

Airborne LiDAR 필터에 관한 연구

A Segmented Morphology Filter for Airborne LiDAR Data

최승식¹⁾ · 송낙현²⁾ · 조우석³⁾

Choi, Seung Sik · Song, Nak Hyeon · Cho, Woo Sug

Abstract

Recent advances in airborne LiDAR technology allow rapid and inexpensive measurements of topography over large areas. The generation of DTM/DEM is essential to numerous applications such as the fields of civil engineering, environment, city planning and flood modeling. The demand for LiDAR data is increasing due to the reduced cost for DTM generation and the increased reliability, precision and completeness. In order to generate DTM, measurements from non-ground features such as building and vegetation have to be classified and removed. In this paper, a segmented morphology filter was developed to detect non-ground LiDAR measurements. First, segments LiDAR point clouds based on the elevation. Secondly classifies those protruding segments into non-ground points. Those non-ground points such as building and vegetation are removed, while ground points are preserved for DTM generation. For experiments, data sets used in Comparison of Filters (ISPRS, 2003) depicting urban and rural areas were selected. The experimental results show that the proposed filter can remove most of the non-ground points effectively with less commission and omission errors.

Keywords : LiDAR, Filtering, DTM, DEM, Segmentation

초 록

항공 라이다 데이터는 3차원 좌표로 표현된 점의 집합으로 대규모 지역의 지형측량을 신속하고 경제적으로 수행하여 고정밀의 수치지형모델을 제작하는데 사용된다. 특히 고정밀 수치지형모델 및 수치표고모델은 토목, 환경, 도시계획, 홍수모델 등에 있어서 정확한 예측과 분석을 가능하게 하며, 이로 인해 활용이 증가하고 있다. 항공 라이다 데이터로부터 수치지형모델을 제작하기 위해서는 건물, 식생 등과 같은 비지면점을 분류하고 제거하는 과정이 필요하다. 본 논문은 항공 라이다 데이터로부터 실세계를 구성하고 있는 지면점과 비지면점을 분류하는 필터링 방법을 제시하였다. 필터링 방법은 라이다 점 데이터를 높이 차이에 따라 분할하고, 분할된 점 데이터를 지면점과 비지면점으로 분류하는 과정으로 진행된다. 이러한 과정을 통해 건물, 식생 등과 같은 비지면점을 제거하고, 수치지형모델을 제작하기 위한 지면점을 추출하게 된다. 제시된 필터링 방법을 ISPRS의 Comparison of Filter(2003) 보고서에서 사용된 데이터에 적용하여 지면점과 비지면점의 분류 결과를 분석하였다.

핵심어 : 라이다, 필터링, 수치지형모델, 수치표고모델, 분할

1. 서 론

DEM/DTM은 다양한 분야에서 지형정보의 3차원 분석과 시각화를 위해 매우 중요한 자료이다. 일반적으로 DEM/DTM은 1:1,000~1:25,000 축척 수치지도의 등고선 및 표고값을 이용하여 제작되는데, 이는 고정밀의

DEM/DTM 제작에 부적합하다는 한계를 가지고 있다. 최근 개발된 항공 라이다 기술은 대규모지역의 지형측량을 경제적이고 신속하게 수행하여 고정밀의 DEM/DTM을 제작할 수 있다는 점에서 활용이 증가하고 있다.

항공라이다 시스템(Airborne LiDAR System)은 항공기에서 레이저 펄스를 지표면에 주사하여 반사된 레이저파

1) 한국토지공사 인천지역본부(E-mail:gis2002@hanmail.net)

2) 인하대학교 대학원 지리정보공학과 박사과정(E-mail:nsong@inha.ac.kr)

3) 연결저자 · 정회원 · 인하대학교 토목공학과 부교수(E-mail:wcho@inha.ac.kr)

의 도달 시간을 측정해서 반사된 지표면의 3차원 위치좌표를 측정하는 시스템이다. 이러한 측정값은 불규칙한 형태의 3차원 점 데이터군(point clouds)을 형성하며, 건물, 식생 등과 같이 지물에 해당하는 비지면점과 지형에 해당하는 지면점으로 구성된다. 따라서 DTM(bare earth)을 제작하기 위해서는 획득된 항공 라이다 데이터로부터 비지면점을 분류하여 제거시키는 과정이 필요하며, 이러한 과정을 필터링(filtering)이라고 한다. 필터링 과정은 DTM을 제작하는데 있어 가장 중요하고 필수적인 과정이며, 이에 대한 기존의 연구는 다음과 같다.

Kraus와 Preifer(1998, 2001)는 산림지역에서 수목을 제거하기 위해 반복적인 선형 최소제곱법을 이용한 보간법을 제안하였으며, DTM을 제작하는 개선방법을 제시하였다. Vosselman(2000)은 하나의 점과 주변의 점들에 대한 경사를 비교하여 비지면점을 제거하는 slope-based filter를 제안하였다. 일반적으로 필터링을 통한 분류과정에서 비지면점이 지면점으로 인식되는 추가오류(commision error)와 지면점이 실수로 제거되는 누락오류(omission error)가 발생하게 된다. Slope-based filter에서 가장 중요한 단계는 이러한 추가오류와 누락오류를 최소화 할 수 있는 한계경사를 설정하는 것이다. 이 방법은 한계경사의 설정이 주관적일 수 있다는 점과, 대상지역에 대해 모든 형태의 지면측정값이 필요하다는 점에서 한계를 가지고 있다. Axelsson(2000)은 도시지역에서 지면점을 찾기 위해 Adaptive TIN 모델을 이용한 방법을 제안하였다. 건물의 최대크기 이상으로 설정된 그리드(grid) 내에서 초기 지면점을 구성하여 TIN을 생성한 다음, 국부적 곡률(local curvature)이 작은 점들을 반복적으로 추가하는 방법이다. 이 방법은 다양한 토지피복 형태에 따라 다른 한계값이 주어져야 한다는 문제점이 있다. Keqi(2003)는 라이다 데이터의 높이값을 화소값으로 변환한 정규격자 영상을 기반으로 건물, 식생 등의 비지면점을 화소값 변화를 통해 인식하여 제거할 수 있다는 가정하에 progressive morphology filter를 제안하였다. 이 방법은 블록(block)의 크기와 높이 차이에 대한 한계값과 반복횟수 등의 변수가 사용되는데, 높이 차이가 큰 산악지역의 경우 설정되는 변수의 영향이 크기 때문에 대상 지역에 대한 사전지식과 작업자의 경험이 필요하다는 문제점을 가지고 있다. 이임평(2006)은 점기반 필터링 방법의 한계를 극복하기 위한 방안으로 점을 그룹화하여 얻어진 개체 축, 피쳐(feature)에 기반한 방법을 제안하였다. 이 방법은 점들로부터 표면패치들을 생성하고, 이어서 표면패치들로부터 표면집단들을 구성한다. 구성된 표면집

단들로부터 지표에 해당하는 표면집단을 식별한 후 식별된 표면집단에 포함된 모든 점들을 지표점으로 명시하는 방법이다.

산림지역, 도시지역, 강 유역 등 지형의 형태와 경사가 다른 라이다 점 데이터로부터 지면점과 비지면점을 분류하기 위해서는 일반적으로 지면의 경사, 최대건물의 크기, 건물의 최소높이 등의 변수를 사용하여 지형의 특성을 제한하게 된다. 따라서 사용된 변수가 결과에 많은 영향을 미치게 되고, 동일한 변수를 사용할 수 있는 지역을 나누어 필터링을 수행하거나 필터링 과정에서 발생한 오류를 제거하기 위한 작업자의 수정과 편집 작업이 필요하게 된다. 이러한 문제점으로 인해 변수를 최소화하면서 정확도를 유지할 수 있는 필터링 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 논문의 목적은 지형의 형태와 경사에 관계없이 다양한 형태의 지형에서 획득된 라이다 점 데이터만을 이용하여 지면점과 비지면점을 분류할 수 있는 필터링 방법을 제시하는 것이다. 따라서 그림 1과 같이 필터링의 준비단계인 하위과정은 가상격자(pseudo-grid)를 제작하고 과대오차(outlier)를 제거하는 과정이다. 또한 상위과정은 하위과정에서 처리된 결과를 기반으로 높이 차이에 따라 동일한 속성(지면 또는 비지면)의 점들을 집단화시키는 분할(segmentation)과정과 분할된 요소에서 비지면점을 추출하는 과정, 잘못 추출된 비지면점을 지면점으로 복원시키는 과정으로 나뉘어 진행된다.

2. 하위과정

2.1 가상격자(pseudo-grid) 제작

일반적으로 비정규격자 형태의 라이다 데이터에 접근

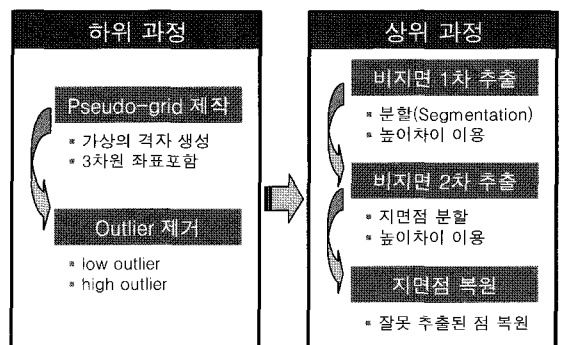


그림 1. 필터링 방법

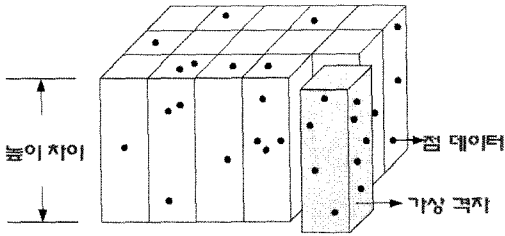


그림 2. 가상격자(pseudo-grid)의 개념도

하는 방법은 정규격자의 형태로 변환하는 방법과 TIN (Triangulated Irregular Network)을 제작하여 접근하는 방법이 있다. 정규격자로 변환하는 과정은 데이터를 보간하는 과정에서 정확도가 손실될 수 있다. TIN으로 접근하는 방법은 본 논문에서 구현하고자 하는 필터링 알고리즘에 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 정규격자 형태를 유지하면서 정확도를 보존할 수 있는 가상격자(좌윤석, 2003)를 이용하였다.

가상격자의 제작원리는 다음과 같다. 대상지역의 모든 라이다 데이터를 포함하는 X-Y 평면의 범위 내에서 정규격자 형태의 가상격자를 나누고, 각각의 점 데이터를 X, Y 좌표를 포함하는 격자 내부에 할당하는 것이다. 가상격자 하나의 크기는 라이다 데이터의 점밀도(단위면적당 점의 수, n/m^2)를 고려하여 가로와 세로의 크기를 $1/\sqrt{n}$ m로 적용하였다(Morgan, 2001). 가상격자를 제작하면 그림 2와 같이 가상격자 내부에 라이다 점 데이터가 분포하게 된다. 일반적으로 이러한 가상격자는 데이터 처리과정을 빠르고 쉽게 수행할 수 있고, 보간 과정에서 발생하는 정확도의 손실을 줄일 수 있으며, 데이터간의 인접성을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다(좌윤석, 2003).

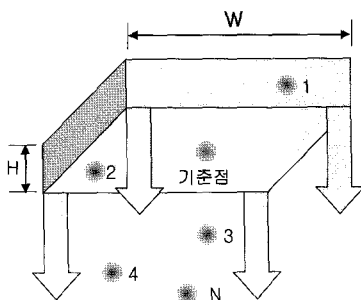
2.2 과대오차(outlier) 제거

일반적으로 지면점과 비지면점을 분류하기 위한 필터링 작업은 라이다 데이터의 과대오차에 직접적인 영향을 받는다. 과대오차는 실제의 지형지물보다 고도가 낮게 나오는 낮은 과대오차(low-outlier)와 실제의 지형지물보다 높게 나오는 높은 과대오차(high-outlier)로 구분할 수 있다.

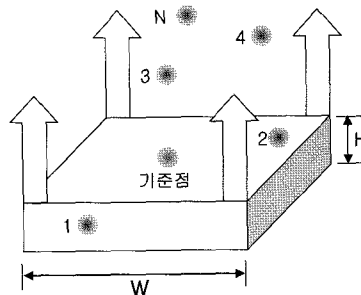
낮은 과대오차는 주로 주사된 레이저 펄스가 건물과 수목 등에서 다중반사(multi-path)되어 발생된다. 이로 인해 되돌아오는 시간이 지체되면서 상대적인 거리가 멀게 측정되어 실제 지형지물의 고도보다 낮은 고도값을 갖게 된다. 낮은 노이즈는 일정한 영역에서 가장 낮은 고도의 점을 지면점으로 인식하는 필터링 알고리즘에서 지면점을 비지면점으로 인식하는 누락오류를 발생시키는 원인이 된다. 높은 과대오차는 비행물체나 새 등 지면과 연결되어 있지 않은 사물에 의해 발생된다. 일반적으로 필터링 과정에는 큰 영향을 미치지 않지만 건물 모델링과 같이 비지면점을 대상으로 하는 작업에 오류를 발생시키는 원인이 된다.

그림 3은 본 논문에서 적용한 낮은 과대오차와 높은 과대오차의 제거방법을 나타낸 것으로, 이에 대한 구체적인 처리과정은 다음과 같다.

- ① 임의의 점을 중심으로 정사각형 한 변의 길이(W: 최소 점간격의 10배)를 설정한다.
- ② 임의의 점으로부터 설정한 높이(H: 1~2m)에 따라 탐색을 시작한다.
- ③ 낮은(높은) 과대오차를 제거하기 위해 탐색영역 아래(위)에 존재하는 점의 최소 개수(N: 영역안에 존재해야 하는 점의 1/10)를 설정한다.
- ④ 탐색한 영역에 존재하는 점의 수가 지면점이 가지고 있는 최소 이하가 되면 과대오차로 가정하여 제거한다.



(a) 낮은 과대오차 제거



(b) 높은 과대오차 제거

그림 3. 과대오차(outlier) 제거방법

3. 상위과정

상위과정은 다음과 같이 3단계로 진행된다. 첫 번째 단계는 동일한 속성(지면 또는 비지지면)을 가진 점들과 이웃한 점들을 높이 차이를 이용하여 분할(segmentation)하고 분할된 각 요소들을 비교하여 상대적으로 높은 값을 나타내는 요소들을 비지지면점으로 가정하여 추출하는 비지면 1차 추출단계이다. 두 번째 단계는 비지면 1차 추출단계에서 지면으로 분류된 점을 대상으로 비지면점을 다시 추출하는 비지면 2차 추출단계이다. 마지막 단계는 비지면 점으로 잘못 추출된 점을 지면점으로 반환하는 단계이다.

3.1 높이 차이를 이용한 분할(Segmentation) 방법

높이 차이를 이용한 분할방법은 하나의 대상점과 일정한 진행방향으로 인접해 있는 점에 대해 그림 4와 같이 상대적인 높이 차이(h)를 계산하고 설정된 기준높이(H)와 비교하여 분할하는 방법이다. 계산된 상대적인 높이차이(h)가 기준높이(H)보다 작을 경우 인접한 비교점은 대상점과 동일한 속성을 가진 집단으로 분할되고, 클 경우에는 새로운 집단으로 분할된다.

이러한 분할방법에서 대상점과 비교점의 진행방향은 분할의 성능을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 한쪽 방향으로 진행되는 1차원 선형 분할방법은 대상지역의 외곽지역과 복잡한 지물이 추출되지 않는다는 한계가 있고, 여러 방향의 분할방법은 점기반 처리에 있어서 연산량과

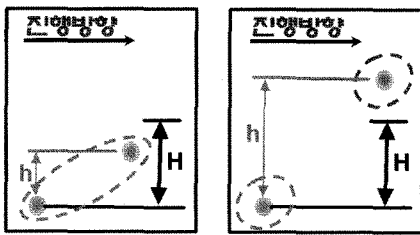


그림 4. 높이 차이를 이용한 분할방법

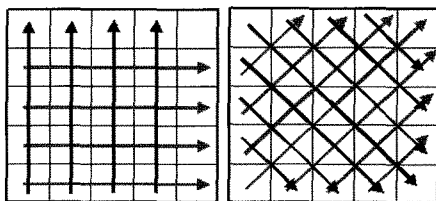


그림 5. 분할(segmentation) 진행방향

처리시간이 증가한다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 5와 같이 가상격자를 통해 인접관계를 규정하고 이를 기반으로 네 방향(가로, 세로, 하향 대각선, 상향 대각선)에 대해 분할방법을 적용하였다.

기준 높이(H)는 그림 6과 같이 시작된 위치의 집단에서 계산된 높이차이(h)의 50%를 적용하였다. 이러한 설정 이유는 대부분의 건물이 가장자리에서 지면과 급격한 높이 차이가 발생하는데 반해, 건물 내부에서의 높이 차이는 건물 외곽의 높이차이(h_1)의 50%를 넘지 않기 때문이다.

3.2 비지면 1차 추출

지면이 아닌 비지면 대상물은 지면을 기준으로 돌출되어 있다는 특징을 가지고 있다. 즉, 비지면 대상물의 양쪽 가장자리는 지면으로부터 급격한 높이 차이가 발생하게 된다. 그림 7은 높이 차이를 이용한 분할과정을 통해 구성된 집단을 묘사한 것이다. 가운데 위치한 집단의 경우 양쪽의 집단에 비해 상대적으로 돌출되어 있어 비지면점으로 가정할 수 있다. 비지면 1차 추출은 이처럼 분할된 집단 사이의 높이 차이를 비교하여 지면점과 비지면점을 분류하고 분류된 비지면점을 제거하는 과정을 의미한다.

3.3 비지면 2차 추출

비지면 1차 추출과정을 수행한 이후에도 그림 8과 같

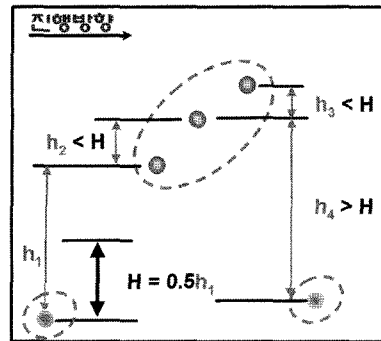


그림 6. 기준높이(H)의 설정

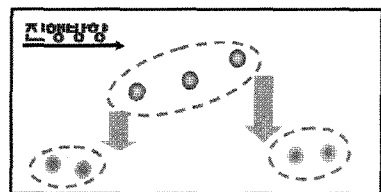


그림 7. 비지면 1차 추출

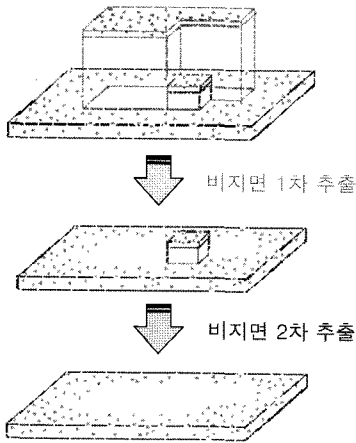


그림 8. 비지면 2차 추출

이 형태가 복잡한 복합건물이나 수목과 같은 대상물의 일부가 추출되지 않는 경우가 발생한다. 이처럼 비지면 1차 추출과정 이후에 남겨진 비지면 대상물을 제거하는 과정이 비지면 2차 추출이다. 추출방법은 비지면 1차 추출방법과 동일하며, 비지면 1차 추출 이후 지면점으로 분류된 점들만을 이용하여 분할과정을 수행한다는 점에서 차이가 있다. 또한 기준높이(H)를 1차 추출과 달리 0.5m로 설정하여 모든 비지면점을 제거할 때까지 반복적으로 수행하였다.

3.4 지면점 반환

비지면 1차와 2차 추출과정을 통해 분류된 비지면점들 중에는 지면점들이 포함되어있을 수 있으며, 이처럼 비지면점으로 잘못 분류된 지면점을 반환하는 과정이 지면점 반환이다. 가로방향과 세로방향으로 지면점과 인접한 지면점을 직선으로 연결하고, 그 사이에 존재하는 비지면점이 직선상의 고도보다 일정 높이(H) 아래에 존재하는 경우 지면점으로 반환하게 된다. 즉, 그림 9와 같이 비지면

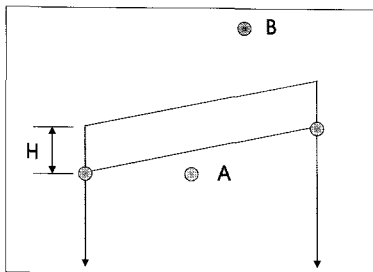


그림 9. 지면점 반환

점 A는 지면점 반환 대상영역에 포함되어있으므로 지면점으로 반환되는 반면, 비지면점 B는 대상영역 위에 존재하기 때문에 비지면점으로 남게 된다.

4. 실험결과

4.1 실험데이터

본 논문에서 제시한 필터링 방법의 정확도를 분석하기 위해서 2003년 ISPRS Commission III, Working Group 3에서 발표한 ‘Comparison of Filter’ 보고서에서 사용한 데이터를 통해 실험하였다.

대상지역은 독일에 있는 Vaihingen/Enz 지역과 Stuttgart 의 도심지이다. 이 지역은 평지, 식생지역, 건물, 도로, 철도, 강, 다리, 전선, 저수지 등 다양한 지형지물이 존재하는 지역이다. 필터링 수행결과와의 정확도를 비교하기 위해서 지형특성이 다른 15개 표본지역에서 추출된 라이다 데이터를 기준데이터로 사용하였다. 기준데이터는 항공사진과 지형지물에 대한 배경지식을 바탕으로 수작업을 통해 각각의 3차원 좌표를 지면점과 비지면점으로 분류한 데이터를 의미한다. 표 1은 대상지역과 촬영에 사용된 라이다 시스템의 종류, 스캐닝 방법, 점밀도 등 실험데이터의 특성을 정리한 것이다.

4.2 정성적 분석결과

본 논문에서 제안한 필터링 방법의 분류 정확도를 분석하기 위해서 복잡한 지물, 연결된 지물, 수목 등과 같이 분류가 어려운 대상 지역에 대해 정성적인 분석을 수행하였다.

그림 10은 과대오차를 제거하기 이전의 라이다 데이터에 대해 본 논문의 과대오차 제거방법을 적용한 결과를 나타낸 것이다. 낮은 과대오차와 높은 과대오차가 모두 제거되었으며, 본 논문의 과대오차 제거방법이 매우 유효

표 1. 실험데이터의 특성

ITEM	Specification
LiDAR System	Optech 1233
Area	Vaihingen/Enz Stuttgart
Scanning pattern	Zigzag
Return	first and last return
Average point gap	urban : 1~1.5 m rural : 2~3.5 m

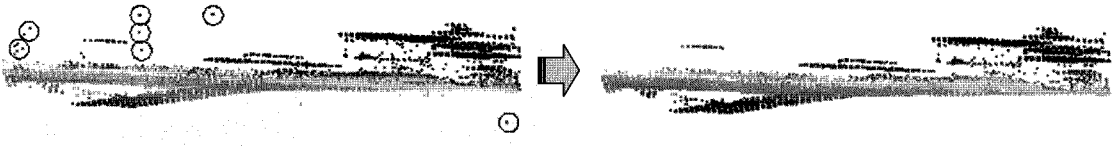


그림 10. 과대오차 제거결과

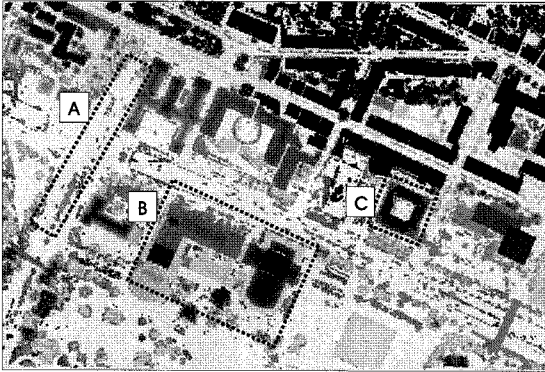


그림 11. 복잡한 지물의 추출결과

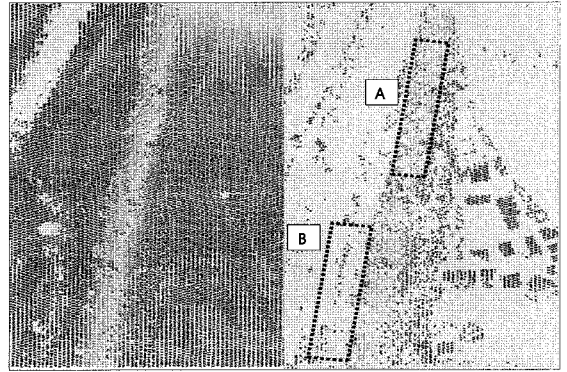


그림 13. 수목 추출결과

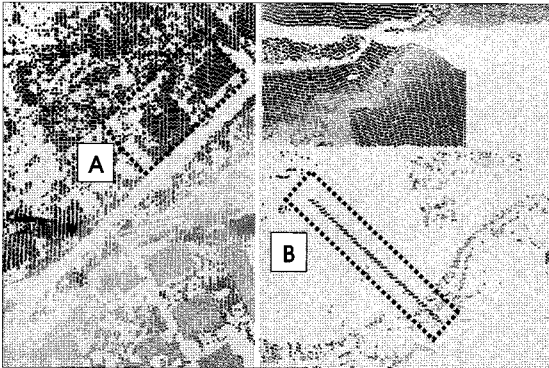


그림 12. 연결된 지물의 추출결과

하게 적용될 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 11은 본 논문에서 제안한 필터링 방법을 통해 추출된 비지면점만을 나타낸 것이다. 전체적으로 큰 건물뿐만 아니라 A 지역과 같이 10개 이하의 점으로 구성된 도로 위의 자동차, 수목 등이 추출되었다. B 지역에서는 다양한 높이를 가진 복잡한 형태의 복합건물이 본래의 형태로 추출되었다. C 지역은 건물로 둘러싸인 지역으로 건물의 중앙에 있는 지면이 비지면으로 추출되지 않았다. 따라서 본 논문에서 제안한 필터링 방법이 복잡한 지형지물에 영향을 받지 않는다는 것을 확인할 수 있다.

그림 12의 A 지역은 경사진 비탈면에서 지붕이 지면과 연결되어있는 지역으로 본 논문에서 적용한 여러 방향의 분할과정을 통해 추출할 수 있었다. B 지역은 강 위에 있는 다리를 추출한 결과이다. 따라서 제안한 필터링 방법이 연결된 지물을 효과적으로 추출할 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 13의 A 지역은 경사진 지역에서 수목을 추출한 결과이고, B 지역은 크기가 작은 수목을 추출한 결과이다.

4.3 정량적 분석결과

정량적 분석을 위해서 본 논문에서 제안한 필터링 방법의 결과와 ISPRS의 기준데이터를 비교하였다. 표 2는 각 대상지역에서 잘못 분류된 점의 개수를 대상지역의 모든 점에 대한 백분율로 표시하여 비교한 결과이다.

본 논문에서 제안한 필터링 방법은 지형에 따라 사용된 변수가 데이터의 평균점밀도 또는 평균점간격으로부터 유도되기 때문에 다양한 지형에 따라 설정되는 변수의 영향을 최소화하였다. 그림에도 불구하고 15개 실험대상 지역에서 다른 필터링 알고리즘의 결과물과 비교할 때 상대적으로 낮은 오류를 포함하는 것을 알 수 있다. 오차 비율만을 비교한 결과 15개 지역 중 8개 지역에서 가장 낮은 오차를 포함하였으며, 6개 지역에서 두 번째로 낮은

표 2. 잘못 분류된 결과에 대한 백분율

Area	Error	Rank.	Area features
1	9.76%	1	경사진 산림
2	2.91%	1	도심지
3	1.78%	1	고가도로 및 초원
4	3.49%	1	복잡한 건물
5	4.79%	2	복잡한 건물
6	4.82%	2	낭떠러지와 건물
7	3.21%	2	건물 안의 지면
8	3.38%	1	도심을 지나는 강
9	5.01%	7	기차역
10	2.71%	1	경사지역 수목 건물
11	4.62%	2	가파른 산등성이
12	6.28%	1	계단식 암반지역
13	2.82%	1	평탄지역 수목 건물
14	2.51%	2	교외지역 산과 능선
15	2.80%	3	제방도로와 고가도로

기준 데이터 구현된 필터

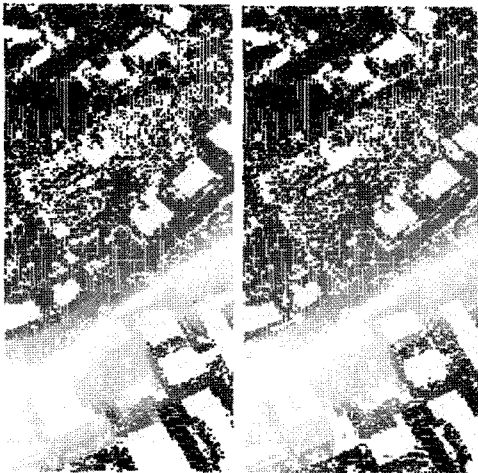


그림 14. 기준데이터와 구현된 필터의 비교(Area-1)

오차를 포함하였다. 1개 지역만이 세 번째로 작은 오차를 포함하였고, 지역 9에서 다른 필터와 비교할 때 상대적으로 높은 오류를 발생하였다. 그 이유는 알고리즘 특성상 건물의 양방향에 지면이 존재해야 하는데 건물이 대상지역 데이터의 모서리 부분에 존재하여 건물의 한쪽 방향에 대한 정보만을 이용하기 때문에 추출되지 않았다.

그림 14와 15는 정량적 평가를 위해 대상지역의 기준 데이터의 지면점과 제안한 필터링 알고리즘의 결과물에

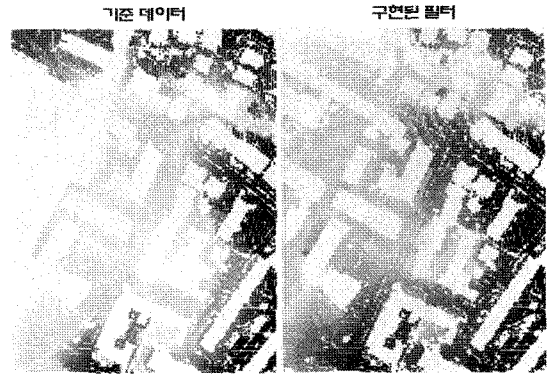


그림 15. 기준데이터와 구현된 필터의 비교(Area-2)

표 3. Area-1 지역의 비교

	구현필터	기준필터
Rank	1	1
Error 1	4.86%	9.22%
Error 2	4.90%	1.54%
Total	9.76%	10.76%

표 4. Area-2 지역의 비교

	구현필터	기준필터
Rank	1	1
Error 1	0.78%	2.53%
Error 2	2.12%	0.72%
Total	2.91%	3.25%

대한 영상을 나타낸 것이다. 표 3과 4는 ISPRS에서 비교한 필터 중 가장 오류가 적은 필터와 본 논문에서 제안한 필터링 방법의 결과를 비교한 것이다. 15개 지역에서 1개 지역만을 제외하면 약 5% 미만의 오차를 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 제안한 필터링 방법이 지형의 형태와 경사에 관계없이 다양한 형태의 지형에서 우수한 정확도를 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 ‘지물의 양쪽 가장자리는 인접한 지면으로부터 급격한 높이 차이를 가진다.’는 전제하에 지형의 형태와 경사에 관계없이 다양한 형태의 지형에서 라이다 점 데이터만을 이용하여 지면점과 비지면점을 분류할 수 있는 필터링 방법을 제시하였다. 특히 필터링 과정에서

참고문헌

고려되어야 하는 대부분의 변수를 라이다의 수평정확도와 평균점간격으로부터 유도하여 최소화하였다.

실험을 통해 정성적 평가와 정량적인 평가를 수행한 결과 전체적으로 좋은 결과를 나타내었다. 정량적인 평가에서 단순히 오류로 판정된 점의 개수에 대한 비율만을 나타내었기 때문에 오류로 판정된 점에 대한 영향을 고려할 수 없었다. 따라서 기존 데이터를 이용하여 DTM을 제작하여 이를 기준으로 오류로 판정된 점의 높이 차이를 평가한다면 좀 더 객관적인 평가 결과를 도출할 수 있을 것이다.

제한한 필터의 특성이 라이다 데이터로부터 비지면점을 추출하기 때문에 건물과 수목 등 비지면 대상물이 많이 있는 지역에서 더 좋은 결과를 나타내는 경향이 있다. 반면에 획득된 라이다 데이터의 가장자리 지역에서는 한쪽 방향에 대한 정보가 존재하지 않기 때문에 건물과 벼랑을 구별하지 못하는 단점이 있다.

대상지역의 지형적 특성을 고려한 최적의 필터링 방법의 개발은 매우 중요하므로 다양한 지형적 특성을 포함할 수 있는 기준데이터 구축에 관한 연구에 국가기관의 관심과 지원이 필요하다.

감사의 글

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었으며, 지원에 감사드립니다.

- 이입평 (2006), LIDAR 데이터로부터 지표점 추출을 위한 피쳐 기반 방법, 대한원격탐사학회지, 제22권, 4호, pp. 265-274.
- 좌운석 (2003), 항공 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 건물 자동 추출에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교, pp. 13-15.
- Axelsson P. (2000), DEM Generation from Laser Scanner Data Using adaptive TIN Models, Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing. Amsterdam, Netherlands, Vol. XXXIII, Part. B4/1, pp. 110-117.
- ISPRS Commission III, Working Group 3 (2003), ISPRS Test on Extracting DEMs from Point Clouds, <http://www.commission3.isprs.org/wg3/index.html>
- Keqi Z. and Shu-Ching C. (2003), A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements From Airborne LiDAR Data, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, Vol. 41, No. 4, pp. 872-882.
- Kraus K. and Pfeifer N. (1998), Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 53, No. 4, pp. 193-203.
- Kraus K. and Pfeifer N. (2001), Advanced DTM generation from LiDAR data, Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing. Annapolis, MD. Vol. XXXIV, Part. 3/W4, pp. 23-30.
- Michel Morgan and Ayman Habib (2001), 3D Tin for automatic building extraction from airborne laser scanning data, Proceedings of the ASPRS "Gateway to the New Millenium", St. Louis, Missouri 2001.
- Vosselman G. (2000), Slope based filtering of laser altimetry data, Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing. Amsterdam, Netherlands, Vol. XXXIII, Part. B3, pp. 935-942.

(접수일 2007. 1. 11, 심사일 2007. 1. 15, 심사완료일 2007. 1. 29)