

곡률 기반 영상의 공간적 관계 측정 방안 연구

강동진, 이의상, 김준식, 김규현
경희대학교

cpffp0729@khu.ac.kr, euisang91@khu.ac.kr, junsik@khu.ac.kr, kyuheonkim@khu.ac.kr

A Study on Measuring Spatial Relationship of Images Using Curvature

Dongjin Kang, Euisang Lee, Junsik Kim, Kyuhoen Kim
Kyunghee University

요 약

영상 디스플레이 기술이 발전하며 대화면 디스플레이에 대한 제품이 시작에 제공되기 시작함에 따라, 이러한 대화면 디스플레이에서 소비될 수 있는 콘텐츠에 대한 연구개발 또한 활발히 이루어지고 있다. 이와 같은 대화면 디스플레이에서 소비될 수 있는 대표적 미디어 형태는 파노라마 영상이라고 할 수 있다. 이에 본 논문에서는 볼록정다수로부터 입력되는 영상을 기반으로 파노라마 영상을 합성하기 위한 첫 단계로, 영상의 유사도를 평가하여 영상 간 상대적 위치 관계를 측정하는 방안을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 영상 상대적 위치 관계 측정 방안은 선 혹은 면이 휘어져 있는 정도를 의미하는 곡률을 활용한 유사도 측정 방식을 포함한다. 본 논문에서는 곡률을 기반으로 영상의 공간적 관계를 측정하는 알고리즘을 제안하였고, 임의로 촬영한 영상을 사용한 실험으로 알고리즘의 성능을 검증하였다.

1. 서론

영상 디스플레이 기술은 기업, 대학, 연구기관 등에서의 다양한 연구개발로 인해 그 동안 눈부신 발전을 거듭해왔다. 끊임 없이 발전하는 디스플레이 기술에 맞춘 콘텐츠를 제공하기 위한 콘텐츠 제작 기술 및 서비스 플랫폼에 대한 연구개발 또한 활발히 이루어져왔다.

또한, 네트워크 기술의 발전은 미디어의 생성 및 소비 방식에 많은 변화를 가져왔다. 종래의 미디어 소비 방식은 주로 서비스 제공자인 방송사 등이 제작한 콘텐츠를 소비자가 일방적으로 받아드리는 방식이다. 하지만, 네트워크 기술의 발전으로 콘텐츠를 제작하는 주체가 전문 장비를 소지한 방송사뿐 아니라, 개인이 콘텐츠를 제작하고 방송하는 1 인 방송을 비롯하여 다양한 소비자가 촬영한 콘텐츠를 방송 콘텐츠와 함께 제공하는 서비스 또한 개발되었다.

이와 같은 디스플레이 기술의 발전과 네트워크 기술의 발전은 기존에 제공하던 서비스에서 한층 더 발전한 서비스의 제공을 가능케 하였다. 특히, 기존의 제한된 카메라 시야각을 극복하고, 광시야각의 영상을 제공하는 파노라마 기술과 네트워크 기술의 결합이 주목된다.

종래의 파노라마 기술은 사전에 엄격하게 제작된 카메라 셋을 기반으로 하여 영상 간 위치정보를 정확히 알고 있는 상황에서 특징점 등을 활용한 영상 정합으로 파노라마 영상을 생성하는 기술이었다. 이와 같은 방식은 사전에 제작한 카메라 셋을 필요로 하기 때문에, 단일 제작자 밖에 콘텐츠 제작에 참여할 수 없는 문제점이 존재한다. 이에, 본 논문에서는 파노라마 영상을 제작하기 위해 영상의 상호 위치 관계를 판별하고 공간적 관계를 측정하는 방안을 제안하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 방안은 영상 내 곡률을 분석하고, 일치하는

곡률 포인트를 추출하여 매칭하는 방식을 포함한다. 이와 같은 기술의 제안을 위해, 2 장에서는 본 논문과 관련된 기술에 대하여 소개하고, 3 장에서 곡률을 기반으로 한 영상의 공간적 관계 측정 방안에 대하여 자세히 설명하며, 4 장에서 결론을 짓는다.

2. 관련 기술

울트라 와이드 뷰잉 서비스를 위한 공간 유사도 맵 생성 방안[1]은 히스토그램을 이용하여 영상간의 유사도를 판별하고, 유사도를 기반 하여 영상 유사도 맵을 생성한다. 영상을 색 공간과 주파수 공간에서 히스토그램화 시킨 후 히스토그램 매칭 방법을 이용한다. 히스토 그램 매칭을 하기 위해 Bhattacharyya 거리 측정 방법을 사용하여 유사도를 판별한다. Bhattacharyya 거리 측정 알고리즘은 연속적 혹은 불연속적인 두 확률 분포의 유사성을 측정하는 통계적 확률 계산이다.[2] Bhattacharyya 거리 측정 방법을 사용한 히스토그램 매칭 결과가 0 에 가까울수록 유사한 영상으로 판단한다. 기준 영상과 비교 영상에 대해 히스토그램 매칭을 한 후 결과 값이 문턱 값을 넘는지 판단한다. 일정 문턱 값을 넘지 못한다면, 영상을 분할하여 히스토그램 매칭을 반복한다. 색 공간에서 문턱 값을 넘는 영역에 대해 주파수 공간에서 히스토그램 매칭을 수행 하여 정확도를 높이는 작업을 한다. 해당 방법은 공간 영상 맵을 생성하여 스티칭 작업을 수행할 때 걸리는 시간을 줄여주는 역할을 한다. 영상을 히스토그램화 시키고 비교하기 때문에 계산량이 적어 속도가 빠르다는 장점이 있다. 하지만 영상을 히스토그램화 시키는 작업에서 영상이 가지는 픽셀 정보를 잃어버린다. 따라서 정확도 떨어진다는 단점이 있다.

3. 곡률 기반 영상 유사도 탐색

곡률(curvature)은 선 혹은 면이 휘어져 있는 정도 즉, 굽은 정도를 의미한다. 곡률은 구하고자 하는 물체의 상태와 환경의 상황에 따라 다르게 정의될 수 있으므로, 사용되는 분야에 따라 다양한 종류의 곡률을 정의할 수 있다. 예를 들어 2 차원 평면에서의 곡률을 구하기 위해서는 접촉원(osculating circle)을 정의해야 한다.

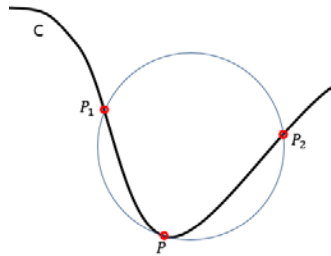


그림 1. 접촉원 위의 세 점 P_1, P_2, P

접촉원은 접선과 유사한 개념이다. 접선이 곡선의 아주 짧은 구간을 직선으로 고려하는 것처럼 곡선의 아주 짧은 구간을 원으로 고려하여 표현한 것이다. 그림 1 과 같이 곡선 C 위의 세 점 P_1, P_2, P 를 가정하자. 이때 P_1 과 P_2 가 P 에 한없이 가까워 질 때 생기는 원을 접촉원이라 한다. 즉, 점 P 를 기준으로 곡선의 아주 짧은 구간을 교차하는 원이 바로 접촉원이다.

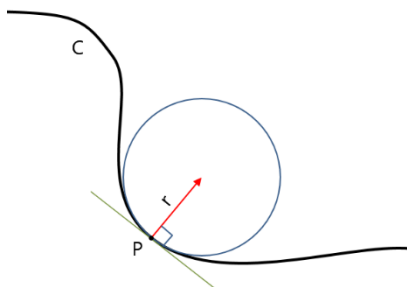


그림 2. 접촉원과 곡률

접촉원을 정의하면, 평면에서의 곡률을 구할 수 있다. 그림 2 는 곡선 C 위 점 P 에서의 접촉원을 나타낸 것이다. 이때 곡률은 접촉원의 반지름 r 의 역수로 표현한다. 즉, 곡률 k 는 $k = \frac{1}{r}$ 로 나타낼 수 있다. 이처럼 2 차원 평면에서의 곡률은 스칼라 값을 갖는다. 하지만 3 차원 혹은 n 차원 물체의 경우 휘어진 방향과 정도를 함께 표현할 수 있는 곡률 벡터를 정의하여 표현한다. 본 논문에서는 Gray scale 영상을 이용하여 곡률을 계산하므로 3 차원의 물체를 다루게 되므로 곡률 벡터를 구하여 이용할 것이다.

3 차원 공간에 존재하는 곡면 상 점 P 는 항상 곡면과 수직인 법선 벡터(Normal vector)를 갖는다. 이때 법선 벡터가 포함된 평면을 법선 평면(Normal plane)이라 하며, 법선 평면들은 곡면과 절단 선(Normal section)을 이루게 된다. 상기 절단 선을 이용해 구한 곡률을 법선 곡률(Normal curvature)이라 한다. 법선 곡률 중 최대, 최소 값을 주 곡률(Principal curvature) [3] 이라 하고, 주곡률을 갖는 법선 평면을 주 곡률 평면(Plane of principal curvature)이라 한다. 그림 3 은 곡면 상 특정 점의 법선 벡터를 지나는 주 곡률 평면과 접평면(Tangent plane)을 나타낸 것이다.

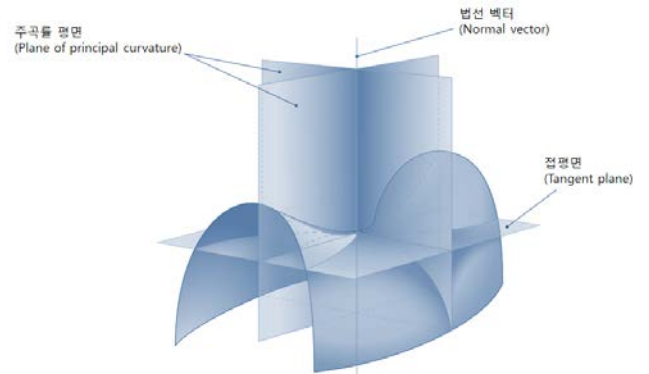


그림 3. 안장 표면 기반 주 곡률 평면과 법선 벡터 표현

본 논문에서는 영상의 픽셀이 가지는 값들을 활용하여 3 차원 곡면을 생성한 후, 주 곡률을 사용하여 영상간 유사도 평가를 진행한다. 그림 4 는 곡률을 기반으로 영상간 관계를 찾는 시퀀스 다이어그램이다. File Input Module 과 File Conversion Module 을 통해 관계를 파악하고자 하는 영상들을 입력 받아 Gray scale 로 변환한다.

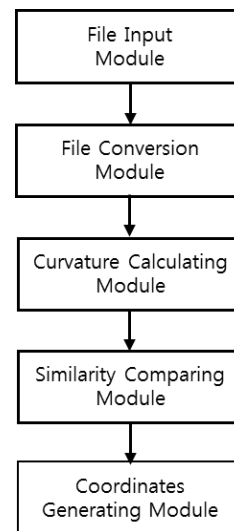


그림 4. 곡률기반 영상 유사도 평가 시퀀스 다이어그램

그림 5 는 Test Set 을, 그림 6 은 Test Set 을 Gray scale 이미지로 변환한 후 Gray 값을 3 차원으로 표현한 것이다. Curvature Calculating Module 은 Gray scale 이미지를 입력으로 받아, 각 픽셀들이 가지는 gray 값을 통해 곡면을 생성한다.



그림 5. Test Set

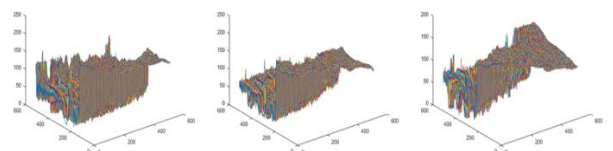


그림 6. 테스트 이미지의 Gray 값 3 차원 표현

Curvature Calculating Module에서는 3 차원 공간에서 존재하는 곡면의 곡률을 구하는 방법을 이용하여 곡률 값을 계산한다. 3 차원 공간에 존재하는 곡면은 u, v 를 매개변수로 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.[4]

$$C(u, v) = \begin{pmatrix} x(u, v) \\ y(u, v) \\ z(u, v) \end{pmatrix} \quad (1)$$

이때 (u, v) 의 접평면은 식 (2)와 같이 두 개의 독립적인 벡터로 나타나게 된다.

$$T_1(u, v) = C_u(u, v) = \begin{pmatrix} x_u(u, v) \\ y_u(u, v) \\ z_u(u, v) \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$T_2(u, v) = C_v(u, v) = \begin{pmatrix} x_v(u, v) \\ y_v(u, v) \\ z_v(u, v) \end{pmatrix}$$

또한 법선 벡터는 식 (3)과 같이 주어진다.

$$\hat{N}(u, v) = \frac{C_u \times C_v}{|C_u \times C_v|} \quad (3)$$

정의에 따라 접평면과 법선 평면은 $T_1 \cdot \hat{N} = T_2 \cdot \hat{N} = 0$ 관계를 갖는다. 상기한 개념을 기반으로 접평면 상에서 임의의 벡터 $a = a_1 T_1 + a_2 T_2$ 를 취할 때, \hat{N} 과 a 에 걸쳐 생성되는 평면은 $C(u, v)$ 를 가로질러 선 $C_a(s)$ 를 생성한다. a 는 두개의 기저 벡터로 결정되므로, $C_a(s)$ 의 곡률은 식(4)와 같이 2 차원으로 얻을 수 있다.

$$k_a(u, v) = \frac{\hat{N}(u, v) \cdot \ddot{C}_a(s)}{|C_a(s)|^2} \quad (4)$$

이때 Weingarten Mapping 을 이용하여 곡률 값을 구할 수 있다. 먼저, 매개 변수 공간에서의 움직임을 곡면 상의 움직임을 매핑하는 기본 형식을 식 (5)와 같이 정의할 수 있다.

$$F1 = \begin{pmatrix} C_u \cdot C_u & C_v \cdot C_u \\ C_u \cdot C_v & C_v \cdot C_v \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$F2 = \begin{pmatrix} \hat{N} \cdot C_{uu} & \hat{N} \cdot C_{uv} \\ \hat{N} \cdot C_{vu} & \hat{N} \cdot C_{vv} \end{pmatrix}$$

이제 상기 맵을 통해 접선 방향이 법선 방향으로 바뀌게 된다. Weingarten mapping matrix는 식(6)과 같이 정의할 수 있다.

$$H = F1^{-1}F2 \quad (6)$$

상기 행렬은 매개변수를 따라 곡면 모든 곳에서 정의될 수 있다. 이는 식 (7)과 같이 표현 된다.

$$H = E \begin{pmatrix} k_{max} & 0 \\ 0 & k_{min} \end{pmatrix} E^T \quad (7)$$

이 때 k_{max} 는 접선 방향을, k_{min} 은 그 수직 방향을 향하게 된다.

그림 7 은 그림 5 의 테스트 영상의 주 곡률값인 k_{max}, k_{min} 값을 그래프화 시킨 것이다. 계산된 k_{max}, k_{min} 은 Similarity Comparing Module 로 전달되어 영상간 유사도 판별을 하는데 사용된다.

Similarity Comparing Module에서는 다음과 같이 5 가지의 과정을 거쳐 영상간 공간적 관계를 파악한다.

- Step 1. 영상 모서리에 해당하는 주 곡률 값 제거
- Step 2. k_{max}, k_{min} 의 최대값에서 일정 범위 이내의 곡률 값 추출
- Step 3. 추출된 주 곡률 값의 이상치 제거
- Step 4. 선택된 k_{max} 의 좌표 값들과, k_{min} 의 좌표 값들의 거리가 일정 범위 이내의 좌표 값 선택
- Step 5. 최종적으로 선택된 좌표들의 평균 값을 이용하여 영상간 관계 도출

Step 1 은 영상 모서리에서 추출된 k_{max}, k_{min} 값을 제거한다. 영상간 공간적 관계 파악의 효율성을 높이기 위해, 영상 모서리 부분에서 겹치는 부분은 무시한다. 또한 영상 외각에서 물체의 경계가 생기는 경우, 불가피하게 절대값이 높은 k_{max}, k_{min} 이 발생하기 때문에 이를 제거한다. 본 논문에서는 영상의 x 좌표 범위를 $30 < x < width - 30$, y 좌표 범위를 $30 < y < height - 30$ 으로 하여 외각의 곡률 값을 제거 한다.

Step 2 는 추출한 k_{max}, k_{min} 중 유효한 값을 찾아 영상간 공간 관계를 파악하기 위해, 최대 값을 찾은 후 최대 값으로부터 일정 차이 이내의 값들을 추출한다. 본 논문에서는 k_{max}, k_{min} 의 절대값의 최대값을 찾은 후 1/4 되는 값을 기준으로 삼았다. k_{max}, k_{min} 의 최대값을 각각 Mk_{max}, Mk_{min} 이라 하였을 때, $Mk_{max} - k_{max} < 0.25Mk_{max}, Mk_{min} - k_{min} > 0.25Mk_{min}$ 를 만족하는 k_{max}, k_{min} 의 좌표를 찾는다.

Step 3 은 Step 2 를 거쳐 필터링된 곡률 값의 좌표들 중 이상치 값들을 제거 한다. 2 차원 평면에서의 x, y 좌표들의 분포를 파악한 후 좌표 값들 사이의 거리가 일정 거리 이상이면 해당 좌표는 이상치 값으로 파악한 후 제거한다. 본 논문에서는 Mahalanobis Distance [5]를 활용하여 이상치를 제거 하였다. 식 (8)은 두 점 A 에서 B까지의 Mahalanobis Distance 를 나타낸다.

$$D(A, B) = \sqrt{(A - B) \sum^{-1} (A - B)^T} \quad (8)$$

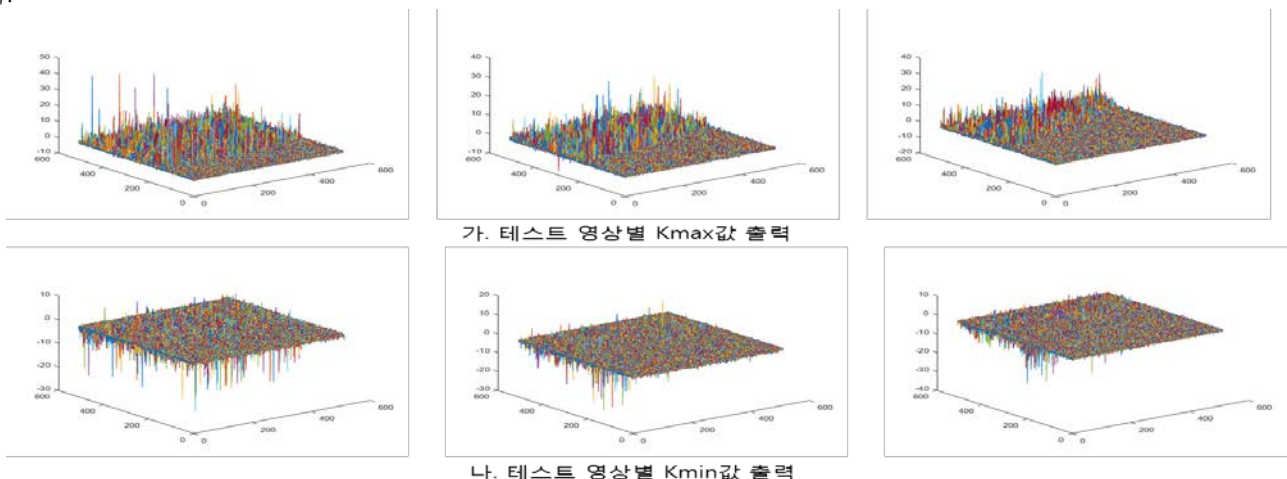


그림 7. 테스트 영상의 주 곡률 값 출력 그래프

Mahalanobis Distance 는 유클리디안 거리를 다차원 공간으로 확장한 것으로써, 확률 분포를 고려하여 공분산 행렬을 사용한다. 식 (8)에서 공분산 행렬이 단위행렬인 경우, Mahalanobis Distance 는 Euclidean distance [6]와 같게 된다.

Step 4 는 Step 3 까지의 과정을 거쳐 추출된 k_{max} , k_{min} 을 활용하여 영상간 공간 관계 파악의 정확도를 높여준다. k_{max} 에서 추출된 좌표들과 k_{min} 에서 추출된 각 좌표들의 차이가 일정 값 이상인 경우는 제외 시켜준다. 본 논문에서는 영상의 가로, 세로사이즈의 4%를 기준으로 잡아 실험을 진행하였다.

Step 5 는 최종적으로 선택된 곡률들의 좌표들을 이용하여 영상간 위치 관계를 도출한다. 좌표들의 평균을 이용하여 영상이 매칭될 좌표를 구한다. Step 5 까지의 수행 결과로 구해진 그림 9 의 Img1, Img2 좌표 값을 동일한 지점으로 판단한 후 영상을 오버랩 시킨다.

그림 8 은 Similarity Comparing Module 결과를 나타낸다. 그림 5 의 Test Set 의 각 영상들의 공간적 관계를 파악하여 해당 각 영상들을 각 영상의 위치에 오버랩 시킨 그림이다. 그림 5 의 Test Set 을 이용하여, File Input Module 부터 각 모듈을 거쳐 Similarity Comparing Module 을 검증 하였다.



그림 8. 영상간 위치 관계 파악 결과

마지막으로, Coordinates Generating Module 은 Similarity Comparing Module 결과로 나온 각 영상의 위치를 출력장치의 픽셀 좌표에 맞게 출력한다. 그림 9 는 입력 영상과 각 영상의 좌표 출력 결과를 나타낸다. 각 영상의 위치 좌표는 영상간의 위치 관계 파악을 기반으로 영상의 크기를 이용하여 픽셀 좌표로 표현한다.



그림 9. 입력 영상 및 영상의 좌표 출력 결과

4. 결론

본 논문에서는 영상간 공간적 관계를 측정하기 위한 방법으로 곡률을 사용하였다. 영상을 Gray Scale 이미지로 변환 시킨 후 각 픽셀들이 가지는 값을 활용하여 3 차원 공간에서의 곡률을 구하고, 곡률 값의 비교를 통하여 영상간의 공간적 좌표를 생성할 수 있는 시스템을 설계 하였다. 영상간의 공간적 관계를 기반으로 영상정합을 수행한다면, 기존 입력영상을 전처리 작업 없이 진행했을 때에 비해 시간이 단축된다. 따라서 본 논문에서 제안한 기술을 활용하여 소비자에게 실감있는 영상 및 서비스를 제공할 수 있게 된다.

향후 곡률 기반 영상의 공간적 관계를 측정하는데 있어, 정확도를 높이는 연구를 진행할 예정이다.

* 이 논문은 2017 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임. (No.2015-0-00231, 퍼즐형 Ultra-wide viewing 공간 미디어 생성 및 소비 기술 개발)

5. 참고문헌

- [1] E. Lee, D. Kang and K. Kim, "Generation of Spatial Adjacency Map and Contents File Format for Ultra Wide Viewing Service", Journal of Broadcasting Engineering, vol. 22, no. 4, pp473-483, July, 2017
- [2] T. Kailath, The Divergence and Bhattacharyya Distance Measures in Signal Selection, IEEE Transactions on Communication Technology, Volume: 15, Issue: 1, February 1967
- [3] ALLAN GREENLEAF, Principal Curvature and Harmonic Analysis, Vol. 30, No. 4 (July-August, 1981), pp. 519-537
- [4] Hagen, H., Pottmann, H.: Curvature continuous triangular interpolants. In: Lyche, T., Schumaker, L. L. (eds.) Mathematical methods in computer aided geometric design, pp. 373-384. New York: Academic Press 1989.
- [5] R.De Maesschalck, D.Jouan-Rimbaud, D.L.Massart, The Mahalanobis distance, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Volume 50, Issue 1, 4 January 2000, Pages 1-18
- [6] Per-ErikDanielsson, Euclidean distance mapping, Computer Graphics and Image Processing, Volume 14, Issue 3, November 1980, Pages 227-248