

LIDAR 데이터로부터 지표점 추출을 위한 피쳐 기반 방법

이 임 평[†]

서울시립대학교 도시과학대학 지적정보학과

A Feature Based Approach to Extracting Ground Points from LIDAR Data

Impyeong Lee[†]

Dept. of Geoinformatics, College of Urban Sciences, The University of Seoul

Abstract : Extracting ground points is the kernel of DTM generation being considered as one of the most popular LIDAR applications. The previous extraction approaches can be mostly characterized as a point based approach, which sequentially examines every individual point to determine whether it is measured from ground surfaces. The number of examinations to be performed is then equivalent to the number of points. Particularly in a large set, the heavy computational requirement associated with the examinations is obviously an obstacle to employing more sophisticated criteria for the examination. To reduce the number of entities to be examined and produce more robust results, we developed an approach based on features rather than points, where a feature indicates an entity constructed by grouping some points. In the proposed approach, we first generate a set of features by organizing points into surface patches and grouping the patches into surface clusters. Among these features, we then attempt to identify the ground features with the criteria based on the attributes of the features. The points grouped into these identified features are labeled ground points, being used for DTM generation afterward. The proposed approach was applied to many real airborne LIDAR data sets. The analysis on the results strongly supports the prominent performance of the proposed approach in terms of not only the computational requirement but also the quality of the DTM.

Key Words : LIDAR, Ground Point, Feature-Based, Grouping, DTM, Surface Patch, Perceptual Cue.

요약 : 지표점의 추출은 DTM 생성을 위한 가장 중요한 과정이다. 기존의 지표점 추출 방법은 대부분 점 기반방법으로 분류될 수 있다. 점기반방법은 모든 개별점(point)에 대하여 해당 점이 지표를 구성하는 점인지 시험하는 방법이다. 이 때 시험의 회수는 점의 개수와 동일하기 때문에, 특히 점의 수가 많은 데이터를 처리할 경우 계산량이 심각하게 늘어나 시험에 보다 정교한 기준과 전략을 사용하는데 어려움이 있었다. 이로 인해 많은 연구에도 불구하고 아직 만족할만한 결과를 제공하는 방법이 개발되지 못하였다. 이에 본 연구는 시험하는 개체의 수를 줄이면서 보다 안정적인 결과를 얻을 수 있도록 점이 아닌 피쳐에 기반한 방법을 제안한다. 여기서, 피쳐란 점을 그룹화하여 얻을 수 있는 개체를 의미한다. 제안된 방법에서는 먼저 점들로부터 표면패치들을 생성하고, 이어서 표면패치들로부터 표면집단들을 구성한다. 구성된 표면집단들로부터

지표에 해당하는 표면집단을 식별한 후 식별된 표면집단에 포함된 모든 점들을 지표점으로 명시한다. 이 방법을 항공 LIDAR 실측데이터에 적용하여 제안된 방법의 뛰어난 성능을 실험적으로 증명하였다.

1. 서론

LIDAR(Light Detection and Ranging)는 레이저 스캐너를 이용하여 센서와 표적과의 거리를 측정하고 GPS (Global Positioning System)와 INS (Inertial Navigation System)로부터 측정된 센서의 위치 및 방향을 결합하여 표적의 3차원 좌표를 생성하는 시스템이다. 표면의 3차원 좌표를 조밀하고 간편하고 신속하게 획득할 수 있다는 장점에 힘입어 기존의 사진측량 데이터를 보완하거나 대체하는 용도로 다양한 응용 분야에서 활용되고 있다.

LIDAR가 처음 개발된 이래로 가장 널리 활용되는 분야 중의 하나는 DTM (Digital Terrain Model)을 생성하는 것이다. 여기서 DTM은 빌딩이나 나무와 같은 지상 위의 다양한 사물을 제외하고 순수하게 지표면만을 3차원으로 기술하는 모델이다. 반면에, 지상 위의 다양한 사물까지를 포함한 모델은 DSM (Digital Surface Model)이라고 한다. DTM과 DSM 모두 DEM (Digital Elevation Model)으로 분류된다. 여기서 DEM은 지상에 일정간격의 격자를 설정하고, 설정된 각각의 격자점에서 측정된 높이를 행렬의 형태로 포함한다.

LIDAR 데이터로부터 DTM을 생성하는 과정은 데이터의 검증 및 보정, 불필요한 데이터의 제거, 설정된 격자로의 내삽(interpolation) 등의 과정으로 구성된다. 여기서 불필요한 데이터란 LIDAR로 획득된 다량의 점들로부터 지표가 아닌 지상 위의 사물에서 측정된 점 또는 아주 큰 오차를 포함하는 점들을 의미한다. 불필요한 데이터를 제거하는 과정은 결국 지표점, 곧, 지표에서 측정된 비교적 오차가 적은 점들만을 추출하는 것을 목표로 한다. 이러한 지표점 추출은 DTM생성에 있어 가장 중요하고 어려운 과정으로 간주되며, 이에 대한 대표적인 기존의 연구는 아래와 같다.

Kilian *et. al.* (1996)은 지표점들이 일반적으로 주어진 크기의 윈도우 내에서 다른 점들과 비교하여 상대적으로 낮은 고도를 갖는다는데 착안하여 형태학적 필터(morphological filter)에 기반한 방법을 개발하였다.

Kraus and Pfeifer (1998)는 강한(Robust) 추정방법을 이용한 선형예측(linear prediction)에 기반한 방법을 제시하였고 이 후에 Kraus and Pfeifer (2001)의해 개선되었다. Vosselman (2000)은 주변의 값들과 비교해서 높이의 차가 아주 큰 점들을 제거하는 경사기반필터(slope-based filter)를 제안하였다. 이 필터는 Sithole (2001)에 의해 지표의 경향에 따라 경사의 임계값이 조정되도록 보완되었다. Axelsson (2000)은 적응삼각망 모델(adaptive triangular irregular network model)을 이용한 방법을 제안하였다. 초기 TIN (Triangular Irregular Network)을 생성한 후에, 국부적 곡률(local curvature)이 작은 점들을 추가하면서 TIN을 점점 조밀하게 만든다. 이 방법은 상업용 소프트웨어 패키지 안에 구현되어 있다(TerraScan, 1999). Elmqvist (2001)는 능동윤곽모델(active contour model)에 기반한 방법을 개발하였다. 이 방법은 초기모양으로부터 시작하여 최종모양이 모양에 가해지는 세 가지 힘 사이의 평형을 통해 안정화될 때까지 반복적으로 수정한다.

현재까지 여러 학자들에 의해 많은 방법들이 제시되었으나 방법의 계산적 효율성과 적용결과의 정확성 등의 측면에서 여전히 많은 문제점들이 존재하는 실정이다. 이러한 기존의 연구들을 검토한 결과를 요약하여 아래와 같은 세 가지 견해를 얻을 수 있었다.

1. 대부분의 방법들은 초목(vegetation)으로부터 측정된 점들을 제거하는 것에 중점을 두었으며, 이러한 방법들은 대형 빌딩의 지붕에서 측정된 많은 점들을 제거하는 것에는 적합하지 않았다. 또한, 지표면에도 절단선(breakline)이 존재하기도 하는데, 이러한 절단선들은 기존의 방법을 통해서 거의 보존되지 않았다. 이는 절단선 주변의 점들이 일반적으로 높은 국부 곡률과 경사도를 나타내어 제거되기 때문이다.

2. 기존의 방법들은 대부분 점기반방법으로 분류된다. 점기반방법은 모든 점에 대해 각 점의 국부 속성을 조합한 기준으로 지표의 여부를 순차적으로 시험하는 방법이다. 이때 점들을 성공적으로 그룹화 한다면 계산량이 감소하고 보다 안정적인(robust) 결과를 얻을 수

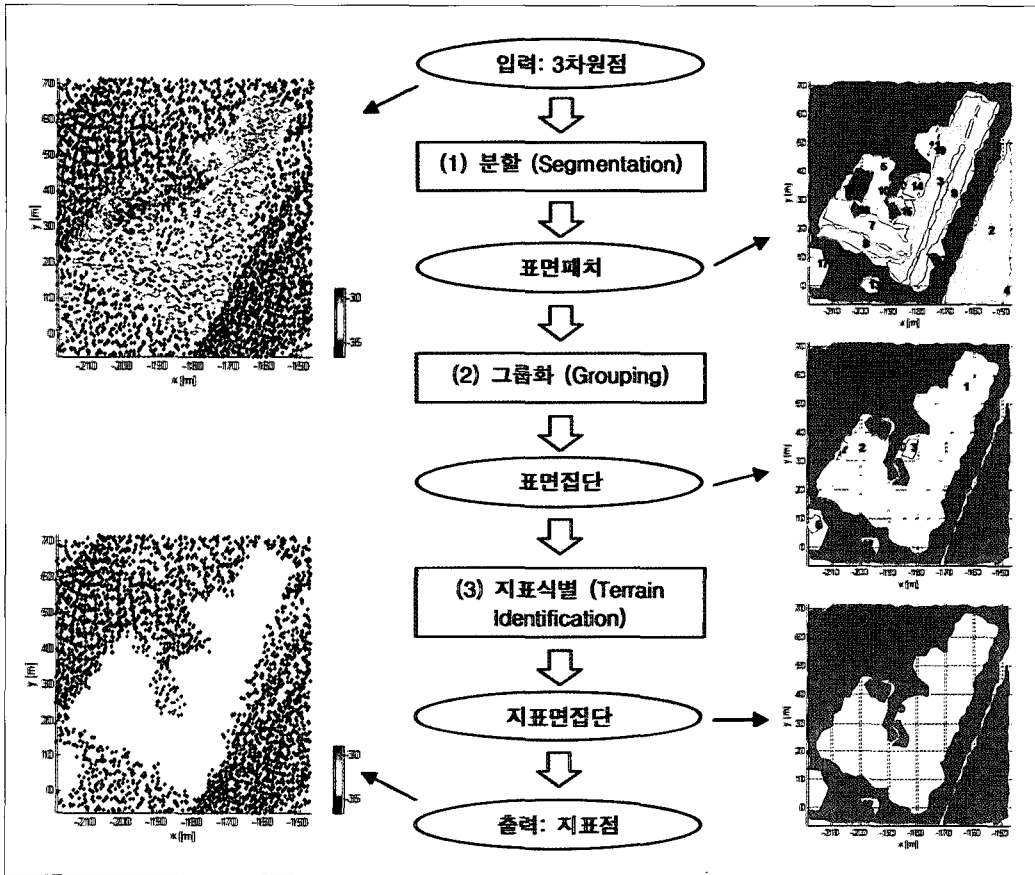


Fig. 1. Overview of the proposed feature based approach to extracting ground points.

있기 때문에, 개개의 점보다 개개의 그룹을 시험하는 것이 보다 바람직할 것이다.

3. 기존의 방법에서 사용한 지표판단의 기준은 한 점과 그 점을 중심으로 설정된 제한된 크기의 윈도우의 내부에 존재하는 주변 점들로부터 계산된 국부 속성에 기반한다. 여기서 국부 속성은 대부분 경사도, 곡률, 상대적인 고도 등이 고려된다. 이로 인해, 대형 빌딩 등의 넓은 지붕은 육안으로는 쉽게 지상 위의 표면으로 인식됨에도 불구하고 제한된 윈도우 크기로 인해 지표로 분류되는 단점이 있었다. 지표는 국부적인 특성이기 보다는 광역적인 특성이므로 주어진 데이터 전체를 고려할 때 비로소 가장 정확하고 강인하게(robust) 결정될 수 있다. 그러나, 점기반 방법에서 모든 점을 고려하는 것은 과도한 계산량을 야기하기 때문에 수용할 수 없었다.

이에 본 연구의 목적은 점이 아닌 피쳐(feature)에 기반한 효율적이고 실용적인 방법을 개발하는 것이다. 여

기서 피쳐란 점들을 그룹화하여 구성할 수 있는 표면패치(surface patch)와 같은 개체를 의미한다. 피쳐에 기반한 방법은 피쳐의 개수가 점의 개수보다 훨씬 적기 때문에 시험에 수반되는 계산량이 감소되고, 또한, 피쳐로부터 유추할 수 있는 보다 여러 종류의 속성을 시험에 활용할 수 있는 등의 다양한 장점을 기대할 수 있다.

2. 피쳐기반의 지표점 추출방법

제안된 피쳐기반의 지표점 추출방법은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 1) 분할(segmentation), 2) 그룹화(grouping), 3) 지표식별(terrain identification)이라는 3개의 주요 과정으로 구성된다. 분할은 입력된 3차원 점으로 구성된 라이다 데이터를 표면패치의 집합으로 구성하는 것이다. 그룹화는 표면패치들 사이의 인지적단서

(perceptual cue)를 계산하여 그룹화를 통해 표면집단의 집합으로 구성하는 것이다. 지표식별은 개별 표면집단의 특성을 고려해서 나무나 건물 등이 아닌 지표를 구성하는 표면집단을 식별하는 것이다. 식별된 표면집단을 구성하는 개별점을 추출하여 지표점을 출력한다.

1) 분할 : 표면패치의 추출

제안된 피처기반의 지표점 추출방법의 가장 큰 특징은 개별의 점에 대한 시험을 수행하는 기존의 점기반 방법과 달리 라이다데이터로부터 표면패치라는 피처(feature)를 먼저 추출하여, 추출된 표면패치들의 특성으로부터 지표의 여부를 판단하는 것이다. 이에 본 방법은 먼저 3차원 점으로 구성된 원시 LIDAR 데이터를 처리하여 공간적으로 분할(segmentation)된 표면패치(surface patch)의 집합을 생성한다. 이로 인해 분할은 최종적인 지표점 추출 결과에 큰 영향을 미치며 상당히 합리적이고 안정적인 결과를 생성하는 방법을 사용해야 한다. 이를 위해 저자가 수행한 이전의 연구(Lee and Schenk, 2001; Lee and Schenk, 2002; Lee, 2002; 이임평, 2006)를 통해 제시된 인지적 구성(perceptual organization)과정에 기반한 방법을 사용하였다. 본 방법의 주요 처리 과정은 3차원 점간의 인접성을 수립하고, 소량의 인접점을 그룹핑하여 초기패치를 생성하고 초(seed patch), 초기패치를 성장시켜 표면패치(surface patch)를 생성하는 과정으로 구성된다. 이를 통해 최종적으로 생성된 각각의 표면패치는 패치에 포함된 점, 점들을 근사하는 평면의 변수, 패치의 경계로 정의된다. 보다 자세한 내용은 이임평(2006)이 발표한 논문을 참고하도록 한다.

2) 그룹화 : 표면집단의 구성

표면패치들로부터 인지적으로 의미있는 표면집단을 구성한다. 이는 인지적단서(perceptual cue)를 계산하고 이를 바탕으로 패치를 그룹화하여 표면집단을 생성하는 과정으로 이루어진다.

(1) 인지적단서의 계산

두 개의 인지적 단서, 곧, 연결성(connectedness)과 돌출성(Elevatedness)을 계산한다. 연결성은 두 개의 표면패치가 원래 서로 연결되어 있었다는 가설에 대한 신뢰도를 나타낸다. 인접한 두 개의 표면패치(s_1, s_2) 사

이의 연결성은 정량적으로 아래처럼 정의된다.

$$\theta_{conn}(s_1, s_2) = \theta_{conn}(s_1/s_2) \cdot \theta_{conn}(s_2/s_1) \quad (1)$$

여기서 $\theta_{conn}(s_1/s_2)$ 는 s_2 를 기준으로 하는 s_1 의 연결성을 나타내며 식(2)처럼 정의되며, 이는 s_2 를 기준으로 하는 s_1 의 경계를 나타내는 다각형의 각각의 에지 $e_{i,1}$ 의 연결성, $\theta_{conn}(e_{i,1}/s_2)$ 의 합으로 나타내어진다. 여기서 $n_{e,1}$ 는 s_1 의 경계를 나타내는 다각형 에지의 개수를 의미한다.

$$\theta_{conn}(s_1/s_2) = \sum_{i=1}^{n_{e,1}} \theta_{conn}(e_{i,1}/s_2) \quad (2)$$

$\theta_{conn}(e_{i,1}/s_2)$ 는 s_2 의 경계를 나타내는 다각형의 개별 에지($e_{j,2}$)와의 연결성 $\theta_{conn}(e_{i,1}/e_{j,2})$ 의 최대값으로 정의되며 식(3)처럼 나타내어진다. 여기서 $n_{e,2}$ 는 s_2 의 경계를 나타내는 다각형 에지의 개수를 의미한다.

$$\theta_{conn}(e_{i,1}/s_2) = \max\{\theta_{conn}(e_{i,1}/e_{j,2}), j = 1, 2, \dots, n_{e,2}\} \quad (3)$$

최종적으로 $\theta_{conn}(e_{i,1}/e_{j,2})$ 는 에지의 거리, 에지 사이의 간격, 패치의 밀도 등을 고려하여 식(4)처럼 정의된다. 여기서 $Leng(e_{i,1})$ 은 에지 $e_{i,1}$ 의 길이, $Dist(e_{i,1}, e_{j,2})$ 는 에지 $e_{i,1}$ 과 $e_{j,2}$ 사이의 거리, $Dens(s_1)$ 은 표면패치 s_1 의 점밀도를 나타낸다.

$$\theta_{conn}(e_{i,1}/e_{j,2}) = \frac{Leng(e_{i,1})}{Dist(e_{i,1}, e_{j,2}) \cdot \sqrt{Dens(s_1)}} \quad (4)$$

연결성의 값에 부가하여 연결성의 유형을 정의하는데 이는 인접한 경계선에서 표면의 수직벡터의 변화에 따라 연속 및 비연속 유형으로 결정된다. 비연속 유형은 다시 오목(concave) 및 볼록(convex) 유형으로 나뉘어진다. 모든 3차원 인접 표면패치의 쌍으로부터 연결성을 계산하며 이를 바탕으로 표면패치 연결성 그래프를 구성한다.

두 개의 표면패치 사이의 돌출성은 하나의 표면패치가 다른 표면패치에 상대적으로 얼마나 돌출 또는 상승되어 있는지를 나타내도록 식(5)처럼 정의되었다. 이는 하나의 표면패치 s_1 과 이와 2차원적으로 인접한 각각의 표면패치(s_k) 사이에 계산된 돌출성 $\theta_{conn}(s_1/s_k)$ 의 합으로 정의된다. 여기서 $n_{s,1}$ 은 s_1 에 2차원적으로 인접한 표면패치의 개수를 나타낸다.

$$\theta_{elev}(s_1) = \sum_{k=1}^{n_{s,1}} \theta_{elev}(s_1/s_k) \quad (5)$$

또한, $\theta_{conn}(s_1/s_k)$ 는 s_1 의 경계를 나타내는 다각형의

개별 에지 $e_{i,1}$ 와 인접한 각각의 표면패치(s_k) 사이에 계산된 돌출성 $\theta_{elev}(e_{i,1}/s_k)$ 의 합으로 식(6)처럼 정의된다.

$$\theta_{elev}(s_1/s_k) = \sum_{i=1}^{n_{s,1}} \theta_{elev}(e_{i,1}/s_k) \quad (6)$$

여기서 $\theta_{elev}(e_{i,1}/s_k)$ 는 s_k 의 경계를 구성하는 다각형 에지 중에 $e_{i,1}$ 와 거리가 가장 가까운 에지 $e_{j,k}$ 와의 돌출성 $\theta_{elev}(e_{i,1}/e_{j,k})$ 으로 아래처럼 정의된다.

$$\theta_{elev}(e_{i,1}/s_k) = \theta_{elev}(e_{i,1}/e_{j,k}) \quad (7)$$

최종적으로 $\theta_{elev}(e_{i,1}/e_{j,k})$ 는 에지 $e_{i,1}$ 의 길이 $Leng(e_{i,1})$ 와 두 에지 사이의 고도차이 $Diff(e_{i,1}, e_{j,k}, z)$ 를 고려해서 아래처럼 정의된다.

$$\theta_{elev}(e_{i,1}/e_{j,k}) = Leng(e_{i,1}) \cdot Diff(e_{i,1}, e_{j,k}, z) \quad (8)$$

이렇게 정의된 돌출성은 하나의 패치가 인접한 주변의 패치들과 비교해서 상대적으로 돌출되어 있으면 양의 값으로 반대의 경우는 음의 값으로 설정된다. 지표면을 구성하는 표면패치는 주변의 다른 표면패치와 비교하면 일반적으로 돌출되어 있을 가능성이 아주 적기 때문에 돌출성은 표면패치의 집합으로부터 지표면 패치를 구분하는데 유용하게 활용된다.

(2) 표면패치의 그룹화

표면패치는 표면집단으로 그룹화하여 하나의 동일한 사물에서 비롯된 모든 표면패치들이 동일한 표면집단에 포함되고, 모든 지표면의 패치들은 적어도 하나의 표면집단에 포함되도록 한다. 그룹화를 위한 기준은 두 개의 표면패치로부터 계산된 연결성 값은 클수록, 상대적인 돌출성이 작을수록 그룹화의 가능성이 크게 되도록 설계하였다. 이러한 설계는 1) 비연속 볼록 및 연속 유형으로 연결된 두 개의 표면패치는 하나의 동일한 사물을 구성할 가능성이 크고, 2) 특히 지표면을 구성하는 표면패치 간에는 수직 방향으로의 불연속성이 존재할 가능성이 적다는 관측으로부터 근거한다. 앞에서 계산한 연결성 값의 크기가 큰 순서로 표면패치의 쌍을 꺼내와서 위에서 소개한 그룹화 기준에 따른 시험을 통해 그룹화하며, 연결된 표면패치가 더 이상 그룹화 기준을 만족하지 않을 때까지 이 과정을 반복적으로 수행한다.

3) 지표식별 : 지표면집단의 구별

지표면을 구성하는 것으로 기대되는 표면집단을 식

별하기 위해서 상대적으로 단순한 기준을 사용하였다. 이러한 기준은 지상 위의 사물은 일반적으로 지표와 비교하여 돌출되어 있으며 지표면의 넓이가 상대적으로 크다는 가정에 근거한다.

(1) 지표의 식별

지표식별 알고리즘은 표면집단의 집합에서 보다 낮은 돌출성 값과 보다 넓은 면적을 보이는 표면집단이 지표일 가능성이 높다는 가정에 기반한다. 이러한 알고리즘을 요약하면 아래와 같다.

1. 각각의 표면집단의 돌출성 값과 면적을 계산한다.
2. 표면집단을 2차원 인접성을 기준으로 그룹화한다. 곧, 각 그룹의 모든 집단은 2차원으로 인접된다.
3. 각각의 그룹에 포함된 모든 표면집단마다 두 개의 순위를 계산한다. 하나는 돌출성 값이 작은 순서로 다른 하나는 면적이 큰 순서로 결정한다.
4. 위의 두 개의 순위를 더한다.
5. 각각의 그룹에서 가장 높은 순위를 갖는 표면집단을 지표면집단으로 분류한다.
6. 식별된 지표면집단에 포함된 모든 점들을 지표점으로 명시한다.

(2) 후처리(post-processing)

대부분의 자동화된 알고리즘은 데이터의 특성에 따라 약간의 불완전한 결과를 생성할 수 있는데, 필요에 따라 이러한 결과를 수정 및 보완할 수 있는 사용자 상호작용에 기반한 후처리 과정을 채용하는 것이 필수적이다. 이에 본 연구에서도 아래와 같은 후처리 과정을 채용하여 자동방법의 결과가 불완전한 경우에만 선택적으로 수행하였다.

지표점 추출의 결과를 사용자가 육안을 통해 검증한다. 식별된 지표피쳐와 추출된 지표점을 이용하여 생성한 DTM을 다양한 시각(view angle)과 축척(scale)으로 3차원으로 표현하여 면밀히 조사한다. 조사를 통해 오류들이 발견되면 사용자 상호작용의 수정과정을 수행한다.

검증의 결과로 피쳐 또는 점들이 비정상적으로 지표로 식별된 것이 관측되면, 사용자에게 제공되는 편리한 GUI기반의 수단을 이용하여 수정한다. 점이 아닌 피쳐기반으로 수정을 수행하기 때문에 점기반방법보다 훨씬 편리한 수정수단을 채용할 수 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

1) 실험 데이터

미국의 동부해안도시인 Ocean City의 일부 지역의 데이터를 미국 NASA의 Airborne Topographic Mapper (ATM)이라는 원뿔형 스캐닝(conical scanning) 방식의 LIDAR를 이용하여 획득하였다. 시험 장소와 ATM에 대한 자세한 내용은 각각 Csatho *et. al.* (1998)와 Krabill *et. al.* (1995)이 소개하였다. 제안된 방법을 많은 데이터 셋(set)에 적용하였고, 여기서 그 중 세 개의 셋에 대한 결과를 제시하려고 한다. Table 1은 실험 데이터의 주요 특성을 요약한 것이다.

Table 1. Properties of the test data.

Set	No. points	Area [m ²]	Density [pts/m ²]
A	4633	5564	0.83
B	2902	2846	1.02
C	4381	21381	0.20

2) 실험 결과

(1) 데이터 셋 A

실험 결과는 이미 Fig. 1에서 요약하여 보여주고 있다. 복잡한 구조를 갖는 지붕을 구성하는 표면패치들이 적절하게 잘 분할되어 추출되고, 그룹화 과정을 통해 지표층을 구성하는 표면패치들이 하나의 표면집단으로 구성된 것을 볼 수 있다. 지표식별의 과정을 통해 표면집단 0는 다른 표면집단과 비교하여 현저히 작은 돌출성 값과 큰 면적을 갖기 때문에 지표로 식별된 것을 알 수 있다. 최종적으로 출력된 지표점을 입력으로 사용된 점들과 비교하면, 건물의 지붕에 측정된 점들은 물론이고 건물 주변에 위치한 나무들과 심지어 주차장에 주차되거나 도로에서 운행 중인 자동차들에서 측정된 점들까지 아주 깨끗하게 제거되었음을 볼 수 있다. Fig. 2(a)와 (b)는 모든 점으로부터 생성한 DSM과 추출된 지표점으로부터 생성한 DTM을 보여준다. DSM과 비교하면 DTM에서는 건물, 건물주변의 나무들과 차량들이 효과

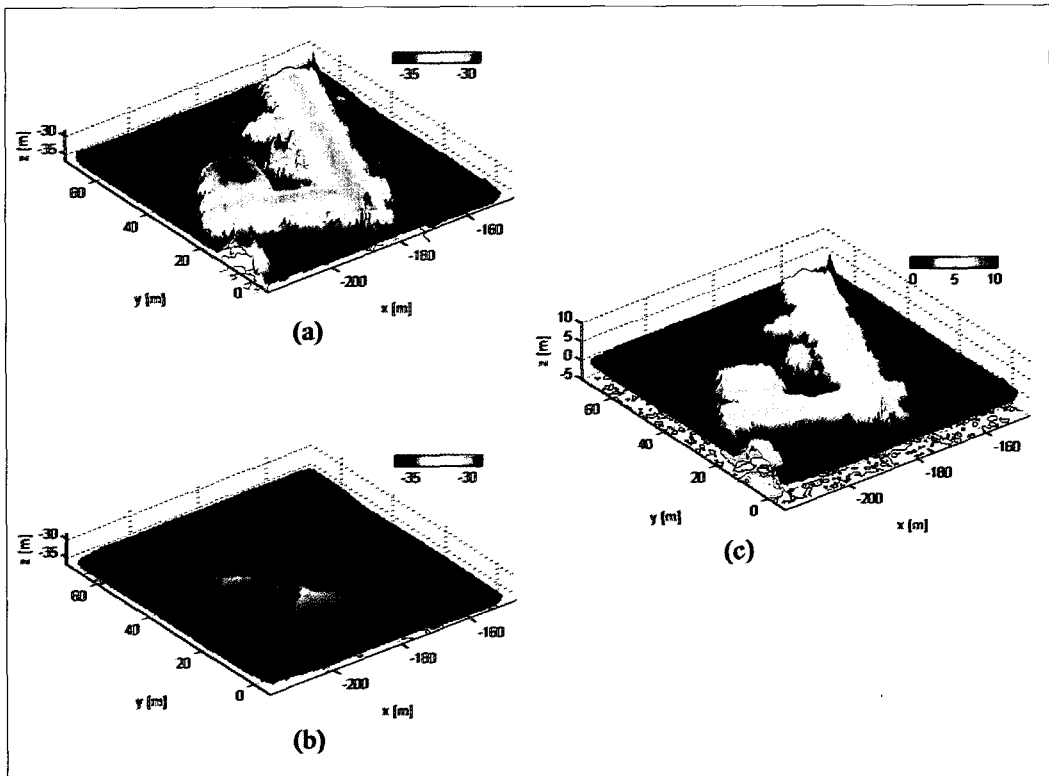


Fig. 2. DEM generation: (a) DSM generated from all the points. (b) DTM generated from the ground points. (c) Above-ground DEM generated by subtracting the DTM from the DSM.

적으로 제거되었음을 볼 수 있다. Fig. 2(c)는 위에서 DSM을 DTM으로 차감하여 얻은 지상 위의 사물만을 나타내는 DEM이다. 지상 위의 사물을 모델링하거나 변화를 감지하는 목적으로 효과적으로 사용될 수 있다.

(2) 데이터 셋 B

여기서는 특히 많은 나무들로 채워진 지역(R)의 결과를 살펴보도록 하자. 이 지역의 데이터는 나무로부터 측

정된 점들과 지표로부터 측정된 점들이 섞여있다. 이 곳의 점들은 분할과정을 통해 지표로부터 측정된 점들은 전체 지표를 구성하는 넓고 매끄러운 패치(ID: 0)로 분할되고, 나머지 나무로부터 측정된 점들은 거친 패치(ID: 19)로 분할된다. 나무가 많이 있는 지역임에도 불구하고 중에 오직 지표로부터 측정된 점들만 지표를 구성하는 패치로 그룹화되기 때문에 이런 지역의 지표점 추출에 성공적으로 적용된다. Fig. 3에서 보이는 것처럼

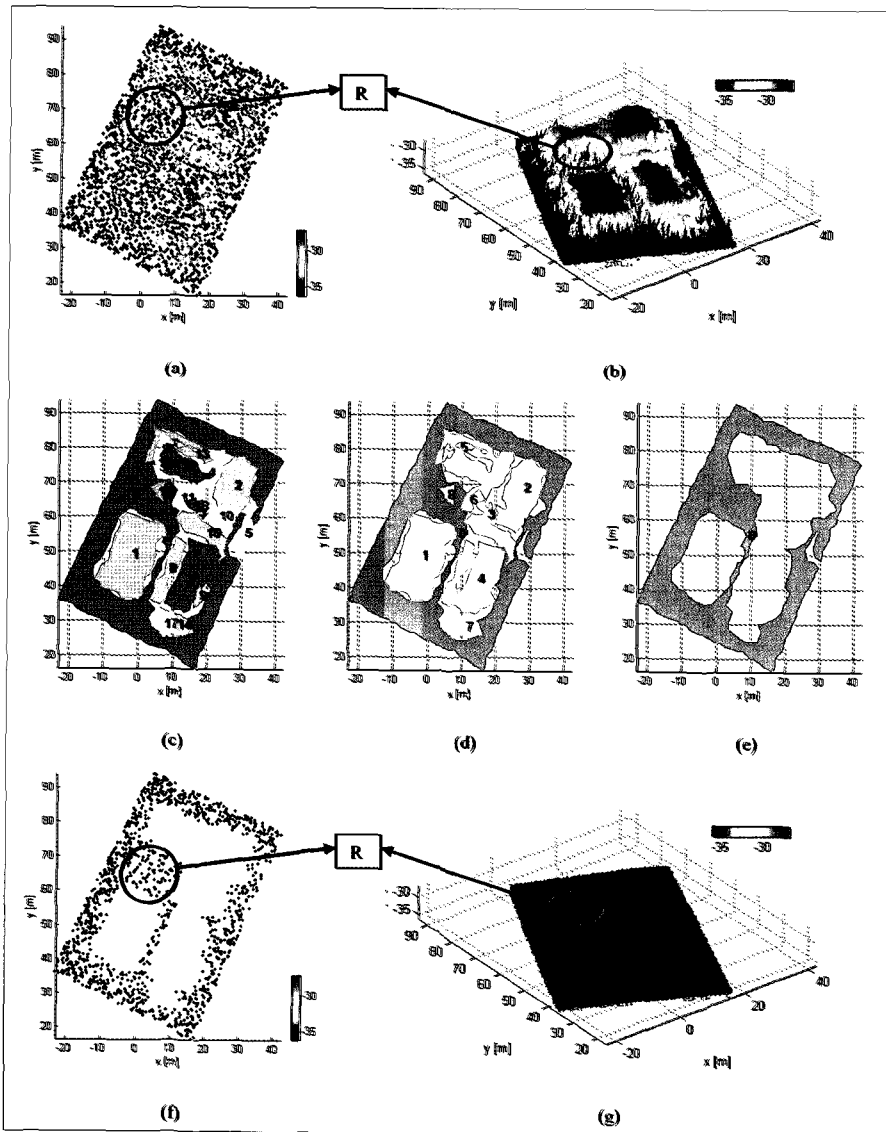


Fig. 3. Experimental result from dataset B: (a) A set of 3D points used as the input. (b) DSM generated from all the input points. (c) Surface patches generated through the segmentation process. (d) Surface patch clusters generated by grouping the segmented surface patches. (e) Surface patch clusters identified as the ground. (f) Ground points as the final output. (g) DTM generated from the extracted ground points.

추출된 지표점을 이용해 생성한 DTM도 합리적이다.

(3) 데이터 셋 C

Fig. 4는 데이터 셋 C로부터 생성된 결과를 보여준다. 도시지역의 데이터인 이전의 셋과 달리 본 데이터

셋은 구릉지역의 데이터로써 포함된 지표면이 평면이기 보다는 2차 곡면에 더 가깝게 근사된다. 이러한 데이터에 평면패치 분할에 기반한 제안된 방법을 적용하여 그 성능을 평가하였다. Fig. 4(c)에서 보이는 것과 같이, 지표로부터 측정된 점들은 여러 개의 작은 평면패치로 과

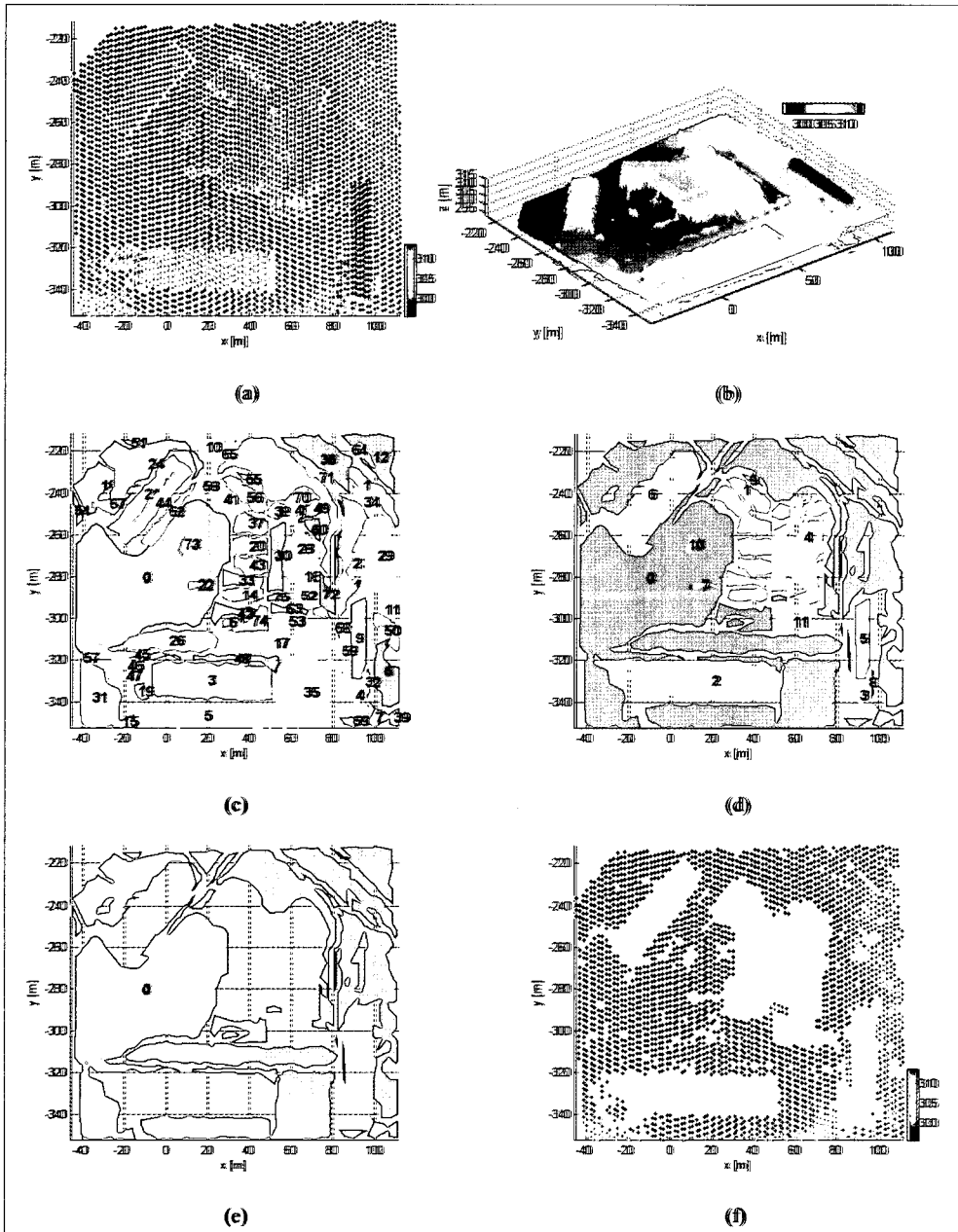


Fig. 4. Experimental result from dataset C: (a) A set of 3D points used as the input. (b) DSM generated from all the input points. (c) Surface patches generated through the segmentation process. (d) Surface patch clusters generated by grouping the segmented surface patches. (e) Surface patch clusters identified as the ground. (f) Ground points as the final output.

도분할(over-segmentation)이 된다. 분할된 패치들은 이어지는 그룹화 과정을 통해 Fig. 4(d)에서 나타나는 것처럼 하나의 표면군집으로 합쳐지고, 합쳐진 군집은 지표면으로 분류되었다.

4. 결론

본 논문은 LIDAR 데이터로부터 지표점을 자동 추출하는 피쳐기반방법을 제안하였다. 제안된 방법은 인지적 구성의 원리를 이용하여 점들을 평면패치로 분할한 후 패치들을 그룹화하고 표면군집을 생성한다. 생성된 표면군집 중에서 지표면 군집을 식별한 후 이 군집에 포함된 점들을 최종적으로 지표점으로 분류한다. 제안된 방법을 항공 LIDAR 실측 데이터에 적용한 후 그 결과를 정성적으로 평가함을 통해 제안된 방법의 성능을 실험적으로 입증하였다.

결론적으로 제안된 피쳐기반의 지표점 추출방법이 포함하는 네 가지 장점을 강조하려고 한다.

첫째는 피쳐는 블런더(blunder)의 영향을 덜 받기 때문에 보다 안정적인 결과를 획득할 수 있다는 점이다. LIDAR 데이터는 일반적으로 어느 정도의 블런더를 항상 포함하며, 블런더는 DEM 생성 시에 잘못된 고도값을 유발하며, DEM으로부터 잘못된 고도값을 제거하는 작업에는 많은 자원이 소요된다. 제시된 방법에선 점들로부터 피쳐를 구성하는데 블런더는 보통 주변 점들과 공간적 일관성이 없기 때문에 피쳐로 그룹화되지 않기 때문에 피쳐기반의 본 방법은 블런더에 아주 강하다.

둘째는 피쳐의 개수가 점의 개수보다 훨씬 적기 때문에 지표여부를 시험하기 위한 개체의 개수가 크게 줄어들었다는 점이다. 지표로의 식별여부를 판단하는 시험의 회수는 점기반방법에서는 점의 개수에 비례하고 피쳐기반방법에선 피쳐의 개수에 비례한다. 많은 수의 점을 그룹화하여 피쳐를 구성했기 때문에 피쳐의 개수는 점의 개수보다 훨씬 적고 이에 따라 시험의 회수도 크게 줄어든다. 시험의 회수가 줄어들면 상대적으로 보다 복잡하고 정교한 시험을 채용할 수 있다는 장점이 있다.

셋째는 피쳐로부터 유도되는 보다 다양하고 정교한 속성을 지표 개체의 식별을 위해 활용할 수 있다는 점이다. 점기반방법에선 한 점과 일부 주변 점들의 좌표로부

터 계산된 단순한 속성들을 이용하는 것에 비교하여, 피쳐기반방법은 피쳐로부터 유도될 수 있는 다양한 고차원적인 속성들을 - 예를 들면, 피쳐의 거칠기, 윤곽의 형태, 크기 등과 피쳐와 주변 피쳐 사이의 관계 등 - 이용할 수 있다.

넷째는 완벽하지 않은 자동추출의 결과를 사용자의 상호작용을 통해 보완하기 위한 보다 간편하고 실용적인 피쳐기반의 수정단계를 채용할 수 있다는 점이다. 피쳐기반방법은 피쳐 단위로 수정이 가능하기 때문에 점기반방법에서 개별점을 하나하나 수정하는 번거로움을 줄일 수 있다.

향 후 계획으로는 보다 다양한 종류의 데이터에 제안된 방법을 적용하여 시험하고, 또한 그 결과를 보다 정량적인 방법으로 분석하는 기술을 개발하려고 한다. 또한, 분할 및 그룹화 방법을 보완하여 건물의 자동 추출에 적용하려고 한다. 마지막으로 다른 센서의 데이터 특히 컬러 항공 영상의 데이터와 융합에 기반한 방법으로 확장하려고 한다.

사 사

저자는 Toni Schenk와 Bea Csatho를 포함하여 미국오하이오주립대 사진측량학 그룹의 협력에 깊은 감사를 드립니다. 또한, 미국 NASA Wallop Flight Facility의 William Krabill과 Serdar Manizade를 포함한 ATM 운영팀에 ATM 데이터를 획득하고 처리한 것에 감사 드립니다. 또한, 본 논문의 수정 및 편집에 많은 도움을 주었던 서울시립대학교 지적정보학과 최경아 연구원에게 감사 드립니다.

참고문헌

- 이임평, 2006. 항공 라이다 데이터의 분할: 점에서 패치로, 한국측량학회지, 24(1): 111-121.
- Axelsson, P. E., 2000. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing, Amsterdam, Netherlands, Vol.XXXIII, Part.B4/1,

110-117.

- Csatho, B., W. Krabill, J. Lucas, and T. Schenk, 1998. A multisensor data set of an urban and coastal scene. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*, Columbus, OH, Vol.XXXII, Part.3/2, 26-31.
- Elmqvist, M., 2001. Ground estimation of laser radar data using active shape models. OEEPE workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for detailed digital elevation models. Stockholm, Sweden.
- Kilian, J., N. Haala, and M. Englich, 1996. Capture and evaluation of airborne laser scanner data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*, Vienna-Austria, Vol.XXXI, Part.B3, 383-388.
- Krabill, W. B., R. H. Thomas, C. B. Martin, R. N. Swift, and E. B. Frederick, 1995. Accuracy of airborne laser altimetry over the Greenland ice sheet. *International Journal of Remote Sensing*, 16(7): 1211-1222.
- Kraus, K. and N. Pfeifer, 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53(4): 193-203.
- Kraus, K. and N. Pfeifer, 2001. Advanced DTM generation from LIDAR data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*, Annapolis, MD, Vol.XXXIV, Part.3/W4, 31-36.
- Lee, I., 2002. Perceptual Organization of Surfaces. Ph.D. Dissertation, Dept. of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus, OH.
- Lee, I. and T. Schenk, 2001. Autonomous extraction of planar surfaces from airborne laser scanning data, ASPRS Annual Conference, St. Louis, MO.
- Lee, I. and T. Schenk, 2002. Perceptual organization of 3D surface points, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*, Graz, Austria, Vol.XXXIV, Part.3A, 193-198.
- Sithole, G., 2001. Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*, Annapolis, MD, Vol.XXXIV, Part.3/W4, 203-210.
- TerraScan, 1999. TerraScan for microStation, user's guide. TerraSolid Ltd., Helsinki, Finland.
- Vosselman, G., 2000. Slope based filtering of laser altimetry data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*, Amsterdam, Netherlands, Vol.XXXIII, Part.B3, 935-942.