

적외선 리플렉토그래피 기반 벽화 밑그림 영상 모자이크 기법

Infra-Red Reflectography Based Mural Underdrawing Mosaicing Technique

이 태성*, 권용무*, 고한석**

* 한국과학기술연구원 영상미디어연구센터(전화:(02)958-5763, 팩스:(02)958-5769, E-mail : lts@imrc.kist.re.kr)

** 고려대학교 전자컴퓨터공학과(전화:(02)3290-3239, 팩스:(02)3291-2450, E-mail : hsko@ispl.korea.ac.kr)

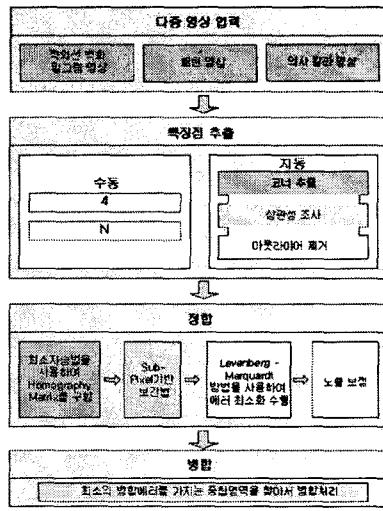
Abstract : In this paper, we propose a new accurate and robust image mosaic technique of the mural underdrawing taken from the infra-red camera, which is based on multiple image registration and adaptive blending technique. The image mosaicing methods which have been developed so far have the following deficits. It is hard to generate a high resolution image when there are regions that do not have features or intensity gradients, and there is a trade-off in overlapping region size in view of registration and blending. We consider these issues as follows. First, in order to mosaic images with neither noticeable features nor intensity gradients, we use a projected supplementary pattern and pseudo color image for features in the image pieces which are registered. Second, we search the overlapping region size with minimum blending error between two adjacent images and then apply blending technique to minimum error overlapping region. Finally, we could find our proposed method is more effective and efficient for image mosaicing than conventional mosaic techniques and also is more adequate for the application of infra-red mural underdrawing mosaicing. Experimental results show the accuracy and robustness of the algorithm.

Keywords : Infra-Red Reflectography, Image Mosaicing, Registration, Blending, Overlapping Region

I. 서 론

최근 제한된 시야(Field of View)를 갖는 카메라에 의해 부분적으로 중첩되게 획득한 영상을 보다 넓은 시야를 갖는 한 장의 큰 영상을 얻기 위한 영상 모자이크(Image Mosaicing) 방법이 활발히 연구되고 있다 [1-5]. 이러한 영상 모자이크는 복잡한 3차원 모델을 생성하여 랜더링 하지 않고 실사를 기반으로 가상현실 환경을 구축하기 위한 방법으로 사용되고 있다. 모자이크 영상의 생성은 영상들 사이의 변환을 구하여 정렬하고, 영상들을 이음매없이 헌합하여 얻는다. 이러한 방법은 영상을 기하학적으로 왜곡시키는 영상 위평[8]과 두 영상의 밝기 값 또는 컬러 값을 융합하는 방법[4]을 사용한다. 모자이크 기술 중 대표적인 방법인 파노라마 영상 생성법[1]은 고정된 위치에 카메라를 설치하고 광학축을 중심으로 수평방향으로 회전을 시키면서 촬영한 영상을 하나의 영상으로 통합하여 원통형 벽에 평평 시켜 관찰자에게 전 방위 시야를 제공하는 방법이다. 하지만 이 방법은 카메라가 자유롭지 못하고, 영상 획득시 고려해야 할 제약 조건이 많이 존재한다. 이러한 제약사항들을 사영변환식을 사용함으로서 극복할 수 있다[2-5]. 카메라를 전후좌우로 이동시키면서 촬영한 두 영상이 주어졌을 때 한 영상으로 합성하기 위해 영상들 간의 관계를 Homography라 불리우는 선형사영변환식으로 표현한다. 본 논문에서도 적외선 카메라를 사용해서 벽화나 민화와 같은 지류문화재의 밑그림 영상을 획득하기 위해서 실험대상과 가까운 거

리에서 촬영을 해야 하기 때문에 하나의 큰 이미지로 만들어 주기 위해서는 모자이크 기법을 적용해야 한다. 기존의 모자이크 방법들은 대상 이미지들만을 사용하여 두 영상간의 변환을 계산하였다[2-5]. 그러나 적외선 영상만을 사용하여 영상 모자이크를 할 경우 적외선 밑그림 영상의 특성상 두 영상간의 대응점들이 일부 영역에서만 추출될 수가 있다. 이 경우에는 정확한 결과 영상을 얻을 수 없다. 그러므로 모자이크의 대상이 되는 오브젝트에 주목할만한 특징이 없으면 정합을 수행하지 못했다. S.Takeuchi는 특징이 없을 경우에도 프로젝터를 사용하여 패턴을 투영하여 정합을 시도하였지만 원근투영의 문제점 때문에 대응점이 정확히 추출이 안되는 경우가 발생 하였다. 이러한 점을 보완하기 위하여 대상에 맞게 위평된 패턴을 투영하여 패턴영상을 획득하였고, 밑그림을 보다 더 강조하기 위해 의사칼라영상을 사용하여 보다 더 넓은 영역에서 획득한 대응점을 이용하여 영상간의 관계를 구하여 모자이크를 수행하였다. 그리고 기존의 병합방법은 중첩된 영역 전체에 걸쳐 병합을 수행하였다. 이런 경우 정합이 정확히 되지 않으면 중첩영역에서 흐림현상이 발생한다 [1-5]. 이를 보완하기 위해서 병합에러를 최소화하는 중첩영역을 찾아서 구해진 영역에 대해서만 병합처리를 함으로서 이러한 문제를 해결 하였다. 그림 1은 전체 시스템의 흐름을 보여주고 있다. 전체 과정은 다중 영상 획득, 특징점 및 대응점 추출, 정합 그리고 병합으로 이루어져 있다.



II. 영상 획득

1. 적외선 벽화밀그림 영상 획득

적외선을 사용해서 밀그림을 추출하는 방법은 IR Reflectography를 이용한다[10][11]. 그림 2는 IR Reflectography의 원리를 보여준다. 가시광선은 표면층(먼지나 물감)을 투과하지 못하고 반사를 한다. 그러나 적외선은 투과성이 있기 때문에 먼지나 물감을 투과하고 밀그림에서 흡수되는 성질을 띤다. 이러한 적외선의 성질을 이용해서 벽화 복원 작업에 사용되는 밀그림을 추출하게 된다.

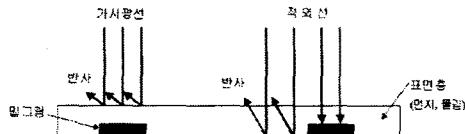


그림 2 IR Reflectography 원리

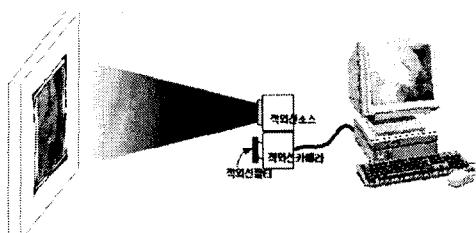


그림 3 적외선 실험 구성도

그림 4는 색상별 적외선 투과 실험 결과이다. 색상의 파장에 따라 투과율이 변하는 것을 확인 할 수 있다. 실험 결과 파장이 짧은 빨간색이 가장 투과율이 좋고, 파장이 길어 질수록 투과율이 줄어드는 것을 확인 할 수가 있었다.

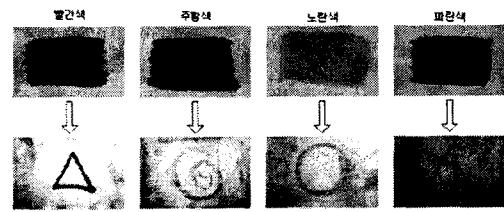


그림 4 색상별 적외선 투과율



그림 5 획득한 벽화 밀그림 영상

2. 패턴영상 획득

원근투영이 된 패턴영상에서는 정확한 특징점을 추출할 수가 없기 때문에 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 패턴을 투영하기 이전에 대상에 맞게 위평을 수행 한다. 이렇게 함으로서 최종적으로 균일한 패턴을 가지는 패턴 영상을 얻을 수 있다. 그림 6에서 이를 확인 할 수 있다. 그리고 밀그림을 강조하기 위하여 의사칼라매핑을 수행하여 의사칼라영상을 획득하였다.

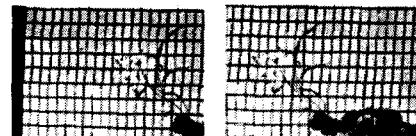


그림 6 획득한 패턴영상

III. 특징점 추출

1. 특징점 추출

적외선 카메라로부터 획득한 영상에 대하여 가로방향 그리고 세로방향으로 경계선 추출 알고리듬을 사용하여 1차 미분 값을 계산한다. 본 논문에서 사용된 경계선 추출 알고리듬은 Sobel 경계선 추출 알고리듬을 사용하였다. 관심 영역(Region Of Interest)에 대하여 아래와 같이 2×2 행렬을 생성한다[9].

$$C = \begin{bmatrix} \sum D_x^2 & \sum D_x D_y \\ \sum D_x D_y & \sum D_y^2 \end{bmatrix} \quad (\text{식 } 1)$$

여기서 D_x, D_y 는 각각 x,y 방향으로의 1차 미분 값을 나타낸다. $\det(C - \lambda I) = 0$ 의 식에서 행렬의 고유치 λ 의 계산은 식 2를 통해서 구할 수 있다.

$$\lambda = \frac{\sum D_x^2 + \sum D_y^2 \pm \sqrt{(\sum D_x^2 + \sum D_y^2)^2 - 4(\sum D_x^2 \sum D_y^2 - (\sum D_x D_y)^2)}}{2} \quad (\text{식 } 2)$$

구해진 두 개의 고유치 모두 일정한 문턱 값보다 큰값을 가지는 경우에는 관심 영역내의 성분이 코너 값이라고 판단 할 수 있다.

2. 대응점 추출

추출된 특징점들의 유사성을 이용해 대응점을 결정하기 위해서 상관성 매칭방법 사용하였다. 그러나 이 방법은 조명, 스케일, 회전에 둔감하기 때문에 잘못된 대응점(Outlier)이 발생하는 경우가 있다. 이를 보완하기 위하여 좌우 영상을 각각 2등분하고 초기 대응되는 후보점들을 찾은 후에는 각 영역에 대한 대응점 이동벡터를 기반으로 잘못된 후보 점들을 제거한다. 이동 벡터의 대표 값은 빈도가 가장 높은 값에 해당해야 하므로 각 영역의 이동벡터의 길이와 방향의 평균값과 표준편차를 이용하여 대표 값의 범위를 찾아서 이 범위를 벗어나는 대응 후보 점들을 제거한다.

IV. 영상 정합

1. 2D 사영변환행렬

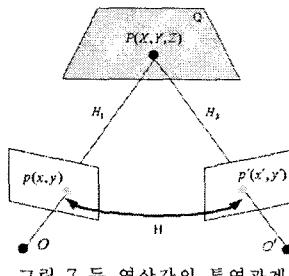


그림 7 두 영상 간의 투영 관계

그림 7에서 원쪽 영상에 맺힌 점 $p(x, y)$ 는 $p(x, y) = H_1 P$ 관계를, 다른 쪽 영상에 맺힌 점은 $p'(x', y') = H_2 P$ 의 투영 관계를 나타낸다. 이 두 관계는 다음과 같이 두 영상의 관계로 표현되어 질 수 있다.

$$p'(x', y') = H_2 H_1^{-1} p(x, y), \quad p' = H p \quad (\text{식 } 3)$$

위 식에서 Homography 행렬 H 는 3×3 행렬이며, 위의 식 3은 다음과 같이 다시 표현 되어 진다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{00} & M_{01} & M_{02} \\ M_{10} & M_{11} & M_{12} \\ M_{20} & M_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$x' = \frac{M_{00}x + M_{01}y + M_{02}}{M_{20}x + M_{21}y + 1} \quad y' = \frac{M_{10}x + M_{11}y + M_{12}}{M_{20}x + M_{21}y + 1}$$

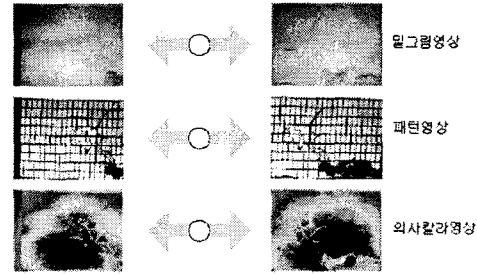
$$M_{00}x + M_{01}y + M_{02} - M_{20}xx' - M_{21}yx' - x' = 0$$

$$M_{10}x + M_{11}y + M_{12} - M_{20}xy' - M_{21}yy' - y' = 0 \quad (\text{식 } 4)$$

각 대응점은 위의 식 4에서처럼 두 개의 독립적인 방정식을 가지게 된다. 따라서 최소 4개의 대응점을 알고 있으면 위의 Homography 행렬을 계산 할 수 있다. 본 논문에서는 경합에러를 줄이기 위하여 4개 이상의 대응점을 사용하였다. 그리고 가장 근접한 해를 하기 위하여 최소 자승법을 사용하였고, 두 영상의 겹쳐지는 부분에서의 에러를 최소화하는 방법으로 Levenberg–Marquardt Iterative Non-Linear 알고리듬을 사용하였다[7].

2. 다중영상을 이용한 정합

적외선 영상만을 이용하여 모자익을 수행할 경우 동양화나 벽화의 특성상 특징점들이 중첩된 영역 전반에 분포하기란 사실상 불가능하다. 이를 보완하기 위해서 적외선 영상에서의 특징점과 패턴 영상에서의 특징점 그리고 의상칼라영상에서의 특징을 모두 사용하여 하나의 Homography 행렬을 구해서 적용하였다.

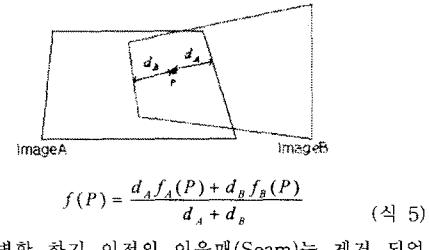


사영변환행렬

그림 8 다중영상을 이용한 정합 흐름도

V. 영상 병합

정합 수행 후 발생한 이음매(Seam)를 제거하기 위해 병합 처리가 필요로 하게 된다. 병합 방법은 아래 식 5를 이용해서 처리한다. 여기서 d_A, d_B 는 ImageA와 ImageB의 경계로부터 블랜딩 할 픽셀의 위치까지의 거리이다. $f_A(P), f_B(P)$ 는 P위치에서의 ImageA와 ImageB의 픽셀값이다.



$$f(P) = \frac{d_A f_A(P) + d_B f_B(P)}{d_A + d_B} \quad (\text{식 } 5)$$

그러나 병합 하기 이전의 이음매(Seam)는 제거 되었지만 중첩 영역의 모든 영역에 대해 병합을 수행했기 때문에 중첩 영역에서 전체에 걸쳐 흐림 현상이 발생 한다[1-5]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 자동으로 최소의 병합오차를 가지는 중첩 영역을 찾아서 병합을 수행하였다. 병합오차를 측정하기 위해서는 모자익의 대상이 되는 두 영상과 병합 수행 후의 영상과의 차이를 계산하기 위해 에러의 척도는 다음과 같은 식6을 사용하였다. 식6에서 A,B는 ImageA와 ImageB의 중첩 영역에서의 픽셀값, W는 블랜딩 후의 픽셀값을 나타낸다.

$$\frac{1}{N} \sum_2 \sqrt{(W - A)^2 + (W - B)^2} \quad (\text{식 } 6)$$

그림 9에서 그 결과를 보여준다. 그래프에 표현된 것

처럼 중첩영역의 비율에 따른 에러를 비교할 수가 있다.

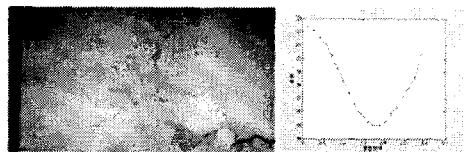


그림 9 병합 수행결과

VI. 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 모자의 방법은 다양한 응용분야에 가능하다. 우주/항공사진의 해석, 지류문화재(벽화, 그림 등)복원, 판노라마와 같은 가상환경 구축에 유용하게 사용될 수 있다. 그림 10은 본 논문에서 제안한 모자의 기법을 이용해 수행한 결과이다. 그리고 적외선 벽화 밀그림을 이용하여 실제 환경에서 사용자에게 적외선 밀그림을 보여줄 수 있도록 하는 작업을 수행하였다. 사용자의 적외선 마커의 움직임에 따라 그에 해당하는 영역을 구해서 프로젝터로 적외선 밀그림을 실시간으로 보여준다. 프로젝터와 카메라간의 관계를 구하여 카메라상의 적외선 마커의 좌표를 프로젝터의 좌표로 변환을 하고 생성된 고해상도 적외선 밀그림 영상을 그림 11와 같이 적외선 마커의 위치에 매핑을 해서 사용자에게 벽화의 밀그림을 실시간으로 보여주게 된다.

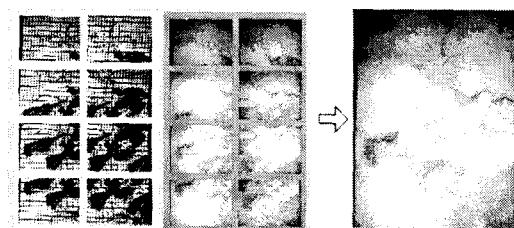


그림 10 모자의 수행결과



그림 11 마커의 위치에 따른 벽화의 밀그림 투영

VII. 결 론

본 논문에서는 IR Reflectography를 이용하여 지류문화재(벽화, 민화, 그림 등)의 밀그림 영상을 획득하여 고해상도의 적외선 벽화 밀그림 영상을 생성하는 방법을 제안하였다. 획득한 고해상도 밀그림 영상을 실제 환경에서 실시간으로 사용자에게 벽화에 대응되는 밀그림 영상을 보여주는데 적용 할 수 있었다. 다수의 적외선 벽화 밀그림 영상을 하나의 큰 영상으로 만들기 위해 다중 영상 정합 기법을 이용하였다. 병합오차가 최소가 되는 중첩영역을 자동으로 찾아서 그 영역에 대해서만 병합처리를 함으로서 기존의 중첩영역에서 발생하는 흐림현상을 해결할 수 있다는 장점이 있다. 기존의 방법으로는 불가능 하였던 적외선 밀그림 영상의 모자이크가 제안된 방법에 의해 IR Reflectography를 기반으로 한 지류문화재의 모자이크를 가능하게 하여 문화재 복원이나 새로운 컨텐츠의 저작을 가능하게 하였다.

참 고 문 헌

- [1] D.L. Milgram, "Computer methods for creating photomosaics," IEEE Trans. Comput., vol.C-24, Nov. 1975, pp.1113-1119.
- [2] R.Szeliski, "Image Mosaicing for Tele-reality Applications," IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pp.44-53, Dec. 1994.
- [3] R.Szeliski and H.Shum, "Creating Full View Panoramic Image Mosaics and Environment Maps," SIGGRAPH'97, pp.251-258, 1997.
- [4] G.Y.Tian, D.Gledhill, D.Taylor and D.Clark, "Colour correction for Panoramic Imaging," Proceedings of the Sixth International Conference on Information Visualisation, 2002.
- [5] S.Takeuchi, N.Terashima and H.Tominaga, "Image Mosaicing Using Projected Mask For Image Digitization," ICIP 1999, pp.123-127.
- [6] R.Hartley and A.Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision," Cambridge Univ. Press, 2000.
- [7] W.Press, S.Teukolsky and et al., "Numerical Recipes in C," Cambridge Univ. Press, second edition, 1992.
- [8] G.Wolberg, "Digital Image Warping," IEEE Computer Society Press, 1990.
- [9] J.Shi and C.Tomasi, "Good Feature to Track," IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.593-600, 1994.
- [10] Hamamatsu Photonics K.K., Infra-Red Vidicon Camera, [Http://www.hamamatsu.com](http://www.hamamatsu.com).
- [11] M. Hain, J. Bartl, V. Jacko, "Multispectral Analysis of Cultural Heritage Artefacts," Measurement 2003.