
새로운 스테레오 정합 알고리즘

김 충 원*

A New Stereo Matching Algorithm

Choongwon Kim*

이 논문은 2001년도 조선대학교 교수해외 파견 연구비의 지원을 받아 연구되었음

요 약

물체의 경계로부터의 거리에 따라 다른 크기의 창을 사용함으로써 물체의 경계를 정확히 찾는 새로운 스테레오 정합 알고리즘을 제안한다. 원 영상을 같은 크기의 작은 부분으로 나누고, 이 작은 영역들의 중앙 화소들의 시차를 구한 표본 시차 지도로부터 축소된 물체의 경계를 찾는다. 경계로부터의 거리에 따라 크기가 다른 창을 원 영상에 적용하여 시차를 구한다. 원 영상의 시차를 구할 때 작은 영역 내에 있는 화소들의 시차는 이미 구한 중앙화소의 시차와 유사하다는 기울기 제한 조건을 이용하였다. 실험결과로부터 제안한 알고리즘이 다른 알고리즘 보다 우수함을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, in order to recover sharp object boundaries we propose a new efficient stereo matching algorithm in which window size is varied to the distance from the boundaries of object. To this end, the processing region is divided into small subregions with a same area and the disparities of the center pixels in the subregions are calculated using a area-based algorithm with multiple windows. From the this disparity map we can find the edges of the contracted objects. The disparities of original image are obtained using the gradient constraint that means the disparity of the center pixel is similar to the ones of the remaining pixels in the subregion. From the experimental results it is found that the proposed algorithm is very good for recovering sharp object boundaries compared to the similar different algorithm.

키워드

스테레오 비전, 다중 창, 대응 문제, 3차원 형상복원, 3차원 측정

I. 서 론

스테레오 비전 시스템은 조금 다른 시점에서 동시에 찍은 두 장 이상의 영상으로부터 깊이를 결정한다. 스테

레오 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 대응문제를 푸는 것이다[1], [7], [8].

시차가 다른 전경과 배경을 포함하게 되면 물체의 경계가 실제 경계 보다 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 영역에 의해서도 또는 창이 깊이 경계에 걸쳐있는 경우에도 발생할 수 있다. 그러므로 물체의 경계 근처의 점들의 시차는 종종 부정확할 수 있다[2].

위에서 살펴본 바와 같이 물체의 경계를 올바로 찾으려면 최적의 크기와 모양을 갖는 지지 영역을 찾는 것이 중요하다. 물체의 경계에 걸쳐있지 않으면서 될 수 있는 한 큰 지지 영역을 찾는 것이 이상적이다. 이러한 경계를 먼저 찾으려면 스테레오 알고리즘을 우선적으로 돌려보아야 한다. Johns와 Malik는 이 회귀적 문제를 풀기 위하여 반복법을 제안하였다. 스테레오 알고리즘의 초기 수행은 깊이 경계의 위치를 제공하고, 이것을 이용하여 다음 반복과정의 지지 영역의 위치와 크기를 제어하는 방법이다[3].

Kanade와 Okutomi는 적응 창(adaptive window)을 사용한 신뢰도가 높은 올바른 지지 영역을 선택하는 방법을 제안하였다. 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[4].

Fusilleo 등은 다중 창 중에서 지지 영역에 맞는 하나의 창을 선택하는 방법을 제안하였다. 각각의 화소에서 각기 다른 아홉 개의 창을 써서 상관을 구하고 가장 작은 SSD(Sum of Square of Difference)을 갖는 창으로부터 시차를 얻는 방법이다. SSD가 적은 창일 수록 균일한 깊이 영역을 덮고 있다는 것이 이 방법의 기본 개념이다. 하지만 아홉 개의 창에 대하여 모두 상관을 구해야 하기 때문에 시간이 많이 소요된다는 문제점을 안고 있다[5].

본 논문에서는 물체의 경계를 정확히 찾는 새로운 방법을 제안한다. 먼저, 원 영상을 같은 크기의 작은 부분으로 나누고, 이 작은 영역들의 중앙 화소들의 시차를 구한 표본 시차 지도로부터 경계를 찾는다. 경계로부터의 거

리에 따라 크기가 다른 창을 사용함으로써 정확한 경계와 저 잡음이라는 두 가지 목적을 만족하는 새로운 스테레오 정합 알고리즘을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 다중 창을 이용한 시차 계산에 관하여, 3장에서는 제안한 알고리즘에 대하여 설명한다. 실험 결과는 4장에서 기술하고, 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 다중 창을 이용한 시차 계산

본 논문에서도 다중 창을 이용하지만 Fusilleo 등이[5] 제안한 다중 창과 다른 모양의 창들을 사용한다. 지지 영역은 물체의 경계를 따라 다르기 때문에 경계를 따라 상관을 구할 수 있도록 유사성을 계산하는 화소들을 배치했다. 물체의 경계는 수직, 수평, 대각선 경계를 갖는다고 가정하였다. 본 연구에서 사용한 크기가 5x5인 다중 창을 그림 1에 보였다.

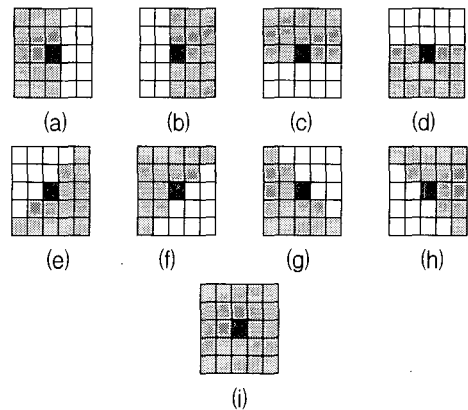


그림 1. 크기가 5x5인 다중 창. 회색 요소는 각 창의 유사성을 계산하는 데 쓰이며, 검은 요소는 다른 영상에서 찾고자 하는 화소를 의미한다.

Fig. 1. 5x5 multiple windows. Gray cells are used to compute the similarity of each window and black ones are pixels that we want to find in other images.

다중 창 (a)와 (b)는 수직 경계를 찾는 데, (c)와 (d)는 수평선을 찾는 데, (e), (f), (g)와 (h)는 대각선 경계를 찾는 데 사용한다. 다중 창 (i)는 경계가 아닌 물체의 면에 해당하는 영역에 적용한다.

그림 1에서 알 수 있듯이 창 의 원소의 개수가 다르기 때문에 SSD를 각 창 의 원소의 개수로 나눈 규정화한 SSD를 써서 시차를 구한다. 본 논문에서 표본 시차 지도를 구할 때는 그림 1에 보인 9개의 창을 쓰기 때문에 규정화를 할 필요가 있으나 에지의 방향을 구한 후 원 영상의 시차를 구할 때는 원소의 개수가 같은 두 개의 창만 사용하기 때문에 규정화할 필요가 없다.

본 논문에서 시차를 구하는 방법은 Fusilleo 등이 제안한 방법과[5] 유사하다. 임의의 창 w 를 사용하는 경우 시차는 (1)식으로부터 계산할 수 있다.

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

여기에서 w 는 창 의 색인이고, d 는 시차이다. $SSD(x, y, d)$ 는 (2)식처럼 정의한다.

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

여기에서, I_L 과 I_R 은 각각 왼쪽과 오른쪽 영상을 의미하고, M 은 유사성을 계산하는 화소들의 집합이다. 구하고자 하는 시차는 (3)식으로부터 얻는다.

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

III. 제안한 정합 알고리즘

면적 기반 스테레오는 보통 사각형 모양의 창을 사용하며, 근본적으로 물체의 경계를 확장하게 된다. 창 의 크기가 작으면 올바른 물체의 경계를 찾을 수 있으나 시차 지도에 잡음이 많이 포함되고, 반대로 창이 크면 잡음은 줄어드나 물체가 경계가 확장되는 문제를 안고 있어 3차원 측정이나 3차원 영상 복원에 있어 불리하다[4].

장면은 부분적으로는 평탄한 면들로 이루어져 있으므로 시차 지도도 부분적으로 평탄하다. 장면 내의 이웃한 점들의 시차는 비슷한 값을 가지므로 면의 부분적 연속성이 성립한다. 이를 시차 기울기 조건(disparity gradient constrain)[6]이라 부른다. 시차 기울기 조건에 의하여 작은 영역 내의 중앙 화소의 시차는 작은 영역 내의 나머지 화소들의 시차와 비슷해야 한다. 따라서 작은 영역의 중

앙 화소의 시차를 안다면 이 시차를 이용하여 작은 영역 내의 다른 화소들의 시차를 추정할 수 있을 것이다. 따라서 작은 영역의 중앙 화소의 시차를 기준으로 작은 영역 내의 나머지 화소들의 시차 탐색 범위를 결정할 수 있다. 작은 영역 별로 시차 탐색 범위가 다를 수 있으며, 모든 화소에 같은 시차 탐색 범위를 적용할 때 보다 시차 탐색 범위가 좁아진다. 따라서 모든 화소에 같은 시차 탐색 범위를 적용하는 기존의 방법에 비하여 효율적일 수도 있다.

위에서 설명한 바와 같이 창 의 크기가 작으면 올바른 물체의 경계를 찾을 수 있으나 시차 지도에 잡음이 많이 포함되고, 반대로 창이 크면 잡음은 줄어드나 물체의 경계가 확장되는 문제가 있기 때문에 창 의 크기가 다른 적응 창을 사용하고자 한다. 물체의 경계 부근에서는 크기 작은 창을 사용하고, 경계가 아닌 영역에는 큰 창을 쓰면 물체의 경계도 정확히 찾는 동시에 잡음도 줄일 수 있을 것이다. 본 논문에서는 표본 시차 지도로부터 찾은 경계로부터의 거리에 따라 크기가 다르고, 에지의 방향에 따라 모양이 다른 창을 사용함으로써 정확한 경계와 저잡음이라는 두 가지 목적을 달성하고자 한다.

제안한 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 좌우 입체 영상 쌍을 같은 크기의 작은 영역으로 나누고, 이 영역의 중앙 화소들로 이루어진 좌우 영상 쌍을 만든다. 이 영상 쌍을 좌우 입체 영상 쌍의 표본 영상 쌍이라 하자.
- 2) 9개의 다중 창을 사용하여 좌우 표본 영상 쌍으로부터 시차를 구하여 표본 시차 지도를 만든다.
- 3) 중앙 화소의 시차를 참고하여 작은 영역 내의 다른 화소들의 시차 탐색 범위를 정한다.
- 4) 표본 시차 지도에 중앙 여파기와 가우시안 여파기를 차례로 적용하여 잡음을 제거한다.
- 5) 소벨 연산자를 써서 표본 시차 지도로부터 에지를 추출하고 에지의 방향을 결정한다.
- 6) 에지로부터의 거리에 따라 창 의 크기를 결정한다. 거리가 가까우면 창 의 크기를 작게 하고 멀면 크게 한다.
- 7) 9개의 다중 창 중에서 에지의 방향에 수직인 창 두 개를 선택한다.
- 8) 3) 단계에서 구한 시차 탐색 범위와 6)과 7) 단계에서 결정된 두 개의 창을 써서 좌우 입체 영상 쌍의 시차를 구한다. 보다 작은 SSD를 갖는 창 의 시차를 그 화소의 시차로 택한다.
- 9) 좌우 시차의 일관성 검사를 하여 작은 시차를 선택한다.

창의 크기를 정하는 기준이 되는 에지로 부터의 거리는 형태학 연산인 팽창 연산을 통하여 다음과 같이 결정하였다.

1) 크기가 3인 수평, 수직 방향의 선 모양의 구조적 요소(structuring element)를 정한다.

2) 1)의 구조적 요소를 사용하여 표본 시차 지도로부터 구한 에지 영상에 대하여 팽창 연산을 수행한다. 결과를 I_k 에 저장한다. k 는 구조적 요소의 크기이다.

3) 구조적 요소의 크기를 2씩 증가시켜가면서 크기가 11이 될 때까지 2)과 3) 단계를 반복한다.

4) $I_s = I_3 + I_5 + I_7 + I_9 + I_{11}$ 이라 하자.

5) I_s 의 각 화소 값을 조사하여 그 값이 5이면 경계이고, 값이 작아질수록 경계에서 멀리 떨어진 화소로 판단한다. 창의 크기는 거리의 함수가 되지만 반드시 거리에 비례할 필요는 없다.

본 논문에서는 I_s 의 값이 5인 영역에는 7x7 창을, 4인 영역에는 9x9 창을, 3인 영역에는 11x11 창을, 2인 영역에는 25x25 창을, 1인 영역에는 29x29 창을, 0인 영역에는 33x33 창을 적용하였다. 크기는 경험적으로 정하였다.

IV. 실험 결과

제안한 알고리즘의 타당성을 입증하기 위하여 본 논문에서 제안한 방법을 종래의 SSD와 Fusiello 등이 제안한 다중 창 알고리즘과 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.

그림 2에 원 영상을 3x3 크기로 나누고, 나눈 영역의 중앙 화소들로 만든 표본 영상과 그림 1에 보인 것과 같은 5x5 다중 창을 써서 구한 표본 시차 지도를 보였다. (a)의 표본시차지도로부터 에지를 구하기 전에 잡음을 제거하는 것이 바람직하다. 9x9 중앙여파기와 크기가 5x5이고 분산이 3.0인 가우시안 여파기를 적용하여 잡음을 제거한 시차지도를 (b)에 보였다. (c)는 등 기울기 곡선을 나타낸 것이고 (d)는 (c)로부터 에지의 방향을 구한 결과이다. 에지의 방향을 알기 때문에 9개의 다중창 중에서 에지의 방향에 수직인 창 2개만 사용하여도 시차를 구할 수 있다.

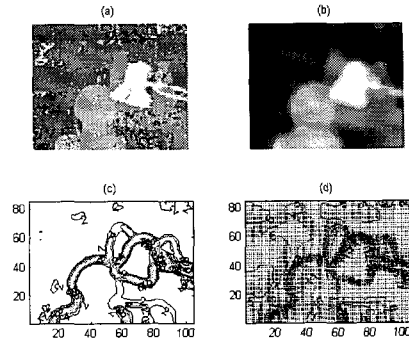


그림 2. (a) 표본 시차 지도 (b) 잡음을 제거한 표본 시차 지도 (c) 등 기울기 곡선 (d) 에지 방향.
Fig. 2. (a) Sample disparity map (b) Sample disparity map with noise reduction (c) gradient curve (d) direction of edge

소벨 연산을 하여 구한 에지와 에지에 팽창 연산을 하여 얻은 I_3, I_5, I_7 영상을 그림 3에 보였다. $I_s = I_3 + I_5 + I_7 + I_9 + I_{11}$ 의 화소 값을 조사하면 표본 영상의 화소들이 에지로부터 얼마나 떨어져 있는지 알 수 있다. 즉, $I_s = 5$ 이면 에지를, $I_s = 4$ 이면 에지에서 한 화소만큼, $I_s = 3$ 이면 두 화소만큼, $I_s = 2$ 이면 세 화소만큼, $I_s = 1$ 이면 네 화소만큼, $I_s = 0$ 이면 다섯 화소만큼 또는 에지가 아닌 물체의 면을 뜻함을 알 수 있다. 여기서 유의할 점은 위에서 구한 에지로부터의 거리는 실제 거리가 아니라는 점이다. 원 영상의 에지로부터의 실제 거리는 위에서 구한 거리에 원 영상으로부터 표본 영상을 만들 때 사용한 작은 영역의 크기를 곱해야 얻을 수 있다.

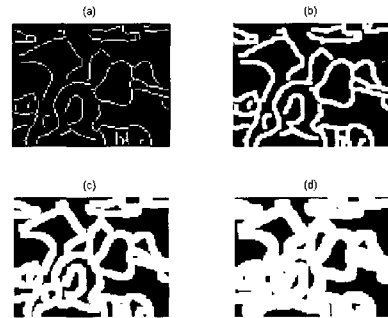


그림 3. 팽창 연산을 통하여 얻은 영상들.
(a) 에지 (b) I_3 (c) I_5 (d) I_7
Fig. 3. images obtained using dilation.
(a) edge (b) I_3 (c) I_5 (d) I_7

본 논문에서 제안한 알고리즘, 종래의 SSD와 Fusiello 등의 알고리즘을 쓰꾸바 대학의 head & lamp 영상에 적용하여 얻은 시차 지도를 그림 4에 보였다. 제안한 알고리즘은 창 크기가 에지로부터의 거리에 따라 달라지기 때문에 창 크기에 따른 결과를 직접 비교하기 어려워 MAE(Mean Absolute Error)가 최소가 되는 결과들을 서로 비교하였다. 그림 4(b)는 11x11 창을 사용하였으며, MAE는 0.6098이었고, 그림 4(c)는 작은 영역의 크기를 3x3, 중앙화소의 시차를 구하는 데 사용한 창 크기는 5x5이었으며, MAE는 0.5531로써 Fusiello 등의 알고리즘보다 작았다. 그림 4(d)는 MAE가 0.6456으로써 25x25 창을 사용하였다.

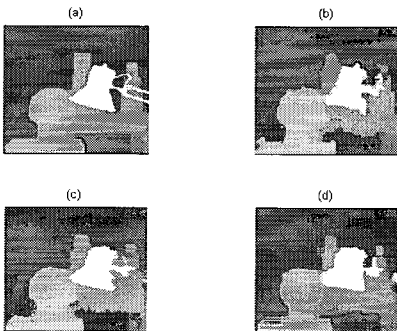


그림 4. 시차 지도. (a) Ground truth (b) 종래의 SSD (c) 제안한 알고리즘 (d) Fusiello 등의 알고리즘.
Fig. 4. Disparity map (a) ground truth (b) conventional SSD (c) the proposed algorithm (d) Fusiello's algorithm

그림 4로부터 에지 영역에 작은 창을 써서 물체의 경계를 정확히 추출하고 저주파 성분이 많이 포함된 물체의 표면에는 큰 창을 사용하여 현저히 잡음을 줄일 수 있는 제안한 알고리즘이 종래의 SSD나 Fusiello 등의 알고리즘보다 우수함을 알 수 있다. Fusiello 등의 알고리즘은 창 크기가 작을 때는 물체의 경계를 정확히 찾을 수 있으나 잡음이 많다는 단점이 있고, 잡음을 줄이기 위하여 창 크기를 크게 하면 물체의 경계가 부풀려지는 단점이 있음을 그림 5에서 볼 수 있다. 또한 모든 화소에 9개의 창을 적용하기 때문에 처리시간이 길어지는 단점을 안고 있다.

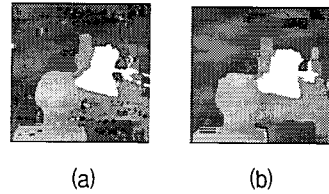


그림 5. Fusiello 등의 알고리즘. (a) 11x11 다중 창 (b) 25x25 다중 창.
Fig. 5. Fusiello's algorithm (a) 11x11 multiple windows (b) 25x25 multiple windows

V. 결 론

본 논문에서는 물체의 경계를 정확히 찾는 새로운 스테레오 알고리즘을 제안하였다. 원 영상으로부터 표본 영상 쌍을 만들고, 표본 영상 쌍의 표본 시차 지도를 구한 후 표본 시차 지도에서 에지를 찾고, 이를 이용하여 원 영상의 각 화소들의 에지로부터의 거리를 구한다. 에지로부터의 거리에 따라 다중 창의 크기를 달리하는 알고리즘을 제안하였다. 따라서 에지 부근에는 크기가 작은 창을, 에지로부터 멀리 떨어진 화소에는 크기가 큰 창을 사용함으로써 물체의 경계를 정확히 찾을 뿐 아니라 저주파 성분이 많은 물체의 표면 등에서 잡음을 현저히 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 결과로부터 본 논문에서 제안한 알고리즘이 Fusiello 등의 알고리즘보다 우수함을 알 수 있었다.

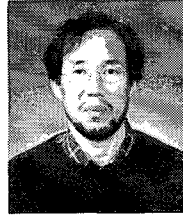
참고문헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.

- [4] 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, September 1999.
- [5] 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.
- [6] S. Changming, "A fast stereo matching method," *Digital Imaging Computing: Techniques and Applications*, pp. 95-100, Auckland, November 1997.
- [7] M. Z. Brown, "Advances in computational stereo," *IEEE Trans, Pattern Recognition and Machine Intelligence*, Vol. 25, No. 8, pp. 993-1008, 2003.
- [8] D. Scharstein and R. Szeliski, "A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms," *Microsoft Research Technical Report MSR-TR-2001-81*, 2001.

저자소개

김 충 원 (Choongwon Kim)



1982 한양대학교 전자공학과 공학사
1984 한양대학교 전자공학과 공학석사
1989 한양대학교 전자공학과 공학박사
1993 일본 구주대학교 교환교수

2003 호주 타스마니아대학교 교환교수
1989 ~ 현재 조선대학교 컴퓨터공학부 교수
※ 관심분야: 스테레오비전, 3차원 측정, 컴퓨터비전, 컴퓨터그래픽스