

이산지형정보에서 생성된 레이더 모의 지형 스캔 정보에 관한 연구

강승훈¹ · 한성현¹ · 전지연² · 임동주² · 이상철^{1,†}¹한국항공대학교 스마트항공모빌리티학과²한화시스템 항공레이더체계팀

A Study on the Simulated Radar Terrain Scan Data Generated from Discrete Terrain

Seunghun Kang¹, Sunghyun Hahn¹, Jiyeon Jeon², Dongju Lim² and Sangchul Lee^{1,†}¹Department of Smart Air Mobility, Korea Aerospace University, Korea²Hanwha Systems, Avionics Radar System Team

Abstract

A simulated radar terrain scan data generation method is employed for terrain following. This method scans the discrete terrain by sequentially radiating beams from the radar to the desired scan area with the same azimuth but varying elevation angles. The terrain data collected from the beam is integrated to generate the simulated radar terrain scan data, which comprises radar-detected points. However, these points can be located far from the beam centerline when the radar is far from them due to beam divergence. This paper proposes a geometry-based terrain scan data generation method for analysing simulated radar terrain scan data. The method involves detecting geometric points along the beam centerline, which forms the geometry-based terrain scan data. The analysis of the simulated radar terrain scan data utilising this method confirms that the beam width effects are accounted for in the results.

초 록

지형 추종을 시뮬레이션하기 위해 레이더 모의 지형 스캔 정보 생성 기법이 제시되었다. 레이더 모의 지형 스캔 정보 생성 기법은 레이더가 원하는 방위각, 고각 방향에 순차적으로 다수의 빔을 방사하는 것을 모사한다. 방사되는 각 빔의 방위각은 모두 동일하고, 고각은 서로 다르다. 각 빔을 통해 획득한 지형 정보를 통합하여 레이더 모의 지형 스캔 정보가 생성된다. 레이더 모의 지형 스캔 정보는 레이더 탐지점들로 구성되어 있다. 레이더 탐지점은 레이더로부터 멀어질수록 빔 중심선으로부터 멀어지는 경향이 있다. 이는 빔 폭이 일정한 각도를 가지기 때문이며, 방사 위치로부터 멀어질수록 빔의 스캔 영역이 넓어지는 것과 관련이 있다. 본 논문에서는 빔을 모사하여 생성된 레이더 모의 지형 스캔 정보를 분석하기 위해 기하학 기반 지형 스캔 정보 생성 기법을 제시한다. 기하학 기반 지형 스캔 정보는 기하학 탐지점으로 구성되며, 모든 기하학 탐지점은 빔 중심선 위에 존재한다. 두 기법이 생성한 지형 스캔 정보의 위도, 경도를 분석하여 빔 폭의 영향이 반영된 레이더 모의 지형 스캔 정보가 생성되었는지 확인하였다.

Key Words : Simulated Radar Terrain Scan Data(레이더 모의 지형 스캔 정보), Geometry-based Terrain Scan Data(기하학 기반 지형 스캔 정보), Beam width(빔 폭), Discrete Terrain Data(이산지형정보)

1. 서 론

지형 추종을 시뮬레이션하기 위해서는 항공기 전방의 지형 스캔 정보를 획득하는 알고리즘, 지형 스캔 정보를 기반으로 비행 궤적을 생성하는 알고리즘, 그리고 비행 궤적을 따라 비행하기 위한 유도 명령을 생성하는 알고리즘 등이 필요하다[1,2].

지형 추종을 수행하기 위해 항공기 전방의 지형 스

캔 정보를 획득하는 방법으로 레이더나 카메라 그리고 레이저 거리 측정기(Laser Ranger Finder)와 같은 센서가 사용될 수 있다. M. V. Srinivasan 등은 무인기에 사용 가능한 카메라를 모델링하여 항공기 전방의 지형 스캔 정보를 획득하는 방법을 제시하였다[3]. A. Livshitz 등은 레이저 거리 측정기를 모델링하여 항공기 전방의 지형 스캔 정보를 획득하고, 지형 추종을 시뮬레이션 하였다[4]. 카메라의 경우 밤이거나 악천후인 상황에서 사용하기 어렵고, 레이저 거리 측정기는 악천후의 상황에서 거리 측정 성능이 떨어진다. 지형 추종을 적용하고 있는 전투기나 수송기의 경우 항공기 전방의 지형 스캔 정보를 획득하기 위해 주로 레이더가 사용되며[5,6], 이와 관련한 선행 연구로 레이더 모의 지형 스캔 정보 생성 기법을 개발하였다[7-9]. 본 논문에서는 레이더 모의 지형 스캔 정보를 분석함으로써 지형 추종을 시뮬레이션을 하기 위해 레이더 모의 지형 스캔 정보가 합리적인 정보를 제공하는지 확인한다.

레이더 모의 지형 스캔 정보 생성 기법은 빔을 다양한 방향으로 방사할 수 있고 방사한 각도에 따라 빔 폭이 변하는 위상 배열 레이더의 특징이 반영되어 있다[7-9]. Digital Terrain Elevation Data(DTED)[10]와 같이 지형 정보가 이산적일 때 레이더 모의 지형 스캔 정보 생성 기법을 사용하여 원하는 방위각, 고각 방향의 지형 스캔 정보를 획득할 수 있다. 레이더 모의 지형 스캔 정보 생성 기법은 레이더에서 다수의 빔을 순차적으로 방사하는 것을 모사한다. 방사되는 각 빔의 방위각은 모두 같고, 고각은 서로 다르다. 각 빔이 측정한 지형 정보를 통합하여 레이더 모의 지형 스캔 정보를 생성한다. 레이더 모의 지형 스캔 정보는 레이더 탐지점으로 구성되어 있다. 레이더 탐지점의 위도, 경도는 Fig. 1과 같이 레이더와 거리가 가까울 때에는 빔의 스캔 영역이 좁기 때문에 빔 중심선과 가깝게 분포한다.

본 논문에서는 기하학 기반 지형 스캔 정보 생성 기법을 제시한다. 기하학 기반 지형 스캔 정보 생성 기법은 Fig. 1과 같이 빔 중심선 위에 일정한 간격마다 지형 정보를 생성한 뒤 항공기에서 탐지할 수 있는 지형 스캔 정보를 생성하는 기법이다. 기하학 기반 지형 스캔 정보를 구성하는 기하학 탐지점의 고도는 DTED를 통해 획득한다. DTED level2를 기반으로 동일한 항공기의 위치에서 생성한 기하학 기반 지형 스캔 정보와 레이더 모의 지형 스캔 정보를 비교하여 빔 폭의 영향이 반영된 레이더 모의 지형 스캔 정보가 생성되었는지 확인한다.

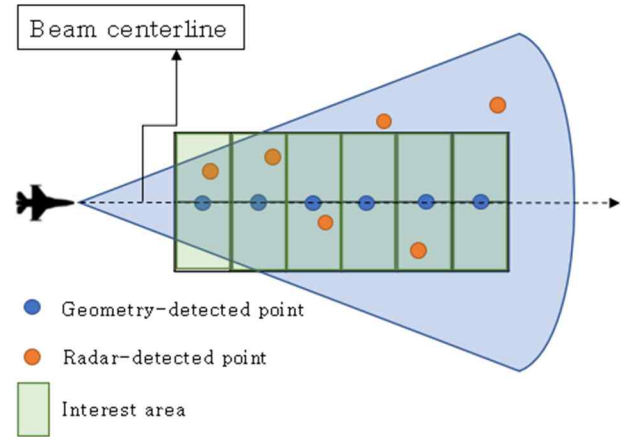


Fig. 1 Two Types of Terrain Scan Data(Top-View)

2. 본 론

2.1 레이더 모의 지형 스캔 정보 생성 기법

레이더 모의 지형 스캔 정보 생성 기법은 항공기의 현 위치와 자세 정보가 입력되면 네 단계를 거쳐 레이더 모의 지형 스캔 정보를 생성한다.

첫번째 단계에서는 빔을 방사할 방향을 결정한다.

두번째 단계에서는 빔 내부 지형점을 획득한다. 여기서 지형점이란 위선과 경선의 교점에 저장된 위도, 경도, 그리고 고도의 정보를 포함하고 있는 점이다. 빔 내부 지형점을 획득하기 위해 레이더 좌표계를 정규화한 uv좌표계를 사용한다[11]. uv좌표계에 빔의 경계선을 그린 뒤, 임의의 지형점을 uv좌표계에 옮겨볼 때 빔 경계선 내부에 있고, 레이더의 최소, 최대 탐지거리 이내에 있을 경우에 임의의 지형점을 빔 내부 지형점이라 정의한다. 모든 지형점을 uv좌표계에 옮겨서 빔 내부 지형점을 획득하는 것은 시간적으로 비효율적이기 때문에 빔 내부 지형점을 조사할 위도, 경도를 특정할 필요가 있다. 레이더 모의 지형 스캔 정보 생성 기법에서는 uv좌표계에서 표현된 빔을 작은 빔들로 분할한다. 분할된 작은 빔을 Parcel이라 정의한다. Parcel의 경계점을 NED(North-East-Down)좌표계로 옮긴 후 NED좌표계에서 Parcel의 경계점을 연결하여 Parcel 영역을 생성한다. NED 좌표계에서 Parcel 영역 내부에 존재하는 지형점을 조사하여 빔 내부 지형점을 획득한다. 빔 내부 지형점에는 레이더를 기준으로 주변 지형에 가려져 볼 수 없는 빔 내부 지형점과 볼 수 있는 빔 내부 지형점이 모두 존재한다.

세번째 단계에서는 반직선 판별 방법을 이용하여 레이더에서 볼 수 있는 지형점을 판별한다. 반직선 판별 방법은 항공기로부터 임의의 빔 내부 지형점으로 나아가는 반직선을 생성하고, 생성된 반직선이 임의의 빔 내부 지형점에 도착하기 전 다른 지형과의 교점이 발

생하는지 확인하여 지형 가시성을 판별하는 방법이다. 반직선이 임의의 빔 내부 지형점 외에 다른 지형과 교점이 있으면 해당 빔 내부 지형점은 레이더에서 가시성이 없는 지형점이다. 이 단계에서 획득한 지형점은 빔 내부에 있고 가시성이 있는 지형점이다. 이를 빔 내부 가시 지형점이라 정의한다.

네번째 단계에서는 동일한 Range gate 내부에 있는 빔 내부 가시 지형점을 가중 평균하여 레이더 탐지점을 생성한다. 가중 평균을 위한 가중치는 레이더 단면적(RCS, Radar Cross Section) σ 을 사용하며 가중 평균을 구하는 식은 Eq. 1을 사용한다.

$$\phi_i = \frac{(\sum_{j \in G_i} \sigma_j \phi_j)}{(\sum_{j \in G_i} \sigma_j)}, \theta_i = \frac{(\sum_{j \in G_i} \sigma_j \theta_j)}{(\sum_{j \in G_i} \sigma_j)} \quad (1)$$

ϕ_i, θ_i 는 각각 방위각의 가중평균, 고각의 가중평균이다. G_j 는 동일한 레인지 게이트 내부에 존재하는 빔 내부 가시 지형점의 집합이다. ϕ_j, θ_j 는 빔 내부 가시 지형점의 방위각과 고각이다. 실제 레이더의 측정치는 노이즈가 있기 때문에 네번째 단계에서 레이더 탐지점의 방위각과 고각에 가산 백색 가우스 잡음(Additive White Gaussian Noise)를 추가한다. 레이더 탐지점의 신호 대 잡음비(SNR, Signal to Noise Ratio)를 구한다. 레이더 탐지점의 신호 대 잡음비가 특정 값보다 커야 탐지된 것으로 판단한다.

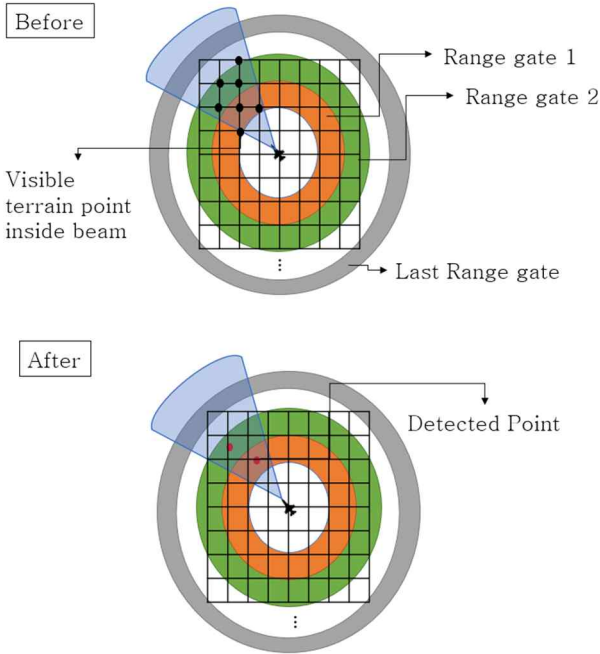


Fig. 2 Radar-Detected Point Generation (Top-View)

Figure 2는 레이더 탐지점이 생성되는 예시이다. Fig. 2의 상단에는 격자점에 저장된 빔 내부 가시 지형점이

있으며, Range gate별로 레이더 탐지점들의 가중 평균을 구하여 레이더 탐지점이 생성되는 것을 확인할 수 있다. 모든 빔에 대하여 위의 네 단계를 거친 뒤 Range gate별로 각 빔이 생성한 레이더 탐지점을 구분한다. 동일한 Range gate 내부에는 레이더 탐지점이 없거나, 하나 이상 존재할 수 있다. 동일한 Range gate 내부에 다수의 레이더 탐지점이 존재하는 경우 신호 대 잡음비가 가장 큰 레이더 탐지점만 남기는 작업을 수행한다. 모든 과정이 끝나고 남은 레이더 탐지점을 레이더 모의 지형 스캔 정보라고 한다. Fig. 3에서 확인되는 것처럼 항공기와 거리가 가까운 레이더 탐지점의 위도와 경도는 빔 중심선 부근에 위치한다.

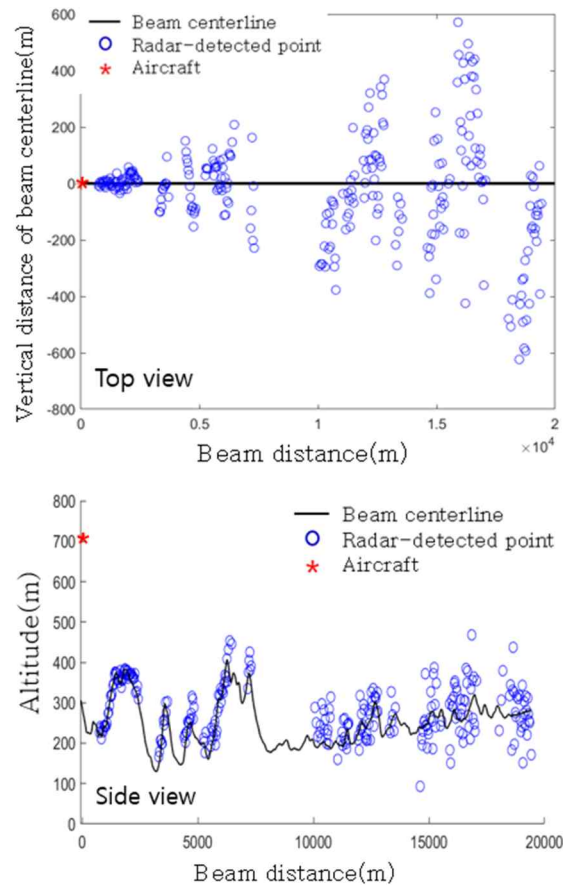


Fig. 3 Radar-Detected Point

2.2 기하학 기반 지형 스캔 정보 생성 기법

기하학 기반 지형 스캔 정보 생성 기법은 빔 중심선 위에 Fig. 4와 같이 위도, 경도가 일정한 간격으로 지형 정보를 생성한다. 각 지형 정보에 생성된 위도, 경도 위치의 고도 값은 DTED와 이중선형보간법을 이용하여 계산하고 저장한다.

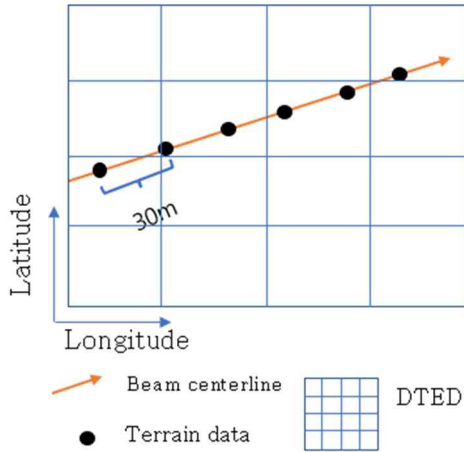


Fig. 4 Terrain Data Generation

다음으로 Fig. 5와 같이 피크점을 찾는다. 피크점을 선정하기 위해 우선 항공기와 임의의 연속된 세 지점 $p-1, p, p+1$ 사이의 고각 $\theta_{p-1}, \theta_p, \theta_{p+1}$ 을 계산한다. θ 는 수평선을 기준으로 계산되며, 시계방향으로는 음수의 각을 가지게 된다. θ_p 가 θ_{p-1} 과 θ_{p+1} 보다 크면 p 지점은 피크점이 된다.

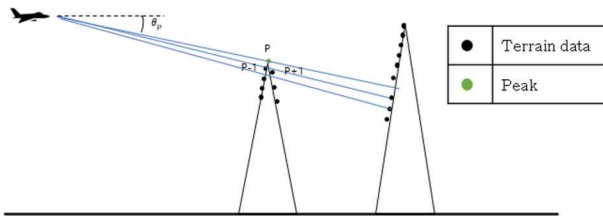


Fig. 5 Peak Point

이후 Fig. 6과 같이 항공기로부터 피크점을 연결하는

직선을 생성한다. 피크점 이후 생성된 직선의 고도보다 낮은 지형 정보는 탐지할 수 없는 것으로 판단하고 제거한다. 모든 피크점에 대하여 위의 과정을 수행하고 남은 지형 정보를 기하학 기반 지형 스캔 정보라고 정의한다. 기하학 기반 지형 스캔 정보는 기하학 탐지점으로 구성되어 있다. Fig. 8에서 기하학 탐지점은 빔 중심선을 따라 생성되어 있는 것을 확인할 수 있다.

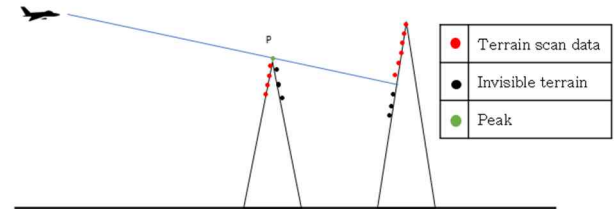


Fig. 6 Terrain Scan Data Generation

2.3 레이더 모의 지형 스캔 정보 생성

지형은 다양한 형상을 가지기 때문에 지형의 유형을 나누어 분석하였다. 지형 유형은 Table 1의 항공기가 움직이는 궤적에 존재하는 지형들의 DTED 값을 이용한다. 1.2km마다 DETD 고도 값들의 표준편차를 수집한 뒤, 표준편차의 크기에 따라 평탄지(Smooth), 구릉지(Moderate), 산지(Rough)으로 구분하였다[12]. 만약 제주도 지역에서 수집된 표준편차들 중 과반이상 구릉지였다면 제주도는 구릉지로 분류한다. Fig. 7은 상공에서 봤을 때 항공기의 궤적을 나타낸 것이다.

레이더는 항공기의 물과 피치가 변하더라도 동일한 영역을 스캔하도록 설계되어 있다. 레이더 스캔 시간은 서로 다른 레이더 모의 지형 스캔 정보를 획득할 개수와 관련한 설정이다.

Table 1 Simulation Conditions

Yeonggwang~Gimje (Smooth)			Jeju-do (Moderate)			Gangwon-do (Rough)		
Condition		Value	Condition		Value	Condition		Value
Aircraft	Initial position	N35.30° E126.50°	Aircraft	Initial position	N33.20° E126.54°	Aircraft	Initial position	N37.33° E128.39°
	Aircraft speed	250m/s		Aircraft speed	250m/s		Aircraft speed	250m/s
	Aircraft attitude	Roll = 0° Pitch = 0° Yaw = 40.03°		Aircraft attitude	Roll = 0° Pitch = 0° Yaw = 90°		Aircraft attitude	Roll = 0° Pitch = 0° Yaw = 53.13°
	Aircraft altitude	300m above the ground		Aircraft altitude	300m above the ground		Aircraft altitude	300m above the ground
Radar	Scan area	Azimuth: 0° Elevation angle: -00° ~ 00°	Radar	Scan area	Azimuth: 0° Elevation angle: -00° ~ 00°	Radar	Scan area	Azimuth: 0° Elevation angle: -00° ~ 00°
	Scan period	1sec		Scan period	1sec		Scan period	1sec
	Scan time	200sec		Scan time	150sec		Scan time	200sec

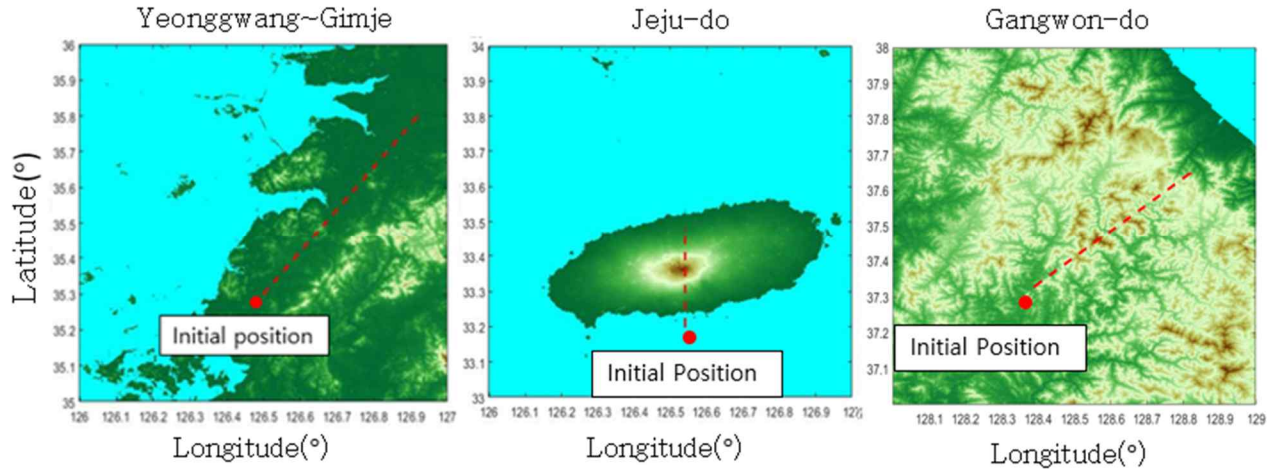


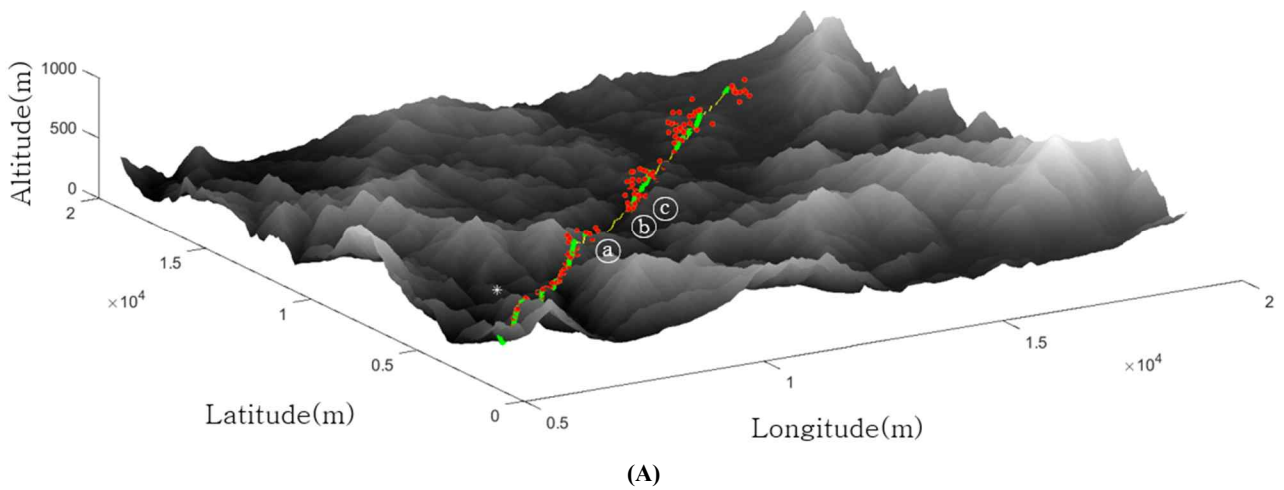
Fig. 7 Simulation Area

2.4 레이더 모의 지형 스캔 정보 분석

Figure 8은 기하학 기반 지형 스캔 정보 생성 기법과 레이더 모의 지형 스캔 정보 생성 기법으로 Table 1의 강원도 지형의 시작지점에서 획득한 각각의 지형 스캔 정보를 나타낸다. 기하학 기반 지형 스캔 정보는 레이더 빔 폭과 측정 노이즈가 없다고 가정하고 생성하였기 때문에 항상 빔 중심선 위에 기하학 탐지점이 존재한다. 반면 레이더 모의 지형 스캔 정보는 빔이 방사되는 것을 모사하여 생성하였기 때문에 빔 내부에 가시성이 확보되는 영역안에서 레이더 탐지점이 생성될 수 있다. Fig. 8과 같이 ⑥ 지점에서 기하학 탐지점은 존재하지 않지만 레이더 탐지점은 존재한다. 기하학 탐지점은 빔 중심선을 따라 생성되기 때문에 ① 지

점의 고도가 높은 지형이 ③ 지점의 지형까지 가시성에 영향을 미친다. 반면 레이더 탐지점은 빔 폭의 영향으로 ① 지점의 지형이 빔 중심선 기준으로 우측에는 고도가 낮은 지형이 존재하기 때문에 ⑥ 지점 지형의 가시성이 확보되어 레이더 탐지점이 존재한다. 레이더 모의 지형 스캔 정보는 항공기의 위치, 빔 방사 방향, 그리고 빔 폭이 고려되어 생성되는 것을 확인할 수 있다.

빔은 방사되는 방향으로 레이더와의 거리에 따라 스캔 영역의 크기가 달라진다. 빔 내부에 존재하는 레이더 탐지점이 레이더로부터의 거리에 따라 빔 중심선으로부터 벗어나는 정도를 확인하기 위해 수직 거리에 대한 분석을 진행하였다.



(A)

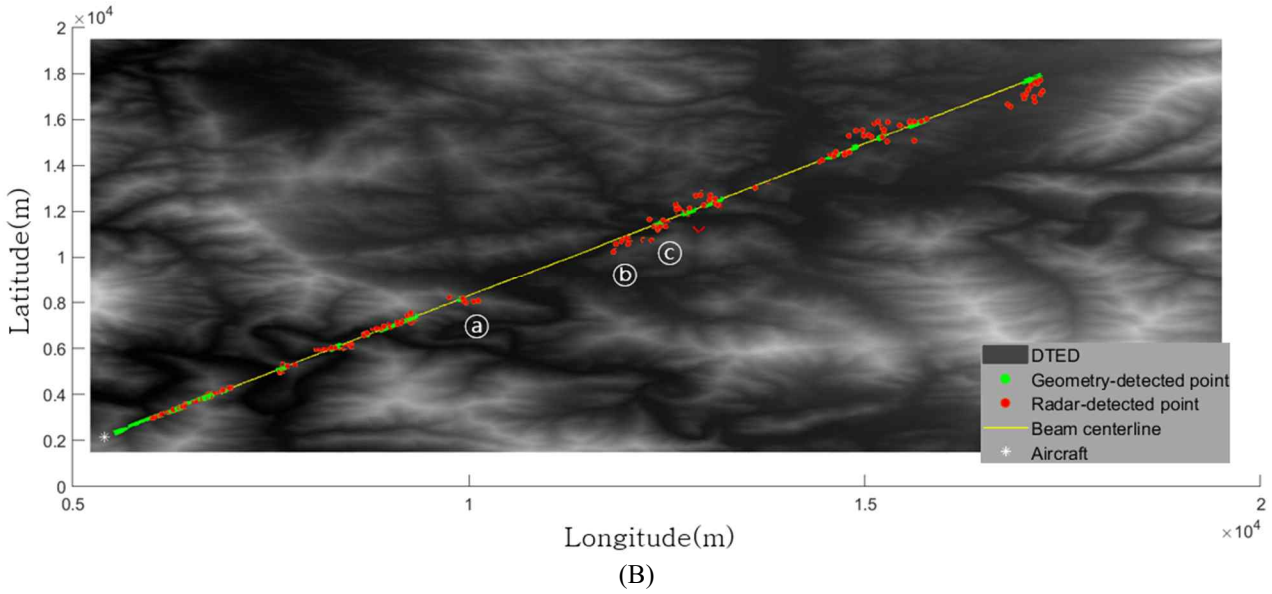


Fig. 8 Result of Terrain Scan Data Generation in Gangwon-do (A) – 3D view, (B) – Top-View

수직 거리 분석은 Fig. 9과 같이 동일한 Range gate ID를 가지는 기하학 탐지점과 레이더 탐지점을 비교하여 설정된 수직 거리 이내에 있는지 확인하는 과정을 거친다.

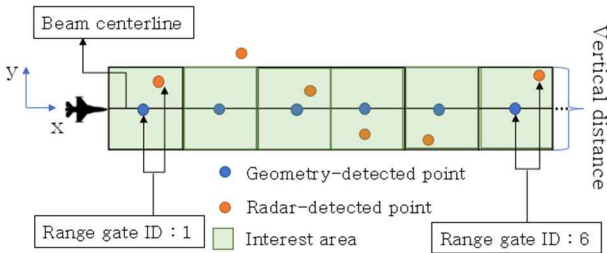


Fig. 9 Analysis of Vertical Distance

x축은 수평면에 투사한 빔 중심선 방향이고, 빔 중심선 방향의 길이를 관심 거리 정의한다. y축은 수평면에 투사한 빔 중심선과 수직하는 방향이다. 관심 영역은 Range gate의 x축 길이와 임의로 설정한 수직 거리 ($|y|$)로 인해 생기는 사각형 영역이다. 레이더 탐지점이 관심 영역 내부인지 판단한다. Range gate ID 1을 시작으로 레이더 탐지점을 하나씩 누적하며, 누적된 레이더 탐지점의 개수 대비 누적된 관심 영역 내부의 레이더 탐지점 개수 비(λ_v)를 Eq. 2 와 같이 계산한다.

$$\lambda_v = \frac{\text{cumulative detected points on interest area}}{\text{cumulative detected points}} \quad (2)$$

임의의 Range gate ID는 레이더 탐지점과 기하학 탐지점 중 하나만 존재하거나 둘 다 없는 경우도 존재한다. 이러한 경우는 제외하고 다음 Range gate ID로 넘

어가도록 한다. λ_v 가 특정 값 이하로 내려갔을 때, 레이더 탐지점이 위치한 관심 거리를 저장한다.

Table 2는 Table 1에 의해 생성된 각각의 Scan ID에 대해 수직 거리 분석을 수행하여 획득한 관심 거리를 평균 낸 값이다. 여기서 Scan ID란 스캔 주기 별로 획득한 레이더 모의 지형 스캔 정보의 구분자이다. 영광~김제의 경우 스캔 주기가 1초이고, 스캔 시간이 200초가 주어지기 때문에 200개의 Scan ID를 가진다.

Table 2 Result of Vertical Distance Analysis

Yeonggwang-Gimje			
	$\lambda_v = 0.95$	$\lambda_v = 0.98$	$\lambda_v = 0.99$
$ y \leq 15m$	1.96km	1.57km	1.53km
$ y \leq 30m$	3.78km	2.75km	2.51km
$ y \leq 60m$	6.43km	4.65km	4.13km
Jeju-do			
	$\lambda_v = 0.95$	$\lambda_v = 0.98$	$\lambda_v = 0.99$
$ y \leq 15m$	1.47km	1.31km	1.31km
$ y \leq 30m$	2.73km	2.18km	2.02km
$ y \leq 60m$	3.94km	3.47km	3.25km
Gangwon-do			
	$\lambda_v = 0.95$	$\lambda_v = 0.98$	$\lambda_v = 0.99$
$ y \leq 15m$	1.16km	1.05km	1.01km
$ y \leq 30m$	2.01km	1.66km	1.58km
$ y \leq 60m$	2.54km	2.13km	2.10km

제주도의 경우 $|y| \leq 15m$, $\lambda_v = 0.99$ 로 설정할 때 레이더 모의 지형 스캔 정보는 관심 거리가 평균 1.31km인 지점까지 λ_v 가 0.99이상을 유지한다는 것을 의미한다. $|y| \leq 15m$, $\lambda_v = 0.99$ 로 설정할 때 영광~김제, 제주도, 강원도로 갈수록 관심 거리가 짧아지는 것

을 확인할 수 있으며 레이더 탐지점이 지형의 유형에 영향을 받음을 알 수 있다. 또한 같은 지형에서 λ_b 가 같을 경우 $|y|$ 길이가 길어질수록 관심 거리가 긴 것을 확인할 수 있다. 이는 레이더 탐지점이 빔 폭의 영향으로 레이더로부터 멀어질수록 빔 중심선으로부터 먼 곳에 생성되는 경향이 있기 때문이다.

3. 결 론

본 논문에서는 기하학 기반 지형 스캔 정보를 이용하여 빔 폭의 영향이 반영된 레이더 모의 지형 스캔 정보를 분석하였다. 레이더 모의 지형 스캔 정보 생성 기법은 먼저 원하는 방위각, 고각 방향의 지형을 스캔하기 위해 다수의 빔을 모사한다. 이후 각 빔 영역 내부의 지형 정보를 획득한 뒤 통합하여 레이더 모의 지형 스캔 정보를 생성한다. 레이더 모의 지형 스캔 정보를 구성하는 레이더 탐지점은 레이더와의 거리가 가까울수록 빔이 포함하는 스캔 영역이 좁아 빔 중심선과 가깝게 위치한다. 빔 폭을 고려하지 않는 기하학 기반 지형 스캔 정보 생성 기법은 빔 중심선 위에 일정한 간격마다 지형 정보를 생성한 뒤, 항공기에서 탐지할 수 있는 기하학 기반 지형 스캔 정보를 생성하는 방법이다. 두 기법의 생성 결과를 비교하여 레이더 모의 지형 스캔 정보의 수직 거리를 분석하였다. 분석 결과 같은 지역에서 λ_b 가 같을 때 $|y|$ 가 커질수록 관심 거리가 늘어나는 것을 확인하였다. 이는 빔 폭의 각도가 일정할 때 레이더와의 거리에 따라 스캔 영역의 크기가 달라지는 빔의 영향이 레이더 모의 지형 스캔 정보에 반영된 것을 의미한다. 향후 지형 추종을 위한 시뮬레이터 개발에 있어 항공기 전방의 지형 스캔 정보를 획득하는 방법으로 레이더 모의 지형 스캔 정보 생성 기법이 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

이 논문은 2022년도 한화시스템(주)의 재원을 지원받아 수행된 연구임(202015011).

References

- [1] N. K. Shupe, "The Control of Aircraft in Terrain-Following and Formation-Flight Applications," *IEEE Transactions on Aerospace & Electronics Systems*, vol. aes-2, no. 6, pp. 502-507, 1966.
- [2] E. J. Smith, "A universal terrain-following algorithm," *AIAA Aircraft Design and Operations Meeting*. 1969.
- [3] M. V. Srinivasan, S. Thurrowgood, and D. Soccol, "An optical system for guidance of terrain following in UAVs,"

- IEEE Int. Conf. Video Signal Based Surveillance*, 2006.
- [4] A. Livshitz and M. Idan, "Preview Control Approach for Laser-Range-Finder-Based Terrain Following," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 56, no.2, pp.1318-1331, 2020.
- [5] K. L. Johnson and M. Wendl, "F15E TERRAIN FOLLOWING SYSTEM DEVELOPMENT," *AIAA Aerospace Design Conference*, 1992.
- [6] T Penn, "A History of Terrain-Following Radar," A MASTER OF ENGINEERING REPORT, *Texas Tech University*, 2005.
- [7] S.H. Hahn, D.Y. Choi, D.S. Jang, S. Lee, "A Terrain Information Generation Algorithm for A Terrain Following System," *KSAS 2020 Fall Conference*, pp.1094-1095, 2020.
- [8] D.Y. Choi, S.H. Hahn, D.S. Jang, S. Lee, "Simulated Terrain Scan Data Generation of a Radar for Automatic Terrain Following," *KSAS 2021 Spring Conference*, 2021.
- [9] D.Y. Choi, S.H. Hahn, D.S. Jang, H.J. Lee, S. Lee, H.C. Park, and D.J. Lim, "Development of a Terrain Scan Data Generation Algorithm Using DTED," *Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT)*, 2021.
- [10] NIMA(National Imagery and Mapping Agency), Performance Specification Digital Terrain Elevation Data(DTED), MIL-PRF-89020B, 2000.
- [11] W. H. Von Aulock, "Properties of phased arrays," *Proceedings of the IRE*, vol. 48, pp. 1715-1727, 1960.
- [12] L. A. Fatale and J. R. Ackeret, "Impact of digital terrain elevation data(DTED) resolution on terrain visualization : simulation vs reality," *U.S. Army Topographic Engineering Center*, 1991.