

라이다데이터를 이용한 디지털항공영상의 자동정합기법

Automatic Matching of Digital Aerial Images using LIDAR DATA

민성홍¹⁾ · 유병민²⁾ · 이임평³⁾

Min, Seonghong · Yoo, Byoungmin · Lee, Impyeong

Abstract

This research aims to develop the strategy and method to enhance the reliability of image matching results and improve the efficiency of the matching process by utilizing LIDAR data in the main image matching processes. In this work, we present the methods to utilize LIDAR data in the selection of matching entities, the search for the matched entities and the evaluation of the matching results. The proposed method has been applied to medium-resolution digital aerial images and LIDAR data acquired at the same time. The results have been analyzed in comparison with an existing method using a virtual horizontal surface rather than LIDAR DEM. This analysis indicates that the proposed method can show significantly more improved performance than the existing method. The results of this study can contribute to the improvement of the currently available commercial image matching software and the enhancement of the DEM derived from LIDAR data and matching results.

Keywords : LIDAR DATA, Digital Aerial Image, DEM, Image Matching, Automation

초 록

본 연구는 영상정합의 주요 과정에 라이다데이터를 적용함으로써 정합과정의 효율성 및 결과의 신뢰도를 향상시키기 위한 전략 및 방법을 개발하는 것을 목표로 하였다. 영상정합은 정합대상객체를 선택하고, 이와 일치된 정합객체를 검색하며, 정합결과의 품질을 평가하는 과정으로 이루어진다. 본 연구는 이러한 영상정합의 각 과정에 라이다데이터를 적용하는 방법을 제시하였다. 제안된 방법을 중해상도 항공 디지털 영상과 이와 동시에 관측된 라이다데이터를 적용하여 실험하였다. 적용된 결과를 라이다데이터 대신에 가상의 수평면을 이용하는 기존의 방법과 대비하여 분석하였다. 그 결과, 제안된 방법이 기존의 방법보다 향상된 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과는 현존하는 상업용 디지털영상정합자동화 프로그램의 정합성능을 개선하고, 영상정합의 결과를 라이다데이터와 결합하여 생성된 DEM의 품질을 제고하는 것에 기여한다.

핵심어 : 라이다 데이터, 디지털항공영상, 수치표고모델, 영상정합, 자동화

1. 서 론

자연재해 및 재난과 같은 긴급 상황에 대한 신속하고 효과적인 관리를 위해 대상지역에 대한 3차원 공간정보의 실시간 구축 및 제공에 대한 필요성이 크게 증가하고 있다. 이를 위해 항공다중센서시스템을 이용한 실시간 공간정보 구축 체계를 구축하려는 노력들이 진행되고 있다. 항공다중센서시스템이란 디지털카메라, 레이저스캐너, GPS, IMU 등의 다중센서를 유무인 항공기에 탑재하여 대상지역에 대하여 센서데이터를 취득 및 분석할 수 있도록

한 시스템으로 여기에서 취득된 데이터는 지상의 단말로 송신되거나, 혹은 항공기 내부의 고성능 프로세서에 의해 신속하게 처리되어 DEM 및 정사영상과 같은 공간정보를 생성하고, 제공하여 긴급 상황에 대한 효과적인 대책수립에 활용될 수 있도록 하는 것이다.

위와 같이 다중센서 데이터로부터 공간정보를 신속하게 생성하기 위해서는 모든 데이터처리과정의 자동화가 필수적이다. 특히, 이러한 과정 중에서 연속적으로 취득되어 서로 중첩되는 영상들로부터 동일한 지상점을 나타내는 영상점을 찾아내는 과정인 영상정합(Image

1) 정희원 · 서울시립대학교 도시과학대학 공간정보공학과 석사과정(E-mail: minssy0306@uos.ac.kr)

2) 서울특별시 중랑구청 지적과 지방시설주사보 (E-mail: yoobery7@jungnang.seoul.kr)

3) 교신저자 · 정희원 · 서울시립대학교 도시과학대학 공간정보공학과 조교수(E-mail: iplee@uos.ac.kr)

Matching)이 신속하고 정확하게 수행되어야 한다. 이는 다수의 항공영상의 외부표정요소를 동시에 조정하는 AT (Aerial Triangulation)나 DSM/DEM을 생성하기 위해 필수적인 과정이기 때문이다. 영상정합의 결과인 공역위치를 지상에 투영시 이상적인 경우라면, 그림 1과 같이 지상점의 한 점과 일치되어야 한다. 그러나 외부표정요소로 인한 기하학적왜곡, 경사진 표면의 영향, 기복의 영향 등의 다양한 오차의 원인으로 인해 지상점과 차이가 발생한다. 따라서 자동으로 영상정합을 수행하기 위해서는 이러한 오차의 영향을 최소화 하는 것이 중요하며, 이에 따라 오차에 강인한(robust) 영상 정합에 관한 연구는 아직도 중요한 주제이다.

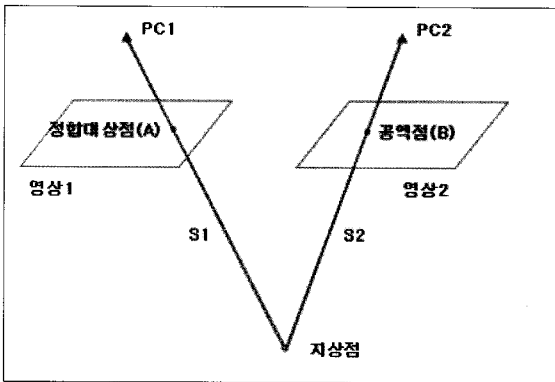


그림 1. 이상적인 공역점에 대한 지상점

영상정합은 과거 해석도화기가 개발된 1960년대부터 자동화에 대한 연구가 본격적으로 시작되어, 사진측량 및 컴퓨터비전의 분야에서 많은 연구가 수행되었다. 이를 통해 국부영역에 대한 밝기값의 유사성에 기반하는 영역기반방법(Aerial Based Matching), 추출된 선형 객체들 간의 모양의 유사성에 기반하는 형상기반방법(Feature Based Matching), 추출된 객체들 사이의 관계까지 고려하는 관계기반방법(Relational Matching)등으로 분류되는 많은 방법론이 제시되었다. 그러나 아직까지도 실시간 공간정보 생성에 적합한 즉, 고속이면서 신뢰성 또한 높은 방법은 아직 개발되지 못하고 있다. 이는 제시된 방법론들은 주로 다수의 영상만을 입력으로 고려하였기 때문인데, 동일한 지역에 대해 취득한 영상이라도 관측지점의 차이나 지표의 경사나 기복에 의해 영상에 투영된 형상이 상당히 달라지기 때문에, 영상만으로는 동일지점을 정확히 찾아내기 어렵기 때문이다. 특히, 형상기반방법이나 관계기반방법은 지표의 경사나 기복에 따라 영상에 왜곡되어 투영되

는 문제에 비교적 강인하게 동작하지만, 객체 추출에 시간이 많이 소요되고 또한 추출된 객체의 신뢰성이 낮은 문제점이 있으며, 영역기반방법은 알고리즘이 단순하고 비교적 신속하게 동작하지만 왜곡에 많은 영향을 받게 된다.

위와 같은 영상정합의 다양한 방법론 중에서 영역기반 방법으로 분류되는 대표적인 연구들을 소개하면 아래와 같다. 영상정합의 첫 번째 시도는 Hobrough(1959)의 아날로그 영상에서 두 영상의 밝기값을 비교한 실험을 수행하였다. 이후 Kreiling(1976)은 정사사진을 생산할 목적으로 자동적으로 수치표고모델을 생성시키기 위한 디지털 상관관계방법을 고안했고, Makarovic(1980)은 영상상관관계의 이러한 개요를 발표했다. 1970년대의 영상정합자동화 연구는 주로 상관관계기법에 초점을 맞추어 연구가 진행되었으나, 1980년대에 들어와서는 최소제곱정합법에 초점을 맞추어 연구가 진행되었다. 그 실험의 첫 시도는 Ackermann(1984)에 의해 수행되었다. 그 후, Grun(1985), Forstner(1986), Rosenholm(1987) 등의 연구자들에 의해 기록되었으며, Forstner(1984)는 영상상관관계기법을 이용하여 영상정합의 품질을 평가했다.

위와 같은 상관관계정합(Correlation Matching)이나 최소제곱정합(Least Squares Matching)으로 대표되는 영역기반정합방법을 통해 신속하게 신뢰성 높은 정합결과를 얻기 위해서는 정합대상점을 찾기 위한 검색범위를 최대한 줄여야 하고, 검색을 위한 초기 위치를 실제 정합위치와 2-3 픽셀 이내로 근접하게 설정해야 한다(Schenk, 1999). 이를 위해 영상에 관측된 지형에 대한 개략적인 모델을 보조적으로 사용하는 방법들이 제안되었다. 예를 들어, Mustaffar와 Mitchell(2001)은 영역기반의 최소제곱정합법의 정합 성능을 증가시키기 위해서 기준영역에 대해 정합영역 영상의 기하학적 변환의 다양한 표면의 기울기를 이용하였다. 이것은 서로 다른 객체에 대해 가장 적당한 모델을 선택하여 영상정합의 성능을 제고시키는 수단의 필요성을 시사하였다. Koncz 등(2002)은 라이다데이터를 사진측량에 적용하는 것을 처음으로 검토하였다. 그리고 Hongwei 등(2005)은 상관관계기법의 초기 근사값으로 2.5, 5, 10 m의 간격을 가지는 라이다데이터와 USGS에서 제공되는 DEM을 가지고 자동 표면추출을 수행하여, 그 결과를 비교/분석하였다. 이것은 LIDAR데이터를 이용한 자동영상정합의 가능성을 확인하는 중요한 선행연구가 되었다.

국내에서도 자동영상정합을 위한 많은 연구가 진행되

있다. 예를 들어 박희주(2000)는 선단위의 영상정합을 수행하였고, 송낙현 등(2007)은 자동 보자이크 영상제작을 위한 접합선의 매칭단계에서 Canny 에지 검출 알고리즘 적용방안에 관한 연구를 수행하였다. 또한 이태운 등(2008)은 위성영상을 위한 수치표고모델의 자동생성을 위한 영상정합 과정에 영상 피라미드를 적용하였다. 하지만 아직 라이다 데이터를 직접적으로 영상정합의 초기값으로 이용한 연구는 진행되지 않고 있다.

본 연구는 라이다와 디지털카메라를 유부인 항공기에 동시에 탑재한 경우에 있어서, 항공영상과 동시에 취득된 라이다데이터를 이용해서 정밀하게 레지스트레이션이 이루어지지 않은 여러 장의 항공영상을 기존의 방법보다 빠르고 신뢰성 있게 정합하기 위한 방법론과 더불어 영상정합결과와 신뢰도를 평가하는 방법을 제시하고자 한다. 라이다데이터를 활용하면 지상에 대한 개략적인 모델을 생성할 수 있고, 생성된 지상모델은 영상정합의 검색범위를 줄이거나 검색초기값을 보다 정확하게 설정하는 것에 크게 기여할 수 있다. 이러한 방법으로 얻어진 영상정합의 결과는 연속된 영상의 외부표정요소를 거의 실시간으로 조정하는 것과 라이다데이터로 생성된 저해상도 DSM의 품질을 개선하는 목적으로 유용하게 활용될 수 있다.

2. 라이다데이터를 이용한 영상정합방법론

일반적으로 영상정합은 기준영상에서 정합대상객체를 선택하고, 정합영상에서 선택된 정합대상객체와 일치하는 공액객체를 검색하고, 두 객체의 정합결과에 대한 신뢰도를 평가하는 과정으로 구성된다(Schenk, 1999). 이러한 영상정합의 각 과정 가운데 공액객체의 검색 및 정합결과와 신뢰도평가에 라이다데이터를 활용하여 영상정합의 성능을 개선하고자 한다.

본 논문에서 제시하는 라이다데이터를 활용한 영상정합방법은 영역기반방법 중의 하나인 최소제곱정합(LSM; Least Squares Matching)기법에 기반한다. 이에 먼저 최소제곱정합기법의 핵심원리 및 주요 수식을 설명하고, 이어서 라이다데이터를 활용한 검색초기값의 설정방법과 정합결과와 품질평가방법을 제시한다.

2.1 최소제곱정합방법

최소제곱정합방법은 하나의 영상에서 선택된 정합대상점을 중심으로 설정한 일정 크기의 기준영역(template window)과 또 다른 영상에서 이러한 기준영역을 복사학

적 및 기하학적 변환하여 생성한 정합영역(matching window) 사이의 밝기값의 유사성에 기반한다. 즉, 이러한 밝기값의 차이의 제곱의 합이 최소로 만드는 복사학적 및 기하학적 변환의 계수를 추정한다. 여기서 사용되는 변환 모델은 두 장의 영상에서 밝기값 차이가 발생하는 원인을 분석하여 이에 적합한 모델을 사용한다. 일반적으로 복사학적 변환에는 선형모델이, 기하학적 변환에는 이동(translation) 변환모델, Similarity 변환모델, 또는 Affine 변환 모델이 사용된다.

최소제곱정합방법의 기본원리를 통해 기하학적 변환 모델(T_R)과 복사학적 변환모델(T_G)에 포함되는 각각의 미지수 ε_G 와 ε_R 을 추정하기 위해 수립되는 관측방정식은 식(1)과 같다. 이는 하나의 영상(t)의 i, j 에 위치한 하나의 픽셀의 밝기값 $t(i, j)$ 은 두 번째 영상(m)에서 이에 대한 기하학적 변환을 통해 대응되는 위치 $T_G(i, j)$ 의 픽셀의 밝기값 $m(T_G(i, j))$ 을 복사학적 변환을 통해 변환한 밝기값 $T_R(m(T_G(i, j)))$ 과 동일해야 한다는 것을 바탕으로 관측방정식으로 수립한 것이다. 여기서, $e(i, j)$ 는 밝기값의 차이를 나타내는 오차로, 이를 최소화하도록 최소제곱법을 적용한다.

$$t(i, j) = T_R(\varepsilon_R; m(T_G(\varepsilon_G; i, j))) + e(i, j) \quad (1)$$

식 (1)과 같은 관측방정식은 일반적으로 비선형이기 때문에, 최소제곱법을 적용하기 위해서는 각각의 미지수 대한 선형화가 이루어져야 한다. 선형화를 위해서는 미지수에 대한 초기값이 필요하며, 초기값을 참값에 가깝게 설정할수록 최소제곱법을 통해 수립된 미지수에 대한 추정값이 실제의 참값에 가까워진다. 따라서 최소제곱정합에서 초기치를 구하는 과정은 정합결과에 상당한 영향을 미치는 아주 중요한 과정이다. 식 (2)는 식 (1)을 선형화한 관측방정식이고, 여기서 ε_m 와 ε_0 는 각각 미지수 ε_R 와 ε_G 에 대한 초기값을 의미하고, $\varepsilon = [\varepsilon_R \ \varepsilon_G]$ 이고, $\varepsilon_0 = [\varepsilon_{m0} \ \varepsilon_{00}]$ 이다. 또한, 미분값 $\partial T_R / \partial \varepsilon$ 은 chain rule에 따라 식 (3)처럼 계산된다.

$$t(i, j) - T_R(\varepsilon_m; m(T_G(\varepsilon_0; i, j))) = \frac{\partial T_R}{\partial \varepsilon} (\varepsilon - \varepsilon_0) + e(i, j) \quad (2)$$

$$\frac{\partial T_R}{\partial \varepsilon} = \begin{bmatrix} \frac{\partial T_R}{\partial \varepsilon_R} & \frac{\partial T_R}{\partial \varepsilon_G} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial T_R}{\partial \varepsilon_R} & \frac{\partial T_R}{\partial m} & \frac{\partial m}{\partial \varepsilon_G} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial T_R}{\partial \varepsilon_R} & \frac{\partial T_R}{\partial m} & \frac{\partial m}{\partial T_G} & \frac{\partial T_G}{\partial \varepsilon_G} \end{bmatrix} \quad (3)$$

기준영역내의 개별 픽셀에 대해서 식 (2)와 같은 하나의 관측방정식을 수립할 수 있으며, 모든 픽셀에 대한 관측방정식을 모아서 하나의 벡터식의 표현하면 식 (4)와 같다. 여기서 y 는 모든 픽셀에 대한 식 (2)의 좌변을 하나의 벡터로 표현한 것이고, A 는 모든 픽셀에 대한 식 (2)의 미분값을 하나의 행렬로 표현한 것이며, e 는 모든 픽셀의 밝기값의 차이를 하나의 벡터로 표현한 것이고, ξ 는 $\varepsilon - \varepsilon_0$ 로서 미지수와 미지수에 대한 초기값의 차이를 나타낸다.

$$y = A\xi + e \quad (4)$$

식(4)에 최소제곱법을 적용하여 ξ 에 대한 추정값을 식 (5)처럼 계산하고, 이를 ε 에 더하여 식 (6)처럼 ε 에 대한 추정값을 구한다. 추정값을 다시 초기값으로 설정하고, 이에 대해 선형화해서 식 (5) 및 식 (6)의 과정을 이 수렴될 때까지 반복적으로 수행한다.

$$\hat{\xi} = (A^T A)^{-1} A^T y \quad (5)$$

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon_0 + \hat{\xi} \quad (6)$$

2.2 초기값의 설정

최소제곱정합방법으로 공액점을 검색하기 위해서는 식 (1)처럼 비선형으로 표현된 관측방정식을 미지수에 대한 초기값을 기준으로 미분하여 선형화된 식 (2)와 같은 관측방정식을 수립해야 한다. 대부분의 비선형방정식의 해를 구하는 문제는 미지수에 대한 초기값을 얼마나 참값에 근접하게 설정하느냐에 따라 반복적인 연산을 통해 최종적인 해로 수렴해가는 계산 속도와 최종적으로 수렴된 해의 정확도에 큰 영향을 미친다. 가급적이면 참값에 가까운 초기값을 설정해야하며 최소제곱정합방법의 경우는 참값 - 즉, 정확하게 정합되는 공액점으로부터 2-3 픽셀 이내로 초기값을 설정해야 된다고 알려져 있다 (Schenk, 1999).

최소제곱정합방법의 미지수는 기하학적 변환과 관련된 계수와 복사학적 변환에 관련된 계수를 구성된다. 여기서, 일반적으로 복사학적 변환은 밝기값의 선형변환모델을 사용하며, 이와 관련된 계수는 두 개의 영상의 전체적인 밝기값의 차이를 비교함을 통해 결정한다. 많은 경우에 결정된 선형변환모델을 통해 전치리를 통해 복사학적 원인으로 인한 밝기값의 차이를 최소로 조정하고 실제 최소제곱정합방법을 통해 복사변환모델의 계수를 개별

적으로 추정하지 않는다. 결국 기하학적 변환과 관련된 계수를 미지수로 놓고 최소제곱정합방법론을 통해 추정한다.

기하학적 변환과 관련된 미지수에 대한 초기값은 최대한 정확하게 설정해서 앞서 언급한 것처럼 변환을 통해 계산된 공액점의 초기위치가 참값의 2-3 픽셀 이내로 들어오도록 해야 한다. 초기값을 결정하기 위한 기존의 방법과 이를 개선하기 위해 라이다데이터를 활용하는 제안된 방법은 그림 2처럼 나타내어진다. 기존의 방법은 라이다데이터가 없기 때문에 지면에 대한 상세한 정보가 존재하지 않고 이에 따라 일반적으로 대상지역에 대한 평균고도를 갖는 수평면으로 지면을 가정한다. 가정된 지면에 하나의 영상에서 기준영역을 구성하는 주요 영상점을 지면으로 투영하고 투영된 점들을 다시 두 번째 영상으로 투영하여 각각의 영상점에 대응하는 두 번째 영상에서의 위치를 계산한다. 기준영역 영상점의 위치좌표와 두 번째 영상으로 투영되어 대응되는 각각의 영상점의 좌표로 변환되게 하는 기하학적모델의 변환계수를 계산한다. 계산된 변환계수는 최소제곱정합방법을 적용할 때 사용되는 기하학적 변환모델을 구성하는 미지수의 초기값으로 설정한다. 이와 같이 설정된 초기값은 실제 참값과 많은 차이를 보이는데, 이러한 차이는 두 개의 영상의 외부표정 요소에 대한 초기값에 포함된 오차와 지표면을 실제와 달리 대상지역의 평균고도를 갖는 가상의 수평면으로 가정했기 때문에 발생한다. 이러한 대부분의 경우에 발생한 차이는 최소제곱정합법이 안정적으로 참값으로 수렴해갈 수 있는 2-3 픽셀 이내의 범위를 벗어나게 된다.

초기값을 보다 정확하게 설정하기 위해 본 연구에서 제안하는 방법은 기준영상에서 선정한 정합대상점을 지상으로 투영할 때 가상의 수평면 대신에 라이다데이터로 생성한 DEM에 투영하여 지상점을 Ray-tracing 알고리즘을 이용하여 결정하는 것이다. 나머지 과정은 기존의 방법과 동일하며, 결정된 지상점을 정합영상의 외부표정요소를 이용하여 정합영상으로 투영하여 공액점의 초기값을 결정한다. 위와 같은 방법으로 초기값을 계산하는 경우에는 가상의 수평면을 사용하는 대신에 정교한 라이다 DEM을 사용하기 때문에 공액점의 초기값과 실제 참값과의 차이를 현저하게 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.

2.3 정합품질의 평가

영상정합을 수행한 결과는 여러 가지 원인으로 인해 항

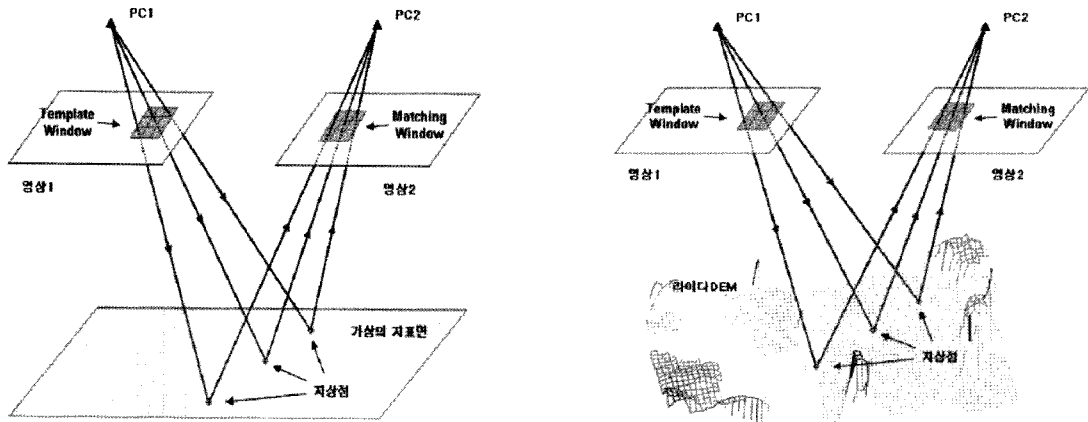


그림 2. 기존의 방법론(좌)과 제안된 방법론(우)의 비교

상 성공적이지는 않다. 그러므로 영상정합결과의 품질을 검증하여 정합을 통해 생성된 각각의 정합대상점에 대응하는 공액점이 올바르게 선택되었는지를 확인해야한다. 정합품질을 평가하는 대표적인 방법은 대상점과 대응하는 공액점 주변의 국부영역의 밝기값의 유사성을 나타내는 예를 들어 밝기값의 상관계수를 계산하는 것이다. 또한, 최소정합방법의 경우는 식 (4)처럼 수립한 관측방정식에 최소제곱법을 적용하면 잔차로부터 계산되는 분산요소의 추정값과 공액위치 추정값의 표준편차를 계산할 수 있다.

분산요소의 추정값은 기준영상의 정합대상점과 이에 대응되는 최종적으로 결정된 공액점 주변의 밝기값의 평균적인 차이를 나타낸다. 분산요소의 추정값이 작을수록 밝기값의 차이가 작다는 것으로 결정된 공액점이 참값에 근접할 확률이 크다. 식 (5)를 이용하여 추정값을 계산한 후, 이를 식 (4)에 대입하면 잔차를 계산할 수 있다. 이를 이용해서 식 (8)과 같이 분산요소의 추정값($\hat{\sigma}_0^2$)을 계산한다. 여기서, r 은 식 (4)에서 수립한 관측방정식의 개수와 미지수의 개수의 차이로 여분 관측방정식의 개수를 의미한다.

$$\tilde{e} = y - A\hat{\xi} \quad (7)$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\tilde{e}^T \tilde{e}}{r} \quad (8)$$

공액위치 추정값은 식 (4)에서 수립한 관측방정식에 최소제곱법을 적용하여 식(5), (6)에서 추정된 기하학적 변환 계수를 이용하여 결정된다. 이 때 기하학적 변환 계수

의 추정값에 대한 정밀도($D(\hat{\xi})$)는 식 (9)와 같이 결정된다. 오차전파의 원리에 따르면 기하학적 변환 계수의 정밀도로부터 정합대상점을 기하학적으로 변환하여 결정하는 공액점의 위치에 대한 정밀도를 계산할 수 있다. 예를 들어 기하학적 변환모델을 2차원 이동 변환 모델로 가정한다면, 이동 변환 계수 추정값의 표준편차가 공액위치 추정값의 표준편차와 동일하게 된다.

$$D(\hat{\xi}) = D(\xi) = \hat{\sigma}_0^2 (A^T A)^{-1} \quad (9)$$

위와 같이 분산요소의 추정값과 공액위치 추정값의 표준편차에 기반하여 정합결과의 품질을 평가하는 방법에 추가하여, 본 연구에서는 라이다데이터를 이용한 정합품질의 평가 방법을 제안한다. 정합대상점과 정합을 통해 추정된 공액점을 이용하여, 이에 해당하는 지상점을 결정할 수 있다. 따라서 라이다 데이터 DEM과 실제 공액위치로부터 생성된 지상점의 수직차이를 계산할 수 있으며, 이를 기반으로 하는 평가 방법을 제안한다.

지상점 수직오차는 그림 3에서 보는 바처럼 지상점과 라이다 DEM사이의 수직오차로 정의된다. 만약 라이다 DEM과 영상의 외부표정요소 그리고 정합의 결과가 정확하다면, 정합대상점과 공액점으로 계산된 지상점은 반드시 라이다 DEM상에 정확하게 중첩될 것이다. 라이다 DEM 및 영상의 외부표정요소에 포함된 오차가 크지 않다고 가정하면, 지상점 수직오차는 결국 정합 결과의 신뢰도를 직접적으로 나타내기 때문에 영상정합결과의 품질검증에 이용할 수 있다.

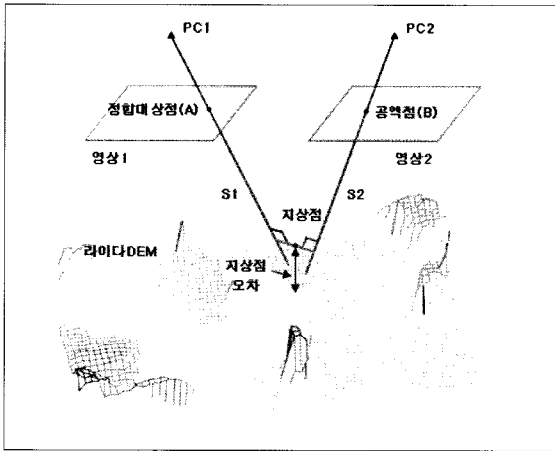


그림 3. 라이다 DEM과 지상점의 수직오차

3. 실험방법 및 결과

3.1 실험방법

본 연구에서 제안한 라이다데이터를 이용한 영상정합 방법을 중해상도 항공 디지털 영상과 동시에 관측되는 라이다데이터에 적용하였다. 라이다데이터를 활용하는 제안된 방법의 우수성을 검증하기 위해서 최소정합방법에서 검색 초기값을 결정할 때, 지면에 대한 정보로 라이다DEM을 활용하는 경우와 라이다DEM없이 대상지역의 평균고도를 갖는 가상의 수평면으로 가정하는 경우로 나누어 실험하고, 그 결과를 비교하였다. 두 가지 경우에 동

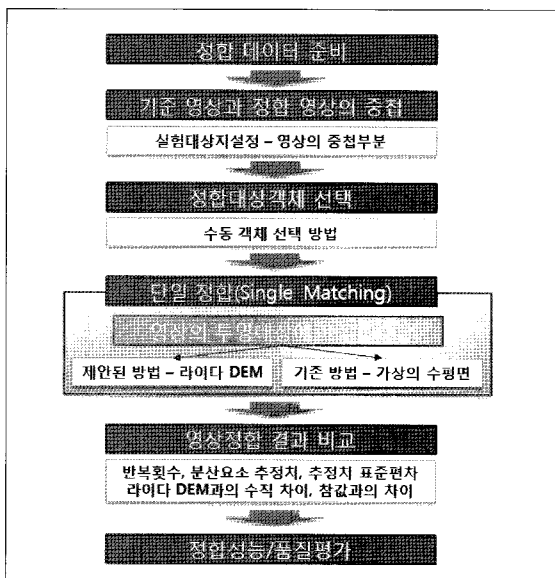


그림 4. 실험방법의 개요

일한 정합대상점을 선정하였고, 정합결과와 평가하기 위해서 각각의 정합대상점에 대응되는 공역점의 참값을 육안으로 정확하게 결정하였다. 정합결과는 그림 4는 이와 같은 실험방법의 개요를 나타낸다.

3.2 실험데이터 및 전처리

본 실험에서 대상지는 제주특별자치도의 제주시가지 지역으로써 항공라이다시스템에서 동시에 취득된 디지털영상과 라이다데이터를 사용하였다.

3.2.1 라이다데이터

표 1은 실험에서 사용된 라이다데이터에 대한 규격이다.

표 1. 라이다데이터의 규격

좌표계	WGS 84 TM
점 개수	4,990,602 pts
점밀도	2,395 pts/m ²
점간격	0.640 m
평균 고도값	175.073 m

본 실험에서 사용된 라이다데이터는 원시데이터 파일로써 전처리를 수행하여 1m 간격의 DEM을 생성하였다. 라이다DEM을 생성한 방법으로는 Lee 등(2003)이 제안한 라이다데이터와 같이 거대한 포인트 셋에 적합한 강인한(Robust) 보간 방법에 기반한 알고리즘을 이용하였다. 그림 5은 생성된 라이다DEM을 보여준다.

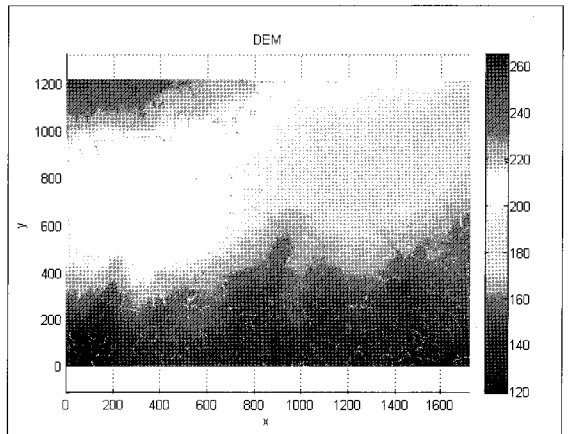


그림 5. 실험대상지역의 라이다 DEM

3.2.2 영상 데이터

실험에 사용한 영상데이터는 그림 6과 같다. 라이다데이터와 동일한 지역을 포함하는 두 개의 중첩영상을 선택하였다. 표 2와 표 3은 각각 영상의 내부표정요소와 외부표정요소의 초기값을 나타낸다. 외부표정요소의 초기값은 촬영 당시에 취득한 GPS/INS 정보를 이용하여 AAT (Automatic Aerial Triangulation)를 통해 결정된 값으로 라이다데이터와 상대적으로 정밀한 레지스트레이션(Registration)이 수행된 것은 아니다.

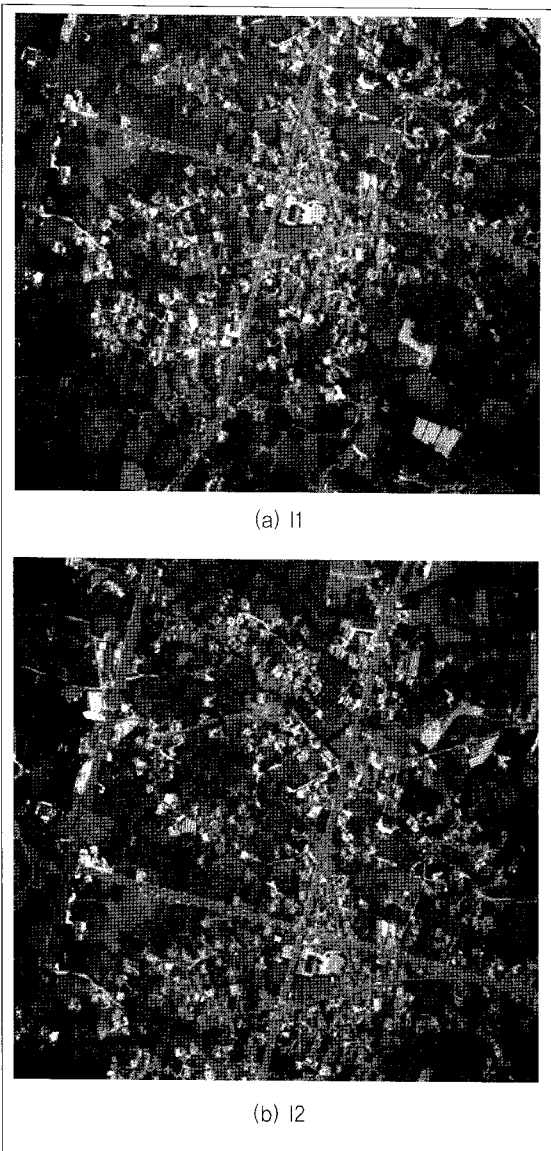


그림 6. 실험대상지역의 디지털영상

표 2. 내부표정요소

Parameters	Value	단위
x0	0.045	mm
y0	0.048	mm
c	55,145	mm

표 3. 외부표정요소

Parameters	I1	I2	단위
X	155420.964	155785.036	m
Y	23915.619	24023.148	m
Z	1620.493	1617.933	m
ω	-2.05762	-1.28034	deg
ϕ	-3.31611	-2.91700	deg
κ	-75.60356	75.29956	deg

3.2.3 실험데이터의 지상범위(Ground Coverage)

영상 및 라이다데이터의 지상범위를 결정하여 충분한 중첩을 갖는가를 확인하였다. 영상의 지상범위는 표 2의 내부표정요소와 표 3의 외부표정요소의 초기값을 이용하여 각각의 영상에 대한 4개의 모서리점을 대상지역의 평균고도를 갖는 가상의 수평면에 투영하여 결정하였다. 그림 7은 영상 및 라이다데이터의 지상범위를 보여준다.

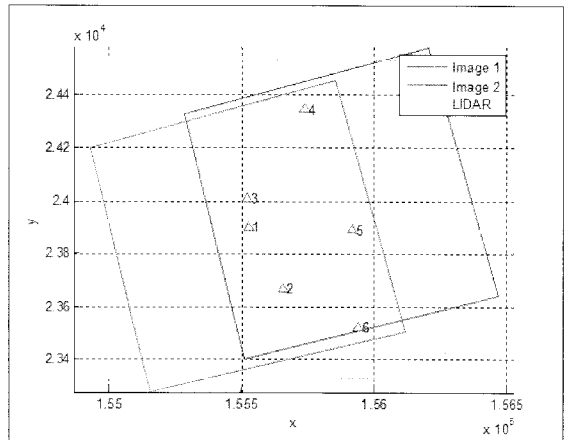


그림 7. 영상 및 라이다 데이터의 지상범위

3.3 실험결과 및 분석

최소정합방법을 실험 데이터에 적용하여 라이다 DEM

을 활용하는 경우와 가상의 수평면을 활용하는 두 가지 경우에 대하여 정합을 수행하였다. 정합과정 및 결과에 대해서 아래의 5가지 기준에 대해서 상호 비교하였다.

3.3.1 선형화 반복 횟수의 분석

최소정합방법은 기본적으로 비선형방정식을 최소제곱법을 통해 풀어가는 과정을 포함한다. 비선형방정식이기 때문에 선형화를 반복적으로 수행하는 데, 초기값이 참값에 근접할수록 선형화 반복회수가 줄어든다. 그림 8은 22개 각각의 정합대상점에 대하여 최소정합방법을 적용할 때 기존의 방법과 라이다 DEM을 이용할 때 선형화 반복 횟수를 보여준다. 라이다 DEM을 이용하는 경우는 모든 정합대상점에 대하여 기존의 방법과 비교하여 상대적으로 빠른 속도로 수렴하는 것을 보여준다. 또한, 가상의 수평면을 이용하는 기존의 방법은 최대 100번의 반복에도 수렴되지 않는 경우도 22개 대상점 중에 6개나 관측되었다.

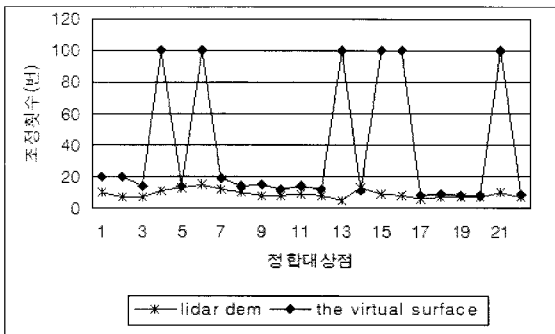


그림 8. 초기값에 따른 선형화조정횟수

3.3.2 분산요소의 추정값

최소정합방법을 적용할 때 최종 수렴된 공역위치에서 영상의 밝기값에 대한 평균의 차이를 나타내는 식 (8)을

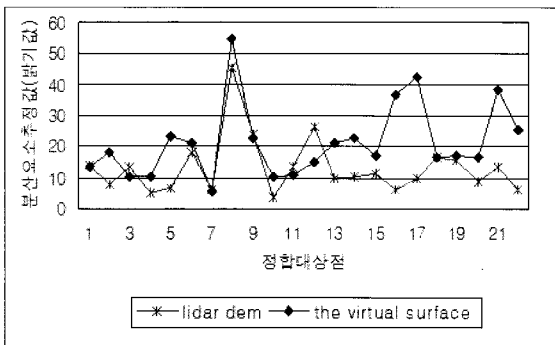


그림 9. 추정의 정밀도

통해 분산요소의 추정값을 비교하였다. 그림 9는 라이다 DEM을 사용한 방법이 기존의 방법보다 대부분의 정합대상점에서 낮은 값을 보여주며, 이것은 보다 좋은 결과값이 산출되었음을 나타낸다.

3.3.3 추정된 수평좌표에 대한 표준편차

그림 10과 그림 11은 최소정합방법으로 추정된 각각 x, y방향의 각 격자간 밝기값의 위치에 대한 표준편차를 나타낸다. 본 실험에서 제안한 방법인 라이다 DEM을 사용한 영상정합의 결과가 거의 모든 정합점에서 0.5 픽셀 미만으로 가상의 수평면을 사용한 기존의 방법보다 좋은 결과를 얻음을 보여준다.

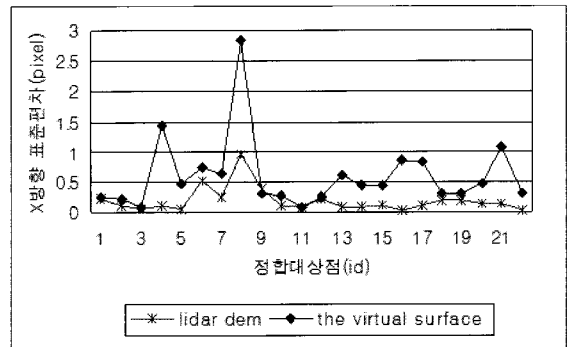


그림 10. 밝기값의 표준편차(x방향)

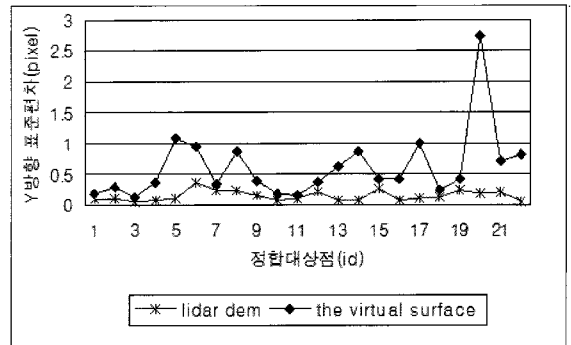


그림 11. 밝기값의 표준편차(y방향)

3.3.4 지상점과 라이다DEM의 수직좌표차이분석

라이다 DEM을 이용하는 제안된 방법과 기존의 방법을 적용하여 얻어진 각각의 공역점 쌍으로부터 지상점의 좌표를 계산할 수 있다. 이렇게 계산된 지상점과 라이다 DEM사이의 수직좌표차이를 이용하여 정합결과의 품질을 평가하였다. 그림 12를 보면, 대부분의 정합대상점에 대해서 라이다 DEM을 이용한 제안된 방법의 수직오차는

2m 이하로 우수한 결과를 보인다. 하지만 기존의 방법을 적용한 경우에는 전체 22개의 대상점 가운데 6개의 점만 좋은 결과를 보이고 있으며, 나머지 경우는 정합이 실패한 것으로 판단된다.

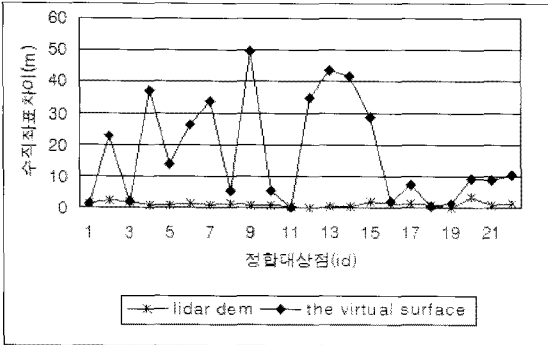


그림 12. 지상점과 라이다DEM의 수직차이

3.3.5 정합결과와 참값의 차이

그림 13은 정합결과와 육안으로 결정한 참값과의 차이를 나타낸다. 즉, 라이다DEM을 활용한 제안된 방법과 기존의 방법을 적용한 각각의 정합결과를 Erdas Imagine 8.7 소프트웨어를 이용하여, 정합점을 정밀하게 수동으로 선택한 방법을 통해 결정한 참값과 비교하였다. 정합결과와 참값과의 차이가 0.5 픽셀 이내인 것을 성공으로 판정한다면, 제안된 방법은 전체 22점 중 13점이 기존의 방법을 사용한 경우는 3점이 성공적인 정합으로 판단된다. 모든 22개 대상점에 대하여 평균제곱근오차(RMSE)를 구하면 표 4와 같다. 라이다데이터를 활용한 제안된 방법이 기존의 방법보다 향상된 결과를 획득한 것을 알 수 있다.

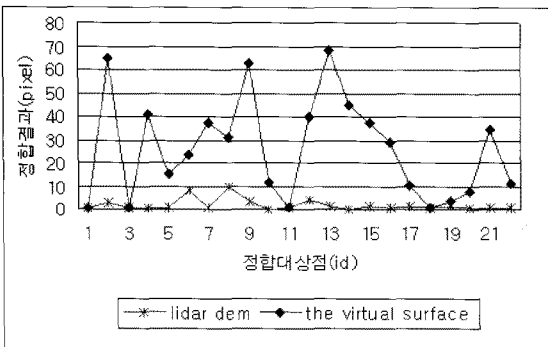


그림 13. 정합결과와 참값의 차이

표 4. 정합결과와 참값 비교 (단위: pixel)

	RMSE(Δx)	RMSE(Δy)
lidar dem	2.0899	2.3255
the virtual surface	20.726	27.539

4. 결론

본 연구에서는 대표적인 영역기반의 영상정합방법인 최소제곱정합에 있어서 라이다데이터를 이용하여 기존보다 정확한 검색 초기값의 결정을 통한 영상정합의 성능 향상 방법 및 영상정합결과의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 라이다데이터를 이용한 영상정합방법은 중해상도 항공 디지털 영상과 동시에 관측되는 라이다데이터를 영상정합실험에 적용하여 영상정합결과를 검증하였다. 그 결과, 제안된 실험에서 라이다DEM을 대상으로 기준영역을 투영한 결과는 약 59%(13/22, 정합성공개수/정합점총수)로 기존의 방법인 가상의 수평면을 대상으로 한 결과인 약 13.6%보다 약 45.4% 향상된 정합결과를 얻었다.

제안된 영상정합방법은 현존하는 상업용 디지털영상정합자동화 프로그램의 성능을 개선하고, 또한 이를 통해 얻어진 영상정합의 결과를 라이다데이터와 결합하여 보다 고품질의 DEM을 생성하는 것에 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업의 지능형국토정보기술혁신사업과제(07국토정보C03) 중 “실시간 공중자료획득시스템 개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

박희주 (2000), 건물지역 수치표면모형 자동생성을 위한 영상정합 방법, 한국측량학회지, 한국측량학회, Vol. 18, No. 3, pp. 315-322.
 송나현, 이성훈, 오금희, 조우석 (2007), 자동 모자이크 영상제작을 위한 접합선 추출기법에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, Vol. 25, No. 2, pp. 47-53.

- 이태윤, 정재훈, 김태정 (2008), 고해상도 위성영상과 기존 수치표고모델을 이용하여 신뢰성이 향상된 수치 표고모델의 자동 생성, *The Journal of GIS Association of Korea*, Vol. 16, No. 2, pp. 193-206.
- Ackermann, F. (1984), Digital image correlation: performance and potential application in photogrammetry, *The Photogrammetric Record*, RSPSoc, 11(64), pp. 429-439
- Forstner, W. (1984), Quality assessment of object location and point transfer using digital image correlation techniques, In *International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing*, 25(3), pp. 197-220.
- Forstner, W. (1986), Digital image matching techniques for standard photogrammetric applications, In *Proc. ACSM/ASPRS Ann. Convention*, 1, pp. 210-219.
- Grun, A. (1985), Adaptive least-squares correlation: a powerful image matching technique, *South Africa Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography*, 14(3), pp. 175-187.
- Hobrough, G. (1959), Automatic stereoplotting, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 25(5), pp. 763-769.
- Hongwei, Z., Padmanabhan, A., Koncz, N. A., Scarpace, F. L., and Vonderohe, A. P. (2005), Automated photogrammetric surface extraction using LiDAR data as first approximations, *ASPRS 2005 Annual Conference*.
- Koncz, N., Zhu, H., Scarpace, F., Vonderohe, A., and Adams, T. (2002), Comparison of Surface Models Derived by Manual LIDAR and Digital Photogrammetric Techniques for a Highway Corridor, In *Proceedings of the 2002 NCRST/TRB/ISPRS/Pecora Conference*, Denver, CO, November 8-15.
- Kreiling, W. (1976), *Automatische Herstellung von Höhenmodellen und Orthophotos aus Stereobildern durch digitale Korrelation*, Diss. Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität Karlsruhe.
- Lee, I., Ahn, Y., Csatho, B., Schenk, T., Shin, S.W., and Yoon, T. (2003), Generation of large-scale and high-resolution DEMs over Antarctica through a LIDAR survey, *Proc., Asian Conference on Remote Sensing*, Busan, Korea.
- Makarovic, B. (1980), Image correlation algorithm, In *International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing*, 23(B2), pp. 139-158
- Mustaffar, M., Mitchell, H. L. (2001), Improving area-based matching by using surface gradients in the pixel co-ordinate transformation, *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, ISPRS, pp. 42-52.
- Rosenholm, D. (1987), Multi-point Matching using Least-squares Technique for Evaluation of Three-dimensional Models, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol 53, June, pp. 621-626.
- Schenk, T. (1999), *Image Matching Fundamentals*, Digital Photogrammetry, TerraScience, pp. 252-259.

(접수일 2008. 12. 24, 심사일 2009. 02. 02, 심사완료일 2009. 02. 25)