

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제23권 제2호, 2018년 3월 (JBE Vol. 23, No. 2, March 2018)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2018.23.2.227>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

스티칭 영상의 객관적 영상화질의 평가 방법

미어 사데크 빌라흐^{a)}, 안 희 준^{a)†}

Objective Quality Assessment Method for Stitched Images

Meer Sadeq Billah^{a)} and Heejune Ahn^{a)†}

요 약

이미지 스티칭 기술은 일반 카메라로부터 촬영된 영상을 파노라마와 같이 넓은 화각(Field of View)으로 만들어주는 기술이다. 약 20년정도 연구되어 왔으며, 최근에 특히 상용화 시스템들이 소개되고 있다. 그러나, 많은 제안된 알고리즘에도 불구하고 객관적인 품질 평가 방법이 개발되지 않았으므로 알고리즘의 비교는 거의 주관적인 방식으로만 수행되었다. 이 논문은 스티칭 또는 워핑된 이미지의 기하학적 및 광도 측정 왜곡을 평가하기 위한 Delaunay 삼각분할방식을 사용하여 객관적 평가 방법을 제안한다. 기준 이미지와 대상 이미지는 두 이미지 사이의 일치 지점을 기반으로 하는 델라 네이 - 삼각 측량에 의해 세그먼트화되고, 평균 유클리드 거리가 기하학적 왜곡 측정에 사용되며, 측광 측정을 위한 PSNR의 평균 또는 막대 그래프가 사용된다. 우리는 몇 가지 테스트 이미지와 스티칭 방법을 통해 예비 결과를 보여줌으로써 이점과 적용을 입증한다.

Abstract

Recently, stitching techniques are used for obtaining wide FOV, e.g., panorama contents, from normal cameras. Despite many proposed algorithms, the no objective quality evaluation method is developed, so the comparison of algorithms are performed only in subjective way. The paper proposes a 'Delaunay-triangulation based objective assessment method' for evaluating the geometric and photometric distortions of stitched or warped images. The reference and target images are segmented by Delaunay-triangulation based on matched points between two images, the average Euclidian distance is used for geometric distortion measure, and the average or histogram of PSNR for photometric measure. We shows preliminary results with several test images and stitching methods for demonstrate the benefits and application.

Keyword: Quality assessment, objective measure, image stitching, panorama, reference based

a) 서울과학기술대학교 전기정보공학과(Seoul National University of Science and Technology, Department of Electrical and Information Engineering)

† Corresponding Author : 안희준(Heejune Ahn)

E-mail: heejune@seoultech.ac.kr

Tel: +82-2-970-6543

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1271-9998>

※ 본 연구는 2017년 한국방송·미디어공학회 추계학술대회 논문(스티칭 영상의 객관적 영상화질의 평가 방법)에 기반하여 확장한 결과임. 본 연구는 과학기술정보통신부, 정보통신기술진흥센터 (Ministry of Science and ICT, IITP) 방송통신산업기술개발사업의 지원을 받았음. (시청자 이동형 자유시점 360VR 실감미디어 제공을 위한 시스템 설계 및 기반기술 연구 (2016-0-00144))

※ This work was supported by Institute for Information & Communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2016-0-00144, Moving Free-viewpoint 360VR Immersive Media System Design and Component Technologies).

· Manuscript received December 29, 2017; Revised March 8, 2018; Accepted March 8, 2018.

Copyright © 2016 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

"This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered."

1. 서론

20세기들어 디지털 카메라 또는 카메라 기능이 탑재된 휴대용 장치의 가격과 성능이 급격히 향상되어 왔다. 카메라 기능이 처음 포함된 초기 휴대폰의 카메라 해상도는 겨우 몇 만 화소였으나, 2017년 현재는 1000만화소대의 카메라가 장착된 휴대폰이 출시되고 있다. 사람의 바라는 끝이 없어서, 이러한 해상도의 증가에 만족하지 않고, 콘텐츠 제작자가 정한 각도에서 뿐 아니라, 시청자가 원하는 다양한 각도에서 영상을 보고 싶어하게 되었다. 카메라에 담고 싶어 하게 되었다. 그러나 전통적인 구조를 사용하는 카메라의 화각(FOV: Field of View)은 보통 60도정도에 제한되어 있다. 따라서 여러방향으로 찍은 이미지를 합쳐서 보다 넓은 화각의 영상을 만드는 기술, 이미지 스티칭 (stitching) 또는 모자이크 (mosaic)에 대한 연구가 시작되었다^[1]. 최근에는 이미지 스티칭을 넘어서 동영상 스티칭하는 연구도 시작되고 있으며, 이렇게 생성된 360도 파노라마 영상을 압축하기 위한 기술 표준도 MPEG에서 제정작업을 시작하였다^[2].

이미지 스티칭 과정은 각 이미지를 촬영한 카메라의 기하학적 파라미터의 추정, 추정된 파라미터를 사용한 기하학적 변환, 그리고 중첩된 영역선택 및 블렌딩 과정을 거친다. 특히, 이미지를 파라미터의 추정을 통하여 이미지를 정렬하고 및 와핑하는 기술이 핵심적이며 고유한 문제이다. 초기에는 이미지 전체를 하나의 전역 homography로 변환하는 방식^[3,4]이 제안되었다. 현재 상용으로 사용되는 360도 카메라나 소프트웨어는 대부분 이 방식에 따라 구현되어 있으나, 이 단일 전역 homography 모델은 대상 물체가 평면이거나, 촬영한 카메라의 초점이 한 점에 있는 형태로 한정되는 문제점이 있다^[5]. 구체적으로, 카메라에서부터 멀리 떨어진 배경만 존재하는 경우에는 이러한 모델이 상당히 그럴듯한 결과 영상을 생성할 수 있다. 그러나, 여러 개의 평면으로 구성된 배경이나, 전면 물체 (foreground object)가 있는 경우 카메라로부터의 거리를 고려하지 못하면 하나의 물체가 여러 픽셀의 위치에서 나타나는 이른바 ‘고스트 (ghost) 현상’이 발생한다. 이론적인 측면에서 보자면 대상체를 3차원 모델링을 하고, 이를 바탕으로 원하는 위치에서의 이미지 투영을 계산하는 것이 바람직하다^[1,3,6]. 하지

만, 이러한 방법을 적용하자면, 일반적으로 최소 두개 이상의 카메라에서의 촬영이 된 경우만 가능하며, 이러한 조건을 만족하는 경우에도 3차원 위치 정보를 정확히 측정하는 것은 기술적인 어려움이 있다. 따라서 전역 homography 변환을 하고, 휴리스틱한 방식^[7]을 사용하여 고스트 현상만을 해결하는 방안들이 제안되었다. 이 보다 최근에는 화면을 여러 개의 평면이나 메쉬형태로 나누고 각 분할별로 다른 와핑행렬을 사용하는 지역변환 방식^[8,9]도 제안되었다.

이처럼 이미지 스티칭에 대한 많은 관심과 다양한 알고리즘이 제안되었음에도 불구하고, 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 방법은 통일되지 않았을 뿐 아니라 결과 영상을 눈으로 확인하는 주관적인 방식에 머물러있다. 위에 언급된 논문을 보면 수치적인 비교는 찾아 볼 수 없고, 샘플 영상의 예를 보이고, 차이가 두드러진 부분을 표시하여 제안하는 방식의 장점을 확인하는 방식을 사용하고 있다. 본 저자들은 꾸준한 기술의 발전을 위해서는 수치로 평가 가능한 평가방법이 필수적이고, 또한 어떠한 영역이 어떠한 원인에 의하여 화질이 저하가 있는지에 대한 분석이 가능한 방법론이 필요하다고 생각하였다. 기존의 스티칭에 대한 연구에서 수치화된 결과를 보일 수 없었던 이유는 성능을 비교할 만한 기준 영상이 없었고, 기하학적인 차이가 있는 두영상을 비교하는 방법이 없었기 때문이다. 우선, 본 연구에서는 평가의 측면에서 스티칭되는 영역을 포함하는 추가적인 이미지가 존재한다고 가정하였다. 이를 통해서 스티칭된 결과와 참고 이미지의 차이를 정량화 할 수 있다. 또한, 스티칭 과정에서 발생하는 왜곡은 정렬의 오차 등에서 발생하는 왜곡 뿐 만 아니라 블렌딩과 색상이나 조도매칭 등에 의하여 발생하는 화소오차도 있다. 따라서 이 두가지를 구분할 수 있도록 하는 방법을 제안한다. 저자들이 서베이한 바로는, 현재까지 이미지 스티칭의 화질을 객관적으로 평가하는 연구는 Qureshi 등의 논문이^[10] 유일하다. 그러나, 이 연구는 참고화면을 사용하지 않고 스티칭된 결과만을 가지고 평가를 하려고 하였고, 그 구체적인 방법에 대해서도 저자들로서는 근거에 수궁하기가 어렵다. 이러한 의미에서 본 연구가 스티칭 이미지의 화질을 객관적으로 평가하는 방법을 제안하는 첫번째 연구라고 생각한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 제 II절에서는 제안

하는 스티칭 이미지의 정량적 왜곡 측정방법에 대하여 기술한다. 제 III 절에서 이 방식을 전역 homography 스티칭 이미지에 적용한 결과에 적용한 예를 통하여 사용법과 효율성을 확인한다. 끝으로 제 IV절에서 논문의 결론과 추후 연구 방향에 대하여 기술한다.

II. 스티칭 이미지의 왜곡 측정 방법

본 절에서는 이미지 스티칭 방식을 통하여 얻어진 스티칭 이미지의 왜곡정도를 수치화하는 방식을 제안한다. 앞서 설명한 바와 같이 스티칭하는 이미지들 외에 기준 이미지가 필요하며, 이들간의 비교는 Delaunay 삼각분할방식에 의하여 구성된 세그먼트들을 매핑하여 이를 통한 구조적인 왜곡과 화소값의 왜곡을 계산한다.

1. Delaunay 삼각형 매칭

스티칭에 사용되는 입력 이미지의 개수 N에는 특별한 제약이 없으나, 설명의 편의를 위하여, Fig 1과 같이 좌, 우 두개의 이미지만 있는 경우로 예를 들어 설명한다. 기준 영상은 스티칭하는 영상의 겹쳐지는 영역을 포함하여야 하므로 중앙에 위치한다고 가정한다. 좌우 이미지를 정렬하여 스티칭하는 과정에서, 기준 영상도 동일한 방식으로 정렬

을 수행하여 비교가 가능하도록 한다. 즉, 기준 이미지와 스티칭 이미지는 동일한 카메라 좌표 공간 안에 정렬되어 놓이게 된다. 단, 이 단계까지의 과정은 각 이미지 스티칭 알고리즘에 따라 다른 것으로 가정한다.

스티칭 이미지와 기준 이미지를 매칭하기위하여 각 이미지에 특징점을 추출한다. 이때 추출된 참조영상의 특징점의 좌표는 $(x_r, y_r)_i (i = 1, \dots, N)$, 스티칭 영상의 특징점의 좌표는 $(x_s, y_s)_i (i = 1, \dots, M)$ 이다. 이미지의 전체 영역을 매칭해야 하므로, 특징점은 이미지 전체 공간에 가능한 균일하게 뽑아야 한다. 일반적으로 전체 이미지를 대상으로 특징점을 뽑게 되면 복잡한 물체가 있는 위치에서 많은 특징점이 뽑히고, 배경 등 변화가 적은 영역에서는 특징점이 뽑히지 않는 문제가 있다. 이러한 문제를 완화하기 위하여 기존의 특징점 선택알고리즘에 더하여 다음과 같은 제약을 추가한다.

- 1) 두개의 매칭점 $\{(x_r[i], y_r[i]), (x_r[j], y_r[j])\}, \{(x_s[i], y_s[i]), (x_s[j], y_s[j])\}$ 의 순서가 뒤바뀌지 않도록 한다.
즉, $(x_r[i] - x_r[j]) * (x_s[j] - x_s[i]) > 0$
 $(y_r[i] - y_r[j]) * (y_s[j] - y_s[i]) > 0$
- 2) 기준 이미지를 격자로 나누고 그 중에서 가장 강한 특징점 쌍만을 선택한다. $\{(x_1[n], y_1[n]), (x_2[n], y_2[n])\}$ (여기서 강도는 매칭점 알고리즘에서 나오는 유사도로 일반적으로 디스크립터간의 Euclidean distance가 작을수록 강도가 높다.)

특징점 추출방식은 SIFT 나 SURF등 다양한 방식이 있지만, 이미 영상의 스케일은 일치된 상태이므로 FAST 알고리즘으로 충분히 원하는 정확도를 유지할 수 있으므로, 본 연구의 실험에서는 FAST (Features from Accelerated Segment Test) 와 ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) 를 사용하였다. 매칭 알고리즘으로는 K-Nearest Neighbor 를 사용하였다. 이렇게 매칭된 특징점 쌍들을 이용하여 Delaunay 삼각 분할 방식^[13]을 사용하여 영역을 분할한다. 구현에는 Delaunay 삼각 분할은 OpenCV Subdiv2D API를 사용하였다.

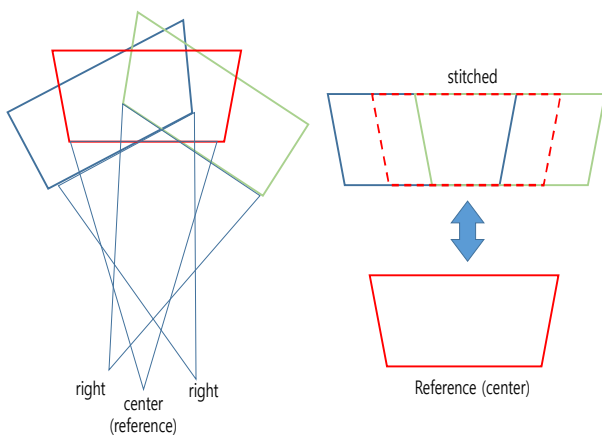


그림 1. 추가적인 기준 이미지(가운데)를 사용한 스티칭 이미지의 왜곡 측정
Fig 1. Proposed Image distortion measure of stitched images based on additional reference image (center)

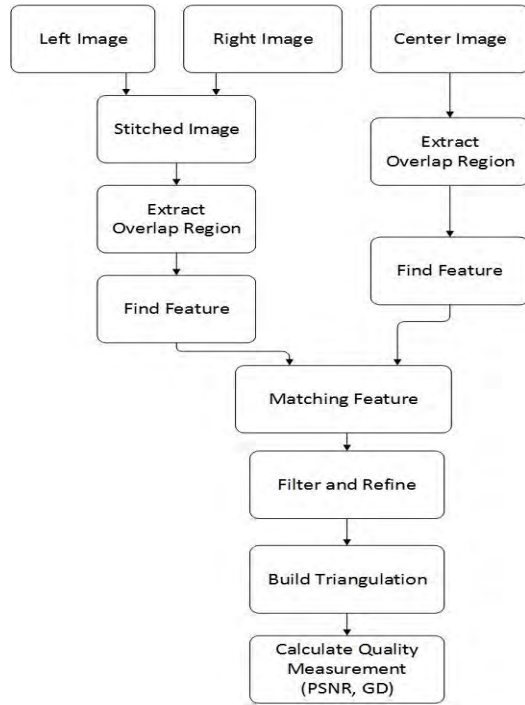


그림 2. 제안된 이미지 스티칭 품질 평가 방식의 흐름도
Fig 2. Workflow of proposed quality assessment

2. 성능 평가 기준

기준 이미지와 스티칭 이미지의 두개의 영상과 각각의 분할 영역으로부터 기하적인 왜곡 (GD: Geometric distortion) 과 화소값왜곡으로 정의한다. 우선, 기하학적 왜곡은 다음 식과 같이 각 분할의 매칭되는 꼭지점들 $((x_r, y_r)_i, (x_s, y_s)_i)$ 의 화소 좌표값의 차이(여기서는 유클리디안 거리)의 평균을 사용한다.

$$GD = Avg(d((x_r, y_r)_i, (x_s, y_s)_i)) \quad (1)$$

화소 왜곡은 Fig 4와 같이 매칭되는 삼각 세그먼트의 affine 매칭을 통한 PSNR으로 정의한다. 각 분할의 PSNR은 해당 지역의 화소왜곡정도를 표현한다. 전체 이미지의 이 지역외곡정도를 기준영역의 가중치를 곱하여 평균한 것으로 정의한다.

$$PSNR(i) = PSNR(AffineTf(Stitched Triangle) - ReferenceTriangle) \quad (2)$$

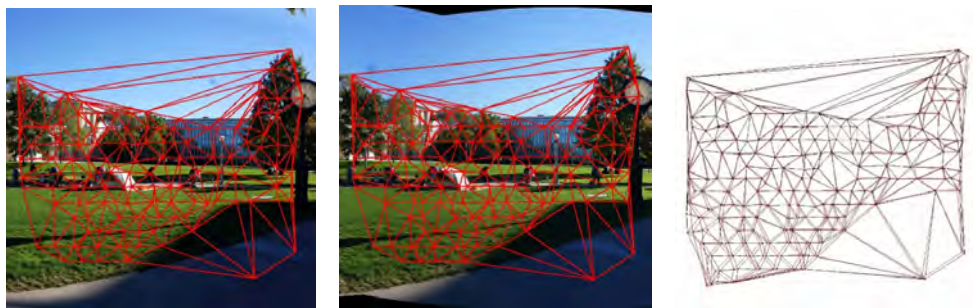


그림 3. D-삼각 세그먼트 비교 (검정: 기준 이미지, 적색: 스티칭 이미지)
Fig 3. Triangle matches examples between stitched (red) and reference (black) image



그림 4. 어파인 트랜스폼을 사용한 분할영역의 화소차 PSNR 비교
Fig 4. Segment PSNR calculation based on affine transform matching of stitched to reference triangle

$$PSNR_{avg} = \sum (PSNR(i) * Area(i)) / \sum Area(i) \quad (3)$$

III. 실험 결과

앞서 정의한 기준이 어떻게 실제 문제에 적용될 수 있는지를 보이기 위하여, 가장 보편적인 스티칭 알고리즘인 단일 homography 방식의 AutoStitch^[4] 결과를 가지고 예시를 보인다. AutoStitch는 OpenCV나 Matlab등에서도 라이브러리로 지원이 되는 대표적인 알고리즘이다. 본 연구의 또 하나의 목표는 기존의 스티칭 알고리즘들의 평가하여 분석하는 것이나, 일부만 구현을 접근 할 수 있어서, 이 부분은 추후 연구로 계획하고 있다. 평가에 사용한 입력 영상들은 관련 논문들의 저자들이 인터넷에 공개하고 있는 영상들^[11,12] 중에 선택하였으며 그 이미지는 Fig 5과 같다.

Fig 3은 실험영상 1의 매칭 세그먼트를 겹쳐서 보여준 것이다. 검은색 삼각형 조각 메쉬들이 기준영상의 분할을

적색의 메쉬들이 스티칭 영상의 조각들이다. Fig 6는 각 매칭 영역의 PSNR을 계산하여 표시한 그림이다. 어두운 영역은 PSNR이 낮은 영역을 표시한다. 이 표현방식을 통하여 우리는 어느 영역이 왜곡이 큰지를 구체적으로 확인할

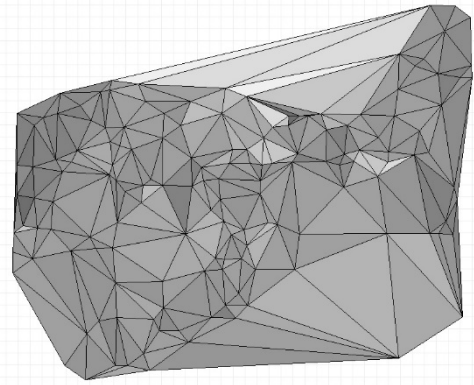


그림 6. Local segmented PSNR
Fig 6. PSNR maps for test set 1

| | Left | Center | Right |
|------------|------|--------|-------|
| Test Set1 | | | |
| Test Set2 | | | |
| Test Set 3 | | | |

그림 5. 실험 영상 (좌, 중앙(기준), 우)

Fig 5. Test image sets (left, reference center, and right)

수 있고, 그 왜곡의 원인이 기하왜곡에 기인하는지 아니면 블렌딩이나 조도나 색조 전달의 문제인지를 확인할 수 있다. 예를 들어서 시차에 의하여 고스트가 발생한 영역이 있을 경우 이를 확인이 가능하다. Fig. 7와 같이 또한 PSNR의 히스토그램을 확인할 수도 있다.

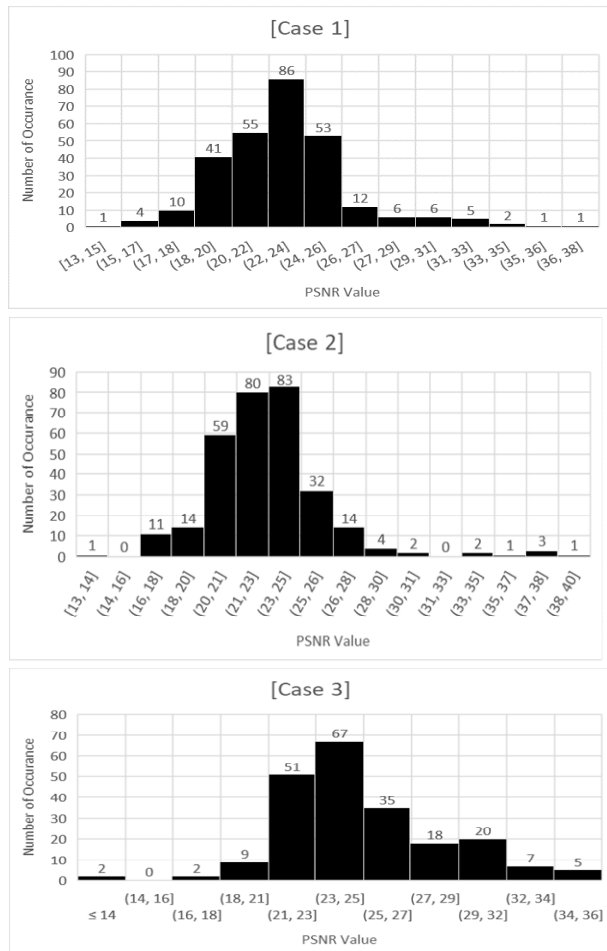


그림 7. 지역 PSNR의 히스토그램 분포

Fig 7. The sub-triangle PSNR histograms for test sets

최종적으로 평균 기하왜곡 정도와 평균 PSNR은 표 Table 1과 같으며, 이를 저자들을 포함한 5명의 관찰자가 확인한 결과 계산 결과와 비주얼 결과의 상관성이 매우 높음을 확인하였다 (상관도 > 0.8 이상). 여기서 상관도 r 는 5 Likert 척도로 평가한 결과를 x 와 평균 PSNR 값을 y 로 하였을 때 다음과 같이 정의한다.

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

이 결과에서 볼 수 있는 결과는 기하왜곡과 화소왜곡이 반드시 양의 상관관계가 있지는 않은 것을 볼 수 있다. Set 3의 경우는 기하 왜곡이 낮고, 따라서 화소왜곡도 결과적으로 낮아져서 스티칭 결과가 좋은 것으로 볼 수 있다. 하지만 Set 1 과 Set 2의 결과를 비교하면 Set 1은 기하왜곡이 크지만 화소왜곡은 그리 크지 않은 것을 볼 수 있다. 이는 물체가 있는 부분의 영역의 왜곡은 높지만, 평탄한 영역들의 왜곡은 크지 않기 때문으로 해석할 수 있다.

표 1. AutoStitch를 사용한 스티칭 이미지를 제안한 방식으로 평가한 결과
Table 1. The performance values using the proposed assessment method

| Test set | Avg.G.D. | Avg.PSNR |
|----------|----------|----------|
| Set 1 | 3.9059 | 24.35 |
| Set 2 | 2.5144 | 22.79 |
| Set 3 | 0.9774 | 25.54 |

실험 결과 본 방식이 어느정도 객관성을 갖는 평가기준이 될 수 있다고 판단되나. 몇가지 좀더 연구할 부분 또한 존재한다. 우선 균일한 매칭점을 얻기 위한 방식이 충분히 균일성을 보장하는지 평가가 부족하다. 또한 PSNR 자체를 평가보다 SSIM이나 평균값을 제거한 변화정도만을 측정하는 것이 바람직할지도 좀더 살펴볼 필요가 있다. 또한, 본 방식은 참조화면방식으로, 참조화면이 제공되지 않은 경우 적용할 수 없는 한계점이 있으므로, 이 한계를 극복하여 비 참조화면으로 확장하는 방식에 대해서도 연구가 필요하다.

IV. 결 론

기술 발전에 있어서 명확한 수치적인 평가기준이 존재하는 것은 매우 중요하다고 생각한다. 통신, 방송 및 신호처리 분야가 표준화라는 과정을 통하여 급속히 발전할 수 있었던 데는, 객관적으로 성능을 평가할 수 있는 기준의 역할이 절대적이라고 생각한다. 이미지 스티칭 연구가 지난 20여년간 많은 발전이 있었다는 것은 분명하지만, 수치화할 수

있는 기준없이 연구된 한계점을 가지고 있다. 이에 본 연구에서 이미지 스티칭 결과를 수치적으로 평가할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안하는 방식은 단순히 평가 수치를 제공하는데 그치지 않고, 성능을 분석하여 문제점을 해결할 수 있는 도구로서의 역할도 할 수 있다. 한가지 방법론적인 부분에서 특징점을 골고루 분포 하기 위한 방법을 추가하긴 하였으나, 여전히 편단한 영역보다는 변화가 심한 물체 영역의 특징점이 조밀하게 뽑히는 특성을 보인다. 따라서 기하학적 왜곡을 평가하는데 있어서, 해당 영역의 왜곡의 비중이 높게 평가되는 특징을 가지고 있다. 일부 논문에서는 그리드 방식을 사용하는 경우도 있는데 효용성 면에서 이 경우와의 비교도 필요할 것으로 생각된다. 마지막으로, 본 연구에서는 방법론을 확인하기위하여 AutoStitch 한가지의 경우만을 사용하였다. 추후 연구로 기존의 다양한 스티칭 알고리즘들의 평가하여 그 차이점의 분석하는 연구를 진행하고 있다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] D. Ghosh, N. Kaabouch, "A survey on image mosaicing techniques," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol. 34, No.1, pp. 1-11, January, 2016.
- [2] P. Topiwala, W. Dai, M. Krishnan, A. Abbas, A. S. Doshi, D. Newman, "Performance comparison of AV1, HEVC, and JVET video codecs on 360 (spherical) video," *Applications of Digital Image Processing XL*, Vol. 10396, p. 1039609, September, 2017.
- [3] R. Szeliski, "Image alignment and stitching: A tutorial. Foundations and Trends," *Computer Graphics and Vision*, Vol 2, No. 1, pp. 1-104, 2006.
- [4] Brown, M., & Lowe, D. G. (2007). Automatic panoramic image stitching using invariant features. *International journal of computer vision*, 74(1), 59-73.
- [5] R. Hartley, A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision," 2nd Ed., Cambridge Press, New York, NY, USA. February, 2003.
- [6] F. Dornaika, R. Chung, "Mosaicking images with parallax," *Signal Processing: Image Communication*, Vol. 19, No. 8, pp. 771-786, 2004.
- [7] A. Eden, M. Uyttendaele, R. Szeliski, "Seamless image stitching of scenes with large motions and exposure differences. In *Computer Vision and Pattern Recognition*, New York, NY, USA, pp. 2498-2505, 2006.
- [8] J. Zaragoza, T. J. Chin, M. S. Brown, D. Suter, "As-projective-as-possible image stitching with moving DLT," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Portland, Oregon, USA, pp. 2339-2346, 2013
- [9] C. H. Chang, Y. Sato, Y. Y. Chuang, "Shape-preserving half-projective warps for image stitching," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Columbus, Ohio, USA pp. 3254-3261, 2014.
- [10] Qureshi, H. S., Khan, M. M., Hafiz, R., Cho, Y., & Cha, J. (2012). Quantitative quality assessment of stitched panoramic images. *IET Image Processing*, 6(9), 1348-1358.
- [11] Wu, Y. "test Image for Image Stitching, available on <https://github.com/ppwwyyxx/OpenPano>
- [12] V. Pham, "test images for Image stitching, available on <https://github.com/phvu/misc/tree/master/imageStitch>
- [13] Delaunay, Boris. "Sur la sphere vide." *Izv. Akad. Nauk SSSR, Otdelenie Matematicheskii i Estestvennyka Nauk* 7.793-800 (1934): 1-2.

저 자 소 개



미어 사데크 빌라흐 (Meer Sadeq Billah)

- 2007년 7월 : BGC Trust University Bangladesh (Computer Science & Information Technology) (Bachelor of Science)
- 2007년 ~ 2008년 : Eastern Bank Limited, Bangladesh (Analyst, Service Management)
- 2008년 ~ 2012년 : SurroundApps Inc., Bangladesh (Sr. Software Engineer)
- 2012년 ~ 2015년 : Samsung R&D Institute Bangladesh (Technical Lead)
- 2017년 8월 : Seoul National Univ. of Science & Technology (Electrical & Information Engineering) (Master of Science)
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-2505-6700>
- 관심분야 : computer vision, video processing, computer graphics

— 저 자 소 개 —



안 희 준

- 2000년 KAIST 전기 및 전자공학과 (박사)
- 1999년 독일 얼랑겐-뉴른베르크대학 (초빙연구원)
- 2000년 ~ 2002년 : LG전자 차세대 단말연구소 (선임연구원)
- 2002년 ~ 2003년 : TmaxSoft 기술연구소 (책임연구원)
- 2004년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 (교수)
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-1271-9998>
- 주관심분야 : 영상 통신 네트워크, 컴퓨터 비전, 인터넷 컴퓨팅