

파노라마 모자이크에서의 정확한 초점거리 복원을 위한 접합 신뢰도 측정방법

(Stitch Reliability Measurement for Recovering Accurate Camera Focal Length in Panoramic Mosaics)

김 화 성 [†] 김 창 현 ^{**}
(Hwa Sung Kim) (Chang Hun Kim)

요 약 본 논문은 파노라마 모자이크의 접합 질을 판단하기 위해 접합 신뢰도라는 수량적 기준을 제시한다. 또한, 파노라마의 자동 생성과 빠른 시각화를 위해 필요한 초점거리 측정에 접합 신뢰도가 유용함을 보인다. 이미징로부터 초점거리를 복원하는 기존 방법은 일반적인 파노라마 모자이크에서 나타나는 잘못 접합된 부분을 초점거리 계산에 포함하기 때문에 부정확하다는 단점이 있다. 제안 방법은 높은 접합 신뢰도를 가진 일정 개수의 이미지를 선별할 수 있기 때문에 초점거리를 빠르고 정확하게 자동 측정한다. 접합의 신뢰도를 계산하기 위해, 제안 방법은 카메라 회전 움직임 제약조건의 만족 여부를 판단할 수 있는 특징점을 정의하고, 이 특징점의 이상적인 위치와 실제 위치의 차이를 계산한다. 본 논문에서 제시한 제약 조건은 카메라의 자유 회전 움직임에서 항상 만족하고, 이는 수학적으로 증명된다. 마지막으로, 실험을 통해 제안 방법이 기존 방법보다 초점거리의 편차가 작다는 것을 보이고, 파노라마 모자이크의 접합 질을 높인다는 것을 보인다.

Abstract This paper proposes a measurable criterion called stitching reliability which reflects the stitching quality of panoramic mosaics. We also show that the stitching reliability recover the accurate focal length used for the automatic construction and visualization of mosaics. Current methods to extract the focal length from image sequences are not very robust because mis-stitched areas in general panoramas are used in their computation. From our method, the several images with high stitching reliability can be automatically selected to estimate the focal length. To measure the stitching reliability, our algorithm computes the difference between real and ideal position of image intersection point for a camera rotational motion constraint. It is formally proved that the constraint is always satisfied in camera free rotation. Finally, experiments show that the proposed method provides less deviation of focal length than others, and improves the quality of panoramic mosaics.

1. 서 론

일반 사진들로부터 파노라마 이미지를 얻는 파노라마 이미지 모자이크 생성기법은 카메라의 제한된 가시영역을 극복하는 기술로 현재 파노라마 이미지 생성시간의 단축 및 파노라마 이미지 품질 개선에 대한 많은 연구가 진행 중이며, 이에 대한 상용 소프트웨어도 출시되어,

대중적인 보급이 이루어지고 있다.

파노라마 이미지 생성 기술은 가상현실 환경, 컴퓨터 게임, 영화 특수효과 등에 사용될 수 있다. 즉, 관련 기술에 특별한 지식이 없는 일반 사용자가 실제 건물 내 외부나 모델링이 어려운 자연 환경에 대한 파노라마 이미지를 통해 임의의 시 방향에서 사진 레벨의 실감 영상을 실시간으로 볼 수 있기 때문에 상업적인 효용 가치가 높은 기법이다. 그러나, 정확한 파노라마 이미지를 빠른 시간에 생성하기 위해서는 특별한 촬영장비(어안렌즈 및 파노라마 촬영장치)등을 사용하였다. 그러나, 이러한 장비는 구입 비용의 증가와 제한된 해상도 문제를 극복하지 못하는 단점을 가지고 있다.

[†] 비 회 원 : 고려대학교 컴퓨터학과
mars@vizutech.com

^{**} 종신회원 : 고려대학교 컴퓨터학과 교수
chikim@cgvr.korea.ac.kr

논문접수 : 2000년 2월 21일
심사완료 : 2001년 1월 10일

이미지 모자이크는 범용 카메라나 CCD 카메라로 촬영된 연속적인 보통 이미지들을 기준 좌표계에 정렬시키고, 이미지 와핑, 통합, 그리고 필터링을 통해 만들어진 하나의 단일 이미지를 말한다. 특히, 고정 시점에서 카메라의 회전에 의해 촬영된 이미지 모자이크를 파노라마 이미지 모자이크이라 한다. 일반 이미지에서 정확한 파노라마 이미지를 만드는 작업은 사용자가 대응점을 직접 지정하여 인접한 이미지의 대응관계를 결정할 수 있다. 그러나, 이러한 작업은 번거로운 단순 반복 노동을 요구하며, 실수를 유발할 확률이 높기 때문에 세밀한 조정을 위한 고도의 집중력을 요구한다. 또한, 두 영상을 일치시키기 위한 공통의 기준이 없기 때문에 사용자마다 다른 결과를 생성할 수 있다. Szeliski[1, 3]는 사용자의 수작업 없이 파노라마 이미지를 자동으로 생성할 수 있는 방법을 제안한다. 파노라마 이미지를 자동 생성하기 위해서 이미지 명도 비교에 기반한 선형적인 매칭 방법과 비선형 수치해석 방법이 사용되고, 이미지 사이의 대응 관계를 나타내는 행렬을 계산한다. 또한, 그는 이미지에서 복원된 초점거리를 추출해서 대응관계를 나타내는 행렬의 계수의 수를 줄임으로서 좀 더 빠르고 견고한 파노라마 생성방법을 제안한다. 그러나, 이미지 사이의 대응관계 행렬의 계수들로부터 추측된 초점거리는 계수의 미세한 오차에 상당히 민감하고, 잘못 접합된 부분들도 계산에 포함되기 때문에 정확성이 낮다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 카메라 회전에 의한 제약조건을 정의하고, 사영변환 행렬을 3차원 기하적으로 해석한다. 이를 통해 이미지 상에서 접합 신뢰성을 판별할 수 있는 기준을 제안하고, 이미지로부터 정확한 초점거리를 측정하는 방법을 제시한다. 접합 신뢰도를 통해 근사접합의 사용범위를 명시적으로 제한할 수 있으며, 접합의 질을 계량적으로 측정해서 파노라마의 접합 질을 향상시키고 접합 속도를 개선한다.

본 논문은 기존의 파노라마 모자이크 생성과 초점거리 복원 방법들을 2장에서 소개하고, 파노라마 생성에 사용된 시스템의 개요를 3장에서 보인다. 4장에서는 카메라의 회전 제약조건을 통한 접합 신뢰도 측정 기준 및 초점거리 측정에 대해 기술하고, 파노라마를 생성한 결과 및 기존 방법과의 다양한 비교를 5장에서 보인다. 그리고, 6장에서 결론 및 향후 연구과제를 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 파노라마 이미지 모자이크

가시영역의 확대와 영상의 압축에 대한 수요가 높아

지면서 실세계의 장면에 대한 파노라마 이미지를 생성하는 많은 기술이 개발되고 있다. 파노라마 생성방법은 크게 하드웨어 의존적인 방법과 이미지 모자이크 방법으로 나눈다. 하드웨어 의존적인 방법으로는 긴 필름을 사용하는 파노라마 카메라를 사용하여 실린더 파노라마 이미지를 직접 캡처하거나[13], 어안 렌즈를 사용하는 방식[14], 그리고, 거울표면의 피라미드나 파라블릭 거울을 이용하는 방식[15]이 있으며, 모두 특별한 촬영 장비를 사용한다. 하드웨어 비의존적인 이미지 모자이크 방법은 넓은 시야를 커버하기 위해 범용 사진기나 비디오 촬영기를 이용하여 연속된 촬영하고, 접합을 통해 이미지를 정렬, 합성하여 파노라마 이미지를 생성하는 방법이다. 촬영장치가 대중적이고, 고해상도의 파노라마를 얻을 수 있다는 장점 때문에 후자의 방법이 선호된다. 그래서, 이미지의 등록 및 합성에 대한 자동화에 초점을 맞춘 기술이 개발되고[2, 5, 6, 17], 대부분 기술은 이러한 기술을 바탕으로 하고 있기 때문에 대중성을 확보할 수 있어 상용화된 사례가 많다[2,3,4]. Szeliski[1]는 이미지 대응관계에 필요한 파라미터의 수를 줄여 8 파라미터 파노라마 생성, 초점거리 측정, 그리고, 3 파라미터 파노라마 생성의 3 단계 과정을 거치는 빠르고 정교한 파노라마 생성 방법을 제안한다. 8 파라미터 파노라마는 8개의 파라미터를 가진 일반적인 이미지 변환 모델을 기반으로 하고, 3 파라미터 파노라마는 2차원의 투영 변환 관계를 카메라의 회전을 3차원적으로 해석한 3 파라미터 모델에 기반한다. 3 파라미터 모델은 실제 카메라의 촬영조건을 반영하기 때문에, 2차원 변환에서 나타나는 여러가지 부정확한 접합 가능성을 줄인다.

2.2 이미지로부터 초점거리 측정

카메라의 회전에 의해 만들어지는 파노라마는 실시간 시각화를 위해 실린더나 구에 매핑되어야 한다. 즉, 파노라마의 시각화를 위해 카메라의 초점거리를 알아야 한다. McMillan[7]은 카메라의 내부 파라미터를 모두 포함한 카메라 행렬을 정의하고, y축 회전만을 고려한 회전행렬을 사용한다. 이러한 내부, 외부 파라미터를 구하기 위해, 360도 완전 회전 이미지들의 2차원 이동량을 통해 초점거리를 추정한다. 그러나, 이 방법은 360도 시야의 이미지 스트림을 가져야 가능하며, 제한된 시각도의 파노라마는 생성하지 못하고, 삼각대에 고정된 수평 회전 파노라마만 시각화한다.

Szeliski[1,3]는 이러한 한계를 극복하고, 제한된 시각도를 가지는 파노라마를 위한 초점거리 측정 방법을 제시하고, 이 초점거리를 이용하여 빠르고 견고한 3 파라미터 파노라마 생성 방법을 제안한다. 3 파라미터 파노

라마를 사용자의 수작업이나 측정장비 없이 생성하기 위해, 초점거리는 주어진 이미지 스트림과 이미지 명도 차이 최소화 방법을 사용해서 측정된다. 회전행렬의 첫 2행과 첫 2열은 같은 크기(norm)를 가지고, 직교(orthogonal)한다는 성질을 8 파라미터 투영 변환 행렬에 적용하면, 변환 관계가 성립된 두 이미지의 초점거리를 간단히 구할 수 있다. 파노라마를 위한 전체 초점거리는 각 이미지 쌍에서 측정된 초점거리의 기하평균을 통해 계산된다. 그러나, 이 방법으로 추정한 초점거리는 자유도 8의 투영 변환 행렬 계수들의 값에 민감하기 때문에 정확한 접합에 의한 투영 변환을 전제해야 한다. 그러나, 정확한 접합 여부를 판별할 수량적인 기준이 없기 때문에 측정된 초점거리가 정확하지 판단할 수 없다. 따라서, 3 파라미터 파노라마는 부자연스러운 이미지를 가지고, 그 생성과정을 완전히 자동화 할 수 없다.

Kang[23]은 정확한 파노라마를 생성하는데, 카메라의 초점거리보다 카메라 회전 반지름(compositing length)이 더 중요하고, 특별한 부가 장치 없이 정확한 카메라의 회전 반지름을 구하는 이론을 제시한다. 그러나, 이미지 촬영의 제약조건이 많고, 360도의 완전 파노라마 이미지 생성시에만 적용된다. 또한, 정확한 회전 반지름을 추출하기 위해 촬영 이미지 복잡도가 높아야 한다. 즉, 텍스처의 패턴이 일정한 인공물이 포함된 경치를 촬영한 경우는 카메라의 회전 반지름을 정확히 구할 수 없다는 단점이 있다.

3. 시스템 개요 및 특징

본 논문에서 제안하는 방법은 일련의 촬영 이미지 집합에서 8 파라미터 변환 모델에 기반한 접합을 통해 접합 신뢰도가 높은 이미지를 선별하는 과정과 선별된 접합 이미지로부터 초점거리를 측정하는 과정, 그리고, 3 파라미터 변환 모델에 기반한 접합 과정으로 크게 나눌 수 있다. 8 파라미터 변환에 기반한 접합 과정은 신뢰성이 검증에 위한 이미지만을 대상으로 하고, 촬영 이미지 전체에 대한 접합은 3 파라미터 변환 기반의 접합 과정에서 이루어진다. 그림 1은 본 논문이 제시하는 파노라마 자동 생성 시스템을 도식화한 것이다.

기존의 8 파라미터 파노라마 생성 방법은 대략 80-90%의 접합 성공률을 통계적으로 가진다. 그러나, 10-20%의 부적절한 접합은 사용자의 수작업을 요구할 뿐 아니라, 이미지로부터 측정된 초점거리의 정확성을 낮춘다. 두 장으로 이루어진 이미지 한 쌍은 각각 하나의 8 파라미터 변환 행렬, 접합 신뢰도, 그리고 초점거리를 가진다. 본 논문에서는 신뢰성 검사 방법을 통해 8

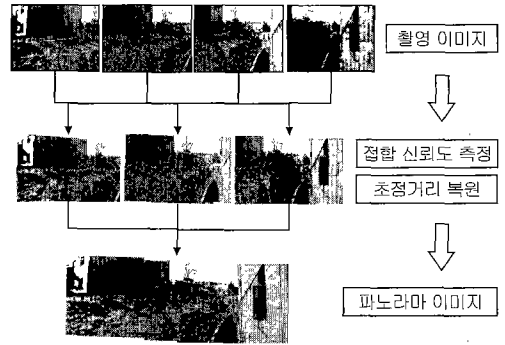


그림 1 시스템 개요도

파라미터 모델을 이용해서 근사적으로 접합된 이미지 중 접합의 질이 높은 이미지를 선택하고, 검증된 이미지 쌍 2-3개에서 초점거리를 계산한다. 계산된 초점거리는 3 파라미터 파노라마 생성에 이용된다. 3 파라미터 파노라마는 8 파라미터 파노라마를 위해 사용한 기법에 비해 최적의 해에 빠른 수렴을 보이며, 잘못된 해로 수렴할 확률을 줄인다.

4. 이미지 변환과 접합 알고리즘

4.1 이미지 변환 모델

이미지 사이의 대응관계는 2차원 사영 기하에서의 좌표 변환 관계로 나타난다. 촬영 영상들을 파노라마 영상과 연관시키기 위해 기하학적 변환 행렬을 사용한다. 동차좌표(homogeneous coordinate)를 사용하여 2차원 평면 변환(2D planar transformation)을 식(1)로 표현한다.

Szeliski[3]는 식 (1)의 선형대수적인 변환 모델을 개선한 카메라 회전에 관한 모델을 제안한다. 이 모델은 카메라의 초점거리(f)의 내부 파라미터와 회전을 나타내는 외부 파라미터(행렬 R)를 반영한 식 (2)로 표현된다.

식 (1)을 8 파라미터 모델이라 하고, 식 (2)를 3 파라미터 회전 모델이라 한다. 두 모델의 차이는 카메라에 대한 기하학적 해석 유무에 있고, 각각의 변환모델에 의해 생성된 파노라마 모자이크를 각각 8 파라미터 파노라마

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix}, \quad u' = Mu \quad (1)$$

$$M = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} R \begin{bmatrix} 1/f & 0 & 0 \\ 0 & 1/f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

마, 3 파라미터 파노라마라 한다.

4.2 접합 알고리즘

접합 알고리즘은 이미지의 계층적 매칭과 비선형 접합으로 나눈다. 두 방법을 각 이미지 쌍에 적용하여 8 파라미터 변환 관계들을 도출하고, 단일 좌표계로 정렬시킨 후 파노라마를 생성한다.

4.2.1 이미지의 계층적 매칭(Hierarchical Matching)

고정된 카메라 시점에서 회전 촬영된 연속 이미지를 수작업 없이 매칭하기 위해 본 논문에서는 이미지 사이의 시각적 공통 부분을 이용하여 이미지의 명도(intensity) 비고를 통한 자동 매칭 방법[8]을 일차적으로 사용한다. 이 방법은 해상도별 이미지를 만드는 피라미드 방법과 연속된 이미지를 저해상도에서 고해상도로 비교해 나가는 다단계 매칭 기법으로 구성된다. 피라미드 방법은 주어진 이미지를 계층적으로 저해상도에서 고해상도까지 계층적으로 만든다. 고해상도의 일정 영역의 픽셀값들은 평균화되어 한 단계 낮은 저해상도 이미지의 한 픽셀 값으로 나타난다. 본 시스템에서는 매 단계별로 4개의 픽셀을 1개의 픽셀로 평균하였다. 각 단계별 이미지는 따로 저장할 수 있으나, 이미지의 해상도가 높을수록, 접합할 이미지 수가 많을수록 이미지의 메모리 점유율은 기하급수적으로 높아진다. 이것을 방지하기 위해 각 해상도별 이미지는 이미지 매칭 방법과 통합되며, 알고리즘 관점에서 보면 재귀적 호출에 기반해서 각 해상도별 다단계 이미지들을 매칭 과정에서 계산하여 메모리 점유율을 낮춘다.

4.2.2 비선형 접합

이미지 정교 접합방법은 이미지 계층적 매칭 방법 적용 후에 이미지상의 픽셀들의 명도를 비선형 최소화 알고리즘을 통해 정교하게 매칭하는 과정이다. 이 방식은

사용자의 수작업을 필요로 하지 않고, 이미지 매칭에서 도출된 결과를 초기치로 사용해서 통계적으로 최적화된 결과를 도출한다. 본 연구에서는 Levenberg-Marquardt 알고리즘[6]을 사용한다. 이 알고리즘은 이미지 명도 에러값에 대한 함수의 2차 테일러 급수를 이용한다. 그러나, 8 파라미터 모델을 구성하는 8개의 파라미터의 해를 구하기 위한 비선형적 방법은 느린 수렴 속도와 지역적 최소화 문제에 빠지는 단점을 가지고 있다. 특히, 지역적 최소화 문제는 시각적 부자연스러움을 유발한다. 그림 2는 비선형 방법에 의한 지역적 최소화 문제로 인해 생기는 접합 결과를 보여준다. 전체적인 이미지는 이미지 1의 좌표계를 이미지 2의 좌표계로 변환시켜 투영한 접합 이미지를 의미하고, 접합 이미지에 나타난 두개의 사각형 지역은 잘못된 접합으로 인해 시각적으로 어긋나 있다.

5. 이미지 접합 신뢰도 및 초점거리 측정

3 파라미터 모델을 적용한 파노라마를 생성하기 위해 초점거리를 측정해야 한다. 초점거리는 파노라마를 구성하는 일반 촬영 이미지 각 쌍마다 도출되는 8 파라미터 모델을 통해 구한다. 8 파라미터 모델은 본 논문에서 제시하는 카메라 회전 규칙이 성립하는지를 접합 이미지에서 조사하는데 사용되고, 회전규칙 특징점의 위치에 관한 성질을 이용하여 접합 신뢰도와 초점거리가 구해진다(그림 3).

그림 4는 본 시스템의 메인 알고리즘을 나타낸 의사코드이다. 라인 1에서 파노라마 이미지를 생성하기 위한 연속 이미지를 로딩한다. 라인 4, 5, 6에서 두 장의 인접 이미지 쌍 (I_i, I_{i+1})에 대해 각각 사영 행렬(projective matrix), IIP (image intersection point), 접합 신뢰도(stitching reliability)를 구한다. 라인 9에서

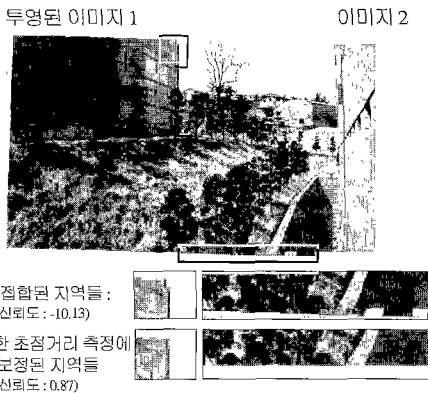


그림 2 지역적 최소화 현상에 의한 부정확한 접합 예

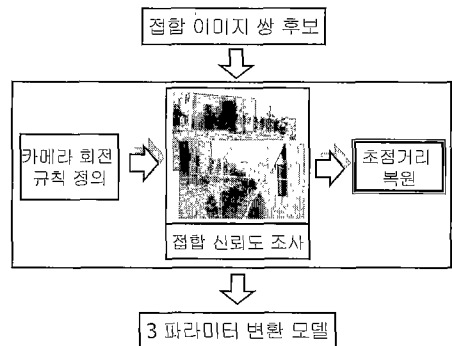


그림 3 접합 신뢰도에 기반한 초점거리 측정 개요

```

Input: image stream ( $I_1, I_2, \dots, I_n$ )
Output: panorama image

1 load_images();
2 for ( int i=0; i < n; i++)
3 {
4     calculate_projective_matrix( $I_i, I_{i+1}$ );
5     calculate_IIP( $I_i, I_{i+1}$ );
6     calculate_stitching_reliability( $I_i, I_{i+1}$ );
7 }
8
9 select_good_stitching_reliability();
10 calculate_focal_length();
11 make_3_parameter_projective_matrix();
12 make_panorama();
    
```

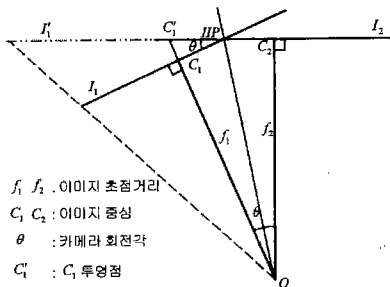
그림 4 메인 알고리즘

이미지 쌍에 대한 집합 신뢰도를 비교하여 집합 신뢰도가 우수한 쌍을 선택하고, 라인 10에서 IIP에 기반한 초점거리를 추출한다. 마지막으로 라인 11에서 3 파라미터 모델을 적용한 사영 행렬을 구하고, 파노라마 이미지를 생성한다.

5.1 IIP의 정의 및 위치 계산

IIP는 3차원 상에 카메라의 회전에 의해 나타나는 평면과 두 이미지 평면의 교점으로 정의한다. 그림 5는 고정된 초점거리 f 와 고정된 투영점(center of projection) O 를 가진 카메라가 3차원 상에서 COP, C_1, C_2 가 이루는 평면에서 θ 만큼 회전했을 때의 그림을 2차원으로 도식화 하였다. 이때, IIP는 두 이미지 평면 I_1, I_2 의 교선과 삼각형 ΔOC_1C_2 의 평면과의 교점으로 정의한다.

여기서 I_1 은 투영변환 행렬에 의해 이미지 I_1 이 I_2 평면에 사영된 이미지이고, C_1 은 I_1 의 이미지 중심, C_2 이 이미지 I_2 에 투영된 점이다. f_1, f_2 는 각 이미지에서의 초점거리 추정값이다. 실제 촬영시 초점거리가 고정된 카메라를 회전시키지만, 8 파라미터 모델에 기반한 부정확한



- f_1, f_2 : 이미지 초점거리
- C_1, C_2 : 이미지 중심
- θ : 카메라 회전각
- C_1' : C_1 투영점

그림 5 두 장의 이미지 집합에 대한 카메라 및 이미지의 2차원 도식

집합은 두 이미지에서 카메라의 초점거리를 서로 틀리게 만든다. I_2 평면에 투영된 이미지 I_1 은 I_1 과 비교해서 왼쪽 부분에서 확대 현상이, 오른쪽 부분에서 축소 현상이 발생한다. 그러나, IIP에서 확대/축소 현상이 나타나지 않는다. 이 성질을 이용하여 일정거리의 픽셀을 사영 행렬에 의해 변화된 위치와 비교하여 투영 이미지 상에서 IIP의 위치를 찾는다.

그림 6은 I_1 상의 일정 간격을 가진 단위 영역들이 I_2 평면에 투영된 단위 영역을 나타낸다. 투영된 단위 영역이 I_2 뒤에 있을 경우, 투영된 단위 영역 길이는 길어지며, 앞에 있을 경우 짧아진다. 즉, 그림에서 단위 영역 1에서 단위 영역 2로 갈수록 투영된 단위 영역의 길이는 짧아지며, IIP에서 투영 영역과 원래 영역의 길이는 같아진다. IIP는 반드시 C_1, C_2 을 지나는 집합 이미지 상의 직선 위에 있고, 투영된 영역은 변환 행렬을 이용하여 구한다.

그림 7은 I_1 상에서 C_1 과 IIP를 지나는 직선을 일정 길이로 나눌 때, 이미지 C_1, C_2 에 사영된 직선 상의 투영 영역의 변화를 보여준다. 수평 직선은 단위 길이를 나타내며, 투영된 영역의 길이는 계속 감소하다가 37-38번째 단위 영역 사이에서 단위 길이와 같아지고, 이 투영 영역에 IIP가 존재한다. 투영 영역의 길이변화는 직선의 형태로 나타나며, 단위 영역의 길이와 직선의 기울기를 통해 IIP를 정확히 계산할 수 있다.

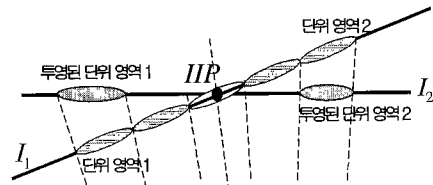


그림 6 이미지 I_2 에 사영된 I_1 의 일정영역들

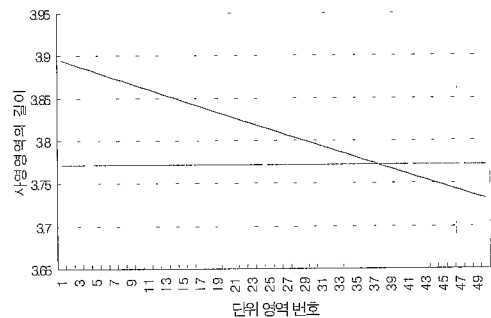


그림 7 사영 영역의 길이 변화

5.2 카메라 회전에 관한 제약조건

카메라 회전에 의해 촬영된 두 이미지의 초점거리가 같은 경우, 이미지 I_1 을 기준으로 I_2 가 임의의 축에 의해 회전되더라도 항상 선분 C_1IIP 와 선분 C_2IIP 의 길이가 같아진다. 이러한 성질을 카메라 회전에 관한 제약조건이라 한다.

그림 8은 초점거리 고정 카메라에 의해 촬영된 두 장의 이미지를 3차원적으로 도식화한 것이다. 왼쪽 이미지 중심 C_1 을 그림과 같이 Z축 상에 놓고, 임의의 위치에 C_2 가 있다고 가정하고, IIP 의 위치를 3개의 평면 방정식을 통해 풀면 카메라 회전 제약조건은 증명된다. 그림 5는 그림 8에서 보이는 3차원 상의 이미지와 카메라의 성질을 초점거리를 반지름으로 하는 구 상에 이미지 평면이 항상 접한다는 성질을 이용해서 카메라 회전 평면을 기준으로 한 2차원 도식이다. 이 회전 제약조건을 바탕으로 8 파라미터 변환 행렬을 이용해서 이미지 질에 대한 접합신뢰도를 검사 할 수 있으며, 나아가 정확한 초점거리를 구할 수 있다.

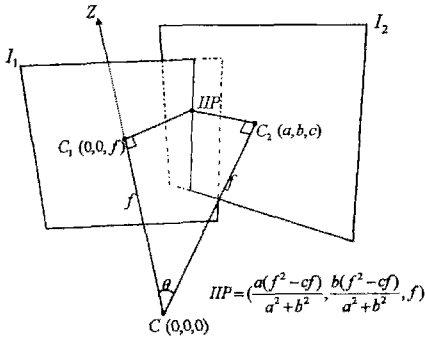
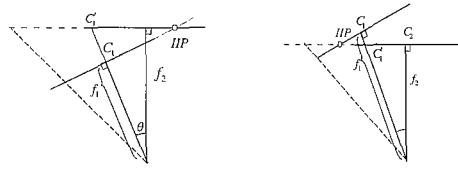


그림 8 카메라 회전에 대한 3차원 모델

5.3 접합 신뢰도

8 파라미터 모델 기반의 접합에 의해 구해진 투영 행렬은 이미지의 명도 비교를 통해 8개의 행렬 계수를 구한다. 이 계수들은 카메라의 회전을 설명하는 모델에 필요한 3개의 파라미터보다 많기 때문에 지역적 최소화 문제에 빠지기 쉬우며, 8 DOF의 사영행렬은 두 이미지에 대한 초점거리를 틀리게 만든다. 이 경우 IIP 는 카메라 회전 제약조건을 만족하지 못한다.

그림 9는 8 파라미터 변환에 의한 부정확한 접합을 3 파라미터 모델에서 해석했을 때, 초점거리가 서로 달라짐을 보인다. 이때, IIP 의 위치는 초점거리가 같은 경우 접합 이미지에 놓인 위치와 달라진다. $f_1 > f_2$ 인 경우, 그



(a) f_1 의 초점거리가 짧은 경우 (b) f_2 의 초점거리가 짧은 경우
그림 9 IIP 가 회전 제약조건을 만족하지 못하는 경우의 실제 위치

그림 9(a)에서 보듯이, IIP 는 초점거리가 같은 경우의 위치를 기준으로 오른쪽으로 편향되고, 그림 9(b)에서는 $f_1 < f_2$ 이므로 왼쪽으로 편향된다.

접합 신뢰도가 낮은 사영행렬의 경우, 편향된 IIP 의 위치와 상관없이 이상적인 IIP 의 위치는 그림 5의 기하학적 특성을 통해 쉽게 유도된다. 두 이미지에서 초점거리를 일정하게 한 카메라 회전 모션을 가정할 때, 즉 $f_1 = f_2$ 이면 $\angle C_1IIP, C_2$ 가 θ 와 같기 때문에, C_1 과 이상적인 IIP 와의 거리는 단순히 삼각함수 공식과 회전 제약조건을 이용하여 식 (3)으로 계산한다.

$$\overline{C_1IIP} = \frac{\overline{C_1C_2}}{1 + \cos \theta} \quad (3)$$

이상적인 IIP 와 실제 IIP 의 위치는 C_1 을 기준으로 초점거리가 두 이미지에서 동일한 경우는 같으며, 다를 경우는 차이가 발생하고, 이 차이를 접합 신뢰도 측정기준으로 정한다.

연속 촬영 이미지 집합에 대한 전체 접합 신뢰도(τ)는 접합신뢰도가 높은 접합 이미지 (n 개)에 대해 C_1 과 실제 IIP 와의 거리($\overline{IIP_k}$)와 식 (3)으로 계산한 C_1 과 이상적인 IIP 와의 거리 ($\overline{IIP_k}$)의 차를 이용해 계산된다(식 (4)).

$$\tau = \sum_n \tau_k = \sum_n \left(1 - \frac{|\overline{IIP_k} - \overline{IIP_k}|}{\overline{C_1C_2}} \right) \quad (4)$$

전체 접합 프로세서의 효율성을 고려하여 근사 접합 시간을 단축하기 위해 접합 신뢰도 조사 개수는 최소로 선택되어야 한다. 보통 연속 촬영된 이미지 집합에서 접합 신뢰도가 일정 수준에 들어온 것 3개를 선택하고, 여기서 구한 초점거리의 평균을 3 파라미터 모델을 이용한 접합에 적용한다.

5.4 이미지에서의 정확한 초점거리 측정

접합 신뢰도가 높다는 것은 두 이미지에서의 초점거리가 거의 같다는 것을 의미한다. 신뢰도가 보장되면,

기하학적 해석을 통해 고정된 초점거리를 접합 이미지 상에서 구할 수 있다. 그림 5에서 C_1 , IIP , C_2 이 이루는 각은 θ 와 같음을 알 수 있다. 그래서, 회전각 θ 와 초점거리 f 는 식 (5)로 구한다.

$$f \approx \overline{C_1 C_2} \tan^{-1}(\arccos \frac{GIIP}{GIIP}) \quad (5)$$

초점거리는 접합 신뢰도에 의해 선택된 접합 이미지 상에서 정확하게 계산된다. 많은 계산 시간이 소요되는 비선형 최소화 문제를 포함한 근사 접합은 접합 신뢰도에 기반한 3-4개의 접합 이미지를 선택할 때만 사용되므로, 전체 파노라마 이미지 생성 시간에서 차지하는 비중은 낮다.

6. 실험

실험은 Pentium III 450Mhz와 128MB의 메모리를 장착한 PC에서 진행하였다. 사용 OS는 Windows NT이며, 구형 언어는 C++이다. 이미지 촬영장비는 Kodak DC50 디지털 카메라를 사용하였고, 이 카메라로 얻은 약 30장의 사진 이미지들이 사용되었다. 촬영은 카메라를 삼각대에 고정시켜 촬영하였다. 고정된 상태에서의 회전은 수평방향뿐만 아니라, 임의의 방향으로 회전하였다.

그림 10(a)는 8 파라미터 모델 기반의 접합이 잘못된 예를 보여준다. 확대된 영역을 보면 컴퓨터 본체의 앞쪽 부분이 서로 엇갈려 있는 것을 본다. 이것은 접합이 지역적 최소화 문제가 나타남을 보여준다. 접합신뢰도 추정을 위해 계산된 IIP 의 실제위치는 C_1 와 C_2 사이에 존재하는 이상적인 IIP 의 위치와 차이가 있음을 알 수 있다. 그림 10(b)는 카메라 회전 모델을 적용한 정교접합의 예를 보여준다. 회전모델을 고려하지 않은 것과 비교할 때, 컴퓨터 본체부분의 접합이 제대로 이루어진 것을 볼 수 있다. 그림 11은 접합 이미지의 질의 차이에 대한 또 다른 예를 보여준다. 신뢰성 있는 이미지 쌍에서 추출한 초점거리를 이용하여 3 파라미터 모델에 기반한 접합 과정을 거친 후의 그림 11(b)는 정확히 접합이 이루어졌음을 보이고 있다.

그림 12는 초점거리가 고정된 카메라로 촬영한 19쌍의 사진 이미지에서 Szeliski 방법과 제안 방법으로 측정된 초점거리의 변화를 각각 보여준다. x축은 실험된 이미지 쌍의 일련번호를 나타내고, y축은 추정된 초점거리를 의미한다. Szeliski 방법(검은선)보다 제안된 방법(회색선)의 편차가 더 작음을 보여준다. 그림에서 4번째 이미지 쌍과 16번째 이미지 쌍(타원)의 IIP 위치 차이가 가장 크고, 따라서 접합 신뢰도가 가장 낮다. 전체 이미



(a)

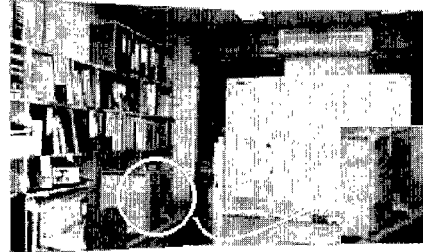


그림 10 접합 신뢰도를 통한 초점거리 측정 전의 8 파라미터 모델의 접합 이미지 (a)와 측정 후 얻은 초점거리를 통한 3 파라미터 모델 기반의 접합 이미지 (b) (예 1)



(a)



(b)

그림 11 접합 신뢰도를 통한 초점거리 측정 전의 8 파라미터 모델의 접합 이미지 (a)와 측정 후 얻은 초점거리를 통한 3 파라미터 모델 기반의 접합 이미지 (b) (예 2)

지 스트립 중 일부를 선택하는 방법은 여러가지가 있다. 본 실험에서는 정교 접합을 통해 3개의 신뢰도 높은 이미지 쌍을 찾기 위해 순서적으로 정교 접합을 하며, 그림 12에서 실험한 초점거리 측정에서는 5번째 쌍까지 접합을 수행한다. 평균 추정 초점거리는 497 (픽셀)이다. 전체 이미지 스트립에서 접합신뢰도가 좋은 모든 이미지 쌍에서 구한 초점거리의 평균은 499 (픽셀)이며 3개를 선택한 경우와 차이가 나지 않는다. Szeliski 방법[1]은 접합 신뢰도가 좋은 이미지 쌍에서도 기복이 심한 것을 볼 수 있다.

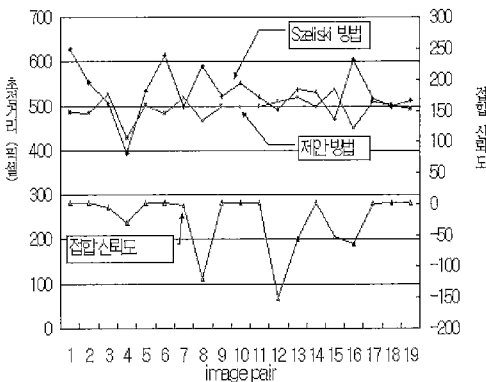


그림 12 추정된 초점거리 변화 차트

7. 결 론

본 논문에서는 카메라의 회전에 의해 연속적으로 촬영된 이미지를 이용하여 파노라마 이미지를 사용자의 개입 없이 자동으로 생성하는 기법에 대해 기술하였다. 촬영 이미지의 접합 신뢰성을 측정하기 위해 카메라와 이미지를 고려한 3차원 기하학적 모델을 통해 이미지에서 측정 가능한 2차원 사영 기하적 제약조건을 정의하고, 카메라의 임의회전축에 대해서도 정의된 제약조건이 변하지 않다는 것을 증명하였다. 이러한 제한조건을 통해 부적절한 접합을 가려내는 접합 신뢰도 측정법을 제시한다. 접합의 신뢰성이 판별된 이미지로부터 정확한 초점거리를 측정하고, 이 초점거리를 이용하여 카메라의 회전모델에 의한 정교 접합 과정을 거쳐 속도 및 접합의 질이 개선된 파노라마를 생성하고, 카메라의 움직임에 대한 제한을 일부 허용하여 좀 더 쉬운 촬영을 가능하게 한다.

그러나, 본 연구에서는 카메라의 내부 파라미터 중 초점거리만을 고려하였다. 좀 더 정확한 접합을 위해서 실제 카메라의 수학적 모델인 핀홀 카메라 모델에 렌즈에 의한 뒤틀림 현상(radial distortion)을 고려해야 한다.

따라서, 파노라마 생성과정에서 촬영 이미지로부터 렌즈의 뒤틀림 파라미터를 추출하는 연구가 추가되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] Richard Szeliski and Heung-Yeung Shum, "Creating Full View Panoramic Image Mosaics and Environment Maps," *SIGGRAPH'97*.
 [2] Chen, S. E., "QuickTime VR: An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation," *Proc. Siggraph*, ACM Press, New York, 1995.
 [3] R. Szeliski, "Video mosaics for virtual environments," *IEEE Computer Graphics and Applications*, March 1996.
 [4] <http://www.livepicture.com>
 [5] <http://www.ipix.com>
 [6] W. H. Press, B. P. Flannery, S. A. Teukolsky, and W. T. Vetterling. "Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing," *Cambridge University Press Cambridge*, England, second edition, 1992.
 [7] McMillan and G. Bishop, "Plenoptic modeling: An image-based rendering system. *Computer Graphics*," *SIGGRAPH'95*.
 [8] P. J. Burt and E. H. Adelson. A multiresolution spline with applications to image mosaics, *ACM Transactions on Graphics*, 1983.
 [9] Mengxiang Li and Jean-Marc Lavest, "Some Aspects of Zoom-Lens Camera Calibration," *CVAP*.
 [10] Olivier Faugeras, "Three-Dimensional Computer Vision," *MIT Press*.
 [11] N. Greene and P. Heckbert. Creating raster Omnimax images from multiple perspective views using the elliptical weighted average filter, *IEEE Computer Graphics and Application*, 6(6):21-27, June 1986.
 [12] G. Wolberg. Digital Image Warping, *IEEE Computer Society Press*, Los Alamitos, California, 1990.
 [13] J. Meehan. Panoramic Photography, *WatsonGuptill*, 1990.
 [14] Y. Xiong and K. Turkowski. Creating image-based VR using a self-calibrating fisheye lens, In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'97)*, pages 237-243, San Juan, Puerto Rico, June 1997.
 [15] S. Nayar. Catadioptric omnidirectional camera, In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'97)*, pages 482-488, San Juan, Puerto Rico, June 1997.
 [16] Tsai, R.Y., "A Versatile Camera Calibration Technique for High Accuracy 3D Machine Vision

Metrology Using Off-the-shelf Cameras and Lenses," *IEEE Journal of Robotics and Automation* 1983.

- [17] H.Y. Shum and R. Szeliski, Construction and refinement of panoramic mosaics with global and local alignment, In *Sixth International Conference on Computer Vision (ICCV'98)*
- [18] M.C. Chiang and T. E. Boulton. Efficient image warping and super-resolution, In *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV'96)*, pages 56-61, Sarasota, Florida, December 1996. IEEE Computer Society.
- [19] S. Chen and L. Williams. View interpolation for image synthesis, *Computer Graphics (SIGGRAPH '93)*, pages 279-288, August 1993.
- [20] S. J. Gortler, R. Grzeszczuk, R. Szeliski, and M. F. Cohen. The Lumigraph, In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series*, pages 43-54, *Proc. SIGGRAPH'96*, August 1996.
- [21] G. Stein. Accurate internal camera calibration using rotation, with analysis of sources of error, In *Fifth International Conference on Computer Vision (ICCV'95)*, pages 230-236, Cambridge, Massachusetts, June 1995.
- [22] R. Szeliski. Image mosaicing for tele-reality applications, In *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV'94)*, pages 44-53, Sarasota, Florida, December 1994. IEEE Computer Society.
- [23] Sing Bing Kang, Characterization of Errors in Compositing Panoramic Images, *CVIU*, pages 269-280, 1999



김창현

1979년 고려대 경제학 학사. 1987년 한양대 전산학 석사. 1993년 Tsukuba대 전자정보 박사 취득. 1981년 ~ 1989년 한국과학기술원 시스템공학연구소 선임연구원. 1989년 ~ 1990년 Tokyo Institute of Technology 객원연구원. 1993년 ~ 1995년 한국과학기술연구원 시스템공학연구소 책임연구원. 1993년 ~ 1995년 충남대 컴퓨터공학과 겸임교수. 1994년 ~ 1995년 한국컴퓨터그래픽스학회 총무이사. 1994년 ~ 국립중앙박물관 자문위원. 1995년 ~ 현재 고려대 컴퓨터학과 부교수. 관심분야는 도면, Multiresolution analysis and Synthesis, 얼굴 애니메이션, 다중 레인지 이미지에서의 복원, 메쉬 분할법, 사진을 이용한 모델링, 이미지 스티칭, 간략화 방법 등.



김화성

1998년 2월 고려대학교 컴퓨터학과 학사. 2000년 2월 고려대학교 영상정보처리협동과정 석사. 2000년 1월 ~ 7월 삼성전자 통신연구소 연구원. 2000년 7월 ~ 현재 비쥬텍 3D(주)HCI부 연구원. 관심분야는 이미지 기반 모델링 및 렌더링. 얼굴 표정 애니메이션, Reverse Global Illumination.