

# 랜덤컬러패턴을 이용한 스테레오 정합법

김기선\*, 최란\*, 박준영\*, 조창석\*  
\*한신대학교 정보통신학부  
e-mail : cscho@hs.ac.kr

## A Stereo Pair Matching Method Using Random Color Pattern Projection

Gi-Seon Kim\*, Ran Choi\*, Jun-Young Park\*, Chang-Suk Cho\*  
\*Div. of Information & Telecom., Hanshin University

### 요 약

문양이나 패턴이 없는 민 무늬의 물체에는 동일점 정합에 의해 3 차원 계측을 하는 스테레오 정합방식을 적용할 수 없다. 본 논문에서는 난수 발생 함수로 제작한 랜덤 컬러 패턴을 대상물체에 투영하여, 대상 물체 표면에 특징적인 문양을 인위적으로 생성시키는 것에 의해 민 무늬의 물체를 스테레오 정합법으로 측정하는 방식을 제안한다. 투사된 패턴으로 자체 문양을 지니게 된 물체를 스테레오 카메라로 촬영하였고, 동일점 정합은 전역 스테레오 정합 방식의 일종인 TRW 방식에 의한 컬러 매칭 방식을 사용하였다. 제안된 방식은 원형의 흰색 석고상 3 차원 계측에 적용되었고, 안정적이고 정확한 스테레오 정합 계측 결과를 보였다.

### 1. 서론

대상 물체의 3차원 좌표를 비접촉식으로 정확히 계측하는 것은 3차원 데이터를 필요로 하는 모든 분야에서 절실하게 요구되어왔고 이를 위하여 패턴투영 방식, 스테레오정합 방식 등이 주로 제안되어 왔다. 패턴투영방식은 일정 패턴을 대상물체에 투영하여 패턴의 왜곡도를 측정하는 방식이다. 스테레오 정합 방식은 시선을 달리한 2대의 카메라로 촬영하여 얻어진 대상물의 영상에서 동일점의 위상차로 3차원 좌표를 계산하는 방식으로, 영상 간 동일점 탐색을 관건으로 한다. 패턴 투영방식은 결과의 신뢰성이 높으나 계측 수단별로 일부 장단점이 나뉘고 있다. 패턴투영 방식 중 레이저 슬릿트 광을 이용하는 경우, 계측결과와 신뢰성이 높으며 계측시의 분해능도 우수한 편이다. 하지만 빠른 속도로 점 형태의 레이저 광을 슬릿트 라인 상으로 대상물에 주사하여 선의 왜곡을 해석하므로, 대상물체가 움직여서는 안되며, 투사하기 어려운 먼거리의 물체를 대상으로 할 수 없으며, 또한 타 방식에 비해 고가인 단점을 지니고 있다.

패턴 투영방식 중 평행선 패턴 무늬를 대상물체에 투사하는 경우에는, 주사 식 레이저 투사에 비해 패턴을 동시 투사한다는 장점을 지니나, 선 사이의 간격이 계측의 정밀도를 결정하게 되어 레이저 슬릿트 주사보다 정확성이 떨어진다. 또한 면이 연속되지 않

는 경우나 가려진 부분에서는 투사된 직선상의 슬릿트 선들이 상호 어긋나게 되어 선들의 구분이 곤란하게 된다. 즉 이 방식에서는 연속표면이면서 가려지는 부분이 없어야 하는 것이다.

두 대의 카메라를 이용한 스테레오 정합법은 대상 물체가 움직이는 동영상에서도 계측이 가능하며 대상 물체의 표면이 연속적이거나 가려진 면을 포함하고 있어도 계측이 가능하다. 하지만 본 방식이 지니는 문제점으로는 두 대의 카메라로 찍은 영상들간의 동일점 탐색이며 특히 대상물이 특징적인 패턴이나 재질, 무늬를 지니지 않은 경우는 정합점들을 찾지 못하는 것이 문제로 되어 있다.

본 논문에서는 패턴투영방식과 스테레오 정합 방식의 단점을 해소하기 위하여 랜덤 컬러 방식으로 제작한 점 집합들로 이루어진 패턴 필름을 인위적으로 대상물에 투영하고 이를 두 대의 카메라로 촬영하여 스테레오 정합을 하는 랜덤 컬러 투영에 의한 정합 방식을 제안한다. 랜덤 컬러로 제작된 점 집합으로 이루어진 패턴을 투사하여 정합을 하는 제안 방식은 별다른 문양을 지니지 못한 대상물의 동일점 정합에 매우 효율적이며 기존의 패턴 투영방식이 측정할 수 없는 동영상에도 적용이 가능하고, 표면이 연속적이지 않아도 가능하다.

## 2. 연구 내용

### 2.1 랜덤컬러패턴

스테레오 정합의 문제점은 크게 3가지가 있다. 즉, 잡음, 폐색영역(Occlusion), 민 무늬(no pattern) 영역에 의해 스테레오 정합 오차가 생기게 되며, 이는 스테레오 정합 방식에 의한 3차원 계측의 신뢰성을 떨어뜨리는 요인으로 작용한다. 본 제안 방식은 물체에 랜덤 컬러 패턴을 투영하여 대상 표면에 특징 패턴을 생성시키는 것으로, 민 무늬 형상을 포함한 물체의 스테레오 정합이 목적이다. 시스템의 구성은 랜덤 컬러 패턴을 투영하는 패턴 투영부와 두 대의 카메라에 의한 수광부로 구성된다. 그림 1은 본 계측 시스템의 구성도이며, 그림 2는 패턴 투영에 사용한 랜덤 컬러 패턴이다.



(그림 1) 랜덤 컬러 패턴 스테레오정합 시스템 구성도



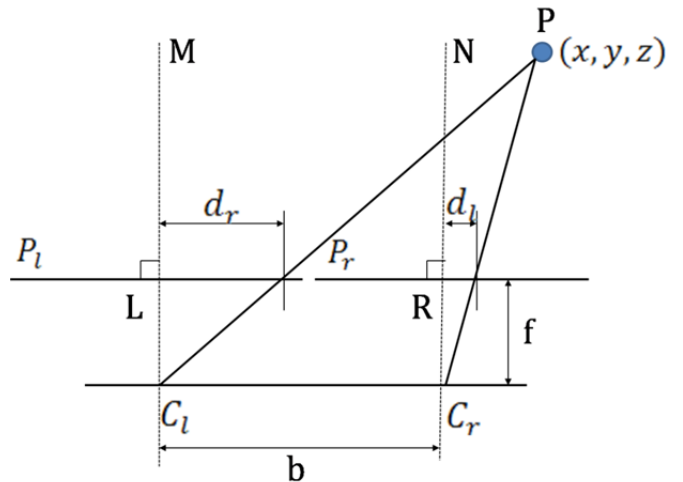
(그림 2) 랜덤 컬러 패턴

랜덤 컬러 패턴은 한 픽셀 당 R, G, B 값을 난수 발생 함수를 이용하여 랜덤으로 설정하여 셀룰로이드

판에 출력한 후 이를 패턴 투영기에 넣어 대상 물체에 투사하였다.

### 2.2 스테레오정합 알고리즘

스테레오 정합은 카메라의 사양을 알고 있는 상태에서 2장의 영상으로부터 동일점의 디스패리티(변이, disparity)를 계산한다. 영상의 모든 픽셀에 대해서 변이를 계산하게 되면 디스패리티맵(disparity map)을 얻을 수 있다. 이 디스패리티맵과 카메라의 사양 정보가 있으면 카메라와 물체 사이의 실제 거리를 추정할 수 있다. 아래의 그림 3은 스테레오 정합법의 기하학적 구성도를 나타내는 것으로, 좌측카메라  $C_l$  과 우측카메라  $C_r$ 은 물체 P를 바라보고 있다. 두 관측점 사이의 거리를  $b$ 로, 두 렌즈의 초점거리를  $f$ , 영상의 중심과 물체 사이의 거리 중 좌측 영상을  $d_l$ , 우측영상을  $d_r$  로 하였고,  $P_l$ 은 왼쪽 카메라 투영평면,  $P_r$ 은 오른쪽 카메라 투영 평면이다.  $C_l$ 과  $C_r$ 은 각각 좌측 카메라와 우측 카메라의 중앙을 의미한다. 대개의 경우 영상 평면을 수평으로 카메라를 설치하므로, 두 영상이 같은 평면에 위치한다고 조건하에 이 두 거리의 차로 디스패리티를 구한다.



(그림 3) 스테레오 정합법의 기하학적 구성도

영상 평면과 물체와의 법선 거리  $d$ 는 아래의 식 1에서와 같이 구하고 이를 바탕으로 깊이 정보  $z$ 를 구한다.

$$z = f \frac{b}{d} \quad (1)$$

$$d = d_l - d_r$$

모든 스테레오 정합 방법들의 공통된 과제는 한 영상의 픽셀에 대응하는 다른 영상의 대응 픽셀을 찾는 것이다. 이를 위한 간단한 방법으로 주위 픽셀들을 이용하는 지역 스테레오 정합 방법이 있고, 스캔 라인 또는 영상 전체를 이용하는 전역 스테레오 정합 방법이 있다. 표 1은 지역과 전역 스테레오 정합 방법들을 요약한 것이다.

<표 1> 지역과 전역 스테레오 정합 방법들

지역 스테레오 정합 알고리즘	
블록정합 [1]	정합점수 또는 오류 최소화를 찾음. 일반적으로, 랭크 매트릭 (rank metrics) 또는 교차상관(cross-correlation)사용.
특징정합 [2]	픽셀 농담 값을 사용하지 않고, 영상 특징을 이용하여 스테레오 정합 수행.
전역 스테레오 정합 알고리즘	
동적계획법 [3]	최적화된 경로인 스캔 라인을 따라 변이를 결정.
그래프-컷 [4]	그래프에서 최대 유량(maximum flow)에 의해 계산된 최소 컷(minimum cut)을 사용하여 변이 결정.
BP [5]	신뢰 네트워크(belief network)에서 메시지 전달방법을 이용하여 변이 결정.

지역 스테레오 정합법은 연산 속도가 빠르지만, 잡음, 폐색, 민무늬 영역에서 스테레오 정합의 신뢰도가 떨어진다. 전역 스테레오 정합법은 지역 정합법에 비해 연산 속도는 느리고, 자원을 많이 필요로 하지만, 잡음, 폐색, 민무늬 영역에서 강인하다. 본 논문에서는 전역 스테레오 정합법 중, BP의 일종인 LBP (Loopy-Belief Propagation) 알고리즘을 사용하였다.

2.3 LBP와 TRW 알고리즘

MRF(Markov Random Field) 모델에서의 근사적 추론 알고리즘인 LBP는 BP 알고리즘에서 루프를 사용한 그래프를 적용함으로써 전역 에너지를 더욱 최소화 할 수 있다. MRF는 확률적 그래프 모델의 일종이며 확률적 그래프 모델은 확률 이론과 그래프 이론을 결합한 분야이다[6]. LBP 알고리즘은 확률 그래프적 모델에서 순환이 있는 트리 구조에 적용되는 효율적인 추론 알고리즘으로, 두 종류가 있다. 하나는 각 노드의 주변 확률을 구하는 합-곱 알고리즘이고 또 다른 하나는 MAP(Maximum a Posterior)를 구하는 최대-곱 알고리즘이다. 최대-곱 알고리즘은 메시지 갱신 규칙에서, 모든 메시지를 더하지 않고 최대값을 가지는 메시지로 현재 메시지를 갱신하는 것이다. 본 논문에서는 사용하는 TRW 알고리즘은 최대-곱 방식이며 LBP로부터 파생되었다. TRW의 메시지 전파 식은 아래와 같다 [7].

$$M_{p \rightarrow q}^t(l_q) = \min [c_{pq} \{ (d_p(l_p) + \sum_{s \in N(p)} M_{s \rightarrow p}^{t-1}(l_p)) - M_{q \rightarrow p}^{t-1}(l_p) + V_{pq}(l_p, l_q) \}] \quad (2)$$

$M_{p \rightarrow q}^t$ 는 반복(iteration) t일 때, 픽셀 p에서 이웃 픽셀 q로 보내지는 메시지이다. 이 메시지 벡터 크기는 m(변이 범위)이다. 만약,  $c_{pq}$  값을 1로 하면,

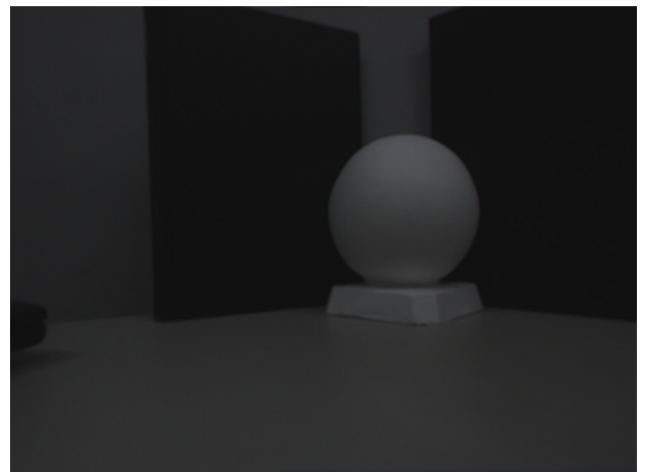
이 메시지 전파 식은 LBP와 같다. 위 식 2에서  $l_p, l_q$ 는 변이의 범위 값을 갖는다. 즉,  $l_p, l_q$ 가 가질 수 있는 범위는 아래 식 3의 범위 내로 제한된다. 변이를 32로 정의한다면, 0에서 31 사이 값을 갖는다.

$$l_p, l_q \in [0, \text{Max}(\text{disparity}) - 1] \quad (3)$$

$d_p$  함수는 데이터 항이므로, 이는 곧 좌측 영상의 하나의 RGB 열과 우측 영상의 하나의 RGB 열의 차영상을 구한 RGB값에 절대값을 취하고, 이를 하나의 열로 합치게 됨을 뜻한다. 계산 후, 구한 영상에서 MAX(disparity)만큼의 값을 취하게 된다.  $V_{pq}(l_p, l_q)$  함수는 스무스 항(Smoothness term)이다.  $d_p$  함수와 다르게, 각 픽셀 값의 유사성을 찾는 것이 아니라, 픽셀 p와 그 이웃 노드 픽셀 q와의 연속성을 비교하는 함수다. 스무스 항으로 사용되는 알고리즘은 주로 포츠 모델(Potts model)을 사용한다.  $\sum_{s \in N(p)} M_{s \rightarrow p}^{t-1}(l_p)$ 는 픽셀 p와 그 이웃 노드 s에 관한 식이다. 이웃 노드 s는 픽셀 p의 왼쪽 이웃 노드, 오른쪽 이웃 노드, 위쪽 이웃 노드, 아래쪽 이웃 노드, 총 4개의 이웃 노드를 말한다. 즉, 왼쪽 이웃 노드에서 보내온 메시지, 오른쪽 이웃 노드에서 보내온 메시지, 위쪽 이웃 노드에서 보내온 메시지, 아래쪽 이웃 노드에서 보내온 메시지를 더하는 식이다. TRW 알고리즘의 메시지 전달 방법은 포워드, 백워드 방향을 따른다. 즉, 영상의 좌측 상단으로부터 우측 하단으로 순차적으로 메시지 전파를 이룬 후 다시 이를 역으로 메시지 전파를 실행 한다.

2.4 랜덤 컬러 매칭에 의한 계측결과

실험 계측은 패턴이 없는 흰색의 구형 석고상을 대상으로 하여 구형의 곡률 형태가 계측 결과에 반영되는지를 관찰하였다. 대상 물체인 석고상의 구 직경은 14cm이며 타원형 구가 아닌 정 원형 구의 형태이다. 아래의 그림 4는 본 논문의 실험 대상이 된 석고상이다.



(그림4) 본 논문의 실험 대상 석고상

그림 5는 이 석고상을 패턴 투영을 하지 않은 민무늬 대상과 랜덤컬러패턴을 투영한 석고상을 나타낸 것이다.

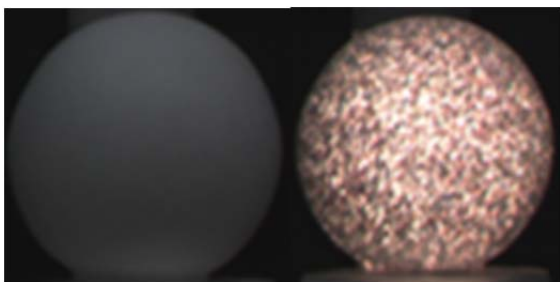
본 실험에서는 민무늬 석고상에 TRW 방식으로 스테레오 정합을 하였고 랜덤 컬러 패턴이 투영된 석고상에는 r,g,b,의 오차 자승합중 최소값을 선택하는 방식으로 시행한 SSE 방식에 의한 스테레오 정합과 r,g,b, 값을 TRW방식에 의해 스테레오 정합을 실시하였다.

그림 6은 각각의 실험 결과를 대조한 것으로 스테레오 정합에 의한 결과를 디스패리티 맵과 옆면에서 본 복원상으로 비교한 것이다. 디스패리티 맵은 밝을수록 시점에 가까운 것을 나타내고 어두울수록 시점에서 먼 것을 나타낸다.

그림 5의 패턴 투영 없는 민무늬 사진에서는 구형을 명확히 관찰할 수 있으나 해당 사진을 대상으로 하여 스테레오 정합을 한 결과인 그림 6의 (상)에 나오는 디스패리티 맵에서는 물체의 윤곽을 찾을 수가 없고 옆면에서 본 복원상에서 관찰할 수 있듯이 대략적인 거리 차를 알 수 있을 뿐이다. 그림 6에서 관찰할 수 있듯이 특징점이나 문양, 패턴 등이 없는 단조로운 물체를 대상으로 스테레오 정합 할 경우 동일점의 정합이 정상적으로 이루어지지 않아 측정이 이루어질 수 없음을 확인할 수 있다.

그림 6의 (중)과 (하)는 그림 2의 랜덤 컬러 패턴을 그림 1의 패턴을 투영기에 넣어 석고상에 투사하여 얻은 그림 5에 대한 각각의 방식에 대한 스테레오 정합결과이다. 그림 6의 (중)은 SSE 방식에 의한 것이고 (하)는 TRW 방식에 의한 것이다.

그림 6의 (중)과 (하)의 결과에서 보듯이, 컬러 랜덤 패턴이 투사된 석고상에 대하여 구한 디스패리티 맵에는 등고선 형태의 거리 정보가 확실히 나타난 것을 볼 수 있으며, SSE정합 방법보다 TRW정합 방법이 더욱 근접하게 나타나는 것을 알 수 있다.

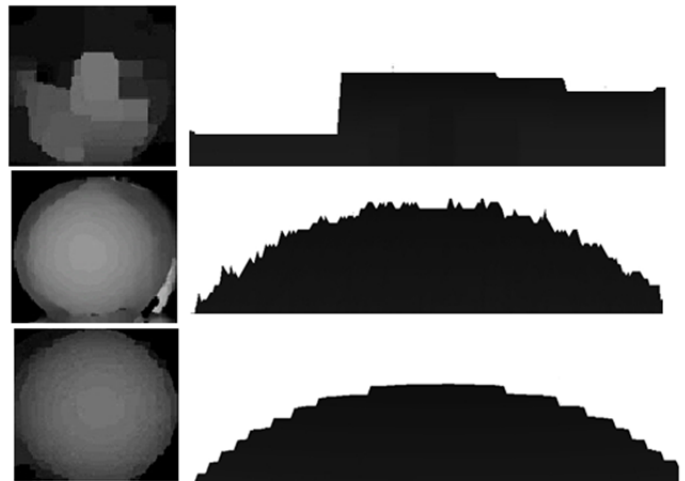


(그림 5) 패턴 투영 없는 석고상의 좌측 카메라 영상과 랜덤 컬러 패턴이 투영된 좌측 카메라 영상

### 3. 결론

본 논문에서는 TRW 알고리즘을 이용한 랜덤 컬러 매칭 방식을 제안하였다. 디스패리티 맵에서 볼 수 있듯이 민무늬 물체의 경우 스테레오 정합법을 적용한 3차원 계측이 불가능하지만, 랜덤 컬러 패턴을 투영하여 인위적으로 패턴을 생성시켜 컬러 정보에 의한 매칭을 할 경우 스테레오 정합법의 적용이 가능하

다는 것을 알 수 있었다. 또한 에페폴라 라인선상에서의 오차자승합의 최소값만을 채택하여 정합하는 SSE 방식에서보다 정합오류의 손실값을 고려하는 TRW 방식이 우수한 결과를 나타내는 것을 관찰할 수 있었다. 제안법은 대상물체가 무늬나 패턴 존재 여부와 상관없이 사용할 수 있어서 먼거리가 아닌 근거리의 정지 혹은 움직이는 물체에 대해서도 적용이 가능하다.



(그림 6) 패턴투영 없이 구한 석고상의 디스패리티 맵과 복원결과의 옆면 투시상(상), 랜덤컬러 패턴 투영 후 r,g,b 컬러 정보의 오차자승합으로 구한 석고상의 디스패리티 맵과 복원결과의 옆면 투시상(중), 랜덤컬러 패턴 투영 후 r,g,b 컬러 정보를 이용하여 TRW 방식으로 구한 석고상의 디스패리티 맵과 복원결과의 옆면 투시상(하)

### 참고문헌

- [1] D.N. Bhat and S.K. Nayar, "Ordinal Measures for Image Correspondence", IEEE Trans. PAMI vol.20, pp.415-423, 1998.
- [2] S. Birchfield and C. Tomasi, "Multiway Cut for Stereo and Motion with Slanted Surfaces", Proc. Int'l Conf. Computer Vision, vol. 1, pp. 489-495, 1999.
- [3] P.N. Belhumeur, "A Bayesian Approach to Binocular Stereopsis", Int'l J.Computer Vision, vol. 19, no. 3, pp. 237-260, 1996.
- [4] Y. Boykov, O. Veksler, and R. Zabih, "Fast Approximate Energy Minimization via Graph Cuts," IEEE Trans. PAMI, vol. 23, no. 11, pp. 1222-1239, Nov. 2001.
- [5] J. Sun, H.-Y. Shum, and N.-N. Zheng, "Stereo Matching Using Belief Propagation", Proc. European Conf. Computer Vision, pp. 510-524, 2002.
- [6] Chris Bishop. "Pattern Recognition and Machine Learning", Springer, pp. 359-422, 2006.
- [7] M. Wainwright, T. Jaakkola, and A. Willsky, "Map Estimation via Agreement on Trees: Message-Passing and Linear Programming," IEEE Trans. Information Theory, vol. 51, no. 11, pp. 3697-3717, 2005.