

항공 라이다데이터를 이용한 산림영역 탐지

Detection of Forest Areas using Airborne LIDAR Data

황 세 란*

김 성 준**

이 임 평***

Seran Hwang

Seongjoon Kim

Impyeong Lee

요약 산림영역에서 획득된 라이다데이터는 산림영역의 DTM생성, 수고 및 산림생체량 추정과 같은 산림 연구에 효과적으로 이용될 수 있다. 이를 위한 핵심적인 전처리 과정으로 본 연구는 라이다데이터로부터 산림 영역을 효과적으로 탐지하기 위한 방법을 개발하고자 한다. 먼저 라이다데이터로부터 산림영역으로 판단하기에 효과적인 다반사 특성, 높이값 편차 및 공간적 분포에 기반한 세 가지 인지적 단서를 제시하였다. 각 단서들에 기반하여 산림후보영역을 탐지하고, 오분류를 제거하고 경계를 정제하기 위한 이진형태학적처리를 수행하여 최종산림영역을 결정하였다. 항공영상을 이용하여 생성한 기준데이터로 검증한 결과에 따르면 세 종류 단서에 의한 방법 모두 약 90% 이상의 정확도를 보이는 것으로 평가되었다. 특히 다반사 특성에 기반한 방법이 다른 방법에 비교하여 정확도 및 단순도 측면에서 보다 좋은 방법으로 판단된다. 또한, 각각의 단서에 기반한 개별적인 결과를 조합하면 분류 정확도가 개선되는 것을 확인하였다.

키워드 : 라이다데이터, 인지적 단서, 탐지, 산림, 수목

Abstract LIDAR data are useful for forest applications such as bare-earth DEM generation for forest areas, and estimation of tree height and forest biomass. As a core preprocessing procedure for most forest applications, this study attempts to develop an efficient method to detect forest areas from LIDAR data. First, we suggest three perceptual cues based on multiple return characteristics, height deviation and spatial distribution, being expected as reliable perceptual cues for forest area detection from LIDAR data. We then classify the potential forest areas based on the individual cue and refine them with a bi-morphological process to eliminate falsely detected areas and smoothing the boundaries. The final refined forest areas have been compared with the reference data manually generated with an aerial image. All the methods based on three types of cues show the accuracy of more than 90%. Particularly, the method based on multiple returns is slightly better than other two cues in terms of the simplicity and accuracy. Also, it is shown that the combination of the individual results from each cue can enhance the classification accuracy.

Keywords : LIDAR Data, Perceptual Cue, Detection, Forest, Tree

1. 서론

최근 지구온난화현상으로 인한 이상기후 현상이 발생함에 따라 지구환경에 대한 관심이 급증하고 있으며, 국제적으로도 "교토의정서"와 같은 국제협약을 통하여 환경보호를 위한 노력이 나타나고 있다. 산림자원은 이산화탄소의 주요 흡수원으로서 매우 중요한 요소로 인정되고 있으며, 미국의 NASA(미국항공우주국), 유럽의 ESA(유럽항공우주국), 독

일의 DLR(독일항공우주국) 등의 연구기관에서는 라이다(LIDAR)나 레이더(RADAR)와 같은 원격센서 데이터를 이용하여 산림자원 정보를 정밀하게 측정하는 연구를 수행하고 있다.

우리나라의 수목생체량 추정은 주로 현지조사와 항공 및 위성의 광학영상을 이용하여 이루어져 왔지만, 이는 시간/비용적으로 비효율적이며 만족스러운 결과를 얻지 못하였다. 이러한 문제를 극복하기 위해 최근 라이다를 이용한 수목생체량 추정 연구

*본 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받는 기초연구 사업(2009-0088950) 및 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임

* 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정 serany@uos.ac.kr

** 서울시립대학교 공간정보공학과 박사수료 sinus7953@uos.ac.kr

*** 서울시립대학교 공간정보공학과 부교수 iplee@uos.ac.kr(교신저자)

가 활발히 이루어지고 있는 실정이다.

국내에서 라이다 데이터를 이용하여 산림지역의 수목정보를 측정하는 연구는 주로 라이다자료의 first return과 last return 신호를 이용하여 비지면 점을 분류하고, 이로부터 생성된 DTM과 DSM을 이용하여 수목의 수고와 흉고직경 및 단면적, 임분 체적 등의 요소를 측정하는 기법을 이용하였다.

곽두안 등(2005)은 라이다 데이터를 이용하여 수고와 지하고를 추정하고, 현장조사와 항공영상을 이용하여 흉고직경 및 단면적, 임분체적, Biomass 등의 산림정보를 추출하였고[11], 장안진과 김형태(2008)는 킬러항공사진에 K-Means 알고리즘을 적용하여 수목지역을 추출하고, 라이다자료를 이용하여 DSM과 DTM을 생성하여 수목의 개체와 높이를 추정하였으며[13], 윤정숙과 이규성(2006)은 라이다 레이저빔이 산림이나 수목에서 20-40%의 투과성을 지닌다는 점을 이용하여 접근하기 어려운 지역의 산림에서 라이다자료와 수관점유율(흉고직경)에 대한 관계를 연구하였다[12]. 그리고 송철철 등(2008)은 산림조사를 위한 라이다시물레이션을 통하여 임관의 체적, 최대수고 등을 추정하였으며[12], 장안진 등(2005)은 라이다데이터와 킬러항공사진을 이용하여 수목 개체를 추출하고 그 높이를 추정하였다[14].

국외 연구를 살펴보면, Pascual et al. (2008), Zhao et al. (2009), Sexton et al. (2009) 등은 small footprint 라이다데이터를 이용하여 수목영역의 DSM과 DTM을 생성하고 이를 차분하여 CHM (canopy height model)을 생성함으로써 수목의 높이와 영역을 추정하였으며, 결과물을 현장실측자료나 항공영상 또는 InSAR기법을 기반으로 생성된 모델과 비교분석을 수행하였다[2, 7, 9].

이와는 다르게 Taguchi et al. (2006)는 discrete-returned 라이다데이터로부터 DSM과 DTM을 생성하지 않고 순수한 점데이터에 Local Maximum method를 적용하여 개별 나무를 식별하고자 하였으며[6], Kao et al. (2004)는 공간상에서 수목영역의 라이다데이터의 분포를 해석하고 특징을 가시화를 하기위해 Density estimation, Mode finding, Distribution matching을 이용하는 알고리즘 및 가시화 도구를 개발하였다[3]. Perrson et al. (2005)는 Full-waveform 라이다데이터를 이용하여 수목영역의 반사파정보를 직접 추출하여 침엽수에서는 30%,

활엽수 지역에서는 57%의 추가적인 점데이터를 생성하였다[1].

라이다데이터를 이용한 산림연구들은 대부분 라이다데이터의 대부분이 산림영역에서 획득되었다는 전제하에 수행되었으며[10], 수목과 함께 다양한 인공물(도심지)이 혼재되어 있는 라이다데이터로부터 수목이 밀집된 순수한 산림영역만을 직접 탐지하는 부분은 미흡하다. 특히, 수목영역을 탐지하기위하여 항공영상 등의 데이터를 이용하거나 라이다데이터와 함께 이용함으로써 추가적인 데이터 처리작업이 요구된다. 자동화된 처리과정을 통하여 라이다데이터로부터 산림영역의 데이터를 분류하게 되면 이후 산림정보 추출을 위한 데이터 처리 과정이 보다 효율적으로 이루어 질 수 있다.

본 연구에서는 산림연구를 위하여 획득된 실제 라이다데이터의 특성을 분석하고, 이를 이용하여 다양한 지형지물이 포함되어있는 라이다데이터로부터 산림영역을 탐지하고자 한다.

2. 연구개요 및 자료

2.1 산림탐지의 개요

라이다데이터로부터 산림영역을 탐지하기 위해서는 산림영역에 해당하는 실제 라이다데이터의 기하학적인 특성에 대한 연구가 선행되어야 한다. 본 연구는 라이다데이터로부터 산림영역과 비산림영역을 구분할 수 있는 인지적 단서(perceptual cue)를 선정하고, 이를 기반으로 일정영역 이상의 산림영역을 탐지하고자 한다. 인지적 단서란 인지적으로 산림영역을 판단할 수 있는 라이다데이터의 분포 특성을 말한다. 이는 산림영역을 판단하기 위한 필요조

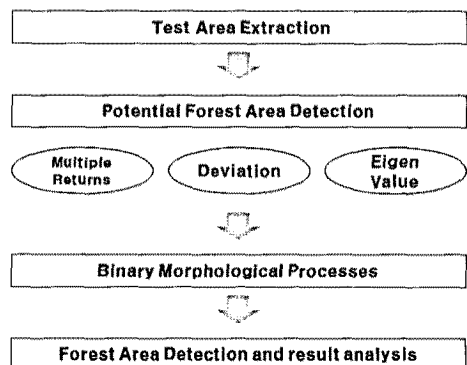


Fig. 1. Detection process of forest areas

건이긴 하지만 충분조건으로 보기 어렵다. 인지적 단서로 탐지된 산림영역에는 실제로 수목은 아니지만 국부적으로 수목과 유사한 기하학적 분포 및 형태를 보이는 건물 등의 지물이 포함 될 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 인지적 단서로 탐지된 영역을 산림후보영역으로 정의하고 후속처리과정을 통해 최종산림영역을 결정한다.

산림탐지를 위한 방법론의 개요는 Fig. 1과 같다. 먼저, 실험 대상지역의 라이다데이터 대한 전처리를 통하여 이상점(outlier)을 제거하고, 산림후보영역을 분류하기 위하여 라이다데이터의 특성으로부터 인지적 단서를 결정한다. 단서들을 기반으로 탐지된 산림후보영역에 대하여 영상처리기법 중 이진형태학적처리(binary morphological process)로 분류되는 침식(erosion)과 팽창(dilation)연산을 적용한 후 최종산림영역을 결정한다.

2.2 실험 데이터 및 전처리

2.2.1 실험 지역 및 데이터

2003년, ISPRS Comm. III, Working Group3에서는 지면점과 비지면점을 분류하는 필터링 알고리즘의 성능을 비교하기 위해 다양한 환경 요소를 가지고 있는 라이다데이터를 제공하였다[14]. 본 연구에서는 여기서 제공하는 라이다데이터 중 Forest로 분류된 지역의 데이터를 이용하였다. 실험 대상지역은 독일의 Vaihingen/Enz 및 Stuttgart의 일부지역이며 산림, 평지, 건물 등 다양한 지형지물이 존재한다(Fig. 2). 특히 개별수목에서 산림까지 다양한 크기를 갖는 수목영역을 포함하고 있어서 본 연구의 취지와 적합하다. 대상지역의 라이다데이터는 개별 레이저펄스에 대한 First Return(FR)과 Last Return(LR)의 좌표 및 반사강도 정보를 가지고 있으며, 점의 수는 약 70,000개, 점 간격은 약 2.5m이다. 실험 대상지역의 넓이는 약 350,000m²이며, 실험 데이터의 자세한 특성은 Table 1에 정리하였다.



Fig. 2. Aerial image of test site

Table 1. Properties of the test data
(http://www.itc.nl/isprswgIII-3/filtertest/index.html)

Area	Vaihingen/Enz, Stuttgart, Germany
Location	Rural landscape (Forest)
Return data	X1, Y1, Z1, I1, X2, Y2, Z2, I2 (first and last)
Point density	0.19 points/m ²
Point spacing	2.57m
No. Points	72,572 points
X range / width	493728 ~ 494683 / 955m
Y range / width	5419829 ~ 5420199 / 370m

2.2.2 라이다데이터 전처리

실험데이터는 연구목적으로 제공되기 때문에 인위적인 과대오차가 포함되어 있다. 따라서 본 연구에서는 실험지역을 추출하기 전에 전처리(pre-processing)과정을 통하여 라이다데이터에 포함되어있는 이상점(outlier)을 제거하였다. 실험 데이터에 포함된 이상점들은 비정상적으로 높은 Z값을 가지고 국부적으로 분포하고 있었으며 이는 라이다데이터의 Z좌표값을 기준으로한 데이터 처리과정을 통하여 제거되었다. Fig. 3(a)는 이상점을 포함한 라이다데이터이며, Fig. 3(b)와 같이 이상점을 제거한 후, 최종적인 실험 영역을 추출하였다(Fig. 3(c)).

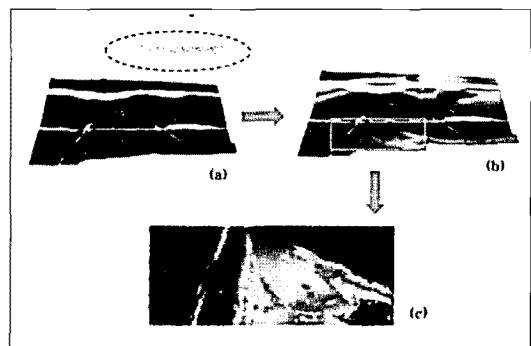


Fig. 3. (a) Original data with outliers, (b) Filtered data without outliers, (c) Extracted data of test site

3. 연구 방법

본 연구는 라이다데이터의 특성을 분석하여 산림 후보영역을 탐지할 수 있는 인지적 단서를 선정하고, 이를 기반으로 일정영역 이상의 산림영역을 탐지하는 것을 목표로 한다. 일반적으로 수목영역은 가로수와 같은 개별수목에서 수 백 km²에 이르는 산지의 수목까지 다양하다. 본 연구에서는 2,500m² 이상의 산림으로서 의미가 있는 수목영역을 추출대상으로 정의하였다. 이는 일반적인 산지에 비하여 매우 작으나 획득된 데이터의 실제 산림영역의 면적을 고려하여 산림영역의 기준면적을 설정하였다.

3.1 산림후보영역 탐지방법

본 연구에서는 인공지형지물에 비교하여 기하학적으로 상당히 불규칙한 형태 및 분포를 나타내는 산림영역의 특성을 효과적으로 나타낼 수 있는 인지적 단서로 (1) FR과 LR의 높이차이, (2) 높이값의 표준편차, (3) 공분산 행렬의 고유값 비율을 고려하였다.

3.1.1 FR과 LR의 높이 차이

LIDAR 시스템은 레이저 스캐너로부터 발사된 레이저빔의 이동시간을 측정함으로써 객체표면까지의 거리를 계산한다. 그러나 레이저빔은 이동거리가 길어질수록 확산되는 성질이 있으며, 객체 표면의 구조에 따라 다수의 반사파(echo)가 발생하기도 한다 [4]. 이는 주로 건물의 모서리와 같이 급격한 높이차가 있거나 수목과 같이 수직적인 구조가 복잡한 경우에 발생한다(Fig. 4). 이렇게 발생하는 여러 반사파들 중 첫 번째로 지형지물에 반사되어 기록된

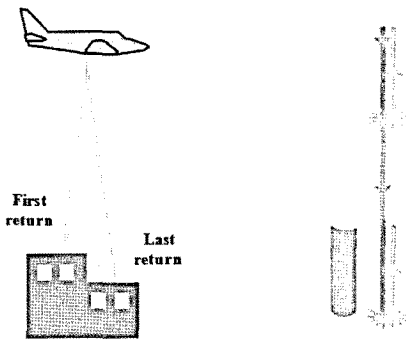


Fig. 4. Multiple returns generated on a building and a tree

수신신호를 First Return(FR)이라고 하고, 마지막으 로 기록된 신호를 Last Return(LR)이라고 한다.

이러한 다반사 특성은 수목과 유사한 데이터 분포를 보이는 건물과 산림영역을 구별할 수 있게 해 주는 단서가 될 수 있다[12]. 수목에서는 Fig. 5(left)에서처럼 전체 영역에 걸쳐 다반사 현상이 발생한다. 그러므로 이러한 수목들이 밀집해 있는 산림영역에서는 전체적으로 FR과 LR의 차이값이 크게 나타나며 다반사가 발생하지 않는 빈 공간은 드물게 나타난다. 반면 건물에서는 Fig. 5(right)에서처럼 건물의 경계를 따라 국부적인 영역에서만 다반사 특성이 크게 나타나고 비교적 편평한 건물의 가운데 윗면에서는 FR과 LR의 차이가 작게 나타난다. 건물들이 밀집하여 분포하고 있다 하더라도 건물사이의 도로, 인도 등에서 획득된 데이터는 FR, LR의 차이가 미미하므로 다반사가 발생하지 않는 빈 공간이 산림에 비하여 많이 나타나게 된다. 따라서 라이다데이터의 FR과 LR의 높이 차이를 근거로 한 산림영역 탐지가 가능하다.

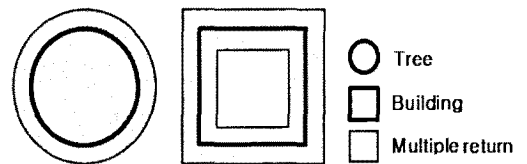


Fig. 5. Multiple returns generation areas of a tree (left) and a building (right).

FR과 LR의 높이 차이를 이용한 산림후보영역 탐지방법은 다음과 같다. 먼저, 라이다데이터의 FR과 LR의 Z좌표값을 차분하여 기존의 X, Y좌표에 차분한 값을 Z값으로 갖는 새로운 데이터를 생성한다. 이 후 영상처리기법을 적용하기 위하여 점데이터로부터 격자를 생성하며, 격자의 값은 차분한 Z값들의 평균을 이용한다. 따라서 계산된 격자의 값은 FR과 LR의 차이값이 큰 점데이터가 많이 분포할수록 크게 나타나게 된다. 이 때 격자의 크기는 점밀도 및 건물의 크기를 고려하여 5m × 5m로 설정한다. Fig. 6(right)에서처럼 격자의 크기가 건물보다 크면 건물의 윗부분에서까지 모두 다반사 특성값(FR과 LR의 차이)이 격자에 적용되므로 수목과 구분이 어려울 수 있기 때문이다. 마지막으로 산림영역을 구분할 수 있는 임계값(1m)을 설정하여 산림후보영역을 탐지한다. 여기서 임계값은 산림후보영

역을 선택하기위하여 산림영역에 포함되는 수목의 최소 높이를 고려하였다. 일반적으로 수목의 높이는 지역 및 수종마다 매우 큰 차이를 보이므로 수목의 최소 높이를 1m로 가정하였다.

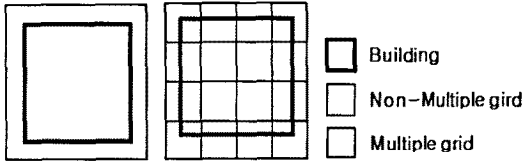


Fig. 6. Multiple returns generation area by grid size.

3.1.2 높이값의 표준편차

라이다데이터는 지표면의 지형지물의 표면구조에 따라 다양한 분포를 이룬다. 주로 인공물(man-made)의 매끄러운 표면을 나타내는 라이다데이터는 일정한 높이 분포를 보이는 반면, 산림영역에서는 매우 불규칙적으로 분포한다(Fig. 7). 따라서 라이다데이터의 높이 분포는 산림영역 탐지를 위한 또 다른 단서가 될 수 있다.

표준편차를 이용한 산림후보영역을 탐지하는 방법은 하나의 레이저 펄스로부터 반사된 FR과 LR의 높이 차이를 이용하는 과정과 유사하다. 먼저 5m × 5m 간격의 격자로 라이다데이터를 분할하고 각 격자에 포함된 점들의 높이값의 표준편차를 계산하여 1m이상인 격자들을 산림후보영역으로 결정한다. 단순히 높이값의 표준편차를 이용한 산림후보영역 분류는 라이다데이터가 FR과 LR으로 구분되어 기록되어 있지 않는 경우 이용될 수 있다. 다만 옥상구조물이 복잡한 경우 건물 윗부분에서 임계값보다 높은 표준편차가 계산되어 수목과 유사한 데이터 분포를 나타낼 수 있으나, 건물과 건물사이는 도로, 인도 등으로 분리 되어 있으므로 이 후 최종산림영역 탐지단계에서 수목이 밀집한 산림영역과 분류가 가능하다.

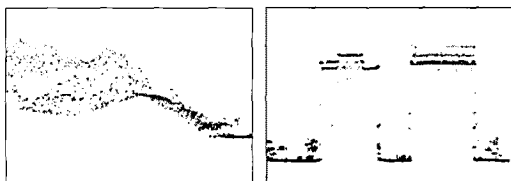


Fig. 7. Vertical distribution of forest areas (left) and buildings (right).

3.1.3 공분산 행렬의 고유값 비율

공간상에서 라이다데이터가 기하학적 분포특성을 정량적으로 표현할 수 있는 인자로서, 개별점과 이웃하는 점들의 좌표값에 대한 공분산(variance-covariance)행렬의 고유값(eigenvalue)을 고려할 수 있다. x, y, z 좌표를 갖는 한 점에 대하여 일정 거리에 내에 있는 점들의 집합을 P , 이 점들의 각 좌표에 대한 공분산 행렬을 V 이라 하자.(식 (1))

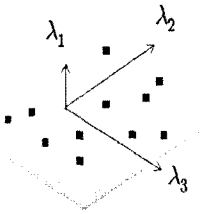
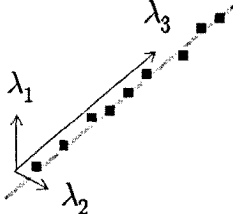
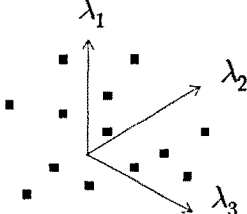
$$P = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & z_n \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

이 때 식 $V \cdot X = \lambda \cdot X$ 에서 0이 아닌 벡터 X 를 만족하는 λ 는 행렬 V 의 고유값이며, 이는 식 (2)와 같이 세 개의 고유값을 갖는다.

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix} \quad (\text{단, } \lambda_3 > \lambda_2 > \lambda_1) \quad (2)$$

공분산행렬로부터 계산된 고유값 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 는 상호직교하는 임의의 세 축 방향에 대한 좌표값 변화의 정도를 의미하기 때문에, 이로부터 Table 2에서 처럼 점들의 분포에 대한 세 가지 유형을 추정할 수 있다. 격자기반으로 산림후보영역을 탐지했던 앞의 두 방법과 달리 고유값의 비율을 이용한 방법은 개별점을 기준으로 수행된다. 따라서 여기서는 산림후보영역이 아닌 산림후보점들을 탐지하게되며 이는 마지막에 최종산림영역탐지 및 결과 검증을 위하여 격자화된다. 고유값을 이용한 산림후보점들을 추출하기 위하여, 먼저 각 개별점에 대하여 점간 거리를 고려하여 5m 이내 점들로부터 인접성을 수립하고 인접한 점들의 좌표에 대한 공분산행렬을 생성한다. 이 후 공분산행렬로부터 계산된 고유값 및 그 비율로부터 Table 2와 같은 라이다데이터의 분포를 추정할 수 있다. 데이터 분석을 통하여 3개의 고유값에서 최대 고유값에 대한 나머지 두 고유값의 비율이 0.1이상인 경우 평면적이지 않은 특성을 나타내는 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 최대 고유값에 대한 나머지 두 고유값의 비율이 모두 0.1이상인 경우 그 개별점을 산림후보영역으로 판단하였다.

Table 2. Distribution characteristics of points according to eigenvalues

Type	Plane	Line	Irregularity
Condition	$\lambda_3 \approx \lambda_2 \gg \lambda_1$	$\frac{\lambda_1}{\lambda_3} \approx \frac{\lambda_2}{\lambda_3} \approx 0$	$\frac{\lambda_1}{\lambda_3}, \frac{\lambda_2}{\lambda_3} \approx 0$
Points Distribution			

3.2 최종산림영역 탐지방법

3.2.1 산림후보영역정제

세 가지 인지적 단서들로부터 탐지된 산림후보영역에는 실제 산림영역은 아니면서 임계값을 만족하여 산림후보영역으로 분류된 개별 격자점들 또는 작은 격자형 폴리곤들이 많이 존재한다. 최종산림영역탐지에 앞서 효율적인 데이터처리를 위해서는 이러한 작은 격자들을 제거하는 단계가 필요하다.

이를 위해 탐지된 산림후보영역을 이진영상으로 변환한 후 침식 및 팽창의 이진형태학적처리(binary morphological process) 연산자를 적용하여 이진영상을 정제한다. 침식연산자는 산림후보영역에서 개별점 또는 작은 격자형 폴리곤들이 분포하는 산림후보영역의 격자들을 제거한다. 이 때 실제 산림영역으로 판단되는 영역의 경계부분도 함께 침식되는데 이 후 팽창연산자를 적용함으로써 침식된 산림영역을 복구한다. 침식 및 팽창과정에 적용된 연산자의 크기는 산림영역에 영향을 미치지 않으면서 작은 격자들을 제거하기 위하여 2 × 2 픽셀로 설정하였다.

3.2.2 최종산림영역 분류

정제된 산림후보영상에는 여전히 산림영역 뿐 아니라 건물의 모서리와 같은 수목과 유사한 특성을 갖는 영역이 포함되어 있다. 그러나 정제된 산림후보영상에서는 산림영역과 비산림영역이 넓이를 기준으로 분류될 수 있다. 산림영역은 수목이 밀집되어 있으므로 산림후보영상에서 넓고 크게 나타나는 반면 건물은 도로, 인도 등으로 명확하게 분리되어 있고 대부분 건물 모서리에서만 수목과 유사한 특

징을 보이기 때문에 산림영역에 비해 매우 작은 영역으로 분리되어 분포하게 된다. 여기에 산림영역의 기준을 적용하면 최종적으로 산림영역을 탐지할 수 있다. 결국, 수목과 달리 건물 내부로는 레이저가 통과하지 못한다는 점과 건물과 건물 사이가 명확하게 분리되어 있는 점을 이용하여 넓은 영역에 걸쳐 분포하는 건물과 산림영역을 각각 분류하게 된다.

4. 결과 및 고찰

4.1 실험 결과

4.1.1 산림후보영역의 탐지

세 가지 인지적 단서를 적용한 결과에서 산림으로 판단되는 지역은 넓고 큰 격자형 폴리곤으로 나타나는 반면 건물이 있는 지역, 산림 주위에 드물게 분포하고 있는 개별 수목 및 강 주위의 수목들은 점 또는 작은 격자형 폴리곤들의 집합으로 나타났다. Fig. 8은 FR-LR의 높이 차, 격자 내 표준 편차 및 고유값 비율로부터 탐지된 산림후보영역에 대한 192 × 75크기의 이진영상이며, Cue 1, Cue 2, Cue 3은 순서대로 다반사 특성, 높이 값들의 표준편차 및 고유값의 비율에 의한 단서를 의미한다.

4.1.2 최종산림영역 탐지결과

정제된 산림후보영상에 산림영역의 기준을 적용하여 최종산림영역으로 판단된 격자형 폴리곤은 Fig. 9와 같다. 탐지된 산림영역의 정성적인 분석을 위하여 이진영상으로 생성된 산림영역을 항공영상과 비교하였다. 산림 근처에 개별적으로 분포한 수

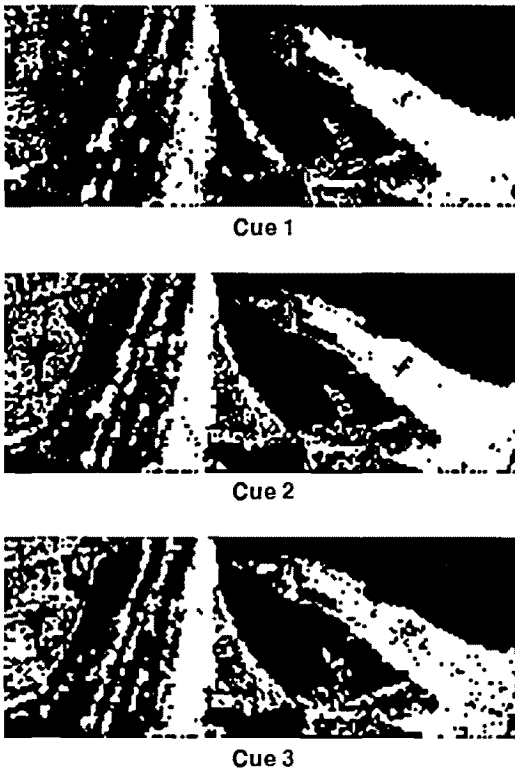


Fig. 8. Potential forest areas

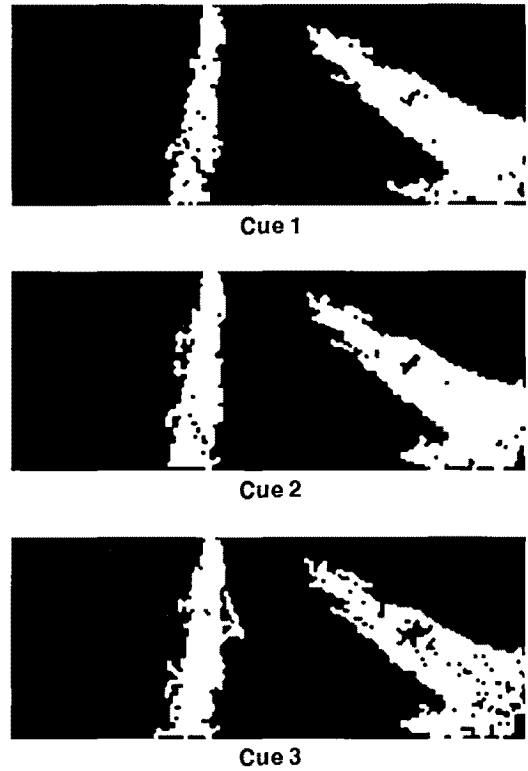


Fig. 9. Final refined forest areas

목들은 각 방법별로 제거되지 않는 경우를 볼 수 있었으나 산림영역과 멀리 떨어진 강변의 수목 및 건물들은 잘 제거됨을 확인 할 수 있었다.

4.2 결과 분석

4.2.1 기준데이터 생성

본 연구에서는 실험결과에 대한 검증은 위하여 기준데이터를 생성하였다. 기준데이터는 항공영상과 라이다데이터를 이용하여 산림영역의 경계를 수동으로 디지털화하여 생성하였다. 일반적으로 산림영역은 수목들의 밀도가 높고 넓게 분포하고 있으므로 드물게 분포하는 개별 수목이나 강가 주변의

수목 등 산림영역으로 포함하기 어렵다고 판단되는 수목들은 제외하였다. 그리고 산림영역으로 탐지된 결과와 비교하기 위하여 이에 대한 이진영상(Fig. 10)을 생성하였다. 전체 14,400개의 격자 중 기준데이터에서 나타난 산림영역의 격자수는 3,041개, 비산림영역은 11,359개이다.

4.2.2 정량적 분석 결과

기준데이터의 이진값을 이용하여 최종산림영역 결과에 대한 정량적인 분석을 수행하였다. 먼저, 기준데이터에서 산림영역을 영상값 '1', 비산림영역을 '0'으로 분류한 후 실험을 통하여 생성된 최종산림영역의 이진영상과 중첩하였다. 이 때 중첩결과가 0과 2인 영역은 각각 비산림영역과 산림영역이 잘 분류된 영역이며, 중첩결과가 1인 영역은 오류가 발생한 경우로 볼 수 있다. 이러한 결과를 각각 구분하여 Table 3에 정리하였다. Table 3은 각 단서들에 대하여 정확하게 판단된 수치 및 오류에 대한 결과를 보여주고 있다. True Positive는 실제 산림영역인 격자를 올바르게 판단한 경우이며, True



Fig. 10. Reference data for verification

Table 3. Verification results of the forest area detection

Result \ Cue Type	Cue 1	Cue 2	Cue 3
True Positive	2,870	2,866	2,717
False Positive(Error)	221	235	335
False Negative(Error)	171	175	324
True Negative	11,138	11,124	11,024
Total	14,400	14,400	14,400

Table 4. Correctness and completeness from the verification results

Result \ Cue Type	Cue 1	Cue 2	Cue 3
Correctness	92.9 %	92.4 %	89.0 %
Completeness	94.4 %	94.2 %	89.3 %

Negative는 비산림영역인 격자를 올바르게 판단한 경우이다. 실험에서 발생된 오류는 두 가지로 나눌 수 있다. False Positive(양성 오류)는 실제 비산림영역을 산림영역으로 판단한 오류이며, False Negative(음성 오류)는 실제 산림영역을 비산림영역으로 판단한 오류를 의미한다. Table 4는 실험결과에 대한 정확도 측면을 나타내는 Correctness와 Completeness를 보여준다. Correctness는 산림영역을 탐지된 셀 중에서 기준데이터와 비교해서 실제로 산림영역으로 판단되는 셀의 비율을 의미하며 (True Positive) / (True Positive + False Positive)로 계산된다. Completeness는 기준데이터로부터 실제로 산림영역으로 판단되는 셀 중에서 산림영역으로 탐지된 셀의 비율을 의미하며 (True Positive) / (True Positive + False Negative)로 계산된다. 세 가지 단서에 의한 방법이 모두 약 90% 정도 또는 이상의 정확도 수준의 양호한 성능을 갖는 것을 볼 수 있다. 특히, 라이다의 다반사 특성에 의한 단서 (Cue 1)로 탐지된 산림영역의 Correctness와 Completeness가 모두 가장 높게 나타났다. 이로부터 제시된 세 가지 단서에 기반한 방법 중에서 다반사

특성에 기반한 방법이 비교적 단순하면서도 정확하고 신속하게 산림영역을 탐지할 수 있음을 확인할 수 있었다.

정확도가 가장 높게 나타난 다반사 특성에 기반한 방법에 대하여 임계값에 의한 실험결과의 민감도를 분석하였다. 산림후보영역으로 판단하는 기준이 되는 임계값을 변화시켜 실험을 수행하고 정확도를 Table 5에 정리하였다. 임계값이 낮은 경우에는 산림영역을 대부분 탐지할 수 있으나 비산림영역 또한 많이 포함되므로 Correctness가 낮아지며 임계값이 높은 경우에는 비산림영역이 비교적 잘 제거되는 반면 높이가 낮은 수목이 산림영역의 경계 또는 중심에 밀집해 있는 경우 이를 탐지하지 못하므로 Completeness가 낮게 나타난다. 그러므로 본 방법론 적용에 있어 탐지하고자하는 산림영역의 최소수목 높이를 고려한다면 좀 더 정확한 결과를 도출할 수 있을 것이다. Table 6은 Cue 1, Cue 2 및 Cue 3의 모든 단서를 조합하여 산림영역 탐지를 수행한 결과의 Correctness와 Completeness이다. Con 1은 같은 위치의 격자에서 세 단서 중 하나의 단서에서라도 산림영역으로 판단되었다면 그 위치를 최

Table 5. Analysis results of the Cue 1 according to threshold change

Threshold	Correctness	Completeness
0.5m	82.8%	95.7%
1.5m	94.3%	91.9%
2m	95.6%	89.4%

Table 6. Detection results of forest areas using three cues

Condition	Correctness	Completeness
Con 1	86.5%	97.9%
Con 2	93.0%	94.6%
Con 3	95.9%	85.5%

종산림영역으로 결정하고, Con 2는 세 단서 중 두 개, Con 3는 세 단서에서 모두 산림영역으로 판단된 경우 최종산림영역으로 결정하였다. 이 중 Con 2인 조건에서 가장 높은 산림영역 탐지율을 보이며 이는 각각의 단서를 개별적으로 고려한 결과보다 약간 개선되었음을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 수목에서 나타나는 라이다데이터의 특성들을 기반으로 산림영역을 자동으로 탐지하는 방법을 제시하였다. 산림영역을 탐지하기 위해 효과적으로 판단되는 세 가지 인지적 단서, 즉 FR과 LR의 높이 차이, 높이값의 표준편차, 고유값의 비율을 제시하였으며 각 단서에 기반하여 산림후보영역을 탐지하고, 이진형태학적처리를 통해 정제한 후 최종산림영역을 결정하였다. 마지막으로 제시된 세 가지 단서에 기반한 방법을 적용한 결과를 항공정사영상으로부터 생성한 기준데이터와 비교하여 정량적 분석을 수행하였다. 이를 통해 세 가지 단서에 기반한 모든 방법들은 약 90% 이상의 정확도로 산림영역을 탐지할 수 있음을 확인하였고, 특히 상대적으로 다반사 특성에 기반한 방법이 단순하면서도 높은 정확도를 보이는 것을 알 수 있었다. 또한 세 가지 방법을 독립적으로 적용한 결과를 조합한다면 분류 정확도의 개선이 가능하다는 것을 확인하였다. 본 연구에서 제시된 산림영역탐지방법은 산림영역에서 산림정보의 추출 및 DTM생성을 위하여 라이다데이터 전처리 과정에서 효율적으로 적용될 수 있다.

참고 문헌

[1] A. Persson, U. Soderman, J. Topel, and S. Alhberg, 2005, "Visualization and Analysis of Full-Waveform Airborne Laser Scanner Data," Proceedings of International Archives of Photogrammetry, Enschede, Netherland, Vol.36, pp.103-108.

[2] C. Pascual, A. Garcia-Abril, L. G. Garcia-Montero, S. Martin-Fernandez, and W.B. Bohlen, 2008, "Object-based semi-automatic approach for forest structure characterization using lidar data in heterogeneous Pinus sylvestris stands," Forest Ecology and Management, vol. 255, no. 11, pp.3677-3685.

[3] D. L. Kao, M. G. Kramer, A. L. Love, J. L. Dungan, and A. T. Pang, 2005, "Visualizaing Distributions from Multi-Return Lidar Data to Understand Forest Structure," Cartographic Journal, vol. 42, no. 1, pp.35-47.

[4] E. P. Baltsavias, 1999, "Airborne laser scanning: basic relations and formulas," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 54, no. 2-3, pp.199-214.

[5] F. F. Tang, J. N. Liu, X. H. Zhang, and Z. M. Ruan, 2008, "Derivation of digital terrain model in forested area with airborne lidar data," International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 37, pp.343-348.

[6] H. Taguchi, T. Endo, M. Setojima, and Y. Yasuoka, 2006, "A New Method for Individual Tree Detection Using Airborne LiDAR Pulse Data," Proc. Asian Conference on Remote Sensing, P-1, P19, [Online] Available: AARS, <http://www.a-a-r-s.org/acrs>.

[7] J. O. Sexton, T. Bax, P. Siqueira, J. J. Swenson, and S. Hensley, 2009, "A comparison of lidar, radar and field measurements of canopy height in pine and hardwood forests of southeastern North America," Forest Ecology and Mana-

gement, vol. 257, no. 3, pp.1136-1147.

- [8] K. Zhang, S. Chen, D. Whitman, M. Shyu, J. Yan, and C. Zhang, 2003, "A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements From Airborne LIDAR Data," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 41, no. 4, pp.872-882.
- [9] K. Zhao, S. Popescu, and R. Nelson, 2009, "Lidar remote sensing of forest biomass: A scale-invariant estimation approach using airborne lasers," Remote Sensing of Environment, vol. 113, no. 1, pp.182-196.
- [10] Y. Wang, H. Weinacker, and B. Koch, 2008, "A Lidar Point Cloud Based Procedure for Vertical Canopy Structure Analysis And 3D Single Tree Modelling in Forest," Sensors, vol. 8, no. 6, pp.3938-3951.
- [11] 광두안, 이우균, 손민호, 2005, "개체목 및 임분조사를 위한 LIDAR 응용에 관한 연구," 한국임학회지, 제94권, 제6호, pp.431-440.
- [12] 송철철, 이우균, 광두안, 광한빈, 2008, "산림조사에서의 항공라이더 취득인자에 따른 영향분석을 위한 시뮬레이션 모델 개발," 한국GIS학회 2008 공동춘계학술대회, pp.310-317.
- [13] 윤정숙, 이규성, 신정일, 우충식, 2006, "산림지역에서의 항공 Lidar 자료의 특성 및 지면점 분리," 대한원격탐사학회지, 제22권, 제6호, pp.533-542.
- [14] 장안진, 김대성, 김용일, 김경옥, 2005, "LiDAR데이터와 컬러항공사진을 이용한 수목의 개체 추출 및 높이추정," 한국GIS학회 2005년 추계학술대회, pp.67-74.
- [15] 장안진, 김형태, 2008, "항공사진과 Lidar 데이터를 이용한 산림지역의 바이오매스 추정에 관한 연구," 한국지리정보학회지, 제11권, 제3호, pp.166-173.
- [16] <http://www.itc.nl/isprswgIII-3/fil-tertest/index.html>.



황 세 란

2010년 서울시립대학교 공간정보공학
학사

2010년~현재 서울시립대학교 공간정
보공학 석사과정



김 성 준

2005년 서울시립대학교 지적정보공학
학사

2007년 서울시립대학교 공간정보공학
석사

2009년 서울시립대학교 공간정보공학

박사수료



이 임 평

1991년 KAIST 전기 및 전자공학 학사

1992년 University College London

우주선공학 및 위성통신 석사

2002년 The Ohio State University

측지과학 및 측량 박사

2003년~현재 서울시립대학교 공간정보공학과 부교수