

스테레오 비전을 위한 다해상도 코너 검출

정 정 훈, 정 윤 용, 홍 현 기, 조 청 운, 백 준 기, 최 중 수
중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과
전화 : 02-820-5300 / 핸드폰 : 018-228-3058

Multi-resolution Corner Detection for Stereo Computer Vision

Jung Hoon Jung, Yoon Yong Jeong, Hyun Ki Hong,
Chung Woon Cho, Joon Ki Paik, Chong Soo Choi
Dept. of Imaging Engineering, Graduate School of Advanced Imaging Science,
Multimedia and Film, Chung-Ang University
E-mail : jhjung@ms.cau.ac.kr

Abstract

The feature points in the uncalibrated stereo vision should represent all the characteristics of an image in multiple resolution, have high precision, and have the robustness against mismatching. This paper proposed an algorithm which detects the corner points in multi-resolution for stereo computer vision. The algorithm has sub-pixel precision, rejects the mismatched points, and corrects the lens distortion. We show the performance of the algorithm by estimating the homography with it.

I. 서론

컴퓨터 비전 기술은 가상환경, 컴퓨터 그래픽스 등 영상 관련 응용분야에 폭넓게 이용되고 있으며 갈수록 그 응용폭을 넓히고 있다. 여러 대 혹은 움직이는 카메라로부터 입력받은 영상의 처리는 기본적으로 스테레오 비전 시스템에 기반을 두고 있으며, 스테레오 비전 시스템에서 두 영상간의 관계를 획득하기 위해 가장 기본적으로 필요한 것은 특징점 추출과 그것을 이용한 대응점 추출이다.

스테레오 비전에 사용하기 위한 특징점은 우선 영상의 전 영역의 특징을 골고루 보여줄 수 있어야 하며,

대응점을 찾기 쉬워야 하고 그 정확도가 높아야 한다. 본 논문에서는 다해상도 기반 코너 추출 알고리즘과 homography 행렬과 같은 기하 정보를 추출하는 응용을 보인다. 그리고 기존의 방법과의 비교를 통해서 제안된 알고리즘의 우수성을 보일 것이다.

제안된 알고리즘은 크게 세 부분으로 이루어져 있다. 첫 번째로 다해상도 기반 코너 검출을 수행한다. 각 해상도와 각 화소 위치에서 꼭짓의 크기를 비교하여 그 위치와 해당 해상도를 결정한다. 두 번째로 비슷한 패턴을 갖거나 잡음으로 인해 잘못 검출된 코너를 제거하기 위한 유사도 검사, 구해진 코너의 좌표를 반화소(sub-pixel) 단위로 정확도를 높일 수 있는 서브픽셀 코너 검출 기법, 그리고 카메라의 물리적인 왜곡을 보상하기 위한 방사 왜곡(radial distortion) 측정 기법에 대해 다룬다. 마지막으로, RANSAC(RANdom SAMpling Consensus) 알고리즘을 다해상도 코너를 통한 대응점에 적용하기 위해 수정을 가하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 다해상도 기반 코너 검출 기법을, III장에서는 데이터의 정확도를 높이기 위한 후처리 기법, 그리고 IV장에서는 제안된 기하 정보 계산 알고리즘에 대하여 설명한다. V장에서는 제안된 알고리즘의 성능을 실험을 통하여 평가하고 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 다해상도 기반 코너 검출

영상으로부터 기하학적인 정보를 얻기 위한 특징점

은 일반적으로 코너점이 사용된다. 이 코너점은 화소의 밝기값을 이용하여 곡률을 계산한 다음 곡률의 값이 큰 값이 된다. 여기에 다해상도 기법을 이용하면 영상의 여러 해상도에서 코너를 검출함으로써 특징점으로서의 신뢰도를 높일 수 있다. 본 장에서는 다해상도 코너 검출 기법에 대하여 살펴본다.

2.1 코너 검출 기법

코너를 구하는 방법에는 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 [1]의 방법을 사용한다. 영상의 곡률은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$K = \frac{I_{xx}I_y^2 - 2I_{xy}I_xI_y + I_{yy}I_x^2}{I_x^2 + I_y^2} \quad (1)$$

여기에서 I_x, I_y 는 각각 x 와 y 방향으로의 1차 편미분한 값이며 I_{xx}, I_{yy} 는 2차 편미분, 그리고 I_{xy} 는 x 방향의 1차 편미분값을 y 방향으로 1차 편미분한 값이다. 일반적으로 코너는 K 의 값이 큰 화소를 의미한다.

2.2 다해상도 기반 코너 검출

영상을 다해상도로 분해하기 위해서는 여러 가지 방법이 있으며, 일반적으로 서브샘플링을 이용하는 방법, 가우시안 필터링을 이용하는 방법[2], 웨이블릿을 이용하는 방법[3] 등이 있다. 본 논문에서는 기본적으로 [2]의 방법을 사용하였다. 코너 검출 알고리즘은 다음과 같다.

- i) 가우시안 커널을 이용하여 영상을 필터링한다. n 번째 저해상도 영상은 폭이 $w \cdot 2^{(n-1)}$ ($n=1, N$)인 커널을 사용한다.
- ii) 각 해상도에서 식(1)을 사용하여 곡률 K^n 을 구하고 정규화(normalize)하여 $K^{norm} = K^n \cdot n^2$ ($n=1, N$)을 구한다.
- iii) 각 해상도에서 K^{norm} 을 사용하여 코너를 찾는다.
- iv) 전체 해상도에서 가장 큰 곡률값을 갖는 화소의 위치와 해상도를 찾는다. 결정된 해상도에 따라 코너의 폭, 즉 코너점을 중심으로 한 반경을 결정한 다음 반경 내에서 해당 곡률값 이하의 곡률값은 모두 0으로 만든다.
- v) 원하는 개수의 코너를 찾을 때까지 iv)를 반복한다.

III. 후처리 기법

비보정(uncalibrated) 스테레오 영상에서는 각 특징점의 대응점을 찾아 기하 정보를 얻게 되는데, 대응점이 정확히 찾아지는지 여부와 점의 위치가 얼마나 정확하느냐가 유클리디안 재구성 (Euclidean

reconstruction) 과 같은 최종 결과물의 정확도에 크게 영향을 준다[4].

3.1 서브픽셀(sub-pixel) 단위의 특징점 위치 보정

잡음을 무시할 경우, 서브픽셀 단위의 코너점 위치는 다음 식을 통해 얻을 수 있다[5].

$$\epsilon_i = \Delta I_{p_i}^T (q - p_i) \quad (2)$$

여기에서 q 는 코너의 좌표, p_i 는 코너 주위의 화소들의 좌표이며 $\Delta I_{p_i}^T$ 는 주위 화소들에서의 밝기 변화 방향이다. 이상적인 코너 좌표의 경우 식(2)의 값은 0이 되어야 한다. 따라서, 식(2)의 값을 0으로 놓고 q 의 값을 구하면 보다 정확한 코너의 좌표를 구할 수 있으며, 반복적으로 적용하여 코너 좌표의 변환이 어느 임계치 이하가 될 때까지 반복한다. 보통의 경우, 많아야 3번 정도의 반복이면 수렴한다. 이 방법은 일단 서브픽셀의 정확도로 코너점의 위치를 보정해 줄 수 있을 뿐더러, 또한 실제 코너에서 약간 빗나간 위치에서 검출된 코너점이라 하더라도 몇 번의 반복을 거치면 정확한 위치를 찾을 수 있게 해준다.

3.2 유사 패턴을 갖는 코너점 제거 기법

주위에 유사 패턴을 갖거나 아니면 에지 라인에 위치하여 대응점 검색 시 정확도를 떨어트리는 코너점은 주변점들과 유사도를 비교하여 어느 수준 이상으로 값이 나오면 특징점 목록에서 제거한다.

3.3 카메라 왜곡 보정

카메라를 통한 영상 획득 시, 방사 왜곡(radial distortion), 분산 왜곡(decentering distortion) 및 분광 왜곡(thin prism distortion) 등의 왜곡이 발생한다[6]. 이들 중 가장 대표적인 것은 방사 왜곡으로 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\begin{aligned} x &= u + u(k_1(u^2 + v^2) + k_2(u^2 + v^2)^2 + \dots) \\ y &= v + v(k_1(u^2 + v^2) + k_2(u^2 + v^2)^2 + \dots) \end{aligned} \quad (3)$$

여기에서, (x, y) 는 왜곡이 없는 이상적인 좌표이고, (u, v) 는 왜곡을 갖는 좌표값이며 모두 영상의 중심을 원점으로 한다고 가정한다. 이때 두 가지 값을 서로 바꾸어도 왜곡 상수인 k_1 과 k_2 의 값이 변경될 뿐 식 자체는 변함이 없다.

왜곡 상수를 계산하는 방법은 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 대응쌍만을 사용한다. 즉, 카메라의 내부 파라미터(internal parameter)나 대응점의 실제 3차원 좌표는 고려하지 않는다. 식 (3)의 왜곡 상수는 일반적으로 비선형 최적화 방법으로 구할 수 있다[7,8]. 과정은 다음과 같다.

- i) 초기 대응점을 사용하여 fundamental 행렬 f 를 구한다.
- ii) 구해진 f 를 이용하여 각 코너점과 해당 epipolar 라인 사이의 거리를 최소가 되게 하는 왜곡 상수를 구한다. 이때, Levenberg-Marquardt 기법이나 downhill simplex 기법[9]을 사용한다.
- iii) 구해진 왜곡 상수로 코너점들의 위치를 수정한 다음 다시 f 를 구한다. 수렴할 때까지 i)과 ii)를 반복한다.

IV. 기하 정보 계산 알고리즘

본 장에서는 다해상도 기반 코너를 이용하여 대응점을 찾고 그것을 이용하여 기하 정보를 계산해 내는 알고리즘에 대하여 설명한다.

4.1 Homography 및 fundamental 행렬

스테레오 영상의 기하 정보를 얻기 위한 방법으로 epipolar 기하를 나타내는 fundamental 행렬이 있으며, 특수한 경우로 homography 행렬이 있다. 이들 행렬은 카메라의 내부 파라미터 및 외부 파라미터를 포함하고 있으며, 주로 외부 파라미터의 구성에 따라 그 행렬의 성질이 크게 좌우된다. 일반적인 경우 SVD(Singular Value Decomposition)를 통해 행렬의 값을 구하며, homography 행렬은 최소 4개, fundamental 행렬은 최소 8개의 대응점 좌표를 이용한다.

4.2 대응점 탐색

제안된 알고리즘은 대응점을 찾을 때에도 해당 코너의 해상도를 이용한다. 즉, 해당 해상도에 따라 탐색 윈도우의 폭을 다양하게 하여, 고해상도에서는 좁은 폭을 저해상도에서는 넓은 폭을 사용한다. 이렇게 탐색된 대응점은 역대응을 통해 신뢰도를 확인한다. 다시 반대 방향으로 대응점을 찾아 원래 코너점과의 거리가 임계치 이하일 때에만 대응점으로 인정하는 것이다. 이렇게 인정된 대응점은 3.1절의 방법을 사용하여 위치를 보정한다. 이것은 저해상도 코너의 낮은 localization을 보완해준다.

대응점 탐색의 신뢰도와 속도를 높이기 위해 가이드 대응(guided matching) 방식을 이용할 수 있는데, 이것은 신뢰성이 있는 데이터를 먼저 이용하여 기하 정보를 추출한 다음 그 정보를 가지고 새로운 대응점의 위치를 예측하는 것이다. 다해상도 코너에서는 저해상도의 코너일수록 전역적인 특성을 나타내므로 대응점 탐색에 있어서도 더 높은 신뢰도를 갖고 있다고 볼 수 있다. 따라서, 해상도가 낮은 코너 중에서 폭이 큰

것부터 시작하여 최소 4개의 대응쌍으로 homography를 구하거나 최소 8개의 대응쌍으로 fundamental 행렬을 구한 다음 그 행렬을 이용하여 새로운 대응점의 위치를 예측할 수 있다. 이렇게 하면 탐색의 위치와 범위를 제한할 수 있다.

4.3 수정된 RANSAC 알고리즘

RANSAC(RANdom SAMpling Consensus)[10]은 강건한 알고리즘으로 널리 알려져 있다. 이 알고리즘의 특징은 대응점 탐색 결과가 부정확한 대응쌍, 즉 outlier의 비율이 많은 경우에도 결과를 정확히 계산해 낼 수 있다는 것이다. 반면, 단점은 outlier의 비율을 어느 정도 미리 알아야 하며 그레이트만 신뢰도를 갖는 샘플링 회수를 결정할 수 있다. 또한, outlier의 비율이 높을 수록 샘플링 횟수는 기하급수적으로 늘어난다. 만약 적응적인 알고리즘을 사용하여 많은 inlier들이 초반부에 검출된다면 반복 횟수는 훨씬 짧아질 수 있다.

본 논문에서 사용하는 RANSAC 알고리즘은 는 앞에서 추출한 코너의 해상도 정보를 이용하여 좀 더 효율적인 알고리즘을 만들고자 한다. 제안된 알고리즘은 기본 알고리즘과 비슷하지만, 다른 점은 신뢰도가 높은 저해상도 대응쌍은 선택될 확률을 높이고 반대로 고해상도 대응쌍은 선택될 확률을 낮추는 것이다. 인접한 해상도의 경우, 어느 저해상도 대응점이 선택될 확률이 바로 그 다음 단계에 있는 어느 고해상도 대응점이 선택될 확률보다 두 배 높도록 해상도의 개수와 각 해상도에서의 대응점의 개수를 고려하여 조정한다. 이렇게 하면 신뢰도가 높은 대응쌍들이 먼저 inlier로 분류됨으로서 RANSAC의 속도를 높일 수 있다. 또한, 저해상도의 코너점들은 전역적인 특징을 가지고 있어 넓게 분포하므로 기하정보를 좀 더 정확히 추출해 낼 수 있다.

V. 실험 결과

본 논문에서는 카메라의 중심축만을 회전하여 찍은 두 장의 영상을 사용하여 homography를 구해 보았다. 그림 1은 원영상을 보여주고 있으며, 그림 2는 II장의 방법으로 다해상도 기반 코너 검출 결과를 보여주고 있다. 그림 3은 III장 및 가이드 대응 방법은 제외하고 수정된 RANSAC 알고리즘으로 inlier를 찾은 결과를 보여주고 있다. 표 1은 세 가지 알고리즘에 대한 수치적인 결과를 보여주는데, A는 기본적인 코너 검색과 RANSAC을 결합한 알고리즘이고, B는 제안된 알고리즘에서 후처리 및 가이드 대응 방식을 제외한 것이며,

C는 본 논문에서 언급한 모든 방법을 함께 사용한 알고리즘이다. 또한, N은 RANSAC으로 최적의 homography를 구하기까지 반복한 횟수이며, I는 inlier의 개수, O는 outlier의 개수, 그리고 E는 구해진 homography를 이용한 예측치와의 양방향 에러값이다.

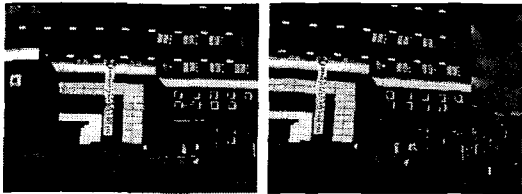


그림 1. homography를 추정하기 위한 두 장의 원영상

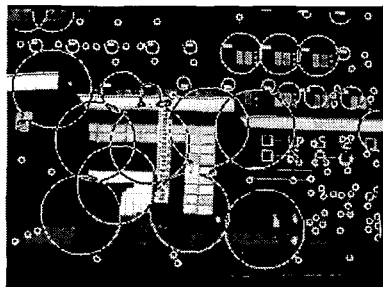


그림 2. 다해상도 기반 코너 검출 결과

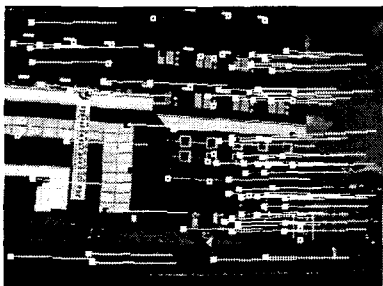


그림 3. 수정된 RANSAC 알고리즘으로 얻어진 inlier 대응점 쌍

표 1. 기존의 알고리즘과 제안된 알고리즘의 비교

알고리즘	N	I	O	E
A	413	54	46	7.29e-2
B	75	69	31	3.34e-2
C	4	95	5	9.02e-5

본 논문에서는 스테레오 영상으로부터 기하정보를 추출할 때 가장 중요한 두 가지 문제 - “정확하게” 그리고 “사용자의 간섭을 최소한으로 줄이고 자동적으로” - 에 초점을 두었다. 이를 위해, 특징점을 추출하는 부분에 있어서는 다해상도 기반 코너 검출 알고리즘을 사용하였으며, 기하 정보를 계산하는데 있어서는 RANSAC 알고리즘을 수정하여 사용하였다. 또한, 여러 가지 보정 방법을 사용하여 데이터의 정확도를 높였다.

Reference

- [1] Kitchen, L. and A. Rosenfeld, “Gray-Level Corner Detection,” *Pattern Recognition Letters*, 95-102, December, 1982.
- [2] Tony Lindeberg, *Scale-Space Theory in Computer Vision*, Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [3] S. Mallat, “A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation,” *IEEE Trans. On PAMI*, vol. 11, no. 7, pp. 674-693, July 1989.
- [4] Richard Hartley, “Triangulation,” *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 68, no. 2, pp. 146-157, 1997.
- [5] Intel Corporation. Open Source Computer Vision Library Manua
- [6] J. Weng et al. “Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation,” *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, pp. 965-980, 1992.
- [7] Zhengyou Zhang, “On the epipolar geometry between two images with lens distortion,” *IEEE Proc. ICPR*, pp. 407-411, 1996.
- [8] G. P. Stein, “Lens distortion calibration using point correspondences,” *IEEE Proc. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 602-608, 1997.
- [9] William H. Press, Brian P. Flannery, Saul A. Teukolsky, and William T. Vetterling, *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*, Cambridge University Press, 1988.
- [10] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, 2000.

VI. 결론