

논문 2009-46CI-1-15

# 빠른 스테레오 매칭을 위한 Bilateral 접근 방법

## (Bilateral Approach for Fast Stereo Matching)

주명호\*, 강행봉\*

(Myung-Ho Ju and Hang-Bong Kang)

## 요약

일반적으로 전역적인 방법의 스테레오 매칭은 보다 높은 정확도의 변위 정보(disparity information)를 추정하는데 반해 지역적인 방법은 비교적 낮은 정확도를 가지지만 전역적인 방법보다 단순하고 빠른 방법이라고 알려져 있다. 하지만 최근 이미지의 영역 분할 방법이나 적응적 가중치를 이용한 방법 등 지역적인 방법에서 보다 정확한 결과를 얻을 수 있는 방법들이 제시되고 있다. 일반적으로 보다 빠른 스테레오 매칭을 위해 전역적인 방법보다 지역적인 방법을 주로 사용하지만 최근 제시된 지역적인 방법들은 보다 정확한 변위 정보가 추정 가능한 만큼 높은 계산적 비용이 요구되고 또한 사용되는 윈도우의 크기에 비례하여 계산 비용이 기하급수적으로 증가하는 문제점을 갖는다. 본 논문에서는 Bilateral 필터에서 사용되는 가중치와 유사하게 픽셀간 거리의 차이와 밝기 값의 차이에 따른 지역적 가중치를 이용한 스테레오 방법을 제안하고 지역적 가중치가 균등하게 정의되었을 경우 상수 시간  $O(1)$  내에 스테레오 매칭을 수행하는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 실험을 통하여 기존의 우수한 방법과 비교하여 정확성 측면에서 크게 떨어지지 않으면서도 윈도우의 크기에 무관하게 상수시간의 수행 속도를 가짐을 보인다.

## Abstract

Typically, local methods for stereo matching are fast but have relatively low degree of accuracy while global ones, though costly, can achieve a higher degree of accuracy in retrieving disparity information. Recently, some local methods like the ones based on segmentation or adaptive weights are suggested which achieve more accuracy than global ones. These newly suggested local methods that can estimate more accurate disparity information cannot be easily used since they require more computational costs which increase in proportion to the window size they use. In this paper, we propose the method by using distance weights and pixel difference weights similar to those of the bilateral filter. Specifically, we present constant time  $O(1)$  algorithm for the case the distance weights are equal. The suggested method requires constant time for computation regardless of the used window size. Furthermore, experiments show that the matching performance of our method is as good as the ones of other recent methods.

**Keywords :** stereo, bilateral filter, constant time

## I. 서론

일반적으로 스테레오 매칭 알고리즘은 이미지 내에

잡음이 존재하거나 이미지가 충분한 텍스처를 갖지 못한 경우 효과적인 결과를 얻기 어렵다<sup>[1]</sup>. 이는 대부분의 알고리즘에서 이미지 대응점간의 유사성과 동일한 변위 상태를 가정하기 때문이다. 이를 해결하기 위해 이미지 전체의 정보를 살피거나 또는 지역적인 영역에 대한 유사성을 비교하는 방법이 많이 사용된다. 이에 따라 최근 스테레오 매칭 알고리즘들은 크게 지역적인 방법(local methods)과 전역적인 방법(global methods)으로 분류할 수 있다. 일반적으로 전역적인 방법은 보다 높은 정확도의 변위 정보(disparity information)를 추정하는데 반해 지역적인 방법은 비교적 낮은 정확도를 가지지

\* 학생회원, 가톨릭대학교 컴퓨터 공학과  
(Dept. of Computer Eng., Catholic University of Korea)

\*\* 정회원, 가톨릭대학교 디지털미디어학과  
(Dept. Digital Media, Catholic University of Korea)

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원(계약번호:UD070010AD) 및 2007년도 가톨릭대학교 교비연구비 지원으로 이루어졌음.

접수일자: 2008년11월11일, 수정완료일: 2009년1월5일

만 전역적인 방법에 비해 보다 단순하고 빠른 방법으로 알려져 있다. 하지만 최근 이미지의 영역 분할을 이용한 방법<sup>[2]</sup>이나 적응적 가중치를 이용한 방법<sup>[3]</sup> 등 전역적인 방법에 비해 보다 정확한 변위 정보를 추정할 수 있는 지역적 방법들이 제시되고 있다<sup>[1]</sup>.

일반적으로 보다 빠른 스테레오 매칭을 위해 지역적인 방법을 주로 사용하지만 최근 제시된 지역적인 방법들은 보다 정확한 변위 정보가 추정 가능한 만큼 높은 계산적 비용이 요구되어 빠른 스테레오 매칭을 수행하기 어렵다. 또한 지역적인 방법은 사용되는 윈도우의 크기에 비례하여 요구되는 계산 비용은 기하급수적으로 증가되는 문제점을 갖는다.

Veksler<sup>[4~5]</sup>는 사용되는 윈도우 크기의 유용한 범위와 서로 다른 크기의 윈도우간에 따른 비용을 계산하여 효율적인 윈도우의 크기를 이용한 적응적 윈도우 방법을 제안하였다. 또한 Kang<sup>[6]</sup>은 주요 픽셀을 포함하는 다중 윈도우를 이용하여 최적의 윈도우를 선택하는 다중 윈도우 방법을 제안하였다. 하지만 이와 같이 윈도우의 형태나 크기를 기반으로 하는 방법들은 윈도우의 일반적인 형태나 크기를 정의하기 어렵고 각각의 윈도우에 따른 비용을 계산하기 위한 파라미터를 결정하기 위해서 많은 계산이 요구되는 문제점을 갖는다. 따라서 윈도우의 형태나 크기를 기반으로 하는 방법들은 임의의 형태를 갖는 대상에 대한 비연속적인 변위를 갖는 픽셀에서 올바른 변위 정보를 찾지 못한다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 영역 분할 기반 방법<sup>[7~8]</sup>이 제안되었다. 영역 분할 기반 방법은 이미지의 영역을 분할하고 분할된 영역간의 스테레오 알고리즘을 수행한다. 이 방법은 동일한 영역 내에서 항상 동일한 변위를 갖는다는 가정을 전제하기 때문에 대상 형태의 변화에도 올바르게 변위 정보를 찾을 수 있다. 하지만 이미지의 영역이 올바르게 분할되지 않는 경우 좋은 결과를 갖기 어렵다. 실제로 많은 텍스처를 포함하는 영상에서 정확한 영역에 대한 분할은 쉽지 않다.

Yoon<sup>[3]</sup>은 윈도우의 형태나 크기를 바꾸는 대신 윈도우 내의 픽셀들에 대해 적합한 가중치를 두는 적응적 영역 가중치 방법을 제안하였다. 이 방법은 매우 정확한 스테레오 결과를 얻을 수 있지만 그에 따른 높은 계산 비용을 요구하며 또한 윈도우의 크기를 증가할수록 계산 비용이 지수 형태로 증가하는 문제점을 갖는다.

본 논문에서는 Yoon의 방법과 같은 윈도우내의 픽셀간의 가중치를 이용한 스테레오 방법을 제안한다. 하지

만 Yoon의 방법과는 다르게 윈도우의 크기 변화에 무관하게 동일한 상수 시간의 계산 속도를 갖는 스테레오 매칭 알고리즘을 제안한다. 윈도우내의 픽셀들에 대한 가중치는 커널 내의 픽셀간의 위치의 차이와 값의 차이를 결합한 Bilateral 필터<sup>[9]</sup>의 방법에 착안하여 질의 이미지의 지역적 가중치를 이용한 스테레오 매칭 알고리즘과 거리의 가중치를 균등하게 갖는 경우에 상수 시간  $O(1)$ 내에 스테레오 매칭을 수행하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 제안하는 방법을 수행하기 위한 Integral Histogram에 대해 설명하고 III장에서 제안하는 Bilateral 가중치의 스테레오 매칭방법과 거리 가중치가 균등한 경우 상수 시간 내 제안된 스테레오 매칭 방법의 수행에 대해 설명한다. IV장에서 실험결과를 통해 본 논문에서 제시하는 방법과 기존 연구와의 정확성과 수행 속도를 비교하여 보다 우수한 성능을 가짐을 보이고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. Integral Histograms

Integral Histogram은 Integral Image를 응용한 방법으로 Porikli<sup>[9]</sup>가 Bilateral Filter를 상수 시간에 빠르게 계산하기 위해 제안한 방법이다. Integral Histogram은 각 점마다의 히스토그램을 누적하여 가지고 있기 때문에 이를 이용하여 주어진 영역의 각 꼭지점의 히스토그램을 연산하여 영역의 히스토그램을 빠르게 구할 수 있다.

이미지의  $(w, h)$ 의 위치에서의 Integral Histogram  $H(w, h, b)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$H(w, h, b) = \bigcup_{i=0}^{i \leq w, j=0}^{j \leq h} Q(I(i, j)) \quad (1)$$

where  $b = 1, \dots, N$

여기서  $b$ 는 히스토그램의 빈(bin)을 나타내고  $Q(\cdot)$ 는 이미지의 현재 점에서 해당하는 빈을 나타낸다. 그리고  $\cup$ 는 합집합 연산으로  $H(w, h, b)$ 의 값은 이전에 방문한 모든 점들의  $Q(I(i, j))$ 의 합과 같다. 즉, 이미지의 좌측 상부를 원점으로 한다면  $H(w, h, b)$ 는 좌측 상단의 가로 길이와 세로 길이가 각각  $w$ 와  $h$ 가 되는 이미지 영역의 모든 점들의 빈의 합이므로 영역의 히스토그램과 같게 된다. 이를 다시 정리하면 Integral Histogram은 다음 식(2)와 같이 재귀적인 형태로 나타낼 수 있다.

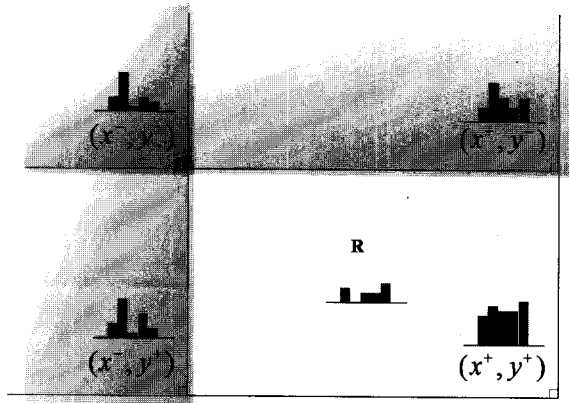


그림 1. Integral Histogram을 이용한 영역 R에 대한 히스토그램 계산  
 Fig. 1. The Integral Histogram for the region R.

$$H(w, h, b) = H(w-1, h, b) + H(w, h-1, b) - H(w-1, h-1, b) + Q(I(w, h)) \quad (2)$$

이때,  $H(0, 0, b) = 0$ 의 초기 값을 가정한다.

식(2)와 같이 현재의 Integral Histogram,  $H(w, h, b)$ 을 계산하기 위해서는  $(w-1, h)$ ,  $(w, h-1)$ , 그리고  $(w-1, h-1)$ 의 위치에서의 Integral Histogram의 값을 알아야 한다. 이미지를 순차적으로 스캔(scan)하여 Integral Histogram을 생성할 경우, 이전 위치의 값은 미리 계산되어 있기 때문에 이미지 전체의 Integral Histogram은 한 번의 스캔과정으로 계산할 수 있다.

특정 영역,  $R$ 이 주어졌을 때, Integral Histogram을 이용하면 주어진 영역의 코너 점,  $(x_R^-, y_R^-)$ ,  $(x_R^-, y_R^+)$ ,  $(x_R^+, y_R^-)$ ,  $(x_R^+, y_R^+)$ 에서의 Integral Histogram 값을 연산하여 다음 식과 같이 빠르게 영역의 히스토그램을 계산할 수 있다.

$$h(R, b) = H(x_R^+, y_R^+, b) - H(x_R^-, y_R^+, b) - H(x_R^+, y_R^-, b) + H(x_R^-, y_R^-, b) \quad (3)$$

[그림 1]은 임의의 영역  $R$ 에 대한 Integral Histogram을 이용한 계산 방법을 보여준다.

### III. 제안 방법

대응되는 픽셀 간에 유사도를 측정할 때, 이웃한 픽셀의 정보를 이용하기 위해서는 고려되는 픽셀들이 모두 동일한 변위 정보를 가지고 있어야만 한다. 하지만

픽셀의 변위 정보는 사전에 알 수 없기 때문에 동일한 변위 정보를 갖는 픽셀만 고려하기는 쉽지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 최근 윈도우 내에 픽셀 간 가중치를 서로 다르게 적용하는 방법<sup>[10~11]</sup>들이 널리 쓰이고 있다<sup>[3]</sup>. 이는 사람이 직접 대응점을 찾을 경우 픽셀의 밝기나 색에 따라 서로 다르게 가중치를 고려하는 것과 유사하다고 볼 수 있다.

이러한 맥락에 따라 본 논문에서는 Bilateral 필터에서와 유사하게 픽셀간의 위치에 대한 가중치와 중심 픽셀과 밝기 차이에 대한 가중치를 이용한 스테레오 매칭 방법을 제안한다. 이 방법은 윈도우 내 픽셀간의 위치에 대한 가중치가 균등하게 정의될 경우, 사용되는 윈도우의 크기에 무관하게 상수 시간  $O(1)$ 에 스테레오 매칭을 수행한다.

#### 1. Bilateral 가중치를 이용한 스테레오 매칭 방법

Bilateral 필터는 윈도우 내 픽셀간의 거리에 따른 공간 가중치와 픽셀의 밝기 값(intensity value)의 차이에 따른 밝기 차이 가중치를 동시에 이용하는 필터로 픽셀의 밝기에 따라 서로 다른 가중치로 고려하기 때문에 이미지 내의 에지 부분이 뭉개지지 않는다. 본 논문에서는 [그림 2]와 같이 픽셀간 위치에 대한 가중치

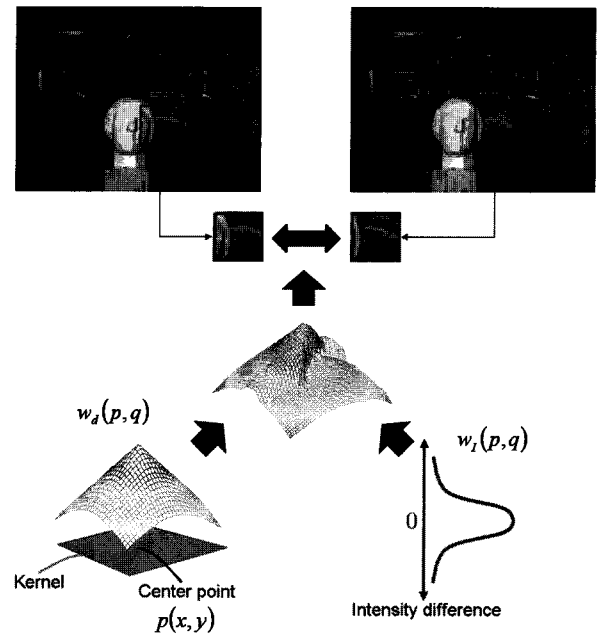


그림 2. 픽셀간의 거리 가중치와 밝기 차이 가중치를 이용한 스테레오 매칭 방법

Fig. 2. The Stereo matching method based on the weights from the distance and brightness difference between pixels.

와 밝기 차이에 대한 가중치를 결합하여 대응되는 픽셀간의 거리를 계산함으로써 효과적인 스테레오 결과를 얻는다.

윈도우  $W$ 에서의 중심 점  $p$ 와 임의의 점  $q$  ( $q \in W$ )에 대해 픽셀의 가중치  $w(p, q)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$w(p, q) = w_f(p, q) \times w_d(p, q) \quad (4)$$

여기서  $w_f(p, q)$ 는 중심 픽셀  $p$ 와 윈도우 내 임의의 픽셀  $q$ 의 밝기 값의 차이에 따른 가중치이고  $w_d(p, q)$ 는  $p$ 와  $q$  사이의 거리에 따른 가중치이다. 이 두 가중치는 다음과 같이 정의 된다.

$$\begin{aligned} w_f(p, q) &= \exp\left(-\frac{\Delta I_{pq}}{\lambda_f}\right) \\ w_d(p, q) &= \exp\left(-\frac{\Delta d_{pq}}{\lambda_d}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $\lambda_f$ 는 3.0 이 사용되었고  $\lambda_d$ 는 윈도우의 크기로 정의 되었다.

픽셀간의 유사도를 측정하기 위해 본 논문에서는 식 (4)의 가중치를 이용하여 질의 이미지의 한 점  $p$ 와 참조 이미지에서 변위 정보가  $c$ 인 대응점  $\bar{p}_c$ 간의 비유사도  $E(p, \bar{p}_c)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$E(p, \bar{p}_c) = \frac{\sum_{q \in W_p, \bar{q}_c \in W_{\bar{p}_c}} w_f(p, q) w_d(p, q) e(q, \bar{q}_c)}{\sum_{q \in W_p} w_f(p, q) w_d(p, q)} \quad (6)$$

여기서  $W_p$ 와  $W_{\bar{p}_c}$ 는 각각 질의 이미지와 참조 이미지에서  $p$ 점과  $\bar{p}_c$ 점을 중심으로 하는 윈도우 영역을 나타내고  $e(q, \bar{q}_c)$ 는 픽셀 기반의 매칭 비용으로 픽셀  $q$ 와  $\bar{q}_c$ 간의 밝기 값의 차이로 계산된다.

$$e(q, \bar{q}_c) = \min\{|I(q) - \bar{I}(\bar{q}_c)|, T\} \quad (7)$$

여기서  $T$ 는 최대 매칭 비용을 제한하기 위한 조종 상수(control value)이다.

주어진 픽셀  $p$ 의 변위 정보  $c_p$ 는 가능한 변위 범위의 픽셀들과 비유사도를 계산한 후에 단순히 가장 작은 비유사도를 갖는 픽셀로 선택되어진다.

$$c_p = \operatorname{argmin}_{c \in D_p} E(p, \bar{p}_c) \quad (8)$$

$D_p$ 는 점  $p$ 에서 가능한 변위 정보의 모든 범위를 나타낸다.

## 2. 상수시간 $O(1)$ 의 스테레오 매칭 방법

Yoon<sup>[3]</sup>은 본 논문에서와 같이 픽셀 차이에 대한 가중치와 윈도우 중심에서의 거리에 대한 가중치를 모두 계산하였다. 또한 질의 이미지와 참조 이미지에서의 가중치를 함께 계산하여 보다 정확한 스테레오 결과 이미지를 획득하였다. 하지만 그에 따른 계산 비용이 많이 필요하고 윈도우의 크기가 증가함에 따라 필요한 계산 비용 또한 기하급수적으로 증가하는 문제점을 보인다. 이와는 다르게 본 논문에서는 질의 영상에서의 가중치만을 고려하지만 거리에 대한 가중치를 균등하게 고려하였을 경우 윈도우 크기와 무관하게 상수 시간에 스테레오 영상을 획득하는 방법을 제안한다. 그리고 실험 결과를 통하여 획득된 스테레오 결과에 대해 정확도가 크게 떨어지지 않음을 보인다.

2절에서 설명한 바와 같이 하나의 이미지가 주어졌을 때, 이미지에 대한 Integral Histogram은 상수 시간에 계산할 수 있다. 이와 유사하게 질의 이미지  $I$ 와 참조 이미지  $\bar{I}$ 가 주어졌을 때, 두 이미지의 차이에 대한 Integral Histogram  $H_{(I, \bar{I})}(w, h, b)$ 는 다음 식과 같이 계산 가능하다.

$$\begin{aligned} H_{(I, \bar{I})}(w, h, b) &= H_{(I, \bar{I})}(w-1, h, b) + H_{(I, \bar{I})}(w, h-1, b) \\ &\quad - H_{(I, \bar{I})}(w-1, h-1, b) + Q(|I(w, h) - \bar{I}(w, h)|) \end{aligned} \quad (9)$$

거리에 대한 가중치를 균등하게 정의할 경우, 식(6)은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$E(p, \bar{p}_c) = \kappa(p)^{-1} \sum_{q \in W_p, \bar{q}_c \in W_{\bar{p}_c}} w_f(p, q) e(q, \bar{q}_c) \quad (10)$$

여기서  $\kappa(p) = \sum_{q \in W_p} w_f(p, q)$ 이다. 사전에 두 이미지의 차이에 대한 Integral Histogram이 계산되어 있다고 가정할 때, 식(10)은 히스토그램으로부터 직접적으로 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$E(p, \bar{p}_c) = \kappa(p)^{-1} \sum_i w_f(p, i) h_{(I, \bar{I})}(i) \quad (11)$$

여기서  $\kappa(p) = \sum_i w_I(p, i)$ 이고  $h_{(I, \bar{I})}(i)$ 는  $i$ 번째 빈에서의 이미지  $I$ 와  $\bar{I}$ 의 차이를 나타낸다. 식(11)을 이용함으로써 윈도우 내 대응 되는 픽셀간의 차이와 질의 이미지의 중심 픽셀간의 차이를 모두 계산하지 않고 히스토그램의 빈의 누적 합으로써 계산할 수 있다. 또한 이미지  $I$ 와  $\bar{I}$ 의 차이에 대한 히스토그램  $h_{(I, \bar{I})}$ 는 식(3)을 이용함으로써 사용되는 윈도우의 크기에 무관하게 간단한 연산을 통하여 빠르게 계산 가능하다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방법은 사용되는 윈도우의 크기와 무관하게 상수 시간  $O(1)$ 의 계산 복잡도만으로 수행 가능하다. 또한 Yoon의 방법이 최대  $35 \times 35$ 의 크기의 윈도우를 사용하는데 반해 본 논문에서 제안하는 방법은 사용되는 윈도우의 크기에 제한이 없다는 장점을 갖는다.

#### IV. 실험 결과

[그림 3]은 본 논문에서 제시하는 가중치의 예를 보여 준다. 상단은  $35 \times 35$ 의 크기의 윈도우에서 질의 이미지,  $I$ 에 대한 이미지를 보여주며 중간은 상단 이미지에 대한 식(4)의 가중치의 예로 어두운 픽셀은 낮은 가중치를, 밝은 픽셀은 높은 가중치를 나타낸다.

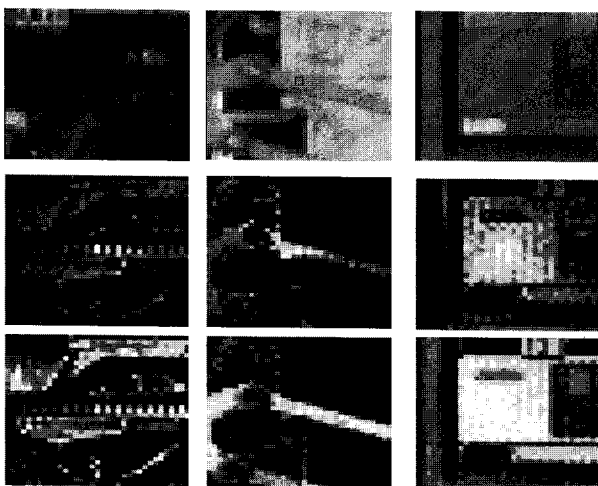


그림 3. 상: 질의 이미지 영역, 중: 질의 이미지 영역에 대한 식(4)의 가중치 결과, 하: 질의 이미지 영역에 대한 식(4)의 가중치중 거리에 대한 가중치를 균등하게 하였을 경우 결과

Fig. 3. Top: some regions of query images, Middle: the results of the weights using the equ. (4), Bottom: the results when the distance weights are uniform in equ. (4).

상단 그림의 작은 붉은색 사각형은 윈도우에서의 중심 픽셀로 식에서  $p$ 를 나타내며  $q$ 는 해당되는 픽셀의 위치에 따라 변하게 된다. 중간 이미지에서 보여지는 결과와 같이 거리가 가까울수록 그리고 고려되는 중심픽셀과 유사할수록 보다 높은 가중치를 할당한다. 이와 같은 가중치는 바로 식(6)에 적용된다. 가장 하단의 이미지는 식(4)의 가중치에서 상수시간 계산을 위한 거리에 대한 가중치가 균등할 경우의 가중치의 예를 보여 준다.

본 논문에서 제안하는 방법을 평가하기 위해 middlebury<sup>[12]</sup>에서 제공하는 이미지들과 해당하는 ground truth가 이용되었다. 그리고 제안하는 방법은 가장 기본이 되는 SSD (Sum of Squared Distance)를 이용한 스테레오 방법과 함께 최근 잘 알려진 적응적 가중치를 이



그림 4. “Tsukuba”, “Sawtooth”, “Poster” 이미지에 대한 스테레오 결과 이미지: 상단부터 차례대로 실험 이미지, ground truth, SSD 방법, Yoon의 방법, 제안된 방법

그림 4. The stereo results for “Tsukuba”, “Sawtooth”, “Poster” images: top to bottom, input images, ground truth, SSD method, the method of Yoon’s, the proposed method.

표 1. 실험에 사용된 알고리즘의 사전 작업과 에러함수

Table 1. The preprocessing methods and error functions used in our experiment.

알고리즘	사전 작업	에러 함수
SSD	없음	$\sum_{q \in W_p, q_c \in W_{p_c}} e(q, \bar{q}_c)$
ASW	각 픽셀과 이웃하는 픽셀간의 가중치 맵 선 계산	$\frac{\sum_{q \in W_p, q_c \in W_{p_c}} w_I(p, q)w_d(p, q)w_I(\bar{p}_c, \bar{q}_c)w_d(\bar{p}_c, \bar{q}_c)e(q, \bar{q}_c)}{\sum_{q \in W_p} w_I(p, q)w_d(p, q)w_I(\bar{p}, \bar{q})w_d(\bar{p}, \bar{q})}$
Proposed	질의 이미지와 대상 이미지의 차이에 대한 Integral Histogram 계산	$\frac{\sum_{q \in W_p, q_c \in W_{p_c}} w_I(p, q)w_d(p, q)e(q, \bar{q}_c)}{\sum_{q \in W_p} w_I(p, q)w_d(p, q)}$

표 2. 각 알고리즘간의 정확도 비교

Table 2. The comparison of accuracies resulting from each algorithm.

Algorithm	Accuracy	Tsukuba	Venus	Sawtooth	Bull	Poster
SSD	89.64	88.85	90.99	83.08	95.87	89.43
Adaptive Support-Weight	92.70	94.95	93.58	88.29	97.77	88.88
Proposed	92.93	94.87	93.75	87.57	97.99	90.46

용하는 Yoon<sup>[3]</sup>의 방법과 비교하여 정확성 및 수행속도의 차이를 비교 분석하였다. [표 1]은 질의 이미지, I와 대상 이미지  $\bar{I}$ 에 대해 실험에 사용된 각 알고리즘의 각 단계를 설명한다.

실험에는 P4 2.6GHz의 CPU 와 2.5GB의 메모리를 가진 컴퓨터가 사용되었으며 컴퓨터 메모리의 한계로 인해 실험에 사용되는 모든 이미지는 흑백 이미지로 변환하여 흑백 이미지에 대한 실험을 수행하였다. 정확성에 대한 비교를 위해 실험에 사용되는 모든 방법 및 이미지에 대해 19×19 크기의 동일한 윈도우를 사용하여 실험을 수행하였다. 그리고 본 논문에서 제안하는 방법은 256단계의 흑백 영상의 밝기 값을 64개의 bin으로 양자화 하여 수행하였다.

[그림 4]는 “Tsukuba” 이미지와 “Sawtooth”, “Poster” 이미지에 대한 스테레오 결과 이미지를 보여준다. 가장 상단의 이미지는 원본 이미지를 나타내고 두 번째 라인의 이미지는 ground truth 이미지이다. 세 번째 이미지는 SSD 방법에 대한 결과 이미지이고 네 번째 이미지는 Yoon의 방법을 이용하였을 경우의 결과 이미지이며 가장 하단의 이미지는 본 논문에서 제안한 방법으로 거리에 대한 가중치를 균등하게 정의하여 상수 시간에 얻은 결과 이미지이다. 본 논문에서 제안한 방법은

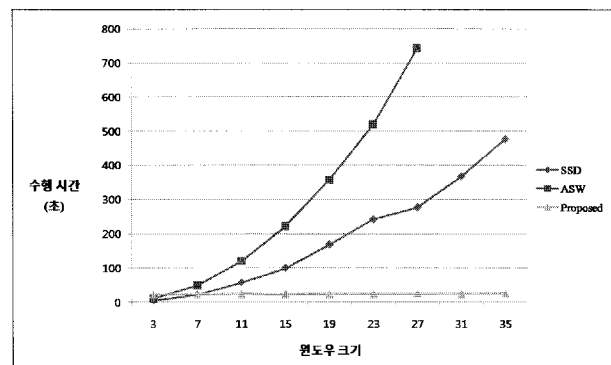


그림 5. 사용 윈도우의 크기에 따른 수행 시간 비교

Fig. 5. The comparison of time cost according to window size.

비록 Yoon의 결과에 비해 약간의 오차를 더 발생시킨다. 하지만 상수 시간에 스테레오 결과 이미지를 얻기 때문에 매우 빠른 수행 속도를 보여주었다.

[표 2]는 스테레오 결과의 깊이 정보가 ground truth 이미지와 1보다 크게 차이 날 경우 에러로 계산하여 각 알고리즘간의 정확도를 비교한 결과이다. SSD의 경우 가장 낮은 정확도를 보이는 반면, 본 논문에서 제안한 방법은 Yoon의 방법과 거의 유사한 정확도를 보였다.

[그림 5]는 “Tsukuba” 이미지에 대해 각 방법에서 윈도우 크기를 3×3에서 35×35의 크기까지 점차 증가시

켰을 때의 수행 시간의 변화를 보여준다. 사용되는 윈도우가  $r$ 의 크기를 가질 때, SSD 방법과 Yoon의 방법은 사전에 이웃 픽셀과의 가중치를 계산하더라도 실제 에러를 계산하기 위해 최소 윈도우내의 픽셀 개수만큼의 연산이 필요하기 때문에  $O(r^2)$ 의 계산 복잡도를 갖는다. 따라서 윈도우의 크기가 증가함에 따라 수행 시간이 지수 형태로 증가한다. 이에 반해 본 논문에서 제안하는 방법은 윈도우의 크기의 변화에 무관하게  $O(1)$ 의 계산 복잡도를 가지며 항상 동일한 수행시간을 보인다.

## V. 결 론

본 논문에서는 Bilateral 필터에서와 유사하게 질의 이미지에 대한 가중치를 적용함으로써 최근 발표된 지역적인 방법과 유사한 정확도를 가지면서 픽셀 간 위치에 대한 가중치를 균등하게 할 경우 사용되는 윈도우 크기에 무관하게 동일한 상수 시간을 수행하여 스테레오 결과 이미지를 얻는 방법을 제안하였다. 하지만 질의 이미지의 Integral Histogram을 생성하기 위해 많은 메모리가 필요하기 때문에 흑백 이미지에 대한 실험만을 수행할 수 있었다. 따라서 보다 적은 메모리를 이용하면서 빠르고 정확한 결과를 추정할 수 있도록 하는 것이 앞으로 해결해야 할 과제라 하겠다.

## 참 고 문 헌

- [1] F. Tombari, S. Mattoccia, L. Di Stefano and E. Addimanada, "Near real-time stereo based on effective cost aggregation", International Conference on Pattern Recognition, December, 2008.
- [2] F. Tombari, S. Mattoccia and L. Di Stefano, "Segmentation-based adaptive support for accurate stereo correspondence", In Proc. IEEE Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology, 2007.
- [3] K. J. Yoon and I. S. Kweon, "Adaptive Support-Weight Approach for Correspondence Search", IEEE Trans. PAMI, 28(4):650-656, 2006.
- [4] O. Veksler, "Stereo Correspondence with Compact Windows via Minimum Ratio Cycle", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24, no. 12, pp. 1654-1660, December, 2002.
- [5] O. Veksler, "Fast Variable Window for Stereo Correspondence using Integral Images", In Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 1, pp. 556-561, 2003.
- [6] S. B. Kang, R. Szeliski and C. Jinxjang, "Handling Occlusions in Dense Multi-View Stereo", In Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 1, pp. 103-110, 2001.
- [7] H. Tao, H. S. Sawhney and R. Kumar, "A Global Matching Framework for Stereo Computation", In Proc. Int'l Conf. Computer Vision, vol. 1, pp. 532-539, 2001.
- [8] L. Wang, S. B. Kang and H.-Y. Shum, "Cooperative Segmentation and Stereo Using Perspective Space Search", In Proc. Asian Conf. Computer Vision, vol. 1, pp. 366-371, 2004.
- [9] F. Porikli, "Constant Time  $O(1)$  Bilateral Filtering", In Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 2008.
- [10] T. Darrel, "A Radial Cumulative Similarity Transform for Robust Image Correspondence", In Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 656-662, 1998.
- [11] Y. Xu, D. Wang, T. Feng and H.-Y. Shum, "Stereo Computation using Radial Adaptive Windows", In Proc. Int'l Conf. Pattern Recognition, vol. 3, pp. 595-598, 2002.
- [12] <http://vision.middlebury.edu/stereo>

저 자 소 개



주 명 호(학생회원)  
 2005년 가톨릭대학교  
 컴퓨터공학과 학사 졸업  
 2007년 가톨릭대학교 대학원  
 컴퓨터공학과 석사 졸업  
 2007년~현재 가톨릭대학교  
 대학원 컴퓨터공학과  
 박사 과정 재학 중

<주관심분야 : 영상처리, 인공지능, 컴퓨터비전>



강 행 봉(정회원)-교신저자  
 1980년 한양대학교  
 전자공학과 졸업  
 1986년 한양대학교 대학원  
 전자공학과 석사  
 1989년 Ohio State Univ.  
 컴퓨터공학 석사

1993년 Rensselaer Polytechnic Institute  
 컴퓨터 공학 박사.

1993년~1997년. 삼성종합기술원 수석연구원  
 1997년~현재 가톨릭대학교 디지털미디어학부  
 교수

2005년 UC Santa Barbara, Visiting Professor  
 <주관심분야: 컴퓨터비전, HCI, 컴퓨터그래픽스,  
 인공지능>