

라이다 데이터로부터 지표점의 자동 추출

Automatic Extraction of Ground Points from LIDAR data

이임평

Impyeong Lee

서울시립대학교 도시과학대학 지적정보학과

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

요약내용: 지표점의 추출은 DTM 생성을 위한 가장 중요한 과정이다. 기존의 추출 방법은 대부분 점기반방법으로 분류될 수 있다. 점기반방법은 모든 점을 개별적으로 각각의 점이 지표점을 구성하는지를 시험한다. 이 때 시험의 회수는 점의 개수와 동일하기 때문에, 특히 다량의 점을 포함한 데이터를 처리하려면 시험과 관련되어 심각한 계산량이 유발되어 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 피처에 기반한 방법을 제안한다. 여기서, 피처란 점을 그룹핑하여 얻을 수 있는 개체를 의미한다. 제안된 방법은 먼저 점들로부터 표면패치들을 생성하고, 이어서 표면패치들로부터 표면집단들을 구성한다. 표면집단들로부터 지표점을 구성하는 표면집단을 식별한 후 식별된 표면집단에 포함된 모든 점들을 지표점으로 명시한다. 제안된 방법을 항공라이다 실측데이터에 적용하여 제안된 방법의 뛰어난 성능을 실험적으로 증명하였다.

1. 서론

라이다는 레이저 스캐너를 이용하여 측정한 센서와 표적과의 거리, GPS (Global Positioning System)와 INS (Inertial Navigation System)로부터 생성된 센서의 위치 및 방향을 결합하여 표적의 3차원 좌표를 생성하는 센서이다. 표면의 3차원 좌표를 조밀하고 간편하게 획득할 수 있다는 장점에 힘입어 다양한 응용 분야에 기존의 사진측량 데이터를 보완하거나 대체하는 용도로 널리 활용되고 있다.

라이다가 처음 개발된 이래로 가장 널리 활용되는 분야 중의 하나는 DTM (Digital Terrain Model)을 생성하는 것이다. 여기서 DTM은 예를 들어 빌딩이나 나무와 같은 지상 위의 다양한 사물을 제외하고 순수하게 지표면만을 3차원으로 기술하는 모델이다. 반면에, 지상 위의 다양한 사물까지를 포함한 모델은 DSM (Digital Surface Model)이라 명명한다. DTM과 DSM 모두 DEM (Digital Elevation Model)로 소속되며 지상에 설정된 격자의 각각의 격자점에서 측정된 높이를 행렬의 형태로 포함한다.

DTM은 흔히 데이터의 검증 및 보정, 불필요한 데이터의 제거, 설정된 격자로의 내삽 등의 과정을 통해 생성된다. 여기서 불필요한 데이터란 라이다로 획득된 다량의 점들로부터 지표가 아닌 지상 위의 사물에서 측정되거나 또는 아주 큰 오차를 포함하는 점들을 의미한다. 불필요한 데이터를 제거하는 과정은 결국 지표점, 곧, 지표에서 측정된 비교적 오차가 적은 점들만을 추출하는 과정이다. 이러한 지표점 추출은 DTM생성에 가장 중요하고 어려운 과정으로 간주되며, 최근 들어 여러 학자들에 의해 연구되어 오고 있으나, 기존의 많은 연구들은 여전히 많은 문제점들을 포함하고 있는 실정이다.

대부분의 기존의 연구방법(예를 들면, Kilian et. al., 1996; Kraus and Pfeifer, 1998; Vosselman, 2000)은 점기반방법(point based approach)이다. 점기반방법은 주어진 대량의 점들에서 각각의 점을 개별적으로 시험하여 지표면으로부터 측정된 것인지를 결정하는 방법이다. 이러한 시험은 주로 각각의 점과 그 주변의 점들로부터 계산된 국부적인(local) 속성(attributes)에 기반한다. 이러한 점기반방법은 주어진 점의

개수만큼이나 많은 시험을 수행하여야 하기 때문에 데이터의 크기가 커질수록 계산량의 증가가 크게 문제가 된다. 또한, 국부적인 속성만을 주로 활용하기 때문에 광역적인 관점으로 정의되어야 하는 지표를 결정하기가 근본적으로 불가능한 경우도 많다.

이에 본 연구의 목적은 점이 아닌 피쳐(feature)에 기반한 효율적이고 실용적인 방법을 개발하는 것이다. 여기서 피쳐란 점들을 그룹핑하여 구성할 수 있는 표면패치(surface patch)과 같은 개체를 의미한다. 피쳐에 기반한 방법은 피쳐의 개수가 점의 개수보다 훨씬 적기 때문에 시험에 수반되는 계산량이 감소되고, 또한, 피쳐로부터 유추할 수 있는 보다 다양한 종류의 속성을 시험에 활용할 수 있는 등의 다양한 장점을 기대할 수 있다.

본 논문은 먼저 제안된 방법의 개념적이고 이론적인 관점으로 간략히 설명하고, 제안된 방법을 항공 라이다 실측 데이터에 적용한 결과를 소개하고, 마지막으로 간단한 결론으로 마무리한다.

2. 연구방법

제안된 연구방법은 입력으로 주어진 점들로부터 피쳐를 생성하고, 생성된 피쳐로부터 지상을 구분하는 과정으로 구성된다. 피쳐의 생성은 점들로부터 표면패치(surface patch)를 분할(segmentation)하고, 분할된 패치들을 그룹핑하여 표면집단(surface cluster)을 구성함을 통해 이루어진다. 이러한, 분할 및 그룹핑 과정은 기본적으로 저자가 수행한 이전의 연구(Lee and Schenk, 2001a; Lee and Schenk, 2001b; Lee and Schenk, 2002; Lee, 2002)로 개발한 인지적 구성(perceptual organization) 과정에 기반한다.

이 문단은 제안된 방법의 개념적이고 이론적인 측면만을 소개한다. 논문의 길이에 제한되어 수학 및 알고리즘 측면은 의도적으로 생략하였고 보다 자세한 내용은 Lee (2002)의 연구를 참고하도록 한다.

2.1 표면패치의 분할

점들로부터 표면패치를 분할하는 과정은 점들 사이의 인접성(adjacency)을 설정

하고, 종자패치(seed patch)들을 선택하고, 종자패치들로부터 표면패치를 성장시키고, 마지막으로 표면경계(surface boundary)를 계산하는 것으로 이루어진다. 각각의 표면패치에 패치를 구성하는 내부점, 내부점에 근사된 표면모델의 계수, 근사의 오차와 표면경계로 명시된다. 근사에 사용되는 표면모델은 지형에 따라 선택되지만 단순한 평면모델이 대부분의 경우에 효과적이다.

인접성의 설정: 점들간의 상호적인 인접성은 점사이의 간격에 의거하여 결정한다. 세 가지 유형의 인접성이 정의되었다. 먼저 2차원 인접성은 수평간격이 주어진 임계값보다 작은 한쌍의 점에 할당된다. 2차원 인접성을 지닌 한쌍의 점의 3차원 간격도 임계값보다 작으면 3차원 인접성을 할당하고 그렇지 않은 경우에는 '2차원 오직' 인접성을 할당한다. 할당된 인접성에 근거하여 '점 인접성 그래프'를 생성한다. 이 그래프에서 개개의 노드는 하나의 점을 포함하고, 노드와 노드를 연결하는 하나의 아크(arc)는 인접성과 그 유형을 포함한다.

종자패치의 선택: 종자패치는 점들의 집합으로 구성되며 표면패치를 성장시키기 위한 초기패치로 사용된다. 이러한 종자패치의 집합은 가능한 완전(complete)하고 균질(homogeneous)해야 한다. 여기서 완전성은 점들의 집합에 실제로 포함된 모든 표면패치가 종자패치들로부터 성장될 수 있어야 한다는 것을, 균질성은 종자패치가 주어진 표면모델에 충분히 부합되어야 한다는 것을 의미한다. 종자패치를 선택하는 과정은 먼저 모든 개개의 점들로부터 하나의 작은 패치를 생성하고, 각각의 패치에 주어진 표면모델로 근사하고, 이러한 종자패치를 힙(heap)에 저장한다. 여기서 힙은 이어지는 패치 성장 과정에서 최소의 근사 오차를 갖는 곧 표면모델에 가장 부합한 패치가 먼저 꺼내질 수 있도록 패치들을 효율적으로 저장하는 데이터 구조이다.

표면패치의 성장: 표면패치를 종자패치로부터 성장시키고 검증한다. 성장 과정은 힙으로부터 순차적으로 꺼내온 하나의 종자패치를 초기패치로 설정하는 것으로 시작된다. 이 패치에 인접한 점이 패치와 통계적으로 부합하면 그러한 점을 표면패치에 추가하는 것을 더 이상의 인접점이 부

합하지 않을 때까지 반복적으로 수행한다. 이렇게 성장된 패치는 크기, 거칠기, 기하학적 모양에 근거하여 검증한다.

표면경계의 계산: 표면패치의 경계는 패치의 내부점들이 나타내는 일반적인 윤곽(outline)을 의미한다. 본 논문에서는 표면 경계를 계산하기 위해 Edelsbrunner 등(1983)이 개발한 알파 윤곽 알고리즘(the alpha-shape algorithm)을 이용한다. 알파 윤곽은 Delaunay 삼각망(triangulation)의 부분 그래프이다. 여기서 변수 알파에 따라 생성된 윤곽의 해상도가 결정된다.

2.2 표면집단의 구성

표면패치들로부터 인지적으로 의미있는 표면집단으로 구성한다. 이는 인지적 단서(cues)를 계산하고 이를 바탕으로 패치를 그룹핑하여 표면집단을 생성하는 과정으로 이루어진다.

인지적 단서의 계산: 두 개의 인지적 단서, 곧, 연결성(connectedness)과 돌출성(Elevatedness)를 계산한다. 연결성은 두 개의 표면패치가 원래 서로 연결되어 있었다는 가설에 대한 신뢰도를 나타낸다. 연결성은 두 개의 표면패치간의 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 돌출되어 또는 상승되어 있는지를 나타내도록 정의되었다. 하나의 표면패치와 이에 인접한 각각의 모든 표면패치 사이에 계산된 돌출성의 합은 그 표면패치의 돌출성으로 정의된다. 지표면을 구성하는 표면패치는 주변의 다른 표면패치와 비교하면 일반적으로 돌출되어 있을 가능성이 아주 적기 때문에 돌출성은 표면패치의 집합으로부터 지표면 패치를 구분하는데 유용하게 활용된다.

표면패치의 그룹핑: 표면패치는 표면집단으로 그룹핑하여 하나의 동일한 사물에서 - 적어도 지표면에서 - 비롯된 모든 표면패치들이 하나의 동일한 표면집단에 포함되도록 한다. 그룹핑을 위한 기준은

두 개의 표면패치로부터 계산된 연결성 값이 클수록 돌출성의 절대값은 작을수록 그룹핑의 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 그룹핑 기준에 따라 시험하여 그룹핑하는 것을 더 이상의 연결된 표면패치가 그룹핑 기준을 만족하지 않을 때까지 반복적으로 수행한다.

2.3 지표면집단의 식별

지표면을 구성하는 것으로 기대되는 표면집단을 식별하기 위해서 상대적으로 아주 단순한 기준을 사용하였다. 이러한 기준은 지상 위의 사물은 일반적으로 지표와 비교하여 돌출되어 있으며 지표면의 넓이가 상대적으로 크다는 가정에 근거한다. 특정한 데이터에 조심스럽고 신중하게 다듬지 않은 아주 단순하고 약간은 조악한 기준 및 전략을 이용해도 피처기반방법은 어느 정도 합리적인 결과를 생성할 수 있다는 것을 의도한다.

지표의 식별: 지표 식별 알고리즘은 표면집단의 집합에서 보다 낮은 돌출성 값과 보다 넓은 면적을 보이는 표면집단이 보다 높은 지표일 가능성을 가진다는 가정에 기반한다. 이러한 알고리즘을 아래처럼 요약된다.

1. 각각의 표면집단의 돌출성 값과 면적을 계산한다.
2. 표면집단을 2차원 인접성을 기준으로 그룹핑한다. 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.

지표점의 명시: 식별된 지표면집단에 포함된 모든 점들을 지표점으로 명시한다.

3. 결과 및 토의

3.1 실험 데이터

미국의 동부해안도시인 Ocean City의 일부 지역의 라이다 데이터를 미국 NASA의 Airborne Topographic Mapper (ATM)이라는 원뿔형 스캐닝(conical scanning) 방식의 라이다를 이용하여 획득하였다. 시험 장소와 ATM에 대한 자세한 내용은 각각 Csatho 등(1998)와 Krabill 등(1995)이 소개하였다. 제안된 방법을 많은 데이터 세트(set)에 적용하였고, 여기서 그 중 하나의 세트에 대한 결과를 제시하려고 한다. 그림 1(f)의 참조용 항공사진에서 볼 수 있는 것처럼 도로, 주차장, 복잡한 구조의 지붕을 갖는 대형건물, 잔디밭, 나무 등을 포함하는 전형적인 도시 지역의 데이터이다. 4633개의 점을 포함하며, 평균 점 밀도는 약 0.83 점/m²이다. 원뿔형 스캐닝 방식의 특성상 점 밀도는 그림 1(a)에서 보는 것처럼 균

일하지 않은데 이 또한 이러한 데이터를 처리하기 어려운 점이다.

3.2 실험 결과

실험 결과를 입력, 단계별 출력, 최종 출력으로 참조용 항공 사진과 함께 그림 1에서 요약하여 보여주고 있다.

표면패치의 분할: 그림 1(b)는 점들의 집합으로부터 표면패치를 분할한 결과를 보여준다. 복잡한 구조를 갖는 지붕을 구성하는 표면패치들이 적절하게 잘 분할되어 추출된 것을 볼 수 있다. 또한, 선A로 표시한 부분을 경계로 건물 주변의 잔디밭과 도로와는 약 50 cm 에 못 미치는 높이의 턱으로 분리되어 있는데 제안된 분할 알고리즘으로 두 개의 독립된 표면패치로 성공적으로 분할된 것을 볼 수 있다.

표면집단의 구성: 그림 1(c)는 위에서 분할한 표면패치를 다시 그룹핑하여 표면집단을 구성한 결과를 보여준다. 영역 B에서 보이는 것처럼 잔디밭과 주차장을 구

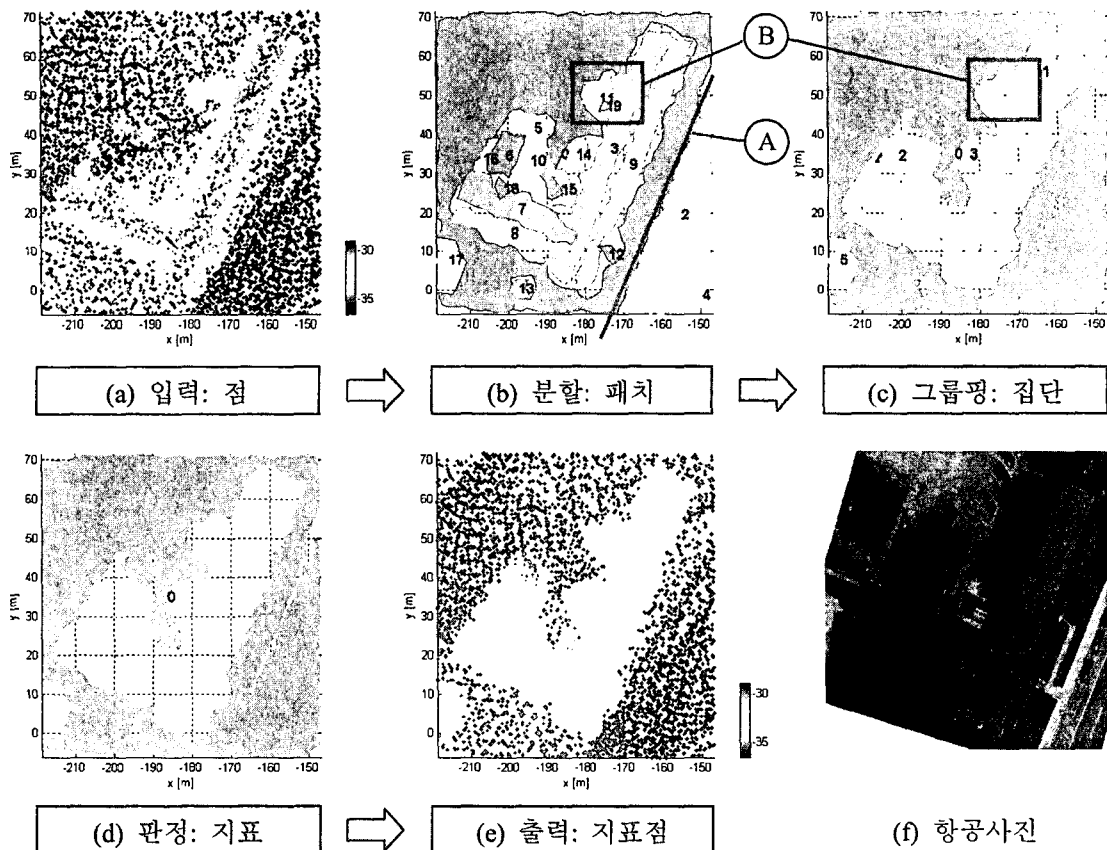


그림 1. 실험결과: (a) 입력 데이터: 라이다로 획득된 점, 색깔은 고도를 의미한다. (b) 분할: 표면패치. (c) 그룹핑: 표면집단. (d) 식별: 지표면집단. (e) 최종출력: 지표점. (f) 참조용 항공사진

하는 표면패치 0와 15와 도로를 구성하는 표면패치 2와 4가 선A에서 측정된 연결성이 높기 때문에 하나의 표면집단으로 구성되었는데 이는 바람직한 결과이다. 그러나, 표면패치 11과 19는 사실 나무를 구성하는 패치임에도 불구하고 건물의 지붕과 고도가 비슷하면서 인접함으로 인해 연결성이 높아져서 지붕과 하나의 표면집단으로 구성되었는데 이는 반대로 바람직하지 못한 결과이다. 그러나, 일단 본 연구에서는 지표 추출하는데 목적이 있기 때문에 지표를 구성하는 표면패치들이 하나의 표면집단으로 구성되는 것이 중요하고 나머지 표면집단의 적절성은 크게 중요하진 않다. 추 후에 빌딩 추출의 목적에 사용하려면 표면집단 구성의 알고리즘에 보완이 필요할 것이다.

지표면집단의 식별: 그림 1(d)는 구성된 표면집단의 집합에서 실제로 지표를 구성하는 표면집단을 식별한 결과를 보여준다. 표면집단 0는 다른 표면집단과 비교하여

현저히 작은 돌출성 값과 큰 면적을 갖기 때문에 지표로 식별되었다.

지표점의 명시: 그림 1(e)는 최종적으로 표면집단 0에 포함된 모든 점들을 지표점으로 명시한 결과를 보여준다. 그림 1(a)의 원래 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.

DEM의 생성: 그림 2(a)와 (b)는 모든 점과 추출된 지표점으로부터 각각 생성한 DSM과 DTM을 보여준다. DSM과 비교하면 DTM에서는 건물, 건물 주변의 나무들과 차량들이 효과적으로 제거되었음을 볼 수 있다. 그림 2(c)는 위에서 DSM을 DTM으로 차감하여 얻은 지상 위의 사물만을 나타내는 DEM이다. 지상 위의 사물을 모델링하거나 변화를 감지하는 목적으로 효과적으로 사용될 수 있다.

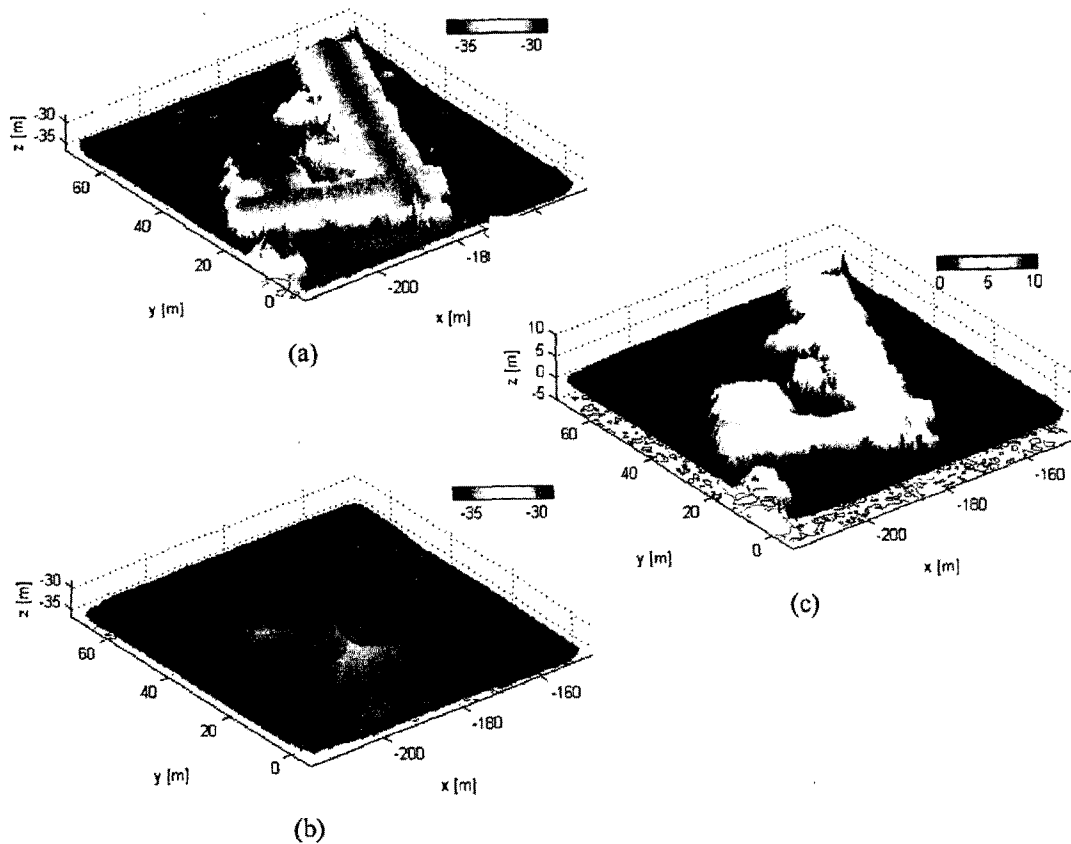


그림 2. DEM 생성: (a) 모든점으로부터 생성한 DSM. (b) 지표점으로부터 생성한 DTM. (c) DSM에서 DTM을 차감하여 생성한 지상 위의 사물에 대한 DEM.

4. 결론

DTM 생성을 위해 라이다 데이터로부터 지표점을 자동 추출하는 피쳐기반방법을 제안하였다. 제안된 방법은 인지적 구성의 원리를 이용하여 점들을 분할 및 그룹핑을 통해 얻은 피쳐들로부터 지표피쳐를 식별하는 것에 기반한다. 제안된 방법을 항공 라이다 실측 데이터에 적용하여 제안된 방법의 뛰어난 성능을 실험적으로 입증하였다.

결론적으로 제안된 방법이 포함하는 대략 네 가지 장점을 강조하려고 한다. 첫째는 피쳐는 블런더(blunder)의 영향을 덜 받기 때문에 보다 안정적인 결과를 획득할 수 있다는 점이다. 둘째는 피쳐의 개수가 점의 개수보다 훨씬 적기 때문에 지표여부를 시험하기 위한 개체의 개수가 크게 줄어들었다는 점이다. 셋째는 피쳐로부터 유도되는 보다 다양하고 정교한 속성을 지표 개체를 식별을 위해 활용할 수 있다는 점이다. 마지막으로 이 논문에서는 이용하지는 않았지만, 완벽하지 않은 자동추출의 결과를 수동으로 보완하기 위한 보다 간편하고 실용적인 피쳐기반의 수정단계를 채용할 수 있다는 점이다.

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

감사의글

본 연구는 서울시립대학교의 지원으로 수행되었습니다. 저자는 Toni Schenk와 Bea Csatho를 포함하여 미국오하이오주립대 사 진측량학 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.

참고문헌

- Csatho, B., W. Krabill, J. Lucas, and T. Schenk, 1998. A multisensor data set of an urban and coastal scene. In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*. Columbus-OH, Vol. XXXII, Part.3/2, pp. 26-31.
- Edelsbrunner, H., D. G. Kirkpatrick, and R. Seidel, 1983. On the shape of a set of points in the plane. *IEEE Transactions on Information Theory*, 29(4):551-559.
- Kilian, J., N. Haala, and M. Englich, 1996. Capture and evaluation of airborne laser scanner data. In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*. Vienna-Austria, Vol. XXXI, Part. B3, pp. 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.
- Lee, I., and T. Schenk, 2001a. Autonomous extraction of planar surfaces from airborne laser scanning data, In: *ASPRS Annual Conference*, St. Louis-MO.
- Lee, I., and T. Schenk, 2001b. 3D perceptual organization of laser altimetry data, In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*. Annapolis-MD, Vol. XXXIV, Part.3/W4, pp. 57-65.
- Lee, I., and T. Schenk, 2002. Perceptual organization of 3D surface points, In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*. Graz-Austria. Vol. XXXIV, Part.3A, pp. 193-198.
- 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.
- Vosselman, G., 2000. Slope based filtering of laser altimetry data. In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*. Amsterdam-Netherlands, Vol. XXXIII, Part. B3, pp. 935-942.