

논문 2008-45SC-6-15

# 투영곡선의 자동정합을 이용한 전방향 카메라 보정

## (Using Contour Matching for Omnidirectional Camera Calibration)

황 용 호\*, 홍 현 기\*\*

(Yongho Hwang and Hyunki Hong)

### 요 약

감시 및 로봇 분야 등에서 다양하게 사용되는 전방향(omnidirectional) 카메라 시스템은 넓은 시야각을 제공한다. 전방향 카메라의 사영모델과 외부변수를 추정하는 대부분의 기존 연구에서는 사전에 설정된 영상 간의 대응관계를 가정한다. 본 논문에서는 두 장의 전방향 영상으로부터 투영곡선을 자동으로 정합하여 카메라의 외부변수를 추정하는 새로운 알고리즘이 제안된다. 먼저 두 영상에서 대응되는 특징점으로부터 에피폴라 구속조건을 계산하여 초기 카메라 변수를 계산한다. 검출된 특징점과 투영곡선을 대상으로 능동적(active) 정합방법으로 대응관계를 결정한다. 최종 단계에서 대응 투영곡선을 구성하는 양 끝점의 에피폴라(epipolar) 평면과 3차원 벡터의 각도 오차를 최소화하는 카메라 변수를 추정한다. 합성영상과 어안렌즈(fisheye lens)로 취득된 실제 영상을 대상으로 제안된 알고리즘이 기존 방법에 비해 카메라의 외부변수를 정확하게 추정함을 확인하였다.

### Abstract

Omnidirectional camera system with a wide view angle is widely used in surveillance and robotics areas. In general, most of previous studies on estimating a projection model and the extrinsic parameters from the omnidirectional images assume corresponding points previously established among views. This paper presents a novel omnidirectional camera calibration based on automatic contour matching. In the first place, we estimate the initial parameters including translation and rotations by using the epipolar constraint from the matched feature points. After choosing the interested points adjacent to more than two contours, we establish a precise correspondence among the connected contours by using the initial parameters and the active matching windows. The extrinsic parameters of the omnidirectional camera are estimated minimizing the angular errors of the epipolar plane of endpoints and the inverse projected 3D vectors. Experimental results on synthetic and real images demonstrate that the proposed algorithm obtains more precise camera parameters than the previous method.

**Keywords:** Omnidirectional camera, camera calibration, contour matching, epipolar constraint

### I. 서 론

넓은 시야각을 가지는 전방향(omnidirectional) 카메라 시스템은 감시 및 로봇 분야 등에서 다양하게 사용된다. 또한 전방향 영상 시퀀스로부터 3차원 정보나 카메라의 움직임 정보를 해석하는 연구도 활발하게 진행되고 있다<sup>[1~11]</sup>. 이 과정에서 영상 내의 코너 점, 직

선, 곡선 등과 같은 특징 성분을 정확하게 검출 및 정합(matching)하는 기존의 기술을 전방향 영상에 적용하기 위해 추가적인 고려가 필요하다<sup>[12~19]</sup>. 특히 건물 등의 인공 구조물에서 흔히 존재하는 직선 등은 전방향 영상에 투영곡선(contour)으로 사영(projection)되지만, 사영된 투영곡선의 자동 매칭 및 이를 이용해 카메라의 움직임을 해석하는 연구는 지금까지 진행되지 않았다.

본 논문에서는 두 장의 전방향 영상의 기하학적 관계를 이용하여 대응 투영곡선을 자동으로 결정하고 이를 이용하여 카메라의 회전 및 이동방향을 추정하는 방법이 제안된다. 먼저, Harris 코너 검출기를 사용하여 특징점을 구하고, 대상 영역의 상관관계(correlation)를 이

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과

(Dept. of Image, GSAIM, Chung-Ang University)

※ 본 연구는 2007년도 중앙대학교 학술연구비(일반연구비) 지원에 의해 수행되었습니다.

접수일자: 2008년1월10일, 수정완료일: 2008년10월15일

용하는 정합 방법으로 특징점간 대응관계를 결정한다<sup>[12]</sup>. 대응점으로부터 에센셜(essential) 행렬을 추정하여 에피폴라 기하를 추정하고, 두 장간의 투영곡선 정합을 위한 초기 변수로 사용한다. 각 영상에 대해 Canny 에지 연산자를 적용하고 링킹(linking) 알고리즘을 이용하여 한 픽셀 두께로 연결된 후보 투영곡선을 검출한다<sup>[13~14, 20]</sup>. 이 과정에서 두 개 이상의 선분들이 한 개의 투영곡선으로 분할(segmentation)될 수 있으며, 영상 간에 대응 투영곡선을 정확하게 정합하기 위해서는 각 선분별로 구분되어야 한다. 두 개 이상의 투영곡선이 특징점을 중심으로 인접하는 경우, 해당 투영곡선을 두 장의 영상간의 정합에 사용하는 후보 투영곡선으로 선택한다. 전방향 영상의 원점과 대상 투영곡선이 구성하는 임의 3차원 평면의 법선(normal) 벡터 방향을 검사해 일정한 오차범위 내 존재하는 성분을 서로 병합하여 최종 후보 투영곡선을 구성한다. 초기 카메라 변수를 바탕으로 능동적(active) 정합 윈도우 방법으로 투영곡선의 양 끝점을 일치시키고, 양 끝점에 대한 에피폴라 평면과 역사영된 3차원 벡터간의 각도 오차를 최소화하여 카메라 정보를 추정한다<sup>[19]</sup>.

등거리(equidistance) 사영된 임의의 합성영상과 어안 렌즈(fisheye lens)로 취득된 실제 영상에 대한 실험 등을 통해 제안된 알고리즘이 카메라의 외부(extrinsic) 변수를 정확하게 추정함을 확인하였다<sup>[18]</sup>. 제안된 방법은 전방향 카메라를 이용한 공간의 3차원 재구성, 영상기반 제조명 기술 등에 다양하게 활용될 수 있다.

## II. 기존연구

전방향 영상 및 관련 이미징 시스템에 대한 기존 연구는, 대상 카메라 시스템의 사영 모델의 해석, 카메라의 움직임 정보를 포함하는 외부 변수의 추정과 3차원 공간의 해석, 이를 위한 전방향 영상의 처리 방법, 그리고 이후의 다양한 활용 등으로 구분된다. 본 장에서는 관련 연구를 간략하게 소개하고 제안된 알고리즘의 목적과 의미 등을 기술한다.

위에서 소개된 분류에 따라 먼저, 다양하게 설계된 이미징 시스템의 사영관계를 수학 및 실험적으로 해석하고 전방향 카메라에 의해 왜곡된 영상(그림 7)을 일반 영상 또는 파노라마 영상 등으로 교정하여 그 정확성을 검증하는 연구가 있다<sup>[1~8]</sup>. 정확한 해석을 하기 위해 대부분의 연구에서는 교정 패턴 또는 보조기구 등을 이용하거나 특정 시스템에 대한 제한적인 해석

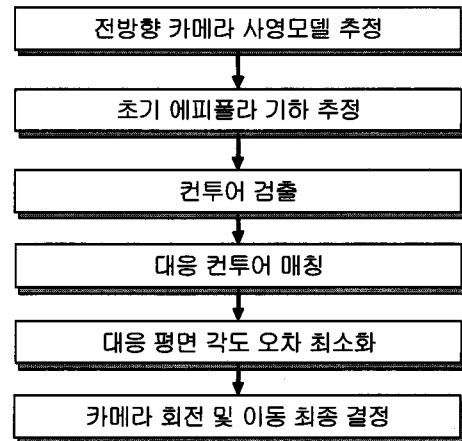


그림 1. 제안된 알고리즘의 흐름도

Fig. 1. Block diagram for proposed algorithm.

모델 등을 제시하였다. 전방향 시스템의 해석된 사영 모델을 기반으로 정합된 특징점들과 영상간의 일치 및 3차원 기하관계를 활용하여 카메라의 움직임 정보를 해석하고 대상 공간을 재구성하는 단계로 범위를 확장한 연구도 제안되었다<sup>[9~10]</sup>. 그러나 대부분 연구에서 사용자가 사전에 장면간의 대응관계를 설정하였으며, 이를 자동으로 해석하고 결과를 검증하는 연구는 비교적 적었다. 전방향 영상의 처리 성능을 향상시키기 위한 방법으로는 능동적 윈도우를 이용하여 영상 간에 정확한 정합을 위한 방법 등이 있다<sup>[19]</sup>. 또한 가상 물체를 임의 공간에 합성하기 위한 영상기반 라이팅(lightning) 분야 등에도 전방향 카메라의 해석 기술이 다양하게 활용되고 있다<sup>[11]</sup>.

일반 카메라의 사영기하 관계를 이용하여 곡선 및 직선 성분을 정합하는 방법은 많이 연구되었다<sup>[15~17]</sup>. 그러나 실내 환경 등을 촬영한 전방향 영상의 투영곡선 정보를 자동으로 정합하고 이를 카메라의 움직임 해석에 적용하는 연구는 지금까지 발표되지 않았다. 본 논문에서는 사전에 해석된 전방향 카메라의 사영모델을 대상으로 영상 내에 존재하는 대응 투영곡선을 자동으로 검출한 다음, 각도 오차함수 최소화 과정을 통해 카메라의 움직임 정보를 추정하는 방법이 제안된다.

## III. 제안된 방법

전방향 스테레오 영상으로부터 대응 투영곡선을 자동 정합하여 카메라의 상대적인 회전과 이동정보를 추정하는 알고리즘을 제안한다. 먼저 전방향 카메라의 사영모델을 추정한 다음, 각 영상에 존재하는 투영곡선 성분을 검출하고 에피폴라 기하와 정합과정을 통해 영

상 간의 대응 관계를 결정한다. 또한 대응 투영곡선의 양 끝점을 각각 일치시킨 후, 투영곡선을 구성하는 대응점에 대한 에피폴라 평면과 역사영된 3차원 벡터간의 각도 오차함수를 최소화하여 카메라의 회전 및 이동정보를 계산한다. 제안된 알고리즘에 대한 흐름도를 그림 1에 보였다.

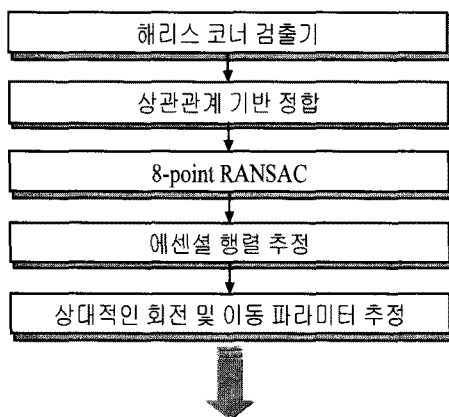
1. 두 시점의 기하관계를 이용한 추정

전방향 카메라의 회전과 상대적인 이동정보를 추정하기 위해 두 장의 전방향 영상에서 대응되는 투영곡선을 결정하는 방법이 제안된다. 검출된 특징점들을 이용해 대략적인 에피폴라 기하를 추정하여 영상간 투영곡선의 대응관계를 결정하는 초기값으로 이용한다. 그리고 대응되는 투영곡선의 양 끝점을 정확하게 정합하기 위해 전방향 영상에서 적응적 정합 윈도우를 사용하여 상호관계를 계산한다. 그리고 양 끝점이 위치한 에피폴라 평면과 역사영된 3차원 벡터간의 각도 오차의 최소화 과정을 통해 카메라의 변수를 추정한다.

가. 초기 에피폴라 기하 추정

일반적으로 스테레오 영상간에는 에피폴라 구속조건이 존재하며 얻어진 에센셜 행렬과 에피폴라 기하를 추정하기 위해 최소 8개의 대응점이 필요하다<sup>[20]</sup>.

해리스 코너 검출기를 사용하여 특징점을 검출한 다음, 영상간의 상관관계에 기반한 정합 방법을 이용하여 대응점을 결정하고 에센셜 행렬을 추정하여 초기 에피폴라 기하를 구한다. 이 과정에서 영상간에 잘못 정합된 특징점으로 인해 정확하지 않은 에센셜 행렬이 추정되기 때문에 강건한 알고리즘인 8점(point) RANSAC



대응 컨투어의 정합을 위한 초기 파라미터

그림 2. 초기 에피폴라 기하 추정을 위한 흐름도  
Fig. 2. Block diagram for initial epipolar geometry estimation.

방법을 사용하여 인라이어(inlier) 집합을 선택한 후 추정한다. 특이값 분해(singular value decomposition)를 이용해 에센셜 행렬을 상대적인 회전과 이동의 단위 방향벡터로 분해하며, 대응 투영곡선의 정합을 위한 초기 변수로 사용한다. 초기 에피폴라 기하를 추정하기 위한 흐름도를 그림 2에 나타내었다.

나. 투영곡선 검출 단계

각 영상에 대해 케니 연산자]를 적용하여 에지 성분을 검출한 다음, 에지 링킹 알고리즘으로 한 픽셀 두께로 연결된 투영곡선을 검출한다. 이 과정에서 3차원 공간상에서 두 개 이상의 선분이 한 개의 투영곡선으로 잘못 판단되는 경우가 발생하기 때문에, 정확한 투영곡선 정합을 위해 각각의 선분으로 분리한다. 그림 3은 3차원 공간상에서 두 개의 선분이 하나의 투영곡선으로 사영되었을 때, 카메라 중심과 3차원 선분으로 구성된 평면의 법선벡터를 이용하여 각기 다른 두 개의 투영곡선으로 분리하는 방법을 보인다.

그림 3에서  $C_s$ 와  $C_e$ 는 투영곡선의 양 끝점이며  $p_s$ 와  $p_e$ 는 카메라 중심  $C_0$ 로 입사되어 각각  $C_s$ 와  $C_e$ 에 사영되는 3차원 벡터이다. 이와 같이 한 개 이상의 3차원 라인이 연결된 투영곡선을 분리하기 위해서 시작점  $C_s$ 부터  $C_e$ 까지 궤적을 추적하면서 두 개의 3차원 벡터를 외적( $p_s \times p_k$ )한다. 계산된 평면의 법선벡터의 방향 변화가 사전에 설정된 임계값보다 큰 경우,  $C_k$ 를 기준으로 대상 투영곡선은 분리된다. 3차원 선분들로 분리된 짧은 투영곡선들 가운데 정합에 사용할 수 있는 집합을 선택하기 위해 초기 에피폴라 기하 추정단계에서 해리스 코너 검출기로 검출된 특징점을 이용한다. 두 개 이상의 투영곡선이 인접한 특징점과 투영곡선을 선택한 다음, 대상 투영곡선이 이루는 3차원 평면의 법선벡터의 방향이 일정한 오차범위 내에 성분끼리 병합하여 긴 투영곡

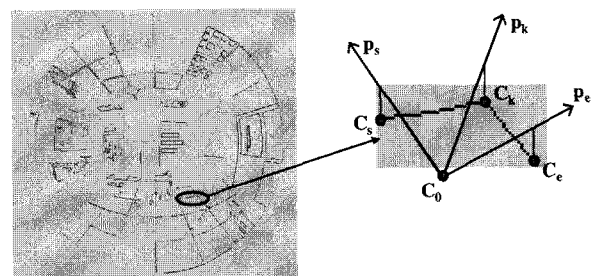


그림 3. 3차원 평면의 법선벡터를 이용한 투영곡선 분리  
Fig. 3. Contour segmentation by using 3D plane's normal vector.

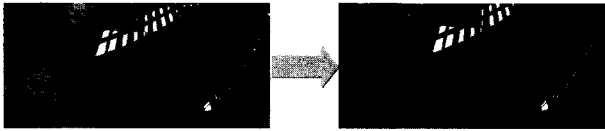


그림 4. 투영곡선이 이루는 3차원 평면의 법선벡터를 이용한 병합  
Fig. 4. Contour merging by using 3D plane's normal vector.

선으로 병합한다. 초기 단계에서의 짧은 성분들을 긴 투영곡선으로 병합하는 과정을 그림 4에 나타내었다.

2. 대응 투영곡선 정합

초기에 추정된 에피플라 기하를 이용하여 영상간 투영곡선의 대응관계를 결정하고 투영곡선의 양 끝점의 대응점을 일치시키는 정합과정을 그림 5에 나타내었다.

대응 투영곡선을 결정하기 위해 각 투영곡선의 양 끝점의 대응관계를 일치시킨다. 기준 영상의 투영곡선 끝점에 대한 참조영상의 에피플라 커브와 각 투영곡선의

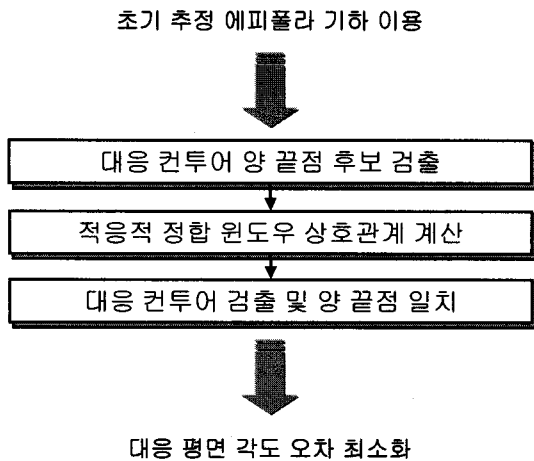


그림 5. 대응 투영곡선 정합과정에 대한 흐름도  
Fig. 5. Block diagram for corresponding contour matching.

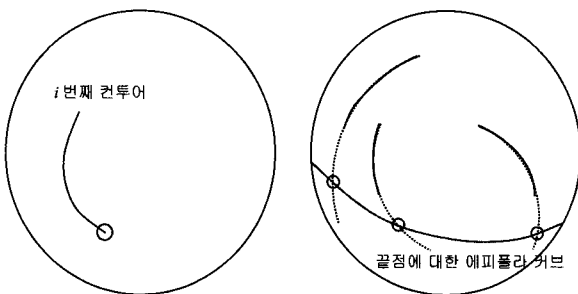


그림 6. 기준 영상의 i번째 투영곡선에 대한 참조영상의 각 투영곡선의 후보 끝점의 위치  
Fig. 6. Candidates of endpoint on reference view over i<sup>th</sup> contour on base view.

연장선과의 교점을 대응 투영곡선의 양 끝점 후보로 설정한다. 이 때, 양 끝점에 사영되는 3차원 벡터는 에피플라 평면과 투영곡선이 이루는 평면과의 교선이므로 두 평면의 법선벡터의 외적으로 쉽게 계산할 수 있다. 첫번째(기준) 영상의 i번째 투영곡선에 대한 두번째(참조) 영상의 대응 투영곡선을 결정하기 위해 각 투영곡선의 대응되는 끝점 후보의 위치를 계산하여 그림 6에 나타내었다.

두 장의 영상에서 투영곡선의 대응관계를 결정하기 위해 투영곡선 끝점 후보와 정확한 정합방법이 요구된다. 초기 에피플라 기하의 오차로 인해 투영곡선의 끝점 후보 위치가 정확하지 않으며 일반적으로 사용되는 정방형(rectangular) 윈도우는 전방향 영상의 정합과정에 적합하지 않다. 따라서 전방향 영상 내의 위치에 따라 고려되는 영역을 가변적으로 설정하고, 일정 크기의 윈도우로 정규화하는 능동적 정합을 이용한다<sup>[19]</sup>.

$$corr = \frac{\sum_{ij} (I_{ij} - \bar{I})(J_{ij} - \bar{J})}{\sqrt{\sum_{ij} (I_{ij} - \bar{I})^2 \sum_{ij} (J_{ij} - \bar{J})^2}} \quad (1)$$

여기에서  $I$ 와  $J$ 는 윈도우 내 영상의 밝기를,  $\bar{I}$ 와  $\bar{J}$ 는 윈도우 내 밝기의 평균을 나타낸다. 식 (1)에서 가장 높은 값을 갖는 참조 영상의 투영곡선이 대응 투영곡선으로 결정되며 동시에 해당 위치가 기준 영상 내 투영곡선의 끝점과 대응되는 점이다. 최종적으로 영상간 양 끝점을 일치시킨 대응 투영곡선으로부터 대응 평면의 각도 오차 최소화를 통해 카메라 변수를 추정한다.

$m$ 개의 대응 투영곡선에 대한 대응 평면의 각도 오차는 다음 식 (2)와 같다.

$$E_{angular}(\theta, \phi) = \frac{\sum_{i=1}^{2m} (\hat{n}_{i0} \cdot \hat{p}_{i0} + \hat{n}_{i1} \cdot \hat{p}_{i1})}{4m} \quad (2)$$

여기에서  $\hat{n}$ 는 각 벡터의 단위벡터를 나타내며,  $\theta$ 와  $\phi$ 는 각각 회전과 이동의 y축에 대한 회전각이다.  $p_{i0}$ 와  $p_{i1}$ 는 기준 시점과 참조 시점에서 i번째 대응점에 대해 역사영된 3차원 벡터이며,  $n_{i0}$ 와  $n_{i1}$ 는 각각  $p_{i0}$ 와  $p_{i1}$ 가 추정된 상대 시점의 카메라 위치와 이루는 평면의 법선벡터다. 카메라의 회전과 이동의 추정이 정확한 경우와 그렇지 않은 경우에 식 (2)의 결과는 각각 0~1의 값을 나타낸다. 대응 투영곡선의 양 끝점에 대해 기준시점과 참조시점에서 각도 오차를 계산하기 때문에 0과 1사이로 정규화하기 위해  $4m$ 으로 나눈다.

#### IV. 실험 결과 및 분석

두 장의 전방향 영상으로부터 대응 투영곡선을 결정하고 기하학적 관계를 이용하여 카메라의 회전과 이동 정보를 추정했으며, 제안된 알고리즘의 정확도를 검증하기 위해 POV-Ray 렌더링 소프트웨어를 이용해 얻어진 합성영상과 어안렌즈를 장착한 디지털 카메라로 취득된 실제영상에 대해 각각 실험하였다.

##### 1. 합성영상 실험

등거리 사영모형을 갖는 전방향 합성영상(768x768)에 대해 실험하였다<sup>[21]</sup>. 그림 7은 초기 에피폴라 기하를 추정하기 위해 해리스 검출기로 얻은 특징점 결과이다. 영상의 둘레에 존재하는 경계부분은 카메라의 움직임에 따라 중복되지 않을 수 있으므로 전방향 영상의 중심으로부터 반지름 95% 이내에 있는 특징점만 선택하였다. 기준 영상에서 1193개, 참조 영상에서 1169개의 특징점이 검출되었다. 그림 8은 투영곡선의 병합을 위해 3차원 선분별로 분리된 투영곡선 성분과 두 개 이상의 투영곡선이 인접한 특징점을 나타내었다. 기준 영상과 참조 영상에 각각 213개, 217개의 특징점이 선택되었으며 각각 89개, 104개의 투영곡선이 인접해있다.

투영곡선이 이루는 평면의 법선벡터의 방향의 오차 범위 2°내에 있는 성분끼리 병합하여 긴 투영곡선을 구성한 결과를 그림 9에 나타내었다. 기준 영상과 참조 영상에서 각각 16개, 23개의 투영곡선이 결정되었으며, 각도만을 고려했기 때문에 잘못 병합된 투영곡선도 존재하지만 이 정보는 다음의 대응 투영곡선의 정합과정에서 보정된다.

양 끝점을 일치시킨 8쌍의 대응 투영곡선을 그림 10에 나타내었다. 대응 투영곡선이 구성하는 대응 평면의 각도 오차의 최소화 과정을 통해 추정된 카메라의 회전

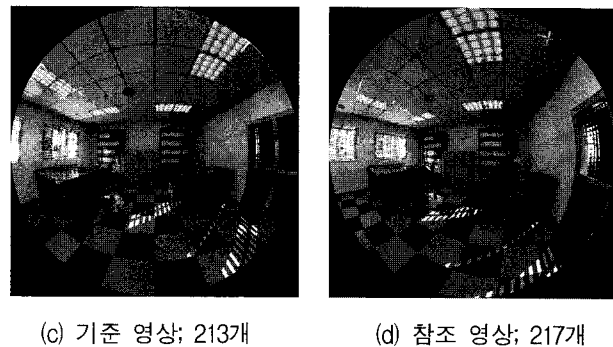
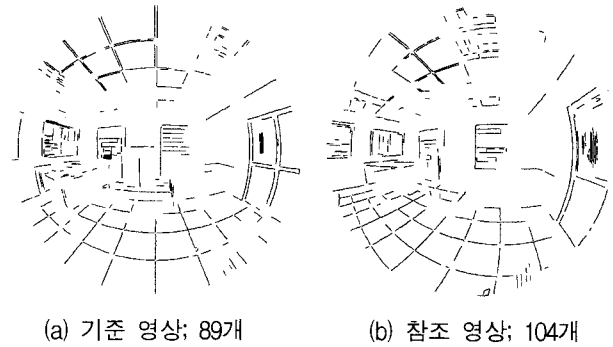


그림 8. (a) (b) 3차원 선분별로 분리된 투영곡선 영상, (c) (d) 두 개 이상의 투영곡선이 인접한 특징점  
Fig. 8. (a) (b) Contour image separated by 3D line segment, (c) (d) Feature points adjacent to more than two contours.

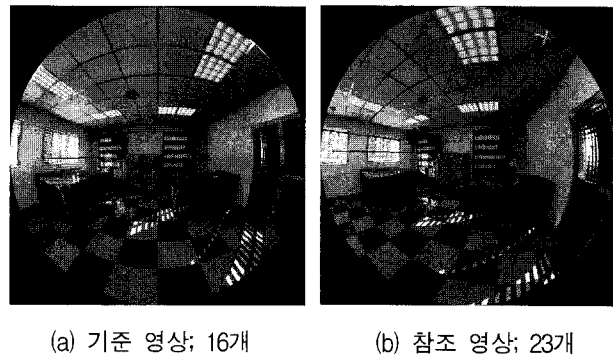


그림 9. 병합된 투영곡선 영상  
Fig. 9. Merged contour image.

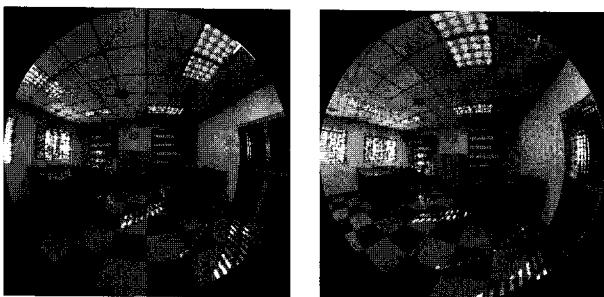


그림 7. 해리스 코너 검출기로 검출된 특징점  
Fig. 7. Feature points detected by Harris corner detector.

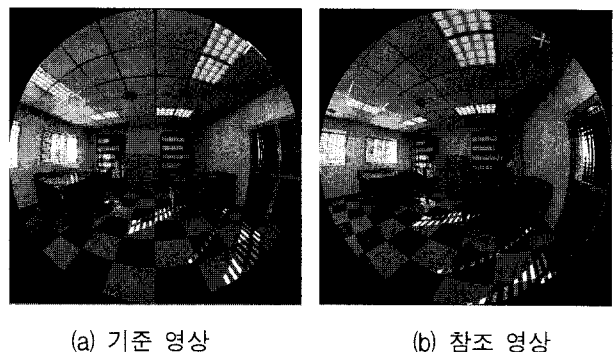


그림 10. 투영곡선 끝점이 일치된 8쌍의 대응 투영곡선  
Fig. 10. 8 contours with endpoints correspondency.

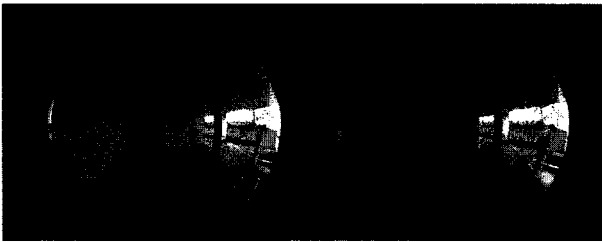
표 1. 두 장의 합성 영상에서 추정된 카메라 정보  
Table 1. Estimation results of camera rotation and traslation results on synthetic images.

	R (°)		t	
	입력	-15.00		(0.97,0,0.24)
초기 추정	-9.21	오차:5.79	(0.98,0,0.18)	오차: 0.06
실험 결과	-15.00	오차:0.00	(0.97,0,0.25)	오차: 0.01

과 이동에 대한 단위 방향벡터를 표 1에 나타내었으며, 정확한 카메라 정보가 얻어짐을 확인하였다.

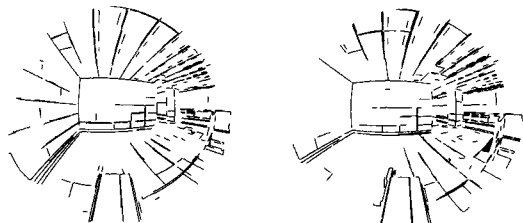
2. 실제 영상 실험

제안된 알고리즘의 성능을 실제 영상에서 검증하기 위해 어안 컨버터 FC-E8을 장착한 니콘 쿨픽스 995 디

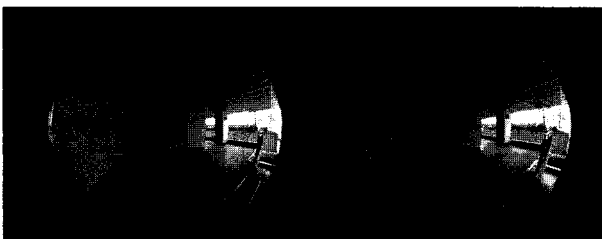


(a) 기준 영상; 1654개 (b) 참조 영상; 1285개

그림 11. 해리스 코너 검출기로 검출된 특징점  
Fig. 11. Feature points detected by Harris corner detector.



(a) 기준 영상; 82개 (b) 참조 영상; 74개



(c) 기준 영상; 100개 (d) 참조 영상; 86개

그림 12. 3차원 선분별로 분리된 투영곡선 영상 (a), (b) 와 두 개 이상의 투영곡선이 인접한 특징점 (c), (d)  
Fig. 12. Contour image separated by 3D line segment (a), (b) and feature points adjacent to more than two contours (c), (d).



(a) 기준 영상 (b) 참조 영상

그림 13. 투영곡선 끝점이 일치된 8쌍의 대응 투영곡선  
Fig. 13. 8 contours with endpoints correspondency.

표 2. 두 장의 실제 영상에서 추정된 카메라 정보  
Table 2. Estimation results of camera rotation and traslation results on real images.

	R (°)		t	
	입력	0.00		(1,0,0)
초기 추정	7.43	오차:7.43	(0.99,0,-0.09)	오차: 0.09
실험 결과	-0.60	오차:0.6	(1,0,0)	오차: 0.0

지털 카메라로 취득한 전방향 영상(1600×1200)을 대상으로 실험하였다. 그림 11은 초기 에피폴라 기하를 추정하기 위해 해리스 검출기로 얻어진 특징점이다. 합성 영상과 마찬가지로 영상 중심으로부터 95% 이내에 분포하는 특징점만을 선택하였으며, 기준 및 참조영상에서 각각 1654개, 1285개의 특징점이 검출되었다.

그림 12는 투영곡선 병합을 위해 3차원 선분별로 분리된 투영곡선 성분과 두 개 이상의 투영곡선이 인접한 특징점을 나타내었다. 기준 영상과 참조 영상에 각각 100개, 86개의 특징점이 선택되었으며 각각 82개, 74개의 투영곡선이 분포한다. 대상 투영곡선이 이루는 평면의 법선벡터를 비교하는 과정을 통해 최종적으로 양 끝점이 서로 대응하는 5개의 투영곡선을 그림 13에 나타내었다. 대응 투영곡선이 구성하는 대응 평면의 각도 오차의 최소화 과정을 통해 추정된 카메라의 회전과 이동에 대한 단위 방향벡터를 표 2에 나타내었으며 정확한 결과가 추정됨을 확인하였다.

3. 기존 방법과의 비교

본 절에서는 대응 투영곡선 상에 존재하는 특징점간의 정합을 이용하는 기존 방법(그림 14)과 제안된 알고리즘의 실험 결과를 비교하였다<sup>[18]</sup>. 영상에서 투영곡선을 검출하고 특징점과 정합과정을 통해 추정된 초기 카메라 변수를 이용해 투영곡선의 대응관계를 설정한다. 그리고 투영곡선에 존재하는 특징점의 정합을 통한 대응점으로 에피폴라 기하를 재추정하는 과정을 반복하여

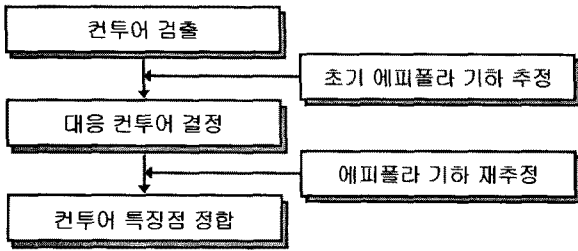


그림 14. 기존 방법의 흐름도  
Fig. 14. Block diagram for the previous method.

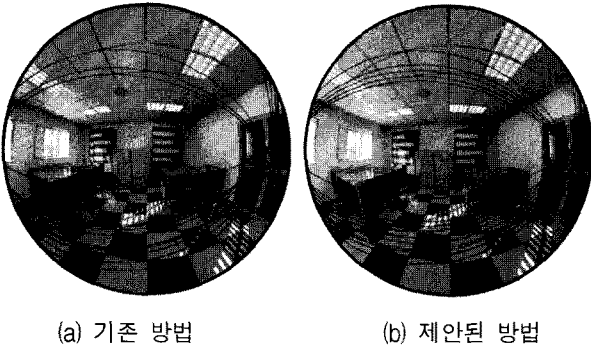


그림 15. 특징점과 추정된 에피폴라 커브의 비교  
Fig. 15. Comparison of feature points and estimated epipolar curve.

표 3. 실험결과 비교  
Table 3. Experimental results on previous and proposed method.

	회전 오차 (°)	이동 오차	에피폴라곡선 거리오차 (픽셀)
기존 방법	23.78	0.20	10.98
제안된 방법	0.00	0.01	1.24

미리 설정된 오차함수를 최소화하는 카메라의 외부변수를 최종적으로 결정한다.

그림 8의 영상에서 8개의 대응 투영곡선에 존재하는 대응점과 각각의 방법으로 추정된 회전 및 이동정보로부터 계산된 에피폴라 커브를 중첩하여 그림 15에 나타내었다. 기존 방법은 일반 영상을 대상으로 제안되었기 때문에 전방향 영상에 적용하기 위해 다음과 같이 알고리즘을 일부 수정하였다. 먼저 에피폴라 직선에 대한 검색영역 설정 및 오차함수 계산 등의 과정을 에피폴라 곡선 상에서 적용할 수 있도록 수정하였다. 또한 상관관계 및 에피폴라 구속조건을 계산하기 위한 검색 윈도우를 전방향 영상에 적합한 능동적 정합 윈도우로 설정하였다. 그림 15에서 특징점을 의미하는 붉은 점이 파란 색의 곡선 상에 위치할수록 보다 정확한 에피폴라 곡선의 추정되었음을 의미한다.

전방향 영상은 일반 영상에 비해 초기 에피폴라 기하의 추정 오차가 상대적으로 크기 때문에 대응점만을 이용하여 카메라 변수를 추정하면 오차함수가 지역 최소값(local minima)으로 수렴하는 경우가 많이 발생하며 특징점의 지역적 특성으로 인해 대상 공간에서 많은 대응점을 추출해서 고려해야 한다. 대응 투영곡선이 이루는 평면의 각도 최소화를 이용하는 제안된 방법은 동일 초기 오차 조건에서 상대적으로 정확하게 카메라 변수를 추정함을 표 3의 결과에서 확인하였다.

### V. 결 론

본 논문에서는 두 장의 전방향 영상의 기하학적 관계를 이용하여 대응 투영곡선을 자동으로 결정하고 이를 이용하여 카메라의 회전 및 이동방향을 추정하는 방법이 제안되었다. 먼저 두 영상에서 대응되는 특징점으로부터 에피폴라 구속조건을 계산하여 초기 카메라 변수를 추정하고, 검출된 특징점과 투영곡선을 대상으로 능동적 정합방법을 이용하여 투영곡선의 대응관계를 자동으로 결정한다. 그리고 대응 투영곡선을 구성하는 양 끝점의 에피폴라 평면과 3차원 벡터의 각도 오차를 최소화하는 카메라 변수를 추정한다. 합성 및 실제 영상을 대상으로 제안된 알고리즘이 카메라의 움직임을 정확하게 추정함을 확인하였다. 이후에는 제안된 방법을 세 장 이상의 전방향 영상 시퀀스로 확장하여 대상 공간을 3차원 상에서 재구성할 예정이다.

### 참 고 문 헌

- [1] C. Brauer-Burchardt and K. Voss, "A new algorithm to correct fish-eye and strong wide-angle-lens-distortion from single images," *Proc. ICIP*, pp. 225-228, 2001.
- [2] A. Basu and S. Licardie, "Alternative models for fish-eye lenses," *Pattern Recognition Letters*, vol. 16, pp. 433-441, 1995.
- [3] Y. Xiong and K. Turkowski, "Creating image based VR using a self-calibrating fisheye lens," *Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 237-243, 1997.
- [4] S. Shah and J. Aggarwal, "Intrinsic parameter calibration procedure for a (high distortion) fish-eye lens camera with distortion model and accuracy estimation," *Pattern Recognition*, vol. 29, no. 11, pp. 1775-1788, 1996.
- [5] H. Bakstein and T. Pajdla, "Panoramic mosaicing

- with a 180° field of view lens," *Proc. IEEE Workshop on Omnidirectional Vision*, pp. 60-67, 2002.
- [6] D. Claus and A. W. Fitzgibbon, "A rational function lens distortion model for general cameras," *Proc. CVPR*, pp. 213-219, 2005.
- [7] J. P. Barreto and K. Daniilidis, "Fundamental matrix for cameras with radial distortion," *Proc. ICCV*, pp. 625-632, 2005.
- [8] J. Kannala and S. S. Brandt, "A generic camera model and calibration method for conventional, wide-angle, and fish-eye lenses," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 28, no. 8, pp. 1335-1340, 2006.
- [9] S. Thirthala and M. Pollefeys, "Multi-view geometry of 1D radial cameras and its application to omnidirectional camera calibration," *Proc. ICCV*, pp. 1539-1546, 2005.
- [10] B. Micusik, "Two-view geometry of omnidirectional cameras," PhD. Thesis, Czech Technical University, 2004.
- [11] I. Sato, Y. Sato, and K. Ikeuchi, "Acquiring a radiance distribution to superimpose virtual objects onto a real scene," *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 5, no. 1, pp. 1-12, 1999.
- [12] C. G. Harris and M. J. Stephens, "A combined corner and edge detector," *Proc. 4<sup>th</sup> Alvey Vision Conference*, pp. 147-151, 1988.
- [13] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 8, no. 6, pp. 679-698, 1986.
- [14] K. Wall and P. Danielson, "A fast sequential method for polygonal approximation of digital curves," *Computer Vision, Graphics Image Process*, Vol. 28, pp. 220-227, 1984.
- [15] F. Devernay and O. Faugeras, "Straight lines have to be straight," *Machine Vision and Applications*, Vol. 13, no. 1, pp. 14-24, 2001.
- [16] C. Schmid and A. Zisserman, "Automatic line matching across views," *Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 666-672, 1997.
- [17] J. Han and J. Park, "Contour matching using epipolar geometry," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, no. 4, pp. 358-370, 2000.
- [18] Z. Zhang, R. Deriche, O. Faugeras and Q. Loung, "A robust technique for matching two uncalibrated images through the recover of the unknown epipolar geometry," *Artificial Intelligence Journal*, Vol. 78, pp. 87-119, 1995.
- [19] T. Svoboda and T. Pajdla, "Matching in catadioptric images with appropriate windows, and outliers removal," *Proc. 9<sup>th</sup> Int. Conf. Computer Analysis of Images and Patterns*, pp. 733-740, 2001.
- [20] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge Univ., 2000.
- [21] <http://www.ignorancia.org>

---

 저 자 소 개
 

---



황 용 호(학생회원)  
 1996년 명지대학교  
 전자공학과 학사 졸업.  
 1998년 명지대학교  
 전자공학과 석사 졸업.  
 1998년 1월~2000년 3월  
 (주)유플C&C 부설연구소  
 연구원

2000년 9월~2003년 7월 (주)콤텍시스템  
 기술연구소 주임연구원.

2008년 2월 중앙대학교 첨단영상대학원  
 영상공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : 컴퓨터비전, 컴퓨터그래픽스, 증강  
 현실 등>



홍 현 기(평생회원)  
 1998년 8월 중앙대학교  
 전자공학과 박사 졸업.  
 1998년 9월~1999년 8월 서울대학교  
 자동제어특화연구센터  
 연구원  
 1998년 9월~2000년 2월 중앙대학교  
 정보통신연구소 연구교수

2000년 3월~현재 중앙대학교 첨단영상대학원  
 영상공학과 부교수 재직 중.

2002년 2월~2003년 1월 Univ. of Colorado at  
 Denver 방문연구원.

<주관심분야 : 컴퓨터비전, 컴퓨터그래픽스, 증강  
 현실 등>