

선형정보를 이용한 고해상도 광학영상과 SAR 영상 간 기하보정

한유경* · 김덕진** · 김용일*†

*서울대학교 공과대학 건설환경공학부, **서울대학교 지구환경과학부

Registration between High-resolution Optical and SAR Images Using Linear Features

You-Kyung Han*, Duk-Jin Kim** and Yong-Il Kim*†

*Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University,

**School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University

Abstract : Precise image-to-image registration is required to process multi-sensor data together. The purpose of this paper is to develop an algorithm that register between high-resolution optical and SAR images using linear features. As a pre-processing step, initial alignment was fulfilled using manually selected tie points to remove any dislocations caused by scale difference, rotation, and translation of images. 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 their similarity. Outliers having larger geometric differences than general matching points were eliminated. The remaining points were used to construct a new transformation model, which was combined the piecewise linear function with the global affine transformation, and applied to increase the accuracy of geometric correction.

Key Words : AIRSAR, IKONOS, linear feature, multi-sensor image registration, piecewise linear function.

요약 : 다중센서자료를 동시에 활용하기 위해서는 센서 간의 정밀한 기하보정이 요구된다. 이에 본 연구에서는 선형정보를 추출하여 고해상도의 광학영상과 SAR 영상 간의 기하보정을 수행하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 기준영상과 대상영상에 대하여 수동으로 매칭쌍을 추출하여 두 영상 간의 좌표체계를 개략적으로 일치시켜주는 과정을 전처리로 수행하였다. 방사적 특성이 다른 두 영상에 대하여 Canny edge operator를 통해 선형 화소를 추출한 뒤, 비용함수를 구성하여 유사하다고 생각되는 점을 초기 매칭쌍으로 선정하고, 그 중에서 이상치로 판단되는 오매칭쌍을 제거하고 남은 대상을 최종 매칭쌍으로 추출하였다. 본 기법을 통해 영상 전역에 걸쳐서 고르게 분포된 다수의 매칭쌍을 추출할 수 있었을 뿐만 아니라, 고도가 높거나 고도 변화가 큰 지역적 특성으로 인해 지리적 위치오차를 포함하는 지역에서 추출된 매칭쌍을 효과적으로 제거할 수 있었다. 최종적으로 추출된 매칭쌍을 이용하여 piecewise linear function과 affine transformation을 결합한 새로운 변환모델식을 적용하여 기하보정 정확도를 높이고자 하였고, 수동으로 추출된 검사점을 통해 1.58의 RMSE 값을 도출하였다.

1. 서론

최근 다양한 센서를 탑재한 지구관측위성의 발사와 더불어 컴퓨터 기반 기술의 발달로 인해 다중센서 공간영상의 통합분석이 가능해지고 있다. 광학(optical), SAR(Synthetic Aperture Radar), LiDAR(Light Detection And Ranging) 영상 등 다중센서자료를 함께 분석에 사용할 경우, 개별 공간영상의 처리에 내재되어있는 불확실성을 줄이면서 보다 많은 정보를 추출할 가능성이 크다. 즉, 두 가지 이상의 센서로부터 취득된 데이터를 통합 처리하는 멀티센서융합처리기술은 단일한 센서데이터만으로는 취득하기 어려운 여러 유용한 공간정보 및 속성정보들을 종합적으로 취득하고 분석할 수 있게 해준다. 이러한 특징으로 인해 다중센서자료 분석은 산림지역 모델링, 토지피복분류, 영상의 품질향상(영상융합), 해안선 변화탐지, 건물 및 도로의 형상정보 구축 및 갱신, 멀티센서 모델링, 수치표고모델 구축 및 정확도 개선 등 다양한 공간정보 분야에서 유용하게 활용될 수 있다.

다중센서자료를 동시에 이용하기 위해서 가장 기본적으로 수행되어야할 전처리작업이 영상 간 기하보정(image-to-image registration)이다. 영상 간 기하보정은 두 개나 그 이상의 같은 지역에 대한 다른 시기, 다른 관점, 다른 센서에 의해서 추출된 영상을 중첩하는(overlaying) 과정을 말한다(Zitová, 2003). 위성영상에서는 영상 융합, 모자이크를 이용한 영상지도의 제작 및 객체의 변화탐지 등 다중센서자료를 함께 이용하기 위해서 수행해야하는 필수적인 과정으로 인식되고 있다. 특히, 최근 들어 TerraSAR-X 등 1m급의 공간해상도를 가지는 SAR 영상의 이용이 가능해지면서 이러한 데이터와 고해상도 광학영상과의 기하보정을 수행하기 위한 연구가 큰 관심을 받고 있다.

일반적으로 기하보정은 영상 간 매칭쌍(tie points)을 추출하여 이들 간의 변환식을 구성하여 수행한다. 하지만 SAR 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 특징점 특성과 다르기 때문에 자동으로 매칭쌍을 추출하기에는 많은 어려움이 있다. 또한, 두 영상

이 가지는 방사적 특성(radiometric properties)이 달라서 점(point) 기반의 특징점 추출을 통해 매칭을 수행할 경우 신뢰할 만한 결과를 얻을 수 없다. 이러한 한계로 인해 국내의 경우 SAR 영상과 광학영상의 기하보정에 관한 연구가 현재까지는 미흡한 실정이다. 그러나 최근 들어 다중센서자료를 통합하여 사용하고자하는 필요성이 증대되고 있고, 2011년에는 국내 최초 SAR 위성인 KOMPSAT-5가 발사될 예정이어서, SAR 영상과 고해상도 광학영상 간의 기하보정에 대한 연구의 필요성은 점차 증가하고 있다.

국외의 경우에는 SAR 영상과 광학영상을 기하보정하기 위한 많은 연구가 수행되었다. 2000년대 초기에 수행된 대부분의 연구에서는 하나의 특징점 추출 방식에 국한하지 않고, 선형, 패치(patch) 등을 통한 다중(multiple) 특징 정보를 추출하여 이들 간의 매칭하는 기법을 이용하여 SAR 영상과 Landsat이나 SPOT과 같은 광학영상 간의 기하보정 방법을 제시하였다(Dare et al., 2000; Zou et al., 2003). 또한 다중의 패치 정보에서 추출할 수 있는 패치의 면적이나 둘레, 가로/세로 길이 비 등의 형상 정보(shape information)를 이용하여 패치 간의 유사도를 측정하여 매칭을 수행하기도 하였다(Dare et al., 2001). 하지만 이러한 다중 특징 정보를 추출하여 매칭을 하는 경우에는 같은 위치를 중복 추출하는데 따른 시간 효율이 떨어지는 단점이 있다. 특성이 다른 다중센서영상 간의 좌표체계를 통일하는 과정을 자동화하기 위한 여러 방법이 개발되었지만(Hong et al., 2005; Suri et al., 2010), 이를 위해서는 두 영상 간의 초기 좌표체계를 어느 정도 일치시켜주는 pre-registration 단계를 거치거나 헤더정보가 있어야 알고리즘이 적용이 가능하다는 한계가 있다. 도시지역에 대한 다중센서영상 간 좌표체계를 통일시키기 위한 연구로는, 도로로부터 선형정보를 추출하여 수정된 반복적 허프변환(Hough transform)을 이용하여 자동기하보정을 수행한 연구가 존재한다(Habib et al., 2005). Huang et al.(2010)은 의학 분야에서 주로 사용되는 shape context라는 새로운 특징 정보를 이용하여 매칭쌍을 추출하고, thin-plate spline 변환을 통해 영상 간 기하보정을 수행하였다. 하지만 이러한 연구는 중·저해상도의 SAR 영상과 광학영상 간의 기하보정이 대부분이고, 알고리즘이 일반적으로 적용되기보다는 특정

센서나 지역에 한정되는 단점이 있다. 특히, 고해상도 영상 간의 기하보정에서는 고도가 높거나 고도 변화가 큰 지역에서 추출된 매칭쌍을 이용하여 변환모델식을 구성할 경우 이들이 가지는 기복변위에 의해 정밀한 기하보정 결과를 얻을 수 없다. 따라서 특별한 조건에 국한되지 않는 일반적인 고해상도 다중센서 간 기하보정에 관한 연구의 필요성이 대두하고 있다.

이에 본 연구는 고해상도의 광학영상과 SAR 영상 간의 정밀한 기하보정을 수행하는 것을 목적으로 한다. 방사적 특성이 다른 두 영상에서 매칭쌍을 추출하기 위해서 각 영상에서 선형정보를 추출하여 이들의 유사성에 대한 비용함수를 구성하였고, 이상치(outlier)를 제거하는 과정을 통해서 신뢰할만한 매칭쌍을 추출하고자 하였다. 매칭을 수행하는 후보를 특정 범위 내로 제한함으로써 높이 변화가 존재하는 곳에 위치하는 매칭쌍을 후보에서 제외함과 동시에 매칭시 소요되는 시간비용을 줄이고자 하였다. 또한 SAR 영상의 측면관측으로 인한 기하학적 왜곡을 최소화하기 위해 선형(rigid)과 비선형(non-rigid)의 변환식이 결합된 모델을 제안하여 기하보정 정확도를 높이고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구의 흐름도는 Fig. 1과 같다. 우선, SAR 영상의 경우 영상 내에 존재하는 스펙클잡음을 제거하기 위하여 Lee filter(Lee, 1980)를 적용하여 불필요한 선형정보추출을 최소화하고자하였다. 선형정보를 효과적으로 추출하기 위하여 기준영상과 대상영상에 대해서 각각 히스토그램 균등화(histogram equalization)를 수행한 후, 두 영상 간의 스케일(scale), 회전(rotation) 및 이동량(translation)에 대한 차이를 최소화하기 위해서 수동으로 매칭쌍을 추출하여 대상영상에 대해 1차 polynomial 변환을 수행하였다. 이러한 전처리 과정 후에, 두 영상에 대하여 대표적인 선형 추출 기법인 Canny edge operator를 적용하여 선형정보를 추출한 뒤(Canny, 1986), 추출된 선형 화소 간의 방향과 거리의 차이 결합으로 비용함수를 구성하여 유사하다고 생각되는 대응 화소를 매칭쌍으로 설정하였다. 모든 매칭쌍에 대하여 RMSE(Root Mean Squared Error)를 계산하

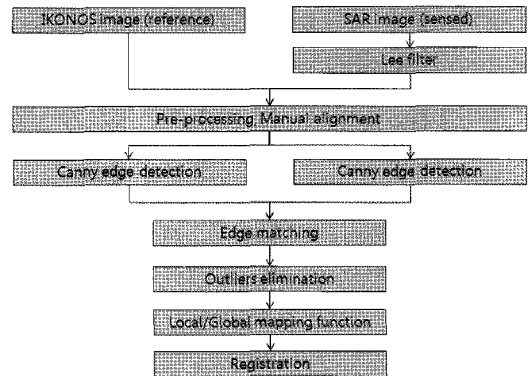


Fig. 1. Flowchart of proposed method.

여 특정 범위를 벗어나는 매칭쌍을 이상치로 판단하여 제거하고 남은 대상을 최종 매칭쌍으로 추출하였다. 추출된 매칭쌍을 통해서 piecewise linear function과 affine transformation을 결합한 새로운 형태의 변환모델식을 적용하여 기하보정 정확도를 높이고자 하였다. 연구의 세부적인 방법은 다음의 절을 통해 자세히 설명하고자 한다.

1) 전처리 과정

방사적 특성이 다른 두 영상의 기하보정을 원활하게 수행하기 위해서는 몇 가지 전처리과정이 필요하다. SAR 영상의 경우, 영상 내에 스펙클잡음이 존재하며, 이는 불필요한 선형정보의 추출을 야기한다. 불필요한 선형정보는 특징점 간의 매칭과정에서 오매칭률을 높일 뿐만 아니라 시간소요도 증가시킨다. 본 연구에서는 SAR 영상의 스펙클잡음을 제거하기 위하여 3×3 크기의 Lee filter를 적용하였다. 이후에, 수동으로 매칭쌍을 추출하여 두 영상 간에 존재하는 스케일, 회전, 이동량의 차이를 개략적으로 줄여준다. 이는 차후 수행할 비용함수를 구성하는데 필요한 필수적인 과정이며, 이를 위해 4개의 매칭쌍을 수동으로 추출한 후 광학영상을 기준으로 SAR 영상에 대하여 1차 polynomial 변환을 수행하였다. 그 후, 두 영상 모두에 대하여 히스토그램 균등화 과정을 거쳐서 선형정보를 보다 효과적으로 추출하고자 하였다.

2) Canny edge operator를 통한 선형정보 추출

전처리된 두 영상에 대하여 각각 Canny edge operator를 적용하여 선형정보를 추출하였다. 선형정보를 추출하기 위해서는 우선, x, y 각 방향에 대해 1차 미분을 수행한 영상을 생성하여야 한다. 이를 위해서 영상에 gaussian convolution을 적용한 후 x방향, y방향 각각에 대하여 high pass filter를 적용한다. 이렇게 생성된 영상을 이용하여 에지의 방향영상 θ 와 강도영상 G 를 아래의 식을 이용하여 도출할 수 있다.

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

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

여기서, G_x 는 G_y 각 영상에 대해 x, y 방향으로 1차 미분을 수행한 영상이다. 이렇게 생성한 두 영상을 이용하여 non-maximal suppression과 thresholding 과정을 거쳐서 최종적으로 선형 특성에 대한 에지 영상을 추출할 수 있다. Non-maximal suppression은 영상에서 에지의 위치를 찾는 과정이며, 에지 강도가 큰 화소의 방향을 조사하여 그 주변에 대한 후보에지화소를 찾은 후, 이 후보에지화소의 에지강도가 크지 않으면 제거를 해주는 과정을 반복적으로 수행하게 된다. 이를 통해 에지가 얇아지는 효과(thinning)를 갖게 된다. Thresholding의 경우 에지강도의 강하고 약한 정도에 대하여 각각 임계치를 선정 한 후, 높은 임계치보다 큰 강도를 갖는 경우에는 선형 화소로, 낮은 임계치보다 작은 강도를 갖는 경우에는 비선형 화소로 할당한다. 두 임계치 사이의 강도를 갖는 화소에 대해서 이웃 에지화소와의 관계를 이용하여 반복적으로 에지 여부를 판단하여 최종적으로 선형정보 영상을 생성한다.

3) 비용함수 구성을 통한 매칭쌍 추출 및 이상치 제거

전처리 과정을 통해서 두 영상에 대한 위치 좌표가 개략적으로 일치되었다는 가정 하에, 두 영상에 존재하는 선형 화소를 이용하여 매칭을 수행할 수 있도록 비용함수를 구성하였다(Newton *et al.*, 1994). 기준영상의 하나의 선형 화소를 기준으로 특정 범위의 원형탐색영역 내에 존재하는 대상영상의 선형 화소에 대해서만 매칭과정을 수행하며, 그 때의 비용함수는 아래와 같다.

$$Cost\ function = \alpha \times d + \beta \times |\theta_{OPTIC} - \theta_{SAR}| \quad (2)$$

여기서 d 는 두 영상의 선형 화소 간의 거리를 뜻하고 θ_{OPTIC} 과 θ_{SAR} 는 광학영상과 SAR 영상에 대한 각 선형 화소에서의 방향, α, β 는 각각 거리와 방향에 대한 가중치를 뜻한다. 여기서 가중치 α, β 의 값을 조정하여 두 영상의 선형 화소 간의 거리의 차와 방향의 차가 비용함수에 미치는 영향을 조절할 수 있다. 기준 영상의 하나의 선형 화소에 대해서 가장 작은 비용함수 값을 갖는 대상영상의 선형 화소가 후보매칭쌍이 되며, 이때의 비용함수의 값이 2를 넘지 않을 때를 매칭쌍으로 판단하였다. 같은 방식으로 기준 영상의 모든 선형 화소에 대하여 매칭쌍을 찾는 과정을 수행하였다.

이렇게 추출된 매칭쌍을 이용하여 대상영상을 기준영상의 좌표체계로 변환시키면, 정확하게 매칭된 매칭쌍들은 상대적으로 작은 기하학적인 잔차(residual)를 가지고 있을 것이라는 특성을 이용하여 이상치라고 판단되는 매칭쌍을 제거하고자 하였다. 특히, 지리적으로 높은 위치에서 추출된 매칭쌍이나 높이변화가 심한 지역에서 추출된 매칭쌍이 모델식을 구성하는데 이용되면, 그 모델식을 통해 변환되는 모든 지역은 정확도 면에서 신뢰할만한 결과를 얻을 수 없다. 따라서 이러한 지역에서 추출되는 매칭쌍은 이상치로 판단하여 제거되어야 한다. 이를 위해, 모든 매칭쌍을 이용하여 최소제곱법(least squares method)을 통해 affine transformation 계수(coefficients)를 추정한다. 추정된 계수를 이용하여 모든 매칭쌍의 대상영상을 기준영상좌표로 변환한 후에, 실제 기준영상의 좌표와의 잔차를 계산한다. 이 잔차를 통해 RMSE를 구하고, 이 값이 임계치를 넘는 매칭쌍은 이상치로 판단하여 제거해 준 나머지를 최종 매칭쌍으로 추출하였다.

4) 전역적/국지적 변환모델식 구성

최종적으로 추출된 매칭쌍을 이용하여 두 영상 간의 변환을 수행할 모델식을 구성하였다. 특히, 고도가 높거나 고도 변화가 심한 지역은, SAR 영상의 경우 측면관측을 통해 영상이 취득되는데 따른 특성으로 기하학적 왜곡의 크기나 형태가 광학 영상의 왜곡 특성과 다르므로, 두 영상을 affine이나 polynomial function과 같은 선형의 변환식으로 기하보정 할 경우 이러한 왜곡을 보

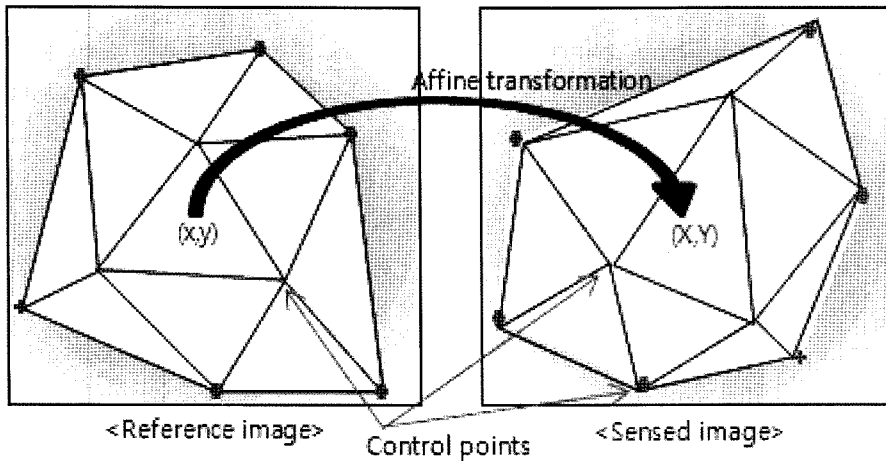


Fig. 2. Global/local transformation model. The affine transformation is used to map where the triangular regions are constructed. The control points on the perimeter of the convex hull (red crosses) are used to estimate the global affine transformation for transforming the region that is not triangulated (shaded region).

정하는데 무리가 따른다. 따라서 본 연구에서는 선형식과 비선형식을 결합한 형태인 전역적/국지적 변환모델식(global/local mapping function)을 제안하여 두 영상이 가지고 있는 기하학적인 차이를 효과적으로 최소화하고자 하였다.

국지적 변환모델식으로 사용된 piecewise linear function은, 영상 간 매칭쌍들을 이용하여 델루누이 삼각망(Delaunay triangulation)을 구성하여 삼각망 각각을 다른 affine transformation 계수를 계산하여 변환을 수행하는 방식으로 진행된다(Goshtasby, 1986). 델루누이 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(Aréalo *et al.*, 2008). 본 연구에서는 이러한 단점에 영향을 받지 않는

매칭쌍이 존재하는 두 영상의 동일지역에 대해서만 piecewise linear function을 적용하였고, 그 외의 지역은 전역적인 affine transformation을 수행하였다. Fig. 2와 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. 이렇듯 기존의 piecewise linear function과 affine transformation이 가지는 단점을 서로 효과적으로 보완함으로써 기하보정 정확도를 높이고자 하였다.

3. 실험 결과 및 분석

1) 실험 대상지역

본 연구에서 사용한 데이터는 제주도 지역으로, 4m의 공간해상도를 가지는 IKONOS 다중분광영상과 5m의 AIRSAR/TOPSAR 영상을 이용하였다(Fig. 3). IKONOS 영상은 2000년 10월 12일, AIRSAR 영상은 2000년 9월 30일 영상으로, 두 영상의 촬영 시기가 크게 차이가 나지 않는다. 상대적으로 공간해상도가 좋은

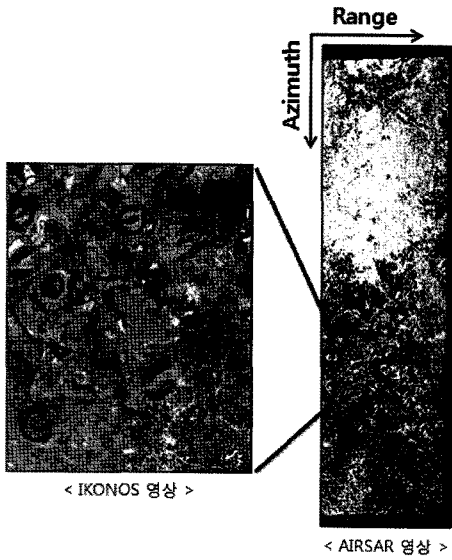


Fig. 3. Study site.

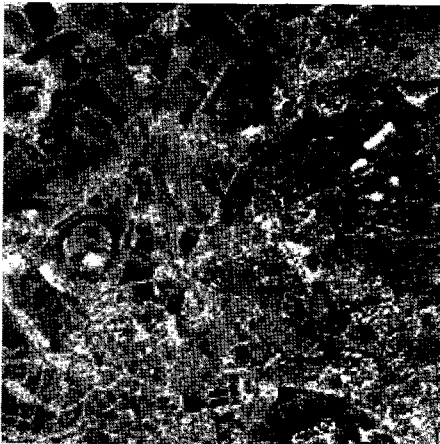
IKONOS 영상을 기준영상으로, AIRSAR 영상을 대상 영상으로 선정하였고, 앞서 기술한 전처리 과정을 수행한 후에 제안한 알고리즘을 적용하고자 하였다. Fig. 4는 전처리 과정을 수행한 후에 실제로 알고리즘을 적용할 IKONOS의 근적외선(near infrared) 영상과 AIRSAR의 L밴드 영상을 보여주고 있고, 해당 지역에 대한 AIRSAR 영상의 incidence angle의 범위는 $30.6^{\circ} \sim 53.4^{\circ}$ 이다.

2) 실험 결과 및 분석

두 대상 영상에 대하여 Canny edge operator를 적용하여 선형정보를 추출한 결과가 Fig. 5와 같다. Thresholding 과정에 필요한 두 개의 임계치는 각각 0.2, 0.5로 두 영상에 공통적으로 적용한 결과,

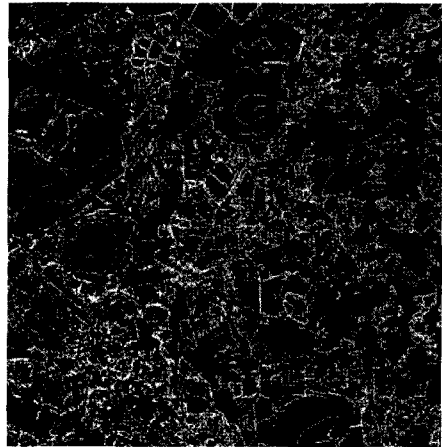


(a)

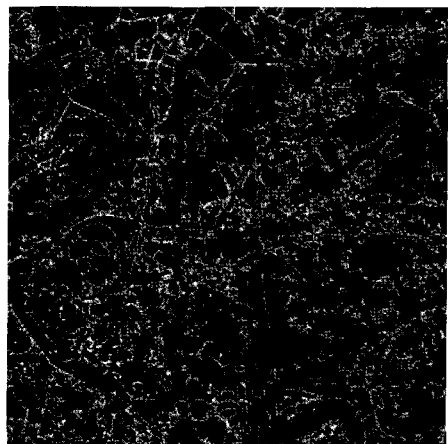


(b)

Fig. 4. IKONOS NIR (a) and AIRSAR L-HH (b) images after pre-processing.



(a)



(b)

Fig. 5. Edge extraction result of IKONOS (a) and AIRSAR (b) images.

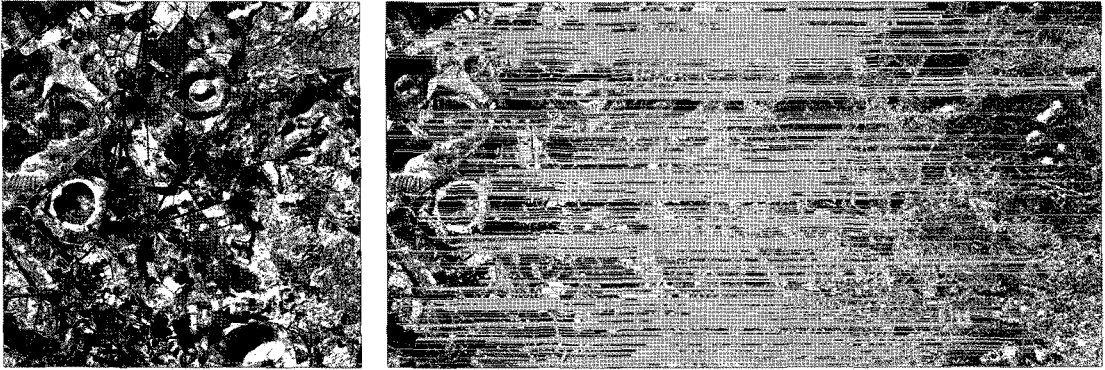


Fig. 6. Matching points extracted by cost function (812 matching pairs).

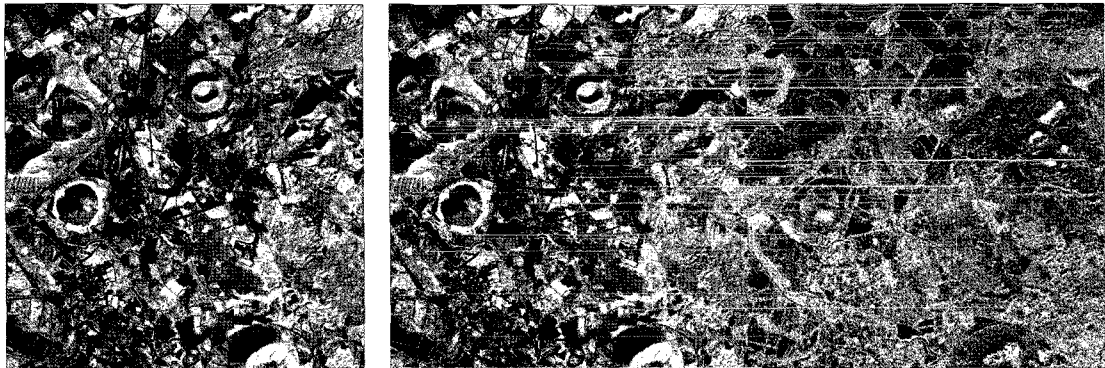


Fig. 7. Matching points after outliers elimination (54 matching pairs).

IKONOS 영상에서는 87,993개, AIRSAR 영상에서는 79,712개의 선형 화소가 추출되었고, 이들을 통해 매칭을 수행하였다. 기준(IKONOS) 영상의 선형 화소 각각에 대하여 반지름이 5인 원형탐색영역을 선정하였고, 이 범위 내에 존재하는 대상(AIRSAR) 영상의 선형 화소만을 기준영상의 선형 화소에 대한 매칭 후보 화소로 제한하였다. 범위 내에 존재하는 모든 선형 화소에 대하여 비용함수를 계산하여, 가장 작은 값을 갖는 화소가 후보매칭쌍이 되고, 비용함수에 사용되는 가중치 α , β 를 각각 0.2, 500으로 경험적으로 설정하여 이 후보매칭쌍의 비용함수 값이 2를 넘지 않는 경우만을 매칭쌍으로 선정하였다.

위의 방법을 통해 매칭쌍을 추출한 결과, 총 812개의 매칭쌍이 추출되었다(Fig. 6). 하지만, 광학영상과 SAR 영상과 같이 취득되는 특성이 다른 이종의 두 데이터에서 단순히 비용함수에 포함된 기하학적인 거리와 방향 정보만을 이용하여 추출된 매칭쌍은 다수의 이상치를 가지고 있을 것으로 판단된다. 특히 측면관측을 하는

SAR 영상에서 높이가 상대적으로 높거나 높낮이 변화가 큰 지역에서는 기복변위가 존재하고, 이러한 지역에서 추출된 매칭쌍을 기하보정 모델식을 구성하는데 이용할 경우 많은 오차가 포함될 수 있다. 따라서 모든 매칭쌍을 이용하여 계산한 RMSE가 1화소(4m)를 넘는 매칭쌍은 이상치로 판단하여 제거하였고, 그 나머지를 최종 매칭쌍으로 추출하였다. 이상치 제거 결과, 최종적으로 54개의 매칭쌍이 추출되었다(Fig. 7).

최종적으로 추출된 매칭쌍을 이용하여 삼각망을 구성한 후 기준영상과 중첩한 결과는 Fig. 8과 같다. 상대적으로 높은 지역적 특성을 갖는 오름(parasitic cone) 지역이나 높이의 변화가 큰 건물이나 나무가 밀집된 지역에서는 매칭쌍이 존재하지 않는 것을 볼 때, 이상치가 효과적으로 제거된 것을 알 수 있다. 삼각망이 구성된 지역은 piecewise linear transformation을, 구성되지 않은 외각 지역은 전역적 affine transformation을 적용하여 SAR 영상을 IKONOS 영상의 좌표체계로 변환하였다.



Fig. 8. Triangular construction on the reference image.



Fig. 9. Registration result by overlapping reference and sensed images(RGB = AIRSAR L-HH band, IKONOS band 2, and IKONOS band 1).

본 연구를 통해 IKONOS 영상과 IKONOS 영상의 좌표체계로 기하보정된 SAR 영상을 중첩하여 표현한 결과는 Fig. 9와 같다. 두 영상의 방사적 특성이 달라서 중첩 영상을 통해 기하보정이 얼마나 정확하게 수행되었는지를 평가하는 것은 어렵기 때문에, 특정 지역을 확대하여 시각적인 평가를 수행하였다(Fig. 10). IKONOS 영상을 빨간색 블록으로, SAR 영상을 회색 블록으로 표현하였다. 확대된 그림에서 볼 수 있듯이 두 영상의 방사적인 특성은 다르지만, 두 영상에 공통으로 존재하는 선형정보나 특정 객체의 형상이 유지되는 것을 볼 때, 기하보정이 제대로 이루어졌음을 확인할 수 있었다. 보다 정량적인 평가를 위해서 총 10개의 검사점을 수동으로 추출하여 x, y 방향에 대한 오차 및 RMSE를 계산한 결과는 Table 1과 같다. 각 검사점에 대한 고도 정보는

Table 1. Registration accuracy

Check point	Elevation (m)	ΔX (pixel)	ΔY (pixel)
1	281.9	0.8	0
2	278.6	0.4	2.0
3	239.4	2.4	0.6
4	241.0	0.4	0.8
5	246.8	0	1.6
6	240.8	0.2	2.2
7	283.8	0.6	1.0
8	239.7	0.8	1.2
9	198.2	1.0	0.2
10	202.2	0.6	1.0
Mean	245.24	0.72	1.06
RMSE		1.58	

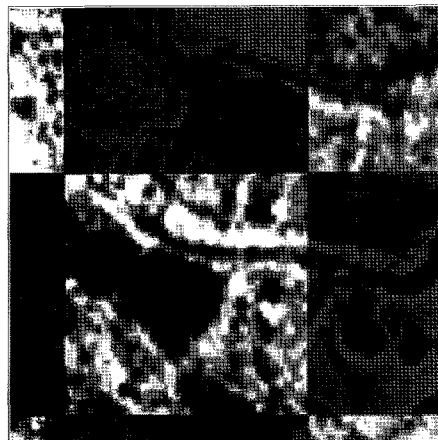
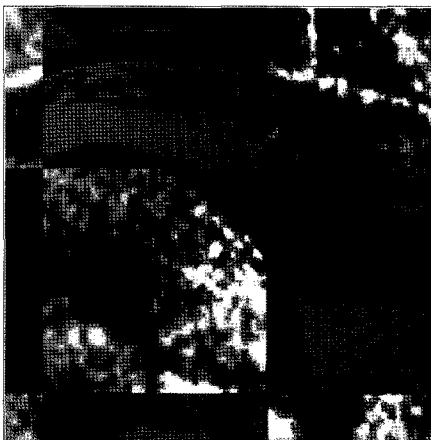


Fig. 10. Magnified mosaic result for visual assessment. Red blocks are from the reference image and gray blocks are from the sensed image.

C 밴드의 In-SAR 모드를 통해 생성된 DEM을 이용하여 추출하였다. 계산 결과, x, y 방향에 대하여 각각 0.72, 1.06의 평균오차를, 1.58의 RMSE 값을 도출하였고, 이를 통해 제안한 방법을 통한 기하보정 결과가 만족할만한 수준의 정확도를 보임을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 Canny edge operator를 통해 추출된 선형정보를 이용하여 IKONOS 영상과 SAR 영상 간의 기하보정을 수행하였다. 본 기법을 통해 영상 전역에 걸쳐서 고르게 분포된 다수의 매칭쌍을 추출하였고, 이상치 제거 과정을 통해 보다 정제된 최종 매칭쌍을 추출할 수 있었다. 특히, 추출된 매칭쌍을 통해서 piecewise linear function과 전역적 affine transformation을 결합한 새로운 형태의 변환모델식을 적용하여 기하보정 정확도를 높이고자 하였고, 수동으로 추출된 검사점을 이용하여 정확도 평가를 수행한 결과, 1.58의 RMSE 값을 보임을 통해 만족할만한 결과를 얻었음을 확인하였다. 향후 연구를 통해 전처리 과정에서 수동으로 매칭쌍을 추출하여 두 영상 간의 좌표체계를 개략적으로 일치시켜주는 과정을 자동화하거나 SAR 영상을 DEM 데이터를 이용하여 geocoding을 수행하는 방법으로 대체한다면, 앞으로 광학영상과 SAR 영상을 융합하여 수행하는 다양한 연구를 보다 활발하게 이뤄지게 할 수 있는 시발점이 될 수 있을 것으로 기대한다.

사사

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(No. 20100027762)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 본 연구에 사용된 AIRSAR 자료는 PACRIM-II 기간 동안에 획득되었으며, NASA/JPL에 의해 처리되어 제공되었습니다.

참고문헌

- Arévalo, V. and J. González, 2008. An experimental evaluation of non-rigid registration techniques on Quickbird satellite imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 29(2): 513-527.
- Canny, J., 1986. A computational approach to edge detection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6): 679-698.
- Dare, P. and I. Dowman, 2000. Automatic registration of SAR and SPOT imagery based on multiple feature extraction and matching, *Proc. IEEE* 2000, pp. 2896-2898.
- Dare, P. and I. Dowman, 2001. An improved model for automatic feature-based registration of SAR and SPOT images, *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 56(1): 13-28.
- Goshtasby, A., 1986. Piecewise linear mapping functions for image registration, *Pattern Recognition*, 19(6): 459-466.
- Habib, A. and R. Al-rizouq, 2005. Semi-automatic registration of multi-source satellite imagery with varying geometric resolutions, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(3): 325-332.
- Hong, T. and A. Schowengerdt, 2005. A robust technique for precise registration of radar and optical satellite images, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(5): 585-593.
- Huang, L. and Z. Li, 2010. Feature-based image registration using the shape context, *International Journal of Remote Sensing*, 31(8): 2169-2177.
- Lee, J. S., 1980. Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics, *IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2(2): 165-168.
- Newton, W., C. Gurney, D. Sloggett, and I. Dowman, 1995. An approach to the automated identification of forests and forest change in remotely sensed images, *International Archives*

- of Photogrammetry and Remote Sensing*, 30(3): 607-614.
- Suri, S. and P. Reinartz, 2010. Mutual-information-based registration of TerraSAR-X and Ikonos imagery in urban area, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(2): 939-949.
- Zitová, B. and J. Flusser, 2003. Image registration methods: a survey, *Image and Vision Computing*, 21(11): 977-1000.
- Zou, X. L., H. B. Ma, and C. H. Ge, 2003. Feature-based multi-resolution SAR and TM images auto-registration, Proc. IEEE 2003, International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing, Changsha, China, pp. 1278-1282.