

## LIDAR 데이터의 스캔라인을 이용한 필터링

이정호\* Lee, Jeong Ho<sup>1)</sup>, 최재완 Choi Jae Wan<sup>2)</sup>, 유기윤 Yu, Ki Yun<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 공간정보연구실 박사과정

<sup>2)</sup>서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 공간정보연구실 석사과정

<sup>3)</sup>서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 공간정보연구실 조교수

02-880-7371. [ilome79@snu.ac.kr](mailto:ilome79@snu.ac.kr)

### 요 약

LIDAR의 표고점 데이터는 건물, 수목 등의 개체를 구성하는 비지면점과 순수한 지표면을 나타내는 지면점들이 섞여있기 때문에 이들을 분리하는 과정이 필요하다. 지금까지 연구된 방법들은 몇 가지 입력 요소가 필요하여 완전 자동화를 이루지는 못하고 있으며, 다양한 크기의 개체를 동시에 자동으로 찾아내기 어렵고 경사진 지형에 대해서는 적용하기 어려운 문제점을 가지고 있다.

이에 본 논문에서는 원 데이터의 동일 스캔 라인 상에 존재하는 이웃 점들 간의 경사를 이용하여 입력 요소를 최소화하여 개체를 추출하고자 한다. 이웃하는 두 점들 간의 경사를 이용하여 비지면점을 탐지하여 이웃하는 지면점의 높이값으로 대체하며 갱신된 값을 바로 다음 연산에 반영시킴으로써 윈도우를 사용하거나 그룹화할 필요가 없다. 또한 갱신된 값을 전파시키기 때문에 복잡한 지붕을 가지는 건물도 추출할 수가 있다. 이와 같은 연산을 두 방향에 대하여 수행하여 경사진 지형에 대하여 적용할 수 있도록 하였으며 천안과 마산지역에 대하여 테스트를 수행하였다.

### 1. 서 론

LIDAR(Light Detection And Ranging)는 기존의 측량기법에 비하여 낮은 비용으로 높은 정확도의 고도 정보를 제공하기 때문에 공간분석, DSM(Digital Surface Model) 제작, 도시 모델링 등에서 많은 활용이 이루어지고 있다. LiDAR 자료는 고도, 반사강도(intensity), 멀티에코(multi-echo)등의 정보를 포함하는 점(point) 데이터 형태로 제공되는데, 지면점을 나타내는 데이터와 지물을 나타내는 데이터가 함께 존재한다. 그러므로 여러 분야에 응용하기 위해서는 건물, 수목 등의 개체를 구성하는 비지면점과 순수한 지표면을 나타내는 지면점들을 분리하는 과정이 선행되어야 한다. LIDAR

원 데이터로부터 비지면점을 제거하여 DEM을 생성하는 과정을 필터링이라고 하고, 비지면점만을 분리하여 개체를 얻어내는 과정을 추출이라고 한다.

### 2. 연구동향

DEM을 생성하는 필터링에 관한 많은 알고리즘이 개발되어 있으며 대표적인 방법으로는 Morphological operation, Local Maxima Filtering, Slope-based filtering 등이 있다. Morphological operation은 수축(erosion), 확장(dilation)의 기본 함수를 연속으로 적용하는 opening 연산을 통하여 건물, 수목 등을 제거하는 기법으로 가장 많이 이용되는 필터링 기법이다. 그러나 필

터의 크기가 제거하려는 개체의 크기보다 커야하므로 대상물의 크기에 따라 필터의 크기를 조절해 주어야 하고 필터의 크기가 너무 클 경우 지형의 굴곡까지도 제거되는 문제가 발생할 수 있다. Local Maxima Filtering은 제거하려는 건물이 윈도우 내에 포함되어야만 제거가 가능하며 대상 지역의 경사가 클수록 적용하기가 어렵다는 문제점이 있다. Slope-based filtering 기법은 점과 점 사이의 경사를 구하여 급격한 경사값을 갖는 점을 제거하는 방법으로서, 대상 점과 주변에 위치한 점들의 경사를 계산하여 급격한 경사가 지면의 변화에 의한 것인지 지물에 의한 것인지를 판단한다. 이 기법은 대상점 주변의 몇 개의 점을 고려할 것인지를 결정해야 하며 지물과 지표면을 구분하기 위한 적절한 경사도를 설정해줘야 한다.

위에서 언급한 필터링 방법들은 필터의 크기 혹은 필터링 수행 시에 고려할 주변 점의 개수를 적절하게 결정하는 사용자의 개입이 요구되며 사용자의 판단과 지형의 특성에 의해 결과물의 품질이 크게 좌우될 수 있다는 단점이 있다.

### 3. 추출방법

#### 1) 스캔(scan) 라인 분리

LIDAR 데이터는 x, y, z 좌표와 반사강도를 가지는 불규칙한 분포의 포인트 형태로 제공된다. 따라서 이러한 데이터의 처리를 위해서는 보간을 통하여 정규 격자를 형성하거나 포인트 형태의 원 데이터를 그대로 이용을 한다. 정규 격자를 형성하게 되면 데이터 처리가 빠르고 다양한 알고리즘을 적용하기 쉽다는 장점이 있으나 보간 과정에서 오차가 유발될 수 있다. 한편 원 데이터를 그대로 이용하게 되면 정확도를 높일 수 있지만 데이터 처리 면에서 효율성이 저하되는 문제점이 있다. 본 연구에서는 LIDAR 원 데이터가 스캔 된 순서대로 저장되어 있다는 점을 이용하여 스캔 라인 별로

데이터를 분리하여 처리하였다. 스캔 라인의 기하학적인 특성을 반영하여 점들 간의 벡터 내적 값과 좌표값의 증감 변화를 이용하여 라인을 분리하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$\cos \theta = \frac{(P_n P_{n-1}) \cdot (P_{n-2} P_{n-3})}{|P_n P_{n-1}| |P_{n-2} P_{n-3}|} > 0.95$$

$$(x_n - x_{n-1}) \times (x_{n-2} - x_{n-3}) > 0$$

$$(y_n - y_{n-1}) \times (y_{n-2} - y_{n-3}) > 0$$

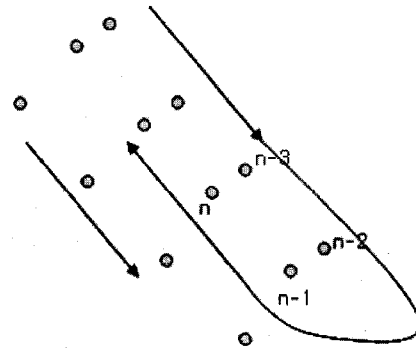


그림 1. 스캔 라인 분리 원리

스캔 라인을 분리하여 각 라인별로 처리함으로써 원 데이터 값을 그대로 이용할 수 있고 과대오차제거나 필터링에 있어서 계산 점과 그 주변 점들에 대한 접근을 효율적으로 할 수 있다.

#### 2) 과대오차제거

실제 지형, 지물보다 지나치게 높거나 낮게 측정되는 점들을 과대오차라고 하며 주로 저고도 비행 물체나 다중반사 등에 의하여 발생한다. 일정 범위 이내의 점들에 대한 통계치 들을 이용하여 이러한 과대오차를 제거할 수 있는데, 일정 범위 이내의 점들을 선택하려면 많은 계산이 필요하기 때문에 본 논문에서는 동일 스캔라인상의 점들만을 이용하여 과대오차를 제거하였으며 그 과정은 다음과 같다.

**low-outlier 제거 과정**

- 한 점( $p_c$ )을 기준으로 동일 스캔라인 상에서 일정 거리 이내에 있는 점들을 선택한다. (N개)
- 선택된 모든 점들을 이용하여 높이값의 평균( $\mu$ )과 표준편차( $\sigma$ )를 계산한다.
- $A = \{p_i \mid z_i < \mu - k\sigma, 1 \leq i \leq N\}$
- $n(A) \geq N_{thr}$  and  $p_c \in A$  이면  $p_i \in A (1 \leq i \leq N)$  를 low-outlier로 간주하고 제거한다.

**high-outlier 제거 과정**

- $A = \{p_i \mid z_i > \mu + k\sigma, 1 \leq i \leq N\}$
- $n(A) \geq N_{thr}$  and  $p_c \in A$  이면  $p_i \in A (1 \leq i \leq N)$  를 high-outlier로 간주하고 제거한다.

**3) 필터링**

◎ 높이값의 대체 및 전파

지면점과 비지면점을 분리하기 위하여 기존의 많은 연구에서는 윈도우(커널)를 사용하거나 일정 범위 이내의 점들을 이용하였다. 윈도우(커널)를 사용하려면 대상 지역에 존재하는 건물들의 최대 크기를 사전에 알고 있어야 하며, 반드시 윈도우 내에 지면점이 포함되어야 한다는 문제점이 있다.

본 연구에서는 동일 스캔라인 상에 있는 이웃하는 두 점들간의 높이차이와 기울기만을 이용하여 지면점과 비지면점을 분리하는 알고리즘을 제시하였다. 지면점과 비지면점의 경계에서는 그들 사이에 높이가 급변하고 기울기가 매우 커지기 때문에 이러한 성질을 이용하면 지형과 지물의 경계를 찾을 수 있다.

한 스캔 라인 상에서 스캔 순서에 따라서 첫 점부터 시작해서 높이 차와 기울기를 이용하여 연산을 한다. 만약 두 점 사이의 기울기와 높이차가 임계치 이상이 되면 더 높은 점을 비지면점으로 간주하고, 이웃하는 지면점의 높이값으로 대체를 한 후에 다음

점으로 이동하여 계산을 한다. 물론 임계치보다 작을 경우에는 값을 바꾸지 않고 계속해서 연산을 진행해 나간다. 대체된 값은 바로 다음 점의 연산에서 반영되기 때문에 지물의 크기에 상관없이 두 점 사이의 연산을 통해서 모든 지물의 제거가 가능하다.

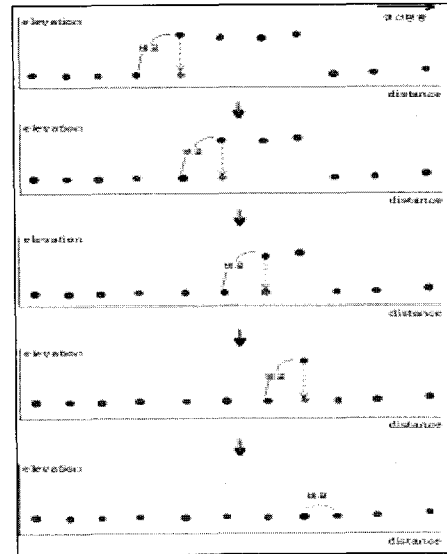


그림 2. 스캔 라인 상에서 높이값의 대체와 전파

높이 차 :  $\Delta z = z_i - z_{i-1} > \Delta z_{thr}$

경사각 :  $\theta = \arctan\left(\frac{\Delta z}{\Delta d}\right)$

$= \arctan\left(\frac{z_i - z_{i-1}}{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}\right) > \theta_{thr}$

◎ 양방향 연산을 통한 지형 보존

앞에서 설명한 것과 같이 값을 대체시키고 전파시키면, 스캔 라인 상에 오차점이 포함되어있거나 경사가 매우 심한 지형이 있을 경우에는 지면점들이 지물로 인식되어 z값이 대체되는 문제점이 있다. 이와 같은 오차발생을 방지하기 위하여 동일 스캔 라인에 대하여 스캔방향과 그 역방향으로 연산을 두 번 적용하였다. 일반적으로 지물은 자신을 중심으로 모든 방향에 대하여 높이가 더 낮은 지면점을 가지게 된다. 따라서 지물을 나타내는 비지면점은 어떤 방향으로

연산이 되더라도 주변에 있는 지면점의 높이값으로 대체가 된다. 스캔 방향으로 연산을 하고 그 역방향으로 연산을 한 번 더 한 후에 각 점에 대하여 최대 높이값을 선택함으로써 지형은 보존 하고 지물은 제거 할 수 있다. 그림3의 두 번째 그림은 왼쪽에서 오른쪽방향으로 연산을 수행한 결과이고 세 번째 그림은 오른쪽에서 왼쪽으로 연산을 수행한 결과이다. 중간 정도에 지면의 경사가 급변하는 곳이 있기 때문에 왼쪽방향으로 연산을 하였을 때에는 일부 지형이 낮아지는 오차가 발생한다. 두 방향으로 연산한 결과를 함께 고려한 것이 네 번째 그림이며, 건물과 수목은 모두 제거가 되었고 원래 지형의 기복과 형태는 잘 유지된 것을 볼 수 있다.

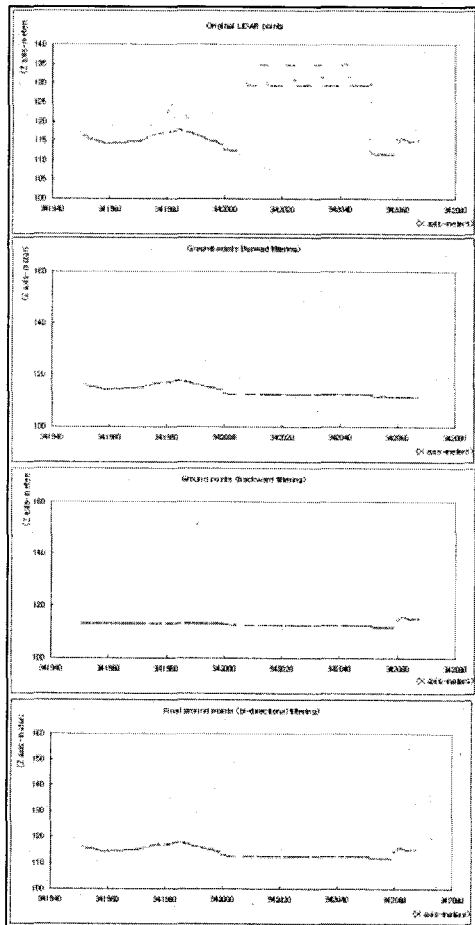


그림 3. 양방향 연산 원리

4. 실험적용 및 결과

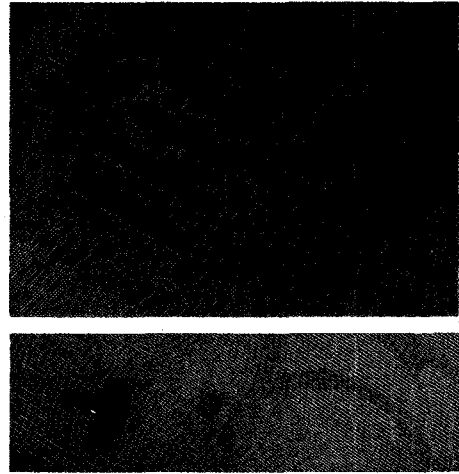


그림 4. 실험지역(상: 천안, 하: 마산)

그림 4와 같이 천안과 마산의 두 지역에 대하여 제안한 알고리즘을 실제로 적용하였다. 천안지역은 경사가 매우 심하며 아파트로 추정되는 큰 건물 5개가 있고 나무도 많은 지역이고, 마산 지역은 경작지로서 도시 지역에 비해서는 지형의 기복이 심한 지형이다. 실험에 사용된 LIDAR 데이터를 취득한 레이저시스템의 개요는 표1과 같으며 평방미터당 약 5개의 포인트를 가진다.

표 1. 항공레이저시스템 개요

Flying Height	1000m (from the surface)
Scan Area	1310km×1611km
Repetition Rate	70000Hz
Scan Angle	±15°
Scan Rate	30Hz
Overlay Rate	75%
Scan Line	16 directions
Density of Points	5.17 points/m <sup>2</sup>

각각의 지역에 제안한 알고리즘을 대부분의 건물들과 수목들이 잘 제거된 것을 확인할 수 있었다. 천안 지역에는 높고 큰 건물과 낮으면서 비교적 작은 건물이 섞여있는데,

다른 크기의 건물들이 모두 잘 제거되었다. 따라서 본 연구에서 제안한 알고리즘은 다양한 크기의 건물이 혼재하는 지역에 적용 가능하다고 볼 수 있다. 한편, 대부분의 수목도 제거가 되었으며 경사가 매우 심한 지형이지만 지형의 원래 모습도 잘 유지되었으므로 본 알고리즘은 경사진 지형에도 적합하다고 판단된다.

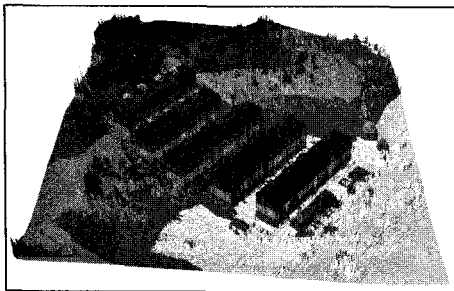


그림 5. 천안지역 필터링 전(상), 후(하)

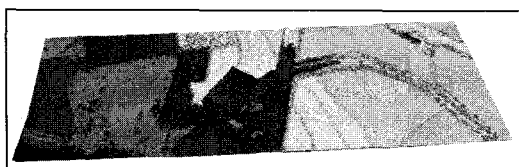
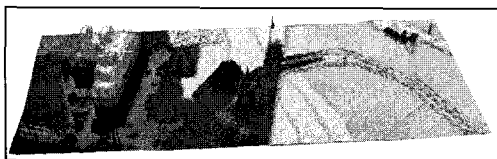


그림 6. 마산지역 필터링 전(상), 후(하)

마산 지역도 다른 크기의 건물들이 혼재하는데 대부분의 건물들, 특히 복잡한 형태의 건물도 제거가 되었으나 건물의 일부분

이 완전하게 제거되지 않고 남아있었다. 경작지를 이루고 있는 지형도 원래 모습이 잘 유지되었음을 확인 할 수 있다. 그러나 일부 수목은 제거가 되지 않았으며, 일부 스캔라인의 끝부분에 있는 개체도 제거되지 않았다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 LIDAR 원시 자료를 정규격자로 변환하거나 혹은 특별한 데이터 구조를 이루지 않고, 취득된 순서를 이용하여 스캔라인별로 필터링을 하였다. 따라서 원데이터의 정확도를 유지할 수 있으며 오차 제거나 필터링과 같은 계산에서 데이터 접근이 용이하도록 하였다.

한편, 윈도우를 사용하지 않고 동일 스캔라인상에 존재하는 이웃 두 점 사이의 기울기를 이용하여 지면점과 비지면점을 분리하고, 갱신된 값을 바로 다음 연산에 적용함으로써 다양한 크기의 건물과 복잡한 모양의 건물도 제거가 가능하였고, 기존 연구들에 비하여 입력요소를 줄일 수 있었다. 또한 스캔방향과 그 역방향으로 필터링을 함으로써 경사진 지형에 대하여도 적용할 수 있었으며 지형의 원래 모습은 잘 보존이 되는 것을 확인할 수 있었다.

하지만, 각 스캔라인의 양 끝에서부터 연산을 시작하는 본 알고리즘의 특성 때문에 스캔라인 끝에 위치한 개체들이 일부 제거되지 않는 문제점이 있었다. 향후 연구에서는 이에 대한 보완과 보다 넓은 지역에 대한 적용이 이루어져야 할 것이며, 포인트 레벨에서 정량적인 정확도 평가가 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 이정호, 유기윤, (2004년 12월), LIDAR 데이터를 이용한 DEM 생성 기법 연구, 개방형지리정보시스템학회, 추계학술발표회

2. 한수희, 유기윤, (2004년 12월), LIDAR 원 자료 구조를 이용한 건물영역 분리에 관한 연구, 개방형지리정보시스템학회, 추계학술발표회
3. George Sithole, George Vosselman, "Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds", ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 59 (2004) 85- 101, 2004.
5. G. Vosselman, "Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data", ISPRS. Vol. 23, 2000
6. Keqi Zhang, Shu-Ching Chen, "A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements From Airbone LIDAR Data", IEEE Transaction on Geoscience and Remote sensing. Vol. 41. No. 4, 2003.