

## 에피폴라 기하학을 이용한 변이영상의 추출

구본기, 최이배, 정연구

한국전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어기술연구소 휴먼컴퓨팅연구부 감성공학연구팀

대전 유성구 가정동 161 번지 한국전자통신연구원 305-350

bkkoo@etri.re.kr

### Extraction of the Disparity Using the Epipolar Geometry

BonKi Koo, YiBae Choi and YunKoo Chung

MMIT/HC/CSTL/ETRI

161 Kajong-Dong, Yusong-Gu, Taejon, Korea, 305-350

bkkoo@etri.re.kr

#### 요약

본 논문은 상대적인 3차원 정보를 추출하기 위하여 스테레오 정합 알고리즘에 에피폴라 기하학을 적용하였다. 카메라로부터 입력 받은 영상에서 추출된 특징점으로부터 에피폴라 기하학 구조를 구성한다. 이렇게 구한 에피폴라 기하학 정보는 스테레오 영상에서의 정합점들 간의 기하학적인 상관관계를 구성하고 조밀한 변이영상을 추출한다. 실험결과를 통하여 제안된 알고리즘이 실제 공간상에서 대상물체를 실감 있게 표현함을 알 수 있다.

#### 서론

3차원 공간상의 물체의 기하학적인 정보를 추출하는데 유용하게 사용되는 수동적방법(passive method)의 하나인 스테레오 비전은 그 모태가 인간의 시각을 근간으로 한 모델로서 다양한 연구와 발전을 거듭해 왔다[1~4]. 하지만, 2차원 정보를 포함한 두 장 이상의 영상에서 임의의 한 점에 대한 대응되는 점을 찾는 문제(correspondence problem)에 있어 스테레오 정합방법은 밝기값(intensity)이 유사한 지역에서의 오정합 문제를 유발한다. 또한, 기존의 정합 방법[2~4]들이 입력된 영

상의 수평축이 동일함으로 해서 탐색영역의 차원감소의 효과를 주는 에피폴라 제약(epipolar geometry)을 가정하고 있다. 하지만, 상기의 가정 자체에서 발생하는 전체적인 오류를 해결하지 않고서는 정확한 정합결과를 추출한다는 것은 타당하지 않다.

3차원 공간상의 물체가 위치한 임의의 공간좌표가 카메라를 통하여 영상면에 맞힐 때의 구조 즉, 두 장 이상의 2차원 영상간의 관계를 규정하는 에피폴라 기하학을 정확히 설정하지 않으면 효율적인 정합을 수행할 수 없다. 이러한 에피폴라 기하학의 설정은 기준영상의 임의의 점에 대한 대응점의 관계를 명확히 밝혀 주어 스테레오 정합이 안고 있는 대응점 문제 및 에피폴라 제약에 대한 가정 자체의 문제를 해결하는 역할을 한다[5].

본 논문은 에피폴라 기하학을 이용하여 스테레오 정합을 수행하여 3차원 공간상의 물체에 대한 상대적인 관계를 유추하고 조밀한 3차원 변이영상을 추출한다. 논문의 구성은 두 영상간의 기하학적인 관계를 구성하는 에피폴라 기하학을 정의하고 정합에 필요한 기반 정보인 영상에서의 특징점을 추출한다. 추출된 특징점을 이용하여 대응점을 구한 뒤 에피폴라 기하학을 구한다. 마지막으로, 기하학 정보를 이용하여 영상을 재정리한 후 조밀한 변이영상을 구하는 정합과정을 수행한다.

### 1. 에피폴라 기하학(Epipolar Geometry)

실제 3차원 공간상의 점이 카메라를 통하여 2차원 영상에 맺힐 때의 구조를 설명하는 에피폴라 기하학은 그림 1과 같이 구성한다. 그림에서 3차원공간상의 한 점을 M, 2차원 영상면에 투영된 점을 각각 m, m', 스테레오 카메라의 광원을 각각 C, C', 좌, 우 입력 영상을 L, R이라 할 때, DMCC를 에피폴라 평면(epipolar plane)이라 하고, 좌 영상의 임의의 점 m과 대응하는 m'가 놓여있는 직선 lm과 lm'을 m과 m'에 대한 에피폴라 라인(epipolar line)이라고 한다. C와 C'가 이루는 직선과 에피폴라 라인이 만나는 직선의 교차점인 e와 e'을 에피폴(epipole)이라고 한다.

상기와 같이 정의된 에피폴라 기하학에서 기존의 정합 방법이 2차원 영상에서의 에피폴라 라인이 동일 수평선상에 놓였다는 가정 자체의 오류를 보여준다. 본 논문에서는 이러한 기하학에서의 대응점(m, m')과 에피폴라 라인(lm, lm') 간의 관계를 유추하여 스테레오 정합을 수행한다.

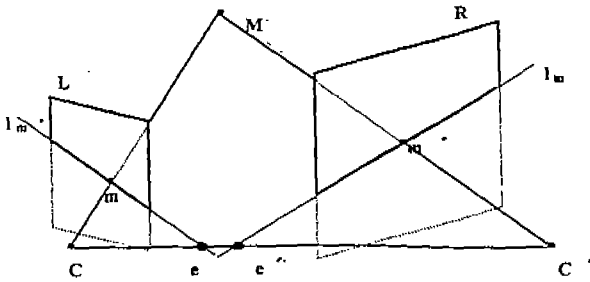


그림 1. 에피폴라 기하학

### 2. 특징점 정합

특징점 정합은 그림 1에서와 같이 L 영상에 속한 임의의 특징점 m에 대응되는 R 영상에서의 대응되는 특징점 m'을 찾는 작업을 말한다. 특징점 정합 단계는 에피폴라 기하학을 구성하기 위해 신뢰성 있는 특징점의 추출과 정합이 선행되어야 한다.

특징점에는 점, 에지, 선, 면 등 영상에서 유일성을 가지는 다양한 특징들이 존재한다. 본 논문에서는 코너점을 특징점으로 사용한다. 사용된 코너 추출연산자

는 SUSAN(Smallest Univalve Segment Assimilating Nucleus)[6] 연산자이다.

특징점 정합에서는 두 장의 스테레오 영상에서 구한 특징점들간의 정합을 수행하게 된다. 정합 판별 기준으로는 NCC(Normalized Correlation Coefficient)를 사용하였다.

NCC는 찾고자 하는 대응점을 각각 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>라 할 때

$$C(P_1, P_2) = \frac{1}{K} \sum_{u=-m}^m \sum_{v=-n}^n [I_1(p_1 \cdot x + u, p_1 \cdot y + v) - \bar{I}(p_1)] [I_2(p_2 \cdot x + u, p_2 \cdot y + v) - \bar{I}(p_2)] \quad (1)$$

여기서,

$$K = (2m + 1)(2n + 1)\sigma(p_1)\sigma(p_2)$$

이다. 수식(1)에  $\bar{I}$ 와  $\sigma$ 는 각각 일정 영역 내에서의 밝기값과 표준편차를 나타낸다.

상기와 같이 초기 특징점 정합을 행한 후 정합 결과의 신뢰도를 높이기 위한 후처리로 정합쌍에 대한 오정합 점을 제거하는 Outlier 제거 과정을 수행한다. 본 논문에서는 Outlier 제거 과정을 위해 잡음에 대한 민감도가 우수한 LMedS(Least Median Square)[7]를 사용하였다.

### 3. Fundamental Matrix

스테레오 정합에서 실제 3차원 공간상의 점과 카메라를 통해 맺힌 2차원 평면상의 점간의 관계 특히, 두 영상의 대응점들간의 관계를 설명하는 에피폴라 기하학이 존재한다. 2절에서 구한 특징점과 이를 이용한 특징점 정합이 정확히 이루어진다면 두 영상간의 기하학적인 구조를 계산할 수 있다. 에피폴라 기하학을 구성하는 기본적인 요소는 fundamental matrix로 귀결된다. 이 fundamental matrix은 카메라를 통하여 얻은 두 영상 사이의 모든 기하학적인 정보를 가진 matrix로 에피폴라 기하학을 구성하는 기본이 된다.

본 논문에서는 fundamental matrix를 구하기 위하여 특징점 정합결과를 이용하여 8-point algorithm[8]을 적용하였다. 그림 1에서 3차원상의 한 점을 M에 대한 좌 영상의 점 m, 우영상의 점을 m'이라 할 때 두 점과 fundamental matrix 사이에는

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

관계가 형성된다. 이를 epipolar equation[9]이라고 한다. 식 (2)에서 구한 fundamental matrix 를 이용하여 좌영상에 속한 임의의 점에서 대응되는 우영상의 한 점이 속해있는 epipolar line 을

$$l' = Fm, \quad l = F^T m \quad (3)$$

로 구할 수 있다. 식 (3)과 같이 좌영상에 대한 우영상의 epipolar line 을 구함으로써 기존의 스테레오 정합의 epipolar constraint 를 만족하고 correspondence problem 을 최소화 시킬 수 있게 된다.

#### 4. Dense Matching

2절과 3절에서 구한 신뢰성 있는 특징점 쌍과 에피폴라 기하학을 이용하여 전체 영상의 조밀한 변이영상을 얻기 위해 epipolar constraint 가 반영된 영상의 렉티피케이션(rectification)을 수행한다. 렉티피케이션된 영상은 에피폴라 기하학을 최대한 반영하여 조밀한 영상을 얻기 위한 영상전체에서의 정합 과정시 탐색영역을 2차원에서 1차원으로 차원 감소하고 대응점의 정확한 변이영상을 획득하게 된다.

렉티피케이션된 영상을 획득하기 위하여 필요한 절차[10]는 다음과 같다.

- 두 영상간의 대응점 쌍을 입력 받는다.
- fundamental matrix, 에피폴을 구한다.
- x 축 상으로 두 영상을 정렬하기 위하여 에피폴을 무한대의 점(1,0,0)<sup>T</sup>로 맵핑 하는 프로젝티브 변환행렬을 찾는다.
- 각각의 영상을 렉티피케이션 변환하는 프로젝티브 변환행렬을 구한다.

#### 실험결과

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 그림 2와 같이 실제 영상을 이용하여 변이영상 획득을 실험하였다. 사용된 영상은 640×480, 512×512 크기의 영상이다. 정합 윈도우 창 크기는 7×7 이고, 최대 변이는 60으로 하였다. 코너점의 초기 수는 그림 2의 영상의 경우 좌, 우 영상에 각각 2559, 2501을 가지고 있다.

outlier 제거 후 정합된 특징점은 그림 2의 (c)와 같이 534개로 줄어든다.

그림 2의 (a)는 입력된 영상이고, (b)는 rectification된 영상으로 좌, 우의 검은 영역은 재배열되면서 영상이 회전된 것을 알 수 있다. (c)는 outlier가 제거된 특징영상의 needle map이다. (d)는 변이영상의 2차원 표현이고, (e)는 3차원 구조로 표현하였다. 그림 3의 (a)는 입력 영상[11]이고 (b)는 rectification된 영상이다. (c)는 구한 변이영상이고, (d), (e)는 변이영상의 3차원 구조를 보여 주고있다. (f)는 와이어 프레임 형태의 3차원 구조를 보여주고, (g), (h)는 텍스처를 포함한 3차원 형태이다.

#### 결론

기존의 스테레오 알고리즘이 가지고 있던 epipolar constraint와 correspondence problem을 해결하기 위하여 영상에서 추출된 특징점으로부터 에피폴라 기하학 구조를 구성하고 최종 변이영상을 획득하였다. 실험결과에서와 같이 2차원 영상간의 관계를 규정하는 epipolar geometry를 적용함으로써 적절한 결과를 도출함을 알 수 있었다. 향후과제로는 fundamental matrix를 구하기 위한 기반 정보인 신뢰성 있는 특징정보 추출의 연구가 수행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] W. Eric and L. Grimson, "Computational Experiments with a Feature Based Stereo Algorithm," *IEEE Transaction on System Man and Cybernetics*, vol. PAMI-7, no. 1, Jan. 1985.
- [2] D. D. Vleeshauer, "An Intensity-based, Coarse-to-Fine Approach to Reliable Measure Binocular Disparity," *Computer Image Processing*, vol. 57, no. 2, pp. 204-218, Mar. 1993.
- [3] S. T. Barnard and W. B. Thompson, "Disparity Analysis of Images," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-2, no. 4, pp. 333-340, July 1980.
- [4] U. R. Dhold, "Structure from Stereo - A Review," *IEEE Transaction and Machine Intelligence*, vol. 19, no. 6, pp. 1489-1989, Nov. 1989.

[5] G. Xu and A. Ahang, *Epipolar Geometry in Stereo, Motion and Object Recognition*, Kluwer Academic Publishers.  
 [6] S. M. Smith and J. M. Brady, "A new approach to low level image processing," *Int. J. Computer Vision*, vol. 23(1), pp. 45-78, 1997  
 [7] R. Deriche, Z. Ahang, Q. T. Luong, and O. Faugeras, "Robust recovery of the epipolar geometry for an uncalibrated stereo reg," *ECCV*, vol. 800, pp. 567-575, 1994.  
 [8] R. I. Hartley, "In defense of the 8-point algorithm," *Proc. ICCV'95*, pp. 1064-1070, 1995.  
 [9] Z. Zhang, R. Deriche, O. Faugeras, and Q. T. Loung, "A robust technique for matching two uncalibrated image through the recovery of the unknown epipolar geometry," *Artificial Intelligence Journal*, vol. 78, pp. 87-119, 1995.  
 [10] R. Hartley, "Theory and practice of projective rectification," *Intl. J. Computer Vision*, 1998.  
 [11] <http://www.inria.fr/robotvis>

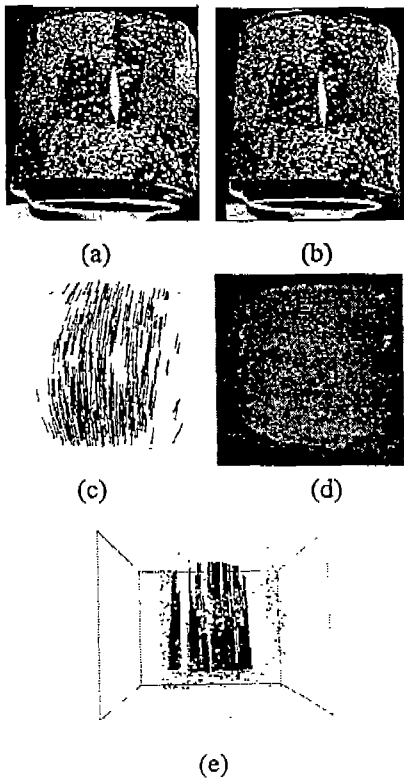


그림 2. 변이영상 추출결과

- (a) 입력영상 (b) Rectification 영상
- (c) 정합된 특징점 영상 (d) 추출된 변이영상
- (e) 변이영상의 3차원표현

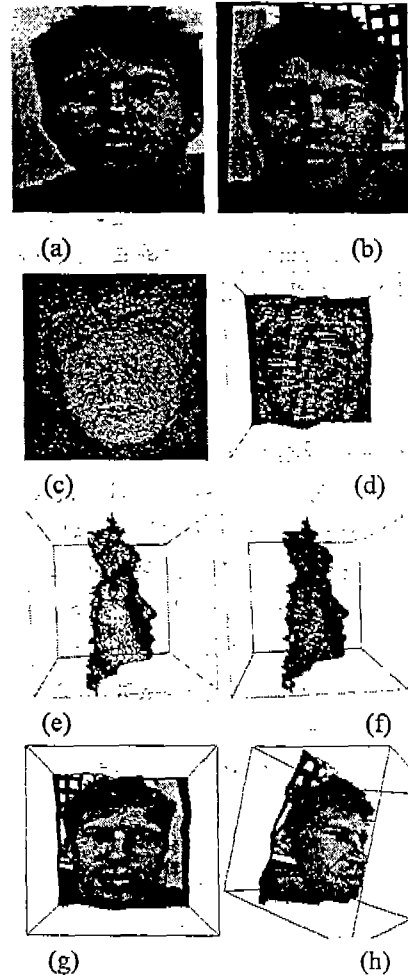


그림 3. 변이영상 추출결과

- (a) 입력영상 (b) Rectification 영상
- (c) 추출된 변이영상 (d), (e) 변이영상의 3차원표현
- (f) 와이어 프레임 형태의 3차원표현
- (g),(h) 텍스처가 첨가된 3차원 표현