

논문 2005-42SP-4-1

정밀한 다중센서 영상정합을 위한 통계적 상관성의 증대기법

(Enhancement of Inter-Image Statistical Correlation for Accurate Multi-Sensor Image Registration)

김 경 수*, 이 진 학**, 나 종 범*

(Kyoung Soo Kim, Jin Hak Lee, and Jong Beom Ra)

요 약

영상정합은 동일한 장면에 대해서 서로 다른 시간 혹은 서로 다른 특성의 센서로부터 서로 다른 위치에서 얻은 영상들의 위치적 대응관계를 찾는 기법이다. 이 논문에서는 특성이 다른 적외선 센서와 광학 센서로부터 얻은 영상의 정합을 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 지금까지 제안된 서로 다른 특성의 영상을 위한 정합기법은 크게 특징점 기반 영상정합기법과 밝기 값 기반 영상정합기법으로 구분될 수 있다. 특징점 기반의 영상정합기법은 정확하게 대응하는 특징점을 선택하는 것이 성능에 결정적인 영향을 준다. 그러나 적외선 영상과 가시광선 영상에서는 특징점이 서로 같지 않은 경우가 많기 때문에 강인하지 못하다. 그리고 밝기 값 기반의 정합기법에서는 정규상호정보를 유사성 척도로 사용한 영상정합기법이 가장 좋은 성능을 제공하는 것으로 알려져 있다. 그러나 정규상호정보 기반의 영상정합기법은 두 영상의 통계적 상관성이 전역적이어야 한다는 가정을 전제하는데, 적외선 영상과 가시광선 영상에서는 이를 보장하지 못하는 경우가 많아 정규상호정보를 유사성 척도로 사용하는 영상정합기법에서도 좋은 성능을 기대하기 힘들다. 따라서 이 논문에서는 적외선 영상과 가시광선 영상의 통계적 상관성의 해석에 기반한 두 단계 영상정합기법을 제안한다. 정확하고 강인한 정합을 위해서 첫 단계에서는 두 영상에서 통계적 상관성이 높은 부분을 추출하는 ESCR기법과 두 영상을 통계적 상관성이 높도록 필터링하는 ESCF기법을 수행한다. 그리고 두 번째 단계에서는 첫 단계에서의 결과 영상에 대해서 정규상호정보를 유사성 척도로 한 영상정합을 수행한다. 다양한 적외선 영상과 가시광선 영상을 이용한 실험으로부터 제안하는 두 단계 영상정합기법이 기존의 정규상호정보 기반의 영상정합기법에 비해 정확도와 강인함, 그리고 실행 속도의 측면에서 더욱 향상된 성능을 제공함을 확인하였다.

Abstract

Image registration is a process to establish the spatial correspondence between images of the same scene, which are acquired at different view points, at different times, or by different sensors. This paper presents a new algorithm for robust registration of the images acquired by multiple sensors having different modalities; the EO (electro-optic) and IR (infrared) ones in the paper. The two feature-based and intensity-based approaches are usually possible for image registration. In the former selection of accurate common features is crucial for high performance, but features in the EO image are often not the same as those in the IR image. Hence, this approach is inadequate to register the EO/IR images. In the latter normalized mutual information (NMI) has been widely used as a similarity measure due to its high accuracy and robustness, and NMI-based image registration methods assume that statistical correlation between two images should be global. Unfortunately, since we find out that EO and IR images don't often satisfy this assumption, registration accuracy is not high enough to apply to some applications. In this paper, we propose a two-stage NMI-based registration method based on the analysis of statistical correlation between EO/IR images. In the first stage, for robust registration, we propose two preprocessing schemes: extraction of statistically correlated regions (ESCR) and enhancement of statistical correlation by filtering (ESCF). For each image, ESCR automatically extracts the regions that are highly correlated to the corresponding regions in the other image. And ESCF adaptively filters out each image to enhance statistical correlation between them. In the second stage, two output images are registered by using NMI-based algorithm. The proposed method provides prospective results for various EO/IR sensor image pairs in terms of accuracy, robustness, and speed.

Keywords : image registration, statistical correlation, normalized mutual information, EO/IR images

* 학생회원/평생회원, 한국과학기술원 전자전산학과, 영상정보특화연구센터

(Department of EECS and Image Information Research Center, Korea Advanced Institute of Science and Technology)

** 정회원, 국방과학연구소 (Agency for Defense Development)

접수일자: 2004년12월7일, 수정완료일: 2005년2월2일

I. 서 론

비디오 감시 시스템, 물체 인식 및 추적 알고리즘, 그리고 의료영상 등의 연구에서 기존의 단일 센서를 이용한 연구에서 현재는 두 개 이상의 센서를 이용하여 상호 보완적인 정보의 융합을 통한 더욱 정확하고 신뢰도가 높은 알고리즘의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이를 위해서는 영상정합 (image registration) 모듈이 매우 중요한 부분으로 작용한다. 영상 정합은 같은 장면에 대해서 얻은 여러 영상을 하나의 좌표계로 표현하는 것으로, 같은 물체가 각 영상의 어느 영역에 해당되는지에 대한 대응관계를 찾는 기법이다.

동일한 센서로부터 얻은 영상과 달리, 서로 다른 특성의 여러 센서로부터 얻은 영상들은 각 센서들의 특징과 한계로 인하여 그 밝기 값들이 매우 복잡한 관계를 가지며, 일반적인 관계가 알려져 있지 않다. 따라서 서로 다른 특성의 센서로부터 얻은 영상들을 정합하는 것은 매우 어려운 일이며, 영상 정보의 융합이 필요한 많은 분야에서 중요한 요소이므로 활발한 연구가 진행되고 있다.

1. 기존의 알고리즘

서로 다른 특성의 센서들로부터 얻은 영상들을 대상으로 하는 영상정합에는 크게 두 가지 부류가 있다. 첫째, 서로 다른 정보를 제거하며 공통의 정보만을 표현할 수 있도록 영상의 특징을 추출하는 특징 기반 영상정합기법 (feature-based image registration)이 있다. 영상의 밝기 값의 특성이 다르기 때문에 공통적 특성을 제공하는 특징을 찾고 그 정보를 이용하여 영상정합을 하는 방법이다. 이 방법에는 대표적으로 특징점 (feature point)^[1], 외곽선 특징 (contour feature)^[2], 에지 (edge)^[3], 그리고 방향성 에지벡터 (oriented edge vector fields)^[4] 와 gradient^[5] 등의 정보를 이용하는 방법들이 있다. 이러한 방법은 특징점을 찾는 성능이 영상정합의 정확성과 신뢰성에 결정적인 영향을 준다.

다음으로 영상의 전체 영역에서의 밝기 값을 이용하는 밝기 값 기반 영상정합기법 (intensity-based image registration)이 있다. 서로 다른 특성의 센서로부터 얻은 영상은 밝기 값의 매우 복잡한 관계를 가지며 또한 잘 알려져 있지 않는 경우가 대부분이므로 밝기 값 차이를 최소화시키는 등의 단순한 방법으로는 영상정합의 정확성을 보장하지 못할 것이다. 따라서 밝기 값의 통계적 정보를 이용하는 방법들이 소개되어 왔다. 대표적으로 상호정보 (mutual information)^[6-8]와 정규상호정

보 (normalized mutual information)^[9-11] 등이 있다.

2. 연구목적

영상정보 융합을 이용한 물체 인식 및 추적 알고리즘, 그리고 의료영상 분야에서는 정보의 극대화를 위해 물체의 온도 분포를 영상으로 변환시킨 적외선 영상의 사용에 대한 많은 시도가 있다. 이 논문에서는 많은 분야에서 필요로 하는 적외선 영상과 가시광선 영상의 영상정합을 정확하고 빠르게 해결하는 연구를 수행한다.

적외선 영상과 가시광선 영상은 물체의 서로 다른 특성을 제공하기 때문에 영상정합의 관점에서는 매우 어려운 문제를 제공하게 된다. 적외선 영상의 밝기 값은 물체의 온도 정보를 나타냄으로 환경의 영향을 많이 받게 된다. 또한 온도의 분포는 일반적으로 물체의 경계 부분에서 급격하게 변하지 않기 때문에 선명한 에지 정보를 잘 나타내지 못하는 특성이 있다. 따라서 적외선 영상과 가시광선 영상에서 공통적으로 나타나는 특징을 이용하는 특징기반 영상정합기법은 적용하기 힘든 경우가 대부분이다.

그리고 적외선 영상과 가시광선 영상은 밝기 값의 관계가 복잡할 뿐만 아니라, 한 쪽 영상에서는 나타나는 특징들이 다른 쪽에서는 나타나지 않는 상보적인 정보 제공의 특성이 있다. 그리고 한 쪽 영상에서 하나의 밝기 값이 다른 쪽 영상의 여러 밝기 값에 대응되는 경우와 그 반대의 경우가 존재하게 된다. 이러한 지역적 특성들로 인해 적외선 영상과 가시광선 영상의 밝기 값은 전역적인 통계적 상관성을 보장하지 못하는 경우가 많다^[4]. 따라서 밝기 값 기반 영상정합기법 중에서 가장 정확하며 신뢰도가 높다고 알려져 있는 정규상호정보를 이용한 영상정합기법^[9-11]조차 정확한 결과를 제공하지 못하는 경우가 많다. 왜냐하면 정규상호정보는 밝기 값들의 통계적 상관성이 전역적이어야 한다는 가정을 필요로 하기 때문이다. 따라서 이 논문에서는 적외선 영상과 가시광선 영상에서 통계적 상관성이 높다고 판단되는 영역을 추출하는 기법과 두 영상을 통계적 상관성이 높도록 필터링하는 기법을 제안함으로써 통계적 정보를 이용한 정규상호정보 기반의 영상정합기법의 성능을 향상시킨다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 이론적인 배경으로서 밝기 값 기반 영상정합기법의 전체구조와 영상정합에서 가장 중요한 요소인 유사성 척도로서 상호정보와 정규상호정보, 그리고 변환 모델에 대해 알아 보도록 한다. 그리고 III장에서는 영상에서 통계적 상관

성이 높은 영역을 추출하는 ESCR기법과 영상을 통계적 상관성이 높도록 필터링하는 ESCF기법을 제안한다. IV장에서는 III장에서 제안하는 영상정합기법과 기존의 정규상호정보 기반의 영상정합기법을 비교하며 마지막으로 V장에서는 결론을 내린다.

II. 이론적 배경

이 절에서는 영상정합의 전체 구조와 중요한 요소인 유사성 척도와 변환 모델에 대해서 설명한다.

1. 영상정합

서로 다른 위치에서 얻은 두 영상을 같은 위치로 대응시키기 위해 몇 가지 정의가 필요하다. 두 영상 중 하나의 영상을 고정 영상 (fixed image: \mathbf{F})라 하고 이 영상을 기준으로 다른 하나의 영상은 공간적으로 정합되지 않았기 때문에 정해진 변환 모델에 의해 같은 위치로 이동시키게 된다. 이 때 이동 가능한 영상을 이동 영상 (moving image: \mathbf{M})라 한다. 그리고 고정 영상과 이동 영상의 대응관계를 표현하기 위해 두 영상의 대응관계를 전역적 모델로 가정하여 정해진 몇 개의 파라미터 (\mathbf{p})로서 표현 가능한 변환 모델이 사용된다.

고정 영상에 대해서 정해진 변환 모델에 의해 이동 영상을 좌표변환 시킨 후 중첩된 영역에 대해서 유사성 척도 (similarity measure: S)를 계산한다. 그리고 유사성 척도가 최대가 되도록 하는 변환 모델 파라미터 ($\mathbf{p}_{\text{final}}$)를 찾는 것이 영상정합의 최종 목표가 된다.

$$\mathbf{p}_{\text{final}} = \arg \max_{\mathbf{p}} S(\mathbf{F}, \mathbf{M}; \mathbf{p}) \quad (1)$$

2. 상호정보

상호정보는 두 확률변수 (random variable)의 통계적 상관성 (statistical correlation)의 척도이다. 영상정합에서는 두 영상의 밝기 값이 확률변수가 될 수 있으며, 실제 정합이 되었을 때 밝기 값들의 통계적 상관성이 최대가 된다는 것을 이용하는 것이다.

이산 확률변수 (discrete random variable) X 에 대해서 $p_X(x)$ 는 X 의 확률 값이다. 이때 Shannon entropy H 는 다음과 같이 정의 된다.

$$H(X) = - \sum_x p_X(x) \log p_X(x) \quad (2)$$

영상의 경우, 엔트로피는 영상에서 임의의 픽셀을 선택 하였을 때 그 밝기 값을 예측함에 있어 얼마나 모호 (uncertainty)한가에 대한 척도가 된다.

그리고 두 개의 이산 확률변수 X, Y 의 통계적 상관성을 알기 위해서 결합 확률분포 (joint probability mass distribution)를 알아야 한다. 결합 확률분포 $p_{XY}(x, y)$ 는 (X, Y) 의 확률 값이다. 영상에서는 고정 영상의 밝기 값 (X)과 이에 대응되는 이동 영상의 픽셀의 밝기 값 (Y)의 짝 (pair)에 대한 확률 값이 되는 것이다. 이 결합 확률분포를 이용한 결합 엔트로피 (joint entropy)는 식(3)와 같이 정의 된다.

$$H(X, Y) = - \sum_{x, y} p_{XY}(x, y) \log p_{XY}(x, y) \quad (3)$$

엔트로피는 정보량으로 표현되기도 하는데, 상호정보 $I(X; Y)$ 는 두 확률변수의 공통 정보를 의미하게 된다. 영상정합에서는 두 영상이 실제 정합이 되었을 때 두 영상의 밝기 값의 통계적 상관성이 최대가 되며 공통적인 정보량인 상호정보가 최대가 된다는 것을 이용하게 된다. 상호정보는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} I(X; Y) &= H(X) - H(X|Y) \\ &= H(Y) - H(Y|X) \\ &= H(X) + H(Y) - H(X, Y) \end{aligned} \quad (4)$$

3. 정규상호정보

상호정보는 식 (2)와 (3)의 엔트로피를 계산함으로써 얻어진다. 그러나 엔트로피가 배경 크기에 대한 의존성이 높은 특성으로 인해 상호정보는 중첩된 영역에 민감한 단점이 있다. 이렇게 중첩된 영역에 민감한 상호정보의 단점을 결합 엔트로피로 정규화를 통해 해결하게 된다^[9].

$$I_N(X; Y) = \frac{H(X) + H(Y)}{H(X, Y)} \quad (5)$$

정규상호정보 $I_N(X; Y)$ 는 각 영상의 엔트로피를 결합 엔트로피로 정규화한 형태를 가진다.

4. 결합 히스토그램 추정

정규상호정보를 계산하기 위해서 결합 히스토그램을 이용할 수 있다. 결합 히스토그램은 고정 영상의 픽셀의 밝기 값과 그에 대응되는 이동 영상의 픽셀 밝기 값

을 이용하여 생성된다. 그러나 고정 영상에 대응되는 이동 영상은 정확히 고정 영상의 픽셀 그리드 (grid)에 대응되지 않는 경우가 대부분이다. 따라서 보간기법이 필요하게 된다.

영상정합에서는 주변 픽셀 값을 이용한 보간기법으로 대응되는 픽셀의 밝기 값을 생성하는 경우는 결합 히스토그램이 정합과정에서 연속적으로 완만한 값의 변화를 제공하지 못하기 때문에, 새로운 PV (partial volume) 보간기법이 사용된다^{6, 7}. PV 보간기법은 고정 영상의 한 픽셀에 대해 이동 영상의 대응점 주위 4 픽셀을 이용하여 결합 히스토그램 도메인에서 밝기 값 좌표에 해당되는 대응점과 주위 4픽셀이 이루는 면적 비율만큼 각각 증가시킨다. 따라서 정합 과정에서 유사성 척도인 상호정보와 정규상호정보가 연속적으로 완만한 값의 변화를 가질 수 있게 된다.

5. 변환 모델

변환 모델은 획득하고자 하는 장면이 평면이라는 가정 하에 몇 개의 파라미터로 정의 할 수 있다. 이 논문에서 목표로 하는 것과 같은 2D 영상은 3D 실제 물체들의 투영된 결과 영상이므로 물체의 원근을 표현할 수 있는 파라미터를 포함하는 원근적 변환 모델^{4, 5}의 사용이 적합할 것이다. 식 (6)은 원근적 변환 모델을 나타내며, 그리고 (x_i^f, y_i^f) 는 고정 영상의 좌표이며 (x_i^m, y_i^m) 는 이동 영상의 좌표이다.

$$\begin{aligned} x_i^m &= p_1 + p_2x_i^f + p_3y_i^f + p_7x_i^f{}^2 + p_8x_i^f y_i^f \\ y_i^m &= p_4 + p_5x_i^f + p_6y_i^f + p_7x_i^f y_i^f + p_8y_i^f{}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

각 파라미터의 역할을 살펴보면 다음과 같다. 먼저, p_1 은 x 축 방향으로 이동, p_2 는 x 축 방향으로 확대/축소, p_3 는 x 축 방향으로 shearing을 표현하는 역할을 한다. 그리고 p_4 는 y 축 방향으로 이동, p_5 는 y 축 방향으로 shearing, p_6 는 y 축 방향으로 확대/축소를 표현하는 역할을 한다. p_7 과 p_8 은 원근적 정보를 표현하기 위해 사용된다. p_7 는 y 축 방향으로의 회전, p_8 는 x 축 방향으로의 회전을 나타낸다.

III. 제안하는 알고리즘

이 장에서는 기존 알고리즘의 문제점을 제시하고 새

로운 접근으로서 적외선 영상과 가시광선 영상의 정합을 수행하는 방법을 제안한다.

1. 기존 알고리즘의 문제점

기존의 알고리즘들 중 특징기반 영상정합기법은 정확한 특징점 (feature point)을 선택할 수 있다면 빠르게 정합을 이룰 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 논문에서 목표로 하는 적외선 영상과 가시광선 영상에서는 서론에서 소개한 특성들로 인해 정확한 특징점의 선택에 있어 신뢰도가 떨어진다. 따라서 특징기반 영상정합기법은 적외선 영상과 가시광선 영상의 정합에는 적합하지 않은 경우가 대부분이다.

밝기 값 기반 영상정합기법은 고정 영상과 이동 영상의 중첩된 영역에서 픽셀의 밝기 값을 이용하여 영상정합을 하는 것이다. 이 논문에서 목표로 하는 적외선 영상과 가시광선 영상과 같이 서로 다른 특성을 가지는 센서로부터 얻은 영상들의 정합에는 단순히 밝기 값의 크기를 이용하는 방법은 적용하기 힘들다. 따라서 밝기 값의 통계적 정보를 이용하는 상호정보와 정규상호정보를 이용하게 된다. 지금까지는 정규상호정보가 가장 정확하며 신뢰도가 높은 유사성 척도라고 알려져 있다. 또한 정규상호정보는 잡음에도 강한 특성을 가진다. 그러나 정규상호정보를 유사성 척도로 사용하기 위해서는 두 영상의 밝기 값이 전역적인 통계적 상관성을 보장하여야 한다. 그러나 적외선 영상과 가시광선 영상에서는 이러한 조건을 만족시키지 못하는 경우가 많이 존재하기 때문에 정규상호정보를 직접 유사성 척도로 사용하기에는 무리가 있다⁴.

2. 제안하는 알고리즘의 전체구조

앞서 언급한대로 적외선 영상과 가시광선 영상의 밝기 값이 전역적으로 통계적 상관성을 보장하지 못하는 경우가 많다. 그러나 적외선 영상과 가시광선 영상에서 통계적 상관성이 높은 영역만을 자동적으로 선택할 수 있다면, 그리고 통계적 상관성이 높은 영상으로 표현할 수 있다면, 정규상호정보의 장점을 살릴 수 있는 동시에 더욱 정확하고 신뢰도가 높은 영상정합 알고리즘이 실현 될 수 있을 것이다.

따라서 이 논문에서는 적외선 영상과 가시광선 영상의 통계적 상관성 분석을 통해서 통계적 상관성이 높은 영역을 자동적으로 선택하는 기법과 통계적 상관성이 높은 영상으로 필터링하는 기법을 제안함으로써 정확하고 강인한 영상정합기법을 제안한다.

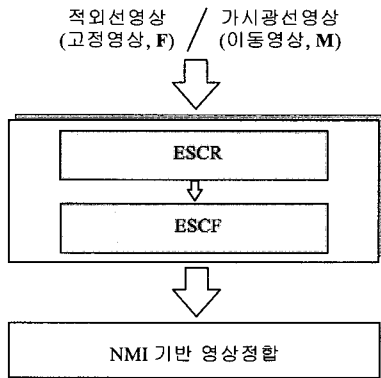


그림 1. 제안하는 두 단계 영상정합기법
Fig. 1. Proposed two-stage image registration algorithm.

<그림 1>은 제안하는 두 단계 영상정합기법의 전체 블록도이다. 첫 단계에서는 적외선 영상과 가시광선 영상에서 통계적 상관성이 높은 영역만을 자동적으로 선택하는 ESCR (extraction of statistically correlated regions)기법과 두 영상을 통계적 상관성이 높은 영상으로 필터링하는 ESCF (enhancement of statistical correlation by filtering)기법이 순차적으로 수행된다. 이 부분이 제안하는 영상정합기법의 핵심이 되는 부분이며 다음 절에서 자세하게 살펴보기로 한다. 두 번째 단계에서는 첫 단계에서 얻어진 결과 영상에 대해서 정규상호정보를 유사성 척도로 하여 영상정합을 수행한다.

3. ESCR

통계적 상관성이 높은 영역의 선택에 앞서, 먼저 '통계적 상관성이 높다'라는 것이 무엇인지 명확하게 살펴볼 필요성이 있다.

두 확률변수가 있을 때, 하나의 확률변수 값을 알 때 나머지 하나의 확률변수를 잘 예측할수록 통계적 상관성이 높다. 다시 말해서, 조건부 엔트로피 (conditional entropy)가 작을수록 통계적 상관성이 높게 된다.

$$H(X|Y) = \sum_y p_Y(y) H(X|Y=y) \quad (7)$$

식 (7)의 $H(X|Y)$ 은 조건부 엔트로피를 나타내며, 이것은 엔트로피 $H(X|Y=y)$ 의 평균으로 표현된다. $H(X|Y=y)$ 는 확률변수 Y 를 안다고 가정할 때 X 에 대한 엔트로피로서, 이 값이 작을수록 주어진 Y 에 대해서 X 를 잘 예측할 수 있게 된다. 따라서 조건부 엔

트로피가 작을수록 통계적 상관성이 높다고 할 수 있다. 영상에서는 고정 영상의 픽셀 밝기 값을 알 때 그에 대응되는 이동 영상의 픽셀 밝기 값을 잘 예측할수록 통계적 상관성이 높게 된다. 그러나 가시광선 영상과 적외선 영상의 경우는 한 쪽 영상에서 나타나는 특징이 다른 영상에는 나타나지 않는 상보적인 특징을 가지며, 또한 한 쪽 영상에서 하나의 밝기 값이 다른 영상에서 여러 밝기 값으로 대응되는 경우가 많기 때문에^[4] 고정 영상의 픽셀에 대응되는 이동 영상의 밝기 값을 예측하기 어려운 경우가 많이 존재하게 된다. 이러한 경우는 조건부 엔트로피를 높게 하는 요인이 되어 통계적 상관성을 저하시키는 요소라고 판단된다. 이러한 요소들을 제거함으로써 적외선 영상과 가시광선 영상에서 통계적 상관성이 높은 영역을 선택할 수 있을 것이다.

그렇다면 조건부 엔트로피를 높게 하는 통계적 상관성이 낮은 영역이 정규상호정보를 유사성 척도로 한 영상정합기법에 어떤 영향을 주는지 이론적 해석을 하여 보도록 하자.

$$\begin{aligned} I(X;Y) &= H(X) - H(X|Y) = H(Y) - H(Y|X) \\ 2I(X;Y) &= H(X) + H(Y) - [H(X|Y) + H(Y|X)] \quad (8) \\ I(X;Y) &= \frac{H(X) + H(Y)}{2} - \frac{H(X|Y) + H(Y|X)}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_N(X;Y) &= \frac{H(X) + H(Y)}{H(X,Y)} \\ &= \frac{H(X) + H(Y)}{H(X|Y) + H(Y|X) + I(X;Y)} \quad (9) \\ &= \frac{2[H(X) + H(Y)]}{[H(X) + H(Y)] + [H(X|Y) + H(Y|X)]} \end{aligned}$$

식 (8)은 상호정보를 식 (4)를 이용하여 표현한 식이며, 이 결과를 이용해 식 (9)에서는 정규상호정보를 각 영상의 엔트로피 $H(X)$, $H(Y)$ 와 조건부 엔트로피 $H(X|Y)$, $H(Y|X)$ 를 이용하여 다시 정의 하였다. 실제로 각 영상의 엔트로피는 영상정합 과정에서 거의 변하지 않는다. 따라서 식 (9)를 통하여 조건부 엔트로피가 정규상호정보와 역비례 관계를 가진다는 것을 알 수 있다. 정규상호정보를 유사성 척도로 하는 영상정합 기법에서는 실제 정합이 되었을 때 정규상호정보가 최대가 되어야 하며 정합에서 멀어질수록 점차적으로 감소되어야 한다. 이를 위해서는 조건부 엔트로피가 정합이 되었을 때 최소값을 가져야 하며 정합에서 멀어질수록 점차적으로 증가하여야 한다. 그러나 통계적 상관성이 낮은 영역들로 인하여 실제 정합이 되었을 때 조건부 엔트로피가 최소가 되지 못하는 경우가 발생하며 정

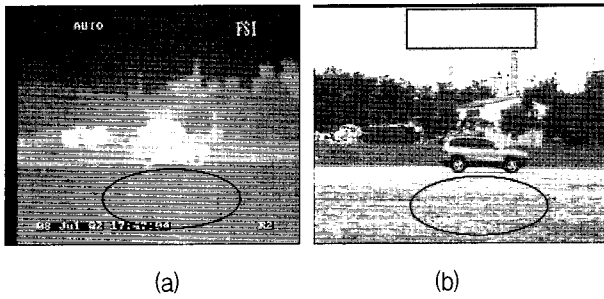


그림 2. (a) 적외선 영상과 (b) 가시광선 영상
Fig. 2. (a) IR image and (b) EO image.

합에서 멀어질수록 점차적인 값의 증가도 보장되지 못하게 된다. 따라서 실제 정합이 되었을 때에도 조건부 엔트로피를 크게 하는 통계적 상관성이 낮은 영역을 제거하는 것은 정확하고 정합한 정합기법을 위해서는 매우 중요하다고 할 수 있다.

실제 적외선 영상과 가시광선 영상에서 어떠한 영역이 조건부 엔트로피를 높게 하는 요소이며 통계적 상관성이 낮은 영역인지 살펴보자. <그림 2>의 적외선 영상과 가시광선 영상에서 타원으로 표시한 부분은 두 영상에서 대응되는 영역이다. 그러나 적외선 영상에서는 밝기 값의 변화가 거의 없지만 가시광선 영상에서는 복잡한 구조를 가지며 밝기 값의 변화도 심하다. 따라서 적외선 영상의 한 밝기 값을 안다고 가정할 때 그에 대응되는 가시광선 영상의 픽셀 밝기 값을 예측하기 어렵게 된다. 이러한 영역이 바로 조건부 엔트로피를 크게 하며 통계적 상관성을 저하시키는 요소가 된다. 따라서 이렇게 한 쪽 영상에서 밝기 값의 변화가 작은 영역이 다른 영상에서 밝기 값의 변화가 큰 영역에 대응되는 경우는 제거되어야 한다. 이것이 바로 조건부 엔트로피를 크게 하는 부분을 제거 시키는 결과를 낳게 될 것이다.

그러나 정합되기 전에 이러한 대응관계를 쉽게 찾을 수가 없다. 이를 해결하기 위해 이 논문에서는 한 쪽 영상에서 밝기 값의 변화가 작은 영역만을 제거함으로써 다른 영상에서 밝기 값의 변화가 큰 영역은 자동적으로 제거되는 효과를 볼 수 있는 방법을 사용하였다. 왜냐하면 대응되는 영역이 제거되었기 때문에 결합 히스토그램이 생성될 때 배제되기 때문이다. 그러나 이 방법을 사용하게 되면 주의해야 할 점이 크게 두 가지가 있다. 첫째, <그림 2>의 적외선 영상과 가시광선 영상에서 사각형으로 표시된 영역과 같이 두 영상 모두에서 밝기 값의 변화가 작은 영역 또한 제거 된다는 것이다. 다행히도 이 경우는 영상정합과정에서 결합 히스토그램

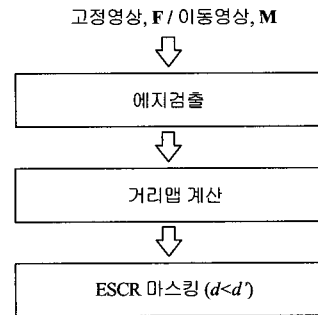


그림 3. 제안하는 ESCR기법
Fig. 3. The proposed ESCR procedure.

에 변화를 주지 못하기 때문에 제거되더라도 문제가 되지 않는 영역이다. 오히려 결합 히스토그램 생성될 때 사용되는 픽셀수가 적어지므로 계산량이 줄어드는 장점을 제공한다. 둘째, 밝기 값의 변화가 작은 모든 영역이 제거 될 수 있다는 것이다. 두 영상에서 작은 영역에 걸쳐 밝기 값의 변화가 작은 영역은 통계적 상관성이 가장 높은 영역이 되므로 이 영역은 제거되어서는 안 될 것이다. 따라서 두 영상에서 넓은 영역에 걸쳐서 밝기 값의 변화가 작은 영역을 제거함으로써 조건부 엔트로피를 높게 하는 요소를 제거 할 수 있을 것이다.

<그림 3>은 넓은 영역에서 걸쳐 밝기 값의 변화가 작은 영역을 제거함으로써 통계적 상관성이 높은 영역을 추출하는 ESCR기법의 전체 구조를 보여준다. 먼저 잡음을 제거하기 위하여 평탄화 (smoothing)를 수행한 후 선명한 에지를 찾는다. 그리고 이 에지로부터 거리맵 (distance map)을 생성한다. 이 거리맵은 모든 픽셀에서 가장 가까운 거리에 있는 에지까지의 거리 정보를 나타낸다. 거리맵에서 큰 값을 가지는 영역은 주위에 복잡한 구조의 물체가 없는 영역이 되며 넓은 영역에서 밝기 값의 변화가 작은 영역이 된다. 따라서 거리맵에서 미리 정해진 d' 보다 작은 값을 가지는 영역만을 추출함으로써 통계적 상관성이 높은 영역을 선택할 수 있게 된다. d' 은 초기에 두 영상이 공간적으로 떨어진 정도 (misregistration)와 두 영상의 겹쳐진 영역의 크기와 관계된다. 실제 영상정합에서는 영상을 획득하는 카메라의 파라미터를 알기 때문에 초기 misregistration 정도를 예측할 수 있고 그에 따라 d' 을 정할 수 있다.

<그림 4>는 실제 적외선 영상과 가시광선 영상에 제안하는 ESCR기법을 적용한 결과이다

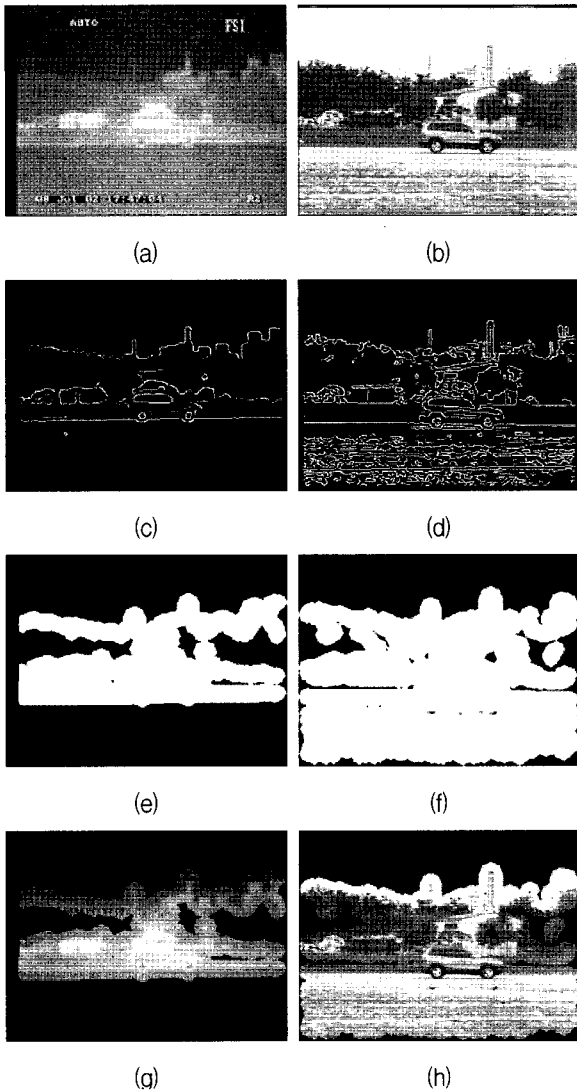


그림 4. 제안하는 ESCR기법을 적용 : (a) 적외선 영상 (b) 가시광선영상 (c) <a>에 대한 에지맵 (d) 에 대한 에지맵 (e) <a>에 대한 ESCR 마스크 (f) 에 대한 ESCR 마스크. 제안하는 ESCR기법의 결과 영상 ($\sigma=10$): (g) 적외선 영상 (h) 가시광선 영상

Fig. 4. Application results of ESCR to (a) an IR image and (b) the corresponding EO image. (c), (d) Edge maps. (e), (f) ESCR masks. (g), (h) Regions extracted by ESCR with σ of 10.

4. ESCF

이 절에서는 고정 영상과 이동 영상을 통계적 상관성이 높은 영상으로 필터링하는 기법을 제안한다. 적외선 영상과 가시광선 영상에서는 잡음과 조명, 그리고 환경 (날씨, 온도 등) 등의 영향으로 같은 물체 내부에서의 밝기 값이 동일하지 않고 불규칙적인 분포 (inhomogeneous distribution)를 가지게 되는데 이러한

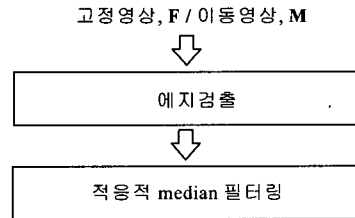


그림 5. 제안하는 ESCF기법
Fig. 5. The proposed ESCF procedure.

특성은 적외선 영상과 가시광선 영상의 통계적 상관성을 저하시키는 요인으로 작용하게 된다. 이러한 특성으로 인해 결합 히스토그램이 실제 정합 후에도 퍼져있는 형태를 가지게 될 것이다. 이렇게 동일한 물체에서의 밝기 값의 불규칙적인 변화로 인한 결합 히스토그램이 퍼지는 현상은 조건부 엔트로피를 증가시킬 뿐만 아니라 밝기 값의 일대다 대응 (one-to-many intensity correspondence)도 더욱 증가시킨다. 밝기 값의 일대다 대응 문제라는 것은 서로 다른 물체가 한 쪽 영상에서는 다른 밝기 값을 가지면서 다른 쪽 영상에서는 같은 밝기 값을 가지는 경우에 발생된다. 예를 들어 물체 A가 고정 영상에서 a 의 밝기 값을 가지며 이동 영상에서도 a 의 밝기 값을 가지며, 물체 B는 고정 영상에서는 a 의 밝기 값을 가지며 이동 영상에서는 b 의 밝기 값을 가진다면, 실제 정합이 될 때 결합 히스토그램 상에서 (a, a) 과 (a, b) 에서 높은 확률 값을 가지게 될 것이다. 그러나 정합에서 조금 멀어졌을 때 고정 영상의 물체 B와 이동 영상의 물체 A와 겹치게 된다면 결합 히스토그램 상에서 (a, a) 에서 높은 확률 값을 제공하게 되어 실제 정합이 된 것처럼 인식됨으로써 영상 정합의 정확도에 잠재적으로 방해요인이 될 수 있으며 수행 속도 또한 감소하게 된다^[11].

<그림 5>는 이러한 문제를 해결하기 위해 동일한 물체 내에서 밝기 값의 불규칙적인 변화를 제거하기 위해 제안하는 ESCF기법이다.

ESCF의 목표는 물체의 경계부분인 에지 영역은 보존되도록 하면서 같은 물체 내부는 밝기 값을 평탄화시키는 것이다. 따라서 먼저 고정 영상과 이동 영상에서 선명한 에지 영역을 찾고 이 부분을 보존시키기 위해 에지 영역을 제외한 나머지 픽셀에 대해서만 밝기 값을 평탄화시키는 적응적 median 필터링을 수행한다. ESCF기법은 ESCR기법에 의해 선택된 영역에 대해서만 필터링을 수행함으로써 계산 시간을 줄일 수 있다. 제안하는 ESCF기법을 적외선 영상에 적용한 결과를

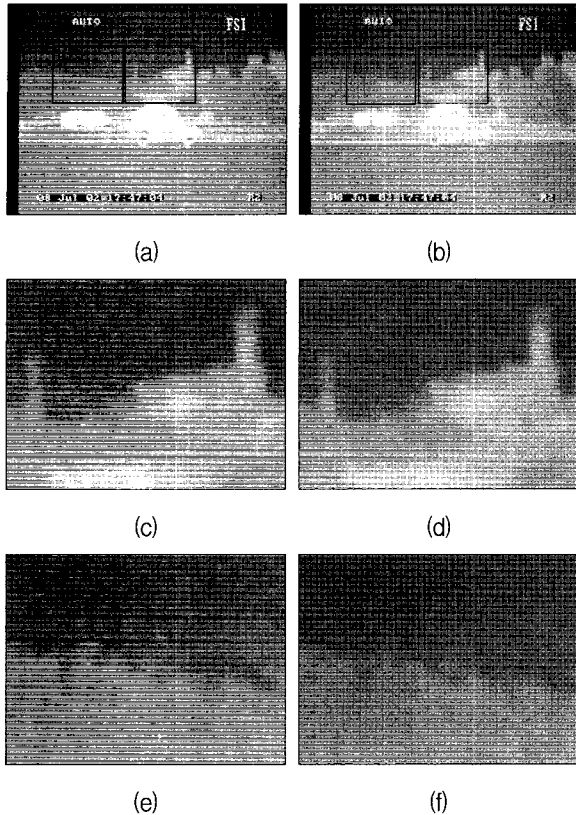


그림 6. (a) 적외선 영상 (b) <a>에 제안하는 ESCF기법을 적용한 결과 영상 (c), (e) <a>에서 사각형으로 표시된 2개의 영역에 대해 확대한 영상들 (d), (f) 에서 사각형으로 표시된 2개의 영역에 대해 확대한 영상들

Fig. 6. Application result of ESCF to an IR image. (a) The original IR image. (b) The result image after applying ESCF to (a). (c), (e) The enlarged images corresponding to rectangular regions in (a). (d), (f) The enlarged images corresponding to rectangular regions in (b).

<그림 6>에서 보여준다.

<그림 6>에서 보는 바와 같이 제안하는 ESCF기법을 적용하여 에지 영역은 보존하면서 물체 내부는 밝기 값의 불규칙적인 분포가 완화되었다. 이 결과가 실제 결합 히스토그램에서는 어떠한 결과를 낳게 되는지 살펴해보도록 하자. <그림 7>에서 보는 바와 같이 적외선 영상과 가시광선 영상의 대한 결합 히스토그램에서 ESCF기법을 적용한 후의 결합 히스토그램이 퍼져있는 정도가 더욱 작음을 볼 수 있다. 따라서 제안하는 ESCF기법은 정합이 되었을 때 두 영상의 조건부 엔트로피를 낮게 할 뿐 아니라, 밝기 값의 일대다 대응을 줄임으로써 통계적 상관성을 높이는 결과를 내게 된다. 그러므로 ESCF기법의 전처리를 통해서 더욱 강인하고

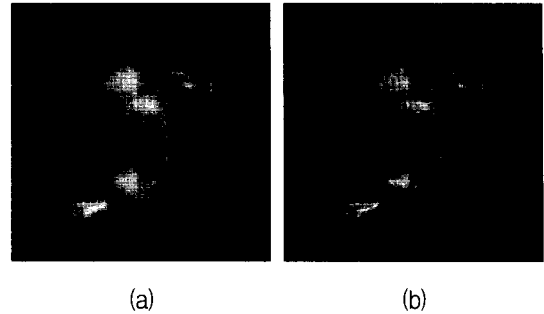


그림 7. <그림 4>의 적외선 및 가시광선 영상에 대한 결과: (a) ESCF기법 적용 전의 결합 히스토그램 (b) ESCF기법 적용 후의 결합 히스토그램

Fig. 7. Joint histogram between an IR image and the corresponding EO image in Fig. 4. (a) Joint histogram before applying ESCF. (b) Joint histogram after applying ESCF.

빠른 영상정합을 수행할 수 있을 것이다.

IV. 실험 결과

영상에서의 통계적 상관성에 대한 분석을 기반으로 하는 ESCR기법과 ESCF기법을 적용한 두 단계 정합기법 (제한하는 영상정합기법)과 기존의 정규상호정보 기반의 영상정합기법을 여러 장의 적외선 영상과 가시광선 영상을 이용한 실험을 통하여 정확성 (accuracy)과 강인함 (robustness), 그리고 실행 속도 (operation speed)의 관점에서 비교하였다.

실험에 사용한 적외선 영상과 가시광선 영상의 크기는 두 영상 모두 320 x 240이다. 적외선 영상은 FLIR Systems사의 3~5 μm 의 파장대의 Prism Single Point IR camera를 이용하여 획득한 영상이다. 그리고 <그림 8, 10>에서 사용된 적외선 영상과 가시광선 영상은 통계적 상관성이 매우 낮은 경우에 해당되며 <그림 11>에서 사용된 영상은 통계적 상관성이 비교적 높은 경우에 해당한다. 이 논문에서는 통계적 상관성이 높은 경우와 낮은 경우 모두에 대해서 실험하였다.

1. 실험 방법 (experiment design)

적외선 영상과 가시광선 영상의 공간적 대응관계를 원근적 변환 모델로서 표현하였다. 그리고 원근적 변환 모델에 따라 좌표 변환된 이동 영상은 고정 영상과 픽셀이 정확하게 정렬되어 있지 않기 때문에 결합 히스토그램 생성 시 보간이 필요하게 되는데, 이 논문에서는 PV 보간기법을 사용하였다. 이것은 결합 히스토그램의 부드러운 변화를 제공하여 영상정합에서 강인함을 더욱

높이게 된다^[6, 7, 12, 13]. 유사성 척도로 사용되는 정규상호정보의 최대 값을 제공하는 파라미터를 찾는 것이 영상정합의 궁극적 목표이며 이를 위해 다차원 downhill simplex method를 사용하였다. 이것은 다른 최적화 방법들에 비해 국부 최대점 (local maximum)에 빠지는 것을 피할 수 있으며, 실행속도도 빠르다고 알려져 있다^[8].

결합 히스토그램 생성 시 보간이 수행되는 영상은 바로 이동 영상이므로 결합 히스토그램의 부드러운 변화를 위해서는 화질이 좋은 영상이 이동 영상으로 선택되는 것이 바람직할 것이다. 따라서 화질이 상대적으로 좋은 가시광선 영상을 이동 영상으로 선택하였다.

2. 실험 결과

이 절에서는 제안하는 ESCR기법과 ESCF기법이 각 영상정합에 어떠한 성능 향상을 주는지 알아보도록 한다.

가. ESCR기법을 적용한 영상정합기법

통계적 상관성이 높은 영역만을 자동적으로 추출하여 그 영역에 대해서 정규상호정보를 유사성 척도로 한

영상 정합을 수행하였다. 정규상호정보는 통계적 상관성이 전역적이라는 전제를 필요로 하는 유사성 척도이기 때문에 영상에서 통계적 상관성을 저하시키는 요소를 제거하는 일은 영상정합을 매우 강인하고 정확하게 만들 것이다.

<그림 8>과 <그림 10>은 적외선 영상과 가시광선 영상에 제안하는 ESCR기법을 적용하여 영상정합을 한 경우와 기존의 정규상호정보 기반 영상정합기법의 결과를 보여준다. 결과 그림은 고정 영상과 이동 영상을 부분적으로 교차하여 생성된 것이다. 제안하는 ESCR기법을 적용한 경우가 더욱 정확하게 정합이 됨을 확인할 수 있었다.

그리고 <그림 9>는 <그림 8>에서 사용된 실험 영상에 대해서 정합에서 멀어질수록 정규상호정보의 값이 어떻게 변하는지 보여준다. 적외선 영상과 가시광선 영

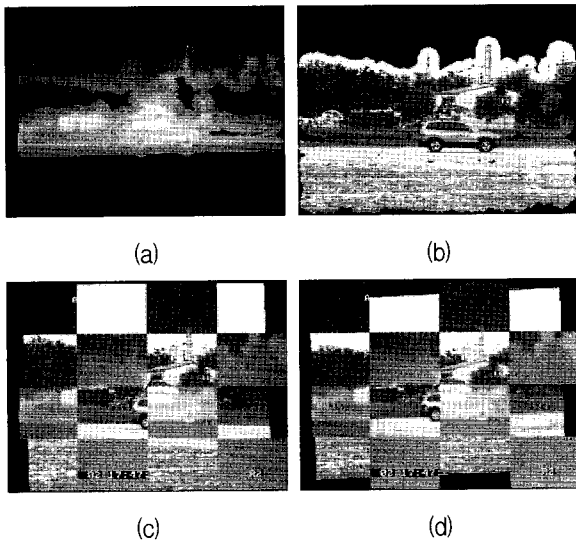


그림 8. (a) <그림 4(a)>에 대해 제안하는 ESCR기법을 적용한 결과 (b) <그림 4(b)>에 대해 제안하는 ESCR기법을 적용한 결과 (c) 기존의 정규상호정보 기반 알고리즘의 정합 결과 (d) 제안하는 ESCR기법을 적용한 알고리즘의 정합 결과

Fig. 8. Registration results for EO/IR images in Fig. 4. (a), (b) Regions extracted by applying ESCR to EO/IR images. (c) Registration result by the conventional algorithm. (d) Registration result by applying ESCR to the conventional algorithm.

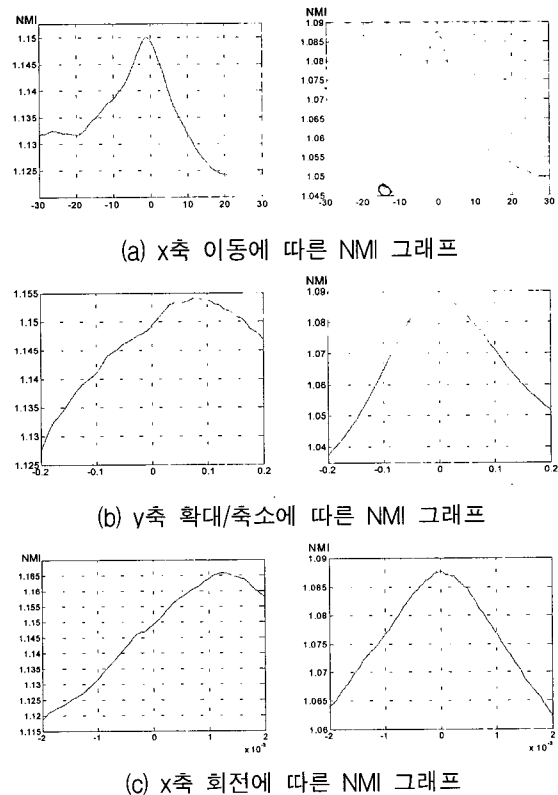


그림 9. <그림 4>의 적외선 영상과 가시광선 영상에 대한 정규상호정보 특성 곡선: (좌측) 기존의 NMI 기반 영상정합기법 (우측) 제안된 ESCR 기반의 영상정합기법

Fig. 9. NMI changes for various transformations. Left graphs represent the results of the conventional registration algorithm by using the images given in Fig. 4(a) and (b). Right graphs represent the registration results by applying ESCR to the conventional algorithm (see Fig. 4(g) and (h)).

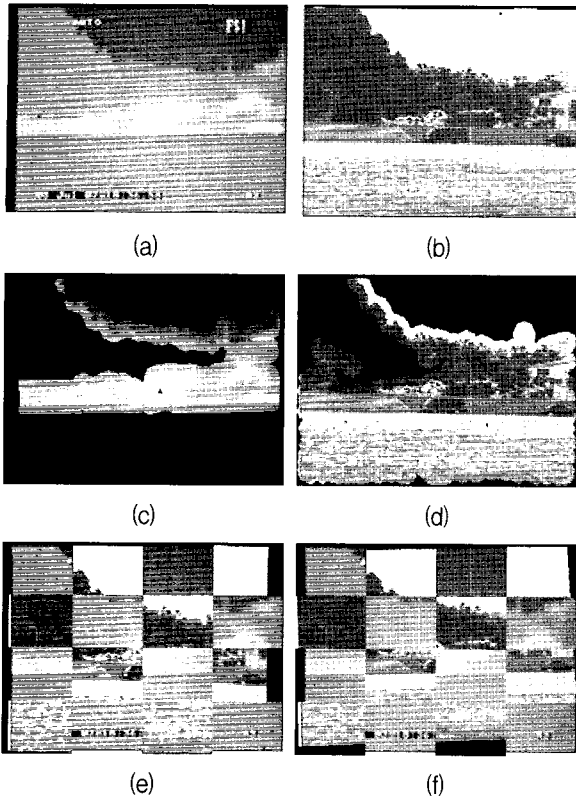


그림 10. (a) 적외선 영상 (b) 가시광선 영상 (c) <(a)>에 대해 제안하는 ESCR기법을 적용한 결과 (d) <(b)>에 대해 제안하는 ESCR기법을 적용한 결과 (e) 기존의 정규상호정보 기반 알고리즘의 정합 결과 (f) 제안하는 ESCR기법을 적용한 알고리즘의 정합 결과

Fig. 10. (a) IR and (b) EO images. (c), (d) Extracted regions from (a) and (b) by ESCR. (e) Registration result by the conventional algorithm. (f) Registration result by applying ESCR to the conventional algorithm.

상은 통계적 상관성이 낮기 때문에 기존의 정규상호정보 기반의 정합기법은 정합이 되었을 때 정규상호정보가 최대가 되지도 못하며 정합에서 멀어질수록 점차적으로 감소하지도 않음을 확인 할 수 있다. 반면 제안하는 ESCR기법을 적용하여 통계적 상관성이 높은 영역을 자동적으로 추출한 후 영상정합을 한 경우에는 정합이 되었을 때 최대값을 제공하며 정합에서 멀어질수록 점차적으로 감소함을 확인할 수 있었으며, 기존의 정규상호정보 기반의 정합기법에 비해 수렴 영역도 더 크기 때문에 큰 초기 misregistration에도 더욱 강인할 것이다.

그리고 결합 히스토그램 생성 시 보간이 필요한 이동 영상은 화질이 좋은 가시광선 영상으로 선택한 경우가 더욱 좋은 결과를 제공하였다. 이것은 화질이 좋은 가

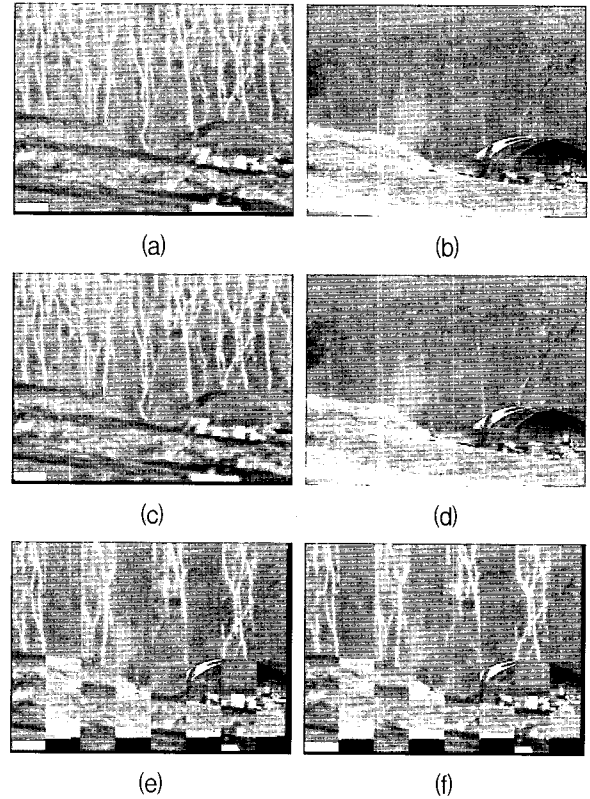


그림 11. (a) 적외선 영상 (b) 가시광선 영상 (c) <(a)>에 대해 제안하는 ESCF기법을 적용한 결과 (d) <(b)>에 대해 제안하는 ESCF기법을 적용한 결과 (e) 기존의 정규상호정보 기반 알고리즘의 정합 결과 (최적화 과정에서의 evaluation수: 123) (f) 제안하는 ESCF기법을 적용한 알고리즘의 정합 결과 (최적화 과정에서의 evaluation 수: 94)

Fig. 11. (a) IR and (b) EO images filtered by ESCF. (c), (d) IR and EO images filtered by ESCF. (e) Registration result by the conventional algorithm (Number of evaluations: 123). (f) Registration result by applying ESCF to the conventional algorithm (Number of evaluations: 94).

시광선에서 보간을 수행하여 결합 히스토그램의 부드러운 변화를 제공하였기 기 때문으로 분석된다^[12, 13].

나. ESCF기법을 적용한 영상정합기법

이 절에서는 고정 영상과 이동 영상을 통계적 상관성이 높은 영상으로 필터링하는 기법인 ESCF을 적용한 영상정합기법을 기존의 정규상호정보 기반 영상정합기법과 비교한다. 적외선 영상과 가시광선 영상에서는 밝기 값의 불규칙적인 분포로 통계적 상관성이 저하될 수 있다. 이러한 특성을 해결하기 위해 ESCF기법을 적용하여 영상정합을 수행한 경우와 기존의 정규상호정보기반 영상정합기법의 결과를 <그림 11>에서 보여준다.

표 1. ESCF기법 적용에 따른 evaluation수 비교
Table 1. Comparison of the number of evaluations.

알고리즘 실험영상	ESCF기법 적용 전	ESCF기법 적용 후
1	284	194
2	179	161
3	123	94

<그림 11>에 사용된 영상의 경우 비교적 통계적 상관성이 높기 때문에 제안하는 ESCF기법을 적용한 영상정합기법과 기존의 상호정보기반의 영상정합기법 거의 비슷한 정도의 정확도를 보여준다. 그러나 ESCF기법을 통하여 결합 히스토그램의 퍼짐을 최소화하여 밝기 값의 일대다 대응을 줄였기 때문에 최적화 과정에서 불필요한 evaluation을 줄여 수행 시간이 단축되었음을 확인 할 수 있었다.

<표 1>은 ESCF기법이 최적화 과정에서 evaluation 수를 감소시켜 속도 향상을 제공함을 보여준다. 실험영상 1은 <그림 8>에서 ESCR기법에 의해 추출된 영역의 영상이며, 실험영상 2는 <그림 10>에서 ESCR기법에 의해 추출된 영역의 영상이다. 그리고 실험영상 3은 <그림 11>의 영상이다.

V. 결 론

이 논문에서는 영상에서 통계적 상관성이 높은 영역을 자동적으로 추출하는 ESCR기법과 영상을 통계적 상관성이 높도록 필터링하는 ESCF기법을 제안하였다. 제안하는 ESCR기법과 ESCF기법을 적용한 영상정합기법은 영상의 전체 영역을 사용한 기존의 정규상호정보기반 영상정합기법에 비해 더욱 정확한 결과를 보여줌을 확인하였으며, NMI 특성 곡선에서 정합이 될 때 최대가 되며 국부 최대점 (local maximum)도 줄어들어 강인한 정합기법임을 확인 할 수 있었다. 또한 ESCR기법을 통해 영상정합에 사용되는 고정 영상의 픽셀 수를 줄이며 ESCF기법을 통해 밝기 값의 일대다 대응을 줄임으로써 수행 속도가 향상되었다.

결론적으로 제안하는 두 단계 알고리즘은 정확성과 강인함, 그리고 속도의 측면에서 기존의 정규상호정보기반 영상정합기법에 비해 더욱 우수한 성능을 보여주었다.

제안된 두 단계 영상정합 알고리즘은 적외선 영상과 가시광선 영상의 정합 뿐만 아니라 서로 다른 특성을 가지는 영상들을 정합하는 많은 분야에서 좋은 성능을

가질 것이다.

향후 과제로서는 제안하는 ESCR기법에서 통계적 상관성이 높은 영역을 선택하기 위해 사용되는 d' 에 대한 이론적 분석이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] 이진성, 조주현, 신호철, 최해철, 김성대, "특징 기반 에지 정합을 이용한 다중센서 영상 정렬," 2002년 대한전자공학회 추계 학술대회 신호처리 소사 이어터 논문집, pp. 271-274, 2002. 11.
- [2] H. Li, B. S. Manjunath, and S. K. Mitra, "A contour-based approach to multisensor image registration," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, no. 3, pp. 320-334, Mar. 1995.
- [3] J. Inglada and F. Adragna, "Automatic multi-sensor image registration by edge matching using genetic algorithm," *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 2313-2315, 2001.
- [4] M. Irani and P. Anandan, "Robust multi-sensor image alignment," in *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision*, pp. 959-966, 1998.
- [5] Y. Keller and A. Averbuch, "Implicit similarity: A new approach to multi-sensor image registration," in *Proce. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2, pp. II:543-548, June 2003.
- [6] F. Maes, A. Collignon, D. Vandermeulen, G. Marchal, and P. Suetens, "Multimodality image registration by maximization of mutual information," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 16, no. 2, pp. 187-198, Apr. 1977.
- [7] H. M. Chen, P. K. Varshney, and M. K Arora, "Performance of mutual information similarity measure for registration of multitemporal remote sensing images," *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, vol. 41, no. 11, pp. 2445-2454, Nov. 2003.
- [8] H. Xie, L. E. Pierce, and F. T. Ulaby, "Mutual information based registration of SAR images," in *Proc. of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, vol. 6, pp. 4028-4031, July 2004.
- [9] C. Studholme, D. L. G. Hill, and D. J. Hawkes, "An overlap invariant entropy measure of 3D medical image alignment," *Pattern Recognition*, vol. 32, no. 1, pp. 71-86, 1999.
- [10] D. B. Trizna, C. Bachmann, M. Sletten, N. Allan, J. Topokov, and R. Harris, "Projection pursuit classification methods applied to multiband

- polarimetric SAR imagery," in Proc. of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, vol. 1, pp. 105-107, July 2000.
- [11] C. Barillot, D. R. Haynor, and P. Hellier, "Registration using segment intensity remapping and mutual information," International Conference on Medical Image Computing Computer-Assisted Intervention, pp. 805-812, Sep. 2004.
- [12] X. Ji, H. Pan, and Z. P. Liang, "A region-based mutual information method for image registration," in Proc. of International Society Magnetic Resonance Medicine, vol. 3, pp. 2193, May 1999.
- [13] J. Plum, J. Maintz, and M. Viergever, "Interpolation artifacts in mutual information-based image registration," Computer Vision and Image Understanding, vol. 77, pp. 71-86, 1999.

 저 자 소 개



김 경 수(학생회원)
 2003년 2월 경북대학교
 전자공학과 학사.
 2005년 2월 한국과학기술원
 전자전산학과 석사.
 <주관심분야 : 디지털 영상처리,
 영상정보융합>



이 진 학(정회원)
 1980년 2월 경북대학교
 전자공학과 학사.
 1987년 2월 경북대학교
 전자공학과 석사.
 1996년 2월 충남대학교
 컴퓨터공학과 박사수료.
 1979년~현재 국방과학연구소.
 <주관심분야 : 디지털 신호처리, 영상처리, 패턴
 인식>



나 종 범(평생회원)
 1975년 2월 서울대학교
 전자공학과 학사.
 1977년 2월 한국과학기술원 전기
 및 전자공학과 석사.
 1983년 2월 한국과학기술원 전기
 및 전자공학과 박사.
 1983년 7월~1987년 6월 미국 Columbia 대학교
 연구 조교수.
 1987년 7월~현재 한국과학기술원 전자전산학과
 교수.
 <주관심분야 : 디지털 영상처리, 동영상 신호처
 리, 3차원 시각화, 의료영상 시스템>