 먼저, 3×3 정합창 내에 에지화소(에지에 해당하는 화소) 수를 찾는다. 정합창 내에 에지화소가 있을 경우에는 현재 윈도우의 크기를 정합창의 크기로 선택하고 경계 정보가 없을 경우에는 윈도우의 크기를 증가시킨다. 정합창은 홀수×홀수의 크기로 증가시켜 최대 25×25의 크기를 가지도록 하였다. 이 방법을 사용함으로써 경계영역, 즉 폐색영역을 포함하는 에지성분이 많은 영역에서는 작은 정합창을 갖고, 균일한 영역에서는 큰 정합창을 갖게 된다.

3.1.3 다수로 정합되는 경우의 처리

영역 기반 정합을 수행할 때 기준영상의 특정화소와 정합되는 참조영상의 화소는 이론적으로는 한 개이어야 한다. 그러나 최적의 비용함수 값을 갖는 참조영상의 화소가 두 개 이상이 되어 정합되는 화소수가 두 개 이상인 경우가 많이 발생한다. 이것은 적응적 가변 정합창을 사용하는 제안한 방법에서도 마찬가지이다. 그러나 실제의 경우 정합되는 화소는 한 개이어야 하므로 정합되는 여러 화소들 중 하나를 선택하여야 한다. 일반적으로는 가장 먼저 정합되는 화소를 선택하게 되는데, 이것이 부정확한 변이값을 갖는 원인이 되기도 한다.

이에 본 논문에서는 적응적 가변 정합창의 크기를 결정할 때 사용한 에지정보를 이용하여 다수의 정합화소 중 한 개를 선택한다. 일반적으로 변이값은 경계부분을 제외하고는 연속적이다.

따라서 정합되는 화소가 다수 개 발생한 경우 그 화소가 에지이면 가장 먼저 정합된 화소를 선택하고, 에지가 아니면 그 전 화소의 변이값과 가장 근접한 변이값을 갖는 화소를 선택한다.

그림 7은 3.1.2와 3.1.3에서 제안한 방법들을 적용하여 구한 초기 변이영상의 예이다. 그림 3(c)의 가변 정합창을 이용한 변이지도보다 경계영역과 균일영역 모두에서 좋은 결과를 보이는 것을 알 수 있다.

3.2 제안한 교차 일치성 검사

앞 장에서 기존 교차 일치성 검사의 문제점을 확인하였고, 앞 절에서는 초기 변이지도의 정확도를 높이기 위한 방법을 제안하였다. 본 절에서는 교차 일치성 검사의 정확도를 높이는 방법을 제안한다.

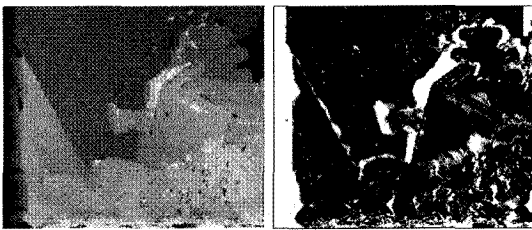


그림 7. 제안한 적응적 가변 정합창 방법을 이용한 초기 변이영상.

Fig. 7. The initial disparity image obtained by using the proposed adaptive variable-sized matching window technique

정합창의 크기가 변이정보에 주는 영향을 고려하여 적응적으로 정합창의 크기를 변화시키는 방법을 제안하여 적용하였으나, 그림 7에서 보는 바와 같이 여전히 오정합이 많이 나타나고 있다. 이 오정합은 실제의 경우 오정합 여부를 알 수 없기 때문에 이 변이영상을 사용하는 것은 바람직하지 않다. 후후 추가적인 과정을 통해 오정합을 수정하기 위해서라도 우선되어야 하는 과정이 오정합 여부를 확인하는 과정이며, 이 과정이 교차 일치성 검사이다. 따라서 본 논문에서도 교차 일치성 검사를 수행한다. 그러나 2장에서 설명한 바와 같이 기존의 교차 일치성 검사는 그 검사를 통과한 변이값조차 정확성을 담보할 수 없기 때문에 기존의 방법을 그대로 사용할 수 없다.

먼저, 기존 방법의 문제점이 발생하는 원인을 파악하기 위해 교차 일치성 검사로 유효하다고 판단되는 변이값 중에서 실제 변이값과 일치하지 않은 것들을 분석하였다. 그 방법은 다음과 같다. 교차 일치성 검사에서 통과되지 못한 화소에 대해 그 변이값을 추출하기 위해 계산하였던 비용함수 값을 오름차순으로 정렬하고 이를 화소 당 값으로 변환하였다. 정렬되고 변환된 값들 중 최적값과 차상위 최적값을 교차 일치성 검사를 통과한 화소의 해당 값들과 비교하였다. 그 결과 두 값의 차이가 매우 작거나 변환된 비용함수 자체가 매우 큰 경우들이었다.



(a) (b)

그림 8. 교차 일치성 검사를 통과한 오정합의 예; (a) 비용값 차이가 작은 경우, (b) 비용값 자체가 큰 경우

Fig. 8. Mismatched examples which passed the cross-check: (a) the case that the cost difference is too small, (b) the case that the cost values are too large

그림 8은 그 예를 보이고 있다. 그림에서 흰색으로 표시된 영역은 교차 일치성 검사를 통과하였고, 그것이 실제의 변이값과 일치하는 경우, 검은색으로 표시된 영역은 교차 일치성 검사를 통과하지 못한 경우, 그리고 회색으로 나타낸 영역은 교차 일치성 검사를 통과했으나 실제의 변이값과는 다른 경우를 각각 나타내고 있다. 이 예에서는 최소화 비용함수인 SAD를 사용하였다. 이 그림에서 (a), (b) 모두 교차 일치성 검사는 통과하였으나 실제의 경우와 다른 변이값을 갖는 경우로서, (a)는 화소당 비용함수의 값은 작으나 최소값과 차상위 최소값의 차이가 적은 경우를 나타내고 있고, (b)는 최소값과 차상위 최소값의 차이는 크나 비용함수 자체가 큰 경우를 나타내고 있다.

- ① 교차 일치성 검사를 통과한 특정 화소의 변이값에 해당하는 화소당 비용함수 값이 미리 정한 임계치 ($T_{cost\ value}$)보다 크면 그 화소는 오정합 화소로 판정한다.
- ② 교차 일치성 검사를 통과한 특정 화소의 최적의 비용함수 값과 차상위 비용함수 값의 화소당 차이가 미리 정한 임계치 ($T_{cost\ difference}$)보다 작으면 그 화소를 오정합 화소로 판정한다.

IV. 실험 및 논의

본 장에서는 앞서 설명한 본 논문에서 제안한 방법들을 적용하여 실험한 결과를 설명한다. 이를 위해 먼저 실험환경과 실험방법에 대해 설명하고 이를 이용한 실험의 결과를 설명하고 분석한다.

4.1. 실험 방법

실험에 사용된 영상은 Middlebury 사이트의 테스트 스테레오 영상들인데[17], 스테레오 비전 분야에서 많이 사용되는 영상들이다. 이 영상들은 평행식으로 배열된 스테레오 카메라로 획득한 영상들이며, 영상의 캘리브레이션(calibration)과 보정(rectification)이 된 영상들이다. 이러한 영상은 대부분 물체를 기준으로 좌측 영상이 얼마만큼 오른쪽으로 이동하느냐를 변이로 선택한다. 본 논문에서도 좌측 영상을 기준영상으로 설정하였으며, 이를 기준으로 모든 설명을 진행한다.

영역의 정합 창 크기는 7가지 종류(3X3, 5X5, 7X7, 9X9, 가변, 적응적 가변)를 사용한다. 이를 통해 나온 결과를 확인하기 위해 임계치를 ±1로 두고 Middlebury 사이트에서 제공하는 정량적인 평가를 적용한다.

또한 제안한 교차 일치성 검사의 신뢰성을 확인하기 위해 위에서 설명한 7가지의 정합창 별로 기존의 방법과 제안한 방법을 비교한다. 본 논문에서 사용되는 영상들을 그림 9에서 보였는데, 여기에는 좌우영상들을 보이고 있다.

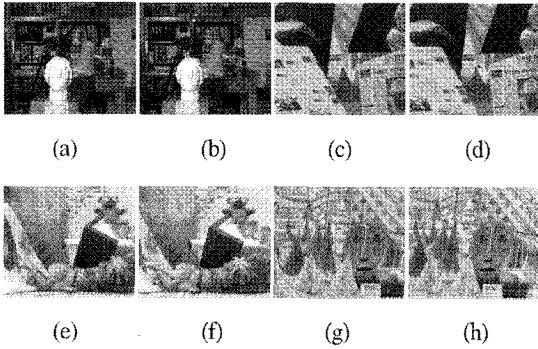


그림 9. 실험 영상: (a) Tsukuba 왼쪽 영상, (b) Tsukuba 오른쪽 영상, (c) Venus 왼쪽 영상, (d) Venus 오른쪽 영상, (e) Teddy 왼쪽 영상, (f) Teddy 오른쪽 영상, (g) Cones 왼쪽 영상, (h) Cones 오른쪽 영상

Fig. 9. Test images: (a) Tsukuba left image, (b) Tsukuba right image, (c) Venus left image, (d) Venus right image, (e) Teddy left image, (f) Teddy right image, (g) Cons left image, (h) Cones right image

4.2. 실험 결과 및 논의

기존 영역 기반 스테레오 매칭 방법과 제안한 알고리즘과의 화질을 비교하고, 제안한 교차 일치성의 실험 결과는 보다 객관적으로 비교하기 위해 전체 영역에 대한 오차율 e_1 과 교차 일치성 검사로 유효하다고 판단된 변이 값 중에 실제 변이 값과 일치하지 않은 변이 값 오차율로 정의하여 비교한다.

4.2.1 제안한 적응적 가변 정합창에 대한 실험

먼저 제안한 특징점을 이용한 적응적 가변 정합창 방법을 적용한 결과를 기존 방법들의 결과와 비교한다. 그림 10에서는 여러 가지 크기의 정합창을 적용한 영역 기반 정합 결과를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이, (g)의 ground truth 변이영상과 비교할 때 고정된 정합창 방법에서는 정합창의 크기가 작을수록 경계부분의 정확도가 높으나 균일한 영역에서의 오차가 매우 많은 것을 알 수 있다. 반면 정합창이 커질수록 균일한 영역의 정확도가 높아지는데 반해 경계영역에서의 오차율은 증가된다. (e)의 가변 정합창의 경우 경계영역이나 균일영역 모두에서 어느 정도의 개선을 볼 수 있으나, 제안한 방법인 (f)에서 좀 더 개선된 결과를 볼 수 있다.

이 네 영상에 대한 오차율을 비교하기 위해 각 정합창 방법에 대한 오차율을 표 1에 종합적으로 나타내었다. 표에서 보면 7×7 또는 9×9 고정 정합창을 사용한 경우 제안한 방법과 유사한 오차율을 갖는 것으로 보이는데, 네 영상에 대한 오차율의 평균을 보면 제안한 방법의 오차율이 7×7 고정 정합창을 사용한 경우보다 4%, 9×9 고정 정합창을 사용한 경우보다 3% 정도 낮은 것을 볼 수 있다. 제안한 방법은 네 영상에 대한 평균오차율에서 최대 18.2%, 최소 2.5% 오차율이 감소하였다. 따라서 정합창의 크기에 대해서는 제안한 방법이 가장 우수한 특성을 보였다.

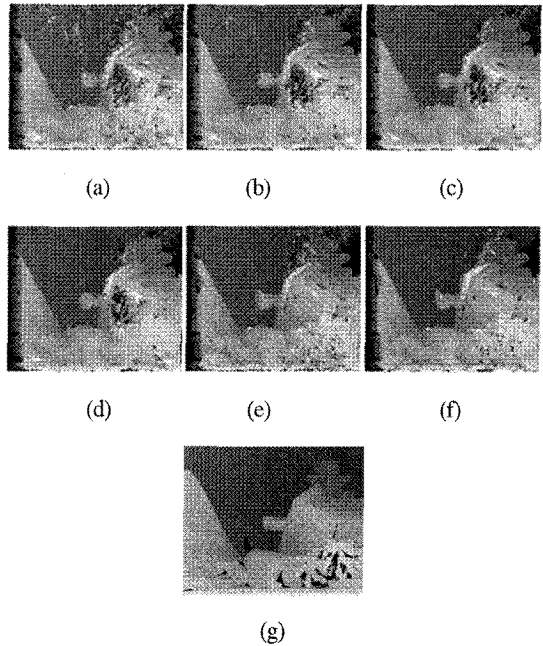


그림 10. 정합창에 따라 추출한 Teddy의 변이정보; (a) 3×3 고정 정합창, (b) 5×5 고정 정합창, (c) 7×7 고정 정합창, (d) 9×9 고정 정합창, (e) 가변 정합창, (f) 제안한 적응적 가변 정합창, (g) ground truth

Fig. 10. The extracted disparity of Teddy according to the matching window; (a) 3×3 fixed matching window, (b) 5×5 fixed matching window, (c) 7×7 size fixed matching window, (d) 9×9 fixed matching window, (e) variable matching window, (f) proposed adaptive variable matching window, (g) ground truth

표 1. 영역 기반 정합 방법에 따른 변이정보 오차율의 비교

Table 1. The comparison according to the area-based window matching technique of the disparity error ratio

Window size	3×3	5×5	7×7	9×9	Variable	Adaptive Variable
Tsukuba	21.3	14.3	11.8	10.7	14.0	9.5
Venus	35.9	24.8	18.9	14.9	15.5	11.4
Teddy	44.2	34.2	30.3	28.4	29.9	25.5
Cones	38.4	28.1	24.5	23.0	30.0	20.5
평균	34.9	25.3	21.3	19.2	22.3	16.7

4.2.2 제안한 교차 일치성 검사에 대한 실험

교차 일치성 검사는 초기 변이영상의 변이값들이 올바른지를 기준영상과 참조영상을 반대로 하여 검사하는 방법이다. 따라서 교차 일치성 검사의 대상은 초기 변이영상의 모든 변이값들이며, 여기에는 실제 변이값과 다른 변이값들도 포함된다. 그러므로 교차 일치성 검사를 통과한 변이값 중에는 실제의 변이값과 다른 초기 변이값이 교차 일치성 검사를 통과한 경우도 있다. 이런 변이값은 정확한 값으로 인정하고 후처리 과정에서는 대상에서 제외되기 때문에 최종 변이영상에서의 오차율을 증가시키는 요인이 된다.

이를 고려하여 본 실험에서는 교차 일치성 검사를

통과하였으나 실제 변이값과 다른 변이값들을 전체 영상에 대한 비율(e_1)과 교차 일치성 검사를 통과한 변이값들에 대한 비율(e_2)로 각각 나타내었다. 이 두 비율로써 교차 일치성 검사 자체의 정확도를 분석할 수 있다.

앞 절에서 사용하였던 네 개의 영상과 다양한 정합창 방법들에 대해 기존의 방법과 제안한 교차 일치성 검사를 적용한 결과를 표 2에 정리하였다. 표 2에서 종축은 영상의 종류와 방법들을 분류하였고, 횡축은 다양한 정합창 방법들을 분류하였다. 먼저 정합창 방법에 대한 교차 일치성 검사의 오차율은 정합창이 클수록, 그리고 가변 및 적응적 가변 정합창을 사용할수록 낮아져 교차 일치성 검사의 신뢰도가 높아지는 것을 볼 수 있다. 특히 본 논문에서 제안한 적응적 가변 정합창 방법이 기존의 방법과 제안한 교차 일치성 검사 모두에는 가장 높은 신뢰도를 갖고 있는 것으로 나타났다.

종축에 대해서는, 영상의 종류에 대해서는 교차 일치성 검사의 특별한 경향성을 찾기는 어려웠다. 그러나 기존의 방법과 제안한 방법을 비교하면 모든 경우에 있어서 제안한 방법의 교차 일치성 검사는 높은 신뢰도를 보였다. 전체영상에 대비한 오차율(e_1)에서 3×3 고정 정합창을 사용한 Venus 영상에서 11.9%의 최대, 제안한 적응적 가변 정합창을 사용한 Tsukuba 영상에서 1.2%의 최소 신뢰도 향상을 보였다.

표 2. 영역 기반 정합 방법에 따른 변이정보 오차율의 비교

Table 2. The comparison according to the area-based window matching technique of the disparity error ratio

Window size		3×3		5×5		7×7		9×9		Variable		Adaptive variable	
		e_1	e_2	e_1	e_2	e_1	e_2	e_1	e_2	e_1	e_2	e_1	e_2
Tsukuba	기존 방법	5.8	7.8	3.9	4.8	3.5	4.1	4.3	5.1	3.5	4.4	3.2	4.0
	제안한 방법	1.6	4.4	1.4	3.7	1.5	3.7	2.0	5.0	1.9	2.5	2.0	3.1
Venus	기존 방법	14.0	19.4	12.0	9.7	7.5	8.8	9.4	10.6	4.9	5.8	4.4	5.1
	제안한 방법	2.1	6.3	1.7	4.9	1.5	4.5	2.3	7.0	2.5	4.9	2.2	4.7
Teddy	기존 방법	8.4	12.9	9.9	13.4	10.6	13.6	11.0	13.7	7.4	9.9	6.1	8.1
	제안한 방법	3.2	10.3	5.0	12.3	5.7	11.2	6.0	15.1	3.8	7.7	3.9	6.3
Cones	기존 방법	12.2	17.8	8.2	10.6	6.9	8.5	8.0	9.6	6.5	9.1	4.8	6.4
	제안한 방법	3.8	10.3	3.0	7.0	2.7	6.3	3.4	8.0	3.5	7.5	3.5	5.3
평균	기존 방법	10.1	14.5	8.5	9.6	7.1	8.8	8.2	9.8	5.6	7.3	4.6	5.9
	제안한 방법	2.7	7.8	2.8	7.3	2.9	7.3	3.4	8.8	2.9	5.7	2.9	4.9

교차 일치성 검사를 통과한 변이값들에 대비한 오차율(e_2)에서는 3×3 고정 정합창을 사용한 Venus 영상에서 13.1%의 최대, 제안한 적응적 가변 정합창을 사용한 Venus 영상에서 0.4%의 최소 신뢰도 향상을 보였다.

네 가지 영상에 대한 평균 오차율을 비교하면은 3×3 고정 정합창을 사용한 경우에서 7.4%의 최대차이를, 제안한 적응적 가변 정합창을 사용한 경우에서 1.7%의 최소차이를 각각 보이고 있다. e_2 의 경우는 3×3 고정 정합창을 사용한 경우에서 7.1%의 최대차이를, 9×9 고정 정합창을 사용한 경우와 제안한 적응적 가변 정합창을 사용한 경우에서 1.0%의 최소차이를 보였다.

따라서 제안한 두 방법의 실험결과를 종합하면, 제안한 영상의 특징점을 이용한 적응적 가변 정합창 방법은 초기 변이영상의 신뢰도를 높이고, 제안한 교차 일치성 검사는 교차 일치성 검사 자체의 신뢰도를 높이는 결과를 얻었다.

V. 결론

본 논문에서는 영역 기반 스테레오 정합에 있어서 폐색영역에 대한 처리와 낮은 초기 변이정보의 정확도 문제를 개선하여 성능을 향상시키는 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 크게 적응적 가변 정합창을 사용하는 방법과 교차 일치성 검사의 신뢰도를 높이는 방법으로 이루어졌다.

먼저 영상의 특징점을 이용한 적응적 가변 정합창 방법은 기준영상을 색상정보에 따라 분할하고 각 분할된 영상의 특징점들을 추출하여 그 특징점들을 사용하였다. 이로써 영상의 특징점 영역에서는 작은 정합창을, 특징점이 없는 균일한 영역에서는 큰 정합창을 적응적으로 가질 수 있도록 하였다. 교차 일치성 검사의 신뢰도는 교차 일치성 검사를 통과한 화소들을 대상으로 화소당 비용함수 자체와 최적의 비용함수와 차상위 최적의 비용함수의 차이를 고려하여 높였다. 이로써 물체의 경계 영역에서 발생하는 “foreground-fattening” 현상을 줄일 수 있었다.

제안된 알고리즘의 성능평가를 위하여 영역 기반 스테레오 정합 방법을 대상으로 기존의 교차일치성방법

과 제안한 방법에 대하여 실험을 수행하였다. 실험대상 영상은 Middlebury 사이트에서 제공하는 네 가지 영상이었으며, 이 영상들의 실험결과를 분석하였다. 제안한 적응적 가변 정합창 방법에 대한 실험결과 제안한 방법이 기존 방법에 비해 초기 변이지도에서 네 영상의 평균 오차율이 2.5%에서 18.2%까지 감소하는 결과를 얻어 제안한 방법의 우수성을 입증하였다. 또한 제안한 교차 일치성 검사를 실험한 결과 제안한 방법이 전체영상 대비 1.7%에서 7.4%, 교차 일치성 검사를 통과한 변이값들 대비 1.0%에서 7.1%의 신뢰도를 향상시켰음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] H. Saito, S. Baba, and T. Kanade, “Appearance-based Virtual View Generation of Temporally-Varying Events from Multi-Camera Images in the 3D Room,” *IEEE Trans. on Multimedia*, Vol. 5, No. 3, pp. 303-316, Sep. 2003.
- [2] J. Schmidt, H. Niemann, and S. Vogt, “Dense Disparity Maps in Real-Time with an Application to Augmented Reality,” *Proceedings of IEEE Workshop on Applications of Computer Vision(WACV 2002)*, Orlando, FL USA, pp. 225-230, Dec. 2002.
- [3] N. Kim, W. Woo, and M. Tadenuma, “Photo-realistic Interactive 3D Virtual Environment Generation Using Multiview Video,” *Proceedings of SPIE VCIP2001*, Vol. 4310, pp. 245-254, Jan. 2001.
- [4] ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, “Multiview video plus depth (MVD) format for advanced 3D video systems,” *JVT-W100*, April. 2007.
- [5] T. Kanade, M. Okutomi, “A stereo matching algorithm with an adaptive window: theory and experiment,” *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 16, pp. 920-932, 1994.
- [6] A. Fusiello, V. Roberto, E. Trucco, “Experiments with a new area-based stereo algorithm,” *International Conference on Image Analysis and Processing*, 1997.
- [7] I. J. Cox, S. L. Hingorani, S. B. Rao, “A maximum

likelihood stereo algorithm," *Computer Vision and Image Understanding*, 63:3. pp. 542-567, May. 1996.

[8] Jian Sun, Nan-Ning Zheng, Heung-Yeung Shum, "Stereo matching using belief propagation," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 27, Issue 25, pp. 787-800, July. 2003.

[9] Peter N. Belhumeur, "A Bayesian approach to binocular stereopsis," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 19, Issue 3, pp.237-260, Aug. 1996.

[10] I. Gallo, E. Binaghi, M. Raspanti, "Neural disparity computation for dense two-frame stereo correspondence," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 29, Issue 5, pp. 673-687, April 2008.

[11] P. Seitz, "Using local orientation information as image primitive for robust object recognition," *SPIE Visual Com. and Image Processing IV*, Vol. 1199, pp. 1630-1639, 1989.

[12] T. Kanade and M. Okutomi, "A Stereo Matching Algorithm with an Adaptive Window: Theory and Experiments," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 16, pp. 920 - 932. 1994.

[13] O. Veksler, "Stereo Correspondence with Compact Windows via Minimum Ratio Cycle," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, pp 1654 - 1660, 2002.

[14] Kuk-Jin Yoon, In so Kweon, "Adaptive Support-Weight Approach for Correspondence Search," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Apr. 2006.

[15] Z. Gu, S. Xianyu, L. Yuankun, Z. Qican, "Local stereo matching with adaptive support-weight, rank transform and disparity calibration," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 29, pp. 1230-1235. 2008.

[16] V. Kolmogorov and R. Zabih, "Computing visual correspondence with occlusions via graph cuts," *ICCV 2001, Computer Vision*, Vol. 2, pp.508-515, 2001.

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

저자소개

백영민(Yaeung-Min Paik)



2007년 2월 : 강원대학교 전기전자
공학과 졸업 (공학사)
2008년 3월~ 현재 : 광운대학교
전자재료공학과
석사과정

※ 관심분야 : JPEG2000, Stereo Matching, FPGA/ASIC

최현준(Hyun-Jun Choi)



2003년 2월 : 광운대학교 전자재료
공학과 졸업 (공학사)
2005년 2월 : 광운대학교
일반대학원 졸업
(공학석사)

2009년 2월 : 광운대학교 일반대학원 졸업(공학박사)
2009년 3월~ 2009년 8월 : 광운대학교 실감미디어
연구소 박사후 연구원
2009년 9월~ 2010년 2월 : 광운대학교 실감미디어
연구소 연구교수
2010년 3월~ 현재 : 안양대학교 정보통신공학과
조교수

※ 관심분야 : 영상압축, 워터마킹, 암호학, FPGA/
ASIC 설계, Design Methodology

서영호(Young-Ho Seo)



1999년 2월 : 광운대학교 전자재료
공학과 졸업(공학사)
2001년 2월 : 광운대학교
일반대학원 졸업
(공학석사)

2000년 3월~2001년 12월 : 인티스닷컴(주) 연구원
2004년 8월 : 광운대학교 일반대학원 졸업 (공학박사)
2003년 6월~2004년 6월 : 한국전기연구원 연구원
2004년 12월~2005년 8월 : 유한대학 연구교수
2005년 9월~2008년 2월 : 한성대학교 전임강사
2008년 3월~현재 : 광운대학교 교양학부 조교수

※ 관심분야 : 2D/3D 영상 및 비디오 처리, 디지털홀로
그램, SoC 설계, 워터마킹/암호화



김동욱(Dong-Wook Kim)

1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과
졸업(공학사)

1985년 2월 : 한양대학교 대학원
졸업(공학석사)

1991년 9월 : Georgia 공과대학 전기공학과 졸업
(공학박사)

1992년 3월~ 현재 : 광운대학교 전자재료공학과
정교수, 광운대학교 신기술 연구소
연구원

2000년 3월~ 2001년 12월 : 인터스닷컴(주) 연구원

2009년 3월~ 현재 : 광운대학교 실감미디어연구소장

※ 관심분야 : 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD, DSP
설계, Wireless Communication