

가중 경사 커널 기반 LiDAR 미추출 지형 분류 개선 LiDAR Ground Classification Enhancement Based on Weighted Gradient Kernel

이호영* · 안승만** · 김성수*** · 성효현**** · 김창현*****

Lee, Ho Young · An, Seung Man · Kim, Sung Su · Sung, Hyo Hyun · Kim, Chang Hun

要 旨

항공레이저측량을 통한 지형 분류작업은 분류 정확도의 확보와 세밀한 지형 표현의 두 목표를 동시에 만족해야 한다. 이 두 목표를 달성하기 위한 자동분류 처리에 연구로서 노이즈가 많은 지형분류 결과로부터 필터링을 통한 품질향상 연구가 다수 있었으나 한국과 같이 삼림이 울창하고 지표면 투과율이 낮은 환경에서의 항공레이저측량 결과 적용 시 관목 및 교목 하층이 지면으로 분류되는 오류가 많았다. 이에 본 연구는 정확도가 높고 점밀도가 낮은 1차 지형분류 결과를 기반으로 아직 지형으로 등록되지 않은 LiDAR 지형 분류 후보 점군들로부터 세밀 지형 표현에 필요한 점들을 추출하는 기법으로 점분류 처리절차를 개선하였다. 주변 지형 포인트의 가중치를 부여하여 경사 (gradient) 계산을 통해 미추출 LiDAR 점군들로부터 지형 표현 점들을 분류하는 본 알고리즘은 특히 능선부분의 사라진 특징을 찾아내거나 무너진 논둑을 복원하는 등 최소의 점들로 중요한 지형 요소점(terrain model key points)을 놓치지 않고 세밀하게 표현하는데 효과적이다. 이 알고리즘을 통해 추출한 점들과 1차 지형분류 결과를 결합하여 지형분류최적화 방법을 제안하였다.

핵심용어 : LiDAR, 항공레이저측량, 경사, 점군

Abstract

The purpose of LiDAR ground classification is to archive both goals which are acquiring confident ground points with high precision and describing ground shape in detail. In spite of many studies about developing optimized algorithms to kick out this, it is very difficult to classify ground points and describing ground shape by airborne LiDAR data. Especially it is more difficult in a dense forested area like Korea. Principle misclassification was mainly caused by complex forest canopy hierarchy in Korea and relatively coarse LiDAR points density for ground classification. Unfortunately, a lot of LiDAR surveying performed in summer in South Korea. And by that reason, schematic LiDAR points distribution is very different from those of Europe. So, this study propose enhanced ground classification method considering Korean land cover characteristics. Firstly, this study designate highly confident candidate LiDAR points as a first ground points which is acquired by using big roller classification algorithm. Secondly, this study applied weighted gradient kernel(WGK) algorithm to find and include highly expected ground points from the remained candidate points. This study methods is very useful for reconstruct deformed terrain due to misclassification results by detecting and include important terrain model key points for describing ground shape at site. Especially in the case of deformed bank side of river area, this study showed highly enhanced classification and reconstruction results by using WGK algorithm.

Keywords : LiDAR, Airborne Laser Scanning System, Gradient, Point cloud

2010년 2월 16일 접수, 2010년 3월 15일 채택

* 정희원 · (주)아세아항공측 부설연구소 연구원, 고려대학교 컴퓨터학과 박사과정(flymist@korea.ac.kr)

** 정희원 · (주)아세아항공측 부설연구소 책임연구원(asiarnd@gmail.com)

*** 정희원 · (주)아세아항공측 부설연구소 수석연구원(asiagis.research.lab@gmail.com)

**** 이화여자대학교 사회생활학과 교수(asiarnd@gmail.com)

***** 교신저자 · 고려대학교 컴퓨터학과 교수(chkim@korea.ac.kr)

1. 서론

최근에는 항공레이저측량 기법을 이용하여 수치표고 자료(digital elevation model, DEM)를 제작하는 방법이 기존의 사진측량기법을 통한 DEM 제작방법보다 위치정확도 및 세밀한 지형 표현에 있어 우수하고 생산성이 높아 활용 빈도가 높아지고 있다. 항공레이저측량은 LiDAR Sensor를 통해 취득되어진 3차원 점군들의 레이저와 그 반사파의 도달시간을 GPS/INS를 통해 지형 또는 기타 객체의 위치(x, y, z)를 계산 할 수 있다. 이 3차원 레이저 스캐닝 수치표면모형(digital surface model, DSM) 자료로부터 지표를 제거한 수치지형자료(digital terrain data, DTD)를 격자화 하여 DEM을 생성한다. 항공 LiDAR DEM은 토목 및 군사 등 제반 응용분야에서 세밀한 지형정보 및 정확도 제공을 통해 사진측량 기반 DEM을 대체하고 있으며 이와 관련해 DSM 자료로부터 지면분류 정확도 향상 연구도 지속적으로 수행되고 있다. Kilian et. al.(1996)은 지표면의 점 값을 분류하기 위해 가장 낮은 점들을 이웃하게 검색하는 방법으로 지표면을 추출하였다. 지형이 아닌 객체들을 제거하는 기법으로 Haugerud와 Harding(2001)은 지역적인 곡률계산을 Zhang et. al.(2003)은 모폴로지 필터의 크기를 조절해가며 반복적으로 계산하는 방법을 제안 하였다. 이정호 등(2005)은 입력되는 변수를 최소화하면서도 다양한 크기의 건물들이 섞여 있는 지역을 필터링 하였다. 이 밖에도 최연웅과 조기성(2005)은 LiDAR DSM으로부터 DEM을 제작하는 과정을 영상처리기법의 경계검출 알고리즘을 적용하여 자동화 하였고 한수희 등(2007)은 Point cloud의 군집 간 인접 관계 인식을 추가하여 점을 분류하였다. Vosselman (2000)은 급격한 경사가 발생하는 지역을 제거하는 방식을 제안하였지만 이웃의 점을 계산하는 크기를 설정해 주어야 한다는 단점이 있었다. 주목할 점은 이들 필터링 기법이 모두 조밀하고 분류 정확도가 낮은 지면분류 결과로부터 의심점들을 제거하는 과정을 거쳐 정확도를 향상하는 방법을 사용하고 있다는 것이다. 이러한 방법은 비교적 균질한 DTD 점밀도를 유지하는 DSM 자료 처리에 적절하나 불균질한 DTD 점밀도를 유지하는 자료 처리에 적절하지 않다. 특히 초목·관목·교목의 복잡한 삼림 수관층을 형성하고 있는 한국의 하절기 산지 지형 스캐닝 자료와 같이 낮은 지면 점밀도를 얻은 항공레이저측량 DSM 자료를 이용한 1차 지면분류는 많은 오분류 결과들이 포함된다(그림 1). 이 경우 다수의 오분류 참조 점군들로 인한 필터 기능 감소가 발생하고 무리한 필터링은 세부 지형 묘사에 필요한 점들이

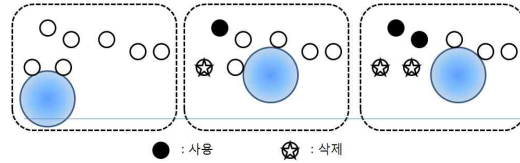


그림 1. 롤러(Roller) 지면분류 개념 (출처 : 항공레이저측량 개론 2009)

제거 되는 결과를 가져오며 지형 표현에 중요도가 낮은 점들을 다수 발생시켜 작업 효율성을 저감시킨다. 그렇기 때문에 이 문제를 해결하기 위해서는 정확도 높고 점밀도가 낮은 1차 지형분류 결과 자료에 지형으로 등록되지 않은 LiDAR 지형 분류 후보 점군들로부터 세밀 지형 표현에 누락되어졌던 점들을 추출하여 정확도와 세밀도를 함께 충족하면서 낮은 점들로 지형을 묘사할 수 있도록 분류 방법을 개선할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 가중 경사 커널 알고리즘(weighted gradient kernel algorithm)을 이용하여 최적화 지형 분류 기법을 연구하였다.

2. 연구방법

2.1 연구 대상지

연구대상지역은 강원도 횡성군 일대로 2009년 5월 ~ 9월에 다목적 디지털지리정보 구축을 위한 항공레이저측량이 이뤄졌다. 본 연구에서 검토한 지역은 2009년 5월 및 9월에 촬영이 중복되어 발생한 지역이며 위도 37° 18'40" ~ 37° 40'00", 경도 128° 10'00" ~ 128° 18'00"범위이다. 토지피복은 삼림 및 농경지가 대부분이다. 본 연구에 이용된 LiDAR 시스템은 Optech社의 Gemini와 Leica 社의 ASS60으로 2009년 5월(Gemini) 및 9월(ALS60) 취득되어졌다. 비행고도 약 1,800 ~ 2,020m, 중복도 50%, 점밀도는 2.5 ~ 4.5 pt/m²이며 이

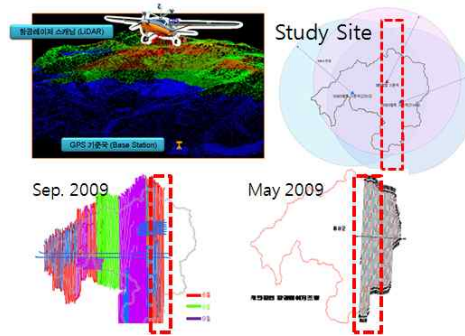


그림 2. 연구대상지(강원도 횡성군)

점밀도는 2~5 회의 중복스캐닝을 통해 획득되어진 결과이다. 지상기준점은 12개로 취득한 표고(H) 및 타원체고(EH)를 이용하여 정표고 변환을 수행하였다.

LiDAR 데이터의 처리는 Bentley社의 Microstation과 TerraSolid社의 TerraScan을 이용하였으며 1km×km로 LiDAR 데이터를 분할하여 연구에 사용하였다.

2.2 가중경사커널을 이용한 미추출 지형 분류기법
가중경사커널(weighted gradient kernel, WGK) 알고리즘을 이용한 미추출 지형분류는 1차 자동 분류된 LiDAR 점군들로부터 격자 형태의 저장 공간을 만들어 class별로 저장하고 1차 자동 분류된 ground 점들의 경사를 계산한다. 그리고 격자 크기를 조절하여 굴곡이 제거된 곳이라고 예상되는 지역을 찾아내어 주변 ground 점들의 경사와 굴곡이 제거되었다고 예상되는 지역 내의 모든 점들과 비교하여 일정 계수 이하의 차이가 있으면 ground 점으로 class를 변경해 준다. 이 알고리즘은 결과적으로 지형의 능선이나 언덕을 살려주는 기능을 하게 된다.

2.2.1 굴곡 후보지역 선정

입력된 LiDAR 점들은 미추출 지형 자동 분류를 위해 먼저 동적으로 격자화 된다. 입력되는 점들을 검색하여 X축의 최소점과 최대점, Y축의 최소점과 최대점을 알아내고 1평방미터 단위로 도엽에 맞게 그리고 class의 구분을 두어 격자화 시킨다. 이러한 방식은 조우석 등(2003)이 제안한 것과 같이 계산 도메인을 임의로 정할 수 있고 원하는 좌표의 격자 안에 속한 점의 정보를 빠르고 효율적으로 처리할 수 있다는 장점이 있다. 이렇게 분류된 점군들 중 ground 점이 포함되지 않은 격자는 해당 격자와 이웃한 격자를 재귀적으로 호출하는 방식으로 찾아내어 일정 면적 이상 ground 점이 없는 곳을 굴곡 후보지역으로 선정한다. 이 굴곡 후보지역은 아래의 WGK 알고리즘을 이용하여 능선 지역인지 객체에 가려져 굴곡이 사라진 지역인지를 판단할 수 있다.

2.2.2 후보지역 점들의 경사계산 방법

롤러기법을 이용하여 자동 필터링을 하고 지형이 제거 됐다고 예상되는 굴곡 후보지역을 선정했으면 굴곡 후보지역의 default 점(ground 점일 가능성이 높은 점) 중 굴곡 후보지 주변 ground 점의 최대값과 최소값 사이의 점을 임시 ground 점으로 변경해준다. 그리고 임시 ground 점을 포함한 주변의 ground 점의 경사를 계산하여 저장한다. 계산된 ground 점의 경사는 굴곡 후

보지역의 임의의 점 위치에서 식 (1)을 이용하여 임의의 점 예상 경사를 도출해 낼 수 있다.

$$A_s(r) = \frac{\sum_j \nabla z_j W(r-r_j, h)}{\sum_j W(r-r_j, h)} \tag{1}$$

여기서 $A_s(r)$ 은 굴곡 후보지역의 임의의 점 경사이며, ∇z_j 는 이웃하는 ground 점 j의 경사, r은 임의의 점을 X, Y 평면에 투영한 지점, r_j 는 이웃하는 ground 점 j를 X, Y평면에 투영한 지점, W는 반지름이 h인 커널이다. W는 식 (2)와 같이 설정하였다.

$$W(r, h)_6 = \frac{315}{64\pi h^9} \begin{cases} (h^2 - r^2)^3 & 0 \leq r \leq h \\ 0 & \text{그 이외} \end{cases} \tag{2}$$

이렇게 계산된 굴곡 후보지역 내 임의의 점에 대한 예상 경사는 실제 임의의 점이 가지고 있는 Z값을 기반으로 한 경사와 비교를 한다. 만약 임의의 점 예상 경사와 Z값을 기반으로 한 경사의 차이가 일정 계수보다 크게 되면 그 점은 객체일 가능성이 높기 때문에 ground 점으로 코드를 변경 하지 않으며 기존의 코드는 유지되게 된다. 반대로 임의의 점 경사와 Z값을 기반으로 계산한 경사가 일정 계수보다 작게 되면 그 점은 지형일 가능성이 높기 때문에 그 점의 코드는 ground 점으로 변경 되어 지형으로 분류 된다.

2.2.3 제거된 굴곡지형 복원 방법

제거된 굴곡지역을 찾기 위해 격자는 1평방미터 단위로 설정하고 2배씩 늘어나는 계산 범위를 지정한다. 예를 들어 1미터, 2미터, 4미터, 8미터의 격자를 동적으로 생성할 수 있다. 사용자가 원한다면 16미터, 32미터, 또는 그 이상으로 계산범위를 생성할 수 있다.

- 1) 후보지역 내 default 점들 중에서 주변지형의 ground 점의 최소 Z값과 최대 Z값 사이의 점을 임시 ground 점으로 설정한다.
 - 2) 후보지역 내 격자를 설정하고 임시 ground 점을 포함한 주변 ground 점의 경사를 계산 한다.
 - 3) 식(1)을 이용하여 후보지역 내 임의의 점 예상 경사를 계산한다.
 - 4) 임의의 점의 Z값을 기반으로 계산한 경사와 3)에서 계산한 임의의 점 예상경사를 비교하여 ground 점으로 분류할 지를 결정한다.
- 위의 2), 3), 4)는 최대격자부터 최소격자에 이르기까

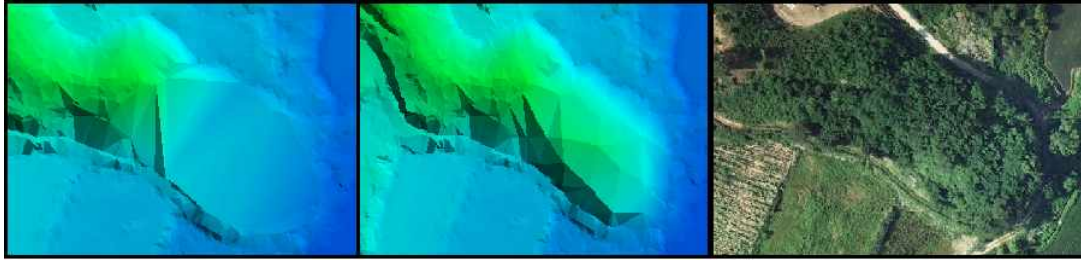


그림 3. 제거된 능선의 복원 및 항공촬영사진과 비교(HS37083)

지 반복적으로 수행한다. 격자의 크기는 $2^N(N=0, 1, 2, 3, \dots, \text{MaxN})$ 의 형태로 커지고 커널의 크기는 $\text{MaxN} - N + 1$ 의 형태로 작아진다. 이것은 이전 격자에서 비지형 점이 지형 점으로 변경된 점들까지 그 다음 격자에서 반영할 수 있도록 하기 위함이다. 이렇게 최소격자 크기의 계산까지 마치면 언덕이나 능선지형의 소실 부분이 재생성된다.

3. 결과 및 고찰

본 연구의 실험에서는 강원도 횡성군 중 표 1에 해당하는 지역을 대상으로 실험을 하였고 격자의 크기는 8m, 4m, 2m, 1m를 사용하였다. 실험의 지역은 1평방

표 1. 실험지역의 좌표 및 점밀도

ID	좌상단	우하단	점밀도
HS37081	X=292533 Y=542357	X=293533 Y=541357	3.105574 (1m ²)
HS37082	X=292533 Y=540357	X=293533 Y=539357	3.160336 (1m ²)
HS37083	X=293533 Y=540357	X=294533 Y=539357	3.779638 (1m ²)

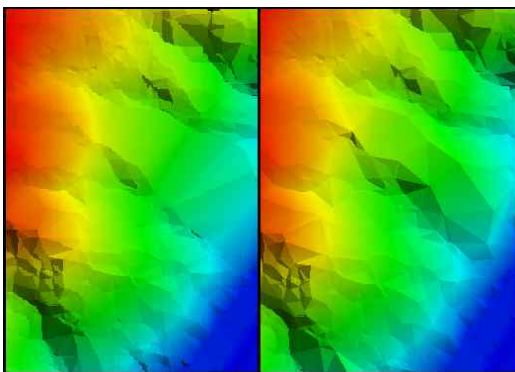


그림 4. 제거된 능선의 복원(HS37082)

표 2. 격자별 변경된 점의 수(HS37083)

격자크기	굴곡지역 후보 격자수	ground 점으로 변경된 점 수
8m*8m	51	7
4m*4m	835	16
2m*2m	13264	118
1m*1m	118765	315

미터 당 3개에서 4개 정도의 점을 포함하고 있다.

표 2는 격자단위로 계산되어 변경된 점들의 수를 나타낸 것으로서 HS37083의 경우 총 456개의 점이 ground 점으로 변경되었다. 그림 3은 HS37083 지역을 분류한 것으로서 그림 3의 왼쪽 그림은 TerraScan에서 필터링을 통해 필터링을 하였지만 일부 지역에서 굴곡이 제거된 것을 확인할 수 있다. 반면에 중앙의 그림은 TerraScan에서 자동분류된 것을 제안된 기법을 이용하여 굴곡을 복원한 것으로서 육안으로 보더라도 약 20개의 ground 점이 복원되어 능선 부분을 재생성한 것을 확인할 수 있고 항공촬영사진을 통해 정확히 확인할 수 있다. 그림 4 또한 그림 1과 같이 HS37082 지역의 사라진 능선을 복원해 주었다.

다음으로 그림 5는 HS37081 지역으로 왼쪽은 TerraScan을 이용하여 자동 분류한 지형으로 아래위로 긴 노란색 직사각형 안의 눈독이 드문드문 사라져 있는 것과 노란색 정사각형 부분의 능선 특징이 사라져 있는 것을 확인할 수 있다. 하지만 오른쪽 그림을 보면 우리가 제안한 기법을 적용하였기 때문에 눈독이 자연스럽게 연결되어 있고 노란색 정사각형의 능선도 복원하였다. 심지어 빨간색 타원 안의 도각간 인접부분의 뚝뚝 현상까지도 찾아내어 처리해 줌으로써 항공레이저측량 후처리 작업자의 작업량이 현저히 줄어들었다.

하지만 default 점의 정보가 적은 일부 지역에서 능선의 복원에 실패한 경우가 발생하여 이 부분은 향후 연구가 필요하다.



그림 5. 능선과 논둑의 지형 복원, 이웃 도각간 인접처리(HS37081)

4. 결 론

항공레이저측량에서 취득한 점 데이터들은 후처리 작업을 통하여 지형, 건물, 교량 등의 객체로 분류된다. 본 연구에서는 후처리 과정에서 롤러법을 이용한 자동 필터의 오분류 지역을 찾아내고 가중치가 부여된 경사 계산을 통해 미추출 지형을 복원한다. 1차 지형 분류 결과를 기반으로 알고리즘이 처리되기 때문에 분류의 정확도가 확보되고 세밀한 지형의 표현까지 가능하다는 장점이 있다. 결국 우리는 제안된 기법으로 지형의 사라진 특징들을 찾았고 특히 능선, 언덕, 심지어 논둑이나 도각간 인접까지 처리되도록 하였다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0001906).

참고문헌

1. 이정호, 한수희, 유기운, 김용일, 이병길, 2005, "LiDAR 데이터를 이용한 DEM 자동 생성 기법", 한국지형공간정보학회지, Vol.13-4, pp.27-32.

2. 조우석, 좌윤석, 이영진, 2003, "항공 레이저스캐닝 데이터를 이용한 건물 자동추출", 대한토목학회지, Vol 23, pp.727-733.
3. 최연용, 조기성, 2005, "도시지역 LiDAR DSM으로부터 DEM추출기법 연구", 한국지형공간정보학회지, Vol.13-1, pp.19-25.
4. 한수희, 이정호, 유기운, 김용일, 2007, "LiDAR 포인트 cloud로부터 분리된 포인트 군집간 인접관계 인식과 응용에 관한 연구", 한국지형공간정보학회지, Vol.15-1, pp.17-22.
5. Haugerud, R.A., and D.J. Harding, 2001, "Some algorithms for virtual deforestation (VDF) of LiDAR topographic survey data", IAPRS, Vol. 36, part 3/W4, pp.211-218.
6. Keqi Zhang., Shu-Ching Chen., Whitman, D., Mei-Ling Shyu., Jianhua Yan., Chengcui Zhang., 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.
7. Kilian, J., Haala, N., Englich, M, 1996, "Capture and evaluation of airborne laser scanner data", IAPRS, Vol.31, part B3, pp.383-388.
8. Vosselman, G., 2000, "Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data", IAPRS, Vol.33, part B4, pp.958-964.