

# 패치 기반의 하이브리드 스테레오 매칭

길우성, 김신형, 장중환

comterkid@hotmail.com, zeros@mail.pcu.ac.kr, jangjw@mail.pcu.ac.kr

## Hybrid Stereo Matching Based on Patch

Woo-Sung Kil, Shin-Hyoung Kim, Jong Whan Jang  
Dept. of Information and Communication Engineering  
PaiChai University

### 요 약

세그먼트 패치(Segment Patch) 기반의 스테레오 매칭에 있어서, 매칭의 속도와 정확도는 세그먼트 패치를 생성하는 과정에 의존한다. 본 논문에서는 매칭 프리미티브로 사용되는 세그먼트 패치를 결정하는 과정으로 영상의 강도와 함께 인접 세그먼트 패치들 사이의 깊이를 고려하여 최적의 세그먼트 패치를 결정하는 방법을 제안하였다. 그 결과 영상의 강도 변화가 작은 영역에서 뿐만 아니라 패치 매칭의 취약함으로 지적되었던 복잡한 영역에서도 좋은 결과를 보여 주었다.

### 1. 서론

영역 기반 스테레오 매칭에 있어서의 매칭 성능의 척도는 매칭을 위한 윈도우의 모양과 크기의 선택에 달려 있다 [1][2][3]. 즉, 정합을 위한 윈도우의 크기는 정합의 신뢰도를 위하여 영상 강도 변화를 포함하도록 충분히 커야하지만, 투영왜곡(Projective Distortion)과 경계가 확장되는 현상 (Fattening Effect)을 피하기 위해서는 오히려 작아져야 한다.

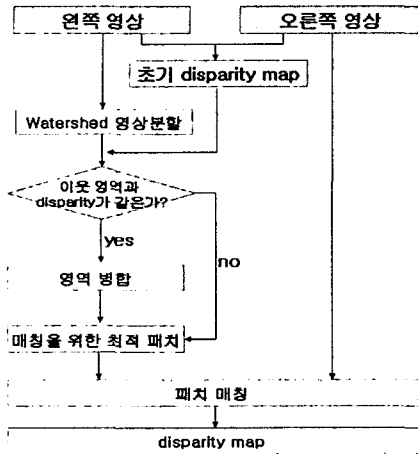
한편, 스테레오 영상을 동일한 강도를 갖는 세그먼트로 분할하여 각 세그먼트간의 대응을 찾는 세그먼트 패치 기반의 스테레오 매칭 방법은 disparity의 경계를 정확히 유지하면서, 영상의 강도 변화가 작은 영역이 많을수록 그 성능이 향상되는 장점이 있다 [4]. 하지만, 동일한 깊이임에도 강도의 변화가 큰 영역은 영상이 과 분할되어 매칭의 효율이 떨어질 뿐 아니라 속도 저하를 가져오게 된다. 본 논문은 이 문제를 해결하기 위해, 분할된 영상을 초기 영역기반 방법으로 얻어진 disparity map을 기준으로 각 세그먼트 패치의 상대적인 깊이를 비교하여 동일한 깊이를 가지는 인접 패치들을 병합하고, 최종적으로 스테레오 매칭을 위한 최적화된 세그먼트

패치를 찾는 알고리즘을 구현하였다. 그 결과 영상 내의 강도의 변화가 작은 영역뿐만 아니라, 과분할 현상으로 세그먼트 패치 기반 매칭 방법의 취약함으로 지적되었던 복잡한 영역에서도 우수한 결과를 보였다

### 2. 본론

일반적으로, 세그먼트 패치를 사용한 스테레오 매칭 방법은 '패치 내에서의 disparity는 일정하다'고 가정한다. 그러므로 영상 강도의 변화가 작은 영상은 하나의 패치가 넓은 분할 영역을 가지므로 한번의 탐색으로 넓은 영역의 disparity를 한꺼번에 구할 수 있는 장점이 있는 반면, 영상의 강도변화가 큰 복잡한 영상에서는 과 분할이 이루어져 각 패치를 매칭 하려면 많은 시간이 소요되고 부정확한 매칭이 이루어진다. 따라서 영상의 강도 변화가 작은 영역뿐만 아니라 강도 변화가 큰 복잡한 영역의 정확한 매칭을 위해서는 복잡한 영역의 패치 들을 병합해야 하는데, 병합의 기준으로, 강도의 변화가 큰 영역에서 신뢰성 있는 결과를 보이는 영역기반 방법, SSD(Sum of Squared Difference) 를 이용하였

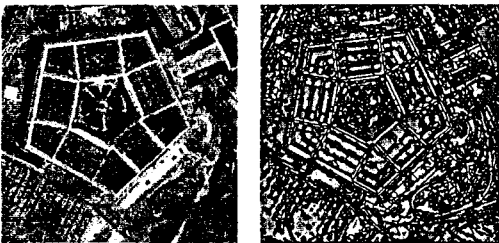
다. 본 논문에서 제시하는 알고리즘의 순서도는 <그림 1> 과 같다.



<그림 1> 알고리즘 흐름도

2.1 영상 분할 (Image Segmentation)

본 논문에서는 영상을 분할하는 방법으로 계산 과정이 빠르고, 꽤 영역을 쉽게 얻을 수 있는 워터셰드(Watershed) 영상 분할 알고리즘을 사용하였다 [5]. 워터셰드 영상 분할 알고리즘은 영상의 강도를 지형적인 의미로 해석하여, 최저 고도의 지형에 구멍이 있다고 가정하고, 구멍을 통해서 조금씩 물이 차 올라가기 시작하여 다른 곳에서 차 올라오는 물과 만나려 할 때 댐이 만들어져 합쳐지지 못하게 하는 방법으로, 각 댐은 비슷한 고도를 가진 영역의 단혀진 경계를 만들어 낸다.



<그림 2> 워터셰드 영상분할. 왼쪽: 원래 영상. 오른쪽: 워터셰드 알고리즘으로 분할된 영상

워터셰드 영상분할 알고리즘으로 분할된 각 영역을  $s$ 라 하면 하나의 영상은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 패치 매칭 방법은 패치  $s_i$ 를 매칭 프리미터브로 사용하여 기준 영상의  $i$ 번째 label에 대응하는 위치를 후보 구간에서 찾는 방법으로 <그림 2>에서

$$I = \left\{ \bigcup_{i=1}^k I(s_i) \right\} \tag{1}$$

$I$ : 영상

$k$ : 분할된 영역의 개수

$i$ : 분할된 영역의 label

건물의 주위는 깊이가 같지만 강도 변화가 크기 때문에 과 분할이 일어나 매칭과정에서 국부 최소(local minima)에 수렴하기 쉽다. 따라서 분할된 영역은 되도록 많은 신호를 포함하도록 병합이 되어야 하지만, 각 영역간의 깊이도 함께 고려해야 한다.

2.2 영역 병합 (Region Merging)

영역기반(SSD) 매칭 방법과 패치 기반 매칭 방법 사이에는 영상의 강도 변화에 관해 상반된 결과를 만들어 낸다. 이전에 기술한 바와 같이 영역기반 매칭 방법에서 영상의 강도 변화가 큰 영역은 원도우 내에 매칭을 위한 충분한 신호 변화가 있기 때문에 좋은 결과를 보이지만, 강도 변화가 약한 부분은 매칭 에러를 나타낸다. 반대로 패치 기반 매칭 방법은 영상 강도 변화가 작은 영역에서 좋은 결과를 보이지만, 복잡한 영역에서는 과 분할로 인한 매칭 에러를 만들어 낸다. 따라서 영상의 강도 변화에 관계없이 좋은 매칭이 이루어지기 위해서는 위의 두 방법을 함께 고려해야만 한다.

일반적으로 패치 매칭 방법은 좌, 우 영상  $I_l, I_r$ 에 대하여,  $i$  번째 패치에 대한 disparity  $D(s_i)$ 는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$D(s_i) = \arg \min_d \left\{ \sum_{n=0}^{p-1} \{ I_l(s_i(n)) - I_r(s_i(n) + d) \} \right\} \tag{2}$$

$s_i$ :  $i$ 번째 패치

$p$ : 영역 내의 화소 수

$n$ : 영역 내에서의 index

여기서  $D(s_i)$ 는 각 패치의 강도만을 고려한 disparity 영상이므로, 깊이가 일정한 영역이라 할지라도 강도의 변화가 크면 (<그림 3 (a)>에서의 파선 영역) <그림 3 (c)>에서 보는 바와 같이 과 분할이 되어 많은 에러를 발생하게 한다. 따라서 과 분할된 각 패치가 같은 깊이 값을 가지는지를 판단하여 같은 깊이를 가지는 패치 들을 병합해 주어야 매칭 과정에서 국부 최소로 수렴하는 것을 줄일 수 있다. 우리는 과분할 된 영역에서 각 패치 사이의

disparity의 동일 여부를 검사해야 하는데, 그 기준으로 영상의 강도 변화가 큰 영역에서 좋은 결과를 보이는 영역기반 매칭 방법(SSD)을 사용하였다.

SSD 방법은 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$D(x, y) = \arg \min_d \left\{ \sum_{w=0}^{n-1} \{I_l(x+w, y) - I_r(x+w+d, y)\}^2 \right\}$$

$D(x, y)$  :  $x, y$  에서의 disparity  
 $n$  : window 의 크기 (3)

<그림 3 (a)>의 점선으로 나타낸 영역, 즉 강도의 변화가 작은 영역에서는 <그림 3 (b)> 와 같이 local minima에 수렴하여 많은 에러를 발생하게 한다.



(a) 스테레오 영상, 점선: 강도의 변화가 작은 영역, 파선: 강도의 변화가 큰 영역



(b) disparity map (SSD)



(c) disparity map (segment patch)

<그림 3> 매칭 방법에 따른 각 영역에서의 결과의 차이

따라서 영역 분할로 생성된 세그먼트 패치가 같은 깊이에서 분할이 되었는지의 여부는 <그림 4> 와 같이 각 패치의 위치에 대응하는 초기 disparity

map에서의 disparity 변화를 측정함으로써 알 수 있다.



<그림 4> 각 패치에 대응하는 영역에서의 disparity

$$V_d(s_i) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \{ \overline{D}(s_i) - D(s_i, n) \}^2 \quad (4)$$

$D$  : 초기 disparity map

$N$  : 패치 내의 화소 수

$\overline{D}$  : 깊이의 평균

하나의 패치 안에서 disparity의 변화는 식 (4)로 나타내며,  $V_d(s_i)$ 가 큰 값을 가질수록  $s_i$  영역에서 intensity 변화가 적은 것이므로,  $s_i$  패치는 매칭을 위한 좋은 패치가 된다. 하지만  $V_d(s_i)$ 가 작은 값을 가지면  $s_i$  패치는 과 분할된 패치 중의 하나이므로 병합의 대상이 된다.

분할된 패치 사이의 병합은 초기 SSD를 통한 disparity map을 가지고 이웃 패치와의 깊이를 비교함으로써 이루어진다.

$$S_{new\_patch} = \begin{cases} s_i \cup s_{i\_adj} & \text{where } M(s_i, s_{i\_adj}) = true \\ s_i, s_{i\_adj} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M(s_i, s_{i\_adj}) = \begin{cases} true & \text{where } |\overline{D}(s_i) - \overline{D}(s_{i\_adj})| < threshold \\ false & \text{otherwise} \end{cases}$$

$S_{new\_patch}$  : 새로 만들어진 영역 (5)

$M$  : 병합 함수

$s_{i\_adj}$  :  $i$ 영역과 인접한 영역

### 2.3 Stereo Matching

스테레오 매칭은 식 (4)에서  $V_d(s_i)$ 가 큰 값을 갖는 영역과, 식 (5)에서 병합된 영역들에 대해서 식 (6)과 같이 수행 된다.

$$D(s_{new\_patch}) = \arg \min_d \left\{ \sum_{n=0}^{p-1} \{ I_l(s_{new\_patch}(n)) - I_r(s_{new\_patch}(n)+d) \}^2 \right\} \quad (6)$$

매칭은 각 패치에 대하여 에피폴라 라인(epipolar line)을 따라가며 수행되고, 기준 패치와 가장 유사

한 패치의 위치까지의 거리가 disparity가 된다.

#### 2.4. 실험 결과

본 논문의 실험 결과 매칭을 위한 패치는 객체의 경계를 유지하면서, 같은 깊이를 갖도록 최대한 크게 만들어지므로, 경계가 확장되는 현상과 과분할 패치들이 국부 최소점(local minima)에 수렴하는 현상들을 획기적으로 줄일 수 있었다. <그림 4>에서 보는 것처럼 <그림 3 (a)>의 과분할 영역(파선)은 하나의 영역으로 병합되어 매칭 됨으로서 정확한 결과 값을 얻을 수 있었다.



<그림 4> 결과 영상 (tsukuba)



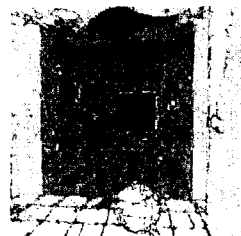
(a) 좌측 영상



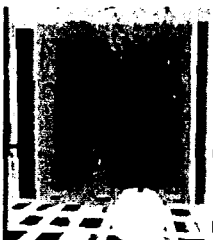
(b) 우측 영상



(c) watershed로 분할된 영상



(d) 병합과정을 거치지 않은



(e) 초기 SSD 영상



(f) 병합과정을 거친 패치 매칭

<그림 5> 결과 영상 (corridor)

#### 3. 결론

본 논문에서는 세그먼트 패치 기반 스테레오 매칭의 문제였던 복잡한 영역에서의 과분할 문제를 해결하기 위하여, 영상의 강도 변화가 큰 영역에서 좋은 결과를 보여주는 영역 기반 disparity map을 패치 매칭을 위한 제약(constraint)으로 사용하였다. 분할된 각 세그먼트 패치는 비슷한 강도를 가진 화소의 집합으로 두 영상의 비교를 위한 좋은 특징(feature)이 되고, 영상의 경계를 정확히 유지한다. 결과에서 알 수 있듯이 제안하는 알고리즘은 영상의 배경이나 객체가 복잡하거나 단순한 경우에도 좋은 성능을 보여 준다.

본 논문은 분할된 패치의 disparity를 찾는 알고리즘을 제안하였으나, 앞으로는 패치 내에서 정확한 disparity를 예측하는 방법들이 더욱 연구 되어야 할 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] M. Hannah. Computer Matching of Areas in Stereo Images. PhD thesis, Stanford University, 1974.
- [2] P. Aschwandten and W. Guggenbuhl. Experimental results from a comparative study on correlation-type registration algorithms. In Forstner and Ruwedel, editors, Robust Computer Vision, pages 268-289. Wickmann, 1993.
- [3] T. Kanade and Okutomi M. A stereo matching algorithm with an adaptive window: theory and experiment. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 16(9):920-932, 1994.
- [4] M. Abbasi-Dezfouli and T. Freeman. Patch matching in stereo-images based on shape. In ISPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, volume 30, pages 1-8, 1994.
- [5] Vincent, L., and Soille, P. Watersheds in digital space: an efficient algorithm based on immersion simulations. IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell. 13, 6 (1991), 583-598