

소벨-메디언 필터링을 이용한 UAV 영상의 정밀 DTM 구축 방법에 관한 연구

나영우*

The Construction Method of Precise DTM of UAV Images Using Sobel-median Filtering

Na, Young-Woo*

Abstract: UAV have the disadvantage that are weak from rainfall or winds due to the light platform, so use Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) method which extrude keypoints in image matching process. To find the efficient filtering method for the construction of precise Digital Terrain Model (DTM) using UAV images, comparatively analyzed sobel and Differential of Gaussian (DoG) and found sobel is more efficient way to extrude buildings, trees, and so on. And edges are extruded more clearly when applying median additionally which have the merit of preserving edge and eliminating noise. In this study, applied sobel-median filtering which plus median to sobel and constructed the 1st filtered DTM that extrude building and trees and 2nd filtered DTM that extrude cars by threshold of gradient, Analysis of the degree of accuracy improvement showed that standard deviations of 1st filtered DTM and 2nd filtered DTM are 0.32m, 0.287m respectively, and both are acceptable for the tolerance of 0.33m for elevation points of 1/1,000 digital map, and the accuracy was increased about 10% by filtering automobiles. Plus, moving things are changed those position and direction in every image, and these are not target to filter because of the characteristic that is excluded from SIFT method.

키워드 : 무인항공기, 소벨 메디언 필터링, 정밀 수치지형모델

Key Words : UAV, Sobel median filtering, Precise Digital Terrain Model

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

수치지형모델(Digital Terrain Model, DTM)은 지상측량, 항공사진측량, 라이다(Light Detection And Range, LIDAR)측량 등의 기법을 통해 구축할 수 있다. 그중 라이다를 활용하는 방법은 비교적 쉽게 3차원 공간정보를 정확하게 구축할 수 있지만, 장비의 가격과 운용에 큰 비용이 소모되며 데이터 처리 및 분석 시간이 오래 걸리는 단점이 있다(Visintini et al., 2007). 수치지형도의 등고선과 표고점을 이용하여 DTM의 구축이 가능하나 1/1,000 수치지형도 경우 전국적으로 구축되어 있지 않고 1/5,000 수치지형도는 상대적으로 낮은 정확도로 정밀한 모델을 구축하기 어렵다. UAV(Unmanned Aerial Vehicle, 무인항공기)를 이용할 경우 제한된 범위 내에서 전통적인 지상측량 기법으로는 취득이 어려운 지형에 대해서도 공간해상도 및 시간해상도가 높은 수치지형모델 생성에 유용하다(Sammartano and Spanò, 2016), 다만 UAV 기체의 경량화 특성 등에 기인한 강우나 바람 등에 취약한 단점이 있어 그에 적합한 영상 정합 기법을 이용하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 UAV 영상으로 구축된

수치표면모델(Digital Surface Model, DSM)로부터 정밀한 DTM을 구축을 위한 소벨 필터링(sobel filtering) 기법을 적용하여 라이다 이용한 성과와 비교 분석하고, 1/1,000 수치지도 표고점을 기준으로 허용 기준을 만족하는지를 검증함으로써 정밀 DTM의 구축을 위한 효과적인 필터링 기법을 제시하고자 하였다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 정확도 검증을 위한 1/1,000 수치지도가 구축된 지역을 대상으로 지상기준점을 이용해 고해상도의 UAV영상을 취득하고, 정밀 DSM를 제작하였다. 또 생성된 DSM으로부터 DTM을 구축하기 위해 건물과 수목 등의 비지면 객체는 주로 평지에 존재한다는 가정하에 산악지형을 우선 분리한 후 평지에 대해 필터링 기법을 적용하였다. 산악지형과 같은 급경사지역의 경우 필터링기법을 통해 수목을 제거할 수는 있으나, 이후 보간법을 적용할 때 산악지형이 사라져 버리거나 오히려 주위의 일정치 않은 높이값으로 인해 더 큰 왜곡이 발생할 가능성이 있다.

평지에 적용할 필터링 방법으로서 라플라스안-가우시안 연산자와 거의 비슷한 결과값을 나타내면서도 간단한 연산을 수행하는 가우시안 차분 기법(Differential of Gaussian, DoG)과 소벨 필터링을 비교하여 정보 손실을 최소화하는 최

* 세종대학교 IT엔지니어링대학 건설환경공학과 교수

적의 필터링 기법을 우선적으로 선택하였다. 또 필터링 임계값을 다르게 함으로써 건물 및 높은 수목을 일차적으로, 자동차와 같은 낮은 지물을 2차적으로 추출하여 제거함으로써 정밀한 DTM을 구축하였다.

정확도 비교를 위한 검사점으로서 1/1,000 수치지도의 표고점을 활용하였다. 이 표고점들을 중심으로 건물 및 높은 수목들을 제거한 결과와 자동차 및 낮은 수목들까지 고려한 결과에 대해 그 정확도 향상 정도를 분석함으로써 UAV영상에 효과적인 필터링 기법을 제시하고자 하였다. 다음 Figure 1은 연구 흐름도를 나타내고 있다.

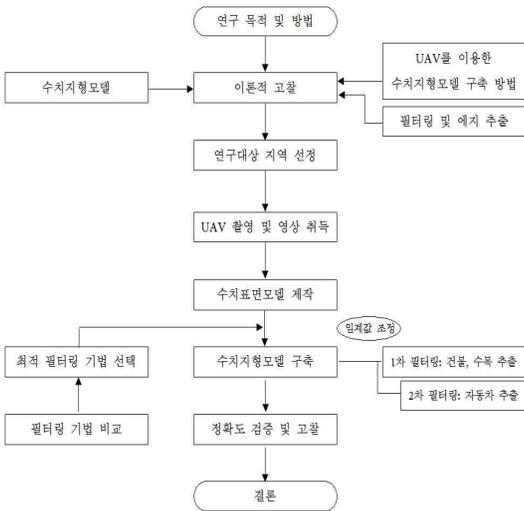


Figure 80. 연구 흐름도

2. 기존 문헌고찰

2.1 정밀 수치지형모델 구축 방법

2.1.1 수치지형모델 개요

수치지형모델은 지형의 고도값을 수치로 저장함으로써 지형의 형상을 나타내는 자료로서, 그 자체만으로도 경사도, 경사방향, 음영기록, 가시권 분석 등이 가능하다. 또한 위성영상과 같은 래스터 이미지의 조감도 작성, 3차원 동영상 제작, 배수구역 분석 및 적지 분석, 지형의 고도차로 인해 발생하는 영상자료의 기하학적 왜곡 보정 등과 같은 여러 가지 목적으로 사용된다(Lee et al., 2016).

국토지리정보원에서는 2015년도에 한반도 전역에 대해 수치지형모델을 공개하였으나, 자료의 격자 간격이 90m, 표준편차가 ±6.2m로, 도시의 경관이나 산, 평야 등의 대략적인 형상을 파악하기에 적합하다.

수치지형모델을 구축하는 방법 중 라이다 데

이터를 활용하는 방법과 국토지리정보원에서 무상으로 제공하는 수치지도의 등고선과 표고점을 이용하여 수치표고자료를 구축하는 방법이 있다. 1/5,000 수치지형도는 국가기본도로서 남한 전역에 걸쳐 구축되어 있어 원하는 수치지형모델 구축이 가능하지만, 표고점의 경우 약 ±67cm, 등고선은 약 ±1m의 표준편차를 가지고 있으므로 정확도에 있어서는 어느 정도 한계가 있을 수 있다.

UAV 측량은 전통적인 지상측량 기법으로는 취득이 어려운 지형에 대해, 공간해상도 및 시간해상도가 높은 수치표고모델을 생성하는데 유용하다(Sammartano and Spanò, 2016). 또한 가격이 저렴하고 운용이 용이하다는 장점, 특히 원하는 지역에의 빠른 접근이 가능하다는 특징이 있으며, 취득된 대상지역의 영상의 빠른 전송이 가능해지면서 UAV는 군사, 통신, 엔터테인먼트, 농업 등의 분야에서 널리 사용되고 있다. 최근에는 GPS/INS와 같은 항법장치를 이용한 위치 및 자세 정보 성능의 향상, 그리고 디지털 카메라 성능의 발달로 UAV를 이용한 측량 및 공간정보의 생성을 위한 많은 연구가 수행되고 있다(Rhee et al., 2016).

2.1.2 필터링 및 에지 추출 방법

수치지형모델은 수치표면모델로부터 건물, 수목 등의 비지면점들의 필터링으로 객체의 에지를 추출하는 방법을 통해 제작할 수 있다. 에지는 영상 안에서 영역의 경계를 나타내며 픽셀의 밝기가 갑작스럽게 변하는 불연속점으로서, 물체의 위치, 모양, 크기, 표면의 무늬 등에 대한 정보를 알려준다. 에지는 영상 내의 밝기차가 크게 나는 곳에 해당하며, 대개 픽셀값의 불연속이나 픽셀 미분값의 불연속점에 존재한다.

에지는 크게 영상의 밝기가 변하는 스텝 에지(Step Edge)와 영상의 밝기가 갑자기 변화하다가 시간이 지나면 다시 돌아오는 라인 에지(Line Edge)로 분류한다. 일반적으로 에지 검출을 하기 전에 잡음을 제거하는 경우 픽셀값의 변화량이 둔화하여 완만한 변화로 바뀌게 된다. 이 경우 스텝 에지는 램프 에지(Ramp Edge)로, 라인 에지는 루프 에지(Roof Edge)로 변한다.

대부분의 에지 검출 기법은 편미분 연산자 계산을 기본으로 하고 있는데, 크게 1차 미분을 이용한 방법과 2차 미분을 이용한 방법 등으로 나눌 수 있으며, 이들 대부분은 공간 필터링을 통해 수행된다. 1차 미분을 이용한 에지 검출 방법은 화소 밝기의 기울기를 기초로 한 것으로서 대표적으로 차분 필터, 소벨 필터, 로버츠 필터와 프레위트 필터 등이 있다. 2차 미분을 이용한

에지 검출 방법에는 대표적으로 라플라시안 필터를 예로 들 수 있다. 이 방법은 화소의 밝기값에 대한 2차 미분 수행시 한 점을 중심으로 밝기값의 부호가 바뀌는 영점교차 현상을 이용한 것으로서, 계산된 2차 미분값을 조사하여 영점교차가 발생된 지점만을 에지로 검출하는 방법이다(Song *et al.*, 2007).

Figure 2는 영상 밝기 변화에 의한 에지의 기울기를 나타내고 있다. 밝기 변화가 급격한 경우 기울기 값이 크며, 점차적으로 변화하는 경우에는 기울기가 완만해진다(Kim, 2018).

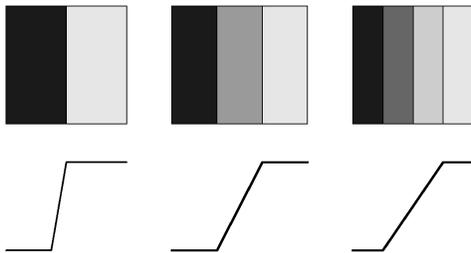


Figure 81. 영상 밝기 변화에 의한 에지의 기울기

Figure 3은 영상 밝기 변화에 따른 에지의 기울기, 1차 미분 및 2차 미분을 나타낸 것이며, 영상의 밝기가 어두운 영역에 해당하는 부분은 그래프 상에 회색 계열의 컬러를 입혀 구분하였다. 에지의 기울기 변화량은 어두운 곳에서 밝은 곳으로 갈수록 양의 값, 그 반대일 경우 음의 값을 보이고 있다. 1차 미분 결과를 살펴보면 에지의 기울기 변화량이 양의 값일 때 극대, 음의 값일 경우 극소값을 보이며, 밝기 변화가 없는 곳에서는 0의 값을 나타낸다. 2차 미분의 경우에는 에지의 어두운 부분에서는 양, 에지의 밝은 부분은 음의 값을 나타내며, 1차 미분 때와 같이 일정한 밝기 값을 가진 영역에서는 0의 값을 보이고 있다. 이것은 다음과 같은 의미를 나타낸다(Kim, 2018).

- ① 1차 미분 값의 크기 : 영상에서 에지의 존재 여부
- ② 2차 미분 값의 부호 : 에지 픽셀의 밝고 어두운 부분의 위치

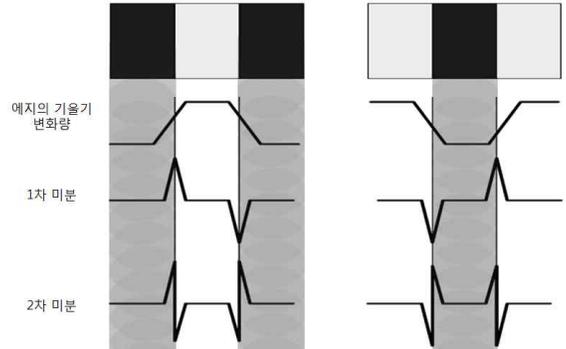


Figure 82. 영상 밝기 변화에 따른 에지의 기울기와 미분

1차 미분을 이용한 에지 검출 방법은 화소 밝기의 기울기를 기초로 한 것으로서 대표적으로 차분 필터, 소벨 필터, 로버츠 필터와 프레위트 필터 등이 있다. 이 중 차분 연산의 경우 영상은 데이터가 일정 간격으로 나열되어 있는 구조이므로 수학적 미분을 하지 않고, 인접한 화소끼리의 차이를 구하는 방법이다. 가장 간단한 에지 검출 연산 방법으로서 이 연산을 통해 수평과 수직의 에지를 검출할 수 있다.

로버츠, 소벨, 프레위트 연산자는 기울기 연산자를 이용한 컨볼루션(Convolution) 마스크로 수평과 수직 에지를 검출하는데 유용하며, Figure 4는 에지 검출 알고리즘의 종류를 나타내고 있다.

	G_x	G_y																		
Roberts :	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	<table border="1"> <tr><td>-1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	-1	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	-1																		
0	1	0																		
0	0	0																		
-1	0	0																		
0	1	0																		
0	0	0																		
Prewitt :	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> </table>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1	<table border="1"> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1
1	0	-1																		
1	0	-1																		
1	0	-1																		
-1	-1	-1																		
0	0	0																		
1	1	1																		
Sobel :	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>-2</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> </table>	1	0	-1	2	0	-2	1	0	-1	<table border="1"> <tr><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr> </table>	-1	-2	-1	0	0	0	1	2	1
1	0	-1																		
2	0	-2																		
1	0	-1																		
-1	-2	-1																		
0	0	0																		
1	2	1																		

(왼쪽 G_x 미분연산자, 오른쪽 G_y 미분연산자)
Figure 83. 기울기 연산자를 이용한 컨볼루션 마스크[18]

로버츠 연산자는 다른 연산자보다 연산 반경이 좁기 때문에 잡음에 민감하게 반응하는 편이며, 다른 연산자들은 평균 연산을 수행함으로써

잡음을 어느 정도 제거할 수 있다. 프레위트 연산자는 중심에 있는 화소를 강조하지 않으며 수평이나 수직 에지에 민감하다.

소벨 연산자는 일반적으로 가장 많이 쓰이는 연산자로서 마스크의 중심에 위치한 화소에 강조를 두며 수직이나 수평 방향보다 대각선 방향의 에지에 민감하게 반응한다. 또 연산속도가 비교적 느리며 잡음 부분도 예지로 인식할 만큼 밝기 정도에 민감한 정도를 보이는 특성이 있고, 소벨 연산 후 임계값을 이용하여 잡음을 제거할 수도 있다(Kim, 2018).

1차 미분을 이용한 기울기 연산자는 계산된 기울기의 크기가 임계값을 넘으면 에지가 존재하는 것으로 간주하는 방식으로서 과도한 에지를 검출하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 2차 미분 연산자는 기울기 값이 국지적으로 최대인 점만을 예지로 인정하는 방법으로서 2차 미분값에서 영점교차가 이루어지는 지점을 예지로 검출한다(Kim, 2018). 여기에는 라플라시안(laplacian), 가우시안-라플라시안, 가우시안 차분 필터 등이 있다.

라플라시안 필터는 대표적인 2차 미분 연산자로서 모든 방향의 에지를 찾을 수 있는 전방향성 연산자이다. 일반적으로 잡음에 민감한 특성으로 인해 실제보다 더 많은 에지가 검출된다.

가우시안-라플라시안 연산자는 라플라시안 연산자와 달리 잡음에 덜 민감한 특성을 가지며, 라플라시안을 적용하기 전에 가우시안 스무딩을 통해 평활화를 수행한다. 이를 통해 영상의 잡음을 줄이면서 에지 굵기를 더 넓게 만들 수 있는 장점은 있지만, 연산자의 초기 마스크가 35×35의 큰 크기를 가짐으로써 계산 시간이 상당히 소요되는 단점이 있다(Kim, 2018).

$$LoG(x,y) = \frac{1}{\pi\sigma^4} \left[1 - \frac{x^2+y^2}{2\sigma^2} \right] e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

가우시안 차분 필터는 가우시안-라플라시안 연산자가 계산 시간이 많이 소요되는 단점을 보완하기 위한 방법으로, 각 가우시안 연산에 분산값을 서로 다르게 주어 이 차를 이용해 에지를 구하는 방법이다(Kim, 2018).

$$DoG(x,y) = G_{\sigma_1} - G_{\sigma_2} = \frac{e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_1^2}}}{2\pi\sigma_1^2} - \frac{e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_2^2}}}{2\pi\sigma_2^2} \quad (2)$$

2.2 UAV영상에 의한 정밀수치지형모델 구축 방법

수치지형모델을 구축하기에 앞서 수치표면모델을 생성하는 과정이 필요하며, 이 연구에 활용한 포토스캔 프로그램을 기준으로 UAV로 촬영된 영상으로부터 수치표면모델은 다음과 같이 4단계 과정을 거쳐 생성할 수 있다.

1단계는 영상을 정렬하는 것이다. 먼저 촬영된 영상을 프로그램상으로 불러들이고 카메라 내부 파라미터와 GPS/INS로 취득한 위치, 자세 정보를 입력 후 영상을 정렬시키면, 프로그램은 영상에 등록된 좌표를 이용하여 영상들을 해당 위치에 미리 배열시킨 후, SIFT 알고리즘을 적용하여 특징점들을 매칭하여 정합한다. 또한 각 영상에 대한 카메라의 위치 추정 및 카메라에 대한 캘리브레이션 파라미터도 보정한다. 이러한 데이터들을 바탕으로 SfM 알고리즘을 거쳐 초기 희소 포인트 클라우드를 생성하게 된다(Lim *et al.*, 2015).

2단계는 항공삼각측량을 실시하는 것이다. 1단계 처리 결과 생성된 희소 포인트 클라우드는 GPS/INS 데이터를 바탕으로 한 상대좌표에 의한 결과물로서, 정밀한 3차원 공간정보를 얻기 위해서는 지상기준점을 이용한 항공삼각측량을 실시해야 한다. 따라서 가상기준점 방식 등으로 취득한 지상기준점 데이터를 프로그램에 입력한 후 점의 조서 등을 활용하여 정밀한 위치 취득 및 번들 조정을 통해 정확도 높은 성과물을 얻어내는 단계이다.

3단계는 고밀도 클라우드를 생성하는 것이다. 2단계에서 얻어낸 고정밀 희소 포인트 클라우드에 대해 입력영상을 분해하고 각 클러스터의 3차원 데이터를 재구성하여 고밀도 클라우드 데이터를 구축한다. 물론 희소 포인트 클라우드만으로도 수치표면모델 및 정사영상 제작이 가능하나, 3차원의 실세계를 표현하기에는 데이터량이 적어 정확도가 현저히 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 희소 포인트 클라우드에 대해 보간을 적용한 고밀도의 포인트 클라우드를 생성하고, 이를 바탕으로 3차원 메쉬 모델 및 수치표면모델을 제작하게 된다(Park and Lee, 2016).

4단계는 텍스처 및 최종 성과물을 생성하는 것이다. 3단계에서 기하학적 격자가 구성된 다음에는 수치표면모델, 정사영상과 같은 최종 결과물을 생성할 수 있으며, 이 때 시각적 품질을 향상하기 위하여 3차원 모델을 텍스처로 처리하게 된다(Lim *et al.*, 2015).

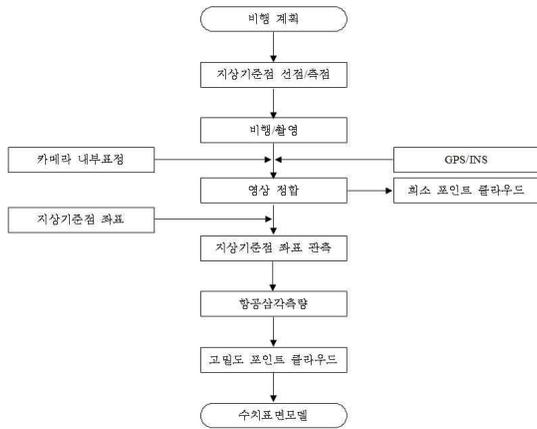


Figure 84. UAV영상을 이용한 수치표면모델 제작 과정

3. 실험 및 고찰

2.1 대상지역 선정 및 영상 취득

구축된 수치지형모델에 대해 정확도를 검증하기 위해 1/1,000 수치지도가 구축되어 있는 약 0.51km² 면적의 경기도 하남시 내 상일교차로 부근으로 선정하여 2016년 10월에 촬영을 실시하였다. Figure 6은 연구 대상 지역에 대한 위성영상과 수치지도를 나타낸 것이다.



Figure 85. 연구 대상지역

연구 대상지역은 도시개발 공사로 인해 변화된 지역과 그렇지 않은 무변 지역이 혼재해 있었고, 특히 무변지역에 분포한 약 300점의 표고점을 수치지형도로부터 추출이 가능하기 때문에 UAV를 이용하여 구축된 표고점과 비교분석이 용이하다.

실험에 사용된 UAV는 수직 이착륙기인 버드아이뷰 에어로바틱스(BirdsEyeView Aerobotics)사의 파이어플라이6(FireFLY6)로 Fig. 3(a)는 전면부, Fig. 3(b)는 하부 모습이며 카메라는 18.3mm 광각렌즈를 사용하는 리코(Ricoh)사의 GR II를 이용하였다. 광각렌즈 특성상 넓은 순간시야각으로 광범위한 대상물 촬영이 가능한 장점이 함께 촬영시 영상의 왜곡이 심해지는 문제점이 발생하는 데 이는 카메라의 내부표정으로 제거할 수 있으며 촬영 전 렌즈 보정을 통해 정보를 추출하거나, 제조사의 제공 정보를 사용할 수도 있다. 본 연구에서는 제조사에서 제공하는 파라미

터를 활용하여 취득 영상에 대한 내부표정을 실시하였다. 총 13개의 촬영 코스에 대해 촬영 고도는 약 150m, 사진 매수는 총 339매이며 취득된 영상의 공간해상도는 3.65cm이다. 항공삼각측량 실시를 위한 지상기준점은 총 13점으로 도로 차선이나 지시선, 주차 구획선, 횡단보도 모서리 등에 대해 가상기준점 방식으로 측정하였다.



Figure 86. UAV

Table 23. UAV 및 카메라 상세 제원

UAV 제원	
제조사	BirdsEyeView Aerobotics
모델명	FireFLY6
너비	1,524mm
길이	950mm
무게	3.8kg
비행가능시간	43.50분
비행가능거리	약 39km
적재 용량	0.7kg
순항 속도	15.18m/s
카메라 제원	
제조사	Ricoh
모델명	GR II
센서 타입	CMOS
초점거리	18.3 mm
최대 해상도	4,928 x 3,264
무게	251g
최대 셔터 스피드	1/4,000s
픽셀 크기	4.78 x 4.78 μ m
센서 크기	23.7 x 15.6mm

Agisoft사의 포토스캔을 활용하여 영상정합 및 정사영상을 제작하였고, 캐나다에서 개발한 오픈소스인 화이트박스 갓(Whitebox GAT)을 이용하여 에지 추출을 위한 필터링 수행을, 필터링 이후 벡터라이징, 지물 제거 및 보간, 정확도 점검은 ArcGIS 프로그램을 활용하였다.



Figure 87. 지상기준점 배치도

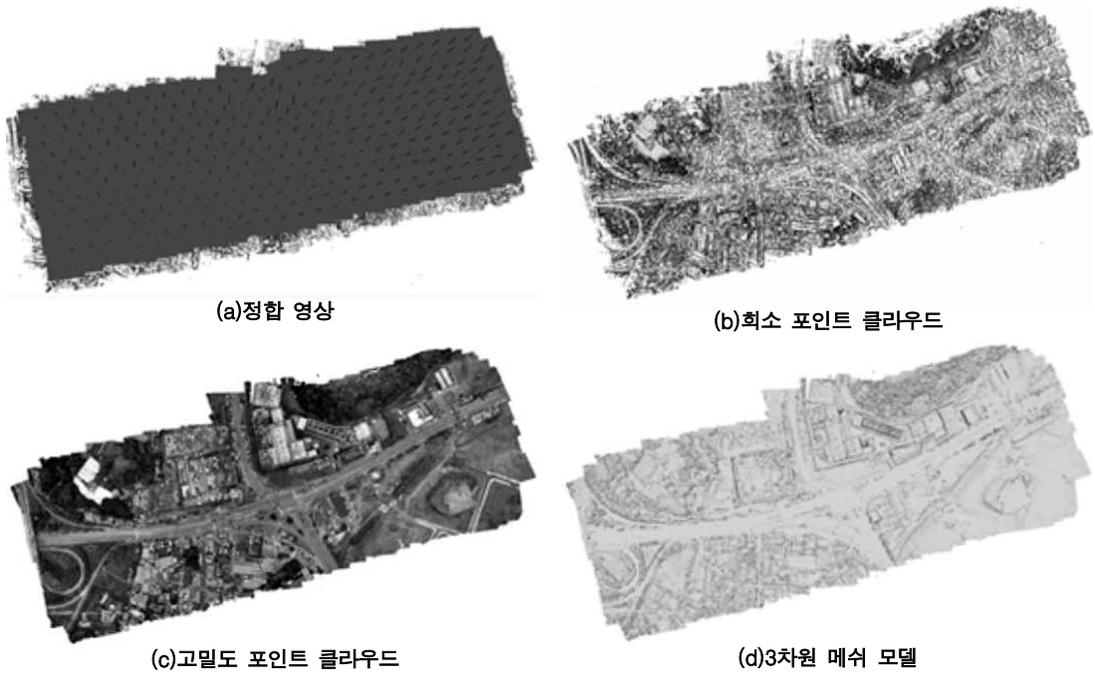


Figure 88. UAV영상처리 소프트웨어를 통해 자동 생성된 데이터

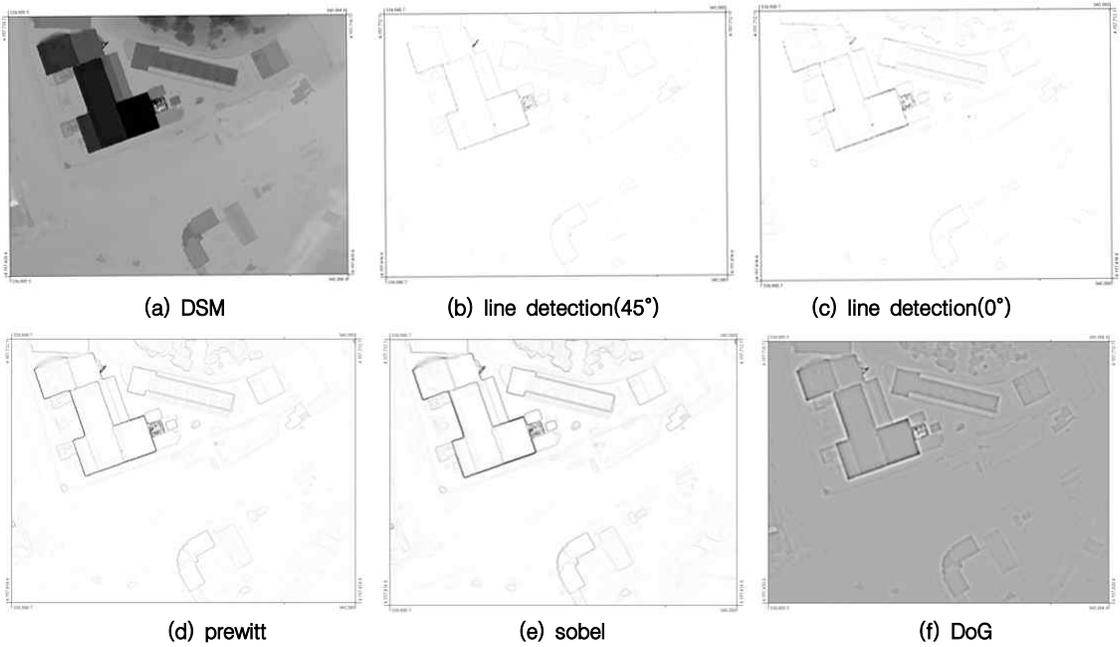


Figure 89. 소벨 및 가우시안 차분 필터링 등으로 추출된 에지

본 연구에 활용할 필터링으로서는 라플라스 연산자 중 가우시안 차분 필터링과 소벨 필터링을 주로 비교하되, 그 외 프레위트와 라인 검출 기법도 테스트하였으며 그 결과 Figure 10과 같이 예지가 검출되었다. 이 중 소벨, 프레위트, 가우시안 차분 연산이 우수한 에지 추출 특성을 보였으며, 프레위트의 경우 소벨보다는 다소 예지가 얇은 경향이 있었다.

정밀한 수치지형모델 구축에 유리한 필터링 기법을 얻기 위해 소벨 필터링과 가우시안 차분 필터링에 최연웅 등(Choi and cho, 2005)이 활용했던 메디언 필터링을 추가로 적용하여 그 결과를 비교하였다.

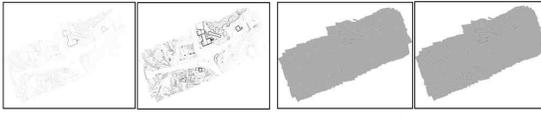


Figure 90. 소벨과 가우시안 차분 필터링 각각에 메디언 필터링을 더한 에지

Figure 11과 같이 가우시안 차분의 경우보다는 소벨 연산에 메디언 필터링을 더했을 때 예지가 전반적으로 훨씬 더 굵고 선명하게 추출된 것을 알 수 있었다.

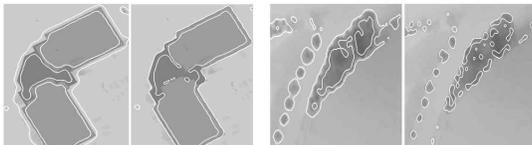


Figure 91. 소벨 필터링 결과[(a),(c)]과 가우시안 차분 필터링 결과 [(b),(d)]비교

Figure 12는 건물 및 수목을 대상으로 소벨 필터링과 가우시안 차분 필터링을 각각 적용한 예이다. 건물에 대한 에지 추출 정도를 점검한 결과 Figure 12(a)와 같이 소벨 필터링은 건물에 대해 일정 버퍼를 형성하는 것처럼 안정된 성과를 추출했지만, 가우시안 차분 필터링은 Figure 12(b)와 같이 건물 외곽을 아주 예리하게 추출하고 있으나 일부 모서리 부분을 놓치는 경우가 있어 다소 불안정한 결과물을 얻어냄을 알 수 있었다. 이는 수목에 소벨 필터링을 적용한 Figure 12(c)와 가우시안 차분 필터링을 적용한 Figure 12(d)를 비교할 때도 마찬가지였으며, 이러한 검증 결과를 토대로 본 연구에서는 소벨 필터링이 자동차 및 정확도 향상에 적합하다고 보고 건물, 수목, 자동차 등의 객체추출에 이용하였다. 또 에지 보존 및 잡음 제거에 유리한 메디언 필터링을 추가로 적용시킨 소벨-메디언 필터링으로 예지가 더 선명하게 추출되는 장점도 이용하였다.

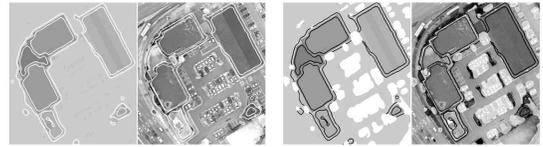


Figure 92. 1차 필터링 결과[(a),(b)]와 2차 필터링 결과[(c),(d)] 비교

Figure 13은 각 필터링 결과를 국부적으로 확대한 영상으로 수치표면모델 및 정사영상을 통해 상호 대조하여 필터링 된 주요대상물을 비교한 것이다. Figure 13(a)는 41.08의 다소 높은 임계값을 적용한 1차 필터링 결과로 흰색 선형의 예지로 나타내었으며, Figure 13(b)의 정사영상을 통해 검출된 대상물이 주로 건물이나 높은 수목임을 알 수 있었다. Figure 13(c)는 10.01의 낮은 임계값을 주어 2차 필터링 된 결과물로서 흰색의 면형 객체 영역과 같이 추출되었으며 1차 필터링과의 구분을 위해 이전에 추출한 예지는 검은색 선형으로 나타내었다. Figure 13(d)의 정사영상을 중첩을 통해 주로 자동차 등의 낮은 지물이 추출된 것을 알 수 있었고 그 중에서도 주차장에 있는 주정차가 대부분임을 알 수 있었다.

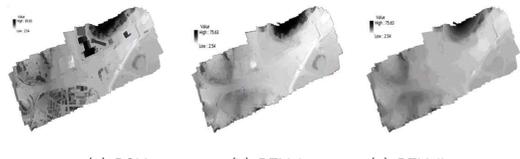


Figure 93. DSM과 DTM

Figure 14는 UAV영상을 포토스캐너로부터 처리하여 생성한 Figure 14(a)의 DSM으로 부터 1차 필터링을 수행하여 생성된 결과물인 DTM I과 2차 필터링을 실시하여 생성된 DTM II를 나타내고 있다. Figure 14(b)의 DTM I에서는 주로 높은 건물이나 수목이 제거되긴 했으나 부분적으로 낮은 지물의 영향으로 다소 매끄럽지 못한 지형임을 알 수 있었다. Figure 14(c)의 DTM II의 경우 비지면점들에 대한 필터링 처리 정도가 좋으면서도, 지형에 대한 연속적인 표현도 양호함을 알 수 있었다.

정확도 검증을 위해 1/000 수치지도의 표고점 299점을 기준으로 수치표면모델, 1차 필터링 후 주로 높은 건물이나 수목이 제거된 DTM I, 그리고 낮은 수목과 자동차까지 필터링 처리한 DTM II로부터 높이값을 추출하여 비교하였다.

정확도 검증결과 검사점간 표고 표준편차는 DTM I에서 $\pm 0.32m$, DTM II로 $\pm 0.287m$ 로 DTM II가 $0.033m$ 더 정확한 결과를 보여주었다. 이는 1/1,000 수치지도의 표고점 허용오차인 $\pm 0.33m$ 에 두 모델 모두 충분히 만족하지만 자동차 등

의 높이값 영향을 제거할 경우 10% 가량 더 높은 정확도를 얻을 수 있음을 나타내고 있었다.

Figure 15의 방사형 그래프는 DTM I과 II의 편차를 표현한 것으로, 어두운 선형이 DTM I, 보다 밝은 선형이 DTM II의 경우이다. 원형 그래프의 중심으로 갈수록 큰 편차이며, DTM II가 DTM I에 비해 전반적으로 높은 정확도를 갖고 있음을 보여준다.

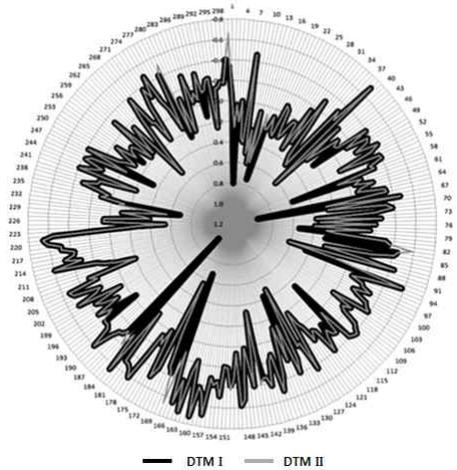


Figure 94. DTM I과 DTM II의 표준편차 분포

2차 필터링을 통해 주로 자동차와 같은 낮은 지물이 제거가 되었는데 이 과정에서 주행차와 주차차간의 구별되는 점이 파악되었다. 주행차의 경우 정사영상에는 표현이 되지만 포인트 클라우드 상에 나타나지 않는 반면, 주차차는 정사영상 및 포인트 클라우드 모두에 나타남을 알 수 있었다.

Figure 16은 주행차가 존재하는 구간 1, 2에서

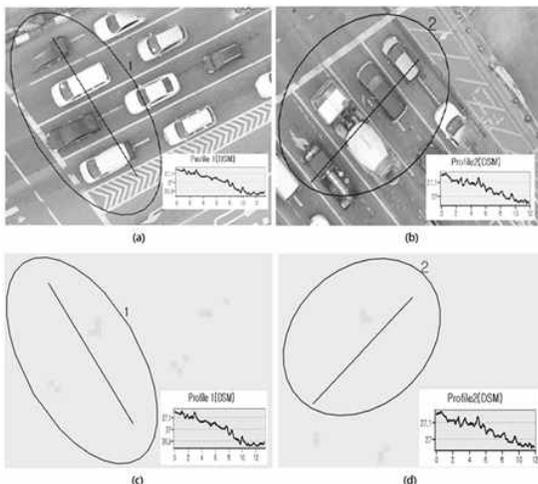
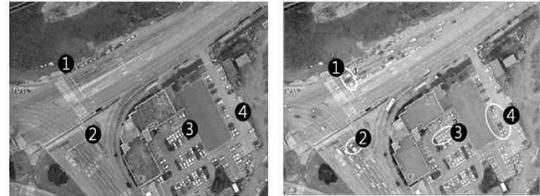


Figure 17. 주행 차량 부근의 DSM과 표고값 변화

차량이 Figure 16(b)의 정사영상과는 달리 Figure 16(a)와 같이 포인트 클라우드 상에는 나타나지 않음을 나타내고 있는데, 주행차에 대한 포인트 클라우드상의 부재로 수치표면모델 데이터 상에도 나타나지 않을 것으로 예상이 되었다.



(a) Point clouds (b) Orthophoto
Figure 16. 자동차 주행 여부에 차이를 보이는 포인트 클라우드와 정사영상

Figure 17과 Figure 18은 일정 구간에 대해 자동차 주행 여부에 따른 수치표면모델 및 표고값의 변화를 나타낸 것이며, Figure 18(a),(b) 정사영상 상에는 필터링 처리로 구축된 수치지형모델에 대한 것도 추가로 나타내었다. 주행 차량이 분포된 구간 1의 표고는 평균 27.002m, 표준편차 0.095m, 구간 2의 경우 평균 27.053m, 표준편차 0.062m로써 약 12m 수평거리에 비해 10cm 미만 표고차의 도로 노면만을 나타낼 수 있었다. 따라서 이동물체의 경우 수치표면모델 상에 나타나지 않아 필터링 대상이 없음을 알 수 있었다. 주차 차량이 속한 구간 3의 경우 수치표면모델 표고는 평균 27.960m, 표준편차 0.493m에 비해, 수치지형모델의 평균 표고 26.774m, 표준편차 0.032m로서 필터링 처리 후 평균 1.186m 낮아지면서 약 3cm 편차를 가진 평평한 주차장의 단면을 나타내고 있었다. 소구간 4의 경우 수치표면모델의 평균 표고는 26.905m, 표준편차 0.671m, 수치지형모델의 평균 표고 26.08m, 표준

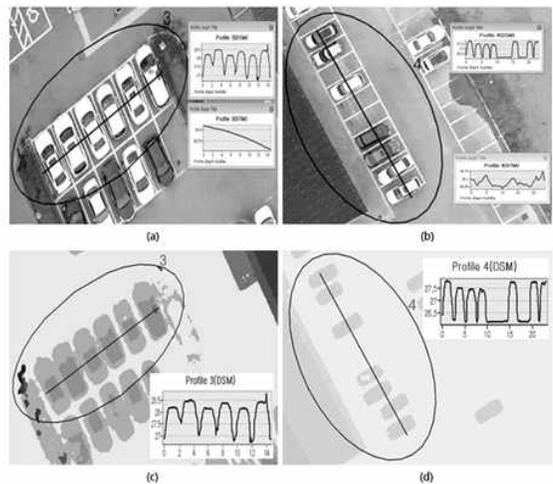


Figure 18. 주차 차량 부근의 DSM과 표고값 변화

편차 0.024m로 구간 3차 필터링 후 평균 0.825m 낮아진 일반적인 주차장 형상을 의미하고 있었다.

이를 통해 주행 중인 차량과 같은 이동 물체들은 SIFT 연산을 통해 희소 포인트 클라우드를 생성하는 과정에서 제외되었다는 사실을 유추할 수 있었고, 이는 이동 물체들이 일정한 중복도를 갖는 이웃 영상으로 이동하면서 특징점이 형성되지 못한 것이 원인임을 예측할 수 있었다. 반면 주차차 차량과 같은 정지 물체는 일반 건물이나 수목과 같이 고정된 특징점으로 검출됨으로써, UAV영상을 이용한 정밀 수치지형모델 구축시 반드시 고려해야 할 대상임을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 UAV 영상으로부터 정밀한 수치지형모델을 구축하기 위한 최적의 영상 필터링 방법을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 고해상도의 UAV 영상으로부터 구축된 DSM을 이용하여 소벨 메디언 필터링을 이용하여 정밀 DTM을 구축한 결과 1/1,000 수치지도의 표고점을 기준으로 오차를 분석한 결과 1차 필터링 후 주로 높은 건물이나 수목이 제거된 경우 표준편차가 $\pm 0.32m$, 낮은 수목과 자동차까지 필터링 처리한 경우 표준편차가 $\pm 0.287m$ 로, 공공측량 작업규정의 허용오차 범위인 $\pm 0.33m$ 에 만족하는 정확도를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

둘째, 에지 탐지를 위해 소벨 필터링과 가우시안 차분 필터링 기법을 비교한 결과 소벨 필터링이 건물, 수목 등 추출에 보다 효과적인 방법임을 알 수 있었고, 여기에 에지 보존 및 잡음 제거에 유리한 메디언 필터링을 추가로 적용시킬 때 에지가 더 선명하게 추출됨을 알 수 있었다.

셋째, 소벨 필터링에 메디언 필터링을 더한 소벨-메디언 필터링을 기술기 임계값에 따라 적용함에 있어, 다소 높은 임계값으로 건물과 높은 수목을 제거한 1차 필터링 결과에 낮은 임계값을 통해 자동차 등의 낮은 지물까지 추출한 2차 필터링을 적용하여 정확도 향상 정도를 분석하였다. 분석 결과 1차 필터링 DTM과 2차 필터링 DTM의 표준편차는 각각 $\pm 0.320m$, $\pm 0.287m$ 로 정확도가 약 10% 정도 향상됨을 알 수 있었다.

넷째, UAV영상에서의 주행차는 정사영상에는 나타나지만 포인트 클라우드와 수치표면모델 상에 나타되지 않았으며, 이는 이동 물체의 경우 각 영상마다 그 위치와 방향이 바뀔으로써 영상

정합과정에서 특징점을 추출하는 SIFT 방법에서 제외되는 특성으로 인하여 수치지형모델 구축시 필터링 대상이 아님을 알 수 있었다.

본 연구에서는 정밀 DTM 구축을 위해 수직이착륙기에 의한 항공사진을 이용하였으나, 향후 보다 정확한 위치 측정이 가능한 RTK 드론에 의한 항공사진 이용한 방법에 대한 연구와 최근 연구되고 있는 인공지능 알고리즘을 이용한 방법에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

REFERENCES

- Choi, Y.W. and Cho, G.S. (2005), "DEM Extraction from LiDAR DSM of Urban Area", Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 13, No. 1, pp.19-25.
- Kim, D.S. (2018), The Construction of Precise DTM Using UAV Images, Master's thesis, Incheon National University
- Lee, K.W., Son, H.W. and Kim, D.I (2016), Drone (unmanned aerial vehicle) remote sensing and photogrammetry, Goomibook.
- Lim, S.B., Seo, C.W., and Yun, H.C. (2015), "Digital Map Updates with UAV Photogrammetric Methods", Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 33, No. 5, pp. 397-405.
- Park, J.H and Lee, W.H. (2016), "Orthophoto and DEM Generation in Small Slope Areas Using Low Specification UAV", Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 34, No. 3, pp. 283-290.
- Rhee, S.A., Kim, T.J. Kim, J.I., Kim, M.C. and Chang, H.J. (2015), "DSM Generation and Accuracy Analysis from UAV Images on River-side Facilities", The Korean Society of Remote Sensing, Vol. 31, No. 3, pp.183-191.
- Sammartano, G. and Spanò A. (2016), "DEM Generation based on UAV Photogrammetry Data in Critical Areas", In Proceedings of the 2nd International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management(GISTAM 2016), pp.92-98.
- Song, N.H., Lee, S.H., Oh, K.H. and Cho, W.S. (2007), "Technique of Seam-Line Extraction for Automatic Image Mosaic Generation", Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vo

l. 25, No. 1, pp. 47-53.

Visintini, D. A. and Spangher, B. F. (2007), "The VRML Model of Victoria Square in Gorizia(I taly) from Laser Scanning and Photogrammet ric 3D Surveys" , Proceeding of the twelfth i nternational conference on 3D web technolo gy, ACM, pp. 165-168.