

Robust Matching Algorithm for Optical Images

양 한 진* · 주 영 훈†

(Han-Jin Yang · Young-Hoon Joo)

Abstract - This paper proposes the robust matching algorithm of the optical images. To do this, we propose two algorithms, that is, matching algorithms when the silhouette of images is detected and when it is not detected. Also, we propose the method for detecting the matching template and non-matching template from each optical image. And then, optical images are matched according to the coefficient of correlation represented by the similar degree between optical images. Finally, we show the effectiveness and feasibility of the proposed method through some experiments.

Key Words : Optical images, Silhouette abstraction matching, Stitching, Matching template, Coefficient of correlation

1. 서 론

최근 기술의 발달로 영상 미디어가 다양화 되어감에 따라 영상을 기반으로 하는 기계의 사용은 광학 및 의료 분야 등 여러 분야에서 폭 넓게 응용되고 있다. 그 중 영상 정합은 공간 좌표가 서로 다른 영상에서 연관관계를 쉽게 파악하기 위하여 동일 좌표계로 정렬하는 것으로 서로 정합(mapping) 되는 기하학적 변환을 찾는 과정이라 할 수 있다. 사용자가 하나의 대상에 대한 다각적인 영상들을 각각 해석하기 위해서는 이상 부분에 대한 좌표변환을 미리 머릿속에서 수행해야 한다. 만약, 사용자에게 이미 좌표계가 일치된 영상을 관독하게 한다면, 훨씬 능률적인 판단을 할 수 있을 것이다. 근래에 영상 획득 장치의 발전에 의해, 대상에 대한 대용량의 영상들의 획득이 간편해져서, 정밀한 고속 영상 정합 기법의 필요성이 증대되고 있다[1].

현재 개발된 정밀 검사 장비는 측정 방법에 따라 비전 검사(vision inspection)와 광학 검사기(optical inspection)로 나뉜다. 측정 방법이 다름에 따라 영상 처리의 방법도 측정 방법과 측정 대상물의 종류, 측정 범위 등 영상의 특성에 따라 다르게 적용된다[2]. 기존의 영상 정합의 방법은 크게 영상 내의 색상 경계나 대상의 실루엣(silhouette)을 추출하여 정합시키는 방법과 경계를 찾을 수 없어 표면의 기울기나 특징 정보를 이용하여 정합시키는 방법이 있다[3-8]. 기존의 경계추출 방법을 이용한 정합 방법은 경계를 추출 할 수 없다는 전제 조건을 갖는다. 즉, 경계를 찾지 못할 경우 정합이 불가능하다. 현재, 광학 측정은 나노(nano)단위의 미세한

시료를 측정해야 하기 때문에 같은 부분을 측정하더라도 측정 렌즈를 이동한 후 재 측정하면 확연히 다른 영상을 출력한다. 광학영상의 정합에 표면의 기울기나 특징 정보를 이용한 정합 방법을 이용하면, 비교 영역의 큰 차이에 따른 영상에 대하여 오정합을 발생시킨다.

상기 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 이러한 두 가지 방법의 결합을 위해 경계를 추출하여 정합하는 방법과 경계를 추출하지 못하는 영상에 대한 광학 영상 정합 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안한 방법은 측정 장비를 통하여 얻어진 데이터를 측정 템플릿(template)으로 설정하여 실루엣을 추출하고, 추출된 영상의 상관도에 따라 두 정합 기법을 이용하여 정합함으로써 영상 간의 연속화를 진행할 수 있는 장점이 있다. 마지막으로 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 방법의 우수성 및 실용성을 증명한다.

2. 기존의 광학 영상 정합 시스템

영상 정합은 그림 1과 같이 크게 네 단계로 구분하여 설명할 수 있다. 첫 번째 단계로 특징 추출(feature detection) 단계이다. 영상을 정합하기 위하여 영상 내의 특징을 추출함으로써 영상 간의 유사도를 측정하기 위한 전처리 과정이라고 할 수 있다. 두 번째 단계는 특징을 정합(feature matching)시키는 단계이다. 추출된 특징을 이용하여 영상 간의 유사도를 판별하여 정합시키는 단계이다. 세 번째 단계는 변환 모델 추정(transform model estimation) 단계이다. 영상 픽셀의 일대일 매칭방식으로 전체적인 영상의 변환 또는 변형을 추정한다. 마지막 단계는 영상 재구성(image resampling and transformation) 단계이다. 이 단계에서는 픽셀간의 관계에 따른 영상의 정합 좌표를 구하였다면, 결과를 토대로 정합된 영상을 얻을 수 있다.

* 준 회원 : 군산대학교 전자정보공학부 석사과정

† 교신저자, 시니어회원 : 군산대학교 제어로봇공학과 정교수

E-mail : yhjoo@kunsan.ac.kr

접수일자 : 2010년 5월 24일

최종완료 : 2010년 7월 11일

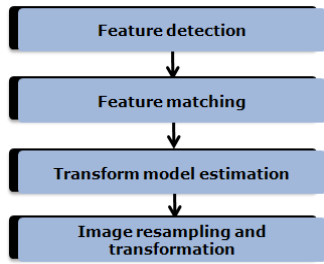


그림 1 영상 정합 흐름도
Fig. 1 Flowchart for image registration

일반적인 광학 영상은 여러 가지로 분류하여 처리 될 수 있다. 본 논문에서는 영상의 그레이(gray) 및 이진화(binary) 과정에 의하여 처리된 영상을 이용하여 처리 전 영상의 색상 경계를 구분할 수 있는 영상과 경계가 불분명하여 구분하기 어려운 영상으로 구분한다.

2.1 경계가 추출된 광학 영상에 대한 정합

원 영상을 그레이 및 이진화 등의 정합 전처리 과정을 거치면, 그림 2와 같이 영상의 실루엣 및 경계를 찾을 수 있다. 전처리 과정으로는 영상의 그레이 및 이진화변환, 잡음에 강인하기 위한 스무딩, 샤프닝(Sharpening) 처리, 잡음 제거를 위한 모폴로지(Morphology) 기법, 영상의 특징 값을 추출하기 위한 마스크를 이용한 경계선 검출 방법과 캐니(Canny) 및 소벨(Sobel), 프리윗(Prewitt) 등 에지(Edge) 추출 방법, 해리스 코너 포인트(Harris Corner Point) 검출 방법 등이 있다. 이와 같이 색상의 경계를 확실히 구분할 수 있는 경우는 영상 내 특정한 영역의 도형이나 선 또는 점 등을 추출하여 정합하는 방법이 사용된다. 경계 추출 방법이 영상에서 객체를 인식하거나 특정 영역을 추적하는 등의 유일한 방법은 아니지만, 영상 인식의 성능을 좌우하는 중요한 단계로서 입력 영상에 대한 대상 물체들의 위치, 모양과 크기, 텍스처등 많은 정보가 서로 다른 영역간의 경계선에 위치할 뿐만 아니라 영상 속의 물체 형태에 관한 정보를 그대로 유지하면서 영상 인식의 후처리 단계에서 처리해야 할 자료의 양을 줄일 수 있고, 많은 물체 인식 알고리즘과 쉽게 결합이 가능하다는 장점을 가지고 있다[3,7,9].

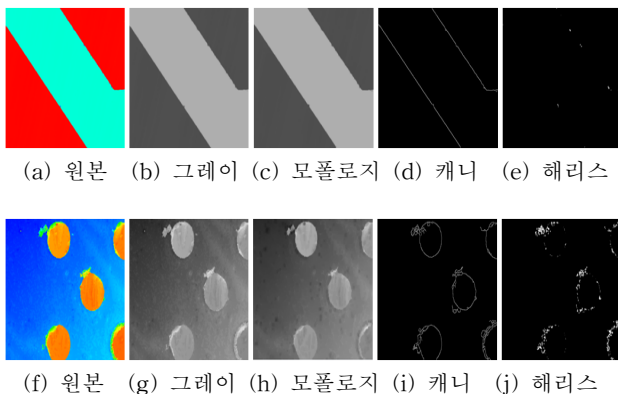


그림 2 영상 정합의 전처리 과정
Fig. 2 Preprocess for image matching

2.2 경계가 분명하지 않은 영상에 대한 정합

정합하고자 하는 모든 영상이 경계가 구해지는 것은 아니다. 그림 3과 같이 색상 경계 영역을 찾을 수 없는 경우가 종종 발생한다. 이는 측정 방법, 측정 대상물의 종류, 측정 한계 범위 등에 따라 측정기에 의해 대상의 색상 경계가 뚜렷하지 못한 경우가 발생한다.

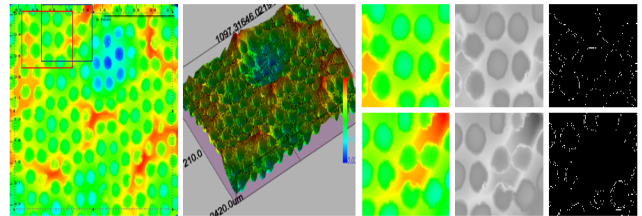


그림 3 광학 영상 (경계가 불분명한 영상)
Fig. 3 Optical image (image boundaries are unclear)

그림 3의 원본과 이진화 된 영상을 비교했을 때, 경계 영역의 크기가 다르고, 일부는 소실된 처리 결과를 볼 수 있다. 즉, 영상 내의 특징을 추출하는 방법으로는 정확한 정합을 하지 못한다. 이를 해결하기 위하여 특징 기반이 아닌 영역 기반의 또 다른 영상 정합 알고리즘을 사용해야 한다.

3. 제안하는 광학 영상 정합 시스템

광학 영상을 정합하는 방법은 위에서 설명된 바와 같이 특징 기반 영상 정합과 영역 기반 영상 정합이 있는데, 경계를 추출하여 경계 및 에지 값을 이용하거나 뚜렷한 경계를 찾을 수 없어 표면의 기울기나 특징을 이용하는 방법이 있다. 본 논문에서는 두 가지 방법을 이용하여 강인한 광학 영상 정합 알고리즘을 제안한다. 제안하는 시스템은 그림 4와 같다.

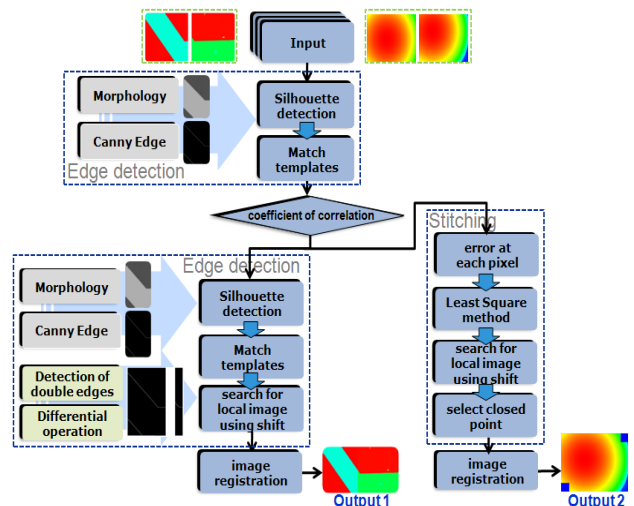


그림 4 제안하는 영상 정합 알고리즘
Fig. 4 The proposed image matching algorithm

본 논문에서는 정합 방법의 변경 시점을 두 영상의 정합 과정에서 상관도를 찾는 시점으로 한다. 템플릿 정합 방법

은 두 벡터의 내적에 의하는데,

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}|\cos\theta$$

$\cos\theta$ 값이 0이면, 두 벡터는 90도를 이루고, 1일 때 0도가 되는데, 이를 백분율하여 두 영상의 상관계수(0~100%)로 결정된다. 결정된 상관계수에 의하여 정합 방법이 선정되고, 선정된 방법에 의해 두 영상을 정합시킨다.

3.1 경계 추출 방법을 이용한 광학영상의 정합

경계 추출 방법에 의한 정합 알고리즘은 그림 5와 같다.

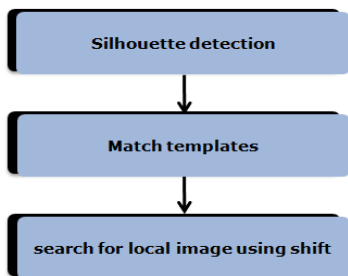


그림 5 경계 추출 방법에 의한 정합

Fig. 5 Registration algorithm of edge detection's method

우선, 2차원의 유클리디안(Euclidean) 공간 Z^2 에서 $f(s, t)$ 는 그레이 레벨의 영상이고, $G(x, y)$ 는 평면 구조 요소라고 하면, 모폴로지의 침식은 다음과 같다[10,11].

$$(f\ominus g)(s, t) = \min \left\{ \begin{array}{l} |f(s+x, t+y) - g(x, y)| \\ (s+x, t+y) \in D_f, (x, y) \in D_0 \end{array} \right\} \quad (1)$$

이때, 영상 $F(x, y)$ 로부터 가우시안 필터(Gaussian filter) $G(x, y)$ 를 합성곱하여 얻은 평활화한 영상은 다음과 같다.

$$S(x, y) = G(x, y) * F(x, y) \quad (2)$$

다음과 같은 2차원 가우시안 함수 식 (3)을 이용하여 영상에서 노이즈를 제거한다.

$$G(x, y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

소벨 에지 연산자를 이용한 케니 에지 기법에 의하여 에지를 검출한다. 영상 $S(x, y)$ 의 수직과 수평방향의 미분을 각각 $G_x(x, y)$, $G_y(x, y)$ 라 할 때 식 (4)와 같이 구할 수 있다,

$$\begin{aligned} G_x(x, y) &= (f(x+1, y-1) + 2*f(x+1, y) + f(x+1, y+1)) \\ &\quad - (f(x-1, y-1) + 2*f(x-1, y) + f(x-1, y+1)) \\ G_y(x, y) &= (f(x-1, y+1) + 2*f(x, y+1) + f(x+1, y+1)) \\ &\quad - (f(x-1, y-1) + 2*f(x, y-1) + f(x+1, y-1)) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 (x, y) 픽셀의 에지 크기는 식 (5)와 같다.

$$E_m(x, y) = \sqrt{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)} \quad (5)$$

또한, (x, y) 픽셀의 에지 방향은 다음과 같다[3,12-13].

$$D(x, y) = \tan^{-1} \frac{G_y}{G_x} \quad (6)$$

상기 에지 정보를 이용하여 기울기의 일치와 일정거리 윤곽점 유무를 판별하여 정합점으로 선정할 수 있다[14].

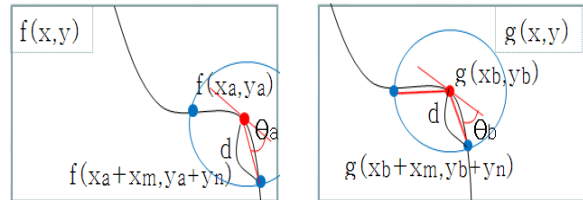


그림 6 영상 정합점 선정

Fig. 6 Selection of image's matching point

그림 7과 같이 영상 내의 임의의 두 점 $f(x_a, y_a)$ 와 $g(x_b, y_b)$ 가 정합하기 위해서는 각각의 미분값 $f'(x_a, y_a)$ 와 $g'(x_b, y_b)$ 은 같아야한다.

$$f'(x_a, y_a) = g'(x_b, y_b) \quad (7)$$

선별된 좌표 $f(x_a, y_a)$ 는 $\theta_a = \theta_b$ 일 때, 일정한 거리 d 만큼 떨어진 좌표 $f(x_a + x_m, y_a + y_n)$ 의 존재 유무를 통하여 정합점으로 선정된다.

$$f(x_a + x_m, y_a + y_n) = g(x_b + x_m, y_b + y_n) \quad (8)$$

3.2 경계가 추출되지 않을 때의 광학영상의 정합

상관 계수에 의한 영역 이외의 값을 경계 추출하지 못한 경우로 선정하여 그림 7과 같이 최소제곱법을 이용한다.

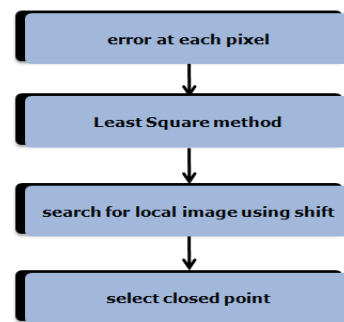


그림 7 스티칭에 의한 정합

Fig. 7 Registration algorithm for stitching method

주어진 기준 데이터(reference data)와 측정된 데이터(sampling data)의 기준을 일치시키는 과정은 다음과 같다. 기준 데이터와 측정 데이터는 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} \text{Reference Data: } z &= f(x, y) \text{ where } x, x_L, x_M, y, y_L, y_M \\ \text{Sampling Data: } P &= p_i = [x_i, y_i, z_i]^T, i = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (9)$$

먼저, 기준 데이터에서 측정 데이터 x, y 가 분포한 영역 정도의 비교영역을 선택한다. 선택한 영역의 x 의 범위가 $\{X_m, X_t\}$, y 의 범위가 $\{Y_m, Y_t\}$ 로 주어지면, 비교영역의 평균 _____ 과 식 $z = ax + by + c$ 로 주어지는 평면과의 맞춤을 수행하여 비교영역을 대표할 수 있는 법선 벡터 n_r 을 다음과 같이 구한다.

$$n_r = [n_{rx} \ n_{ry} \ n_{rz}]^T = \frac{[a \ b \ -1]^T}{\|[a \ b \ -1]^T\|} \quad (10)$$

비슷한 방법으로 측정 데이터의 평균과 대표할 수 있는 법선벡터 n_s 를 계산한다.

$$n_s = [n_{sx} \ n_{sy} \ n_{sz}]^T = \frac{[a \ b \ -1]^T}{\|[a \ b \ -1]^T\|} \quad (11)$$

측정 데이터의 기준을 비교영역과 일치시키기 위하여 식 (12)와 같이 측정 데이터의 평균을 제거한 뒤,

$$[x_i \ y_i \ z_i]^T = [\bar{x}_r \ \bar{y}_r \ \bar{z}_r]^T - [\bar{x}_s \ \bar{y}_s \ \bar{z}_s]^T \quad (12)$$

비교 영역의 법선 벡터와 일치하도록 측정 데이터를 회전시킨다. 주어진 기준 데이터와 측정 데이터의 기준을 일치시키는 과정은 식 (13)과 같다.

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta_{ry} & \sin\theta_{ry} & 0 \\ -\sin\theta_{ry} & \cos\theta_{ry} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 \cos\theta_\Delta & -\sin\theta_\Delta & 0 \\ 0 \sin\theta_\Delta & \cos\theta_\Delta & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_{sy} & -\sin\theta_{sy} & 0 \\ \sin\theta_{sy} & \cos\theta_{sy} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\text{where } (\theta_{ry} = \tan^{-1}\left(\frac{n_{rx}}{n_{ry}}\right), \theta_{sy} = \tan^{-1}\left(\frac{n_{sx}}{n_{sy}}\right), \theta_\Delta = \sin^{-1}n_{rz} - \sin^{-1}n_{sz})$$

측정 데이터와 비교영역의 평균값을 일치시키기 위하여 평균을 제거하고, 회전을 수행한 데이터에 비교영역의 평균값을 더해준다.

$$P_{i,comp} = [x_{i,comp} \ y_{i,comp} \ z_{i,comp}] = R(p_i - \bar{p}) + \bar{r} \quad (14)$$

비교영역과 일치시킨 데이터와 실제 데이터를 비교하기 위하여 측정 데이터의 각 점(x, y)에 해당하는 실제 데이터의 z값을 얻은 뒤, 각 점에서 측정 데이터와의 z값과의 차이의 합을 오차함수로 정의한다.

$$\Sigma^2 = \sum_{i=1}^N |z_{i,comp} - z_{i,r}|^2 \quad \text{where } z_{i,r} = f(x_{i,comp}, y_{i,comp}) \quad (15)$$

이와 같은 과정을 비교영역을 바꾸어 가면서 실제 영역의 전 부분에 대하여 수행함으로써 오차함수의 값이 가장 작아지는 곳이 실제 측정 데이터의 기준 데이터에 대한 위치임을 확인 할 수 있다[15].

4. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서 제안한 영상 정합 실험은 WSI(White-light Scanning Interferometer) 방식의 광학 장비를 이용하였다. WSI는 비 접촉식 3차원 측정방식으로 백색광의 간섭무늬를 통해 영상의 상대적 높이차를 측정하는 방식이다. 이 장비를 이용하여 그림 8과 같이 24bit의 640*480 크기의 RGB를 높이 값으로 갖는 광학 영상을 획득하였다.

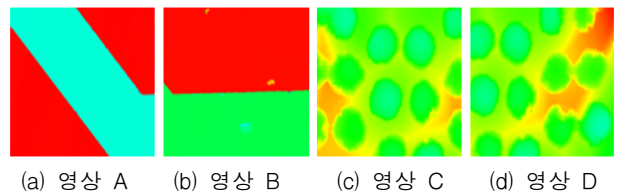
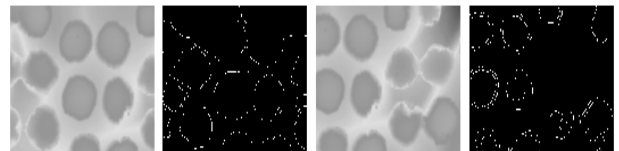


그림 8 입력 영상들
Fig. 8 Input images

그림 8의 영상들의 전 처리 과정 결과는 그림 9와 같다.



(a) 그레이 레벨 영상 A (b) 캐니 에지 추출 영상 A (c) 그레이 레벨 영상 B (d) 캐니 에지 추출 영상 B



(e) 그레이 레벨 영상 C (f) 캐니 에지 추출 영상 C (g) 그레이 레벨 영상 D (h) 캐니 에지 추출 영상 D

그림 9 정합 전 처리 결과 영상

Fig. 9 Result images obtained by preprocessing of registration

경계 추출 방법에 의한 두 영상 간의 상관계수와 매칭좌표는 그림 10과 같다.

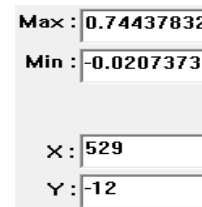


그림 10 경계 추출 방법을 이용한 상관계수 및 정합좌표
Fig. 10 Coefficient of correlation and matching coordinates by silhouette detection method

경계가 추출되는 영상 A와 B의 정합 결과는 그림 11과 같다.

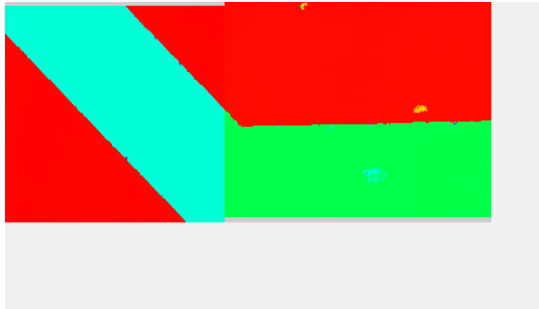


그림 11 경계 추출 방법에 의한 정합 결과
 Fig. 11 Result of registration by silhouette abstraction method

경계가 추출되지 않는 영상 C와 D의 경우, 스티칭 기법을 이용하여 정합한 결과는 그림 12와 같다.

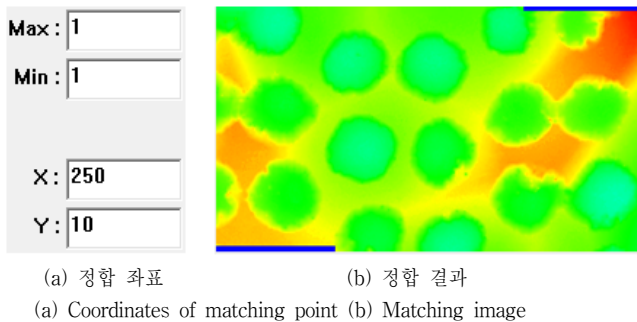


그림 12 스티칭에 의한 정합 결과
 Fig. 12 Result of registration by stitching method

상기 두 가지 실험에 의하면 본 논문에서 제안한 두 가지 방법, 즉 경계가 추정되는 광학 영상의 경우의 정합(그림 11)과 경계가 추출되지 않는 광학 영상의 정합(그림 12)를 모두 우수하게 정합했음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 미세 측정 광학기에 의하여 획득한 광학 영상들의 정합을 위해 경계를 추출하여 정합하는 방법과 경계를 추출하지 못하는 영상에 대한 보다 강인한 광학 영상 정합 알고리즘을 제안하였다. 즉, 경계가 추출되는 영상에 대해서는 각각의 영상으로부터 중첩된 부분의 일부를 템플릿으로 결정하고, 미분법에 의하여 정합점을 검출함으로써 두 영상을 정합하는 방법을 제안하였고, 경계가 추출되지 못하는 영상에 대해서는 스티칭 기법을 이용하여 정합하는 방법을 제안하였다. 마지막으로, 본 논문에서 제안한 방법은 실제 실험을 통해 그 응용 가능성을 증명하였다. 본 기술은 강인한 정합 알고리즘으로 대영역을 시각화하는 장점이 있다.

참 고 문 헌

- [1] 홍헬렌, “의료분야에서의 영상정합 연구”, 한국정보과학회논문지, Vol. 23, No. 10, pp. 61-67. 2005, 12.
- [2] X. N. Cui and H. I. Kim, “Metal Pad Discolored Image Classification Algorithm using Geometric Texture Information”, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 16, No. 5, pp. 469-475, 2010, 6.
- [3] 김승희, 남시병, 임해진, “실시간 영상처리를 위한 향상된 영역 경계 검출”, 한국컴퓨터정보학회논문지, Vol. 14, No. 1, pp. 99-106, 2009, 1.
- [4] 김수겸, 박중순, 최정희, “에지의 구조적 영역정보를 이용한 에지검출”, 한국마린엔지니어링학회지, Vol. 24, No. 2, pp. 232-239, 2000, 3.
- [5] D. H. Vallard and C. M. Brown, Computer Vision, Prentice-Hall, 1982.
- [6] S. Sarker and K. L. Boyer, “On Optimal Infinite Impulse Response Edge Detection Filters”, IEEE Trans. on PAMI, Vol. 13, No. 11, pp. 699-714, 1986, 11.
- [7] K. S. Fu and J. Mui, “A Survey on Image Segmentation”, Pattern Recognition, Vol. 13, No. 1, pp. 3-16, 1981, 1.
- [8] H. L. Tan and S. B. Gelfand, “Minimization Approach to Edge Detection Using Simulated Annealing”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, No. 1, 1991, 1.
- [9] B. Z. J. Flusser, “Image Registration Methods: A Survey”, Image and Vision Computing, Vol. 21, No. 11, pp. 977-1000, 2003, 6.
- [10] Z. Li, Y. Yang, and W. Jiang, “Multi-scale Morphologic Tracking Approach for Edge Detection”, IEEE 4th Inter. Conf. on Image and Graphics, pp.358-362, 2007, 8.
- [11] S. S. Wilson, “Vector Morphology and Iconic Neural Networks”, IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, Vol. 19, No. 6, pp. 456-470, 1989, 11.
- [12] J. Canny, “A Computational Approach to Edge Detection”, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 8, No. 6, pp. 679-698, 1986, 6.
- [13] C. C. Kang and W. J. Wang, “A Novel Edge Detection Method Based on the Maximizing Objective Function”, Pattern Recognition, Vol. 40, No. 2, pp. 609-618. 2007, 2.
- [14] D. Sherman and S. Peleg, “Stereo by Incremental Matching of Contours”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 12, No. 11, 1990, 11.
- [15] 김승우 외, “광간섭에 의한 극초정밀 삼차원 측정기술”, [KOSEF] 특정연구개발사업/원자력연구개발사업 학술기사, 한국과학기술원, pp.87, 1999.

저 자 소 개



양 한 진 (梁 漢 鎭)

1983년 2월생. 2009년, 군산대학교 전자정보공학부 졸업. 2009년~현재, 동 대학원 전기전자정보공학부 석사과정. 관심분야는 지능형 로봇, 인간-로봇 상호작용, 비전 등.

Tel : 063-469-4706

E-mail : hjyang228@kunsan.ac.kr



주 영 훈 (周 永 薰)

1982년, 1984년, 1995년 연세대학교 전기공학과 졸업 (공학사, 공학석사, 공학박사). 1986-1995년 삼성전자 (주) 생산기술센터 팀장, 1995년~현재 군산대학교 제어로봇시스템공학과 정교수. 1998~1999년 미국 휴스턴대학 박사후박사,

2009년 한국지능시스템학회 회장, 현재 대한전기학회 정보제어부문회 편집위원장, Int. Journal of Control, Automation, and Systems(IJCAS) Editor.

Tel : 063-469-4706

E-mail : yhjoo@kunsan.ac.kr