다중영상 영역기반 영상정합을 위한 유사성 측정방법 분석

An Analysis of Similarity Measures for Area-based Multi-Image Matching

노명종¹⁾ · 김정섭²⁾ · 조우석³⁾

Noh, Myoung-Jong · Kim, Jung-Sub · Cho, Woosug

Abstract

It is well-known that image matching is necessary for automatic generation of 3D data such as digital surface data from aerial images. Recently developed aerial digital cameras allow to capture multi-strip images with higher overlaps and less occluded areas than conventional analogue cameras and that much of researches on multi-image matching have been performed, particularly effective methods of measuring a similarity among multi-images using point features as well as linear features. This research aims to investigate similarity measuring methods such as SSD and SNCC incorporated into a area based multi-image matching method based on vertical line locus. In doing this, different similarity measuring entities such as grey value, grey value gradient, and average of grey value and its gradient are implemented and analyzed. Further, both dynamic and pre-fixed adaptive-window size are tested and analyzed in their behaviors in measuring similarity among multi-images. The aerial images used in the experiments were taken by a DMC aerial frame camera in three strips. The over-lap and side-lap are about 80% and 60%, respectively. In the experiment, it was found that the SNCC as similarity measuring method, the average of grey value and its gradient as similarity measuring entity, and dynamic adaptive-window size can be best fit to measuring area-based similarity in area based multi-image matching method based on vertical line locus.

Keywords : Multi-image, Image Matching, Similarity Measure, Matching Entity

초 록

항공영상을 이용하여 수치표면자료와 같은 3차원 자료를 자동으로 제작하기 위해서는 영상정합이 반드시 필요하다. 최근 사용되고 있는 항공 디지털 프레임 영상은 과거의 아날로그 영상에 비해 폐색지역이 적은 고중복도 다중 스트립 영상으로 촬영되기에 용이하다. 최근 다중 스트립 영상을 이용한 다중영상정합 기법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며, 특히 각 영상에서 추출된 점(point feature)이나 형상(linear feature)의 유사성 측정 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 수직궤적 기반 다중영상정합을 대상으로 영역기반 유사성 측정 방법으로 SNCC(Sum of Normalized Cross-Correlation)와 SSD(Sum of Squared-Difference) 방법을 비교·분석하였다. 또한 영역기반 유사성 측정에 필요한 요소로 영상의 화소값, 화소값 기울기 강도, 화소값과 화소값 기울기 강도 평균을 각각 사용하여 결과를 비교하였다. 이 외에도 영역기반 유사성 측정에서 중요한 요소인 기준 윈도우의 크기를 비정규 적응형 기준 윈도우 방법과 정규 적응형 윈도우 방법을 적용하여 결과를 비교·분석하였다. 실험을 위하여 사용된 항공영상은 ZI Imaging 사의 DMC (Digital Modular Camera)에 의해 중중복도는 80%, 횡중복도는 60%로 촬영되었으며, 3개의 스트립으로 구성되었다. 다양한 방법으로 실험을 수행한 결과에 따르면 유사성 측정 방법으로는 SNCC, 유사성 측정 요소로는 화소값과 화소값 기울기 강도 평균, 그리고 비정규 적응형 기준 윈도우가 수직궤적 기반 다중영상정합의 영역기반 유사성 측정에 가장 적합하다는 것을 확인하였다.

핵심어 : 다중영상, 영상정합, 유사성 관측, 정합요소

1) 정회원 · 미국 오하이오 주립대학교 연구원(E-mail:ngnmj77@gmail.com)
2) 교신저자 · 인하대학교 토목공학과 · 대학원생(E-mail:sobi.kim@gmail.com)
3) 정회원 · 인하대학교 토목공학과 교수(E-mail:wcho@inha.ac.kr)

1. 서론

최근 3차원 도시공간 모델을 기반으로 구축된 가상공간은 현실세계에 대한 공간분석 및 의사결정과 같은 다양한 업무를 수행하는 데 도움을 주고 있다. 대표적으로 마이크로소프트사의 빙맵(Bing Map), 구글사의 구글맵(Google Map) 등이 현재 이러한 3차원 도시공간 모델을 구축하여 다양한 서비스를 제공하고 있다. 이와 같이 3차원 도시공간 모델에 대한 활용도가 증가함에 따라 다양한 측량(항공 레이저측량, 항공사진측량, 위성영상측량, 지상사진측량, 및 Mobile측량 등)을 통하여 획득된 데이터로부터 자동으로 3차원 데이터를 구축하려는 연구가 활발히 수행되고 있으며, 여전히 해결되어야 할 과제들이 많이 남아있다.

3차원 도시공간 모델을 자동으로 구축하기 위해서는 수치표면자료(Digital Surface Data)가 필요하며, 이는 항공사진측량을 통해 획득된 항공영상을 이용한 영상정합에 의해 제작될 수 있다. 최근 기술의 발전으로 도입된 항공디지털영상은 기존의 8비트로 스캐닝 되어 사용되던 아날로그 영상과 달리 높은 방사해상도를 가지고 있어 아날로그 영상에서 식별하기 어려웠던 지역에 대한 식별을 가능하게 한다. 또한 프레임방식 디지털카메라의 경우, 높은 중복도로의 촬영이 용이하여 폐색지역이 거의 없는 영상의 획득이 보다 용이해 졌다. 이러한 항공디지털영상의 특징을 기반으로 본 연구에서는 높은 중복도를 가지는 다중 스트립 프레임 항공영상을 이용하여 영역기반 다중영상정합을 수행하는 데 적합한 유사성 측정 방법을 제시하고자 한다.

Collins(1996)는 항공 디지털 프레임 영상에 대한 다중영상정합을 수행하기 위하여 총 7장의 영상에 존재하는 에지점들을 영상정합하기 위하여 3차원 복셀을 이용하였다. 그는 구축하고자 하는 3차원 공간을 복셀로 구분한 후, 각 복셀에 투영되는 에지점의 개수와 복셀의 통계적 모델을 이용하여 다중영상정합을 수행하였다. 이 방법은 복셀의 크기를 결정하는 방법에 따라 구축되는 3차원 데이터의 정확도가 결정되며, 추출된 에지만 영상정합을 수행하므로 고밀도 수치표면자료를 제작하기 위해서는 별도의 영상정합기법이 필요하다. Paparoditis(2000)는 다중영상정합을 수행하기 위하여 수직궤적(vertical line locus)기법을 사용하였다. 수직궤적 기법은 탐색영역 안에서 영상의 화소위치를 이동하며 측정된 유사성에 따라 최적의 정합점을 추출하는 기법이 아니라, 고정되어 있는 평면위치에 대해 높이값을 변화하며 각 영상에 투영된 화소들간의 유사성에 따라 최적의 높이값을 결정하는 기법이다. 따라서 별도의 에지

점을 이용하지 않고 영상정합을 수행하므로 고밀도 수치표면자료를 제작하는데 사용될 수 있다. Paparoditis(2000)는 이러한 수직궤적기법을 기반으로 각 화소들간의 유사성을 측정하기 위하여 밝기상관법에 텍스처 정보에 따라 가중치를 부여한 MICRA(Multi Image Correlation with Radiometric Attenuation) 방법을 제안하였다.

Park(1997)은 영역기반 다중영상정합을 기반으로 화소들간의 유사성을 관측하기 위하여, Okutomi(1993)가 제안한 SSD(Sum of Squared Difference)를 사용하여 에지점에 대해 영상정합을 수행하였다. 다중영상정합을 위하여 다중 스트립영상 중에서 중앙에 위치한 영상을 기준영상으로 상하, 좌우에 있는 영상을 사용하였다. SSD는 영상의 화소값을 직접 사용하므로 화소값이 변화하거나 기복변위가 심한 지역에 대해서는 정합이 어렵다는 문제점이 발생하였다. 또한 Zhang(2005)은 선형배열 디지털카메라인 ADS40영상을 이용하여 다중영상정합을 수행하였으며, 특징점에 대한 유사성을 측정하기 위하여 SNCC(Sum of Normalized Cross-Correlation) 방법을 적용하였다. 더불어 불연속면에 대한 영역기반 영상정합의 정확도를 높이기 위하여 Kanade(1994)에 의해 제안된 적응형 기준 윈도우 설정 방법을 적용하였다. Pateraki(2005)는 ADS40영상의 3방향 영상(Forward, Nadir, Backward)에 대한 다중영상정합을 수행하였다. 영역기반의 밝기상관법을 이용하여 정합을 수행하였으며, 이때 다양한 크기의 윈도우(multi patch window)와 에지의 방향에 따라 윈도우를 회전하는 방법 등을 사용하였다.

영역기반 영상정합은 유사성 측정방법, 유사성 측정요소 및 기준 윈도우 설정 방법에 따라 그 결과가 좌우되며, 특히 불연속면 및 폐색지역에 대한 정합 정확도를 향상시키기 위한 방법이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구에서 사용된 방법들을 바탕으로 다중영상 영역기반 영상정합에 적합한 유사성 측정방법, 유사성 측정요소 및 기준 윈도우 설정 방법을 제안하고자 한다. 본 연구에서 제안하는 유사성 측정방법은 영역기반 다중영상정합 기법 중에서 별도의 에지점을 사용하지 않는 수직궤적 기법을 대상으로 한다. 비교하고자 하는 유사성 측정방법은 SSD와 SNCC이며, 유사성 측정요소로는 화소값, 화소값 기울기(gradient) 강도, 및 화소값과 화소값 기울기 강도 평균을 각각 사용하여 유사성 측정에 따른 정합결과를 비교하였다. 또한 공간해상도에 따른 유사성 측정 정확도를 분석하기 위하여 가우시안 피라미드 영상을 제작하여 실험을 수행하였으며, 기준 윈도우 설정 방법을 비교하기 위하여 비정

규 및 정규 적응형 기준 윈도우 설정 방법에 따른 유사성 측정 정확도를 건물과 지면에 대해 비교하였다.

2. 연구내용

2.1 피라미드 영상

영역기반 다중영상 영상정합은 기준영상과 비교하고자 하는 대상영상간의 영상정보의 유사성에 따라 정합여부가 결정된다. 이러한 영상정보는 영상의 공간해상도에 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 이러한 공간해상도에 따른 유사성 측정 방법의 거동을 분석하기 위하여 가우시안 피라미드 영상(Adelson, 1984)을 제작하여 비교·분석하였다. 가우시안 피라미드 영상은 식 (1)에 나타난 바와 같은 가우시안 필터(GF)를 적용하여 제작하였다.

$$GF(i, j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

여기서, (i, j) 는 필터의 행과 열의 위치를 나타내며, σ 는 가우시안 필터의 표준편차를 나타낸다.

본 연구에 사용되는 항공 디지털 프레임 영상은 RGB 컬러 영상으로, 가우시안 필터를 식 (2)에 나타난 바와 같이 RGB 각 밴드 영상에 적용하여 RGB 가우시안 피라미드 영상을 제작하였다. 이때 사용된 가우시안 필터의 크기는 11×11을 사용하였다.

$$\begin{aligned} I^{level J}(r', c')_{red} &= \sum_{i=-5}^5 \sum_{j=-5}^5 I^{level(J-1)}(2r+i, 2c+j)_{red} \otimes GF(i, j) \\ I^{level J}(r', c')_{grn} &= \sum_{i=-5}^5 \sum_{j=-5}^5 I^{level(J-1)}(2r+i, 2c+j)_{grn} \otimes GF(i, j) \\ I^{level J}(r', c')_{blu} &= \sum_{i=-5}^5 \sum_{j=-5}^5 I^{level(J-1)}(2r+i, 2c+j)_{blu} \otimes GF(i, j) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, (r', c') 은 J 단계 피라미드 영상, (r, c) 은 $(J-1)$ 단계 피라미드 영상의 영상좌표를 나타내며, $I^{level J}$, $I^{level(J-1)}$ 은 각각 J 번째와 $(J-1)$ 번째 피라미드 영상의 화소값을 의미한다. 그림 1에 레벨 0인 원본영상과 이를 이용하여 제작된 3단계 피라미드 영상을 나타내었다.

2.2 수직궤적(Vertical line locus) 기법

수직궤적 기법은 그림 2에 나타난 바와 같이 정합을 하고자 하는 한 점의 평면위치 (X, Y) 를 고정하고, 탐색영역 ΔZ 내에서 높이값을 일정한 간격(δZ)으로 변경하며 최적의 높이값 Z 를 결정하는 기법이다.

그림 1. 원본영상과 가우시안 피라미드 영상 (GSD는 Ground Sample Distance를 의미)

영상 피라미드를 이용하여 수직궤적 기법으로 다중영상 영상정합을 수행하는 경우에는 일반적으로 시작영상인 최상위 단계의 피라미드 영상에서 탐색영역 ΔZ 는 대상지역의 높이값을 고려하여 일정한 값을 이용한다. 이후 하위단계의 영상에서 탐색영역 ΔZ 는 상위단계의 영상을 정합하여 얻어진 수직궤고모형을 이용하여 설정한다. 이와 같이 결정된 탐색영역 ΔZ 내에서 일정한 간격으로 변경되는 높이(δZ)와 고정된 평면좌표(X, Y)로 결정된 3차원 좌표(이하, 3차원 정합후보 위치)를 공선조건식을 이용하여 각 영상에 투영하여 영상좌표를 결정한 후, 각 화소들간의 유사성을 측정한다. 이러한 유사성 측정값은 탐색영역 ΔZ 내에서 높이값을 일정한 간격(δZ)으로 구분한 만큼 측

그림 2. 수직궤적기법(Papaditis(2000) 참고)

정이 되어 그림 2의 오른쪽에 나타난 유사성 프로파일(profile)로 나타나며, 이 중 국부 최대가 되는 위치를 최적의 정합높이로 결정하게 된다.

3차원 정합후보 위치의 높이를 결정하기 위해 필요한 일정한 높이간격(δZ)은 각 영상에 투영된 수직궤적상의 모든 화소의 유사성을 비교할 수 있도록 각 피라미드 영상의 공간해상도와 동일하게 적용을 하며, 결과적으로 일정한 높이간격(δZ)은 영상정합의 정확도를 결정하게 된다. 따라서 피라미드 레벨 J 영상의 경우, 공간해상도는 0.1×2^J m (원본영상 '0' 레벨의 공간해상도가 0.1m 인 경우)이므로 3차원 정합후보 위치의 높이는 식 (3)과 같이 탐색영역 ΔZ 내에서 일정하게 변경된다.

$$\forall Z_n = Z_{\min} + 0.1 \times 2^J \times n$$

$$\{n | n \in \text{양의 정수}, \forall Z_n \leq Z_{\max}, J = 0, 1, 2, 3\} \quad (3)$$

이와 같이 다중영상정합을 위한 수직궤적 기법은 결정된 각 영상의 화소를 중심으로 정합대상 윈도우를 생성하여, 영역기반 영상정합을 수행하므로 정합대상 영상 내에서 별도의 탐색과정이 필요 없게 된다.

2.3 정합기준영상 및 정합대상영상 선정

영역기반 다중영상 영상정합을 수행하기 위해서는 유사성 측정의 대상이 되는 정합기준영상을 선정하여야 한다. 본 연구에서는 3차원 정합후보 위치를 포함하고 있는

그림 3. 정합기준영상 선정(DMC)

다중영상 중에서 3차원 정합후보 위치가 거의 폐색되지 않은 영상을 정합기준영상으로 선정하기 위하여, 그림 3에 나타난 바와 같이 영상에 투영된 화소의 위치가 영상의 중심에 가장 가깝게 위치하고 있는 영상을 정합기준영상으로 선정한다.

이와 같이 선정된 정합기준영상을 이용하여 그림 4와 같이 유사성을 측정할 정합대상영상을 선정하여 유사성 측정을 위한 영상 쌍을 구성한다.

그림 4. 유사성 관측 영상 쌍 구성 방법

2.4 기준 윈도우 설정 방법

영역기반 다중영상 영상정합에서 기준 윈도우란 그림 4에 나타난 바와 같이 정합을 하고자 하는 대상점을 중심으로 주변 화소정보를 비교하기 위하여 형성되는 윈도우를 의미한다.

일반적으로 윈도우의 크기가 고정되어 있는 기준 윈도우(이하, 고정형 기준 윈도우)는 대상지역이 연속적이라는 가정 하에 사용하게 된다. 따라서 고정형 기준 윈도우의 크기를 설정하기 위해서는 영상의 해상도 및 촬영지역을 충분히 고려하여야 한다. 다중영상 영역기반 다중영상 영상정합에서 윈도우 크기가 큰 경우에는 잡음, 폐색지역, 다중해 등에 대해 영향을 적게 받지만, 반면에 윈도우 크기가 작은 경우에는 윈도우 크기가 큰 경우에 비해 좀 더 정확하며 높이의 불연속을 일정부분 보존할 수 있다는 특성을 가지고 있다 (Pateraki, 2005). 이와 같이 고정형 기준 윈도우는 윈도우의 크기에 종속적인 정합 결과를 나타내므로, 이를 해결하기 위한 적응형 기준 윈도우 설정 방법에 대한 연구가 진행되었다.

고정형 기준 윈도우와는 달리 적응형 기준 윈도우는 대상영상의 윈도우 영역 안에 포함되는 화소들에 대한 유사

성에 따라 그 크기가 변하는 윈도우를 의미한다. 즉, 기준 윈도우와 대상영상 윈도우 사이의 유사성이 증가하는 방향으로 윈도우의 크기를 변화시킴으로써 불연속면이 존재하는 지역에 대해서도 어느 정도 신뢰할 수 있는 유사성을 측정할 수 있는 특징을 가지고 있다. Kanade(1994)는 이러한 적응형 윈도우를 이용한 영상정합에 대한 이론 정립 및 실험을 수행하였다. 그림 5에 나타난 바와 같이 기준 윈도우를 3×3 부터 시작하여, 상하좌우 방향으로 윈도우의 크기를 늘리면서 유사성의 크기가 증가하는 방향으로 윈도우의 크기를 확장하는 방법을 말한다.

그림 5. 비정규 적응형 기준 윈도우

Kanade(1994)가 적용한 비정규 적응형 기준 윈도우설정 과정은 다음과 같다.

- ① 정합 대상점과 정합 후보점을 중심으로 하여 3×3 크기의 시작 윈도우를 생성하여, 초기 유사성(ρ_{init})을 관측한다.
- ② 윈도우의 크기를 오른쪽 방향(그림 5에서 1번 방향)으로 1화소 확장한 후 유사성(ρ_r)을 관측한다.
- ③ $\rho_r > \rho_{init}$ 보다 크면 ρ_{init} 를 ρ_r 으로 설정한 후, 다시 윈도우의 크기를 확장하여 유사성(ρ_r)을 관측한다.
- ④ ③의 과정을 $\rho_r < \rho_{init}$ 이거나 최대 윈도우 크기에 도달할 때까지 반복한다.
- ⑤ ②~④의 과정을 시계 방향으로 회전하며 반복하여 (ρ_d, ρ_l, ρ_u)를 계산하고, 최대 유사성에 해당하는 윈도우의 크기에 결정한다.

Pateraki(2005)는 Kanade(1994)와 달리 3개의 정사각형 형태의 기준 윈도우 크기를 설정한 후, 각 기준 윈도우에서 측정된 유사성에 의해 윈도우 크기를 결정하는 방식의 적응형 기준 윈도우(이하, 정규 적응형 기준 윈도우)를 적용하였다. 본 연구에서는 Kanade가 적용한 비정규 적응형 기준 윈도우 방법과 Pateraki가 적용한 정규 적응형 기준 윈도우 방법을 비교·분석하였다.

2.5 유사성 관측 기법

2.5.1 SSD(Sum of Squared Difference)

Okutomi(1993)는 식 (4)에 나타난 바와 같이 정합기준영상과 정합대상영상 간에 화소값 차이 제곱의 합, 즉 SSD(Sum of Squared-Difference)를 이용하여 유사성을 측정하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 SSD가 최소인 위치를 최적의 정합점으로 결정하게 된다.

$$SSD(x, d) = \sum_{u \in W} [I^r(p+u) - I^t(p+u+d)]^2 \quad (4)$$

여기서, I^r 는 정합기준영상 화소값, I^t 는 정합대상영상의 화소값, p 는 정합위치, u 는 기준 윈도우 위치, d 는 정합기준영상과 정합대상영상 정합점에 대한 영상좌표 차이(disparity), W 는 기준 윈도우 크기를 각각 나타낸다.

본 연구에서는 SSD 방법을 수직적 기법에 기반한 다중영상정합에 적용하기 위하여 식 (5)에 나타난 바와 같이 각각의 영상 쌍에 대해 유사성을 계산하고 식(6)과 같이 계산된 모든 SSD의 평균값(SSD_{avg})을 최종 유사성 측정값으로 사용한다. 따라서 최적의 정합높이는 SSD_{avg} 가 최소가 되는 위치가 된다.

$$SSD^i(p^r, p^i) = \sum_{u \in W} [I^r(p^r+u) - I^i(p^i+u)]^2 \quad (5)$$

$$SSD_{avg} = \frac{1}{m} \times \sum_{i=1}^m SSD^i(p^r, p^i) \quad (6)$$

여기서, m 은 정합대상영상의 개수, p^r 는 정합기준영상에서의 정합후보 위치, p^i 는 정합대상영상에서의 정합후보 위치를 각각 의미한다.

2.5.2 SNCC(Sum of Normalized Cross-Correlation)

Zhang(2005)은 다중영상정합에서 유사성 측정을 위하여 SNCC(Sum of Normalized Cross-Correlation)값을 식 (7)에 나타난 바와 같이 계산하여 적용하였다. 최적의 정합위치는 탐색영역 ΔZ 내에서 형성되는 SNCC 프로파일에서 최대값을 가지는 위치이다. 다시 말해서, 식 (8)에 나타난 바와 같이 유사성 관측 영상 쌍에 의해 계산된 모든 NCC(Normalized Cross-Correlation)의 평균값을 최종 유사성 관측값으로 사용하는 것을 의미한다.

$$SNCC = \frac{1}{m} \times \sum_{i=1}^m \rho_i \quad (7)$$

$$\rho_i = \frac{\sigma^{ri}}{\sigma^r \sigma^i} \quad (-1.0 \leq \rho_i \leq 1.0) \quad (8)$$

여기서, ρ_i 는 정합기준영상과 정합대상영상 사이의 밝기상관법 상관계수, σ^r 는 정합기준영상과 정합대상영상 간의 공분산, σ^r 는 정합기준영상 표준편차, σ^i 는 정합대상영상 표준편차를 각각 나타낸다.

2.5.3 유사성 측정요소(Similarity measuring entity)

기존의 연구에서 유사성을 측정하기 위해 사용한 SSD와 SNCC는 화소값을 주로 사용하였다. 본 연구에서는 이와 더불어 식 (9)와 같이 에지특성이 반영된 화소 기울기 (gradient) 강도 ($mag(p^r)$, $mag(p^i)$)에 대한 평균과 표준편차를 이용하여 상관계수($\rho_{gradient}$)를 계산하는 방법과, 식 (10)과 같이 ρ_{gray} 와 $\rho_{gradient}$ 를 산술평균하여 상관계수(ρ_{avg})를 계산하는 방법을 적용하였다.

$$G_x(p^r) = \frac{\partial I^r(p^r)}{\partial x}, G_y(p^r) = \frac{\partial I^r(p^r)}{\partial y}$$

$$G_x(p^i) = \frac{\partial I^i(p^i)}{\partial x}, G_y(p^i) = \frac{\partial I^i(p^i)}{\partial y}$$

$$mag(p^r) = \sqrt{G_x(p^r)^2 + G_y(p^r)^2}$$

$$mag(p^i) = \sqrt{G_x(p^i)^2 + G_y(p^i)^2} \quad (9)$$

$$\rho_{avg} = \frac{1}{2} \times (\rho_{gradient} + \rho_{gray}) \quad (10)$$

여기서, $G_x(p^r)$ 와 $G_y(p^r)$ 은 각각 정합기준영상 p^r 에 대한 x 와 y 방향 기울기를 나타내며, $G_x(p^i)$ 와 $G_y(p^i)$ 은 각각 정합대상영상 p^i 에 대한 x 와 y 방향 기울기를 나타낸다. $mag(p^r)$ 는 정합기준영상 p^r 에 대한 화소 기울기 강도, $mag(p^i)$ 는 정합대상영상 p^i 에 대한 화소 기울기 강도를 나타낸다.

이와 유사하게 SSD를 적용하는 경우에도 화소값, 화소값 기울기 강도 및 화소값과 화소값 기울기 강도 평균을 이용하는 방법을 적용하였다. 따라서 본 연구에서는 SSD와 SNCC를 이 세 가지 유사성 측정요소를 이용하여 각각 유사성을 측정하여 결과를 비교하였다.

3. 실험결과

3.1 사용 데이터

본 연구에 사용한 실험데이터는 DMC 항공 디지털프레임카메라로 촬영된 칼라 항공영상이다. 촬영시기는 2007년 2월이며, 평균 촬영고도는 약 1,010m이다.

사용된 DMC 항공 디지털프레임카메라의 주요제원 및

사양을 표 1에 나타내었으며, 실험에 사용된 3개 스트립 15장의 영상과 정합을 수행한 영역을 확대하여 그림 6과 표 2에 각각 나타내었다.

표 1. DMC 카메라 센서의 주요 제원 및 사양

항 목	내 용
유효 초점 거리	120mm
CCD 크기	12 μ m
영상 크기	7,680 pixels $\times$ 13,824 pixels
영상 크기	약 95 mm $\times$ 168 mm
시야각 (행/열)	약 44 $^\circ$ /74 $^\circ$
방사해상도	12 bits
지상해상도	10 cm
중중복도	80%
횡중복도	60%

그림 6. 실험에 사용된 3개 스트립 15개 영상(DMC)

3.2 실험을 위한 검사점 추출 및 분포

영상의 해상도별, SSD와 SNCC 그리고 유사성 측정요소별 유사성 측정 정확도를 검증하기 위하여 표 2에 나타낸 실

표 2. 실험대상영역 영상

	1	2	3	4	5
6 th					
7 th					
8 th					

험대상지역에 대해 3차원 도화 데이터로부터 검사점을 육안으로 추출하였으며, 검사점의 높이 정확도는 약 20cm이다. 그림 7과 같이 총 72개의 지면점과 158개의 건물점을 검사점으로 추출하였다. 각 검사점의 평면위치를 고정하여 수직궤적 기반 다중영상정합에 의해 탐색영역 ΔZ 내에서 일정한 간격으로 변경되는 높이(δZ)에 대해 유사성을 측정하여 최적의 높이값을 결정하였다. 본 실험에서 탐색영역 ΔZ 는 영상의 해상도와 관계없이 실험대상 지역의 도화 데이터를 이용하여 일정하게 40m($Z_{\min}$)에서 100m($Z_{\max}$)로 결정하였다.

그림 7. 검사점 분포(항공영상과 3차원 도화 데이터 중첩)

3.3 SSD와 SNCC 결과 비교

SSD와 SNCC의 유사성 측정결과를 비교하기 위하여, 기준 윈도우의 크기를 실험으로 결정된 11×11 로 고정하여 실험을 수행하였다. 더불어 두 방법에 대하여 유사성 측정요소로서 화소값, 화소값 기울기 강도, 화소값과 화소값 기울기 강도의 평균을 사용한 결과를 각각 비교하였다.

유사성 측정요소별 두 가지 방법에 의해 결정된 영상정합점 높이와 검사점 높이 차이의 절대값(이하, 높이차이)을 유사성의 측정 정확도에 대한 평가지표로 사용하였다. 본 실험은 유사성 측정 방법에 따른 영상정합의 정확도를 검증하기 보다는 유사성 측정 정확도를 비교분석하기 위해 SSD의 최소값과 SNCC의 최대값에 대한 임계값을 사용하지 않았다. 따라서 국부 최소(SSD) 또는 최대(SNCC)인 유사성 측정값에 따라 결정된 최적의 정합높이는 다중영상의 불연속면 및 폐색 등으로 인하여 검사점의 높이와 많은 차이를 보일 수 있다. 그림 8, 9, 10에 높이차이에 대한 평균과 평균제곱근오차(Root Mean Square Error)를 나타내었다.

그림 8. 화소값을 유사성 측정요소로 사용한 결과

그림 9. 화소값 기울기 강도를 유사성 측정요소로 사용한 결과

그림 10. 화소값과 화소값 기울기 강도의 평균을 유사성 측정요소로 사용한 결과

그림 8, 9, 10에서 볼 수 있는 바와 같이, 각각의 방법에 따른 높이차이에 대한 평균과 평균제곱근오차가 상대적으로 크지만, SSD에 비해 SNCC의 높이차이 평균과 평균제곱근오차가 세 가지 경우에 대해 모두 우월한 것을 알 수 있다. 특히, 영상 피라미드 레벨에 따른 결과를 살펴보면, SNCC의 경우 각 피라미드영상 레벨에 따라 거의 일정한 높이차이 평균값과 평균제곱근오차를 보이는 반면, SSD는 영상해상도가 원본영상으로 접근 할수록 높이차이 평균이 저하되는 것을 알 수 있다. 결과적으로 상관계수를 사용하는 SNCC의 경우 공간 해상도에 상관없이 거의 일정한 결과를 보이는 반면, SSD는 단순히 유사성 측정요소의 차이 값만을 사용하므로 공간 해상도에 따라 유사성 측정결과가 일정하지 않음을 알 수 있다.

또한 유사성 측정요소에 따른 결과를 살펴보면, 화소값과 화소값 기울기 강도의 평균을 사용한 방법의 높이차이 평균과 평균제곱근오차가 각각 약 5.8m, 12.6m(4단계 피라미드 영상 결과의 평균값)로 다른 두 방법에 비하여 우월한 것을 알 수 있다. 원본 영상인 레벨 '0' 영상의 경우, 화소값

을 사용한 결과와 거의 동일한 결과를 보이지만, 다른 레벨의 피라미드 영상에서 우월한 결과를 보이고 있다. 또한 SNCC 및 SSD에서 화소값과 화소값 기울기 강도 평균을 사용한 방법은 피라미드 영상에 따라 유사성의 정밀도가 거의 비슷한 것을 알 수 있다. 이는 사용하는 영상의 해상도에 유사성 측정요소로서 화소값과 화소값 기울기 강도 평균이 영향을 가장 적게 받는다는 것을 의미한다.

3.4 적응형 기준 윈도우 설정방법에 따른 비교

적응형 기준 윈도우 설정 방법(비정규 및 정규 기준 윈도우 설정 방법)에 따른 유사성 측정결과를 비교하기 위하여, 유사성 측정방법으로 본 연구에서 우월한 결과를 보인 SNCC를 사용하였다. 또한 유사성 측정을 위한 유사성 측정요소로는 가장 우월한 결과를 보인 화소값과 화소값 기울기 강도 평균을 사용하였다. 적응형 기준 윈도우의 시작 크기는 3×3 이며, 최대 크기는 11×11 로 설정하였다.

SNCC 프로파일을 이용하여 적응형 기준 윈도우의 거동을 건물점과 지면점으로 구분하여 좀 더 면밀하게 분석하기 위하여 SNCC 프로파일의 국부 최대값에 대한 임계값(T)을 0.7로 설정하였다. 임계값 이상인 위치를 정합에 성공한 것으로 간주하여 최적의 정합높이로 결정하였으며, 임계값 미만인 점은 정합에 실패한 것으로 간주하였다.

따라서 정합률을 식 (11)과 같이 산정하였다.

$$P = \frac{n}{N} \times 100 \quad (11)$$

여기서, n 은 전체 검사점 중, 임계값 이상인 정합점으로 판단된 점의 개수를 나타내며, N 은 전체 검사점의 수를 나타낸다.

불연속면과 폐색지역에 대한 결과를 비교하기 위하여 검사점을 건물점과 지면점으로 구분하여, 비정규 및 정규 적응형 기준 윈도우 설정방법에 따른 영상정합을 수행하였다.

3.4.1 건물점 비교

그림 11은 각 방법에 대한 높이차이 평균을 비교하여 나타난 것이다. 비정규 적응형 기준 윈도우를 사용할 경우, 공간 해상도에 비례하여 정합 정확도가 향상됨을 알 수 있다. 하지만 정규 적응형 기준 윈도우를 사용하는 방법은 정합 정확도가 공간 해상도에 비례하지 않음을 알 수 있다. 높이차이 평균제곱근오차를 나타낸 그림 12에서도 동일한 경향을 보이고 있다.

그림 11. 적응형 기준 윈도우 방법에 따른 높이차이 평균 (건물점)

그림 12. 적응형 기준 윈도우 방법에 따른 높이차이 RMSE (건물점)

이는 공간해상도가 높아짐에 따라 정합높이의 정확도가 높아져야 함에도 불구하고, 정규 적응형 기준 윈도우 방법은 비록 정확도 및 정밀도가 상대적으로 우월하다고 할지라도 영상의 공간 해상도에 따라 정합결과가 일정하지 않았다. 특히 원본영상의 경우, 두 방법의 높이차이 평균은 약 2.3m로 비슷하나, 비정규 적응형 기준 윈도우의 평균제곱근오차가 정규 적응형 기준 윈도우에 비해 약 1.6배 정도 높은 것을 확인할 수 있다.

그림 13은 적응형 기준 윈도우 설정방법에 따른 정합률을 비교하여 나타난 것이다. 각 영상 피라미드 레벨에 대해 비정규 기준 윈도우가 평균 약 23.7% 정도 정합률이 높을 것을 알 수 있다. 특히, 비슷한 정확도를 보이는 원본 영상인 레벨 '0' 영상에 대해서도 약 16.2% 정도 높은 정합률을 보이고 있다. 이는 정규 적응형 기준 윈도우에 비해 비정규 윈도우가 건물점과 같은 불연속면에 대해서 보다 높은 유사성을 측정한다고 볼 수 있다.

그림 13. 적응형 기준 윈도우 방법에 따른 정합률 (건물점)

3.4.2 지면점 비교

두 가지 적응형 기준 윈도우 설정 방법에 따른 높이차이 평균, RMSE 및 정합률을 그림 14, 15, 16에 각각 나타내었다.

그림 14와 15에서 볼 수 있듯이 건물점의 결과와 유사하게 공간 해상도가 향상됨에 따라 정규 적응형 기준 윈도우와 달리 비정규 적응형 기준 윈도우의 정합결과가 일정하게 향상됨을 알 수 있다. 이는 지면점의 경우, 건물에 의해 폐색된 지역이 기준 윈도우 안에 존재할 수 있는 정규 적응형 기준 윈도우에 비해, 폐색된 지역을 유사성 관측에 의하여 제외시킬 수 있는 비정규 적응형 기준 윈도우가 더욱 안정적인 결과를 나타내는 것을 의미한다.

그림 14. 적응형 기준 윈도우 방법에 따른 높이차이 평균 -지면점

그림 15. 적응형 기준 윈도우 방법에 따른 높이차이 RMSE -지면점

그림 16. 정합률 비교 - 화소값, 화소값 기울기 강도 평균

그림 16에 나타난 정합률에 있어서도 비슷한 정확도 및 정밀도를 가진 원본 영상에 대하여 약 7.2%정도 높음을 알 수 있다. 이는 건물점 분석과 유사하게 비정규 적응형 기준 윈도우가 폐색지역에 대해서도 보다 높은 유사성에 대한 분별력을 가지고 있음을 의미한다.

4. 결 론

본 연구에서는 수직궤적 기법을 기반으로 영역기반 다중영상정합을 수행할 경우, 정확한 정합점을 결정하기 위해 적합한 유사성 측정방법을 제시하기 위하여 비교·분석을 수행하였다. 먼저, 유사성 측정 방법인 SSD와 SNCC를 비교하기 위하여 고정형 기준 윈도우를 적용하였으며, 정확도 및 정밀도에서 SNCC가 보다 우월한 결과를 보이는 것을 확인하였다. 특히 SNCC의 경우 공간 해상도의 변화에 관계없이 거의 비슷한 결과를 보였다. 또한 유사성을 측정하기 위하여 사용되는 유사성 측정요소에 따른 비교 실험을 수행한 결과, 화소값과 화소값 기울기 강도를 평균하여 사용한 방법이 가장 우월한 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 이는 유사성 측정에 화소정보 이외에 화소 기울기 강도 같은 텍스처 정보를 사용함으로써 더욱 안정적이며 정확하고 정밀한 결과를 얻을 수 있음을 의미한다.

두 가지 적응형 기준 윈도우 설정 방법에 따른 비교실험을 수행한 결과, 비정규 적응형 기준 윈도우 방법이 보다 정확하고 정밀한 결과를 제공하는 반면, 정규 적응형 기준 윈도우 방법은 영상의 공간 해상도와 관계없는 결과를 도출하여 균일한 결과를 확보하기 어려운 것을 확인하였다. 또한 건물점과 같은 불연속면이 존재하는 지역과 폐색지역이 존재하는 지면점 지역에 대해서 비정규 적응형 기준 윈도우 방법이 보다 높은 정합 성공률을 나타냄을 확인하였으며, 영상의 공간 해상도가 높아질수록 정확도가 향상되는 것을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술혁신사업단 과제의 연구비지원(06국토정보B01)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- Adelson, E.H., Anderson, C.H., Bergen, J.R., Burt, P.J. and Ogden, J.M., 1984, "Pyramid methods in image processing", *Radio Corporation of America engineer*, Vol. 29, No. 6, pp. 33-41.
- Collins, R.T., 1996, "A Space-Sweep Approach to True Multi-Image Matching", *Proc. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition'96*, San

- Francisco, Ca, USA, pp. 358-363.
- Kanade, T., 1994, "A Stereo Matching Algorithm with an Adaptive Window: Theory and Experiment", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine*, vol. 16, No. 9, pp. 920-932.
- Okutomi, M. and Kanade, T., 1993, "A multiple-baseline stereo", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15, No. 4, pp. 353-363.
- Paparoditis, N., Thom, C. and Jibrini, H., 2000, "Surface Reconstruction in Urban Areas from Multiple Views with Aerial Digital Frame Cameras", *Proc. ISPRS Congress Amsterdam' 2000*, Amsterdam, Netherlands. CD-ROM.
- Pateraki, M.N., 2005, "Adaptive Multi-Image Matching for DSM Generation from Airborne Linear Array CCD Data", *Dissertation, Swiss Federal Institute of Technology Zurich*.
- Zhang, L., 2005, "Automatic Digital Surface Model(DSM) Generation from Linear Array Images", *Dissertation, Swiss Federal Institute of Technology Zurich*.
- Park, J. and Inoue, S., 1997, "Hierarchical Depth Mapping from Multiple Cameras", *Proc. International conference on Image Analysis and Processing*, Vol. 1, University of Florence, Florence, Italy, pp. 685-692.

(접수일 2012. 03. 02, 심사일 2012. 03. 08, 심사완료일 2012. 03. 13)