

불완전한 레이더 신호로부터 양질의 이미지 획득 방법

김도현, 김춘림, 차의영
부산대학교 전자계산학과

Qualified Image Aquisition from the Incomplete Radar Signal Sequences

Do-Hyeon Kim, Choon-Rim Kim, Eui-Young Cha
Dept. of Computer Science, Pusan Nat'l University
E-mail : {uliminer, kylekim, eycha}@harmony.cs.pusan.ac.kr

요 약

레이더 기술은 획득된 신호를 바탕으로 물체(object)를 추출, 추적함으로써 자동항해시스템, 항공기 충돌방지시스템 등의 각종 첨단 분야에 두루 활용되고 있으며, 산업 전반에 걸쳐 눈부신 발전을 거듭해 왔다. 본 논문에서는 레이더로부터 획득한 신호로부터 효율적인 물체를 추출, 추적하기 위한 전처리 단계로서 레이더 이미지를 구성하는 방법에 대해 제안한다. 특히, 불완전한 데이터 시퀀스를 갖는 신호를 양질의 레이더 이미지로 복원하는 방법을 제안하고 결과 영상을 통해 제안하는 방법의 우수성을 검증하였다.

1. 서론

처음에 레이더(RADAR : radio detection and ranging)가 개발되었을 때에는 무엇보다도 높은 전력을 낼 수 있는 고휘력 증폭기술과 레이더 감도를 높이기 위한 기술들이 큰 문제점으로 대두되었으나 앞으로는 하드웨어 기술보다는 오히려 고 밀도의 정보가 내포된 신호처리와 실시간 정보를 빠른 시간 내에 처리할 수 있는 초고속, 대용량의 신호처리인 소프트웨어 기술이 요구될 것으로 전망되고 있다. 현재 레이더 기술은 획득된 신호를 바탕으로 물체(object)를 추출, 추적함으로써 자동항해시스템(ADS : Automatic Dependent Surveillance), 항공기 충돌방지시스템(ACAS : Airbone Collision Avoidance System) 등의 각종 첨단 분야에 두루 활용되고 있다[1-2].

레이더로부터 획득된 신호를 바탕으로 물체를 추출, 추적하기 위해서는 레이더 데이터를 영상으로 변환하는 과정이 필요하다. 일반적으로 레이더로부터 획득된 데이터는 방위각(θ)과 거리(γ)로 표현되는 극좌표계로 표현되므로 이를 xy 직교 좌표계로 변환하여 영상으로 변환해야 한다. 이때, 레이더 신호를 단순히 영상으로 변환시킬 경우에는 레이더 신호의 각

도 분해능에 따라 영상의 질이 크게 좌우되어 신호의 중심으로부터 멀어질수록 정밀도가 떨어지는 현상이 발생하며 비 주기적인 간격으로 각도 신호가 유실되는 현상이 발생한다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 보다 높은 각도 분해능을 요구하게 되거나, 획득된 이미지를 바탕으로 평균값 필터링 등의 영상 처리를 통해 다시 영상의 질을 개선해야 하는 부담이 있었다[3]. 본 논문에서는 이와 같이 극좌표계 형태로 수신되는 불완전한 레이더 신호로부터 별도의 추가적인 이미지 처리 과정없이 우수한 영상 이미지를 구성하기 위하여 선형 보간법을 이용한 레이더 이미지 획득 방법을 제안한다.

2장에서는 레이더 신호의 획득 및 구성에 대해 살펴보고 3장에서는 이를 영상으로 변환하는 과정을 설명하고 4장에서는 실험 데이터를 통해 그 영상의 품질을 비교 분석한다. 마지막으로 결론 및 향후 연구 방향은 5장에서 제시한다.

2. 레이더 신호의 획득 및 구성

레이더 신호는 일정한 시간 간격에 따른 전파 신호

		angle no. (α)	radius value of angle α (γ)										
		0	1	...	399								
1 frame (S_0)	0	0	0	0	1	2	0	0	...	0	0	0	
	1	0	0	0	3	4	1	0	...	0	0	0	
	...	0	0	0	3	5	2	1	...	0	0	0	
	1799	0	0	1	4	7	2	1	...	0	0	0	
2 frame (S_1)	0	0	0	1	1	5	6	2	1	...	0	0	0
	1	0	0	1	2	3	3	3	0	...	0	0	0
	...	0	0	0	1	2	2	0	...	1	0	0	
	1799	0	0	0	0	0	0	0	...	2	1	0	
...	

- α : angle number ($0 \leq \alpha < \text{MAX_ANGLE_SIZE}$)
- γ : radius value of angle α ($0 \leq \gamma < \text{MAX_RADIUS_SIZE}$)
- t : time sequence
- $\text{MAX_RADIUS_SIZE} = 400$
- $\text{MAX_ANGLE_SIZE} = 1800$

그림 1. 레이더 신호 데이터 구성

데이터의 연속으로 이루어져 있다. 여기서 레이더 신호를 S_t 라 할 때, 신호 S_t 는 시간 t (time sequence)에서 분해각도 α (angle number)와 각도 α 에서의 거리 γ (radius value of angle α)에 의한 함수 $S_t(\alpha, \gamma)$ 로 정의되며 이 신호의 구성은 그림 1과 같다. 즉, $S_t(\alpha, \gamma)$ 는 시간 t , 각도 α , 반지름 γ 상에서의 물체 유무에 대한 강도를 나타내게 된다.

그림 1에서는 α 에 대한 각도분해능을 0.2° 씩으로 하여 1800 등분(MAX_ANGLE_SIZE)으로 분해하고, 레

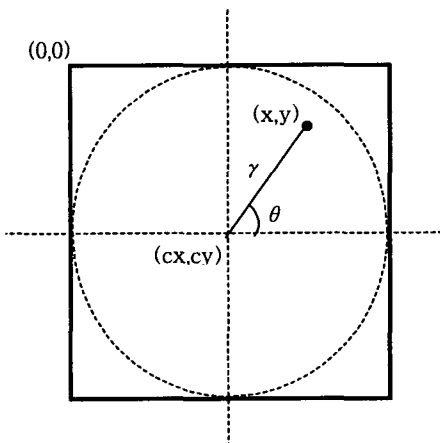


그림 2. 레이더 이미지 좌표계

이더 중심으로부터의 거리(반지름) γ 를 400등분(MAX_RADIUS_SIZE)하여 나타내었으며, 물체 강도는 0~7사이의 값으로 나타내고 있다.

3. 레이더 신호의 보정 및 영상 변환

3.1 레이더 신호의 영상 변환

위와 같이 획득된 레이더 신호를 256 gray level의 레이더 영상으로 변환하기 위한 과정은 식 (1)과 같이 표현될 수 있으며, 그림 2에서와 같이 극좌표계에서 직교좌표계로의 데이터의 순방향 변환을 의미한다.

$$S_t(\alpha, \gamma) \rightarrow f(x, y) \quad (1)$$

이런 극좌표계에서의 직교좌표로의 변환은 식 (2), (3), (4)에 의해 수행될 수 있으며 알고리즘은 그림 3과 같다.

$$x = cx + \gamma \cos \theta \quad (2)$$

$$y = cy - \gamma \sin \theta \quad (3)$$

$$\theta = 2\pi \times \alpha / \text{MAX_ANGLE_SIZE} \quad (4)$$

여기서, SCALE(s)는 레이더 신호 $s(0 \leq s < 8)$ 의

```

for  $\alpha=0$  to MAX_ANGLE_SIZE
{
  for  $\gamma=0$  to MAX_RADIUS_SIZE
  {
     $\theta = 2\pi \times \alpha / \text{MAX\_ANGLE\_SIZE}$ 
     $x = cx + \gamma \cos \theta$ 
     $y = cy - \gamma \sin \theta$ 
     $f(x, y) = \text{SCALE}(S_t(\alpha, \gamma));$ 
  }
}
    
```

그림 3. 레이더 영상 좌표계 순방향 변환 알고리즘

강도에 따른 이미지의 gray-level value를 대응시키는 함수이다. 즉, $s=0$ 일 때, 이미지상의 gray value는 0이 되고, $s=7$ 일 때, gray value는 255가 된다.

그러나 이와 같은 방법은 극좌표계로 이루어진 신호 데이터에 기반한 데이터 변환 기법으로 변환된 직교좌표계에서 대응되지 않는 부분이 생기게 되므로 보간(interpolation)이 필요한 단점이 있다. 따라서 식 (5)와 같이, 식 (2), (3), (4)를 역변환하여 직교 좌표계를 기반으로 하는 데이터 변환 기법을 식 (6), (7), (8)

에 의해 적용하여, 직교좌표계에서의 특정 위치의 값을 극좌표계에서의 최근접한 값으로 보간하는 최근접 이웃보간법(nearest neighbor interpolation)을 사용하여 그림 4와 같이 수행한다.

$$S_i(\alpha, \gamma) \leftarrow f(x, y) \quad (5)$$

$$\gamma = x + \gamma \cos \theta \quad (6)$$

$$y = cy - \gamma \sin \theta \quad (7)$$

$$\theta = 2\pi \times \alpha / \text{MAX_ANGLE_SIZE} \quad (8)$$

```

for y=0 to MAX_RADIUS_SIZE*2
{
  for x=0 to MAX_RADIUS_SIZE*2
  {
    dx=x-cx, dy=y-cy;
     $\gamma = \text{sqrt}(dx^2+dy^2)$ 
    if  $\gamma \geq \text{MAX\_RADIUS\_SIZE}$ 
      f(x,y) = 0
    else
       $\theta = \text{atan}(y,x)$ 
       $\alpha = \text{MAX\_ANGLE\_SIZE} \times \theta / 2\pi$ 
      f(x,y) = SCALE(Si( $\alpha, \gamma$ ));
  }
}
    
```

그림 4. 레이더 영상 좌표계 역방향 변환 알고리즘

3.2 레이더 신호 데이터 보정

그림 1과 같이 획득된 레이더 신호 데이터는 기기의 정밀도 및 분해능에 따라 완전한 형태의 데이터 열(sequence)을 획득하지 못하는 경우가 있다. 즉, 특정 각도(α)에서는 레이더 신호를 획득하지 못하는 경우에 이를 영상 이미지로 변환할 경우 부채꼴 모양의 틈이 생겨 이미지 질에 큰 영향을 미친다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 변환된 이미지를 바탕으로 평균값 필터(Mean filter), 중위수 필터(Median filter), 가우시안 필터(Gaussian filter) 등을 적용하여 틈새를 보완할 수 있으나 이는 이미지의 가운데를 중심으로 방위각으로 표현된 레이더 이미지를 필터링하기에는 부적절하며 추가의 이미지 처리과정이 요구되므로 본 논문에서는 레이더 신호 자체에 대한 선형 보간을 수행한다. 즉, 그림 5에서 보는 바와 같이 각도 291~293에 대한 정보가 유실되었을 경우, 각도 290과 294의 데이터로부터 그 값을 보정할 수 있다.

불완전한 신호열 $S_i(\alpha_j, \gamma)$ 의 보간 방법은 식 (9),

angle no. (α)	radius value of angle α (γ)									
	0	1	...	...	...	...	...	...	...	399
...
290	0	0	0	3	4	1	0	...	0	0
294	0	0	0	7	6	1	1	...	0	0
...

(a) 불완전한 레이더 신호 데이터

angle no. (α)	radius value of angle α (γ)									
	0	1	...	...	...	...	...	...	...	399
...
290	0	0	0	3	4	1	0	...	0	0
291	0	0	0	4	4	1	0	...	0	0
292	0	0	0	5	5	1	1	...	0	0
293	0	0	0	6	6	1	1	...	0	0
294	0	0	0	7	6	1	1	...	0	0
...

(b) 보정된 레이더 신호 데이터

그림 5. 불완전한 레이더 신호의 보정

(10)과 같이 이웃하는 두 개의 참조 신호열 데이터 $S_i(\alpha_i, \gamma)$, $S_i(\alpha_k, \gamma)$ 로부터 그 거리비에 의해 평균적으로 근사시킨다.

$$S_i(\alpha_j, \gamma) = S_i(\alpha_i, \gamma) * d_{jk} / d_{ik} + S_i(\alpha_k, \gamma) * d_{ij} / d_{ik} \quad (9)$$

$$d_{ik} = k - i, \quad d_{ij} = j - i, \quad d_{jk} = k - j \quad (i < j < k) \quad (10)$$

4. 실험 환경 및 결과 분석

4.1 실험 환경

실험을 위하여 사용된 개발 환경은 펜티엄 III 800MHz, 256MB, Window98 환경에서 VC++ 6.0을 사용하여 개발하였다. 실험에 사용된 레이더 신호 데이터는 실제 지형 크기의 1/4,000,000,000 m(40억분의 1m)로 축소된 데이터로 구성되어 있으며, 레이더 영상 이미지를 구성하기 위하여, 레이더 신호 데이터를 원점을 중심으로 반지름 400 pixel로 구성되는 800x800 이미지로 변환하여 생성하였다.

4.2 실험 결과 및 분석

그림 6은 레이더 신호를 순방향으로 변환시켜 레이더 이미지를 획득한 경우이다. 그림에서도 알 수 있듯이 비 주기적으로 각도 신호가 유실됨에 따라 나타나는 선 형태의 빈 구간이 보이는 것을 알 수 있으며 또한 이미지 중심에서 멀어질수록 해상도가 떨어져

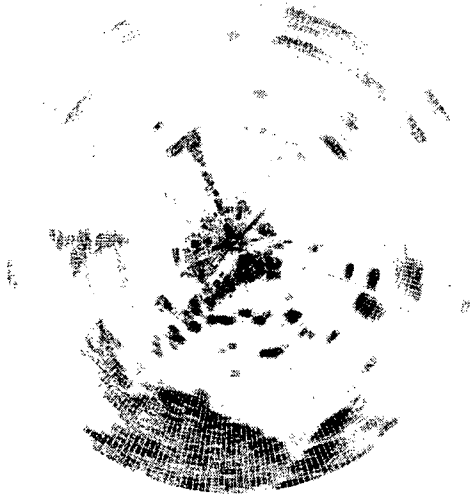


그림 6. 순방향 변환 레이더 이미지

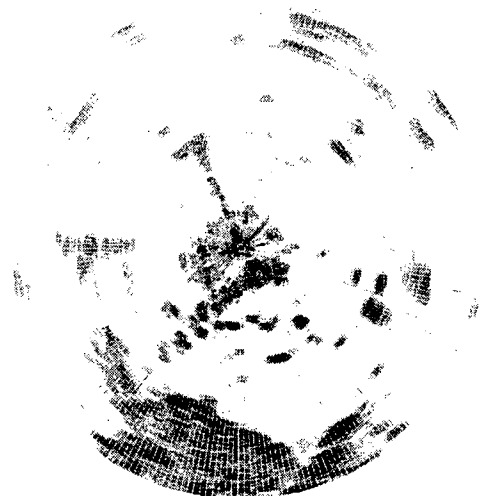


그림 7. 역방향 변환 레이더 이미지

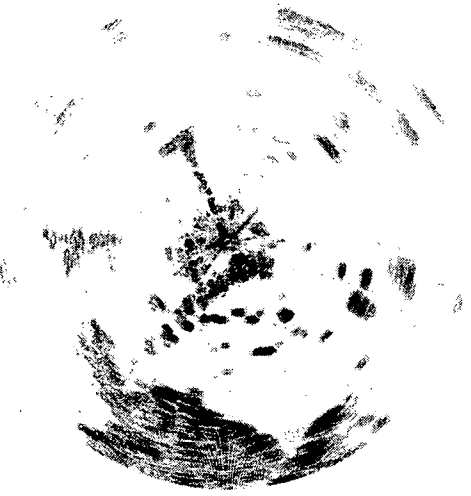


그림 8. 보간된 순방향 변환 레이더 이미지

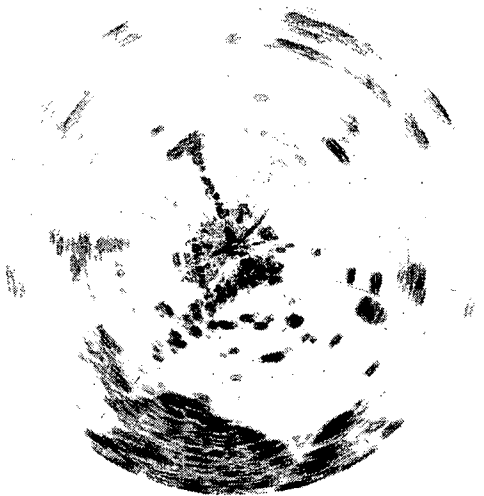


그림 9. 보간된 역방향 변환 레이더 이미지

곡률 형태의 빈 홀이 나타남을 알 수 있다. 그림 7은 최근접 이웃보간법에 의해 역방향으로 변환되어진 이미지이다. 여기서는 곡률 형태의 빈 홀들은 메워졌으나 여전히 비 주기적인 각도 신호의 유실로 인한 선들이 나타난다. 그림 8은 그림 7과는 반대로 각도 신호의 보간으로 인해 선은 사라졌으나 여전히 곡률 형태의 빈 홀들이 존재함을 알 수 있으며, 그림 9에서는 이와 같은 현상이 모두 제거되어 보간된 깨끗한 형태의 이미지로 복원된 것을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 불완전한 신호로 구성되어 있는 레이더 신호로부터 이를 복원하여 양질의 레이더 이미지를 얻기 위한 방법을 제안하였다. 극좌표계로 입력되는 레이더 전파 신호 데이터로부터 직교 좌표계인 영상 이미지로의 변환을 위하여, 직교 좌표계에서의 특정 위치의 픽셀값을 최근접 이웃보간법을 이용하여 역방향으로 극좌표계에서 획득하였으며, 비 주기적으

로 반복되는 각도별 신호열을 주변 이웃 각도신호열로부터 보간함으로써 선 모양의 정보 유실구간과 빈홀들이 생기는 현상을 제거함으로써 양질의 레이더 영상 이미지로 변환할 수 있었다.

향후 연구 방향으로는 대용량의 데이터로부터 가장 효율적인 각도 및 거리 분해능을 결정함으로써 전처리 시간을 단축시키는 일련의 연구와 함께, 획득된 레이더 영상 데이터를 이용하여 선박, 항공기 등의 물체에 대한 탐지 및 추적에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

[참고문헌]

- [1] '레이더' , 전자공학회지 1988, 02 v.15, n.1, pp.48-56
- [2] <http://www.navaid.co.kr>
- [3] 최선아, 김도현, 강동구, 차의영, "모폴로지 기법과 DSP를 이용한 레이더 영상에서의 물체추출", 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, 제28권 2호, pp.463-465, 2001년 10월
- [4] Barbaresco, F. , "Statistical segmentation of radar images", Texture analysis in radar and sonar, IEE Seminar on , 1993, Page(s): 11/1-11/14
- [5] Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, Brian G. Schunck, Machine Vision, McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION