

비행장애물 회피를 위한 라이다 기반 송전선 고속탐지 및 적용가능성 분석

Fast Detection of Power Lines Using LIDAR for Flight Obstacle Avoidance and Its Applicability Analysis

이미진* · 이임평**

Mijin Lee · Impyeong Lee

요약 송전선은 항공사고를 야기하는 대표적인 장애물로서 인지되며, 비행 중 충돌회피를 위해 송전선의 실시간 탐지는 아주 중요하다. 최근 들어 이러한 비행장애물 회피를 위해 기상조건에 영향을 덜 받으며 주야에 관계없이 데이터 획득이 가능한 라이다의 활용이 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 라이다 데이터를 이용하여 비행장애물 회피를 위해 송전선을 고속으로 탐지하는 방법을 개발하였다. 제안된 방법은 먼저 지표면에서 반사된 점을 필터링 과정을 통해 제거하여 비지면점을 추출하고, 이 중에서 분산 행렬의 고유값 비율을 이용하여 선형적으로 분포하는 점들을 추출하고, 마지막으로 송전탑(기둥)이나 굽뚝같이 수직방향으로 선형적으로 분포하는 점들이나 길이가 작은 선형점들을 제거한다. 구현된 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 송전선이 포함된 영역에서 취득된 실측 및 시뮬레이션 데이터에 적용하였다. 탐지 성능은 약 80% 정도로 분석되었고, 처리시간은 평균 0.2초가 소요되었다. 향후 제시된 방법을 다양한 시험환경에 대해 실험을 수행하여 개선한다면, 비행장애물 회피용 시스템에 효과적으로 활용될 것을 판단된다.

키워드 : 라이다, 비행장애물, 송전선, 회피, 탐지, 실시간, 고속

Abstract Power lines are one of the main obstacles causing an aircraft crash and thus their realtime detection is significantly important during flight. To avoid such flight obstacles, the use of LIDAR has been recently increasing thanks to its advantages that it is less sensitive to weather conditions and can operate in day and night. In this study, we suggest a fast method to detect power lines from LIDAR data for flight obstacle avoidance. The proposed method first extracts non-ground points by eliminating the points reflected from ground surfaces using a filtering process. Second, we calculate the eigenvalues for the covariance matrix from the coordinates of the generated non-ground points and obtain the ratio of eigenvalues. Based on the ratio of eigenvalues, we can classify the points on a linear structure. Finally, among them, we select the points forming horizontally long straight as power-line points. To verify the algorithm, we used both real and simulated data as the input data. From the experimental results, it is shown that the average detection rate and time are 80% and 0.2 second, respectively. If we would improve the method based on the experiment results from the various flight scenario, it will be effectively utilized for a flight obstacle avoidance system.

Keywords : LIDAR, Flight Obstacle, Power Line, Avoidance, Detection, Realtime, Fast

1. 서 론

저고도 비행 중에 송전선, 빌딩, 수목과 같은 비행장애물과의 충돌사고는 종종 발생한다. 특히 경량항공기의 경우 조종사의 육안에 의존하여 비행하며 이때 송전선의 위치정보의 오류나 조종사의 운행미숙 혹은 햇빛이나 철새와 같은 예상하지 못한 돌발 상황으로

사고가 다수 발생한다[14]. 이에 따라 광학/적외선(EO/IR : Electro Optical Infrared)시스템이나 라이다 센서와 같은 다양한 센서시스템을 탑재하여 실시간으로 비행장애물을 탐지하는 연구가 활발히 이루어지고 있다[6,7]. 특히 라이다(LIDAR, Light Detection and Ranging)는 레이저 펄스를 대상물의 3차원 표면에 샘플링(sampling)해서 점 데이터(3D point cloud)를 출력

[†] This research was supported by the Defense Acquisition Program Administration and Agency for Defense Development, Korea, under the contract UD100028GD.

** Mijin Lee, Master's Student, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul. mj-lee@uos.ac.kr

*** Impyeong Lee, Assistant Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul. iplee@uos.ac.kr (Corresponding author)

하는 능동형 원격센서 시스템이다. 이러한 시스템은 3차원 대상물의 정밀한 표면정보를 신속하게 측정 할 수 있다는 장점을 기반으로 지형매핑(topographic mapping), 필터링(filtering), 전력선이나 해안선 추출 등 다양한 분야에서 많이 수행되고 있다[2,9]. 최근 들어 영상 라이다와 같은 2D 검출기를 사용한 고속 라이다가 개발됨에 따라 이를 활용하여 비행 장애물 탐지와 목표물 추적 등 실시간 처리가 필요한 분야에 적용하려고 노력하고 있다.

라이다 데이터로부터 송전선을 탐지하는 연구는 주로 송전선의 정확한 3차원적인 매핑을 위한 목적으로 수행되었고 주요한 연구는 다음과 같다.

Melzer and Briese[12]은 라이다 데이터를 이용하여 전력선을 탐지하는 실용적인 방안을 제시하였다. 이 방법으로는 1) 전처리(pre-processing), 2) 필터링(filtering), 3) 2D 허프 변환을 반복하고, 4) RANSAC(RANDom SAmple Consensus)기반으로 최소한의 선형 요소(line primitive)들을 랜덤하게 선택한 후, 5) 국부 분석(Local analysis)과 현수선(catenary line) 파라미터로 추정하여 재현하였다. 이 연구에서는 세그먼트 연결과 점군이 동일한 간격으로 나열되었다는 가정과 허프 변환에서 하나의 잘못된 가설이 후속작업에 지속적으로 영향을 미친다는 것을 문제점으로 제시하고 있다[4]. Clode and Rottensteiner[3]는 라이다 데이터의 다중 반사 데이터(multiple return data)를 이용한 송전선탐지 연구를 수행하였다. 첫 번째 수신된 반사파(first return)와 마지막에 수신된 반사파(last return)의 거리 차이로부터 나무, 전력선, 빌딩의 경계(edge)를 추정하였다. McLaughlin[11]은 라이다 데이터를 타원체 형태의 영역(Local neighborhood)으로 그룹핑(grouping)하여 각 그룹안의 점데이터를 가우시안 혼합모델(Gaussian mixture model)을 이용하여 고압전력선의 자동 모니터링 알고리즘을 개발하였다.

Jwa and Shon[5]는 전력선의 유사성(similarity), 근접성(proximity), 연속성(continuity)의 특성을 바탕으로 허프변환과 고유값(eigenvalues)의 비율과 8방향에 따른 분류로 후보점을 결정하였다. 그리고 후보점들을 그룹화하기 위하여 VPLD(Voxel based Piecewise Line Detector)로 불리는 방법을 적용하여 전력선을 모델링하였다.

위와 같이 라이다 데이터로부터 송전선을 탐지하는 기존의 연구들은 송전선의 위치와 형상에 대한 정밀한 모델링(매핑)을 목표로 수행되었으며 필터링, 분류, 추출, 정제 등의 시간이 소요되는 복잡한 후처리과정이 수반되었다. 최근 들어 개발되고 있는 가이저모

드(Geiger-mode) 라이다 센서를 이용한다면 대상영역에 대한 조밀한 데이터를 고속으로 취득하여 이로부터 후처리를 통한 매핑이 아니라 실시간 처리를 통한 비행장애물 회피의 목적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구는 정밀한 매핑이 아니라 비행장애물 회피를 위한 용도로 라이다 데이터로부터 송전선의 고속탐지 방법론을 제안하고, 특히, 최근에 개발 중인 가이저 모드(Geiger-mode) 영상 라이다 센서의 적용 가능성을 평가하고자 한다. 이를 위해 가이저 모드 영상 라이다 센서와 다양한 특성의 송전선을 모델링하여 시뮬레이션을 통해 데이터를 생성하여 여기에 고속 탐지 알고리즘을 적용하여 얻어진 결과를 분석하여 적용 가능성을 평가한다.

2. 연구방법

2.1 방법론 개요

본 연구에서 제안하는 송전선 점 탐지 방법은 전선 점이 갖는 기하학적 특징에 기반한다. 하나의 전선위에서 반사된 점들은 다음과 같은 공간적 특성을 갖는다. 전선점은 공간적으로 선형분포를 이루며, 지표면으로부터 일정한 높이 위에 존재한다. 이러한 특징을 기반으로 본 연구에서는 전선점의 인지적 단서를 수립하고, 조건에 만족하는 점들을 추출하여 분류하는 방식으로 전선점을 탐지한다. 제안된 전선탐지의 방법론은 Figure 1과 같다. 먼저, 1) 필터링 (filtering)을 수행하여 전체 점 데이터에서 지면점은 제거하고 비지면점을 분류한다. 이는 후속 과정에서 송전선점을 탐지할 때의 탐지오류와 소요시간을 줄이기 위해 사전에 수행한다. 다음 과정은 2) 비지면점(non-ground points)에 대하여 인지적 단서를 기반으로 전선점을 추출한다. 인지적 단서란 ‘점의 기하학적인 분포 특성

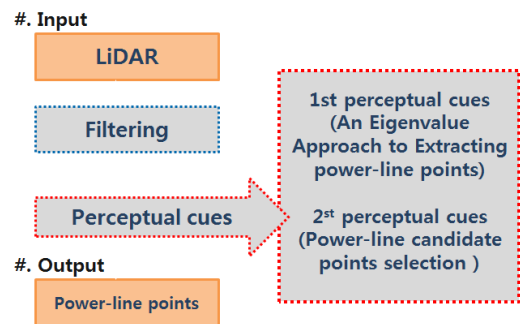


Figure 1. Overview for power line detection based on perceptual cues.

을 이용하여 전선으로 인지될 수 있는 점'으로 정의한다. 송전선점을 찾을 수 있는 첫 번째 인지적 단서는 선형으로 이루어진 점을 선택하는 것으로 개별점과 그 인접점의 좌표값에 대해 계산된 분산공분산행렬의 고유값 비율(eigenvalues)을 이용하여 분류한다. 두 번째 인지적 단서는 송전선의 높이와 길이, 방향이다. 전선은 지표면으로부터 일정높이에 존재하며, 송전탑에 의해 수직이 아닌 수평으로 길게 이어져 있다는 사실에 착안한다. 이러한 전선의 특징을 기반으로 첫 번째 인지적 단서로 찾아진 전선 후보점을 정제하여 최종적인 송전선을 탐지한다.

2.2 필터링

본 연구에서는 Axelsson[1]이 제안한 Adaptive TIN 모델에 기반한 필터링 방법을 사용하였다. 필터링의 원리는 다음과 같다. 먼저 전체 데이터영역에 대한 지면점이 포함되도록 격자경계를 설정하고 각 격자 내에 포함된 라이다데이터의 최소값으로부터 초기 TIN을 생성한다. 이때 격자 내의 최소 높이 값을 갖는 데이터는 지형에서 반사된 점이어야 하므로 이를 고려하여 격자의 크기를 결정한다. TIN을 구성하는 점 이외의 데이터들에 대하여 TIN면과 꼭지점에 대한 임계조건을 적용하여 지면점 여부를 판단한다. TIN근처의 점들(A,B)이 거리(H)와 각(α)이 임계값을

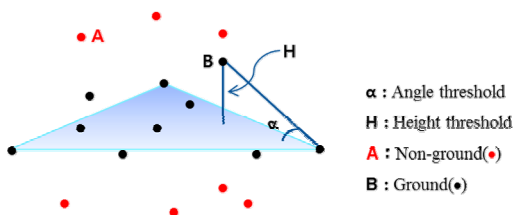


Figure 2. Principles of adaptive TIN filtering (Axelsson, 2000).

만족하는 경우 검사점을 지면점으로 분류하며(B) 이 과정이 완료된 후, 지면점으로 분류된 모든 점들로부터 TIN을 재생성한다(Figure 2). 동시에 지면점으로 추가된 거리 및 각에 대한 히스토그램의 중간값을 이용하여 임계값을 재계산하였으며 실험 영역의 크기 및 지형에 따라 변수 값을 조정하여 적용하였다.

2.3 선형분포 점 탐색

선형으로 분포하는 점을 탐색하는 과정은 Jwa *et al.*[12]이 제안한 방법을 이용하였다. 전선은 공간적으로 선형분포를 이루며, 지표면으로부터 일정 높이 이상에 존재한다는 특징을 가진다. 이를 바탕으로, 판별 대상점이 그 이웃점과 함께 공간상에서 선형으로 분포하는지를 판단할 수 있는 지표로는 대상점과 이웃점들의 개별점과 이웃점의 좌표값에 대한 분산공분산 (variance-covariance) 행렬을 계산하고 그 비율로 분류한다.

분산공분산행렬로부터 계산된 고유값($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$)은 서로 직교하는 임의의 방향단위벡터에 대한 스케일 변화량을 의미한다. 따라서 Table 1과 같이 점들의 분포를 고유값 비율에 따라 평면(plane), 선형(line), 불규칙(irregularity)한 분포의 유형으로 판단할 수 있다. 또한 비지면점 데이터의 최소영역 사각형(Minimum Boundary Rectangle)에 대하여 5m 크기의 3차원 격자 구조를 정의하고 각 복셀 영역에 해당하는 점들을 연결하였다. 그리고 개별점에 대하여 점이 속해있는 복셀과 이웃 복셀에 연결되어 있는 점들간의 3차원 거리를 계산하여 점간 인접성을 수립하였다. 각 점에 대하여 점과 이웃점 좌표의 공분산 행렬의 고유값 비율을 계산하였다. 계산된 고유값 비율로부터 검사점에 대한 전선점 여부를 판단하는 식은 식 (1)과 같이, 고유값 비율이 임계비율 이하인 점을 송전선 후보점으로 판단하였다. 여기서 임계비율의 값은 Lee[10]에서 제

Table 1. Point distribution of eigenvalues ratio

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

안된 0.1로 설정하였다.

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_3} \leq C_{ratio} \text{ and } \frac{\lambda_2}{\lambda_3} \leq C_{ratio} \quad (1)$$

2.4 송전선 후보점 정제

선형적인 공간분포 특성을 갖는 전선 후보점에는 전선으로부터 반사된 점 뿐 만 아니라 다른 객체 표면으로부터 반사된 점들도 포함하고 있다. 이는 시스템 특성(비행방향, 시선각 등)과 대상물의 기하구조에 따라 샘플링 된 점들이 선형 분포를 이루는 경우이다. 따라서 송전선에서 반사되지 않은 점들을 제거해주는 정제과정이 필요하다.

본 연구에서는 전선 후보점을 정제하기 위한 단서로 전선의 방향과 높이, 길이를 이용하였다. 먼저 굴뚝이나 송전탑과 같이 지면으로부터 수직방향으로 선형인 구조물로부터 생성된 송전선 후보점을 제거하기 위해, Figure 3과 같이 전선 후보점 위에 격자셀을 정의하고 각 셀에 해당하는 송전선 후보점들의 높이 값(Z)에 대한 표준편차를 계산하였다. 계산된 표준편차가 임계치 이상인 경우에 해당 셀에 포함된 송전선 후보점 들을 제거하였다. 이때의 임계값은 1로 설정하고 그 임계값 이상이 되는 점을 제거하였다. Figure 3에서와 같이 송전선 후보점들을 선분(line segment)으로 그룹화하여 선분의 길이를 계산한다. 이때는 1m 미만인 경우 송전선이라고 판단하기에 적합하지 않으므로 해당 점을 제거하는 방식으로 수행하였다. 마지막으로 Figure 4와 같이 필터링 단계에서 분류된 지면

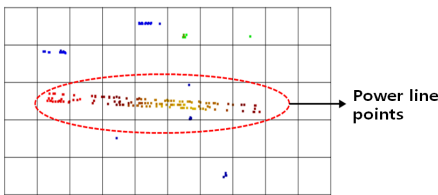


Figure 3. Power-line candidate points and grid cell.

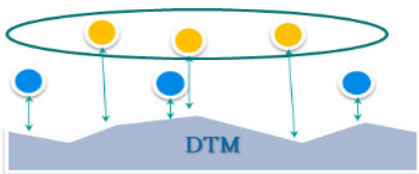


Figure 4. Classification based on the height difference between candidate points and DTM.

점으로부터 지표면 모델(DTM, Digital Terrain Model)을 생성하였다. 그리고 추출된 송전선 후보점과 지표면 모델간의 높이차이가 임계높이(C_{height}), 15m 보다 낮은 점을 제거하였다(식 (2)).

$$P_{height} \leq C_{height} \quad (2)$$

3. 실험 및 실험결과

3.1 실험 소개

본 장에서는 제안된 송전선점 탐지 방법을 실제 데이터와 시뮬레이션 데이터에 적용해보고, 그 결과를 분석한다. 실험은 실측 데이터를 사용하여 알고리즘의 성능을 검증하였고, 시뮬레이션 데이터를 사용하여 고속탐지 가능성을 확인하였다. 먼저 송전선이 있는 영역에서 취득한 실측데이터에 제안된 알고리즘을 적용해보고 탐지성능을 분석한다. 탐지성능은 육안으로 분류한 레퍼런스점(True points)과 탐지 알고리즘의 결과로 출력된 송전선점을 비교분석하고 오분류표를 만들어 정량적인 검증을 수행하고 그 활용가능성에 대해 논하고자 한다. 고속탐지의 가능성을 확인하기 위한 실험으로 0~1초의 시간범위 안에서 0.1초 주기로 관측한 시뮬레이션 데이터에 탐지 알고리즘을 적용해 보고 탐지시간을 비교하여 고속 탐지의 가능성을 확인한다. 이때, Matlab(R2012a) 프로그램을 이용하였고, 탐지의 고속화를 위하여 최소한의 함수(cov, eig)로 개발하였다. 하드웨어는 3GB 메인 메모리의 Intel Core2 Quad Q8200(2.33GHz) 시스템에서 수행하였다.

3.2 실측 데이터를 이용한 전선탐지

3.2.1 실험데이터 소개

실험에 사용된 데이터는 구글(<https://local.google.com>)에서 송전선의 위치를 확인하고 라이더 데이터의 오픈사이트[13]에서 대상지역의 데이터를 다운받아 사용하였다. 제안된 방법을 세 개의 데이터 셋에 적용하고 그 결과를 제시하려고 한다. Table 2는 실험 데이터의 주요한 특성을 요약한 것이다.

3.2.2 알고리즘 적용 및 결과

3.2.2.1 Case A

Case A 실험 대상지역은 미국의 유진(Eugene)의 일

Table 2. Characteristics of test data

Area	Case A	Case B	Case C
	Eugene, USA	California, USA	California, USA
PointDensity [points/m2]	0.596	5.33	5.37
Pointspacing [m]	1.767	0.949	1.01
Totalcount [points]	57,866	674,386	27,975
Xranges [m]	299	371	66
Yranges [m]	324	341	79

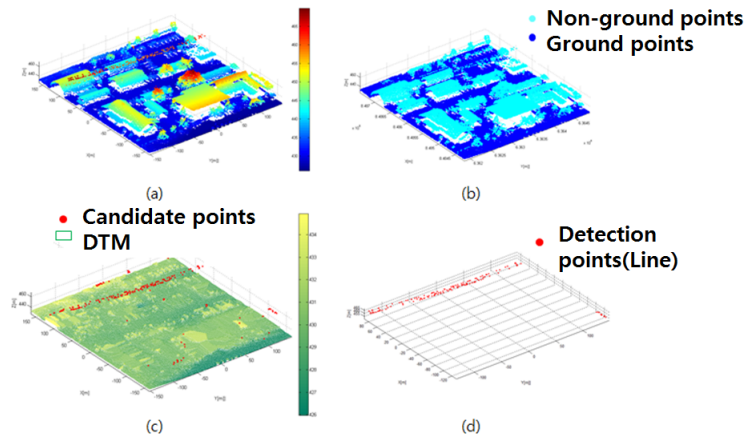


Figure 5. Case A : (a) input LIDAR data, (b) the result of filtering, (c) points in linear distribution, classified using the eigenvalues, (d) power line points.

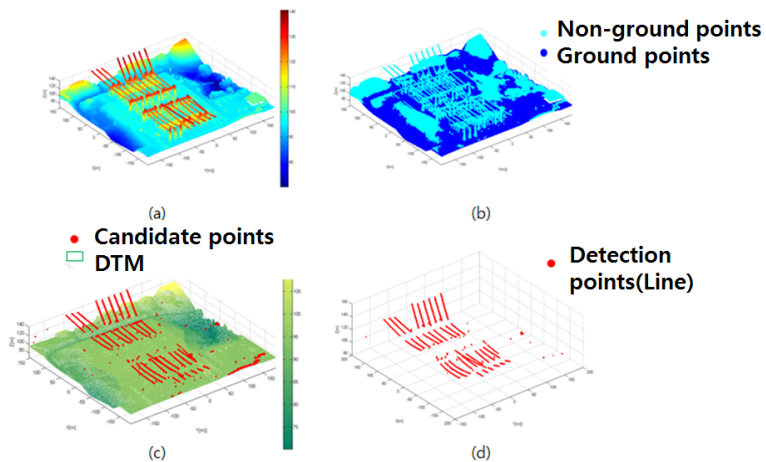


Figure 6. Case B : (a) input LIDAR data, (b) the result of filtering, (c) points in linear distribution, classified using the eigenvalues, (d) power line points.

부지역으로 근처에 발전소가 위치하고 건물, 나무와 전선이 있으며 Figure 5의 (a)와 같다. 전체 57,866개의 점 데이터에서 Figure 5의 (b)와 같이 필터링으로 분류

된 지면점과 비지면점은 각각 32,870개와 24,999개로 나타났다. 비지면점에는 지면을 제외한 건물, 수목, 전선 등의 객체로부터 반사된 점들이 포함되어 있다.

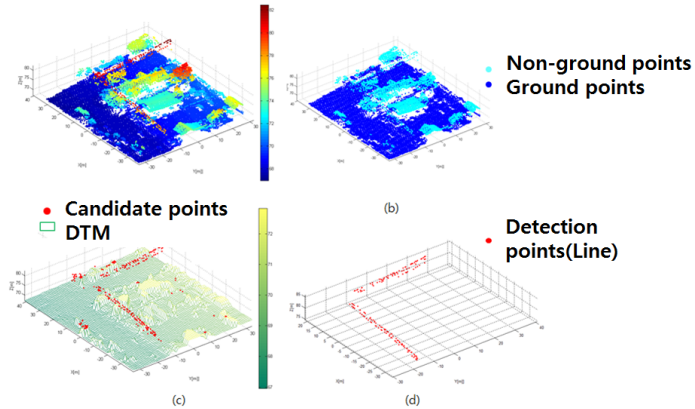


Figure 7. Case C : (a) input LIDAR data, (b) the result of filtering, (c) points in linear distribution, classified using the eigenvalues, (d) power line points.

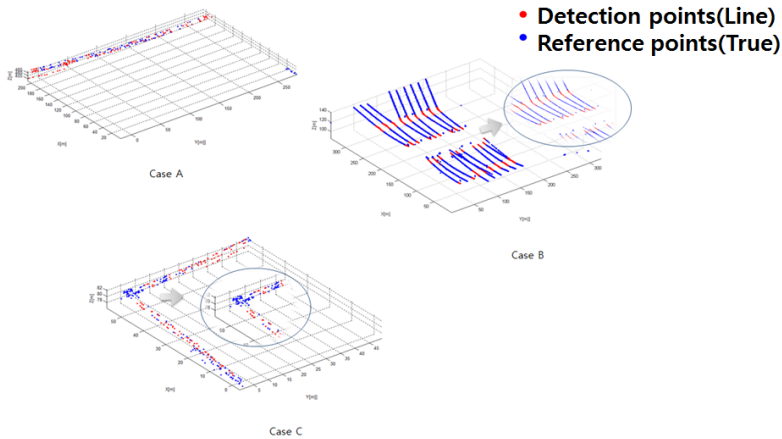


Figure 8. power line points and reference(true data) points.

Figure 5의 (c)는 고유값 비율로 분류된 전선 후보점과 지표면 모델이다. 비지면점을 대상으로 개별점과 이웃점들의 고유값 비율을 계산하고 임계비율과의 비교를 통해 202개의 전선 후보점을 분류하였다. 그리고 길이가 작거나 수직으로 선형인 점들을 제거하는 정제과정을 통해 138개의 최종적인 전선점이 탐지 되었다(Figure 5(d)).

3.2.2.2 Case B

Case B 실험 대상지역은 미국 캘리포니아주 샌루이스오비스포(San Luis obispo) 일부지역으로 주변의 수목이 둘러싸여 있고 고압송전선이 지나가는 유형으로 Figure 6의 (a)와 같다. 전체 674,386개의 점 데이터에서 Figure 6의 (b)와 같이 필터링으로 분류된 지면점과 비지면점은 각각 469,301개와 205,085개로 나타났다.

비지면점에는 지면점을 제외한 건물, 수목, 전선 등의 객체로부터 반사된 점들이 포함되어 있다. Figure 6의 (c)는 고유값 비율로 분류된 전선 후보점과 지표면 모델이다. 비지면점을 대상으로 개별점과 이웃점들의 고유값 비율을 계산하고 임계비율과 비교를 통해 7,325개의 전선 후보점을 분류하였다. 전선 후보점에서 길이, 방향, 높이 정보를 이용한 정제 결과 4,856개의 최종적인 전선점이 탐지 되었다(Figure 6(d)).

3.2.2.3 Case C

Case C 실험 대상지역은 Case B와 인근지역으로 전선이 ‘ㄱ’로 이어지는 유형이다(Figure 7(a)). 전체 27,975개의 점 데이터에서 필터링으로 분류된 지면점과 비지면점은 각각 21,851개와 6,124개로 나타났다. 비지면점에서 지면점을 제외한 건물, 수목, 전선 등의

객체로부터 반사된 점들이 포함되어 있다.

Figure 7의 (c)는 고유값 비율로 분류된 전선 후보점과 지표면 모델이다. 비 지면점을 대상으로 개별점과 이웃점들의 고유값 비율을 계산하고 임계비율과의 비교를 통해 286개의 전선 후보점을 분류하였다. 전선 후보점에서 길이, 방향, 높이 정보를 이용한 정제 결과 165개의 최종적인 전선점이 탐지 되었다(Figure 7(d)).

3.2.2.3 실험결과 검증

실험에 사용한 데이터 셋 Case A, Case B, Case C에서 전선점을 육안으로 추출하여 레퍼런스 데이터를 구축하였다. Figure 8은 각 데이터 셋의 레퍼런스(True data) 점과 탐지된 송전선점을 보여주고 있다. 레퍼런스 점은 지면위에 위치하며 송전선으로 판단되는 점을 육안으로 분류하여 True data로 정의하였다.

탐지된 점과 레퍼런스를 비교한 결과, Case A에서는 ref. 190개의 점에서 129개(67%)가 탐지되었다. Case B의 경우 ref. 6,314개의 점에서 4,856개(76.91%), Case C의 경우 ref. 258개의 점에서 165개(63.95%)의 점이 탐지되었다.

이상의 탐지 성능은 실제 송전선 점 중에서 탐지된 전선점의 비율, 즉 점기반의 탐지 정확도를 의미한다. 그러나 실제 항공기 운용측면을 고려하면, 국부영역에서 전선점이 하나라도 탐지되면 항공기는 그 영역으로 운행하지 않는다. 이를 위해 Table 3과 같이 전체 점데이터 영역에 5m 크기의 격자셀(grid)을 만들어 셀 단위의 탐지 성능을 분석해보았다.

Table 4는 이러한 분석을 위한 오분류표이며 Table 5는 격자의 수이다. True1은 셀에 실제 전선점이 포함

Table 3. Error matrix for performance assessment of wire detection (the number of grid)

		Algorithm	
		Detection	Not-detection
grid	Exist	True1	False1
	Does not exist	False2	True2

Table 4. Detection performance and error rate

Error rate (%)	Type I	$\frac{false1}{true1 + false1} \times 100$
	Type II	$\frac{false2}{true2 + false2} \times 100$
Detection performance (%)		$\frac{true1}{true1 + false1} \times 100$

Table 5. Error matrix for performance assessment of wire detection (the number of grid)

Grid (Reference points = true data)		Algorithm	
		Detection	Not-detection
Case A	Exists	85	18
	Does not exist	4	2,287
Case B	Exists	529	100
	Does not exist	36	3,820
Case C	Exists	27	3
	Does not exist	0	90

Table 6. Detection performance and error rate of the algorithm

Data set	Case A	Case B	Case C
Type I (%)	17.47	15.90	10.00
Type II (%)	0.17	0.93	0.00
Detection performance(%)	82.52	84.10	90.00

되어 있으며, 탐지 알고리즘 적용 결과 셀에 전선점이 포함되어 있다고 정탐지된 경우이며, False1은 셀에 전선점이 있지만, 알고리즘 적용 결과 전선점이 없다고 오탐지된 경우이다. False2는 셀에 전선점이 없는데, 실험결과 전선점이 있다고 오탐지된 경우이며, True2는 셀에 전선점이 없으며, 탐지 알고리즘 결과도 셀에 전선점이 없다고 정탐지된 경우이다. 오분류표를 기반으로 항공기 운용측면의 전선탐지 성능을 정량적 분석을 위한 지표로 Type I, Type II 오차율과 탐지성능을 계산하였다. 오차율과 성능지표는 Table 4의 수식으로 계산하였고, 그 값은 Table 6에서 제시한다. Type I은 전선점이 포함된 전체 셀 중에서 실험결과 전선점이 없다고 오탐지된 셀의 비율이며, Type II는 전선점이 포함되지 않은 전체 셀 중에서 전선점 탐지 결과 전선점이 포함되었다고 오탐지된 셀의 비율이다. 탐지성능은 실제 전선점을 포함하고 있는 전체 셀 중에서 알고리즘 적용 결과 전선점이 존재한다고 출력된 셀의 비율이다[8].

3.3 시스템 구축 및 정확도 평가

3.3.1 실험데이터 소개

실험데이터는 라이다 시뮬레이션을 이용하였다[4]. 입력모델은 Figure 9와 같이 굵기 1~5cm, 길이 20m,

방향 0~90도/45도 간격으로 회전시켜 설계하였으며, 이 시뮬레이션을 이용하여 전체 영역의 데이터를 생성하면 Figure 10과 같이 생성되었다. 이 후 시뮬레이션을 이용하여 0~1초의 시간범위 안에서 0.1초의 주기로 열 개의 데이터 셋을 생성하였다.

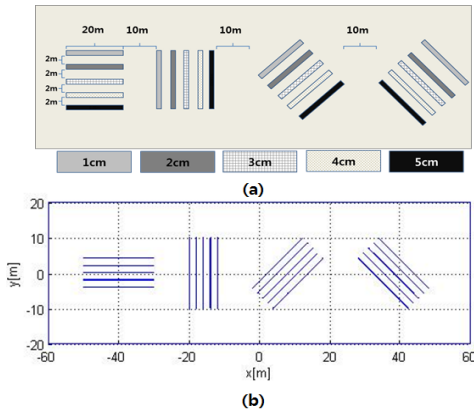


Figure 9. The input model for simulation (a : detailed image, b : matlab image).

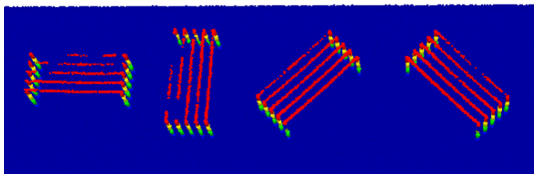


Figure 10. The power line points generated based on simulation.

3.3.2 알고리즘 적용 및 실험결과

비행장애물 회피를 위해서는 실시간 수집된 데이터를 탐지 알고리즘에 적용하면 단시간에 탐지되어야 한다. 따라서 Case D(1~10)에서는 비행시간에 따라 생성한 열 개의 데이터 셋을 본 연구에서 제안하는 탐지 알고리즘에 적용하여 실시간 탐지의 가능성을 확인하고자 한다. 먼저 시뮬레이션의 설정으로는 비행고도 500m, 비행속도는 40m/s, 시선각 60°로 설정하였다. 각각의 데이터에 탐지 알고리즘을 10회씩 적용하여 평균 탐지시간을 확인하였고, 그 결과 탐지시간은 평균 0.182초로 확인하였다. 이때의 탐지시간은 필터링 수행 후, 비지면 점을 대상으로 본 연구에서 제안하는 탐지 알고리즘을 수행하였을 때의 탐지시간이다.

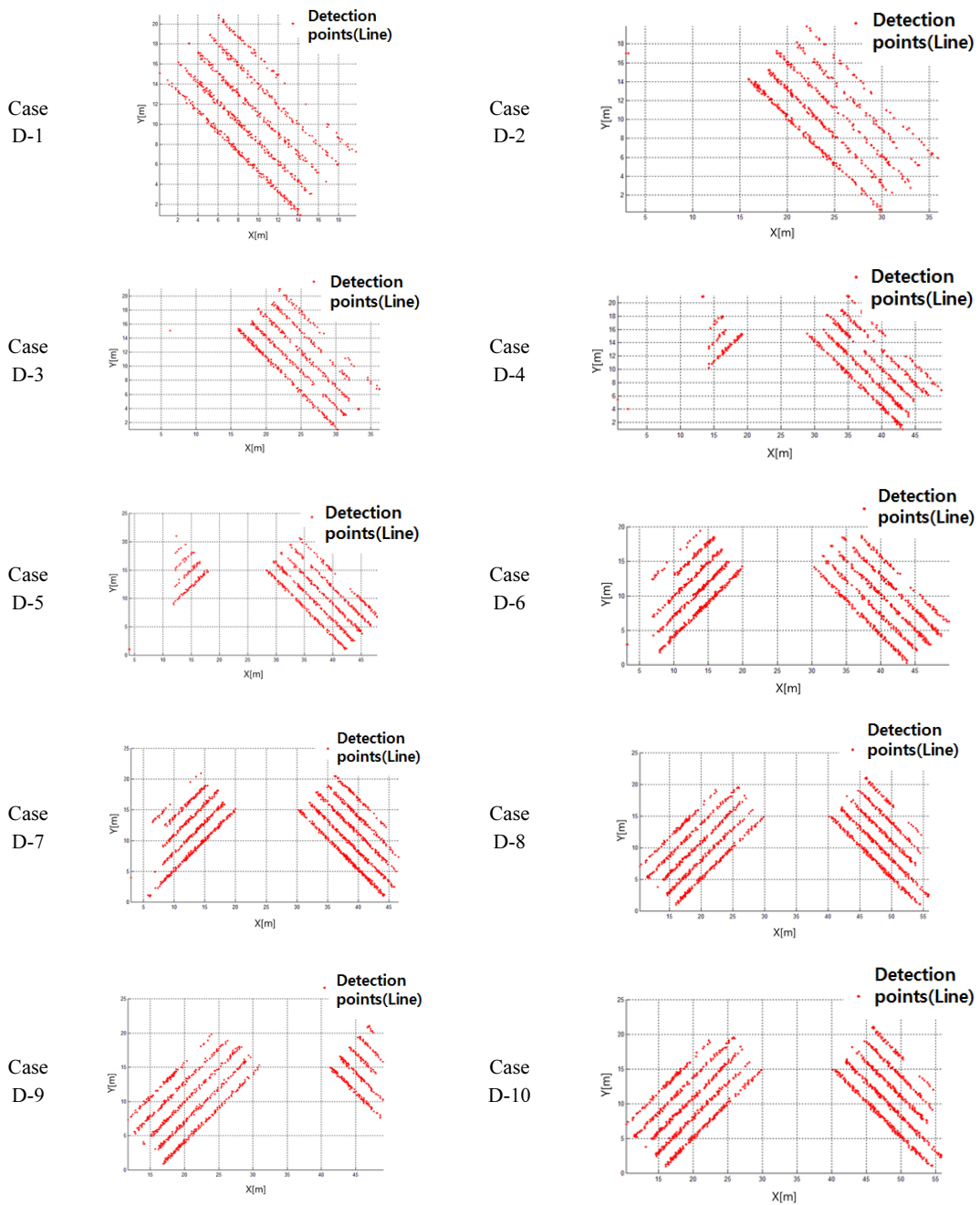
5. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 탐제체의 비행장애물 회피를 위한 송전선 탐지알고리즘을 제안하고 세 가지 데이터 셋에 적용하여 그 결과에 대한 분석 고찰하였다. 제안된 전선 탐지방법은 먼저 실제 데이터를 대상으로 지면 점과 비지면점으로 TIN 필터링을 수행한다. 필터링의 결과 얻어진 비지면점을 대상으로 송전선점이 갖는 두 가지 선형적인 인지적 단서 즉, 1) 선형분포점 탐색, 2) 전선 후보점 정제의 과정으로 송전선점을 추출한다. 선형분포점 탐색으로는 고유값의 비율을 계산하고, 임계비율 이하인 점을 송전선의 후보점으로 판단하였다. 또한 송전선의 방향과 높이, 길이를 이용하여 굴뚝이나 송전탑과 같이 지면으로부터 수직방향으로

Table 7. Characteristics of simulation data

Data	Point Density [개/m ²]	Point Spacing [m]	Total point count [개]	X Ranges [m]	Y Ranges [m]	Flight time [s]
S I M U L A T I O N D A T A	Case D-1	19.31	32,263	11.08~52.30 [41.22]	-20.28~20.25 [40.56]	0~0.1
	Case D-2	16.36	32,495	3.17~52.26 [49.09]	-20.23~20.23 [40.46]	0.1~0.2
	Case D-3	17.80	32,668	3.04~48.32 [45.28]	-20.29~20.25 [40.54]	0.2~0.3
	Case D-4	15.15	32,585	-4.83~48.32 [43.49]	-20.23~20.22 [40.45]	0.3~0.4
	Case D-5	15.29	32,939	-4.93~48.22 [43.29]	-20.28~20.25 [40.53]	0.4~0.5
	Case D-6	13.28	32,799	-12.83~48.26 [61.09]	-20.23~20.21 [40.44]	0.5~0.6
	Case D-7	13.86	32,573	-12.93~45.03 [32.1]	-20.29~20.25 [40.54]	0.6~0.7
	Case D-8	12.34	32,576	-20.83~44.44 [65.27]	-20.23~20.21 [40.44]	0.7~0.8
	Case D-9	14.15	32,792	-20.93~36.26 [57.19]	-20.28~20.25 [40.53]	0.8~0.9
	Case D-10	12.47	32,688	-28.82~35.99 [64.81]	-20.23~20.22 [40.45]	0.9~1.0

Table 8. The result of detection algorithm



선형인 구조물로부터 생성된 송전선 후보점을 정제한다.

각각 다른 실측 데이터에 적용한 결과로 항공기 운영 측면의 송전선탐지 성능을 고찰하고자 전체 점 데이터 영역에서 5m 크기의 격자셀(grid)을 만들어 데이터를 셀 단위로 셀 단위의 탐지 성능으로 운용가능성을 분석하였다. 그 결과로 세 가지 모든 유형에서 각각

80% 이상의 탐지성능을 확인하였다. 또한 가이거 모드의 시뮬레이션에서는 1cm~5cm 굵기와 다양한 방향에 따른 송전선의 탐지결과 육안으로 구분할 수 있었다. 또한 1초의 시간범위 안에서 0.1초의 주기로 10개의 데이터 셋을 생성하고, 제안된 알고리즘을 적용한 결과 평균 0.182초로 탐지됨을 확인하였다.

송전선의 고속탐지를 위하여 본 연구의 프로그램은 보다 간단한 처리과정을 지향하였다. 현재까지는 고속탐지를 위한 기초적인 방법론을 개발하고 탐지시간을 확인하였으며, 향후 다양한 비행 및 대상 환경에 대하여 다양한 하드웨어의 규격이나 프로그래밍에 따른 속도를 비교하는 실험을 수행하여 비행장애물 탐지용 라이더 데이터의 실시간 처리 알고리즘으로 활용할 계획이다.

References

- [1] Axelsson, P, 2000, DEM Generation from Laser Scanner Data using Adaptive TIN model, Proc. of 2000 International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 4 (2000): 111-118.
- [2] Cho, W, S; Lee, Y, J; Jwa, Y, S. 2003, Automatic Extraction of Buildings using Aerial Photo and Airborne LIDAR Data, Korean Journal of Remote Sensing, 307-317.
- [3] Clode, S ; Rottensteiner, F. 2005, Classification of Tree and Powerlines from medium resolution Airborne Laserscanner data in Urban Environments, APRS Workshop on Digital Image Computing, 97-102.
- [4] Jeon, W, G; Choi, B, G. 2013, A Study on the Automatic Detection of Railroad Power Lines Using LiDAR Data and RANSAC Algorithm, Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography, 31(4):331-339.
- [5] Jwa, Y.; Sohn, G; Kim, H. B. 2009, Automatic 3d powerline reconstruction using airborne lidar data. IAPRS, 38(2004), 105-110.
- [6] Kang, J, W; Kwak, Y G. 2004, Analysis of Obstacle Awareness and Collision Avoidance for UAV Using Radar Sensor System, The Korean society for Aeronautical & Space Sciences, 845-848.
- [7] Kim, D. Y; Kang, J, H. 2010, Power Line Detection of Arial Images Using Hough Transform, The Korean Institute of Communications and Information Sciences, 171-179.
- [8] Kim, S, J; Lee, I, P. 2010, Simulation Based Performance Assessment of a LIDAR Data Segmentation Algorithm, The Korean Society for GeoSpatial Information System, 5(2):119-129.
- [9] Kim, S, J; Lee, I, P. 2011, Modeling of Geiger-mode Imaging LADAR Sensor, Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, 1001-1004.
- [10] Lee, M, J; Kim, S, J; Lee, I, P. 2013, Extraction of Power Line Points Based on Eigenvalues of LIDAR Data, Conference of The Korean Society for GeoSpatial Information System. 81-82.
- [11] McLaughlin, R. A. 2006, Extracting transmission lines from airborne LIDAR data. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 3(2), 222-226.
- [12] Melzer, T., & Briese, C. (2004, June). Extraction and modeling of power lines from als point clouds. In Proceedings of 28th Workshop (pp. 47-54). Hagenberg, Austria.
- [13] Open Topography(<http://www.opentopography.org>).
- [14] Aviation and Railway Accident Investigation Board (<http://araib.molit.go.kr/intro.do>).

논문접수 : 2014.01.10
수정일 : 2014.02.25
심사완료 : 2014.02.28