KOMPSAT-2 영상과 TerraSAR-X 영상 간 자동기하보정

Automatic Registration Between KOMPSAT-2 and TerraSAR-X Images

한유경¹⁾ · 변영기²⁾ · 채태병³⁾ · 김용일⁴⁾

Han, You Kyung · Byun, Young Gi · Chae, Tae Byeong · Kim, Yong Il

Abstract

In this paper, we propose an automatic image-to-image registration between high resolution multi-sensor images. To do this, TerraSAR-X image was shifted according to the initial translation differences of the x and y directions between images estimated using Mutual Information method. After that, the Canny edge operator was applied to both images to extract linear features. These features were used to design a cost function that finds matching points based on the similarities of their locations and gradient orientations. For extracting large number of evenly distributed matching points, only one point within each regular grid constructed throughout the image was extracted to the final matching point pair. The model, which combined the piecewise linear function with the global affine transformation, was applied to increase the accuracy of the geometric correction, and the proposed method showed RMSE lower than 5m in all study sites.

Keywords : Automatic image-to-image registration, High resolution multi-sensor images, KOMPSAT-2, Mutual Information, TerraSAR-X

초 록

본 논문은 이종센서자료인 고해상도 KOMPSAT-2 영상과 TerraSAR-X 영상 간 자동기하보정을 수행하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해, 두 영상 간의 x, y 방향의 초기 변위량을 MI(Mutual Information) 기법을 통해 계산한 후, 계산된 위치만큼 TerraSAR-X 영상을 이동시켜서 두 영상 간 초기 위치 차이를 최소화하였다. 초기 위치 차이가 최소화된 두 영상에서 선형정보를 추출하여 이들 간의 유사도를 판단, 매칭쌍을 추출하고자 하였다. 특히, 영상 전반에 걸쳐 고르게 분포된 매칭쌍을 추출하기 위하여, 영상 전역에 걸쳐서 동일한 크기의 격자망을 구성하여, 각 격자망에서 하나의 매칭쌍만을 추출하도록 하였다. 이렇게 추출된 매칭쌍을 이용하여 선형(rigid)과 비선형(non-rigid)의 변환식이 결합된 모델을 통해 기하보정 정확도를 높이고자 하였고, 실험 결과 모든 대상지역에서 5m 이내의 RMSE 값을 도출하였다.

핵심어 : 영상 간 자동기하보정, 고해상도 다중센서자료, KOMPSAT-2, Mutual Information, TerraSAR-X

1. 서 론

최근 다양한 센서를 탑재한 지구관측위성의 발사와 더불어 컴퓨터 기반 기술의 발달로 인해 다중센서(multi-sensor)자료를 이용한 공간영상의 통합 분석이 가능해지고 있다. 우리나라 또한 국내 최초로 레이더 영상을 장착한

KOMPSAT-5호와 고해상도 광학영상인 KOMPSAT-3호의 잇따른 발사를 앞두고 있다. 영상 융합(image fusion), 객체 추출(object extraction), 변화탐지(change detection) 등 다양한 공간정보 분야에서 이러한 다중센서자료를 함께 분석에 사용할 경우, 보다 많은 정보를 효과적으로 추출할 수 있다. 이를 위해, 다중센서자료를 함께 사용하기 위한

1) 학생회원 · 서울대학교 건설환경공학부 박사과정(E-mail: han602@snu.ac.kr)

2) 교신저자 · 정회원 · 한국항공우주연구원 위성정보연구센터 선임연구원(E-mail: ygbyun@kari.re.kr)

3) 한국항공우주연구원 위성정보연구센터 선임연구원 · 영상운영지원팀 팀장(E-mail: tbchae@kari.re.kr)

4) 정회원 · 서울대학교 건설환경공학부 교수(E-mail: yik@snu.ac.kr)

기본적인 전처리 과정 중 하나인 영상 간 기하보정(image-to-image registration)에 관한 연구의 필요성 또한 대두되고 있다(본 논문에서 사용한 용어 ‘영상 간 기하보정’은 기하보정 종류 중 영상 대 영상 등록에 한정함). 특히, KOMPSAT-5호와 유사한 특성을 갖는 TerraSAR-X 영상과 기 발사된 KOMPSAT-2호 영상 간 기하보정을 수행하기 위한 알고리즘의 개발은 향후 발사될 KOMPSAT 영상을 효과적으로 활용하기 위한 중요한 사전 연구가 될 것으로 생각된다.

영상 간 기하보정은 두 개나 그 이상의 같은 지역에 대한 다른 시기, 다른 관점, 다른 센서에 의해서 추출된 영상을 중첩하는 과정을 말한다(Zitová 등, 2003). 일반적으로 기하보정은 영상 간 매칭쌍(tie points)을 추출하여 이들 간의 변환식을 구성하여 수행한다(한유경 등, 2010). 하지만 SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상의 경우 광학영상과는 달리 스펙클잡음(speckle noise)과 측면관측(side-looking)의 시스템적 특성으로 인한 기하학적 왜곡을 가지고 있기 때문에 특징점을 추출하기 어려울 뿐만 아니라, 이들의 특성이 광학영상의 특성과 다르기 때문에 자동으로 매칭쌍을 추출하기에는 많은 어려움이 있다(Chen 등, 2003). 또한, 두 영상이 가지는 방사적 특성(radiometric properties)이 달라서 점 기반의 특징점 추출을 통해 매칭을 수행할 경우 신뢰할만한 결과를 얻을 수 없다. 이는 영상에서 시각적 판단에 의해 수동으로 매칭쌍을 추출하는 경우에도 어려움을 주므로, 영상 간 매칭쌍 추출에 관한 연구의 필요성이 인식되고 있다.

영상 간의 기하보정은 크게 데이터 전체의 유사도를 측정하는 강도 기반(intensity-based) 기법과 영상에 존재하는 특징들을 이용하는 개체 기반(feature-based) 기법으로 나눌 수 있다. 강도 기반 기법의 경우 데이터 간 초기 지질학적 위치관계를 대략적으로 추정하는데 사용할 수 있으나, 유사도를 측정하는 연산 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 반면 개체 기반 기법은 영상에서 점, 선, 면과 같은 개체를 추출하여 이들 특징을 표현하는 서술벡터 간의 유사도를 판단하여 정합을 수행하므로 지역적인 변형에 적합하고, 공간해상도 변화에도 유연하게 적용할 수 있어서, 광학영상 간 기하보정에 주로 사용된다. 하지만 SAR 영상과 광학영상과 같이 방사적 특성이 다른 영상의 경우 추출된 개체를 서술하는 서술벡터의 특성이 다르기 때문에 신뢰할만한 매칭쌍을 추출하기 어렵다. 따라서 대부분의 광학영상과 SAR 영상 간 기하보정은 강도 기반 기법을 통해 수행되거나, 초기 두 영상 간의 지질학적 위치 관계를

어느 정도 일치시켜주었다는 가정 하에 개체 기반 기법으로 수행된다. 대표적인 강도 기반 기법 중 하나인 MI(Mutual Information) 기법은 의학 분야에서 처음 소개된 영상 간 유사도 측정 기법으로, 특성이 다른 영상 간의 유사도를 측정하는데 강점을 가지는 것으로 알려져 있다(Viola 등, 1997). 원격 탐사 분야에서도, MI 기법을 기반으로 광학영상과 SAR 영상 간 기하보정을 수행하기 위한 다양한 연구가 진행되었다. Chen 등(2003)은 MI 기법을 이용하여 방사적 특성이 다른 두 영상 간의 x, y 방향에 대한 변위량(translation)과 회전량(rotation) 차이를 구하였으나, 상대적으로 기복변위의 영향이 적은 중·저해상도 영상에만 적용이 가능한 한계가 있다. 한편, 계산 비용이 큰 MI 기법을 효과적으로 적용하기 위한 방법을 제안하는데 초점을 두고 연구를 수행하거나(Suri 등, 2010) 같은 방법을 이용하여 센서모델의 정확도를 개선하여(Reinartz 등, 2011) 결과적으로 약 5m 내외의 기하보정 정확도를 얻을 수 있었다. 강도 기반 기법을 이용한 연구 외에도, 두 영상의 초기 위치가 어느 정도 일치한다는 가정 하에 선이면 개체 기반의 특징점을 추출하여 이들 간의 매칭을 통한 두 영상 간 기하보정을 실시하기 위한 많은 연구들이 수행되었다. 영상에서 패치(patch)를 추출하여 이의 면적이나 둘레, 가로/세로 길이 비 등의 형상정보(shape information)를 이용하여 패치 간의 유사도를 측정하거나(Dare 등, 2001) 선형개체를 이용하여 매칭쌍을 추출하는 연구가 수행되었다(Hong 등, 2005; 한유경 등, 2011). 하지만 이러한 개체 기반의 방법들은 두 영상 간 초기 위치 차이를 최소화하는 사전 기하보정(pre-registration) 단계가 포함되는 만큼, 완전히 자동화된 기법이라고 할 수 없다. 그 외에 의학 분야에서 주로 사용되는 shape context라는 새로운 개체정보를 이용하여 매칭쌍을 추출하고 thin-plate spline 변환을 통해 영상 간 기하보정을 수행하기도 하였다(Huang 등, 2010).

본 연구에서는 고해상도의 KOMPSAT-2 영상과 TerraSAR-X 영상 간 자동기하보정을 수행하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해, 두 영상 간의 x, y 방향의 초기 위치 차이를 MI 기법을 통해 계산한 후, 계산된 위치만큼 TerraSAR-X 영상을 이동시켜서 두 영상 간 초기 위치 차이를 최소화 한다. 초기 위치 차이가 최소화된 두 영상에서 선형정보를 추출하여 이들 간의 유사도를 판단, 매칭쌍을 추출하고자 하였다. 특히, 영상 전반에 걸쳐 고르게 분포된 매칭쌍을 추출하기 위하여, 동일한 크기의 격자망을 구성하여, 각 격자망에서 하나의 매칭쌍만을 추출하도

록 하였다. 이렇게 추출된 매칭쌍을 이용하여 SAR 영상의 측면관측으로 인한 기하학적 왜곡을 최소화하기 위한 선형(rigid)과 비선형(non-rigid)의 변환식이 결합된 모델을 통해 기하보정 정확도를 높이고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구에서 제안한 KOMPSAT-2 영상과 TerraSAR-X 영상 간 자동기하보정을 수행하기 위해서는 크게 3 단계의 처리과정으로 구성된다. 우선, 두 영상 간의 초기 변위량(initial translation) 차이를 MI 기법을 통해 계산한다. 초기 변위량은 화소 단위로 정밀하게 추출하지 않아도 추후에 매칭 단계에 크게 영향을 주지 않으므로, 두 영상 모두에 대하여 피라미드 기법(image pyramids)을 적용, 생성된 피라미드 영상에 대하여 x, y 방향으로 이동하면서 MI 값을 계산하였다. 가장 큰 MI 값을 가질 때를 두 영상 간의 초기 변위량으로 결정하고, 이를 토대로 TerraSAR-X 영상을 해당 변위량 만큼 이동시켜준다. 초기 변위량 차이를 최소화시킨 두 영상에 대하여 정밀한 지역적 매칭(local matching)을 수행하기 위해서 대표적인 선형 추출 기법인 Canny 에지 추출자(Canny edge operator)를 적용하여 선형 정보를 추출한다(Canny, 1986). 추출된 선형화소 간의 방향과 거리의 차의 결합으로 구성된 비용함수를 통해서 유사하다고 생각되는 대응 화소를 매칭쌍으로 선정하였다. 이러한 매칭쌍은 영상에 따라서 특정 지역에 밀집되어서 추출될 수 있고, 이것은 추후 적용될 piecewise linear function을 적용하는데 기반이 되는 삼각망을 과다 생성(over-triangulation)할 우려가 있으므로, 일정한 크기의 격자망을 구성하여, 각 격자망마다 한 개의 매칭쌍을 추출하도록 하여 좁은 지역에 밀집하여 추출되는 것을 방지하는 것과

동시에 영상 전역에 걸쳐서 골고루 매칭쌍을 추출할 수 있도록 하였다. 추출된 매칭쌍을 이용하여 piecewise linear function과 affine transformation을 결합한 형태의 변환모델식을 적용하여 기하보정 정확도를 높이고자 하였다. 본 연구의 흐름도는 그림 1과 같다.

2.1 초기 변위량 계산

방사적 특성이 다른 두 영상의 기하보정을 원활하게 수행하기 위해서는 초기 두 영상에 대한 x, y 방향의 위치 차이를 계산하여, 이를 최소화하기 위한 작업이 필요하다. 이는 차후 정밀한 매칭쌍을 추출하는데 필요한 비용함수를 구성하는데 필요한 필수적인 과정이며, 초기 변위량이 제대로 계산되지 않을 경우 신뢰할만한 기하보정 결과를 얻을 수 없다. 이를 위해서 본 연구에서는 대표적인 강도 기반 유사도 측정 기법 중 하나인 MI 기법을 이용하였다.

MI 기법은 다중 센서 및 다중 시기로부터 획득된 영상의 기하보정을 위해 소개된 강도 기반 유사도 측정 기법으로, 두 영상의 통계적인 상관관계를 측정하여 정합을 실시한다(Viola 등, 1997). 두 영상의 화소값에 대해 MI 값은 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$MI(X, Y) = H(Y) - H(Y|X) = H(X) + H(Y) \quad (1)$$

여기서 $H(X)$ 와 $H(Y)$ 는 각각 영상 X, Y 에 대한 엔트로피(entropy)를 나타내고 $H(X, Y)$ 는 영상 X 와 Y 의 결합 엔트로피(joint entropy)를 나타내며, 아래 식으로 계산될 수 있다.

$$\begin{aligned} H(X) &= -\sum_x p(x) \log p(x) \\ H(Y) &= -\sum_y p(y) \log p(y) \\ H(X, Y) &= -\sum_{x,y} p(x, y) \log p(x, y) \end{aligned} \quad (2)$$

$p(x)$ 와 $p(y)$ 는 각각 영상 X, Y 의 확률분포를, $p(x, y)$ 는 X 와 Y 의 결합확률밀도함수(joint probability density function)를 의미한다. 측정된 $MI(X, Y)$ 값이 높을수록 두 영상 간 유사도가 큰 것을 의미한다.

본 기법에서는 대상영상(sensed image)에 대하여 x, y 방향으로 이동을 하면서 기준영상(reference image)과의 MI 값을 계산하여, 가장 높은 값을 가질 때를 두 영상 간 초기 변위량으로 결정하였다. 제안한 방법의 경우 초기 변위량이 화소 단위로 정확하게 추출되지 않아도 차후의 지역적 매칭쌍 추출단계를 통해서 정밀한 매칭쌍 추출이 가능하

그림 1. KOMPSAT-2 영상과 TerraSAR-X 영상 간 자동기하보정 연구 흐름도

다. 더욱이, 전체 영상에서 MI 값을 계산할 경우 많은 계산 시간이 소요될 뿐만 아니라 지역적 최적값(local extrema)을 도출할 우려가 있다. 따라서 영상을 단계적으로 축소시키는 피라미드 기법을 통해 생성된 피라미드의 상부 영상에 대하여 MI 값을 계산함으로써, 계산 비용을 줄임과 동시에 넓은 지역의 탐색 범위를 통해서 초기 두 영상의 위치 차이가 많이 나더라도 전역적 최적값(global extrema)을 찾을 수 있도록 하였다. 추출된 피라미드 상부 영상에 대하여 대상영상을 x, y 방향으로 이동시키면서 MI 값을 계산한 후, 최대의 MI 값을 가질 때의 이동량을 두 영상 간 초기 변위량으로 판단하였고, 이를 토대로 대상영상을 x, y 방향 각각에 대하여 이동시켜 줌으로써, 두 영상 간의 초기 위치 차이를 최소화하였다.

2.2 지역적 매칭쌍 추출

추정된 초기 변위량을 통해 위치 차이를 최소화한 두 영상에 대하여 각각 Canny 에지 추출자를 적용하여 선형 정보를 추출하였고, 추출된 선형화소와 각 선형화소의 방향정보를 이용하여 비용함수를 구성하였다(Newton 등, 1994). G_x 와 G_y 를 각 선형화소에 대해 x, y 방향으로 1차 미분을 수행한 값이라고 할 때, 각 화소에 대한 방향정보는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (3)$$

이를 이용하여 정밀한 매칭쌍을 추출하기 위해 고안된 비용함수는 아래와 같다.

$$\text{Cost function} = \alpha \times d + \beta \times |\theta_{OPTIC} - \theta_{SAR}| \quad (4)$$

여기서 d 는 두 영상의 선형화소 간의 거리를 뜻하고 θ_{OPTIC} 과 θ_{SAR} 는 광학영상과 SAR 영상에 대한 각 선형화소에서의 방향정보이며, α, β 는 각각 거리와 방향에 대한 가중치를 뜻한다. 이를 조정하여 두 영상의 선형화소 간의 거리의 차와 방향의 차가 비용함수에 미치는 영향을 조절할 수 있다.

기준영상의 하나의 선형화소를 기준으로 특정 범위의 원형탐색영역 내에 존재하는 대상영상의 선형화소에 대해서만 매칭과정을 수행하였다. 그림 2는 원형탐색영역을 통해 매칭 후보 화소를 제한하는 것을 보여준다. 여기서 빨간색 십자표시는 기준영상의 하나의 선형화소를

나타내며, 실선은 이 선형화소에 대하여 매칭 대상이 되는 기준영상의 선형화소들을 나타낸다. 원형탐색영역을 통해 점선을 제외한 실선의 선형화소들만 매칭 후보가 됨으로써 매칭 과정에서 발생하는 시간비용을 줄일 뿐만 아니라 매칭 결과 정확도를 높이고자 하였다. 기준영상의 하나의 선형화소에 대해서, 가장 작은 비용함수 값을 갖는 대상영상의 원형탐색영역 내 선형화소가 후보 매칭쌍이 되며, 이때의 비용함수 값이 임계치를 넘지 않을 때를 매칭쌍으로 판단하였다. 같은 방식으로 기준영상의 모든 선형화소에 대하여 매칭쌍을 찾는 과정을 수행하였다.

그림 2. 지역적 매칭쌍 추출을 위한 원형탐색영역

비용함수에 내포된 가중치 α 와 β 를 적절히 조정함으로써 추출되는 총 매칭쌍의 개수를 조절할 수 있지만, 영상에서 개체가 밀집되어 존재하는 지역에서 다수의 매칭쌍이 추출될 가능성이 있다. 이는 본 연구에서 사용한 변환식인 piecewise linear function을 추정하는데 필요한 삼각망을 특정 지역에서 과하게 구성하는 원인이 된다. 삼각망을 과하게 구성할 경우, 그 삼각망에 내포되거나 삼각망 여러 개에 걸쳐서 존재하는 특정 객체의 형태가 심하게 왜곡될 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 영상 전역에 걸쳐서 일정한 크기의 격자망을 형성하여, 각 격자망 당 하나의 매칭쌍을 추출하도록 하였다. 그림 3은 본 연구에서 수행한 격자망 생성개념을 보여준다. 즉, 추출된 매칭쌍에 대해서 각 격자망에서 가장 낮은 비용함수 값을 가지는 하나의 매칭쌍만을 추출하며, 이를 통해 영상 전역에 걸쳐서 고르게 분포된 다수의 매칭쌍을 추출하고자 하였다.

그림 3. 구성된 격자망 당 하나의 매칭쌍 추출 예시

2.3 전역적/국지적 변환모델식 구성

최종적으로 추출된 매칭쌍을 이용하여 두 영상 간의 변환을 수행할 모델식을 구성하였다. 특히 SAR 영상의 경우, 측면관측을 통해 영상이 취득되는데 따른 특성으로 기하학적 왜곡의 크기나 형태가 광학영상의 왜곡 특성과 다르므로, 고도가 높거나 고도 변화가 심한 지역이 포함된 영상을 affine transformation이나 polynomial function과 같은 선형의 변환식으로 기하보정 할 경우 이러한 왜곡을 보정하는데 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 선행 연구를 통해 기개발된 선형식과 비선형식을 결합한 형태인 전역적/국지적 변환모델식(global/local mapping function)을 적용하여 두 영상이 가지고 있는 지형적인 차이를 효과적으로 최소화하고자 하였다(한유경 등, 2011).

국지적 변환모델식으로 사용된 piecewise linear function은 영상 간 매칭쌍들을 이용하여 텔루누이 삼각(Delaunay triangulation)을 구성하여 삼각망 각각을 다른 affine transformation 계수를 계산하여 변환을 수행하는 방식으로 진행된다(Goshtasby, 1986). 텔루누이 삼각망 규칙에 따라 세 특징점으로 구성된 기준영상의 삼각망과 그에 대응하는 대상영상의 삼각망 간의 관계를 affine transformation을 통해 나타낼 수 있고, 이때의 affine transformation 계수를 이용하여 삼각망 내에 존재하는 대상영상의 모든 화소의 좌표를 기준영상의 좌표로 변환할 수 있다. 이러한 과정을 모든 삼각망에 대하여 수행하며, 따라서 삼각망 각각이 다른 계수를 갖는 affine transformation을 통해 대상영상이 지역적으로 기준영상의 좌표로 기하보정됨으로써 고해상도 영상이 갖는 지역적 왜곡이나 기복변위를 최소화할

수 있는 장점이 있다. 반면, 매칭쌍이 존재하지 않는 영상의 외각 지역의 경우 주변 삼각망을 이용한 외삽법(extrapolation)을 통해 변환을 수행하기 때문에 왜곡이 크게 발생할 수 있는 단점이 있다(Arévalo 등, 2008). 본 연구에서는 이러한 단점에 영향을 받지 않는 삼각망이 구성된 지역에 대해서만 piecewise linear function을 적용하였고, 그 외의 지역은 전역적인 affine transformation을 수행하여, 이들이 가지는 단점을 서로 효과적으로 보완함으로써 기하보정 정확도를 높이고자 하였다. 그림 4와 같이 삼각망 외각에 존재하는 매칭쌍(빨간색으로 표시)을 이용하여 affine transformation 계수를 추정하며, 이를 이용하여 영상에서 삼각망이 구성되지 않은 지역(회색 지역)에 대한 변환을 수행하게 된다. 삼각망 외각에 존재하는 매칭쌍만을 전역적인 affine transformation 계수를 추정하는데 이용함으로써 두 변환모델 사이에 생길 수 있는 오차를 최소화하고자 하였다. 모든 변환식에 대한 재배열(resampling) 기법으로는 공일차 내삽법(bilinear interpolation)을 사용하였다.

그림 4. 전역적/국지적 변환모델 구성

3. 실험 및 평가

3.1 실험 대상지역

본 연구에서 사용한 데이터는 대전 지역으로, KOMPSAT-2 흑백 영상을 기준(reference)영상으로, TerraSAR-X 영상을 대상(sensed)영상으로 이용하였다. TerraSAR-X 영상의 경우 동일한 상수의 높이값을 갖는 DEM을 이용하여 UTM 좌표로 투영시킨 GEC(Geocoded Ellipsoid Corrected) 영상으로, 2008년 7월 11일 촬영되었으며, 대상 지역에서는 평균 28.01° 의 incident angle을 보인다. KOMPSAT-2 영상은 2007년 5월 10일 촬영되었으며, TerraSAR-X 영상과 비슷한 28.41° 의 tilt angle을 갖는다. 각 영상에 대한 특성은 표 1과 같다.

표 1. 실험에 사용된 위성영상 특성

	KOMPSAT-2	TerraSAR-X
공간해상도	1m	1m
방사해상도	11 bits	16 bits
촬영각	28.41° (Tilt angle)	28.01° (Incidence angle)
촬영 날짜	2007-05-10	2008-07-11
영상 처리 수준	Standard product	GEC product

총 두 지역을 실험 대상지역으로 선정하였다(그림 5). 첫 번째 지역은 상대적으로 평평한 지역으로 구성된 경작지를 포함한 식생지역이 주를 이루고 있다. 또한 높지 않은 건물들이 밀집되어 있어서 상대적으로 측면관측 방식에 의한 SAR 영상과 광학영상 간의 지형적 위치 차이가 크지 않을 것으로 판단된다. 두 번째 실험 대상지역은 영상 곳곳에 고층 건물이 존재하고 영상 촬영 시기나 방사적 특성에 따라 다르게 표현되는 수계지역이 넓게 분포하고 있어 두 영상을 기하보정 하는데 있어서 첫 번째 대상 지역보다 정확도가 떨어질 것으로 판단된다. 제안한 알고리즘을 적용하기 위한 전처리로, $1,500 \times 1,500$ 화소크기의 모든 영상에 대하여 2% linear stretching을 수행하였고 8bits 영상으로 변환하였다. 특히 TerraSAR-X 영상의 경우 MI 기법을 적용하고 선형정보를 추출하는데 어려움을 주는

Site 1

Site 2

그림 5. 실험 대상지역

스펙클잡음이 존재하기 때문에 Lee filter를 통해 이들의 효과를 최소화하고자 하였다(Lee, 1980).

3.2 실험 결과 및 분석

두 영상 간의 초기 위치 관계를 설정하기 위해서 원영상의 1/4 크기의 영상 피라미드를 2 단계 생성하였고, 생성된 최종 단계(coarsest level)의 피라미드 영상에 대하여 대상영상을 x, y 방향으로 이동시키면서 MI 값을 계산, 가장 높은 값을 가질 때의 위치를 두 영상의 초기 변위량으로 계산하였다. 초기 변위량만큼 대상영상을 이동시켜 준 후, Canny 에지 추출자를 이용하여 선형 개체를 추출하였다. 기준영상의 선형화소 각각에 대하여 반지름이 5 화소인 원형탐색영역을 선정하였고, 이 범위 내에 존재하는 대상영상의 선형화소만을 기준영상의 선형화소에 대한 매칭 후보 화소로 제한하였다. 범위 내에 존재하는 모든 선형화소에 대하여 가중치 α, β 를 각각 0.2, 1000으로 경험적으로 설정하여 비용함수를 계산하였다. 가장 작은 비용함수 값을 갖는 화소 중에서, 이 값이 2를 넘지 않고 두 번째로 작은 비용함수 값을 갖는 화소와의 비용함수 비가 0.1 보다 작은 화소가 후보매칭쌍으로 추출되었다. 영상 전역에 고르게 분포된 매칭쌍을 구하기 위한 격자망의 크기는 100×100 화소의 크기로 공통적으로 할당하였고, 각 격자망에서 가장 작은 비용함수 값을 갖는 후보매칭쌍을 최종 매칭쌍으로 추출하였다. 이렇게 설정된 임계치를 이용하여 두 대상지역에 대하여 기하보정을 수행하고자 하였다.

MI 기법을 통해 계산된 초기 x, y 방향에 대한 변위량으로, 첫 번째 대상지역에서는 (dEasting, dNorthing) = (-116, -104)m, 두 번째 대상지역에서는 (dEasting, dNorthing) = (-144, -100)m 만큼의 차이를 보였다. 계산된 초기 변위량만큼 각 대상지역의 TerraSAR-X 영상을 x, y 방향 각각에 대하여 이동시켜 준 후에, Canny 에지 추출자를 이용하여 선형개체를 추출하였고, 이를 이용하여 비용함수를 구성하였다. 비용함수를 통해 추출된 매칭 결과는 그림 6과 같다. 첫 번째 대상지역에서는 총 922개의 매칭쌍이 추출되었고, 두 번째 대상지역에서는 648개의 매칭쌍이 추출되었다. 하지만 광학영상과 SAR 영상과 같이 취득되는 특성이 다른 이종의 두 데이터에서 단순히 비용함수에 포함된 지형적인 거리와 방향정보만을 이용하여 추출된 매칭쌍은 다수의 이상치를 가지고 있을 것으로 판단된다. 특히 측면관측을 하는 SAR 영상에서 높이가 상대적으로 높거나 낮아 변화가 큰 지역에서는 기복변위가 존재하고, 이러

한 지역에서 추출된 매칭쌍을 기하보정 모델식을 구성하는데 이용할 경우 많은 오차가 포함될 수 있다. 실제로 그림 6에서 대상지역에 대하여 추출된 매칭쌍의 분포를 살펴보면, 건물과 같이 높이 변화가 심한 지역에서 다수의 매칭쌍이 추출된 것을 볼 수 있다. 또한 특정 지역에서 다수의 매칭쌍이 추출될 경우, piecewise linear function을 적

(a)대상지역 1 (922쌍)

(b)대상지역 2 (648쌍)

그림 6. 비용함수에 의해 추출된 매칭쌍

(a)대상지역 1 (129쌍)

(b)대상지역 2 (113쌍)

그림 7. 격자망 생성 후 추출된 최종 매칭쌍

용하는데 필요한 삼각망을 과하게 구성할 수 있기 때문에, 영상 전체에 대해서 일정 크기의 격자망을 생성하여, 각 격자망 당 하나의 매칭쌍을 추출하도록 하였다. 격자망을 통해 최종 추출된 매칭쌍의 수는 각각 129쌍, 113쌍으로, 그 결과는 그림 7과 같다.

최종적으로 추출된 매칭쌍을 이용하여 삼각망을 구성한 후 기준영상과 중첩한 결과는 그림 8과 같다. 제안한 방법에 의해 두 대상지역 모두 영상 전역에 걸쳐서 골고루 매칭쌍이 추출되었고, 밀집 지역에서 다수의 매칭쌍이 추출되는 것을 방지함으로써 작은 삼각망이 과하게 구성되는 것을 방지한 것을 확인할 수 있다. 하지만 선형개체 기반으로 매칭쌍을 추출하는 제안 기법의 경우, 도로나 다리, 건물 주변과 같이 선형정보가 존재하는 지역에서 대부분의 매칭쌍이 추출되는 한계가 있다. 삼각망이 구성된 지역은 piecewise linear function을, 구성되지 않은 외곽 지역은 전역적 affine transformation을 적용하여 TerraSAR-X 영상을 KOMPSAT-2 영상의 좌표체계로 변환하였다.

(a)대상지역 1

(b)대상지역 2

그림 8. 기준영상에 삼각망 중첩 결과

본 연구를 통해 KOMPSAT-2 영상과, KOMPSAT-2 영상의 좌표체계로 기하보정된 TerraSAR-X 영상을 중첩하여 모자이크 영상을 생성한 결과는 그림 9와 같다. KOMPSAT-2 영상을 빨간색 블록으로, TerraSAR-X 영상을 회색 블록으로 표현하였다. 두 영상의 방사적 특성이 달라서 모자이크 영상을 통해 기하보정이 얼마나 정확하게 수행되었는지를 객관적으로 평가하는 것은 어렵지만, 두 대상지역 모두 공통으로 존재하는 선형정보나 특정 객체의 형상이 유지되는 것을 볼 때 기하보정이 어느 정도 제대로 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

보다 정량적인 평가를 위해서 총 10개의 검사점을 수동으로 추출하여 x, y 방향에 대한 오차, RMSE 및 CE90을 계산한 결과는 표 2와 같다. 계산 결과, 대상지역 1, 2에 대하여 각각 3.53m와 4.98m의 RMSE 값과 5.00m, 6.20m의 CE90

값을 도출하였고, 이를 통해 제안한 방법을 통한 기하보정 결과가 관련연구와 비교하여 전반적으로 만족할만한 수준의 정확도를 보임을 확인하였다. 하지만 대상지역 1에 비해 대상지역 2에서 보다 높은 RMSE와 CE90 값을 도출하였는데, 이는 영상 내에 존재하는 지역의 특성에서 비롯된 것으로 생각된다. 영상 촬영 시기에 따라서 위치나 높이의 차이를 보이는 수계지역이 다수 분포하는 대상지역 2의 경우 촬영방식이 다른 두 영상에서 상대적인 위치차이가 발생할 수 있다. 뿐만 아니라, 대상지역 2에 존재하는 높은 건물에서 추출된 매칭쌍들이 기하보정 정확도를 떨어뜨리는 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 이러한 문제점들은 상대적으로 평평한 대상지역에 제안한 방법을 적용하거나, 두 영상에 대하여 보다 정밀한 DEM을 통해 정사영상(ortho-rectified image)을 생성한 후에 제안 기법을 적용함으로써 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

(a)대상지역 1

(b)대상지역 2

그림 9. 제안 기법을 통한 모자이크 영상 생성

표 2. 기하보정 정확도 평가

대상지역	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	RMSE(m)	CE90(m)
1	1.82	1.82	3.53	5.00
2	3.68	1.77	4.98	6.20

4. 결 론

본 연구에서는 대표적인 강도 기반 유사도 측정 기법인 MI 기법과 선형 객체 기반 기법을 결합하여 고해상도 KOMPSAT-2 영상과 TerraSAR-X 영상 간 자동기하보정을 수행하였다. 본 기법을 통해 영상 전역에 걸쳐서 고르게 분포된 다수의 매칭쌍을 추출할 수 있었고, 두 대상지역 모두 5m 이하의 RMSE 값을 도출함으로써 만족할만한 결과를 얻었음을 확인하였다. 이는 향후 발사될 KOMPSAT-3호와 5호를 포함한 다중센서자료의 효과적인 통합 분석

에 적용 가능할 것으로 기대된다. 보다 우수한 기하보정 결과를 얻기 위해서, 추출된 매칭쌍에 존재할 수 있는 오매칭쌍에 대한 제거 과정을 추가하거나, 두 영상에 대하여 보다 정밀한 DEM을 이용하여 정사영상을 생성한 후에 제안 기법을 적용해 보고자 한다. 나아가 KOMPSAT-2와 TerraSAR-X 영상뿐만 아니라 다양한 다중센서자료에 제안 기법을 적용함으로써, 본 기법의 우수성을 검증해보고자 한다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 2010년 기술료사업-다중위성최적임무촬영계획 기술개발 과제에 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 한유경, 변영기, 최재완, 한동엽, 김용일 (2010), 지역적 매칭쌍 특성에 기반한 고해상도영상의 자동기하보정, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 28권, 제 3호, pp. 353-359.
- 한유경, 김덕진, 김용일 (2011), 선형정보를 이용한 고해상도 광학영상과 SAR 영상 간 기하보정, 대한원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, 제 27권, 제 2호, pp. 141-150.
- Arévalo, V. and González, J. (2008), An experimental evaluation of non-rigid registration techniques on Quickbird satellite imagery, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 2, pp. 513-527.
- Canny, J. (1986), A computational approach to edge detection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 8, No. 6, pp. 679-698.
- Chen, H., Arora, M. and Varshney, P. (2003), Mutual information-based registration for remote sensing data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 18, pp. 3701-3706.
- Dare, P. and Dowman, I. (2001), An improved model for automatic feature-based registration of SAR and SPOT images, *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 56, No. 1, pp. 13-28.
- Goshtasby, A. (1986), Piecewise linear mapping functions for image registration, *Pattern Recognition*, Vol. 19, No.6, pp. 459-466.
- Hong, T. and Schowengerdt, A. (2005), A robust technique for

- precise registration of radar and optical satellite images, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 71, No. 5, pp. 585-593.
- Huang, L. and Li, Z. (2010), Feature-based image registration using the shape context, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 31, No. 8, pp. 2169-2177.
- Lee, J. (1980), Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics, *IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 2, No. 2, pp. 165-168.
- Newton, W., Gurney, C., Sloggett, D. and Dowman, I. (1995), An approach to the automated identification of forests and forest change in remotely sensed images, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 30, No. 3, pp. 607-614.
- Reinartz, P., Müller, R., Schwind, P., Suri, S. and Bamler, R. (2011), Orthorectification of VHR optical satellite data exploiting the geometric accuracy of TerraSAR-X data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 66, pp. 124-132.
- Suri, S. and Reinartz, P. (2010), Mutual-information-based registration of TerraSAR-X and Ikonos imagery in urban area, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 48, No. 2, pp. 939-949.
- Viola, P. and Wells, W. (1997), Alignment by maximization of mutual information, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 24, No. 2, pp. 137-154.
- Zitová, B. and Flusser, J. (2003), Image registration methods: a survey, *Image and Vision Computing*, Vol. 21, No. 11, pp. 977-1000.

(접수일 2011. 12. 06, 심사일 2011. 12. 22, 심사완료일 2011. 12. 22)