



LiDAR 데이터를 이용한 DEM 자동 생성 기법

Automatic Generation of DEM using LIDAR Data

이정호* · 한수희** · 유기윤*** · 김용일**** · 이병길*****

Lee, Jeong Ho · Han, Su Hee · Yu, Ki Yun · Kim, Yong Il · Lee, Byung Kil

要 旨

DEM(수치표고모형) 자료는 도시모델링, 홍수 예측, 경사 및 향 분석 등과 같은 GIS의 다양한 분야에 필요하며, 주로 수치지도, 항공사진, 고해상도 위성영상 등을 이용해서 제작해 왔다. 그러나 최근에는 LiDAR 데이터로부터 DEM을 제작하는 것이 효율적이고 정확도가 높기 때문에 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. LiDAR 원 데이터로부터 건물, 수목 등의 개체를 제거하여 DEM을 생성하는 과정을 필터링(filtering)이라고 하는데, 대부분의 연구에서는 필터의 크기를 비롯한 몇 가지 파라미터가 필요하고 그 값을 바꿔가면서 반복연산을 수행해야 하는 경우가 많다. 본 연구에서는 비지면점으로 인식된 점의 높이값을 이웃 지면점의 높이값으로 대체하고 대체된 값을 다음 연산에 반영함으로써 개체의 크기에 대한 사전 지식 없이 다양한 크기의 개체를 제거할 수 있는 필터링 기법을 제안하였다. 실험 결과 본 연구에서 제안한 방법은 다양한 크기의 개체가 존재하는 경사가 심한 지형에 대하여 우수한 필터링 결과를 보여주었다.

핵심용어 : 라이다, LiDAR, DEM, 필터링

Abstract

DEM is needed for urban modeling, forecasting of floods and the analysis of slope and aspect. It has been generated using digital maps, aerial photos or satellite imageries. Recently, however, many studies on DEM generation from LiDAR data has been conducted because of its efficiency and accuracy. Filtering is said to be the process of making DEM by eliminating non-ground points from LiDAR data. In most researches, some input parameters such as the size of filter are required. The purpose of this investigation is to automatically obtain DEM by eliminating objects of various sizes without the knowledge of the objects' sizes. The experimental results show that most of objects on steep terrain are eliminated by the proposed method.

Keywords : LiDAR, DEM, Filtering

1. 서 론

LiDAR(Light Detection And Ranging)는 전통적인 측량기법이나 사진측량기법에 비하여 낮은 비용으로 높은 정확도의 고도 정보를 제공하여 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 데이터 형태로 제공되며 지표면의 고도정보뿐만 아니라 건물, 수목, 기타 지상물 들의 고도정보와 형태를 포함하게 된다. 따라서 LiDAR는 공간 모델링 위한 지상 대상물의 자동 추출

등에 효과적으로 활용될 수 있다. 그러나 LiDAR는 사용되는 레이저의 투과 특성으로 인해 오만사되거나, 반사체의 특성에 따르는 반사파의 왜곡으로 오차가 포함되기 때문에 오차 제거를 위한 전처리가 요구된다. 또한, 지면점을 나타내는 데이터와 지물을 나타내는 데이터가 함께 존재한다. 따라서 다양한 분야에 활용하기 위해서는 이들의 분리를 위한 필터링 과정이 선행되어야 한다.

Kilian et al.(1996)은 수축연산, 확장연산의 기본 함수를 연속으로 적용하는 opening 연산을 통하여 건물, 수목 등을 제거하는 Morphological operation filtering 을 제안했다. 그런데, 필터의 크기가 제거하려는 개체의 크

2005년 11월 24일 접수, 2005년 12월 9일 채택

* 주저자, 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정 (ilome79@snu.ac.kr)

** 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정 (scivile2@snu.ac.kr)

*** 정희원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수 (kiyun@snu.ac.kr)

**** 서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수 (yik@snu.ac.kr)

***** (주) 타스텍 (basil@tastech.co.kr)

기보다 커야하므로 대상물의 크기에 따라 필터의 크기를 조절해 주어야 하고 필터의 크기가 너무 클 경우 지형의 굴곡까지도 제거되는 문제가 발생할 수 있다. Zhang et al., (2003)은 모폴로지 필터의 크기를 늘려가면서 반복적으로 적용하여 다양한 크기의 개체를 효과적으로 제거하는 연구를 하였다. 그러나 이 기법은 10회 정도의 반복 연산을 필요로 하기 때문에 계산 량이 많다는 단점이 있다. 김형태(2001)가 제안한 Local Maxima Filtering은 제거하려는 건물이 윈도우 내에 포함되어야만 제거가 가능하며 대상 지역의 경사가 클수록 적용하기가 어렵다는 문제점이 있다. 한편 Vosselman(2000)은 점과 점 사이의 경사를 구하여 급격한 경사값을 갖는 점을 제거하는 Slope-based Filtering을 사용하였는데 이 기법은 대상점 주변의 몇 개의 점을 고려할 것인지를 결정해야 하며 지면점이 포함되도록 그 개수를 정해줘야 한다. 또한 Axelsson (2000)이 제안한 TIN 모델을 사용하는 방법은 초기 지면 데이터 셋을 만들기 위하여 최대 개체보다 큰 크기의 그리드(grid) 이내에 초기 점을 선택해주어야 한다. 최연웅과 조기성(2005)은 경계검출 알고리즘을 적용하고 보간법을 적용하여 DEM을 제작하는 기법을 제안하였는데, 이 연구에서는 연산에 사용되는 셀의 개수가 적어지는 것을 방지하기 위하여 필터의 크기를 증가시켜주도록 하였다.

위와 같은 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 고정된 크기의 윈도우를 가지는 모폴로지 필터를 사용하여 작은 개체를 우선 제거한 후에 높이값을 대체 및 전파 시키는 연산을 상, 하, 좌, 우 4방향에 대하여 수행하는 알고리즘을 제안하였으며 전체적인 흐름은 그림 1과 같다.

2. 연구 방법

2.1 오차 제거

라이다 원 데이터에는 실제 높이값보다 크거나 작게 나타나는 과대오차가 존재하며, 실제 값보다 낮게 나오

는 낮은과대오차(low-outlier)와 실제의 지형지물보다 높게 측정되는 높은과대오차(high-outlier)로 나눌 수가 있다. 낮은과대오차의 경우는 필터링 과정에서 큰 오차를 야기시킬 수 있기 때문에 전처리과정에서 반드시 제거되어야 한다. 또한 DEM 생성 시에 있어서 낮은과대오차로 인하여 움푹 파인 웅덩이와 같은 형상의 지형이 만들어질 수 있으며, 3차원 도시모델링과 같은 작업에 있어서는 높은과대오차로 인하여 건물이 불 형태의 모양으로 잘못 표현되어질 수 있기 때문에 이에 대한 처리 또한 매우 중요하다(전자통신연구원, 2004).

본 연구에서 적용한 과대오차 제거 과정은 다음과 같다.

<낮은과대오차 제거>

- step 1. 한 점(p_c)을 기준으로 일정 반경 이내에 있는 점들을 선택한다(N 개).
- step 2. 선택된 모든 점들을 이용하여 높이값의 평균(μ)과 표준편차(σ)를 계산한다.
- step 3. $\mu + \sigma$ 보다 작은 점들만을 이용하여 평균과 표준편차를 재계산한다.
- step 4. $A = \{p_i | z_i < \mu - k\sigma, 1 \leq i \leq N\}$
- step 5. $n(A) \leq N_{thr}$ and $p_c \in A$ 이면 $p_i \in A$ ($1 \leq i \leq N$)를 오차로 간주하고 제거한다.

그림 2는 낮은과대오차 제거 전, 후의 TIN을 표현한 것인데 대부분의 낮은 과대오차가 제거된 것을 확인할 수 있다.

<높은과대오차 제거>

- step 1과 step 2는 낮은과대오차와 동일
- step 3. $A = \{p_i | z_i > \mu + k\sigma, 1 \leq i \leq N\}$
- step 4. $n(A) \leq N_{thr}$ and $p_c \in A$ 이면 $p_i \in A$ ($1 \leq i \leq N$)를 오차로 간주하고 제거한다.

2.2 보간

일반적으로 LiDAR 데이터의 보간을 위해서는 IDW (Inverse Distance Weighted), Kriging, Natural Neighbor 기법 등이 많이 이용된다. 그러나 이러한 기법들은 자료를 평활화(smoothing) 시키는 경향이 있기 때문에 필터링을 위한 전 단계로서 사용하기에는 단점을 가지고 있다. 즉, 지면점과 비지면점의 경계에서 높이값이 급변하는 특성은 필터링에 있어서 가장 중요한 요소로 사용되어지는데, 보간에 의해서 그 급변하는 특성이 약해질 수가 있다. 이에 본 연구에서는 격자를 정한 후에 한 격자 내에 한 개 이상의 점이 있을 경우에는 가장 작은 표고값을 가지는 점을 선택하고, 격자 내에 한 점도 없을 경우

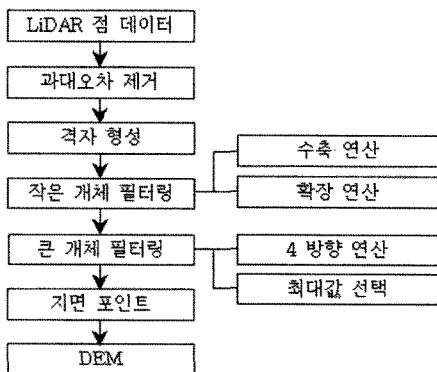


그림 1. 연구 흐름도

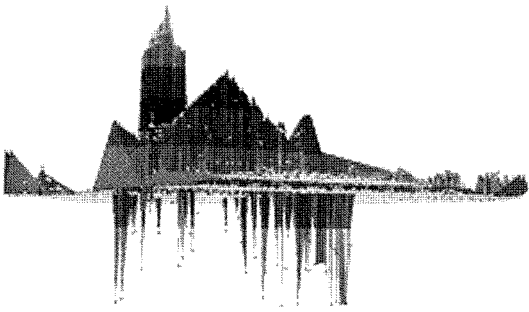


그림 2. 낮은과대오차 제거 전(상), 후(하)

에는 최근린값을 가져오는 방식을 사용하였다(Zhang et al., 2003).

2.3 필터링

모폴로지 연산은 윈도우의 크기가 제거하려는 개체의 크기보다 커야하므로 사전에 대상 지역의 건물 크기에 대한 정보가 있어야 한다. 또한, 개체의 크기를 알더라도 그 크기가 매우 큰 경우에는 윈도우의 크기도 커져서 지면도 함께 제거가 되고 변형이 일어나게 된다.

본 연구에서는 자동차, 작은 수목 등과 같이 넓이가 작고 높이도 낮은 개체와 건물과 같이 큰 개체를 구분하여 제거하였다. 우선적으로 작은 크기의 윈도우를 가지는 모폴로지 필터를 이용하여 작은 개체를 제거하고, 각 라인별로 독립적으로 이웃 포인트끼리 연산을 하여 큰 개체를 제거하였다.

2.3.1 작은 개체 제거

모폴로지 연산은 확장연산과 수축연산이 기본이 되며 이 둘의 조합으로 이루어지고, 그 식은 다음과 같다.

$$\text{확장연산} : d_p = \max(z_a) \cdot (x_a, y_a) \in w$$

$$\text{수축연산} : e_p = \min(z_a) \cdot (x_a, y_a) \in w$$

수축연산을 수행하면 필터의 크기보다 작은 개체는 제거가 되고 필터의 크기보다 큰 개체들은 축소가 되어 크

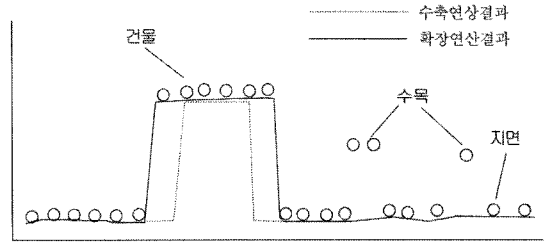


그림 3. opening 연산에 의한 수목 제거

기가 작아진다. 이 결과에 연속해서 확장연산을 수행해 주면 수축되었던 개체들은 원래 크기로 다시 확장이 되며, 제거되었던 개체는 다시 복원되지 않는다. 즉, 그림 3과 같이 opening 연산을 이용하여 윈도우의 크기보다 작은 개체들은 제거를 하고 큰 개체들은 원래대로 유지를 할 수가 있다.

2.3.2 큰 개체 제거

① 값의 대체 및 전파

기준점 $p_i(x_i, y_i, z_i)$ 와 이웃하는 점 $p_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$ 사이의 높이차와 경사를 계산하여 그 값들이 임계치보다 크면 p_i 를 비지면점으로 간주하고 p_i 의 높이값을 이웃점 p_{i-1} 의 높이값으로 대체하여준다. 그 계산식은 다음과 같다.

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

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

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

그 다음 $p_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$ 를 기준으로 하여 $p_i(x_i, y_i, z_i)$ 와 높이차와 경사를 계산하는데, 이 때 바로 이전 계산에서 대체되었던 p_i 의 높이값 z_i 가 반영되어진다. 즉, 건물과 같은 개체의 경계부분에 위치한 지면점에 의하여 개체의 경계부분부터 차례대로 제거되어지게 된다.

이와 같이 비지면점들에 대하여 높이값을 전파시킴으로써 윈도우를 사용하거나 연산에 포함되어지는 점들(neighborhood)의 범위를 고려하지 않고, 한 점과 바로 이웃하는 점 사이의 관계만을 이용하여 필터링을 할 수 있다. 이러한 연산을 그림 4와 같이 각 라인별로 독립적으로 수행하게 된다. 그림 5는 한 라인에 대하여 비지면점들이 순차적으로 제거되는, 즉 이웃하는 지면점의 값으로 대체되는 과정을 보여주고 있다.

높이값을 대체 및 전파시키기 때문에 개체의 최대 크기에 대한 사전 지식이 필요 없이 다양한 크기의 개체를 제거할 수 있으며, 건물 내에서 높이가 변하는 복잡한 형

태의 건물도 쉽게 제거가 가능하다.

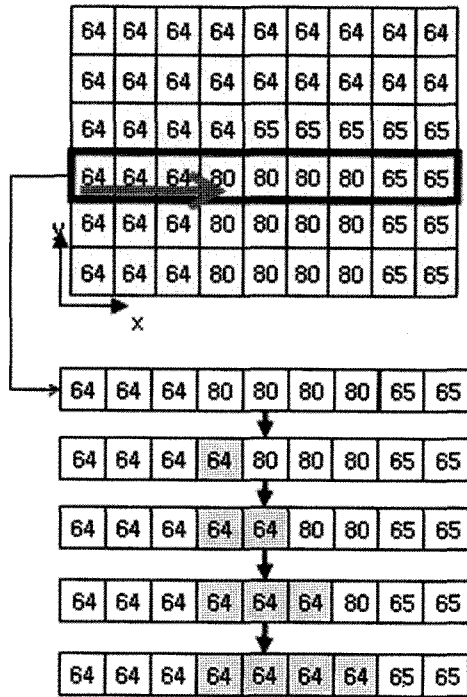


그림 4. 한 라인에 대한 연산 과정

② 4방향 연산

높이값을 대체 및 전파하여 개체를 제거할 경우에, 경사가 급변하는 지형이 있으면 그 급변하는 지점이후의 지면점들이 모두 개체로 간주되어져서 제거되는 오류가 발생할 수 있다. 또한, 낮은 오차가 포함되어있거나 지하도 입구와 같은 저지대가 포함되어있을 경우에도 그 점들에 의하여 그 이후의 점들이 전부 제거되어져서 오차가 발생할 수 있다.

이러한 오차의 전파와 오류를 방지하기 위하여 앞에서 실행한 각 라인별 연산을 상, 하, 좌, 우 네 방향에 대하여 실시하였다. 상, 하, 좌, 우 네 방향에 대하여 각각 방향성을 가지면서 독립적으로 연산을 한 후에 그 결과들을 비교하여 최대값을 선택하였다.

그림 6 (b)와 6 (c)는 각각 우측 방향과 좌측 방향으로 필터링 연산을 수행한 결과이다. 좌측 방향으로 필터링을 할 경우 지면이 낮아지는 오류가 생기지만 좌, 우방향에 대한 연산 결과를 함께 고려함으로써 그림 6 (d)와 같이 개체는 제거하면서 지형은 보존할 수 있다.

건물과 같은 개체들의 주변에는 모든 방향에 대하여 더 낮은 높이를 가지는 지면점들을 존재하는 특성이 있다. 따라서 개체는 상, 하, 좌, 우 네 방향 연산에 대하여 모두 제거가 되지만, 지면의 경우에는 일반적으로 사방으로 매우 급격한 경사를 가지는 경우는 드물기 때문에 네 방향으로 연산한 결과에서 최대값을 취하면 지면이 제거되는 것을 방지할 수가 있다.

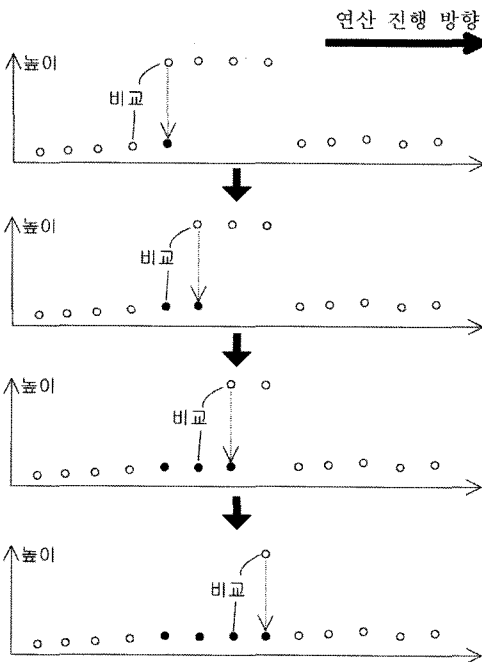


그림 5. 한 라인에 대한 순차적 제거 과정

3. 실험 적용 및 결과

경사가 있으며 다양한 크기의 건물이 혼재한 지역에

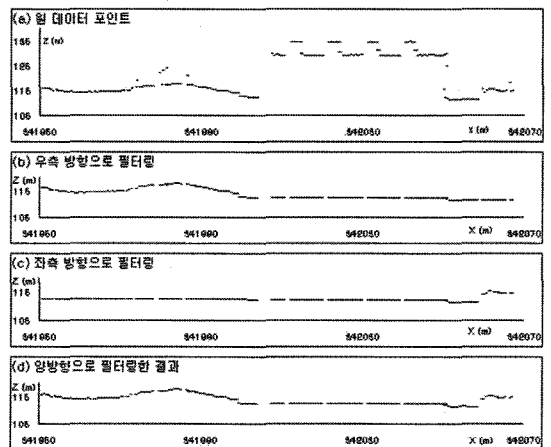


그림 6. 양방향 필터링 결과

대하여 실험을 하였으며, 본 연구에서 제안한 알고리즘의 적용 결과를 모폴로지 필터만을 사용한 결과와 비교, 제시하였다. 또한, 그 지역의 일부에 대하여 필터링 전, 후의 결과를 비교하여 제안한 알고리즘의 성능을 살펴보았다. 실험에 사용된 LiDAR 자료의 제원은 표 1과 같으며, 그림 7은 대상지역의 라이다 원 자료와 항공사진이다.

표 1. Overview of ALS system

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

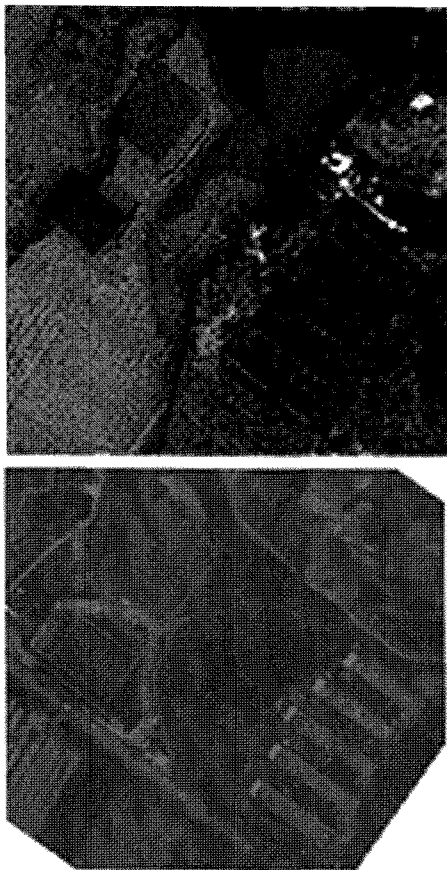


그림 7. 대상지역 LiDAR(상), 항공사진(하)

실험 지역에는 수목과 자동차와 같은 작은 개체가 많이 존재하며, 큰 개체로는 우측하단에 아파트 5개 동과 좌측 상단에 넓이가 매우 넓은 건물(항공사진에서 파란색) 2개가 존재한다.

그림 8은 실험 적용 지역의 일부에 대한 필터링 이전의 포인트와 지면에 수직인 단면이고 그림 9는 제안된 필터링 기법에 의하여 비지면점들을 제거한 후의 포인트와 지면에 수직인 단면의 모습이다. 필터링 전·후의 비교를 통하여 개체의 최대 크기에 대한 사전 지식이나 주변 점의 개수를 고려하지 않고서 다양한 크기의 개체들이 대부분 제거되는 것을 알 수 있었다. 또한, 경사가 심한 지형에도 적용할 수 있었으며 4방향 연산을 통하여 경사가 심한 지형의 모습은 원래대로 보존되는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 엘리베이터 탑이 있는 아파트와 같이 복잡한 형태의 건물도 쉽게 제거가 되었다.

원형의 모폴로지 필터만을 이용하여 대상 지역에 필터링을 수행할 경우에 필터의 크기를 8정도로 하면 우측 하단의 아파트는 제거가 되지만 좌측 상단의 건물은 제거가 되지 않았다. 좌측 상단의 건물을 제거하기 위해서는 필터의 반경을 28pixel (28m)로 해주어야만 하였고, 필터의 크기가 증가함에 따라서 지면의 상당부분이 제거가 되어서 원래 높이 보다 낮아지고 많은 왜곡이 발생하였으며 그 결과는 그림 10 (a)와 같다. 반면에 본 연구에서 제안된 기법에 의하여 생성된 DEM은 모폴로지 필터만을 이용하여 생성된 DEM과 비교 하였을 때, 지형 본래의 모습이 잘 보존되었으며 보다 세밀한 지형 묘사가 되고 있음을 볼 수 있다.

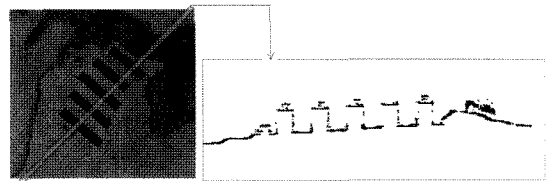


그림 8. LiDAR 원 데이터 포인트 분포(좌)와 지면에 수직인 단면도(우)

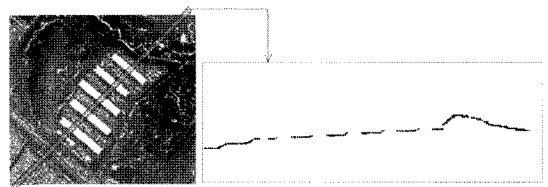
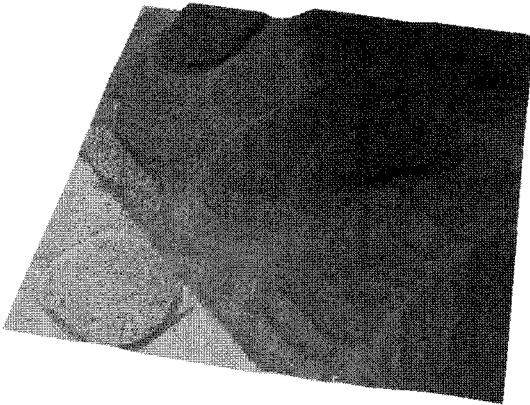
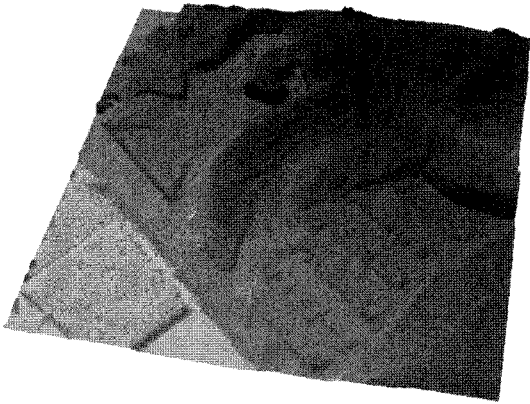


그림 9. 필터링 후 포인트 분포(좌)와 지면에 수직인 단면도(우)



(a) 모폴로지 필터(반경28m)에 의한 DEM



(b) 제안된 기법에 의한 DEM

그림 10. 모폴로지 필터에 의한 DEM과 제안된 기법에 의한 DEM

4. 결 론

본 논문에서는 입력 변수를 최소화하면서 다양한 크기의 건물이 혼재하는 지역에 대하여 적용 할 수 있는 필터

링 기법을 제안하였다.

실제 지역에 적용해본 결과 개체의 최대 크기에 대한 사전 지식 없이도 다양한 크기의 개체를 제거할 수 있었으며 세밀한 지형표현이 가능하였다. 또한 경사가 있는 지역에 대해서 지형의 경사진 모양을 보존하면서 개체의 제거가 가능하였다.

감사의 글

본 연구에 대한 공학연구소의 지원에 감사드리며, 본 연구의 수행에 필요한 LiDAR 데이터와 항공사진을 제공해주신 (주)한진정보통신에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김형태, 2001, "GIS 건물레이어 자동구축을 위한 LIDAR 데이터와 항공사진의 융합", 박사학위논문, 서울대학교.
2. 최연웅, 조기성, 2005, "도시지역 LiDAR DSM으로부터 DEM추출기법 연구", 한국지형공간정보학회지 vol. 13, pp. 19-25.
3. 한국전자통신연구원, 2004, "라이다 처리 기반 기술 개발", 고정밀 위성영상 처리기술 개발, 2004.
4. Axelsson, P., 2000, "DEM Generation from laser scanner data using TIN adaptive models", *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol. 33, part B3, pp. 85-92.
5. Kilian, J., N. Haala, and M. Englich, 1996, "Capture and evaluation of airborne laser scanner data", *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol. 31, Part B3, pp. 383-388.
6. Vosselman, G., 2000, "Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data", *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol. 33, part B4, pp. 958-964.
7. Zhang, K., et al., 2003, "A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements From Airborne LIDAR Data", *IEEE Transaction on Geoscience and Remote sensing*, Vol. 41, No. 4, pp. 872-882.