

수렴 카메라 모델에서의 영상 수정 알고리즘

유용현, 송원석, 이정안, 김민기

고려대학교 전자정보공학과

전화 : 02-3290-3977 / 핸드폰 : 011-9420-6018

A Image modification algorithm under the convergence camera model

Yong Hyun Yoo, Won Seok Song, Lee Jeong Ahn, Min Gi Kim

Dept. of Elec. & Info. Engineering, Korea University

E-mail : hyunjassi@hotmail.com

Abstract

This paper presents a image modification algorithm using the convergence camera model and the two perspective projection matrixes of the original cameras. Any pair of images can be transformed so that epipolar lines are parallel and horizontal in each image. The advantage of modification is that a 2-D search problem is reduced to a 1-D search problem. Reconstruction can be performed directly from the rectified images.

의 경우, 광축이 같은점을 바라보는 형태이므로 좌.우 영상에서 평행카메라 모델보다 많은 양의 일치하는 화소들을 얻을 수 있으나, 얻어진 두 영상간의 기하학적 변형이 심하기 때문에 처리하기가 매우 까다로운 단점이 있다.

이를 극복하기 위해 본 논문에서는 한쌍의 대응되는 epipolar line을 영상의 수평주사선중 하나에 평행(parallel)하고 동일직선상(collinear)에 있도록 만들기 위한 각 영상의 변환을 결정하는 보정(rectification) 알고리즘을 제안하였다. 스트레오 정합에서의 대응점 탐색 범위를 보정된 영상들의 수평주사선에 맞춤으로서 일반적인 2차원 탐색 문제를 1차원 탐색 문제로 제한하여 계산상의 오차와 시간을 줄일수 있다.

I. 서론

스트레오 정합(stereo matching) 시스템은 컴퓨터 비전연구와 그 응용분야에 중요하다. 스트레오 영상들을 이용한 깊이 정보(disparity) 추출에 대한 많은 이론들이 있다. 그러나 일반적인 스트레오 정합에 사용되는 영상의 선택시, 대응성문제, 고유의 모호성, 폐색, 광도왜곡, 형상왜곡등이 제한적인 요소로 작용한다. 수렴 카메라 모델

II. 카메라 모델

2.1 평행 카메라 모델

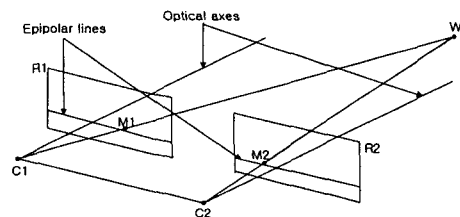


그림 1. 평행 카메라 모델 구성

* 본 연구는 식품의약품안전청 연구과제(기화안 203)의 지원을 받아 이루어졌습니다.

그림 1에서처럼, 두 카메라가 평행하게 배치되어 광축(optical axes)이 평행한 구조이며 복잡한 계산과 기하학적 변형을 피하기 위해 주로 사용되는 카메라 모델이다. 이러한 카메라 모델은 두 카메라의 광축이 서로 평행하기 때문에 한 장면(scene)에 대해 보다 많은 양의 일치하는 화소를 얻기 힘든 단점이 있다.

2.2 디스페리티(Disparity)

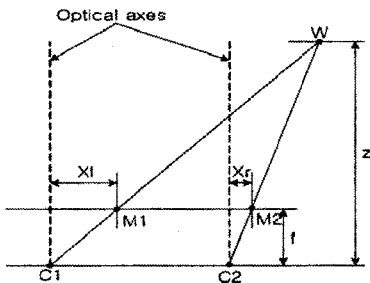


그림 2. 평행 카메라 모델에서 깊이 정보 디스페리티는 영상면에서 물체 표면까지의 거리인 깊이 정보를 알아내는데 중요한 역할을 하며, 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d(\text{disparity}) = x_1 - x_2$$

일반적으로 스트레오 정합의 결과는 영상에서 얻어진 정합점의 상대적 거리 차이를 변이도(disparity map)로 나타낸다.

III. 수렴 카메라 모델

3.1 Epipolar 기하학적 구조

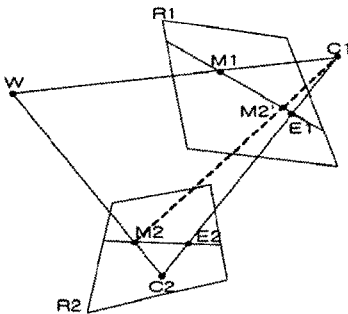


그림 3. Epipolar 기하학적 구조

그림 3에서, 왼쪽 영상 평면위의 점 M_1 에 대해

오른쪽 영상 평면위의 대응되는 점(M_2)은 M_1 의 epipolar line위에 위치(M_2')하게 된다. 마찬가지로 왼쪽 영상 평면위의 점 M_1 도 광원(optical center) C_1 으로부터의 광선(optical ray) 위의 투영이므로, M_2 를 지나는 epipolar line은 M_1 의 광선의 C_2 를 지나는 투영이 된다. 하나의 영상 평면위의 모든 epipolar line은 하나의 공통된 점(각각 E_1 과 E_2)을 지나게 되는데, 이 점을 epipole이라 한다. 또한 epipole은 상응하는 광원에 대한 투영이라고도 할 수 있다.

3.2 수렴 카메라 모델의 보정

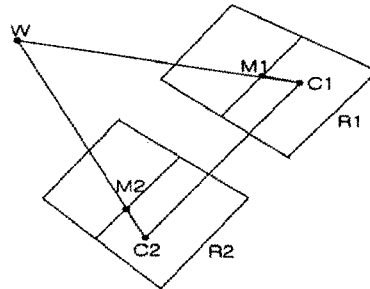


그림 4. 보정

초점 평면(focal plane)은 영상 평면과 평행하며 광원이루는 평면이다. 그림 2에서, C_1 이 오른쪽 카메라의 광원(C_2)이 이루는 초점 평면에 있을 때, 오른쪽 epipole은 무한대에 존재하게 되며, 오른쪽 영상의 모든 epipolar line들은 서로 평행하게 된다. 특별한 경우로, 양쪽 epipole이 모두 무한대에 존재하게 될 때, C_1 과 C_2 를 지나는 선 C_1C_2 (baseline)은 양쪽 초점 평면에 포함되게 된다. 이때, 양쪽 영상에서의 epipolar line들은 각 영상에서 모두 평행하고 수평인 형태를 띠게 된다. 이 과정을 보정이라 한다. 앞선 기하학적 해석에 따라 다음과 같은 보정 알고리즘을 유도할 수 있다. [3]

1. 새로운 X축은 baseline에 평행하다.
 $r_1 = (C_1 - C_2) / \|C_1 - C_2\|$
2. 새로운 Y축은 X축과 k에 수직이다.
 $r_2 = k \wedge r_1$
3. 새로운 Z축은 XY평면과 수직하다.
 $r_3 = r_1 \wedge r_2$

k는 새로운 Y축의 위치를 고정시키는 임의의 단위 벡터로, X축에 수직인 평면위에 존재한다. k를 보정전 왼쪽 카메라 좌표에서의 Z축 단위 벡터와 동일하게 함으로써, 새로운 Y축은 새로운 X축과 보정전 왼쪽 카메라 좌표에서의 Z축에 수직하게 된다.

공간 좌표(world coordinate)에서 영상 평면에서의 좌표(image coordinate)로의 변환은 행렬 \tilde{P} (PPM : perspective projection matrix)으로 구할 수 있다.

$$\lambda \tilde{m} = \tilde{P} \tilde{w}, \quad (\tilde{m} = \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \tilde{w} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix})$$

λ 는 임의의 scale factor이다.

QR factorization을 이용해 \tilde{P} 를 본질적 변수 (intrinsic parameter) A와 외부적 변수 (extrinsic parameter)로 분해하면 다음과 같다.

$\tilde{P} = [Q | \tilde{q}] = A[R | t]$, (where $t = -Rc$)
 양쪽의 카메라 모델에서의 보정된 \tilde{P} 는
 $\tilde{P}_{n1} = A[R | -Rc_1] \quad \tilde{P}_{n2} = A[R | -Rc_2]$
 로 생각할 수 있으며, 보정 알고리즘에 의해

$$R = \begin{bmatrix} r_1^T \\ r_2^T \\ r_3^T \end{bmatrix}, \quad r_1 = \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ r_{13} \end{bmatrix}, \quad r_2 = \begin{bmatrix} r_{21} \\ r_{22} \\ r_{23} \end{bmatrix}, \quad r_3 = \begin{bmatrix} r_{31} \\ r_{32} \\ r_{33} \end{bmatrix}$$

으로 구성할 수 있다.

3.3 보정 변환

기존의 영상 평면에서 보정된 영상 평면으로의 변환을 위한 계산이 필요하다.

$$\begin{cases} w = c_1 + \lambda_o Q_{o1}^{-1} \tilde{m}_{o1} \\ w = c_1 + \lambda_n Q_{n1}^{-1} \tilde{m}_{n1} \end{cases}$$

$$\tilde{m}_{n1} = \lambda Q_{n1} Q_{o1}^{-1} \tilde{m}_{o1} = \lambda T_1 \tilde{m}_{o1}$$

기존의 왼쪽 영상에 변환 행렬 T_1 을 적용하면 보정된 영상을 얻을 수 있다. 오른쪽 영상에서도 왼쪽 영상에서와 같은 방법으로 변환 행렬 T_2 를 계산하여 영상에 적용할 수 있다.

IV. 실험 구성 및 결과

수렴 카메라에서의 디스페리티 보정 알고리즘 수행과정은 그림 5에서 나타내었다.

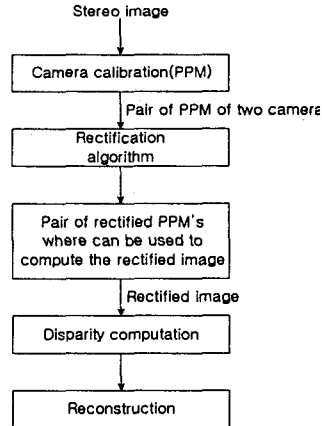
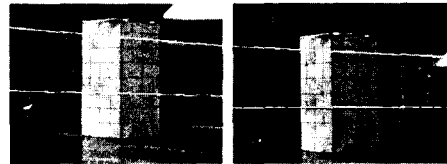


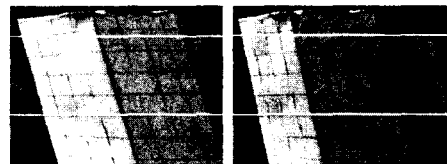
그림 5. 보정 알고리즘의 흐름도

보정 알고리즘에서의 입력으로는 좌·우 카메라에 대한 각각의 \tilde{P}_{o1} , \tilde{P}_{o2} (PPM)과 한쌍의 스트레오 영상이 사용되었다. PPM은 기존에 존재하는 affine calibration 방법을 사용하여 보정전 입력으로서 계산하였다. [1][2]

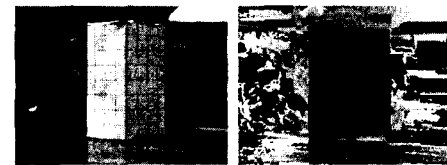
각각의 PPM을 보정한 후, 변환 행렬 T_1 , T_2 을 계산하고, 기존의 스트레오 영상에 적용하였다.



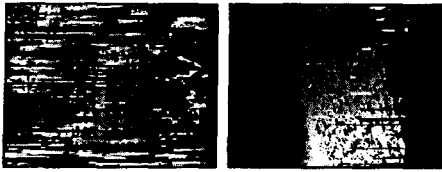
(a) 보정전 좌·우 스트레오 영상



(b) 보정후 좌·우 스트레오 영상



(c) 원본 물체와 2차원 탐색 디스페리티 영상



(d) 보정 전·후의 1차원 탐색 디스페리티 영상
(왼쪽-보정전, 오른쪽-보정후)



(e) 먼거리 물체의 보정 전·후의 1차원 탐색 디스페리티 영상 (왼쪽-보정전, 오른쪽-보정후)

그림 6. 스트레오 영상에서 보정 전·후의 epipolar line과 디스페리티 비교 영상

그림 6(a)(b) 영상에서, 보정 알고리즘에 의해 변환 행렬 T_1, T_2 를 적용한 경우, 대응되는 제어점을 지나는 epipolar line이 평행함을 보였다. 그림 6(c)에서는 스트레오 영상의 왼쪽 기존영상과 2차원(2-D) 탐색에 의한 깊이정보를 추출한 영상이다. $M \times N$ 크기의 영상에서 $W \times W$ 크기의 탐색창을 이용한 하나의 제어점에 대한 대응점 탐색 계산량은 $M \cdot N \cdot W^2$ 으로, 320×240 크기의 영상과 5×5 크기의 탐색창을 이용한 실제 2차원 탐색에 9862.68초가 소요되었다. 또한 물체의 깊이정보 추출결과, 영상에서의 대응점 검색과정중 유일성에 대한 관한 문제로 인한 많은 경우의 계산상 오류를 찾아볼 수 있다.

그림 6(d)(e)의 거리 변화에 따른 스트레오 영상에서도 보정 변환후 영상을 이용해 1차원(1-D) 탐색을 적용한 스트레오 매칭에서도 식별 가능한 깊이정보를 보였다. 1차원 탐색에서 하나의 제어점에 대한 계산량은 탐색영역(- δ, δ)을 제한하였을 때 $(2\delta + 1) \cdot W^2$ 으로 계산할 수 있으며, 2차원 탐색과는 달리 평행하고 동일한 수평 주사선위에서의 (-20,20)범위의 탐색영역을 제한한 1차원 탐색실험에서 14.02초의 계산시간과 대응점 탐색에서의 유일성의 문제에 대해 적은 오류를 보였다. [4]

그림 7에서는 그림 6(a)(b)에서 사용된 좌·우 영상에서, 대응되는 각각의 제어점들의 수직으로의

좌표값 차이를 나타냈으며, 보정후 좌·우 영상에서 대응되는 제어점이 1차원 탐색 문제로 한정시킬수 있을 확인할 수 있다.

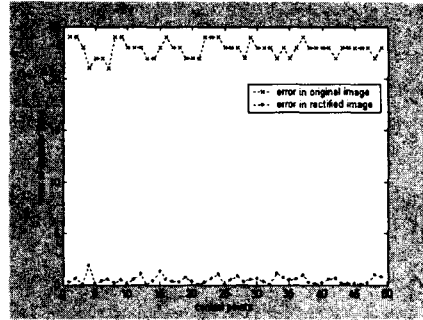


그림 7. 보정 전·후의 epipolar line의 차이

V. 결론

스트레오 정합시, 영상내에서 2차원 탐색 문제에 대한 계산상의 오차 해결을 위해, 본 실험에서는 보정 알고리즘을 통해 영상의 보정 변환후 1차원 탐색 방법만을 이용하여 디스페리티를 계산하였다. 스트레오 카메라를 사용하여 정밀한 깊이 정보 계산이 필요한 응용분야에서, 보정된 영상을 이용한 디스페리티 추출은 중요한 해결책으로 제시될 수 있다.

후후 연구 과제로는 스트레오 카메라의 정밀한 calibration 결과물을 위한 제어점들의 측정, 보정된 영상의 픽셀위치에 대한 영상처리, 신뢰도 높은 스트레오 정합 방법의 구현이 개선되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] Linda G. Shapiro, George C. Stockman, "Computer Vision", p410-436, Prentice Hall.
 [2] E. Trucco, A. Verri, "Introductory Techniques for 3-D Computer Vision", Prentice Hall.
 [3] A. Fusiello, E. Trucco, and A. Verri, "Rectification with Unconstrained Stereo Geometry", Research memorandum.
 [4] 박상백, "동적계획법을 적용한 효과적인 픽셀영역제거를 위한 고속 스테레오 정합법" 2002