

---

# 새로운 다중 창을 이용한 스테레오 정합 알고리즘

김충원\*

## A Stereo Matching Algorithm using New Multiple Windows

Choong-Won Kim\*

### 요약

이 논문에서는 정확한 물체의 경계와 밀집된 시차지도를 얻기 위하여 새로운 다중 창을 이용한 스테레오 정합 알고리즘을 제안한다. 이 목적을 이루기 위해 좌우 일치와 유일성의 구속조건을 사용하며, 실험결과로부터 제안한 알고리즘이 스테레오 영상 쌍에 대하여 정확한 경계와 밀집된 시차지도를 찾는 데 매우 효과적이었음을 확인하였다.

### ABSTRACT

In this paper we propose a simple efficient stereo matching algorithm to recover sharp object boundaries and to obtain dense disparity map using new multiple line shape windows. To this end, we consider left-right consistency and unique constraint. From the experimental results it is found that the proposed algorithm is very good for obtaining sharp and dense disparity maps for stereo image pairs.

### 키워드

stereo matching, multiple windows, disparity map, shape recovery

## 1. 서론

스테레오 비전 시스템은 조금 다른 시점에서 동시에 찍은 두 장 이상의 영상으로부터 깊이를 결정한다. 스테레오 비전은 3차원 측정, 3차원 형상 복원, 자동 주행과 가상현실 등을 포함하는 매우 넓은 응용 분야를 갖고 있다. 스테레오 비전 시스템에서 제일 중요하면서도 시간을 요하는 일은 대응점을 결정하는 대응 문제를 푸는 것이다[5][6][8][9][10].

시차가 다른 전경과 배경을 포함하게 되면 물체의 경계가 실제 경계보다 확장되는 문제가 발생한다. 따라서 스테레오 비전에서 올바른 물체 경계의 복원은

매우 중요하다. 면적 기반 스테레오에서 경계의 확장은 점 주위의 지지면적 내에 다른 깊이를 갖는 여러 점들이 있는 경우에 발생한다. 즉, 지지 영역 내의 모든 점들이 같은 시차를 갖는다는 잠재적인 가정이 성립하지 않음을 의미한다. 이것은 원근 투영이나 폐쇄 영역 또는 창이 깊이가 다른 경계에 걸쳐있는 경우에도 발생할 수 있다. 그러므로 물체의 경계 근처의 점들의 시차는 종종 부정확할 수 있다[7].

위에서 살펴본 바와 같이 물체의 경계를 올바르게 찾으려면 최적의 크기와 모양을 갖는 지지 영역을 찾는 것이 중요하다. 물체의 경계에 걸쳐있지 않으면서 될 수 있는 한 큰 지지 영역을 찾는 것이 이상적이다. 그

---

\* 조선대학교 컴퓨터공학과 cwkim@chosun.ac.kr  
접수일자 : 2011. 03. 21

\* 교신저자 : 조선대학교 컴퓨터공학과 cwkim@chosun.ac.kr  
심사(수정)일자 : 2011. 04. 18

게재확정일자 : 2011. 06. 15

러나 이러한 경계를 먼저 찾아야 하기 때문에 스테레오 알고리즘을 우선적으로 돌려보아야 한다. Jones와 Malik는 이 회귀적 문제를 풀기 위하여 반복법을 제안하였다[1]. 스테레오 알고리즘의 초기 수행은 깊이 경계의 위치를 제공하고, 이것을 이용하여 다음 반복 과정의 지지 영역의 위치와 크기를 제어하는 방법이다.

Kanade와 Okutomi는 적응 창(adaptive window)을 사용한 신뢰도가 높은 올바른 지지 영역을 선택하는 방법을 제안하였다[2]. 현재 창으로 시차의 불확실성을 평가하고 이를 바탕으로 직사각형 모양의 창을 최적의 크기로 성장시킨다. 각 단계에서 창의 성장 방향을 결정하기 위하여 Greedy 알고리즘을 사용하였다. 이 방법은 좋은 결과를 제공하나 매우 복잡하고 비효율적이라는 단점을 갖고 있다.

Fusiello 등은 다중 창(multiple windows) 중에서 지지 영역에 맞는 하나의 창을 선택하는 방법인 Symmetric Multi-Window(SMW) stereo algorithm을 제안하였다[3]. 각각의 화소에서 각기 다른 아홉 개의 창을 써서 상관을 구하고 가장 작은 SSD(Sum of Square of Difference)를 갖는 창으로부터 시차를 얻는 방법이다. SSD가 적은 창일수록 균일한 깊이 영역을 덮고 있다는 것이 이 방법의 기본 개념이다.

Jeon, Kim, 그리고 Ho는 Fusiello 등이 제안한 다중 창과 다른 모양의 창들을 사용하고 unique constraint를 만족하지 않는 화소에는 창의 크기를 확장해 가는 방법으로 보다 정확한 경계를 찾는 방법을 제안하였지만 잡음이 많은 경우에는 실행 시간이 많이 걸린다는 단점을 안고 있다[6][7].

김충원은 물체의 경계를 정확히 찾는 새로운 방법을 제안하였다[11]. 먼저, 원 영상을 같은 크기의 작은 부분으로 나누고, 이 작은 영역들의 중앙 화소들의 시차를 구한 표본 시차 지도로부터 경계를 찾는 다음, 경계의 기울기를 구하고, 이 기울기에 알맞은 두 개의 창에 대하여 상관을 계산할 뿐만 아니라 경계로부터의 거리에 따라 크기가 다른 창을 사용함으로써 정확한 경계와 저 잡음이라는 두 가지 목적을 만족하는 새로운 스테레오 정합 알고리즘을 제안하였으나 알고리즘이 복잡하다는 점을 문제점으로 들 수 있다

본 논문에선 위에서 언급한 문제점들을 해결하고 경계를 보다 정확하게 찾기 위하여 선 모양의 창들을

사용하여 잡음을 줄이면서도 정확한 경계를 찾는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 새로운 다중 창을 제안하고 시차계산 방법을 기술하며, 실험 결과는 3장에 기술하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 제안한 알고리즘

### 2.1. 새로운 다중 창

다중 창을 이용하는 장점은 정확한 경계를 찾기 위하여 경계의 모양에 알맞은 창을 선택할 수 있기 때문에 한 개의 창을 사용하는 것보다 정확한 유사도를 계산할 수 있다는 것이다[3]. 본 논문에서도 다중 창을 이용하지만 다른 논문[3][6][7]과는 다른 모양의 창들을 사용한다. SMW는 대각선을 찾는 창을 사용하지 않았고, [6][7]은 직각 모서리에 적합한 창을 사용하지 않았다. 본 논문에서는 선 모양의 창들을 사용함으로써 수직, 수평, 대각선, 직각 모서리 경계를 정확히 찾을 수 있도록 하였다. 본 연구에서 사용한 크기가 5인 다중 창을 그림 1에 보였다.

그림 1에서 회색 요소는 각 창의 유사도를 계산하는 데 쓰이며, 창의 중앙에 있는 좀 더 검은 요소는 다른 영상에서 찾고자 하는 화소를 의미한다. (b)는 수직 경계, (c)는 수평 경계, (d), (e), (f), (g)는 직각 모서리, (h)와 (i)는 대각선 경계를 찾는 데 사용한다. (a)는 경계가 아닌 물체의 면에 해당하는 영역에 적용한다. 그림 1에서 알 수 있듯이 창의 원소의 개수가 다르기 때문에 유사도를 각 창의 원소의 개수로 나눈 규정한 유사도를 써서 시차를 구한다. 본 논문에서는 경계를 찾는 데 사용하는 창들은 경계의 모양과 비슷한 형태로 요소들을 배치하고, 지지영역내의 화소들이 같은 깊이를 갖도록 하기 위하여 요소들을 선 모양으로 배열하였다. 물체의 면의 시차를 찾는 경우에는 발생하는 잡음을 줄이기 위하여 요소의 수가 많은 (a)와 같은 형태의 창을 사용한다. 제안한 다중 창의 장점은 경계의 모양과 비슷한 모양으로 요소들을 배열한 점과, 직각 모서리 경계, 대각선 경계를 찾는 데 사용되는 창들을 포함시켰음에도 불구하고 창의 개수가 9개 밖에 안 된다는 점이다.

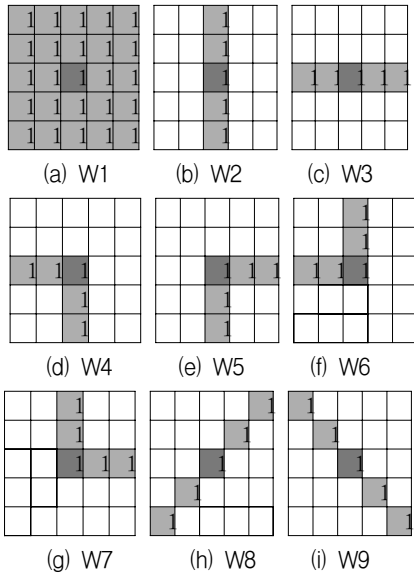


그림 1. 크기가 5x5인 다중 창들  
Fig. 1 Multiple line shape windows

### 2.2. 유사도 계산

본 논문에서 시차를 구하는 방법은 SMW알고리즘과 비슷하나 경계를 정확히 구하기 위하여 그림 1의 선 모양의 창을 사용한다는 점에서 큰 차이가 있다. 임의의 창  $W_w$ 를 사용하는 경우 시차는 식(1)으로부터 계산할 수 있다.

$$d_w(x,y) = \arg \min_d SSD_w(x,y,d) \quad (1)$$

여기에서  $w$ 는 창의 색인이고,  $d$ 는 시차이다.  $SSD_w(x,y,d)$ 를 최소로 하는  $d$ 가 창  $W_w$ 에 대한 시차  $d_w$ 가 된다는 의미이다.  $SSD_w(x,y,d)$ 는 식(2)처럼 정의한다.

$$SSD_w(x,y,d) =$$

$$\sum_{(i,j) \in M} (I_L(x+i,y+j) - I_R(x+i+d,y+j))^2 \quad (2)$$

여기에서,  $I_L$ 과  $I_R$ 은 각각 왼쪽과 오른쪽 영상을 의미하고,  $M$ 은 유사성을 계산하는 화소들의 집합이다. 그림 1에서 1이라고 쓰인 화소들을 뜻한다. 다중

창을 사용하여 시차를 구하는 경우에, 구하고자 하는 시차는 식(3)으로부터 계산할 수 있다.

$$d_o(x,y) = \arg \min_w SSD_w(x,y,d_w) \quad (3)$$

(3)식은 각 창에 대한  $SSD_w(x,y,d_w)$ 중에서 최소가 되는  $SSD_w(x,y,d_w)$ 를 찾고, 이때의  $d_w$ 를 구하고자 하는 화소의 최종적인 시차  $d_o$ 로 한다는 의미이다.

### III. 실험 결과

제한한 알고리즘의 타당성을 입증하기 위하여 본 논문에서 제안한 방법을 종래의 SSD 알고리즘과 SMW알고리즘을 비교하였다. 입체 영상 쌍은 이미 교정되었다고 가정하였다. 만약 교정되지 않은 경우에는 교정한 후에 위의 방법들을 적용하여야 한다. 입체 영상 쌍이 교정되었다면 대응점들은 같은 y좌표를 갖기 때문에 x 방향으로만 탐색하면 된다. 알고리즘마다 창의 크기를 다르게 정의하기 때문에 창의 크기에 따른 결과를 직접적으로 비교하기 어려운 점이 있었지만 비교를 위하여 그림 1에서와 같이 요소의 개수는 다르지만 각 창들을 포함할 수 있는 최소한의 정사각형 창의 크기를 다중 창의 크기로 정하고, 제안한 알고리즘을 종래의 SSD[10]와 Fusiello 등이 제안한 SMW 알고리즘[3]과 비교하였다.

본 논문에서 제안한 알고리즘, 종래의 SSD와 SMW알고리즘을 쓰꾸바 대학의 head & lamp 영상에 적용하여 얻은 시차 지도를 그림 2와 3에 보였다. SMW 알고리즘은 창의 크기가 작을 때는 물체의 경계를 정확히 찾을 수 있으나 잡음이 많다는 단점이 있고, 잡음을 줄이기 위하여 창의 크기를 크게 하면 물체의 경계가 부풀려지는 단점이 있음을 볼 수 있다.

특히 종래의 SSD 알고리즘이 이러한 경향이 심했다. SSD알고리즘이 창의 크기에 관계없이 전체 영상에 대한 잡음은 가장 적었으나 경계가 가장 많이 부풀려지고 왜곡이 일어난다는 단점을 안고 있음을 확인할 수 있었다. 그림 2와 3으로부터 제안한 알고리즘이 창의 크기에 관계없이 경계를 가장 정확히 찾는 것을 볼 수 있다.

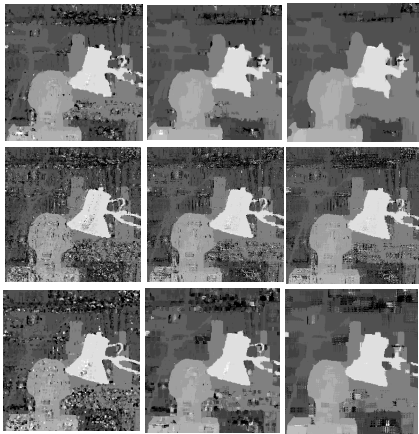


그림 2. 시차 지도 1. 위의 줄은 종래의 SSD, 가운데 줄은 제안한 알고리즘, 그리고 아랫줄은 SMW 알고리즘으로 구한 시차지도. 창의 크기는 왼쪽에서부터 5x5, 9x9, 13x13 이다.

Fig. 2 Disparity maps 1 by using SSD(top row), the proposed(mid row), and SMW algorithm(below row). Windows of 5x5, 9x9, 13x13 are used from left.

그림 2와 3으로부터 종래의 SSD 알고리즘은 다른 알고리즘에 비하여 잡음은 가장 적으나 형상복원을 제대로 하지 못함을 볼 수 있다. 이런 현상은 창의 크기가 커질수록 두드러진다. SMW 알고리즘도 13x13의 창을 사용한 경우에서만 잡음도 적을 뿐 아니라 물체의 경계를 부풀려지지 않는 좋은 결과를 보이나 창의 크기가 커짐에 따라 경계가 부풀려지는 정도가 커짐을 알 수 있다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 창에 포함되는 요소의 수가 다른 알고리즘에 비하여 적은 까닭에 잡음 면에서 다른 알고리즘에 비하여 약간 불리하나 창의 크기에 관계없이 경계를 제대로 복원함을 알 수 있다. 본 논문에서 제안한 선 모양의 다중 창의 장점을 확인할 수 있다.

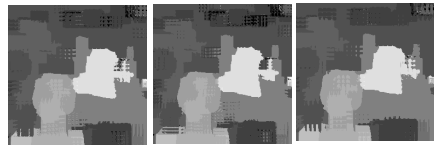
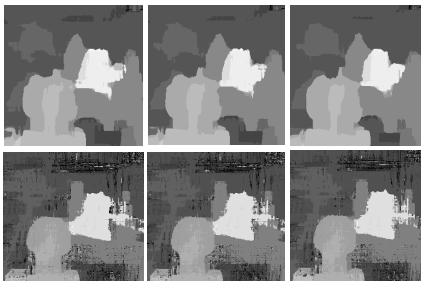


그림 3. 시차 지도 2. 위의 줄은 종래의 SSD, 가운데 줄은 제안한 알고리즘, 그리고 아랫줄은 SMW 알고리즘으로 구한 시차지도. 창의 크기는 왼쪽에서부터 25x25, 29x29, 33x33이다.

Fig. 3 Disparity maps 2 by using SSD(top row), the proposed(mid row), and SMW algorithm(below row). Windows of 25x25, 29x29, 33x33 are used from left.

알고리즘에 따라 경계를 얼마나 정확히 찾는지를 비교하기 위하여 그림 4의 (b)처럼 head와 lamp의 경계부분에 대해서만 MAE(Mean Absolute Error)를 구하고 이를 그림 5에 보였다.

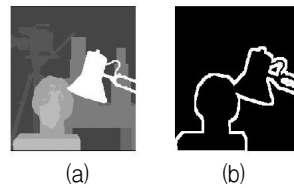


그림 4. (a) Ground truth (b) Head와 lamp의 바깥 경계

Fig. 4 (a) Ground truth (b) Outer boundary of head & lamp

그림 5를 보면 SSD는 다른 창의 크기에 관계없이 물체의 경계가 가장 많이 부풀려짐을 알 수 있으며,

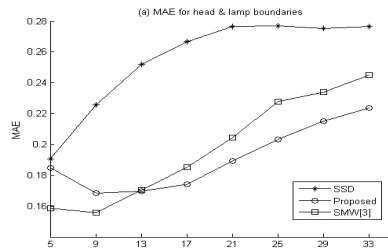


그림 5. 창의 크기에 따른 경계 부분에서의 MAE의 변화

Fig. 5 MAE vs. magnitude of window for Outer boundary of head & lamp

창의 크기가 커짐에 따라 부풀려지는 정도는 점점 더 커짐을 볼 수 있다. SMW는 창의 크기가 9x9이하

에서만 제안한 알고리즘보다 우수하고 이보다 큰 창에 대해서는 제안한 알고리즘보다 경계가 더 크게 왜곡됨을 알 수 있다.

전체 영상에 대한 잡음은 SSD가 창의 크기가 17x17이하인 경우에는 세 알고리즘 중 가장 적으나 이보다 커지면 경계가 왜곡됨으로 인해 잡음이 증가함을 그림 6에서 볼 수 있다. 제안한 알고리즘은 SMW보다 전체 잡음 면에서 조금은 불리하나 이는 창 중에 포함된 요소 개수가 적은 것에 기인한다. 알고리즘마다 창에 포함된 요소의 수가 다르므로 그림 5와 6과 같이 창의 크기에 따른 MAE의 비교는 전체

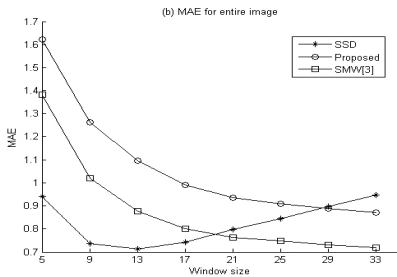


그림 6. 창의 크기에 따른 전체 영상에 대한 MAE의 변화  
Fig. 6 MAE vs. window size for entire image

적인 경향은 알 수 있지만 정확히 비교하기에는 어려움이 따른다. 따라서 전체 영상에 대한 MAE가 가장 적은 즉, SSD는 13x13의 창, SMW와 제안한 알고리즘은 33x33 다중 창을 사용하여 얻은 결과를 비교하는 것도 의미가 있다. 이를 그림 7에 보였다.

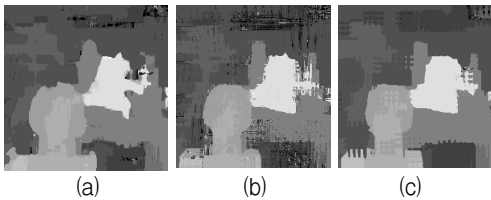


그림 7. 시차지도 비교. (a) 13x13의 창을 사용한 SSD (b) 33x33의 다중 창을 사용한 제안한 알고리즘 (c) 33x33의 다중 창을 사용한 SMW  
Fig. 7 Comparison of disparity maps (a) SSD using 13x13 window (b) the proposed algorithm using 33x33 multiple windows (c) SMW using 33x33 multiple windows

그림 7로부터 제안한 알고리즘이 창에 포함된 요소의 수가 다른 알고리즘에 비하여 적기 때문에 잡음 면에서는 조금 불리한 점이 있으나 경계를 복원하는데는 다른 알고리즘보다 우수함을 확인할 수 있었다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 물체의 경계를 정확히 찾기 위하여 새로운 다중 창을 제안하고, 이를 사용하는 스테레오 알고리즘을 제안하였다. 실험결과로부터 본 논문에서 제안한 알고리즘이 경계를 왜곡시키지 않는다는 점에서 다른 알고리즘에 비하여 우수함을 알 수 있었다. 다중 창의 크기가 큰 경우에도 경계를 부풀리지 않고 시차를 구할 수 있음을 확인하였다. 전체 영상에 대한 잡음 면에서 조금 불리한 점이 있으나 경계의 부풀림이 문제가 되는 형상 복원 등에는 큰 장점이 될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2004년도 조선대학교 학술 연구비의 지원을 받아 연구되었음.

#### 참고 문헌

- [1] D. G. Jones and J. Malik, "A computational framework for determining stereo correspondence from a set of linear spatial filters," Second European Conference on Computer Vision (ECCV'92), LNCS 588, pp. 395-410, Springer-Verlag, 1992.
- [2] T. Kanade and M. Okutomi, "A stereo matching algorithm with an adaptive window: theory and experiment," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 16, No. 9, pp. 920-932, Sep., 1999.
- [3] A. Fusiello, V. Roberto, and E. Trucco, "Symmetric stereo with multiple windowing," International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Vol. 14, No. 8, pp. 1053-1066, 2000.
- [4] T. Kanade, A. Yoshida, K. Oda, H. Kano and

- M. Tanaka, "A stereo machine for video-rate dense depth mapping and its new applications," Proceedings of 15th Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR), Jun., 1996.
- [5] Y. Otha and H. Tamura, Mixed Reality, Springer-Verlag, 1999.
- [6] J. Jeon, C. Kim, and Y. S. Ho, "Stereo for recovering sharp object boundaries," EurAsia-ICT 2002, LNCS 2510, pp. 248-255, Springer-Verlag, 2002.
- [7] J. Jeon, C. Kim, and Y. S. Ho, "Sharp and dense disparity maps using multiple windows," PCM 2002, LNCS 2532, pp. 1057-1064, Springer-Verlag, 2002.
- [8] M. Z. Brown, "Advances in computational stereo," IEEE Trans, Pattern Recognition and Machine Intelligence, Vol. 25, No. 8, pp. 993-1008, 2003.
- [9] L. Di Stefano, M. Narchionni, S. Mattoccia, G. Neri, A fast dense stereo based on the uniqueness constraint: theory, implementation and results, Technical Report CSITE10-01, Oct, 2001.
- [10] D. Scharstein and R. Szeliski, "A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms," Microsoft Research
- [11] 김충원, 새로운 스테레오 정합 알고리즘, 한국해양정보통신학회 논문지, Vol. 10, No. 10, pp. 1829-1834, 2006.

### 저자 소개



#### **김충원(Choong-Won Kim)**

1982년 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1984년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1989년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1989년 ~ 현재 조선대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 영상처리, 신호처리, 회로시스템