

# 무인차량 자율주행을 위한 레이더 영상의 정지물체 너비추정 기법

김성준<sup>\*,1)</sup> · 양동원<sup>1)</sup> · 김수진<sup>1)</sup> · 정영헌<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 제5기술연구본부

## Width Estimation of Stationary Objects using Radar Image for Autonomous Driving of Unmanned Ground Vehicles

Seongjoon Kim<sup>\*,1)</sup> · Dongwon Yang<sup>1)</sup> · Sujin Kim<sup>1)</sup> · Younghun Jung<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> The 5th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 17 July 2015 / Revised 6 October 2015 / Accepted 6 November 2015)

### ABSTRACT

Recently many studies of Radar systems mounted on ground vehicles for autonomous driving, SLAM (Simultaneous localization and mapping) and collision avoidance have been reported. Since several pixels per an object may be generated in a close-range radar application, a width of an object can be estimated automatically by various signal processing techniques.

In this paper, we tried to attempt to develop an algorithm to estimate obstacle width using Radar images. The proposed method consists of 5 steps - 1) background clutter reduction, 2) local peak pixel detection, 3) region growing, 4) contour extraction and 5)width calculation. For the performance validation of our method, we performed the test width estimation using a real data of two cars acquired by commercial radar system - I200 manufactured by Navtech. As a result, we verified that the proposed method can estimate the widths of targets.

Key Words : RADAR(레이더), Close-Range RADAR(근거리 레이더), Obstacle Detection(장애물탐지), Width Estimation(너비추정), Region Growing(영역확장), Clustering(클러스터링)

### 1. 서론

최근 지상 이동체에 탑재할 수 있는 근거리 고해상도 레이더 센서들이 개발됨에 따라, 장애물 회피 및

자율 주행 등의 연구가 활발히 연구되고 있다.

레이더(RADAR, Radio Detection And Ranging)는 광학영상에 비해 주야간 시간에 구애받지 않으며, 라이다(LIDAR, Light Detection And Ranging)에 비해 악천후, 연막 등의 환경에 덜 민감하다. 이러한 장점으로 자율주행 관련 연구에서 레이더는 라이다 및 광학영상과 상호보완적인 역할을 수행할 수 있다<sup>1-4)</sup>. 자율주행

\* Corresponding author, E-mail: kimseongjoon@add.re.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

을 위한 실시간 경로계획(Path planning)을 수립하기 위해서는, 지상 이동체 시스템은 센싱(Sensing)을 통하여 주변 지형을 파악해야 한다. 특히 센서 데이터를 분석하여, 이동체가 기동할 수 있는 영역과 회피해야하는 영역을 구분할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 장애물 물체를 탐지하고 그 위치, 너비 등의 정보를 자동으로 추출하는 기법이 필요하다.

이에 본 연구에서는 레이더 영상으로부터 자율주행에 있어서 필요한 장애물을 탐지하고, 탐지된 장애물의 너비를 추정하는 기법을 제안한다.

레이더는 송/수신 안테나를 통하여 표적 물체로부터 반사된 전자기파의 신호세기(SNR, Signal to Noise Ratio)로부터 영상을 생성한다. 이 때 산란되는 전자기파는 물체의 국부적인 반사율과 면적, 입사각에 따른 반사량(RCS, Radar Cross Section)과 거리, 시스템 특성에 따라 다양한 신호세기 값을 갖는다<sup>[1]</sup>. Fig. 1은 근거리용(200 m) 레이더인 Navtech사의 I200 레이더로 측정된 샘플 영상이다. Fig. 1과 같이 물체 표면에 의해 신호세기가 높은 지점에 해당하는 픽셀은 높은 화소값을 나타내며, 신호세기가 낮은 지점에 해당하는 픽셀은 낮은 화소값을 나타낸다. 따라서 자율주행에서 이동 플랫폼이 회피해야하는 장애물이 존재할 가능성이 있는 위치는 높은 화소값을 갖는다.

본 연구에서는 I200 레이더 영상으로부터 자율주행에 있어서 필요한 장애물을 탐지하고, 탐지된 장애물의 너비를 추정하는 기법을 개발하였다. 본 논문에서 ‘너비’는 레이더 센서가 바라보는 방향에서의 물체 폭을 의미한다.

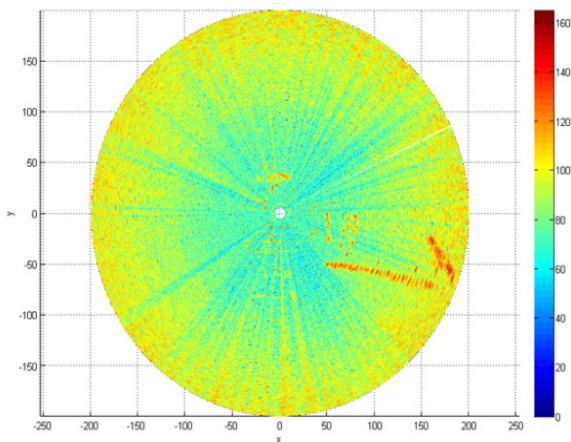


Fig. 1. Radar sample image acquired by Navtech I200

## 2. 방법론

본 연구에서 제안하는 물체너비추정 방법은 Fig. 2와 같이 크게 물체탐지와 너비추정 단계로 구성된다. 물체탐지 단계에서는 레이더 영상으로부터 물체를 탐지하여 물체 클러스터를 생성한다. 너비추정 단계에서는 탐지된 물체 클러스터를 영역확장하여 레이더 영상에서 물체에 해당하는 영역을 복원(Reconstruction)하여 외형을 추출하고, 이로부터 너비를 추정한다.

### 2.1 물체탐지

물체탐지는 레이더 영상에서 같은 물체에 의해 주위보다 높은 화소값을 갖는 픽셀들을 인접한 것끼리 그룹화하는 클러스터링 과정이다. 레이더 영상에서 하나의 단일 물체는 하나의 국부적 피크픽셀(Local peak pixel)을 중심으로 화소값이 낮아지는 분포를 나타낸다<sup>[5]</sup>. 그러나 차량과 같은 다양한 재질과 복잡한 기하구조를 갖는 물체는 국부적인 표면의 입사각, 재질, 거칠기 등의 요소에 의해 다수의 국부적 피크가 나타날 수 있다<sup>[1-3]</sup>.

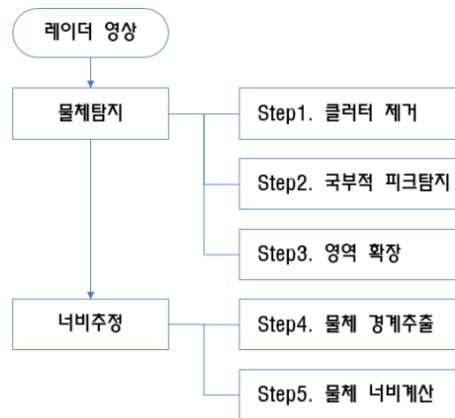


Fig. 2. Proposed method of width estimation

본 연구에서는 표적인식이 아닌, 자율주행을 위한 장애물이 될 수 있는 물체를 탐지하는 것이 목적이기 때문에, 하나의 물체는 단일 국부적 피크를 중심으로 화소값이 분포한다는 가정을 한다.

이러한 전제하에 물체탐지 처리는 1) 클러터 제거 (Clutter reduction), 2) 국부적 피크픽셀 탐지(Local peak pixel detection), 3) 영역확장(Region growing) 단계로 구성된다.

2.1.1 클러터 제거

레이더 송수신 및 신호처리 모듈에서 발생하는 신호잡음에 의해 발생된 배경 클러터(Background clutter)를 제거한다. 이는 다음 단계인 국부적 피크픽셀(Local peak pixel)을 탐지할 때, 영상 노이즈에 의한 오탐지율(False alarm rate)을 줄이기 위함이다. Fig. 1의 레이더 영상을 살펴보면 레이더를 중심으로 원거리로 갈수록 신호잡음(붉은색 화소값)이 증가함을 알 수 있다. 본 연구에서는 이러한 신호잡음을 제거하기 위하여 거리별 신호값의  $mean + k\sigma$  ( $mean$ : 평균,  $k$ : 상수,  $\sigma$ : 표준편차) 프로필을 생성하고, 이를 기준(Threshold)으로 크로핑(Cropping)하여 배경 클러터를 제거한다.

2.1.2 국부적 피크픽셀 탐지

클러터가 제거된 거리-도플러 영상에서 국부적으로 신호세기 값이 높은 픽셀을 탐지한다. 이를 위해, 영상에서 각 행(Row)과 열(Column) 방향의 프로필(Profile)에서 피크 픽셀을 찾고, 행 방향 피크영상과 열 방향 피크영상에 AND 연산자를 적용하여, 국부적인 피크영상을 생성한다. 탐지된 피크 픽셀은 영역확장 단계에서 초기 중심픽셀이 되며, 이를 중심으로 클러스터링을 수행한다<sup>[6]</sup>.

2.1.3 영역확장<sup>[6]</sup>

영역확장 단계에서는 탐지된 국부적 피크픽셀을 중심으로 인접한 이웃 픽셀(Neighbor pixel)들을 클러스터에 포함시키면서 그룹화를 수행한다. 그룹화를 통한 영역확장은 [6]에서 제안한 클러스터링 기법을 적용한다. 사용한 기법은 Fig. 3과 같이 플러드필(Flood fill) 알고리즘에 기반하여 피크 픽셀을 시작(Seed pixel)으로 재귀적으로 인접한 주위 픽셀을 클러스터 영역으로 성장시킨다.

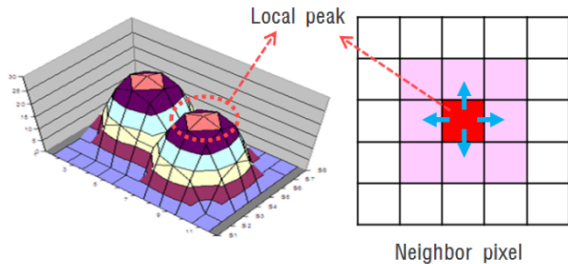


Fig. 3. Searching neighbor pixels with 4 directions for region growing

본 클러스터링 기법은 가우시안 영상필터링을 통해 레이더 영상 노이즈를 제거한 후에 적용한다. 이는 클러스터 영역확장시 노이즈를 포함하고 있는 픽셀에 의해 클러스터 영역이 제대로 확장되지 못하는 현상을 방지하기 위함이다.

Fig. 4는 [6]에서 제안된 영역확장 방법에 대한 도식이다. 하나의 클러스터에서 탐색된 피크픽셀을 입력했을 때, 그룹화 과정은 다음과 같이 수행된다. 먼저 입력된 피크픽셀을 중심으로 이웃 픽셀을 탐색한다. 탐색된 이웃 픽셀에 대하여 정해진 2가지 조건을 만족하는 픽셀을 클러스터에 포함시킨다.

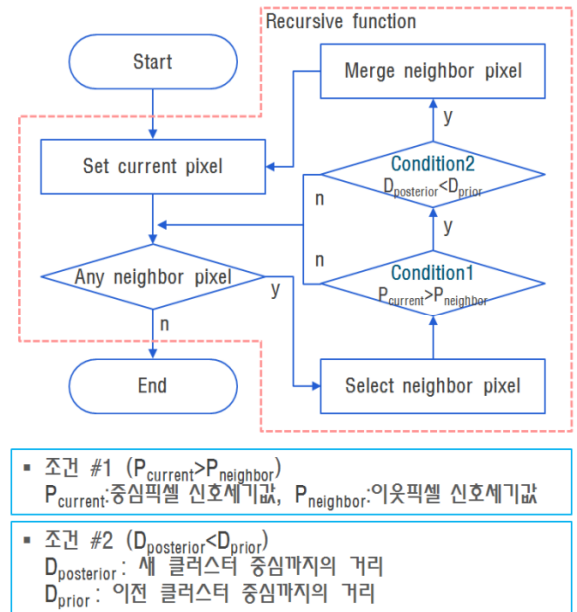


Fig. 4. Region growing algorithm including 2 conditions<sup>[6]</sup>

이러한 그룹화 과정은 단위 국부적 피크픽셀마다 재귀적으로 반복수행 된다. 탐색된 이웃 픽셀에 대한 그룹화 여부를 결정하는 첫 번째 조건은 이웃 픽셀과 중심 픽셀의 신호세기 값이다. 이웃 픽셀의 신호세기 값이 중심 픽셀 보다 낮다면, 두 픽셀 모두 같은 물체에 의해 발생한 경우이므로 그룹화를 수행한다. 만약 이웃 픽셀의 신호세기 값이 중심 픽셀 보다 높다면, 이웃 픽셀과 중심 픽셀은 서로 다른 물체에 의해 발생된 경우이므로 그룹화를 수행하지 않는다.

두 번째 조건은 탐색된 이웃 픽셀이 첫 번째 조건을

만족하지만 이미 다른 클러스터에 그룹화된 경우이다. 이는 이웃 픽셀이 서로 인접한 두 클러스터 경계에 위치할 때 발생한다. 인접한 두 클러스터 경계에 위치한 픽셀은 두 클러스터의 국부적 피크픽셀까지의 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 비교하여 가까운 클러스터로 그룹화를 수행한다.

2.2 너비추정

너비추정은 Fig. 5와 같이 클러스터 경계추출, 너비 계산 단계로 구성된다.

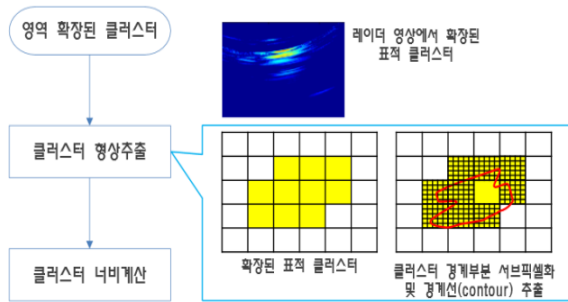


Fig. 5. Process of width estimation step

2.2.1 경계추출

물체 경계추출 단계에서는 확장된 물체 클러스터로부터 물체 외형에 해당하는 신호세기 값을 기준으로 클러스터 경계선(Contour)을 추출한다. 물체외형 추출 단계는 4단계의 알고리즘으로 구성된다. (1) 먼저 극좌표계(거리-방위각)로 표현되어 있는 레이더 영상을 직교좌표계(x-y)로 변환한다. 그리고, (2) 각 클러스터별로 서브영상을 생성한다. 서브영상의 크기는 클러스터의 최소경계사각형(MBR, Minimum Boundary Rectangle)으로 정의하며, 다음 단계에서 특정 신호값으로 크로핑을 해야 함을, 고려하여 격자간격을 조밀하게(0.1 m) 설정한다. 서브영상을 구성하는 각 픽셀의 화소값은 거리-방위각 레이더 영상에서 해당 클러스터 픽셀의 위치와 화소값으로 내삽(Interpolation)을 통해 계산한다. (3) 마지막으로 생성된 서브영상에서 물체 외형을 의미할 수 있는 신호세기 값을 기준으로 영상 크로핑하여 기준값보다 높은 픽셀들만을 추출하여 최종적인 물체 외형을 나타내는 클러스터를 생성한다. 그리고 Fig. 6과 같이 클러스터 이진영상을 만들고 클러스터픽셀별로 주위 이웃픽셀의 화소값이 0인 픽셀의 존재여부로 경계점 픽셀을 추출한다.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 6. Finding boundary pixels of a cluster

2.2.2 너비계산

마지막 단계인 클러스터 너비계산에서는 Fig. 7과 같이 추출된 물체 클러스터 외형을 구성하는 경계점(Boundary points)으로부터 외형의 너비를 계산한다. 레이더 영상에서 나타나는 물체의 너비는 레이더 센서와 물체의 위치와 자세(방향)에 따라 달라지며, 이는 항상 물체의 실제 너비를 반영하지는 않는다. 따라서 본 연구에서는 레이더 센서가 바라보는 물체의 폭을 ‘너비’라고 정의하고, 그 폭을 계산함으로써 물체 너비를 추정한다. 물체 너비를 계산하기 위해서 먼저 클러스터의 중심좌표를 계산하고, 이로부터 계산된 클러스터 방위각만큼 클러스터 경계점을 회전이동 시켜 클러스터 경계점들을 y축 위로 이동시킨다. 그리고 회전변환된 경계점들에 대한 x축으로의 최소~최대 범위(Range)를 계산함으로써 물체 너비를 계산한다.

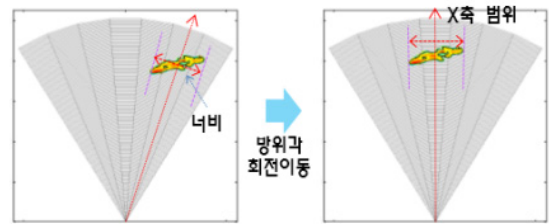


Fig. 7. Geometric rotation of cluster boundary for width estimation

3. 실험 및 결과

제안된 너비추정 방법에 대한 적용 가능성을 검증하기 위해, 실제 획득된 레이더 영상을 너비추정 알고리즘에 적용하여 보았다. 본 실험에서 사용한 레이더 영

상 데이터는 Navtech사의 I200 시스템으로 획득하였다. Navtech사의 I200은 방위각 방향으로 약 0.8°, 거리방향으로 약 0.25 m 해상도를 지닌 거리-방위각 영상을 출력하는 전방위 레이더 시스템이다. 전체 실험 과정은 1) 레이더 시스템으로부터 얻어진 영상 데이터를 입력으로 물체탐지를 위한 데이터 클러스터링과 2) 클러스터링 결과를 입력으로 수행되는 너비추정 부분으로 구성된다.

### 3.1 데이터획득

Navtech사의 I200 레이더 시스템에서 출력되는 데이터의 구조는 Table 1과 같이 N×782 크기의 2차원 행렬로 이루어져 있다. 첫 번째 열(칼럼)은 빔번호, 두 번째 열은 방위각을 의미한다. 세 번째에서 782번째 칼럼은 5 m ~ 200 m 범위에서 각 단위거리(0.25 m)별 신호강도 값이 기록되어 있다.

Table 1. Output data format of I200 radar

칼럼	1	2	3	...	782
정보	ID	Azimuth	SNR	SNR	SNR

I200 레이더를 이용하여 Fig. 8과 같은 환경에 대한 데이터를 획득하였다. 레이더 시스템을 설치한 주변에는 양쪽으로 가건물이 있으며, 전방에는 차량 두 대를 위치시켜 놓았다. 그리고 두 차량 뒤에는 가로수가 있다. Fig. 9는 I200 레이더로 획득한 데이터이며, Fig. 10은 획득 데이터에서 약 450개의 레코드(Record)로 거리-방위각 차원으로 생성한 영상이다. Fig. 10을 살펴보

면 물체가 있는 지점에서는 신호세기가 높으며, 배경 클러터에서는 낮은 세기의 신호가 수신되었음을 볼 수 있다. 또한 거리에 따른 신호 프로필을 살펴보면 거리가 가까울수록 신호값이 낮으며, 거리가 멀어질수록 신호 세기값이 전반적으로 높아짐을 확인할 수 있다 (Fig. 10 영상에서 좌에서 우로 갈수록 전체적인 신호값 세기가 높음).



Fig. 8. I200 radar and experiment environment

data <450x782 double>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	25.7520	72	77	68	82	86	73	83
2	1	26.5430	83	70	75	81	88	91	87
3	2	27.3340	74	37	54	82	81	84	50
4	3	28.1250	80	83	75	44	76	44	57
5	4	28.9160	68	67	75	74	85	30	88
6	5	29.7070	73	69	63	61	64	61	70
7	6	30.4980	70	71	71	67	55	33	69
8	7	31.2890	50	68	62	45	69	63	42
9	8	31.9800	53	59	49	62	48	72	72
10	9	32.7710	73	79	77	80	74	80	68
11	10	33.5620	28	63	58	60	75	80	71
12	11	34.3530	49	70	46	79	62	64	70
13	12	35.1440	62	60	63	53	60	45	42
14	13	35.9350	73	52	64	66	68	59	53
15	14	36.7260	45	48	46	54	54	71	67
16	15	37.5170	78	59	61	53	63	72	77
17	16	38.3080	79	79	71	54	70	64	71
18	17	39.1113	65	87	85	53	72	79	77
19	18	39.9023	80	67	71	81	74	61	68

Fig. 9. Data output from I200 radar

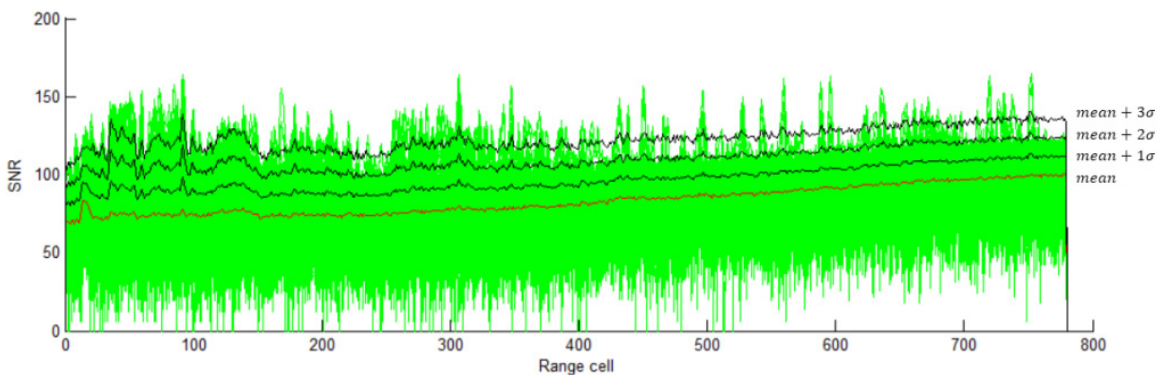


Fig. 10. Range profiles(green) of 450 azimuths and its mean(red), mean+1sigma(black), mean+2sigma(black), mean+3sigma(black) profiles

Fig. 11은 거리-방위각 차원으로 되어있는 신호영상을 X-Y축인 직교좌표계로 변환하여 실험영역(ROI, Region of Interest)만을 가시화한 그림이다. 극좌표계에서 직교좌표계로의 변환은 식 (1)을 적용하였다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cdot \cos(\theta) \\ r \cdot \sin(\theta) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Fig. 11 영상에서 나타난 주요 지형/지물은 다음과 같다. (0, 0) m 지점은 I200 레이더 시스템이 설치된 위치이며, 그 지점을 기준으로 반경 5 m 이내는 레이더 측정거리 범위를 벗어나기 때문에 영상이 존재하지 않는다. 레이더 위치로부터 아래로 약 (0, -13) m 지점에 수평으로 길게 나타난 신호는 건물벽으로부터 수신된 신호이며, 건물벽 하단에 나타난 신호들은 멀티패스(Multi-pass)에 의한 클러스터로 판단된다. 영상 우측에 상하로 길게 퍼져있는 신호는 가로수에 의해 발생한 신호이며, 그 좌측의 신호는 Fig. 8의 두 대의 차량을 나타낸다.

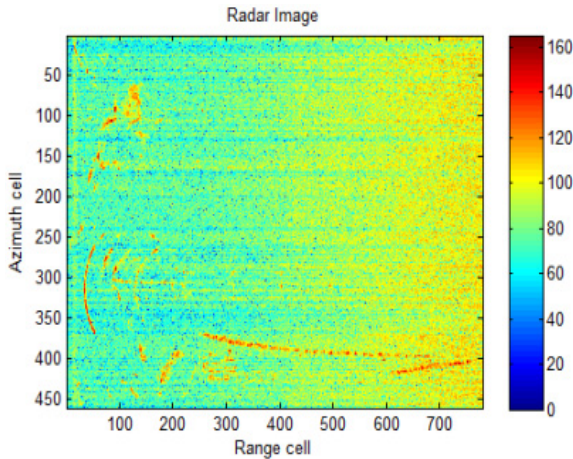


Fig. 11. Radar Image in range-azimuth dimension

### 3.2 물체탐지

레이더 영상 신호로부터 클러스터를 생성하기 위해서는 먼저 배경 클러스터를 제거하고 의미 있는 물체로부터 수신된 신호(픽셀)만을 남겨야 한다. 거리-방위각 레이더 영상에서 나타나는 거리에 따라 신호세기 증가한다는 점에 착안하여, 거리에 따른 신호세기 분포특성을 이용하여 배경 클러스터와 비배경 클러스터를 구분할 수 있는 임계치 프로필을 정의하였다.

먼저, 거리방향에 대해 방위각 빔별 신호세기 값의 대표값(mean)을 계산하고, 1σ(standard deviation)에서 3σ까지의 범위를 살펴보았다(Fig. 12). 그 결과, 대부분의 배경 클러스터는 2σ 범위 내에 들어오는 것을 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 거리에 따른 임계치 프로필(mean+2σ)을 만들어 배경 클러스터를 제거하였다.

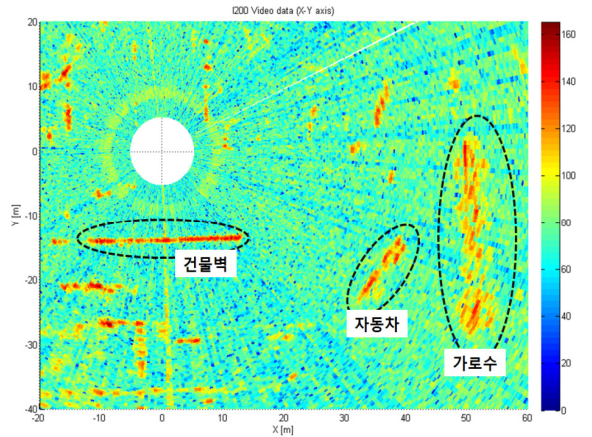


Fig. 12. Radar image in x-y cartesian coordinate

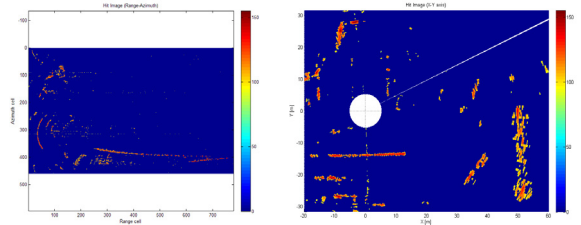


Fig. 13. Radar image reduced background clutters by mean+2σ profile as criteria(left: range-azimuth domains, right: x-y domains)

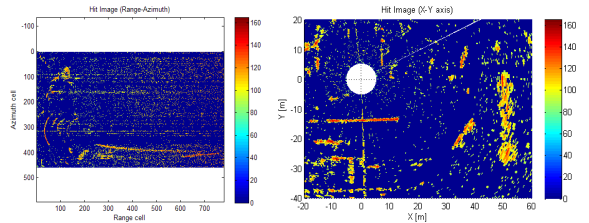


Fig. 14. Radar image reduced background clutters by mean+1σ profile as criteria(left: range-azimuth domains, right: x-y domains)

Fig. 13은 임계치 프로필을 기준으로 배경 클러터를 제거한 레이더 영상이다. Fig. 14와 Fig. 15는 각각 Mean+1σ와 Mean+3σ 프로필로 배경 클러터를 제거한 결과영상이다. Fig. 14의 경우 상당수의 클러터가 제거되지 못했으며, Fig. 15는 배경 클러터 뿐 만 아니라 물체로부터 수신된 신호까지 일부 제거되었음을 보여주고 있다.

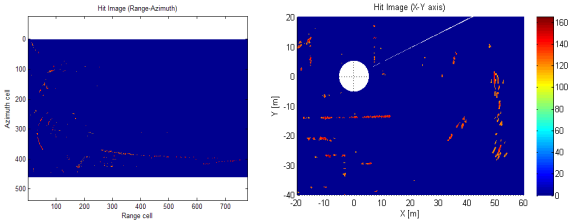


Fig. 15. Radar image reduced background clutters by mean+3σ profile as criteria(left: range-azimuth domains, right: x-y domains)

배경 클러터가 제거된 레이더 영상을 입력으로 2장에서 기술된 클러스터링 기법을 적용하여 클러스터를 생성하였다. Fig. 16과 Fig. 17은 영역확장을 위해서 배경 클러터가 제거된 영상에서 탐지한 116개의 국부적 피크픽셀(Local peak pixels)을 보여주는 그림이다.

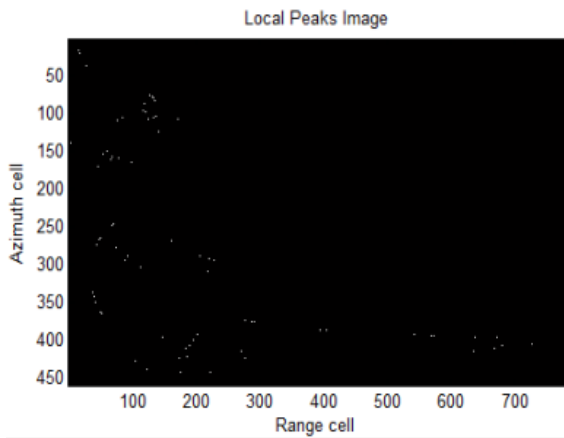


Fig. 16. Local peak pixels in range-azimuth domains

탐지된 피크픽셀을 시드(Seed) 픽셀로 사용하여 영역 확장 알고리즘을 수행한 결과, Fig. 18, Fig. 19와 같이 영역 확장된 클러스터 영상이 생성되었다.

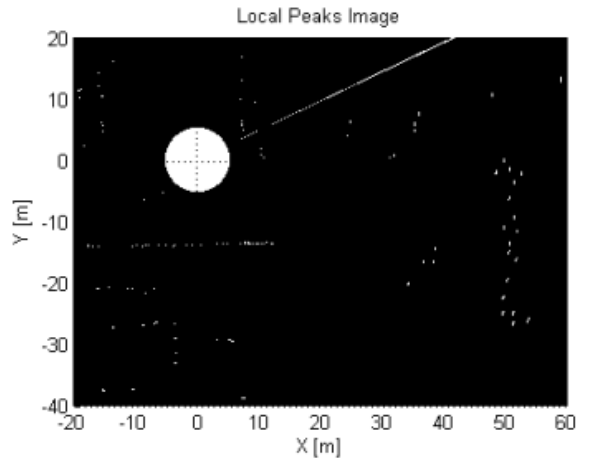


Fig. 17. Local peak pixels in x-y domains

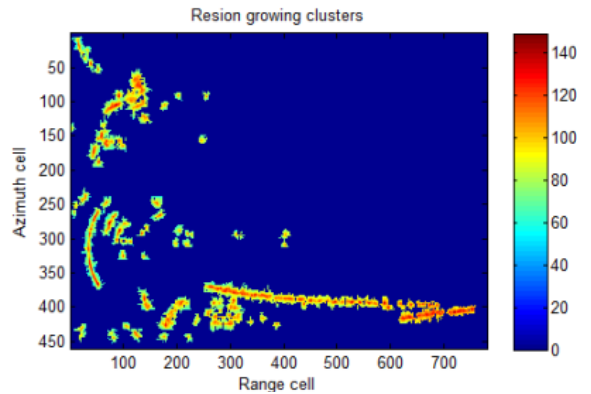


Fig. 18. Clusters generated by region growing in range-azimuth domains

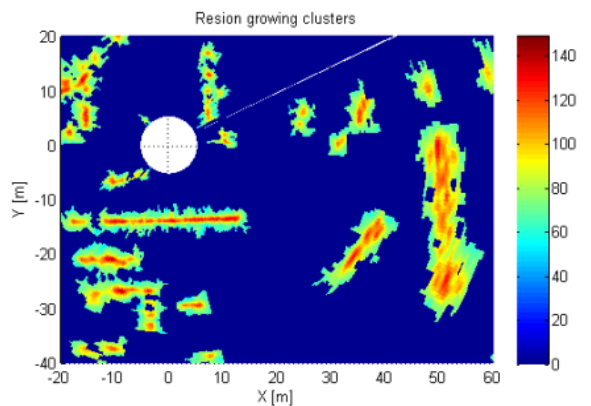


Fig. 19. Clusters generated by region growing in x-y domains

### 3.3 너비추정

Fig. 20은 물체 외형추출 결과로 생성된 확장 클러스터별로 고해상도 서브영상을 생성한 후 물체 외형을 추출한 결과이다. 경계선은 서브영상에서 임계치(물체 외형을 의미하는 신호세기 값)보다 큰 픽셀을 1 낮은 픽셀을 0으로 이진영상을 생성한 후, 1 값을 갖는 픽셀에 대하여 주위의 인접 픽셀 중에 0 값을 갖는 픽셀을 경계점으로 추출하였다. 물체의 외형에 해당하는 신호 세기 임계치는 앞에서 배경 클러스터를 제거하기 위해 생성한 임계 프로파일에서 클러스터의 거리에 해당하는 임계치에 1.1배를 곱한 실험값을 적용하였다. Fig. 21은 관심영역내의 모든 클러스터에 대해 추출한 외형을 레이더 영상위에 가시화한 그림이다. 본 연구에서 인위적으로 위치시킨 차량 뿐 만 아니라, 건물과 가로수 등의 인공/자연물에 의해 나타난 클러스터의 외곽선도 추출되었음을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 제안 알고리즘의 성능을 확인하기 위해 실제 길이를 측정된 실험대상(차량)에 의해 나타난 클러스터에 대한 너비만을 추정하였다.

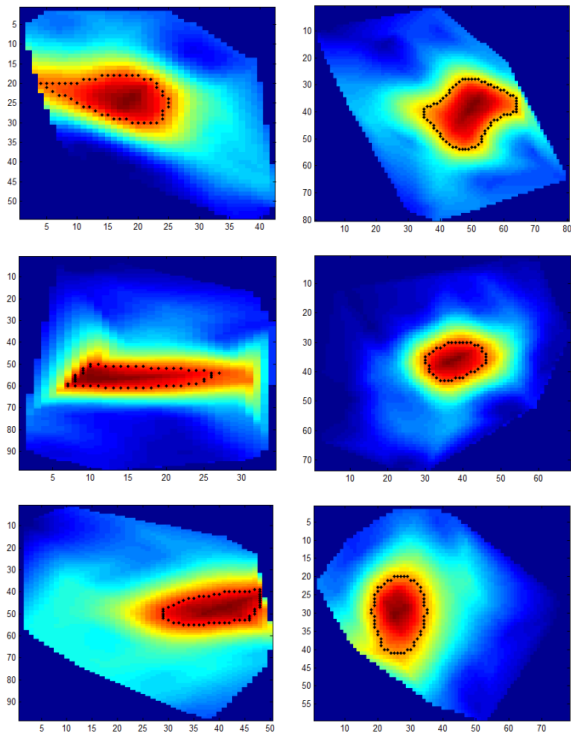


Fig. 20. Cluster images as a result of region growing and extracted boundary points

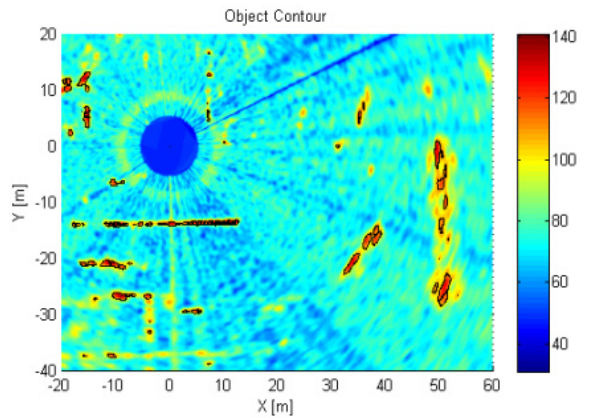


Fig. 21. Objects' contours extracted from clusters

클러스터의 너비는 방법론에서 기술한 바와 같이, 클러스터 중심점의 방위각만큼 회전변환하여 클러스터를 y축 위로 옮긴 후( $x = 0$ ), x축으로의 경계점 범위를 계산하였다.

Fig. 22는 레이더 데이터 획득 시, 두 대의 차량을 위치시켜 놓은 지점을 확대한 영상이다. 두 차량은 각각 준중형 승용차와 스포츠 유틸리티 차량으로 전장은 4,505 mm, 4,410 mm이며 전폭은 1,830 mm, 1,75 mm이다. 너비추정 결과 레이더 센서가 바라보는 두 차량의 너비는 각각 4.57 m와 4.86 m(3.04 m + 1.82 m)로 추정되었다. Fig. 23과 Fig. 24는 각각 40 m 거리에서의 차량정면과 30 m 거리에서의 차량 측면을 측정한 데이터로부터 추정된 너비결과로써 2.20 m와 4.37 m(2.04 m + 1.26 m + 1.07 m)로 나타났다.

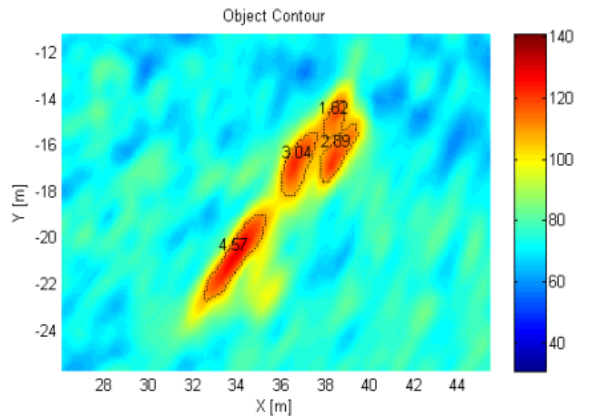


Fig. 22. Widths of two cars estimated from the contour points



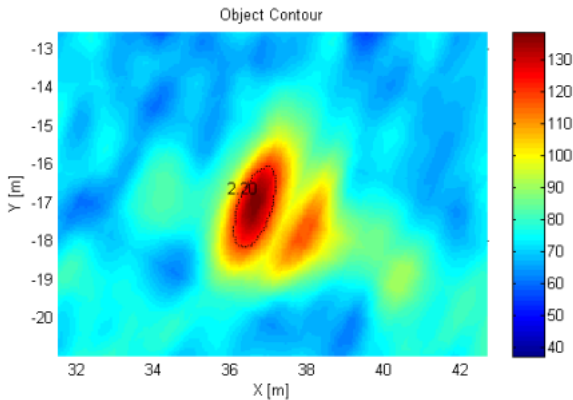


Fig. 23. Width and contour of a car disposed toward Radar at 40 m range

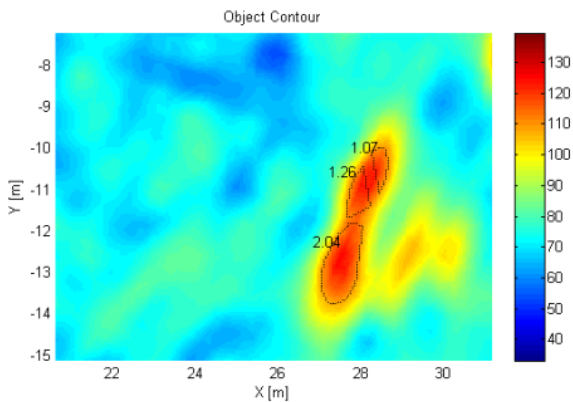


Fig. 24. Widths and contours of a car disposed laterally at 30 m range

### 3.4 결과고찰

제안한 물체 너비추정 방법론을 요약하면 다음과 같다. 레이더 영상에서 탐지대상인 물체를 제외한 배경 클러스터를 제거하고, 물체를 탐지하기 위해 국부적 피크를 찾는다. 그리고 물체 클러스터를 만들기 위해 피크를 중심으로 영역확장을 수행한 후, 물체 외형에 해당하는 신호 값을 기준으로 크로핑함으로써 외곽점을 추출한다. 마지막으로 추출된 외곽점의 범위를 계산하여 너비를 추정한다.

물체의 너비에 해당하는 신호값을 결정하는 부분이 추정된 너비값에 가장 큰 영향을 미친다. 신호 임계치를 높게 설정하면 폭은 과소추정이 되며, 임계치를 낮게 결정하면 폭은 과대추정이 된다. 이러한 임계치는 송/수신 파워 등의 레이더 특성에 따라 달라질 것으로

판단된다. 본 연구에서는 다양한 임계치를 적용하여 실험적으로 임계치를 결정하였다.

결정된 임계치를 사용하여 실제 표적 차량의 너비를 추정해본 결과 약 10 ~ 40 cm 오차가 발생하였다. 너비추정의 성능을 정량적으로 분석하기 위해서는 다양한 표적과 자세에 대하여 이를 시험해볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 레이더 영상을 이용하여 무인 지상 이동체가 주행 시, 회피해야하는 장애물 물체를 탐지하여 그 너비를 추정하여 보았다.

먼저, 배경 클러스터를 제거한 후, 물체에 의해 화소값이 국부적으로 높은 픽셀을 탐지하여 물체를 탐지하였다. 그리고 피크픽셀을 중심으로 영역확장 방식의 클러스터링을 수행하여 물체 클러스터의 외형을 복원하였다. 그리고 물체 너비에 해당하는 신호세기 값을 기준으로 클러스터를 크로핑하여 외형(외곽선)을 추출하고 이를 이용하여 물체의 폭을 계산하였다.

성능을 분석하기 위해 실제 레이더 영상데이터를 제안 방법에 적용하여 보았다. 1대의 차량 정면과 3대의 차량 측면에 대하여 너비는 각각 2.20 m, 4.57 m, 4.86 m, 4.37 m로 추정되었으며, 약 0.37 m, 0.16 m, 0.36 m, 0.135 m 오차가 나타났다.

제안 방법은 물체 외형에 해당하는 신호세기 값을 실험적으로 결정하며, 너비추정 성능은 결정된 임계치에 민감하다. 따라서 보다 안정적으로 너비를 추정할 수 있는 알고리즘으로 개선되어야 한다. 또한, 다양한 표적 물체에 대한 실험을 통하여, 너비추정 성능을 정량적으로 분석할 필요가 있다. 이러한 점을 고려하여, 향후 연구에서는 제안 방법의 알고리즘을 개선하고, 다양한 표적 물체에 대한 너비추정 실험을 수행할 계획이다.

## References

- [1] M. A. Richards, Fundamentals of Radar Signal Processing, McGraw-Hill, 2005.
- [2] M. Skolnik, Radar Handbook, McGraw-Hill, 1990.
- [3] M. Skolnik, Introduction to Radar Systems, McGraw-

- Hill, 2001.
- [4] S. Lee, D. Choi, Y. Jung, S. Lee and J. Yoon, "Development of Target Signal Simulator for Multi-Beam Type FMCW Radar," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 15, No. 3, pp. 343-349, 2012.
- [5] K. Kim, "Pre-clustering for Plot formation on a Multi-Beam Radar," Agency of Defense Development Technical Report, ADDR-517-080649, 2008.
- [6] S. Kim, D. Yang, Y. Jung, S. Kim and J. Yoon, "Range-Doppler Clustering of Radar Data for Detecting Moving Objects," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 17, No. 6, pp. 810-820, 2014.