

# 스테레오 영상을 이용한 깊이지도의 변위값 오류 검출 및 보정 방법

장용준, 호요성  
 광주과학기술원 정보통신공학부  
 e-mail : [yjchang@gist.ac.kr](mailto:yjchang@gist.ac.kr), [hoyo@gist.ac.kr](mailto:hoyo@gist.ac.kr)

## Disparity Error Detection and Correction in Depth Map Using Stereo Images

Yong-Jun Chang, Yo-Sung Ho  
 School of Information and Communications  
 Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

### 요 약

스테레오 정합은 3차원 장면의 깊이정보를 얻는 대표적인 방법으로, 다른 시점에서 찍은 2장의 색상영상에서 서로 대응하는 점간의 변위차를 계산해 깊이정보를 구한다. 스테레오 영상은 서로 다른 시점에서 촬영한 영상이므로 한 시점의 영상에만 보이는 폐색 영역이 존재하는데, 이러한 폐색 영역에서 변위값 오류가 발생하여 변위지도의 품질이 떨어진다. 또한, 정합 과정에서 잘못된 대응점 탐색으로 발생한 변위값 오류도 변위지도의 정확도를 떨어뜨린다. 이 논문에서는 색상영상의 화소값과 초기 오류지도의 화소값을 이용해 변위값 오류 검출의 정확도를 높이는 방법을 제안한다.

### 1. 서 론

색상 카메라를 이용해 촬영한 영상으로 3차원 콘텐츠를 제작하기 위해서는 영상의 깊이정보를 알아야 한다. 깊이 정보는 크게 두 가지 방법으로 나누어 구할 수 있다. 첫 번째 방법으로 ToF(time of flight) 깊이 카메라와 구조광 방법을 이용한 깊이 카메라로 객체의 깊이정보를 얻는 방법이 있다 [1]. 두 번째 방법으로 깊이영상 없이 색상영상만 이용해 깊이정보를 구하는 스테레오 정합 방법이 있다.

스테레오 정합은 서로 다른 시점을 갖는 스테레오 영상을 이용해 깊이를 측정하는 방법이다. 이 방법은 스테레오 영상에서 각 화소의 대응점을 찾은 후, 대응점간의 변위차이로 깊이정보를 구한다. 스테레오 정합은 사람이 양안 시차를 이용해 물체의 깊이를 측정하는 원리를 이용한 것이다. 따라서 스테레오 정합 결과, 카메라에 가까이 있는 물체는 큰 변위차이를 보이는 반면, 멀리 떨어진 물체는 작은 변위차이를 보인다. 이러한 정합 결과로 나온 깊이영상을 변위지도라고 한다. 한 쌍의 스테레오 영상을 이용해 좌시점 변위지도와 우시점 변위지도, 총 두 개의 변위지도를 구할 수 있다.

스테레오 정합은 단일 영상이 아닌 스테레오 영상으로 깊이정보를 구하기 때문에 각각의 시점에서 서로 보이지 않는 영역이 존재한다. 이러한 영역을 폐색 영역이라 하는데 이 영역은 정확한 변위값을 구할 수가 없어서 변위지도의 질을 낮춘다. 폐색 영역 외에도 평활한 영역의 경우 정확한 대응점을 찾기가 힘들다. 따라서 평활한 영역에서도 많은 변위값 오류가 나타난다.

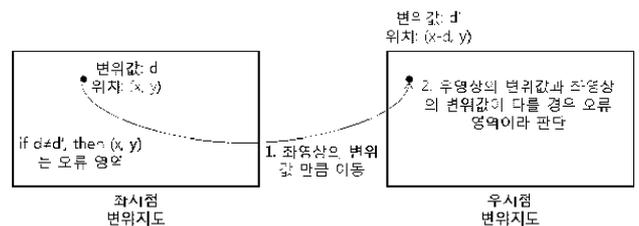
변위값 오류를 보정하기 위한 방법으로 교차검사 방법

이 많이 사용된다 [2]. 이 방법은 변위지도의 변위값 오류를 간단하게 검출한다는 장점이 있지만 그만큼 검출 정확도가 떨어지는 단점도 있다. 본 논문에서는 이러한 교차검사 방법의 단점을 보완하기 위해, 변위지도와 색상영상을 이용해 초기 변위값 오류를 검출한다. 또한, 초기 변위값 오류 검출 후 아직 남아있는 변위값 오류를 검출하기 위해 초기 오류지도의 화소 정보를 이용해 나머지 오류를 검출한다.

### 2. 변위지도의 오류 영역 검출 및 보정

#### 2.1 교차검사를 이용한 변위값 오류 검출

교차검사 방법은 스테레오 정합 결과로 얻은 변위값을 이용해 대응하는 점으로 좌표값을 옮겨 변위값의 일치 여부를 판단하는 방법이다. 그림 1은 교차검사 방법의 예를 보여준다.

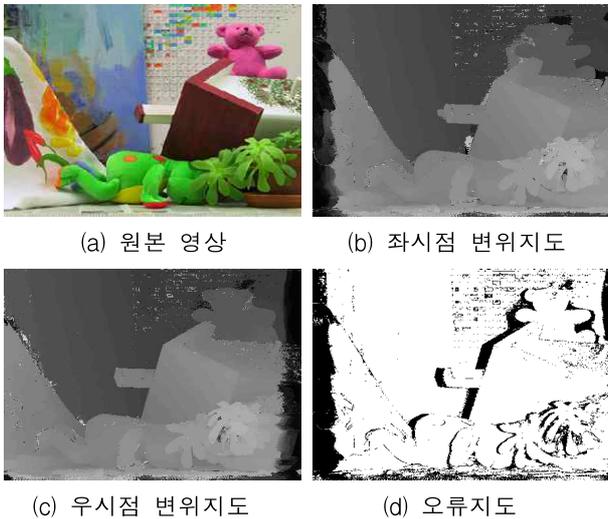


(그림 1) 교차검사 방법의 예

그림 1에서 좌시점 변위지도에 있는 화소  $(x, y)$ 는 변위값  $d$ 를 갖는다. 이는 화소  $(x, y)$ 와 일치하는 화소가 우시

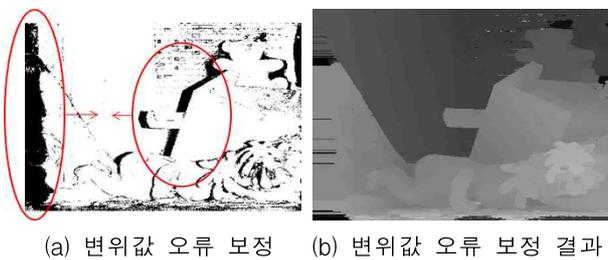
점 변위지도에서  $(x-d, y)$ 에 존재하는 것을 뜻한다. 따라서 변위값  $d$ 를 우시점 변위지도의  $(x-d, y)$ 에 위치한 화소의 변위값과 비교했을 때, 두 화소의 변위값이 일치하지 않으면  $(x, y)$  위치의 화소는 변위값 오류라고 할 수 있다.

그림 2는 교차검사 방법을 이용해 구한 오류 영역이다. 그림 2(a)는 원본 좌시점 영상을 나타내며 그림 2(b)와 그림 2(c)는 각각 좌시점 변위지도와 우시점 변위지도를 나타낸다. 마지막으로 그림 2(d)는 교차검사 방법을 사용해 구한 좌시점 변위지도의 오류 영역이다. 그림 2(d)에서 검정색으로 나타난 부분이 오류 영역이다. 각 시점의 변위지도는 스테레오 영상의 계층간 정합 비용 집계 방법을 이용해 구했다 [3].



(그림 2) 교차검사 결과

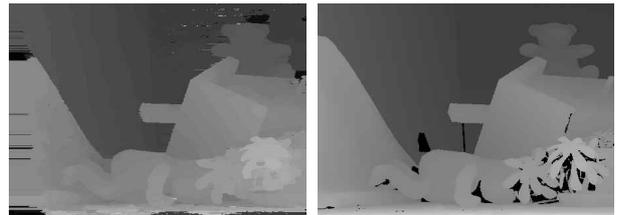
검출된 오류 영역을 보정하기 위해 이웃하는 화소의 변위값을 그대로 사용해 오류를 보정했다. 좌시점 변위지도의 오류 보정 방법을 예로 들면, 변위지도에서 가장 좌측 오류는 오류 영역 오른쪽에 있는 화소들 중에서 가장 가까운 화소의 변위값으로 채우도록 했다. 다른 오류 영역은 왼편에 있는 화소의 변위값을 가져와 보정했다. 그림 3은 좌시점 변위지도의 변위값 오류를 보정하는 방법과 그 결과를 보여준다.



(그림 3) 변위값 오류 보정 방법 및 결과

## 2.2 교차검사 방법의 문제점

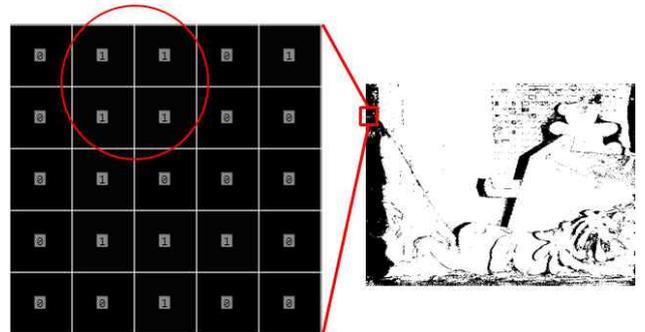
교차검사 방법은 변위지도의 변위값 오류 영역을 간단한 방법으로 검출할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 이 방법은 단순히 두 변위지도의 변위값 일치여부만 고려한 것이기 때문에 검출 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 그림 4는 그림 3(b)에서 보여준 변위값 오류 보정 결과와 실험 영상의 실제 변위지도를 나타낸다.



(a) 변위값 오류 보정 결과 (b) 실제 변위지도

(그림 4) 교차검사 결과

그림 4(a)의 변위값 오류 보정 결과를 그림 4(b)의 실제 변위지도와 비교해보면, 그림 4(a) 변위지도의 좌측 부분에 처리되지 않은 오류가 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 오류는 교차검사 과정에서 초기 변위값 오류가 정확히 검출되지 않아 발생한 결과다. 그림 5는 교차검사 방법을 적용했을 때 검출되지 않은 변위값 오류 영역을 보여준다.



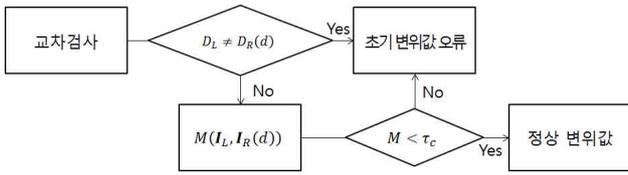
(그림 5) 교차검사 방법의 문제점

## 2.3 색상영상과 주변 화소값을 이용한 오류 검출 방법

기존 교차검사 방법의 변위값 오류 검출 정확도를 높이기 위해 기존의 교차검사 과정에 좌시점 색상영상과 우시점 색상영상 사이의 색상 정합도를 추가로 비교했다. 색상 정합도를 이용해 초기 변위값 오류 영역을 검출한 뒤, 정상 변위값으로 판정된 화소들과 이웃하는 화소들의 평활화 비용을 계산해 최종 오류영역을 검출하도록 했다. 그림 6은 좌시점을 기준으로 하는 색상 정합도를 이용한 초기 변위값 오류 검출 방법의 흐름도를 나타낸다.

스테레오 정합을 이용해 좌, 우시점 변위지도를 얻은 후 교차검사를 통해 좌영상과 우영상의 변위값 일치여부를 판별한다. 그림 6에서  $D_L$ 은 좌시점 변위지도에서 현재 화소의 변위값이며,  $D_R(d)$ 는 우시점 변위지도에서 좌시점의 현재 화소 기준으로 변위값  $d$ 만큼 움직인 위치의 변위

값을 나타낸다. 따라서  $D_L$ 과  $D_R(d)$ 의 변위값이 일치하지 않을 경우 현재 화소를 초기 변위값 오류로 판단할 수 있다.



(그림 6) 초기 변위값 오류 검출 방법의 흐름도

교차검사 방법으로 초기 변위값 오류를 일차적으로 검출한 후에 오류로 지정되지 않은 화소들에 대해서 다시 오류 판별 검사를 해준다. 이때 두 시점의 색상영상을 이용한 색상 정합도를 계산해 다시 초기 변위값 오류를 검출한다. 그림 6에서  $M(I_L, I_R(d))$ 는 색상 정합도를 나타내며 식 (1)과 같이 정의된다.

$$M(I_L, I_R(d)) = \frac{\frac{1}{3} \sum_{I \in R, G, B} |I_L - I_R(d)|}{255} \quad (1)$$

식 (1)은 좌시점 변위지도를 기준으로 한 색상 정합도이다.  $I_L$ 은 좌시점 변위지도에서 현재 화소의 색상값을 나타내며  $I_R(d)$ 는 좌시점 변위지도에서 현재 화소의 변위값  $d$ 만큼 이동한 우시점 변위지도의 색상값을 뜻한다.

색상 정합도를 이용해 초기 변위값 오류를 탐색해도 아직 검출되지 않은 오류 영역이 존재할 수 있다. 이 영역을 탐색하기 위해, 변위값 오류지도에 주변 화소값을 고려한 오류 영역 검출법을 적용한다. 이 방법은 초기 변위값 오류로 판별되지 않은 화소의 주변 오류 화소 개수를 확인해 현재 화소의 오류 여부를 재판별 한다. 주변 화소의 오류 개수를 계산하는 평활화 비용은 식 (2)로 정의된다.

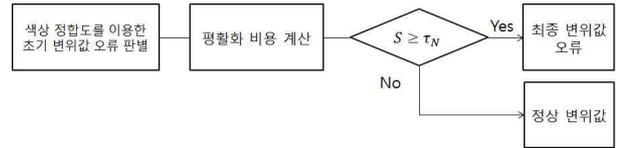
$$S(p, q) = \sum_{q \in N(p)} f(q)o(p) \quad (2)$$

식 (2)에서  $S(p, q)$ 는 평활화 비용을 나타낸다.  $p$ 와  $q$ 는 각각 현재 화소와 현재 화소에 이웃하는 화소를 뜻한다. 식 (2)는 현재 화소가 변위값 오류 화소가 아닐때만 적용되며, 이는 식 (3)과 같이  $f(q)$ 와  $o(p)$ 라는 수식을 정리해 표현했다.

식 (3)에서  $f(q)$ 는 주변 화소에서 변위값 오류로 판별된 화소의 개수를 계산하는 수식이다.  $o(p)$ 는 현재 화소가 초기 변위값 오류로 판별되지 않은 화소일 경우에만 식 (2)를 적용하도록 해준다. 식 (2)와 식 (3)을 이용해 최종 변위값 오류 영역을 판별할 수 있다. 그림 7은 주변 화소값을 고려한 최종 오류 판별 방법의 흐름도를 보여준다.

$$f(q) = \begin{cases} 1, & f(q) = 0 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

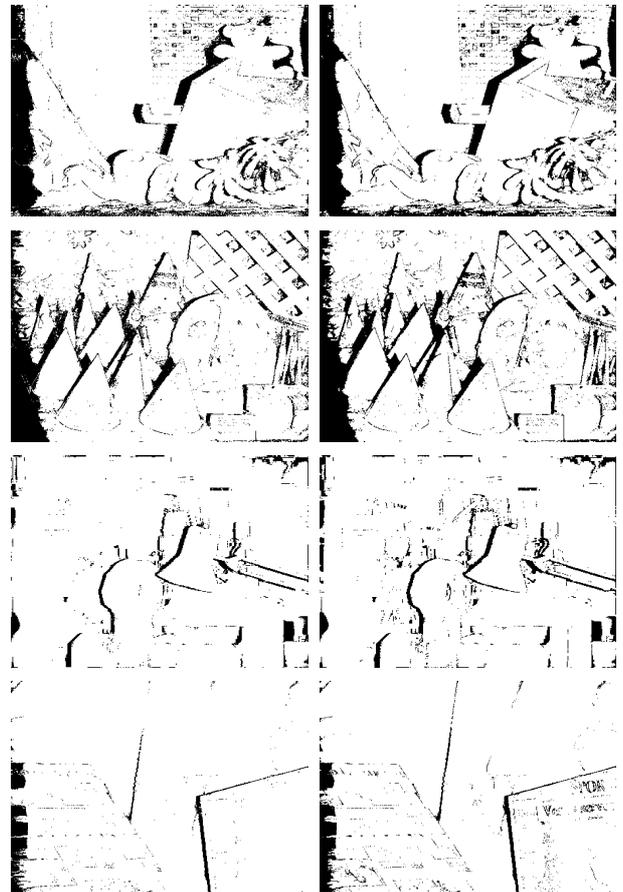
$$o(p) = \begin{cases} 1, & o(p) = 1 \\ 0, & otherwise \end{cases}$$



(그림 7) 주변 화소를 고려한 오류 검출 방법의 흐름도

### 3. 실험 결과

제안한 방법을 실험하기 위해 *Teddy*, *Cones*, *Tsukuba*, *Venus*, 네 가지 실험 영상을 사용했다. 각각의 실험 영상으로 교차검사 방법을 이용한 변위지도의 변위값 오류 검출방법과 제안한 방법을 이용한 변위값 오류 검출방법을 비교했다.



(a) 교차검사 방법 (b) 제안한 방법

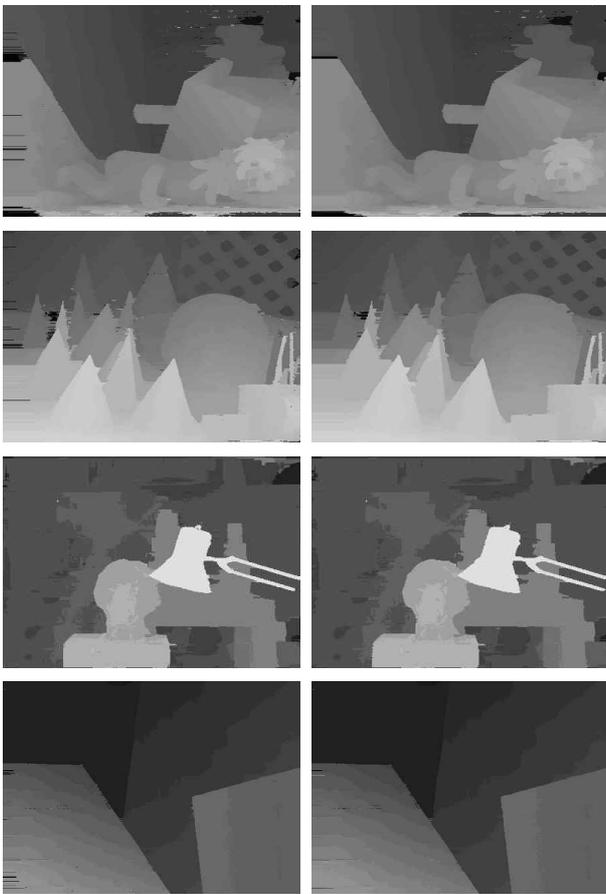
(그림 8) 기존 방법과 제안한 방법의 오류 검출 비교

그림 8은 교차검사 방법을 이용한 검출 결과와 제안한 방법을 이용한 변위값 오류 검출 결과를 비교한 영상이다.

결과 영상에서 검은색 영역이 변위값 오류 영역을 나타낸다. 전체적으로 그림 8(b)의 제안한 방법이 기존 방법보다 폐색 영역에서 많은 오류를 검출한 것을 확인할 수 있다.

객관적인 실험 결과 비교를 위해, 검출된 오류 영상에 오류 보정 방법을 적용해 실제 변위지도와의 일치율을 비교했다. 그림 9는 변위값 오류 보정 방법이 적용된 결과 영상을 나타낸다. 보정 방법은 2.1절에서 소개된 이웃 화소값을 이용한 방법을 사용했다.

그림 9에서 확인할 수 있듯이, 제안한 방법을 이용해 변위값 오류를 보정한 것이 교차검사 방법을 이용해 변위값을 보정한 결과보다 더 나은 것을 확인할 수 있다. 표 1은 실험 결과를 실제 변위지도의 폐색 영역과 비교한 오차를 백분율로 나타낸 결과다 [4].



(a) 교차검사 방법 (b) 제안한 방법

(그림 9) 기존 방법과 제안한 방법의 변위값 오류 보정 비교

표 1에서 All은 변위지도의 모든 영역에서의 오차율을 나타내며, Occlusion은 폐색 영역의 오차율을 나타낸다. 제안한 방법이 기존 방법보다 폐색 영역에서 1.31%의 오차율 감소를 보인 것을 확인할 수 있다.

(표 1) 실제 변위지도와의 오차율

	BPR (%)			
	기존 방법		제안한 방법	
	All	Occlusion	All	Occlusion
Teddy	10.63	54.71	10.43	53.10
Cones	11.46	60.09	11.57	59.29
Tsukuba	2.66	12.40	2.68	12.98
Venus	0.68	12.75	0.58	9.35
<b>Average</b>	6.36	34.99	6.32	33.68

#### 4. 결 론

본 논문은 변위지도의 폐색 영역 및 오류 영역 검출의 정확도를 높이는 방법을 제안했다. 기존의 폐색 영역 및 오류 영역 검출 방법인 교차검사 방법은 폐색 영역을 포함한 일부 변위값 오류 영역에서 부정확한 검출 정확도를 보였다. 이를 보완하기 위해 본 논문은 교차검사 방법을 이용할 때 색상영상을 함께 사용해 초기 변위값 오류를 검출했다. 또한 초기 변위값 오류를 검출한 후, 주변 화소의 변위값 오류 여부를 비교해 남아있는 오류 화소를 검출했다. 실험 결과, 제안한 방법이 기존 방법보다 폐색 영역의 오차율이 1.31% 감소했다.

#### 감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2011-0030079)

#### 참고 문헌

[1] D. Scharstein, R. Szeliski, "High-Accuracy Stereo Depth Maps Using Structured Light," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.1, pp. 195-202, 2003.

[2] G. Egnal, R. Wildes, "Detecting binocular half-occlusions: empirical comparisons of five approaches," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.24, No.8, pp. 1127-1133, 2002.

[3] K. Zhang, Y. Fang, D. Min, L. Sun, S. Yang, S. Yan, Q. Tian, "Cross-scale cost aggregation for stereo matching," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1590-1597, 2014.

[4] D. Scharstein, R. Szeliski, "A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms," International Journal of Computer Vision, Vol.47, No.1, pp. 7-42, 2002.