

객체분할을 위한 에피폴라 Rectification

준희원 정승도*, 학생회원 강성숙**, 정희원 조정원*, 최병욱***

An Epipolar Rectification for Object Segmentation

Seung-Do Jeong*, Sung-Suk Kang**, Jung-Won Cho*, Byung-Uk Choi** *Regular Members*

요 약

에피폴라 Rectification은 서로 다른 시점에서 얻은 두 영상에 대해 각 영상의 에피폴을 미리 정해진 점으로 옮기는 호모그래피를 적용함으로써 두 영상의 에피폴라 지오메트리를 동일한 기준 평면으로 변환하여 에피폴라 라인을 수평 방향으로 정렬시키는 과정이다. 이때 호모그래피에 의해 변환된 영상 사이에서도 에피폴라 제약조건이 성립해야 하며, 이를 만족시키는 호모그래피가 여러 개 존재하므로 제약조건을 추가하여 응용에 적합한 호모그래피를 구하게 된다. Rectification 결과 두 영상은 스테레오 영상화되어 쉽게 변위값을 구할 수 있으므로 영상 내 객체의 3차원 정보를 추정하여 영상분할에 활용할 수 있다. 본 논문에서는 객체분할에 적용할 수 있는 Rectification 방법을 제안하고 이 결과를 객체분할에 적용하였다. 객체분할을 위해 색상정보와 상대적인 변위값의 연속성을 동시에 이용하면 단일 객체가 색상에 의해 분할되거나 혹은 색상이 비슷하여 다른 객체가 병합되는 문제를 보완할 수 있다. 실험을 통해 Rectification 결과영상으로부터 획득한 단일 객체의 변위값이 연속성을 갖음을 확인하였고 이를 통해 제안하는 Rectification 방법이 객체분할에 적합함을 보였다.

Key Words : Rectification; Epipolar geometry; homography; object segmentation.

ABSTRACT

An epipolar rectification is the process of transforming the epipolar geometry of a pair of images into a canonical form. This is accomplished by applying a homography to each image that maps the epipole to a predetermined point. In this process, rectified images transformed by homographies must be satisfied with the epipolar constraint. These homographies are not unique, however, we find out homographies that are suited to system's purpose by means of an additive constraint. Since the rectified image pair be a stereo image pair, we are able to find the disparity efficiently. Therefore, we are able to estimate the three-dimensional information of objects within an image and apply this information to object segmentation. This paper proposes a rectification method for object segmentation and applies the rectification result to the object segmentation. Using color and relative continuity of disparity for the object segmentation, the drawbacks of previous segmentation method, which are that the object is segmented to several region because of having different color information or another object is merged into one because of having similar color information, are complemented. Experimental result shows that the disparity of result image of proposed rectification method have continuity about unique object. Therefore we have confirmed that our rectification method is suitable to the object segmentation.

* 한양대학교 전자통신전파공학과 멀티미디어 연구실 (kain@mlab.hanyang.ac.kr, bigcho@mlab.hanyang.ac.kr),

** 한양대학교 정보통신대학원 (spolaris@mlab.hanyang.ac.kr),

*** 한양대학교 정보통신대학 정보통신학부 (buchoi@mlab.hanyang.ac.kr)

논문번호 : 030336-0731, 접수일자 : 2003년 8월 6일

I. 서론

컴퓨터 비전에서 객체분할(object segmentation)은 영상 내 객체를 해석하고 응용하기 위한 가장 기본적이고 필수적인 단계로 많은 연구가 진행되어 왔으나 여전히 해결해야 할 과제로 남아 있다. 기존의 색상기반 영상분할 기법들은 동일한 객체이더라도 다양한 색상을 포함하고 있을 경우 여러 영역으로 분리되거나 비슷한 색상의 객체가 겹쳐 있을 경우 객체별로 분리할 수 없는 문제가 있다.

영상이란 3차원의 실세계가 2차원 평면에 투영된 것이기 때문에 한 장의 영상으로부터는 3차원 정보를 알아내기가 매우 어렵다. 동일한 객체를 시점을 달리하여 얻은 두 장의 영상을 이용하면 영상 내 객체의 3차원 정보를 알 수 있다. 두 영상에서 3차원 상의 동일한 점이 투영된 두 점, 즉 대응점(correspondent points)을 찾으면 변위값(disparity)을 계산할 수 있으며 이로부터 3차원 깊이(depth)정보를 추정할 수 있는 것이다.

스테레오 영상을 이용할 경우 모든 대응점은 두 영상에서 동일한 수평선상에 존재하므로 쉽게 일치하는 점을 찾을 수 있고, 대응점 사이의 수평 위치의 차이가 변위값이 된다. 하지만 보통의 경우 스테레오 영상을 얻기 힘들며 깊이 정보를 구하기에 충분히 큰 변위값을 얻기 어렵다는 문제가 있다^[1]. 따라서 동일한 객체에 대해 다른 방향과 각도에서 찍은 영상을 이용하는 것이 바람직하다. 이 경우에는 대응점을 찾는 데 많은 시간이 소요되나, 두 영상에 Rectification 과정을 거치면 스테레오 영상화 할 수 있다. 이에 본 논문에서는 객체분할에 적용할 수 있는 Rectification 방법을 제안하고 실험을 통하여 객체분할에 활용할 수 있음을 보이고자 한다.

일반 카메라로부터 시점을 달리 하여 얻은 두 영상은 에피폴라 지오메트리(epipolar geometry)로 기술할 수 있으며, 첫 번째 영상의 한 점과 대응하는 점이 두 번째 영상의 에피폴라 라인(epipolar line) 상에 존재한다는 에피폴라 제약조건을 따르게 된다. 일반적으로 에피폴라 라인은 좌표축에 평행하지 않아 대응점을 찾기 어렵다. 이때 결과영상 사이에도 에피폴라 제약조건을 만족하도록 하면서 대응하는 에피폴라 라인을 x 축에 평행하고 서로 일치되게 해주면 결과적으로 모든 대응점의 y 좌표가 같은 스테레오 영상이 되어 문제를 간단히 할 수 있다. 이 과정을 에피폴라 Rectification이라 한다^{[1][2]}.

기존의 Rectification 방법 중 카메라가 보정(calibration)된 상태^[3]나 혹은 두 카메라의 상대적인 위치와 각도를 알고 있는 상태에서 접근하고 있는 방법^[4]은 현실적인 적용이 어렵다. 카메라 보정이 또는 에피폴라 지오메트리 없이 Rectification 하는 방법^{[2][5][6]}도 제시되고 있으나 계산하는 과정에서 오차에 민감하고, 복잡한 처리 과정을 거쳐야 한다. 뿐만 아니라 대부분의 경우 최종 결과영상을 보이기 위해서는 입력영상에 따라 스케일과 기준위치를 조정해야 하는 단점이 있다.

본 논문에서는 서로 다른 시점에서 얻은 두 영상 간의 에피폴라 지오메트리를 계산하고 에피폴을 무한대의 점으로 변환하는 호모그래피(homography)의 쌍을 구하여 두 영상에 각각 적용한 후 두 호모그래피를 서로 일치시켜 주는 Rectification 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 기존의 방법에 비해 연산 과정이 간단하며, 스케일이나 기준위치에 대한 조정 과정 없이도 바로 결과영상을 얻을 수 있으므로 입력영상에 관계없이 동일한 알고리즘을 적용할 수 있다. 또한 원본 영상의 변위값 특성을 유지하는 결과영상을 얻을 수 있기 때문에 변환된 영상으로부터 얻은 변위값을 객체분할에 활용함으로써 객체 단위로 분할된 영상을 얻을 수 있다.

II. 에피폴라 지오메트리와 Rectification

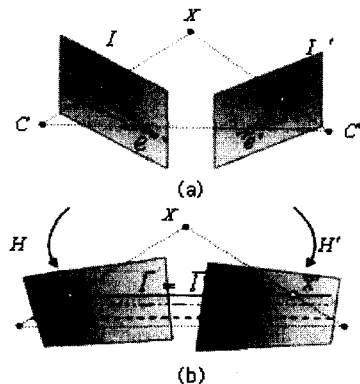


그림 1. 에피폴라 Rectification

그림 1의 (a)는 서로 다른 시점에서 얻은 두 영상 I 와 I' 사이의 에피폴라 지오메트리를 보여주고 있다. 두 대의 핀 홀 카메라(pinhole camera)가 C 와 C' 에 위치할 때 3차원의 점 X 가 I 와

I' 에 투영된 점을 각각 x 와 x' 이라 한다. 3차원 상에서 C 와 C' 을 연결한 선과 I 와 I' 을 포함하는 평면의 교점을 에피폴라(epipole)이라 하고 각각 e 와 e' 이라 표기한다. 선분 CC' 을 포함하는 평면을 에피폴라 평면(epipolar plane)이라 하며 X 가 선분 CC' 상에 존재하지 않는 경우에 대해서 에피폴라 평면을 정의할 수 있다. 이때 에피폴라 평면과 각 영상 평면이 교차하는 선을 에피폴라 라인이라 하고 각각 l 과 l' 으로 표기한다^[2].

서로 대응하는 두 점, x 와 x' 사이에는 식 (1)의 에피폴라 제약조건이 성립한다. 이는 한쪽 영상의 한 점과 대응하는 점은 다른 쪽 영상의 에피폴라 라인 상에 존재함을 의미하며, 다른 모든 대응점 사이에도 이 조건이 성립해야 한다.

$$x'^T F x = 0 \quad (1)$$

식 (1)의 F 는 기본행렬(fundamental matrix)이라고 불리는 rank가 2인 3×3 행렬이다^[7]. x 가 I 상의 점 일 때 Fx 는 곧 영상 I' 에 있는 에피폴라 라인 l' 이 되며 이 선 위에 x' 이 존재하게 된다.

$$F e = 0 = F^T e' \quad (2)$$

$$F = [e']_x M = M^* [e]_x \quad (3)$$

기본행렬 F 와 두 에피폴라 e, e' 사이의 관계는 식 (2)를 만족하며 I 의 모든 에피폴라 라인은 e 를 통과하고 I' 의 모든 에피폴라 라인은 e' 을 통과하는 특성이 있다. 또한 기본행렬 F 는 식 (3)과 같이 에피폴라 임의의 3×3 non-singular 행렬 M 의 곱으로 표현된다^[7]. 이것은 F 를 non-singular 행렬과 skew-symmetric 행렬로 분해할 수 있음을 의미한다.

에피폴라 Rectification은 동일한 기준 평면으로 두 영상의 에피폴라 지오메트리를 변환하는 과정이라 볼 수 있다^[11]. 이러한 변환은 두 영상의 각 에피폴라를 미리 정해진 한 점으로 옮기는 호모그래피를 적용함으로써 가능하다. 일반적으로 에피폴라 Rectification에 사용되는 호모그래피는 에피폴라를 무한대의 점, $(1, 0, 0)^T$ 으로 변환한다. 그림 1의 (b)와 같이 두 영상, I 와 I' 의 에피폴라, e 와 e' 을 $(1, 0, 0)^T$ 로 옮기기 위해 적용하는 호모그래피를 각각 H 와 H' 이라 표기한다. 호모그래피에 의해 원본 영상에서의 대응점 x, x' 은 각각 식 (4), 식

(5)와 같이 \bar{x} 와 \bar{x}' 으로 변환된다.

$$\bar{x} = H x \quad (4)$$

$$\bar{x}' = H' x' \quad (5)$$

이때 변환된 영상 사이에서도 에피폴라 제약조건이 성립해야 하므로 변환된 두 점은 식 (6)을 만족해야 한다.

$$\bar{x}'^T \bar{F} \bar{x} = 0 \quad (6)$$

$$\bar{F} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

식 (6)에서 \bar{F} 는 Rectification 결과영상 사이의 기본행렬을 나타내며, 식 (7)과 같이 정의된다. 식 (6)에 식 (4)와 식 (5)를 대입하면 식 (8)의 결과를 얻을 수 있다.

$$x'^T H'^T \bar{F} H x = 0 \quad (8)$$

여기서 식 (8)과 식 (1)을 비교하면 기본행렬 F 는 식 (9)와 같음을 알 수 있다.

$$F = H'^T [e']_x H \quad (9)$$

식 (9)를 만족시키는 두 호모그래피의 쌍, H 와 H' 은 유일하지 않다. 따라서 응용 목적에 적합한 제약조건을 주고 식 (9)를 만족시키는 H 와 H' 을 구한다.

기존의 Rectification 방법 중 Loop와 Zhang이 제안한 방법^[2]은 영상 왜곡을 최소화해야 한다는 제약조건을 두고 이 제약조건을 만족하는 호모그래피를 여러 성분으로 분해하여 구하였다. 우선 e, e' 을 무한대 점으로 사상하여 각 영상 내 에피폴라 라인들이 서로 평행하도록 하는 사영 변환, H_p, H_p' 을 구한다. 이때 H_p, H_p' 이 어파인 변환(affine transformation)에 최대한 가깝도록 함으로써 영상 왜곡을 최소화 한다. 그 다음 무한대의 에피폴라를 $(1, 0, 0)^T$ 방향으로 회전시키고, 둘 중 하나의 영상을 y 방향으로 이동시켜 두 영상의 에피폴라 라인을 x 축에 평행하면서 서로 일치되도록 하는 유사 변환(similarity transformation), H_r, H_r' 을 적용한다. 여기서 H_r, H_r' 은 둘 중 한 영상에 대해 맞춰진 것이다. 따라서 원 영상의 가로 세로 비

와 직교성(perpendicularity)이 유지되도록 하면서 두 영상 모두를 고려하는 비틀림 변환(shearing transformation), H_s, H'_s 을 적용하여 최종 결과영상을 얻는다. 이때 H_s, H'_s 은 y 좌표는 그대로 유지한 채 x 좌표만 변화시키며, 최종 결과영상에서 어느 한쪽 영상이 상대적인 크기의 차이가 나지 않도록 해준다. 결과적으로 H_s, H, H_p 와 H'_s, H', H'_p 으로 구성된 호모그래피에 의해 영상 I 와 I' 은 왜곡을 최소화하면서 Rectification 된다.

그러나 두 영상에 대해 동일하게 스케일을 조정하고, y 방향으로 같은 크기만큼 이동하여야만 최종 결과영상을 보일 수 있는데, 이 과정이 영상에 따라 다르므로 입력영상이 달라지면 매번 조정해야 한다는 문제가 있다.

Hartley가 제안한 방법^[8]은 먼저 오른쪽 영상의 에피폴을 무한대 점으로 보내는 H' 을 선택한다. 그리고 이에 대응하는 H 는 x 와 x' 이 H 와 H' 에 의해 변환된 점, Hx 와 $H'x'$ 의 차이의 제곱을 최소화하도록 구한다. 즉, 호모그래피에 의해 변환된 두 점 \bar{x} 와 \bar{x}' 의 차이를 가장 작게 하는 호모그래피 H 를 이미 알고 있는 대응점, x, x' 과 F 그리고 먼저 구한 H' 을 이용하여 추정하였다.

이때 호모그래피를 추정하는 과정에서, 최소화 문제(minimization problem)를 풀어야 한다. 이를 위해 비선형(nonlinear)이나 선형(linear) 알고리즘을 사용하는데, 이러한 방법은 초기 정보의 양과 정확도, 즉 대응점의 개수와 정확도가 어느 정도인지에 따라 결과에 큰 차이를 보인다. 따라서 초기 오차에 민감하여 결과에 대한 신뢰성 여부를 다시 판단해야 한다는 번거로움이 있다. 또한 이 방법으로 구한 호모그래피를 적용한 결과는 결국 H 와 H' 에 의해 변환된 대응점의 차이, 즉 변위값이 최소화 된 결과로 나타나기 때문에 3차원 깊이 정보를 잃어버릴 가능성이 크다. 따라서 이 결과영상으로부터 구한 변위값은 큰 의미가 없다.

III. 객체분할을 위한 Rectification

본 논문에서는 객체분할에 적용할 수 있는 Rectification 방법을 제안하고자 한다. Rectification 결과를 객체분할에 활용하기 위해서는 Rectification 결과영상으로부터 추정된 3차원 정보가 원본 영상이 가지고 있는 3차원 정보를 왜곡시키지 말아야

한다. 여기서 사용하고자 하는 원본 영상의 3차원 정보는 변위값의 특성으로써 가까운 곳에 위치한 물체는 상대적으로 큰 변위값을 갖고 반대로, 먼 곳에 위치한 물체는 상대적으로 작은 변위값을 갖는다는 것이다. 즉 객체분할을 위해 색상정보와 상대적인 변위값의 연속성을 동시에 이용하면 단일 객체가 색상에 의해 분할되거나 혹은 색상이 비슷하여 다른 객체가 병합되는 문제를 보완할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 원본 영상에서의 변위값 특성을 유지하도록 하기 위해 결과영상이 원 영상과 유사해야 한다는 것을 호모그래피의 제약조건으로 두었다. 제안하는 방법의 전체 알고리즘은 그림 2와 같다.

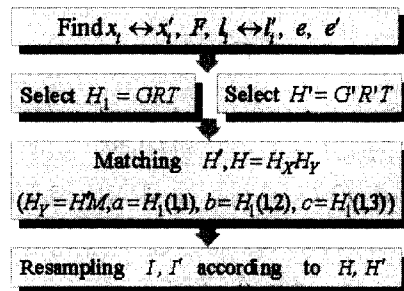


그림 2. 제안하는 rectification 알고리즘

서로 다른 시점에서 얻은 영상으로부터 최소 7개의 대응점을 찾으면 기본행렬을 구할 수 있고 이로부터 각 영상의 에피폴라 라인과 에피폴을 구할 수 있다^[9]. 본 논문에서는 Rectification 하기 위해 각 에피폴을 무한대의 점으로 옮기면서 원 영상과 유사한 결과영상을 얻을 수 있는 호모그래피를 좌, 우 영상 모두에 적용한 다음, 두 호모그래피를 정합시키는 과정을 통해 대응하는 에피폴라 라인이 정확히 일치되도록 하였다.

1. 호모그래피 적용

에피폴을 무한대의 점으로 옮기면서, 원 영상과 매우 유사한 결과영상을 얻기 위해 식 (10)의 호모그래피를 적용하였다^[7].

$$H = GRT \tag{10}$$

식 (10)에서 T 는 영상에서 선택된 점 x_0 를 원점으로 이동시키는 변환이다. R 은 새로 정해진 원점을 중심으로 에피폴을 x 축 위의 점 $(f, 0, 1)^T$ 로 회전

시키는 변환이다. 그리고 G 는 식 (11)과 같이 정의한다.

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1/f & 0 & 1 \end{pmatrix}, |x/f| < 1 \quad (11)$$

에피폴라 x 축 위로 옮겨진 점 $(f, 0, 1)^T$ 는 G 에 의해 $(f, 0, 0)^T$ 가 된다. 임의의 점 $(x, y, 1)^T$ 는 G 에 의해 $(\hat{x}, \hat{y}, 1)^T = (x, y, 1 - x/f)^T$ 가 된다. 만약 $|x/f| < 1$ 라면 식 (12)와 같이 전개할 수 있다.

$$\begin{aligned} (\hat{x}, \hat{y}, 1)^T &= (x, y, 1 - x/f)^T \\ &= (x(1 + x/f + \dots), y(1 + x/f + \dots), 1)^T \end{aligned} \quad (12)$$

식 (12)의 Jacobian은 식 (13)이 된다.

$$\frac{\partial(\hat{x}, \hat{y})}{\partial(x, y)} = \begin{bmatrix} 1 + 2x/f & 0 \\ y/f & 1 + x/f \end{bmatrix} + \dots \quad (13)$$

만약 $x = y = 0$ 이면, G 는 단위행렬(identity matrix)이 됨을 알 수 있다. GRT 로 구성된 호모그래피에 의해 영상은 x_0 주위에서 1차 강체 변환(first order rigid transformation)이 되어, I 로 근사화 되는 특징을 보인다. 결과적으로 영상 내 에피폴라를 무한대의 점으로 옮기면서도 원 영상과 매우 유사한 결과 영상을 얻을 수 있다. 영상의 중심점을 x_0 로 하고, 왼쪽 영상에 식 (14), 오른쪽 영상에 식 (15)를 적용하면 원 영상과 유사하면서 에피폴라 라인들이 x 축에 평행한 영상을 얻을 수 있다.

$$H_1 = GRT \quad (14)$$

$$H' = GRT \quad (15)$$

두 영상의 크기가 같을 경우 영상의 중심점을 원점으로 이동시키는 T 는 동일하다. 새로 설정된 원점을 기준으로 각 영상의 에피폴라를 x 축 위의 점으로 회전시키는 R 과 R' 을 구하면 f 와 f' 을 구할 수 있다. 여기서 f 와 f' 은 각각 에피폴라 e 와 e' 이 x 축 위의 점으로 회전됐을 때의 x 좌표값을 말한다. 이로부터 x 축 위로 옮겨진 에피폴라를 무한대의 점으로 변환하는 G 와 G' 을 구할 수 있다.

그림 3의 아래 두 영상은 원 영상 A, A' 이 각각 식 (14)와 식 (15)에 의해 변환된 영상이다. 그림에

서 흰 선은 에피폴라 라인을 나타내고 이 라인들이 만나는 한 점이 에피폴라이다.

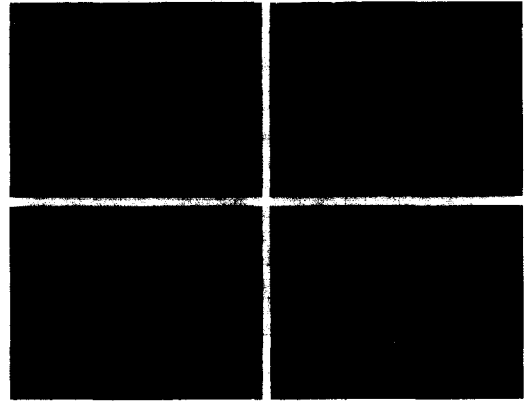


그림 3. 영상 A, A' (위)과 H_1, H' 의해 변환된 영상(아래)

두 영상에서의 대응점은 서로 대응하는 에피폴라 라인 상에 존재함을 알 수 있다. 적용된 호모그래피에 의해 각 영상의 에피폴라가 무한대의 점으로 옮겨지게 되므로 모든 에피폴라 라인은 x 축에 평행하게 된다. 하지만 그림 3의 결과를 보면 아직까지 대응하는 에피폴라 라인이 서로 일치하지 않는다. 이를 일치시키는 과정은 다음 단계에서 수행한다.

2. 호모그래피 정합

두 영상에서 서로 대응하는 에피폴라 라인이 일치 되도록 하기 위해, 앞 단계에서 왼쪽 영상에 적용한 호모그래피 H_1 과 오른쪽 영상에 적용한 호모그래피 H' 을 정합 시키는 과정이 필요하다.

H' 에 대응하는 왼쪽 영상의 최종 호모그래피를 H 로 정의한다. 이 호모그래피를 식 (16)과 같이 H_x 와 H_y 의 두 성분으로 분해하였다.

$$H = H_x H_y \quad (16)$$

$$H_y = H'M, F = [e']_x M \quad (17)$$

$$H_x = \begin{pmatrix} a & b & c \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (18)$$

식 (17)의 H_y 는 두 영상의 y 좌표에 대해서 정확히 일치시켜 주기 위한 변환이다. 여기서 H 은 오른쪽 영상의 변환 행렬이다. 왼쪽과 오른쪽 영상간의 에피폴라 지오메트리를 나타내는 기본행렬 F 와

오른쪽 영상의 에피플 e' 으로부터 M 을 구하면 H' 과 M 으로 구성된 H_y 에 의해 왼쪽과 오른쪽 영상의 y 좌표가 정확히 일치하게 된다.

다음으로 식 (18)의 H_x 행렬의 구성 성분 a 는 x 좌표의 스케일과 관련된 성분이며, b 는 x 좌표의 비틀림(skew)과 관련된 성분 그리고 c 는 x 축으로의 이동(translation)과 관련된 성분이다. 곧 H_x 는 입력 좌표의 y 값에는 변화 없이 x 값에만 영향을 주는 변환이 된다. 따라서 a 와 b , c 의 값에 따라 왼쪽 영상의 스케일과 x 좌표의 기준 위치를 정할 수 있다. H_x 에 의해 변환된 영상도 원 영상과 유사한 결과를 얻을 수 있어야 한다. 따라서 이 조건을 만족하도록 하기 위해 그림 2의 3번째 과정과 같이 앞서 구한 H_1 의 첫 번째 행 벡터(row vector)를 이용하여 H_x 의 a 와 b , c 의 값을 정하였다. 즉, $a = H_1(1,1)$, $b = H_1(1,2)$, $c = H_1(1,3)$ 으로 결정된다. 이는 원 영상과 유사하고 변위 정보를 유지하는 H_1 의 특성을 H_x 에 부여한 것이다. 이렇게 구한 H_y 와 H_x 를 식 (16)에 적용하여 H 를 구한다.

최종적으로 구한 H, H' 을 각각 영상 I, I' 에 적용하면 그림 4와 같이 두 영상의 서로 대응하는 에피플라 라인이 정확히 일치된 결과영상을 얻을 수 있다. 이 두 영상에서 모든 대응점은 y 좌표가 동일한 스캔라인 상에 존재하므로 쉽게 대응점을 찾을 수 있으며, 대응점간의 x 좌표의 차이가 곧 변위값이다.

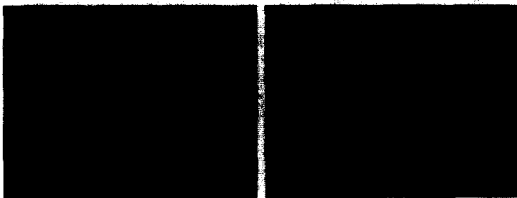
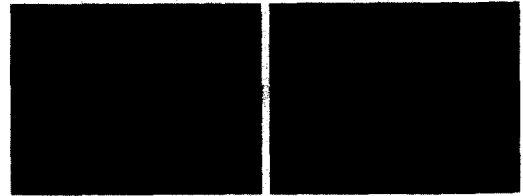


그림 4. 영상 A, A' 에 대한 Rectification 결과

IV. Rectification을 이용한 객체분할

그림 5의 (b)는 (a)를 색상분리병합(split and merging)^[10] 방법으로 분할한 결과이다. (b) 영상을 보면 기존의 색상만을 이용하는 영상분할 알고리즘

이 비슷한 색상을 가진 영역은 하나로 묶을 수 있지만 동일한 객체가 여러 색상을 포함하고 있을 경우 객체가 나뉘는 한계가 있음을 보여주고 있다.



(a) 원 영상 (b) 영역분할 결과

그림 5. 색상분리병합 방법의 적용 결과

본 논문에서는 색상만을 이용하는 기존의 객체분할 방식의 문제를 개선하기 위해 객체의 3차원 정보를 고려하여 영상을 분할하고자 하였으며, 3장에서 제안한 Rectification 방법으로 구한 변위값과 호모그래피가 객체분할에 적합함을 보이고자 하였다.



(a) (b) (c)

그림 6. Rectification 결과영상(a)과 변위값 영상(c)

그림 6의 (a)와 (b)는 제안한 Rectification 방법으로 얻은 결과영상이고, (c)는 (a)와 (b)로부터 구한 변위값을 256 단계의 명암을 갖는 영상으로 표현한 것인데, 카메라로부터 가까운 거리에 있을수록 높은 밝기 값을 갖고 먼 거리에 있을수록 낮은 밝기 값을 가지고 있다.

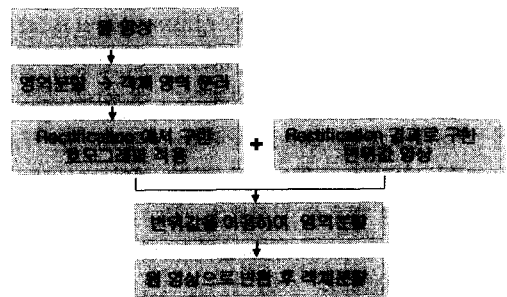


그림 7. Rectification 결과를 이용한 객체분할 알고리즘

그러나 이 변위값 영상만으로는 원 영상의 3차원 정보를 구할 수 없다. 이것은 원 영상이 호모그래피에 의해서 변환된 영상이고 카메라 정보 등의 부가적인 정보가 필요하기 때문이다. 따라서 그림 7과 같은 방법으로 Rectification 결과를 기존의 영상분할 알고리즘 결과¹⁰⁾와 함께 객체분할에 적용하였다.

먼저 입력영상에서 객체가 존재할 가능성이 있는 영역을 분리한다. 분리된 영역에 Rectification 과정에서 구한 호모그래피를 적용한다. 그 다음 호모그래피가 적용된 영역과 변위값 영상을 결합하여 변위값을 이용하여 영역을 분할한다. 이 결과에 앞에서 적용한 호모그래피의 역 변환을 적용하면 원 영상의 상태로 되돌릴 수 있다.

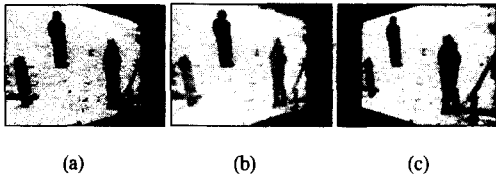


그림 8. Rectification 결과를 이용한 객체분할

그림 8의 (a)는 그림 5의 (a)에 H' 을 적용한 결과이다. 여기에 변위값 영상을 결합하여 얻은 결과가 (b)이다. (b)를 변위값에 따라 분할한 결과를 역 변환하여 최종적으로 얻은 결과가 (c)이다. 그림 5의 (b)에서는 동일한 객체라도 색상이 다를 경우 여러 영역으로 나뉘어 졌으나 본 논문에서 제시한 과정으로 영상을 분할하였을 때, 영상 내 객체의 3차원 정보를 고려할 수 있게 되므로 동일한 객체를 하나의 영역으로 묶을 수 있게 된다.

V. 실험결과

실험은 일반 카메라를 이용하여 시점을 변화시켜 동일한 객체를 찍어 얻은 영상을 이용하였다. 두 영상간의 에피폴라 지오메트리는 Zhang이 제안한 방법⁹⁾으로 계산하였으며, Rectification 결과로 얻은 영상으로부터 변위값을 구하는 알고리즘은 [11]을 이용하였다.

그림 9는 제안한 Rectification 방법과 Hartley의 방법을 비교한 결과이다. 그림 9에서 사용된 대응점의 개수는 총 16개이다. Hartley의 방법은 대응점들간의 변위값을 최소화하는 호모그래피를 구하는 과정에서 대응점의 개수에 의존적인데 그 수가 적을

경우 추정된 호모그래피의 신뢰도가 떨어질 뿐만 아니라 정확한 결과를 얻기 위해서는 반복적인 연산을 수행해야 한다. 반면에 제안한 Rectification 방법은 대응점의 수와 무관하고 한번의 연산을 통해 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있다.

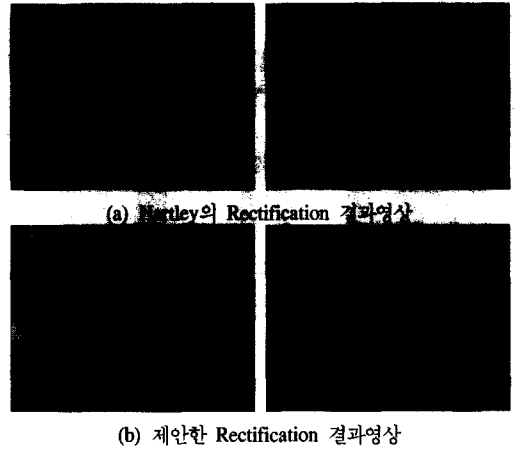


그림 9. Rectification 결과 비교

그림 10의 (a)와 (b)는 제안한 Rectification 방법으로 구한 최종 결과영상이며, (c)는 변위값 영상이다. (c) 영상에서 보여지는 바와 같이 동일한 객체 주변의 변위값이 연속적임을 알 수 있다. 이는 3차원 정보를 객체 분할에 활용할 경우 색상만을 이용하는 기존의 영상분할 알고리즘의 한계를 보완할 수 있는 것으로, 본 논문에서 제안한 Rectification 방법이 객체분할에 적합함을 보여준다.

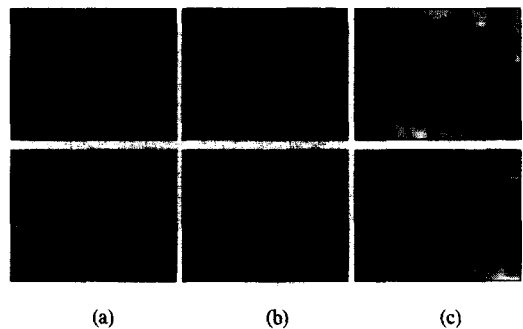


그림 10. 영상 A, A'(위), B, B'(아래)에 대한 Rectification 결과(a)(b)와 변위값 영상(c)

그림 11의 (a)는 영상 A와 B를 HIS 색상 공간에서 색상분리병합 방법으로 영역을 분할한 결과이다. 그림 11의 (b)는 객체가 존재하는 영역에 호

모그래피를 적용한 후 그림 10의 변위값 영상과 결합하여 얻은 결과이고 마지막 (c)는 객체 내 포함된 변위값의 크기와 연속성(continuity)에 따라 영상을 분할한 후 호모그래피의 역 변환을 적용하여 다시 원 영상으로 변환한 결과이다.

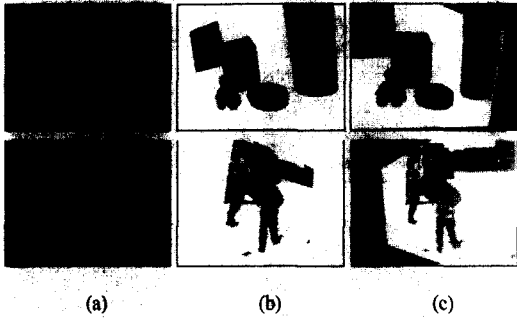


그림 11. A'과 B'에 대한 영역분할결과(a)와 Rectification 결과를 이용한 객체분할결과(c)

(a)의 상단 그림에서 인형의 경우 여러 색상을 포함하고 있기 때문에 영역이 분리된 결과를 보이고 있고, 또한 상자가 유사한 색상을 가지고 겹쳐있기 때문에 머리 부분이 상자와 병합되어 객체 단위로 분리되지 않음을 보여주고 있다. 하단의 그림 역시 뒤쪽의 사람과 벽면과의 구분이 모호함을 알 수 있다. 반면에 (c)는 영상의 3차원 정보를 포함하고 있는 변위 정보를 추가적으로 이용하여 영상을 분할하였기 때문에 객체 단위로 분리가 가능하다. 이는 동일한 객체 영역에서는 변위값이 일정 범위의 값을 갖게 되므로 여러 색상이 포함되어 있더라도 하나의 영역으로 묶을 수 있으며, 변위값이 연속적이지 않은 둘 이상의 객체는 변위값의 특성을 이용하여 분리할 수 있는 것이다. 그러나 두 영상에 공통적으로 존재하지 않는 부분의 변위값은 신뢰할 수 없고 객체분할에 활용할 수 없는 단점이 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 객체분할에 적용할 수 있는 Rectification 방법을 제안하였고 그 결과를 이용하여 영상을 객체 단위로 분할할 수 있음을 보였다. 기존의 Rectification 방법은 호모그래피를 적용한 후에도 다시 영상에 따라 스케일과 기준 위치를 조정해야 결과영상을 얻을 수 있으므로 여러 영상에 적용하기 힘들다는 문제가 있다. 반면 제안하는 Rectification 방법은 제약조건을 만족하는 호모그래

피를 동일한 방법으로 구하여 좌, 우 영상에 적용한 후, 에피폴라 지오메트리 관계를 이용하여 두 호모그래피를 다시 일치시켜 주는 과정을 거쳐 스케일이나 기준 위치에 대한 조정 과정 없이 결과영상을 얻을 수 있었다. 이는 입력 영상의 특성에 무관하게 동일한 알고리즘을 적용하여 결과영상을 얻을 수 있으므로 기존 알고리즘보다 효율적이다.

Rectification 결과영상은 쉽게 대응점을 찾아 변위값을 구할 수 있다. 변위값 영상과 원 영상에 적용한 호모그래피를 이용하여 객체를 분할 한 결과, 객체 단위 분할이 가능하였다. 이는 색상만 이용할 경우 동일한 객체가 분리되거나 서로 다른 객체가 병합될 수 있으나, 깊이 정보가 서로 다르기 때문에 이를 고려하면 동일한 객체 단위로 분할이 가능한 것이며, 제안하는 Rectification 방법이 원 영상간의 변위 정보를 그대로 유지할 수 있기 때문에 객체분할에 적절히 활용될 수 있음을 확인하였다. 카메라로부터 영상을 얻을 때 두 카메라의 초점거리가 달라지면 두 영상의 색상에 변화가 발생할 수 있으며, 두 카메라의 시점이 너무 크게 변하면 Rectification 결과영상이 크게 차이가 나게 되어 변위값에 대한 신뢰도가 떨어질 수 있다. 추후 이를 보정할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Linda G. Shapiro and George C. Stockman, *Computer Vision*, Prentice-Hall, pp. 395-403, 2001.
- [2] Charles Loop and Zhengyou Zhang, "Computing Rectifying Homographies for Stereo Vision," In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, No. 1, pp. 125-131, June 1999.
- [3] D. V. Papadimitriou and T. J. Dennis, "Epipolar Line Estimation and Rectification for Stereo Image Pairs," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 3(4), pp. 672-676, April 1996.
- [4] A. Fusiello, E. Trucco, and A. Verri., "A compact algorithm for Rectification of stereo pairs," *Machine Vision and Applications*, Vol. 12(1), pp. 16-22, 2000.
- [5] Richard Hartley, "Stereo from Uncalibrated Cameras," In *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 761-764, 1992.
- [6] Francesco Isgro and Emanuele Trucco, "Projective Rectification without Epipolar Geometry," In

Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, No. I, pp. 94-99, June 1999.

- [7] Richard Hartley and Andrew Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge Univ. press, 2000.
- [8] Richard Hartley, "Theory and Practice of Projective Rectification," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 35(2), pp. 1-16, November 1999.
- [9] Z. Zhang, R. Deriche and O. Faugeras, "A Robust Technique for Matching Two Uncalibrated Images Through the Recovery of the Unknown Epipolar Geometry," *Artificial Intelligence Journal*, Vol. 78, pp. 87-119, October 1995.
- [10] 유광식, "양자화를 이용한 칼라 영상에서의 영역 검출," *한양대학교 대학원 석사 학위 논문*, 1999.
- [11] Changming Sun, "Fast Stereo Matching Using Rectangular Subregioning and 3D Maximum-Surface Techniques," *International Journal of Computer Vision*, Vol.47, pp.99-117, April-June 2002.

정 승 도(Seung-Do Jeong)

준회원

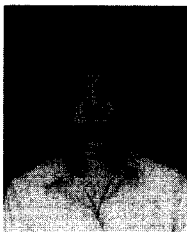


1999년 2월 : 한양대학교 전자
전자통신전파공학과 (공학사)
2001년 2월 : 한양대학교 전자
통신전파공학과 (공학석사)
2001년 3월~현재 : 한양대학교
전자통신전파공학과 박사과정

<주관심분야> 컴퓨터 비전, 생체 인식, VR/AR, IBR

강 성 숙(Sung-Suk Kang)

학생회원



2001년 2월 : 한양대학교 건축
공학부 (공학사)
2003년 8월 : 한양대학교 정보
통신대학원 정보처리(공학석사)

<주관심분야> 컴퓨터 비전, 3차원 영상 처리, MPEG

조 정 원(Jung-Won Cho)

정회원



1996년 2월 : 인천대학교 정보
통신공학과 (공학사)
1998년 2월 : 한양대학교 전자
통신공학과 (공학석사)
2004년 2월 : 한양대학교 전자
통신전파공학과 (공학박사)

1999년~현재 : 한양대학교 및 한양여자대학 강사

<주관심분야> 멀티미디어 정보검색, 멀티미디어 콘텐츠
처리 및 보안, 자연 언어 처리, 웹 기반 시스템

최 병 옥(Byung-Uk Choi)

정회원



1973년 : 한양대학교 전자공학
과 (공학사)
1978년 : 일본 경영의숙대학(KEIO)
전기공학과 (공학석사)
1981년 : 일본 경영의숙대학(KEIO)
전기공학과 (공학박사)

1981년~현재 : 한양대학교 정보통신대학 정보통신
학부 교수

1986년 : 미국 Univ. of Maryland 방문교수

1997년 : 미국 Univ. of Virginia 방문교수

2000년~2002년 : 한양대학교 총무처장

2002년~현재 : 한양대학교 정보통신대학 학장 및
정보통신대학원 원장

<주관심분야> 영상처리, 멀티미디어 공학, 웹 기반
시스템