

## 주차 지원 시스템을 위한 파노라마 디스플레이

서종일\*, 김영중\*, 권구락\*, 윤상문\*\*, 홍민선\*\*, 고성제\*, 임요택\*  
 \*고려대학교 전기공학과  
 \*\*한국OMRON전장주식회사

### The Panoramic Display for a Parking Assistance System

Jong-Il Seo\*, Young-Joong Kim\*, Goo-Rak Kwon\*, Shang-Moon Yoon\*\*, Min-Sun Hong\*\*, Sung-Jea Ko\*, Myo-Taeg Lim\*  
 \*Department of Electrical Engineering, Korea University  
 \*\*OMRON Automotive Electronics Korea Co. Ltd.

**Abstract** - 이 논문에서는 디지털 영상 기기의 발전과 함께 화질의 선명도와 해상도가 향상되면서 더 많은 영상 정보를 한 화면에 담고자 하는 시도로써 파노라마 영상 합성기법을 차량 주차시 운전자의 넓은 영상확보를 위해 구현하였다. CCD 카메라 장비를 이용하여 촬영 기술상의 제한 또는 요구 없이 획득되는 영상 시퀀스로부터 영상을 분석하고 합성한다는 전제하에 이루어졌으며, 카메라 움직임의 모델링, 변환식에 의한 합성 영상의 재구성, 후처리 문제 등 시스템 전반을 다루었다.

#### 1. 서 론

차량의 전·후방주차시 차량의 주차확보상태를 운전자가 영상을 통해서 넓은 시야로 확인할 수 없는 한계를 갖는다. 이 문제를 해결하기 위해 각각의 부분을 촬영한 영상을 합성하여 전체적인 주차공간의 모습을 재구성함으로써 운전자에게 보다 넓은 시야를 제공하는 영상 기법이 파노라마이다. 카메라를 좌우로 움직이면서 촬영하는 경우 각 부분 영상들을 포함하는 여러 프레임들을 조합하여 전체 영상으로 재구성하는 파노라마 영상 재구성은 각 프레임들간의 확대 배율 차이, 중심과 가장자리 부분간의 기하학적 왜곡, 그리고 움직이는 카메라에 의한 영상 변형 현상 등을 보정, 해결해주는 연구와 함께 프레임들을 변환하여 재구성해주기 위한 연구가 수행되어 야한다. 현재 파노라마 이미지를 생성하는 많은 기술이 개발되고 있다.

파노라마 생성방법은 크게 하드웨어 의존적인 방법과 이미지 모자의 방법으로 나눈다. 하드웨어 의존적인 방법으로는 긴 필름을 사용하는 파노라마 카메라를 사용하여 실린더 파노라마 이미지를 직접 캡처하거나 어안 렌즈를 사용하는 방식, 그리고 거울표면의 피라미드나 파라볼릭 거울을 이용하는 방식이 있으며, 모두 특별한 촬영장비를 사용한다. 하드웨어 비의존적인 이미지 모자의 방법은 넓은 시야를 커버하기 위해 범용 사진기나 비디오 촬영기를 이용하여 연속된 촬영을 하고, 접합을 통해 이미지들을 정렬, 합성하여 파노라마 이미지를 생성하는 방법이다. 촬영장치가 대중적이고, 고해상도의 파노라마를 얻을 수 있다는 장점 때문에 후자의 방법이 선호된다. 본 논문에서는 이미지 대응관계에 필요한 파라미터의 수를 줄여 8 파라미터 파노라마 생성, 초점거리 측정, 그리고 3파라미터 파노라마 생성의 3단계 과정을 거치는 빠르고 정교한 파노라마 생성 방법을 제안한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 이미지로부터 초점거리 측정

카메라의 회전에 의해 만들어지는 파노라마는 실시간 시각화를 위해 실린더나 구에 매핑되어야 한다. 즉, 파노라마의 시각화를 위해 카메라의 초점 거리를 알아야 한다. McMillan[6]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 수형 회전 파노라마만 시각화한다.

Szeliski[5]는 이러한 한계를 극복하고, 제한된 시각도를 가지는 파노라마를 위한 초점거리 측정 방법을 제시하고, 이 초점거리를 이용하여 빠르고 견고한 3 파라미터 파노라마 생성 방법을 제안한다.

##### 2.2 시스템 개요 및 특징

본 논문에서 제안하는 방법은 일련의 촬영 이미지 집합에서 8파라미터 변환 모델에 기반한 접합을 통해 접합 신뢰도가 높은 이미지를 선택하는 과정과 선별된 접합 이미지로부터 초점거리를 측정하는 과정, 그리고 3파라미터 변환 모델에 기반한 접합 과정으로 크게 나눌 수 있다. 8파라미터 변환에 기반한 접합 과정은 신뢰성이 검증된 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.

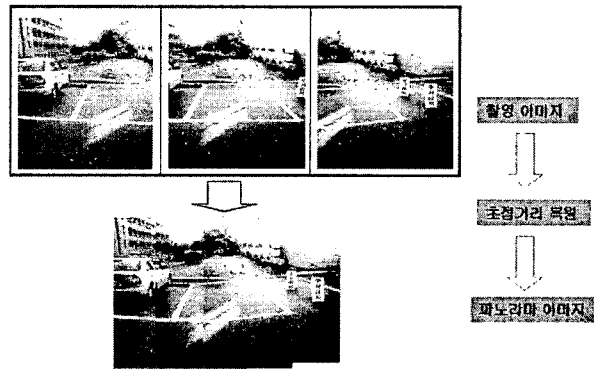


그림 1. 시스템 개요도

기존의 8 파라미터 파노라마 생성 방법은 대략 80-90% 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 파라미터 모델을 이용해서 근사적으로 접합된 이미 중 접합의 질이 높은 이미지를 선택하고, 검증된 이미지쌍 2-3개에서 초점거리를 계산한다. 계산된 초점거리는 3 파라미터 파노라마 생성에 이용된다. 3파라미터 파노라마는 8 파라미터 파노라마를 위해 사용한 기법에 비해 최적의 해에 빠른 수렴을 보이며, 잘못된 해로 수렴할 확률을 줄인다.

#### 2.3 이미지 변환과 접합 알고리즘

##### 2.3.1 이미지 변환 모델

이미지 사이의 대응관계는 2차원 사영 기하에서의 좌표 변환 관계로 나타낸다. 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[5]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 8파라미터 모델이라 하고, 식(2)를 3파라미터 회전 모델이라 한다. 두 모델의 차이는 카메라에 대한 기하학적 해석 유무에 있고, 각각의 변환 모델에 의해 생성된 파노라마 모자이크를 각각 8파라미터 파노라마, 3파라미터 파노라마라 한다.

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

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

##### 2.3.2 접합 알고리즘

접합 알고리즘은 이미지의 계층적 매칭과 비선형접합으로 나눈다. 두 방법을 각 이미지 쌍에 적용하여 8파라미터 변환 관계들을 도출하고, 단일 좌

표제로 정렬시킨 후 파노라마를 생성한다.

첫째로, 이미지의 계층적 매칭(Hierarchical Matching)은 고정된 카메라 시점에서 회전 촬영된 연속 이미지를 수작업 없이 매칭하기 위해 본 논문에서는 이미지 사이의 시각적 공통 부분을 이용하여 이미지의 명도(intensity) 비교를 통한 자동 매칭 방법[7]을 일차적으로 사용한다. 이 방법은 해상도별 이미지를 만드는 피라미드 방법과 연속된 이미지를 저해상도에서 고해상도로 비교해 나가는 단단계 매칭 기법으로 구성된다.

두 번째로는, 비선형 접합이다. 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[8]을 사용한다. 이 알고리즘은 이미지 명도 어려움에 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. 비선형 방법에 의한 지역적 최소화 문제로 인해 생기는 접합 결과를 보여준다. 전체적인 이미지는 이미지1의 좌표계를 이미지2의 좌표계로 변환시켜 투영한 접합 이미지를 의미하고, 접합 이미지에 나타난 두 개의 사각형 지역은 잘못된 접합으로 인해 시각적으로 어긋나 있다.

### 2.4 이미지 접합 신뢰도 및 초점거리 측정

3파라미터 모델을 적용한 파노라마를 생성하기 위해 초점거리를 측정해야 한다. 초점거리는 파노라마를 구성하는 일반 촬영 이미지 각 쌍마다 도출되는 8파라미터 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. 두 장의 인접 이미지 쌍 ( $I_i, I_{i+1}$ )에 대해 각각 사영행렬(projective matrix),  $IIP$ (image intersection point), 접합 신뢰도(stitching reliability)를 구한다.

```

1 load_images();
2 for ( int i=0 ; i<n; j++)
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 2. 메인 알고리즘

라인 9에서 이미지 쌍에 대한 접합 신뢰도를 비교하여 접합 신뢰도가 우수한 쌍을 선택하고, 라인 10에서  $IIP$ 에 기반한 초점거리를 추출한다. 마지막으로 라인 11에서 3 파라미터 모델을 적용한 사영 행렬을 구하고, 파노라마 이미지를 생성한다.

#### 2.4.1 이미지에서의 정확한 초점거리 측정

접합 신뢰도가 높다는 것은 두 이미지에서의 초점거리가 거의 같다는 것을 의미한다. 신뢰도가 보장되면, 기하학적 해석을 통해 고정된 초점거리를 접합 이미지상에서 구할 수 있다.

회전각  $\theta$ 와 초점거리  $f$ 는 식 (3)로 구한다.

$$f \approx \frac{C_1 IIP}{C_2} \tan^{-1}(\arccos \frac{C_1 IIP}{C_1 IIP}) \quad (3)$$

초점거리는 접합 신뢰도에 의해 선택된 접합 이미지상에서 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.

#### 2.4.2 IIP의 정의 및 위치계산

$IIP$ 는 3차원 상에 카메라의 회전에 의해 나타내는 평면과 두 이미지 평면의 교점으로 정의한다. 그림3은 고정된 초점거리  $f$ 와 고정된 투영점(center of projection)  $O$ 를 가진 카메라가 3차원 상에서  $COP, C_1, C_2$ 가 이루는 평면에서  $\theta$ 만큼 회전했을 때의 그림을 이차원으로 도식화하였다. 이때,  $IIP$ 는 두 이미지 평면  $I_1, I_2$ 의 교선과 삼각형  $\triangle OC_1 C_2$ 의 평면과의 교점으로 정의된다.

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

에서 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,  $IIP$ 에서 확대/축소 현상이 나타나지 않는다. 이 성질을 이용하여 일정거리의 픽셀을 사영행렬에 의해 변화된 위치와 비교하여 투영 이미지 상에서  $IIP$ 의 위치를 찾는다.

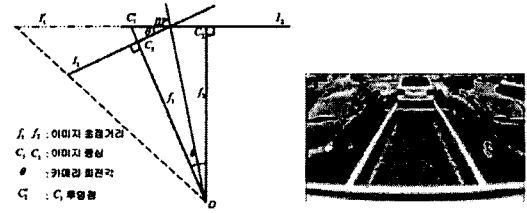


그림 3. 두 장의 이미지 접합에 대한 카메라 및 이미지의 2차원 도식

## 3. 실험 결과 및 결론

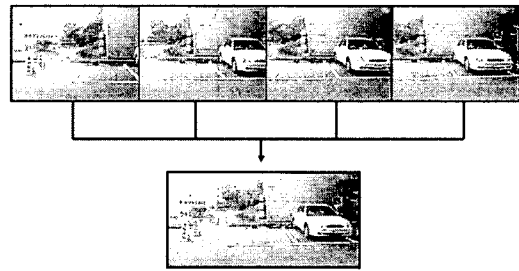


그림4. 측정 후 얻은 초점거리를 통한 3파라미터 모델 기반의 접합 이미지

실험은 실제 주차장 공간에서의 영상을 대상으로 이루어졌다. 일반적으로 파노라마의 대상이 되는 영상은 좁은 공간 영역에서 복잡한 카메라 움직임 을 통해 얻어진 것들보다는 비교적 넓은 영역에서 일관성있는 카메라 움직임을 통하여 얻어진 영상들이다. 파노라마 영상 합성의 결과는 수평이동이 주가 되고 약간의 초점 거리 이동이 고려되도록 하였다.

카메라의 움직임이 비교적 단순하다는 점, 즉 움직임의 방향과 크기에 변화가 크지 않다는 점은 움직임 정보를 추출하기가 비교적 용이하다는 장점으로 작용한다. 그러나, 차량 주차 시 카메라의 급격한 움직임에 의해 영상의 흐려짐(blur) 현상이 결과에 미치는 영향은 상당히 크다. 이는 역동적인 대상의 촬영에서 피할 수 없는 문제이기 때문에 파노라마 영상 합성시스템에서 이를 해결하여야 한다.

또한, 본 논문에서 제안한 방법은 초점 거리에 대한 가정 때문에 주밍에 취약하다는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 주밍의 비중이 큰 시퀀스의 경우, 변환 계수에 그 영향을 적절히 반영하는 처리가 필요하다.

마지막으로, 전체 시스템의 속도 향상을 위한 다양한 최적화 기법이 요구된다. 이러한 점들을 고려하여 시스템의 성능을 개선하고 안정화한다면 실제 차량 주차 시 매우 효과적으로 적용할 수 있을 것이다.

### [참고 문헌]

- [1] A. Zomet and S. Peleg, "Applying super-resolution to panoramic mosaics," in Proceedings Fourth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV'98), Los Alamitos, CA, pp.99-104, Dec.1998
- [2] S. Peleg, M. Ben-Ezra, and Y. Pritch, "Omnistereo: panoramic stereo imaging," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol.23, no.3, pp. 279-290, Mar. 2001.
- [3] A.Agrawal, R. Raskar, and R. Chellappa, "Edge suppression by gradient field transformation using cross-projection tensor," in Proc. IEEE Int. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, vol.2, no.3, pp. 23 01-2308, New York, USA, June 2006.
- [4] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, digital Image Processing, Reading, MA: Addison Wesley, 1993.
- [5] R. Szeliski, "Video mosaics for virtual environments," IEEE Comput Graphics and Applications, March 1996.
- [6] McMillan and G. Bishop, "Plenoptic modeling: An image-based rendering system. Computer Graphics," SIGGRAPH'95.
- [7] P. J. Burt and E. H. Adelson. A multi-resolution spline with applications to image mosaics, ACM Transactions on Graphics, 1983.
- [8] 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.