

## 스테레오 변이 추정을 위한 픽셀별 변이 탐색 범위 제한 방법

이예홍 최성환 손광훈

연세대학교 전기전자공학과

khsohn@yonsei.ac.kr

## Per-Pixel Search Range Reduction for Stereo Correspondence

Li, Ruei-Hung Choi, Sunghwan Sohn, Kwanghoon

School of Electrical and Electric Engineering, Yonsei University

## 요약

변이 탐색 범위는 스테레오 정합을 위한 변이 추정 알고리즘의 성능에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 변수 중 하나이다. 일반적으로 이러한 변이 탐색 범위는 영상 전체의 최소 변이 값과 최대 변이 값의 범위로 정의된 전역적인 탐색 범위를 사용하게 된다. 이러한 전역적인 탐색 범위는 픽셀에 따라서 불필요한 범위까지 탐색하게 하며, 이는 변이 추정의 성능적, 속도적 측면에서 좋지 않은 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 픽셀에 따라 변이 탐색 범위를 제한시키는 방법을 제안한다. 낮은 계산 복잡도를 갖는 간단한 변이 추정 알고리즘을 통해 먼저 변이 지도를 생성하여 각 픽셀 당 윈도우를 대응하여 변이 히스토그램을 만든다. 변이 히스토그램에 적응적인 임계 값을 적용하여 픽셀당 변이 후보군을 결정한다. 전역적인 변이 탐색 범위와 제안하는 방법으로 제한된 변이 탐색 범위를 각각 동일한 변이 추정 알고리즘에 적용해 보는 실험을 통해 제안하는 방법의 성능을 분석하였다. 실험 결과로부터 제안하는 방식은 변이 추정 알고리즘의 정확도 측면의 성능을 향상시켰고, 알고리즘의 속도를 평균 5배 이상 향상시켜주는 결과를 보여주었다.

## 1. 서론

변이 추정은 스테레오 영상의 깊이 정보를 추론하는 기술로써, 3-D 컴퓨터 비전 분야에서 활발히 연구되는 기술 중 하나이다. 이 기술은 좌, 우 영상간의 대응점을 찾아 그 대응하는 픽셀들이 좌표 상으로 얼마나 떨어져 있는가를 측정한다. 그 정보를 바탕으로 깊이 지도를 생성한다. 변이 추정 알고리즘을 통해 얻을 수 있는 조밀한 깊이 지도는 3-D 복원, 중간 영상 합성, 물체 인식과 같은 다양한 분야에 응용될 수 있다. 이러한 응용 기술들의 성능은 기반으로 하는 깊이 지도의 정확도에 의존하기 때문에 깊이 지도를 보다 정확히, 그리고 보다 빠르게 얻어내기 위한 많은 변이 추정 알고리즘이 제안되어 왔다 [1].

일반적으로 좋은 성능의 변이 추정 알고리즘들은 계산 복잡도가 높은 경향을 보인다. [2]의 알고리즘은 윈도우 내의 픽셀에 대하여 Gestalt grouping 이론에 근거하여 가중치를 다르게 주어 정합 비용을 계산하는 방법으로 정확한 깊이 지도를 생성한다. Graph-cut이나 Belief propagation 기반의 전역 알고리즘들은 영상 전체의 정합 비용 함수를 정의하고 그 함수의 최소점을 추론하여 깊이 지도를 생성한다 [3, 4]. 위와 같은 방법들은 추론된 깊이 지도의 정확도 측면에서 좋은 성능을 보이는 한편, 계산 복잡도가 높다. 따라서 스테레오 정합 알고리즘의 속도를 중시하는 응용 분야에선 적용하기 어려운 단점을 가지고 있다.

정합 범위를 나타내는 '변이 탐색 범위'는 알고리즘의 성능과 계산 복잡도에 영향을 주는 중요한 변수 중 하나이다. 일반적으로 변이 탐색 범위는 영상 전체에서의 최소 변이 값과 최대 변이 값의 범위로 나타

내어진다 [1]. 이러한 전역적인 탐색 범위를 사용할 경우, 각 픽셀에 대하여 균일한 탐색 범위를 가지기 때문에 각 픽셀마다 불필요한 변이 후보까지 고려해야 한다는 단점이 있다. 따라서 불필요한 계산을 하게 되어 계산 복잡도가 늘어나게 되며, 부적절한 변이 후보를 고려함으로써 깊이 지도의 정확도에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하기 위한 방법으로 픽셀 단위로 탐색 범위를 제한시키는 방법을 제안한다. 각 픽셀별로 제한된 탐색 범위만을 고려함으로써, 변이 추정을 할 때 불필요한 계산을 줄이고 부적절한 변이 후보군으로 인한 오류를 제거한다. 제안하는 방법은 먼저, 계산 비용이 적은 간단한 변이 추정 알고리즘을 이용하여 전역적인 탐색 범위에 대하여 깊이 지도를 생성한다. 생성된 깊이 지도에 각각의 픽셀에 대하여 일정한 너비를 갖는 윈도우를 씌어 해당 윈도우 내에 존재하는 변이를 히스토그램으로 나타낸다. 그런 후, 히스토그램에서 각각의 픽셀들에 대한 변이 후보들을 추출한다. 이렇게 각 픽셀들에 대하여 추출된 변이 후보들로부터 복잡하고 정교한 변이 추정 알고리즘의 탐색 범위를 제한한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 방법을 설명한다. 3장에서는 전역적인 탐색 범위를 이용해 변이 추정을 한 결과와 제안된 방법으로 구한 탐색 범위를 이용해 변이 추정을 한 결과를 비교한다. 4장에서는 본 논문의 결론을 내린다.



그림 1. 변이 탐색 범위 제한 알고리즘 과정

## 2. 제안하는 방법

제안하는 변이 탐색 범위 제한 알고리즘은 그림 1에 나타나 있다. 먼저 간단한 변이 추정 알고리즘을 이용하여 전역적인 탐색 범위에 대하여 깊이 지도를 생성한다. 이 때 생성되는 깊이 지도는 탐색 범위를 제한할 변이 후보군을 추출하기 위한 것이기 때문에, 복잡도가 높은 변이 추정 알고리즘 대신 어느 정도 성능을 보이는 복잡도가 낮은 변이 추정 알고리즘을 사용해야 한다. 본 논문에서는 이러한 조건을 충족하기 위해, Shiftable window 기반의 윈도우 정합 알고리즘을 사용하였다 [1]. 이 방법은 가장 기본적인 정합 알고리즘인 Sum of Absolute Difference(SAD)와 Winner-take-all을 이용한 지역적(local) 알고리즘보다 물체의 모서리 부분에서 강한 결과를 나타낸다.

위와 같은 과정을 거쳐 얻은 깊이 지도를 이용해 각 픽셀별로 변이 후보군 추출을 위한 히스토그램을 생성한다. 전역적인 탐색 범위를  $I$ 이라고 하고, 위에서 얻은 깊이 지도를  $D_{pre}$ 라고 할 때, 각 픽셀  $p$ 에 대한 히스토그램  $h_p$ 는 다음과 같이 만들어진다.

$$h_p[i] = \sum_{q \in N^w} f(i, D_{pre}(q)), \forall i \in S_{all} \quad (1)$$

$N_p^w$ 는 픽셀  $p$ 의 이웃하는 픽셀들로 이루어진 윈도우를 뜻하며,  $w$ 는 윈도우의 너비를 뜻한다.  $f(a,b)$ 는 이산 함수로써,  $a=b$ 일 때 1의 값을 갖고 다른 경우에는 0의 값을 갖는다. 위와 같이 히스토그램이 만들어지면, 이 히스토그램을 이용하여 변이 후보군  $S_p$ 을 추출한다. 이를 위하여 각 픽셀에 대하여 적응적인 임계 값  $k$ 을 다음과 같이 정의한다.

$$k = \max(h_p[i]) * r, \forall i \in S_{all} \quad (2)$$

식 (2)에서 구한 임계 값  $k$ 를 이용한 변이 후보군  $S_p$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S_p = \{i | h_p[i] \geq k\}, \forall i \in S_{all} \quad (3)$$

$r$ 은  $0 \leq r \leq 1$ 을 만족하는 값으로, 즉,  $k$ 는 히스토그램의 최대값에  $r$ 만큼 비례한 값이 된다. 히스토그램의 최대값이 크다는 것은 윈도우 내에서 해당하는 변이 값을 갖는 픽셀이 많다는 것이고, 그만큼 이 변이 값에 대한 신뢰도가 높다는 말이 된다. 따라서 임계 값을 히스

토그램의 최대값에 비례하게 정한 것은 최대값을 가지는 변이에 대한 신뢰도를 고려한 것이다. 만약 히스토그램의 최대값이 상대적으로 높다면 임계값이 높아져 변이 후보군이 줄어든다. 반면에 히스토그램의 최대값이 상대적으로 낮다면, 임계값 또한 낮아져서 변이 후보군이 많아진다.

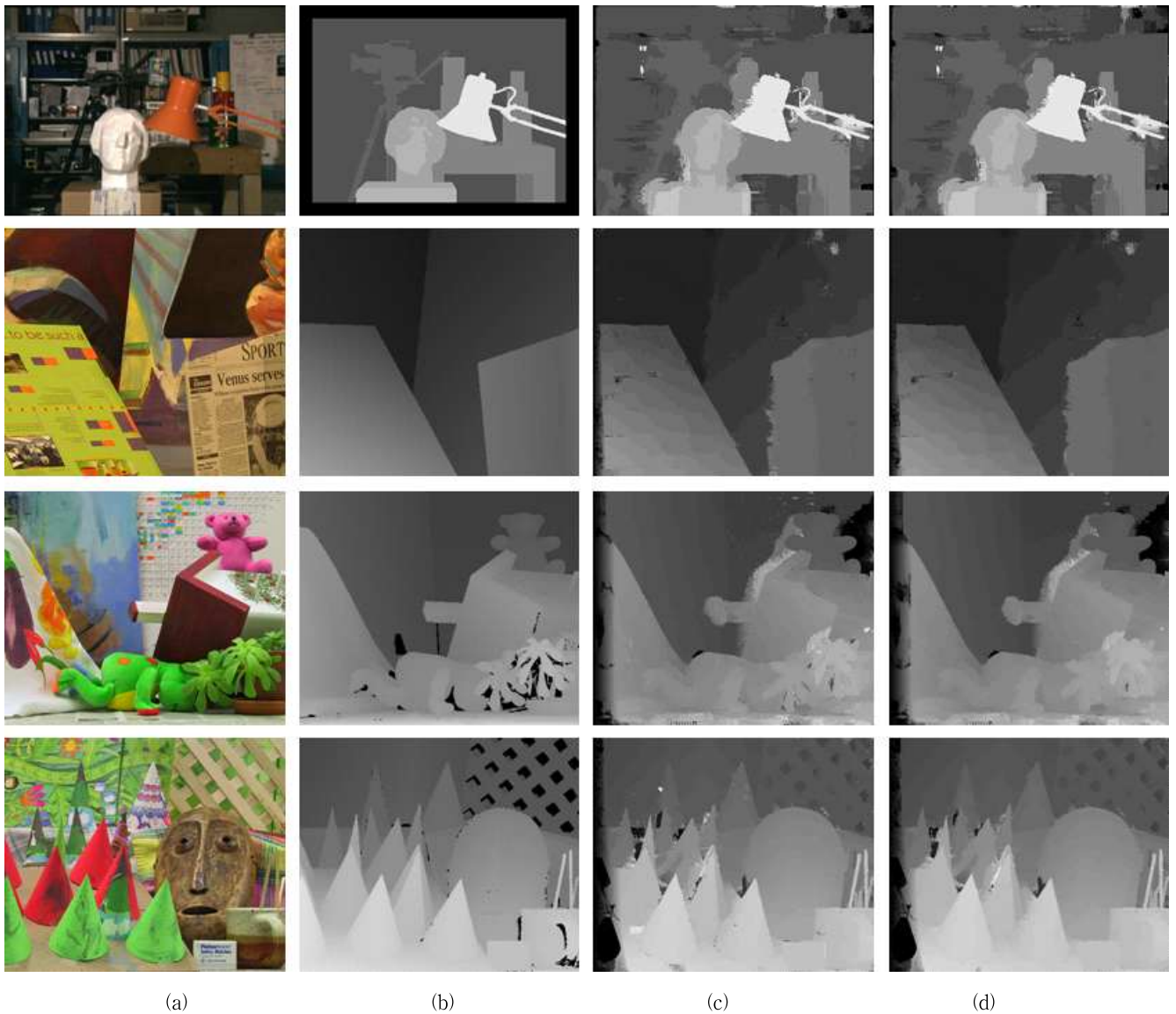
이렇게 구어진 변이 후보군을 보다 복잡하지만 정밀한 변이 추정 알고리즘에 적용하여, 최종적인 깊이 지도를 구한다. 위와 같은 과정을 거친 변이 후보군은 전역적인 탐색 변이에 비해 상당히 줄어든다. 따라서 변이 추정 알고리즘의 성능과 속도 측면에서의 개선을 기대할 수 있다.

## 3. 실험 결과

제안하는 변이 탐색 범위 제한 방법의 성능을 평가하기 위해 전역적인 탐색 범위를 이용하여 깊이 지도를 생성한 결과와 제안한 방법으로 탐색 범위를 제한하여 깊이 지도를 생성한 결과를 비교하였다. 비교 방법은 크게 두 가지로 먼저 생성된 깊이 지도의 정확도를 비교하고, 그 다음으로 깊이 지도를 생성하는데 걸리는 시간을 비교하였다. 이를 위하여 동일한 변이 추정 알고리즘을 사용하여 깊이 지도를 생성하여야 한다. 실험에서는 Adaptive support weight 기반의 알고리즘을 사용하여 깊이 지도를 생성하였다 [2]. 제안한 방법으로 제한된 탐색 범위가 변이 추정 알고리즘에 미치는 영향만을 관찰하기 위해, 깊이 지도의 질을 향상하기 위한 다른 전처리 또는 후처리 기술은 사용하지 않았다. 제안한 변이 탐색 범위 제한 알고리즘을 위한 파라미터들은  $w = 25$ ,  $r = 0.1$ 로 하여 실험하였다.

그림 2는 위의 두 가지 탐색 범위를 이용하여 깊이 지도를 비교한 결과이다. 앞에서 언급했듯이 전역적인 탐색 범위를 사용하였을 경우, 변이 추정 알고리즘이 범위 내에 있는 잘못된 변이를 선택하게 될 가능성이 있기 때문에 부분적으로 오류가 발생할 수 있다. 하지만 제안하는 방법으로 탐색 범위를 제한하여 사용하였을 경우, 이러한 오류가 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

제안한 방법으로 탐색 범위를 제한하였을 때, 계산 복잡도를 얼마나 줄일 수 있는가를 관찰하기 위하여 위의 두 가지 경우의 프로그램 연산 시간을 계산하여 그림 3에 나타내었다. 실험 결과에서, 탐색 범위를 제한하였을 경우, 그렇지 않았을 경우보다 연산속도가 3배에서 최대 8배까지 개선됨을 볼 수 있다. 특히 전역적인 탐색 범위가 큰 경우 일수록 속도가 많이 개선되는 경향을 보였는데, 이는 이러한 경우에서 탐색 범위가 제한되는 비율이 그렇지 않은 경우보다 높기 때문이다.



(a) (b) (c) (d)

그림 2. 깊이 지도 생성 결과. (a) 원본 영상. (b) Ground Truth. (c) 전역적인 탐색 범위를 사용한 결과 [2]. (d) 제안하는 탐색 범위를 사용한 결과.

#### 4. 결론

본 논문에서는 스테레오 영상의 변위 탐색 범위를 각 픽셀에 따라 효과적으로 제한하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법으로 변위 탐색 범위를 제한할 경우 신뢰도가 매우 떨어지는 변위 후보들은 제한된 탐색 범위에서 제거되므로, 변위 추정 알고리즘이 보다 정확하고 빠르게 수행된다. 실험 결과에 의해 탐색 범위를 제한했을 때, 국소적으로 잘못된 변위를 선택할 가능성을 줄여 주어 깊이 지도의 정확도 향상에 도움을 주는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 탐색 범위를 제한함으로써 변위 추정 알고리즘의 속도가 평균 5배 이상 증가함을 확인할 수 있었다.

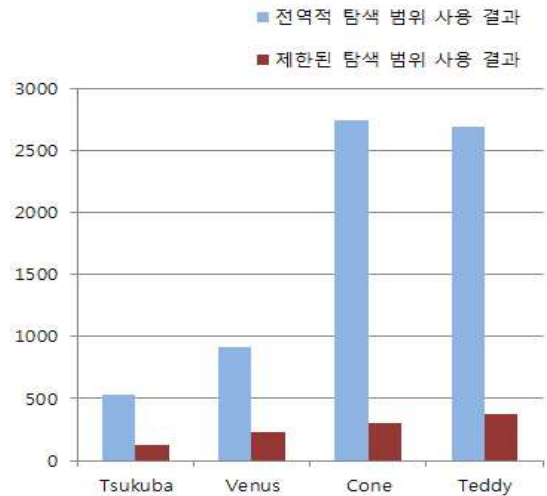


그림 3. 탐색 범위 제한에 따른 변위 추정 알고리즘 처리 속도 비교

## 5. 참고 문헌

- [1] D. Scharstein and R. Szeliski, "A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-frame Stereo Correspondence Algorithms," *Int'l J. Computer Vision*, vol. 47, no. 1-3, pp. 7-42, Apr. 2002.
- [2] K.-J. Yoon and I.-S. Kweon, "Adaptive Support-Weight Approach for Correspondence Search," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, pp. 650-656, 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, Nov. 2001
- [4] P.F Felzenszwalb and D. P. Huttenlocher. "Efficient Belief Propagation for Early Vision," *Int'l J. Computer Vision*, vol. 70, no. 1, pp. 41-54, 2006.