

AOD/CCD 특 이용한 SAR 데이터 처리에 관한 연구

0 \* \*\* \*\*\* \*  
 김호겸, 반재경, 김경태, 박한규

\* 연세 대학교 전자공학과 \*\* 전북 대학교 전기공학과 \*\*\* 경원 대학교 전자공학과

Study on the real time SAR data processing using AOD / CCD

Ho Kyom \* Jae Kyoung \*\* Kyoung Tae \*\*\* Han Kyu PARK \*

\* Department of Electronic Eng. Yon Sei Univ.  
 \*\* Department of Electric Eng. Jeon Buk Univ.  
 \*\*\* Department of Electronic Eng. Kyoung Weon Univ.

Abstract

The coherent optical processing that was suggested for SAR image formation in 1950's has drawbacks in the real time processing because of the recording film. Due to the development of microelectronics, digital SAR data processor has developed. Digital SAR processor provides higher image quality, flexibility in the programming, but needs improvements in the power consumption on-board capability, cost, and complexity. In this paper newly developed SAR data processor using Acousto-Optic Device and Charge Coupled Device is studied.

1. 서론

1) Synthetic Aperture Radar의 개요

(1) 비행체에서 작은 안테나를 복하여 펄스를 지상으로 방사한 후 되돌아 오는 신호를 여러개를 모아 합성하여 영상을 만들어 냄으로서 매우 긴 안테나로 얻을 수 있는 분해능을 얻을 수 있다.

(2) 영역상관 방법 (Range Correlation)- 좁은 폭의 펄스를 방사하여 되돌아 올 때까지의 시간을 측정하여 영역의 좌표를 결정하고 그때의 상관 값의 크기를 기록한다. 분해능을 높이기 위해서는 펄스 폭이 좁아야 하기 때문에 순간 최대 송신 전력이 커져야 한다. 비교적 낮은 순간 송신 전력으로 좁은 펄스 폭을 얻기 위해서는 펄스 압축(Pulse Compression) 방법을 사용해야 한다 [9]. 펄스 압축 방법에는 선형 주파수 변조(Linear FM), 비선형 주파수 변조(Nonlinear FM), 위상 부호화(Phase Coding) 방법이 있으나 일반적으로 선형 주파수 변조 방법이 사용된다.

$$S(t) = \text{rect}[(t-t_0)/\tau] \exp[jb(t-t_0)^2] \exp(2\pi f_0 t) \quad (1)$$

- L.T : 펄스 반복 주파수(Pulse Repetition Frequency)
- $\tau$  : 펄스폭
- b : 주파수 변조율 (Chirp Rate)
- $f_0$  : 반송 주파수

(3) 방위각 상관 (azimuth Correlation) 방법

비행체가 계속 이동하면서 펄스를 보내는 경우 비행체에서 지표면의 특정 지점까지 전파가 왕복하는 거리는 다음과 같다. (그림 1 참조)

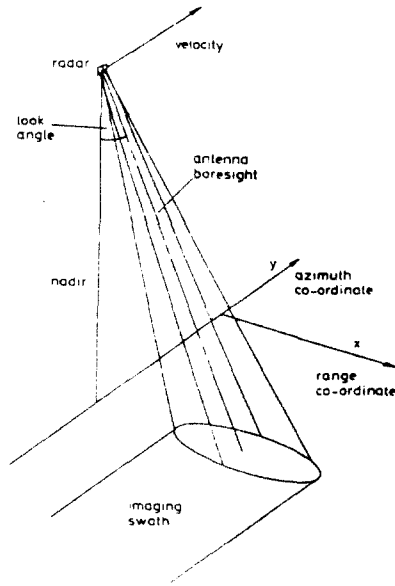


그림 1. SAR 지형도

$$R(t) = [R_0^2 + (vt-x_0)^2]^{1/2}$$

윗식에서  $(vt-x_0) \ll R_0$  라면 다음과 같이 근사할 수 있다 (Paraxial Approximation).

$$R(t) = R_0 + (vt-x_0)^2 / (2 R_0) \quad (2)$$

비행체가 펄스를 송수신 하는 동안에 이동하는 거리는 매우 짧으므로  $R(t) = R(t_0)$  로 근사 시킬 수 있으며 안테나의 방사 패턴도 매우 짧은 시간의 펄스 구간에서 결정되므로  $A(t) = A(t_0)$  로 근사할 수 있다. 수신된 신호를 표시해보면 식 (3) 과 같으므로 위의 가정을 정리해 보면 식 (4)와 같다.

$$r(t) = A(t) S(t - 2R/c) \quad --(3)$$

$$= A(nT) \text{rect}[(t - 2R_0/c - nT) / \tau] \exp[jb(t - 2R_0/c - nT)^2] \\ \times \exp[-j(2 \nu_0/cR_0)(\nu nT - x_0)^2] \exp(j2\pi\nu_0 t) \quad --(4)$$

지수 함수로 표현된 두번째항은 영역 상관에서와 같이 주파수 변주된 형태로 나타나므로 이 값을 상관 시키면 원하는 값을 얻을 수 있다.

## 2) SAR 처리 장치 개요

### (1) 현황

Synthetic Aperture Radar의 영상합성을 위해 제안된 광 신호 처리 방법 [1-3]은 필름에 기록해야 하기 때문에 실시간 영상처리가 불가능하다. 이러한 단점을 보완하기 위해 제안된 디지털 신호처리 방법[4]은 보다 좋은 화질을 얻을 수 있으나 매우 복잡하고 전력소비, 가격, 탑재의 용이성 등에서 광 신호처리의 경우보다 불리하다 [5]. 이러한 단점을 보완하기 위해 광-음향 소자 (Acousto-Optic Device)와 2차원 전하 결합 소자 (Charge Coupled Device)를 이용한 실시간 SAR 데이터 처리 방법이 제안 되었다 [6,7].

### (2) 고전적인 광 신호 처리 방법 [1]

원추형 렌즈 (Conical Lens)를 사용하여 SAR에 의해 필름에 기록된 영상을 복원하는 방법으로 데이터 처리 시스템의 개념도를 보면 다음과 같다. 이 방법에서는 방위각 방향이 영역축의 영향을 받으므로 영상 기록면에 창구 (Slit)를 설치해야 하는데, 광량의 감소를 가져온다. 이때문에 영상기록 시간이 길어진다.

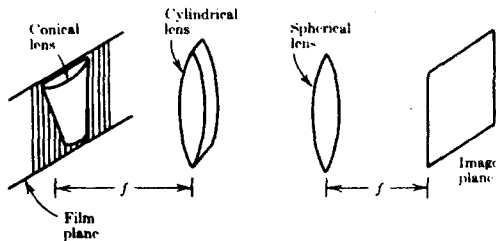
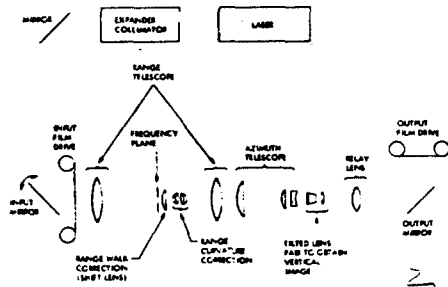


그림 2. 원추형 렌즈를 이용한 SAR 처리 장치

### (3) 비틀린 평면 영상 처리 방법 (Tilted Plane Optical Processor)

망원 렌즈 (Telescopic Lens)와 원통형 렌즈 (Cylindrical Lens)의 특성에 의해 비틀린 영상평면을 보상해 줌으로서 (1)보다 유효 광량 감소를 증가시킨 것이다 [3].



## 그림 3. 비틀린 평면 처리

### (4) 디지털 처리 방법

영역과 방위각을 분리 (Decomposition) 하여 상관값 (Correlation)을 구하는 것으로 디지털 컴퓨터의 정확도 (Accuracy)와 유연성 (Flexibility)에 의해 영상을 개선 한다 [4].

### (5) 2차원 기록 매체를 이용한 데이터 처리 방법

기존의 광 처리 방법에서 필름대신에 실시간 기록이 가능한 2차원 공간 광 변조기 (2-D Spatial Light Modulator) [10]나 이색화 젤라틴 필름 (Bi-Chromated Gelatin film) [11]을 이용하여 실시간 처리가 가능하게 하는 방법이다.

### (6) AOD/CCD를 이용한 데이터 처리 방법

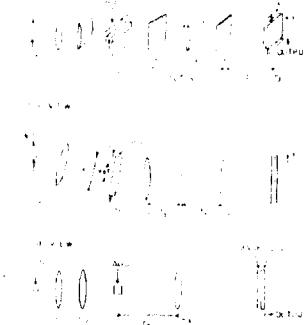


그림 4. AOD/CCD SAR 처리 장치

## 2. 본론

### 1) AOD/CCD SAR 처리 장치

그림 4(a)에서의 각 부분에 대하여 간단히 설명하면 다음과 같다. 광원 (Light Source)은 AOD에서 진행하고 있는 SAR 신호를 CCD에 영상이 형성 되도록 하기 위해 매우 짧은 순간 펄스를 내도록 한다. 이것은 함수 P(t)로 표현된다. 렌즈 L1에 의해 평행광으로 만들어진 광은 L2에 의해 x방향으로 집중되어 1차원 AOD를 통과한다. 렌즈 L3, L5,와 x방향 CCD 화소에 의해 영역 방향 상관값이 얻어지며 마스크와 y 방향 CCD 화소들에 의해 방위각 방향의 상관값이 얻어진다.

### 2) AOD/CCD에 의한 영역 상관

광원의 펄스함수 P(t)는 식(4)로 주어지며 보통  $\tau$ 는 이하가 되어야 한다 [12].

$$P(t) = \tau \text{rect}[(t - nT) / \tau] \quad --(5)$$

수신된 신호는 신호 처리를 위해 AOD의 중심주파수  $\nu_1$ 으로 중간주파 처리 (heterodyning)를 한 후 기준신호와 더한다.

$$r'(t) = r(t) \exp[-j2\pi(\nu_0 - \nu_1)t] + B \exp(j2\pi\nu_2 t) \quad --(6)$$

이때 AOD에서 회절된 광을 표현하면 S1(t)와 같다 [13].

$$S1(t) = \text{rect}(x/X) P(t) r'(t + x/\nu_0) \quad --(7)$$

X: AOD의 개구면의 크기  
 $\nu_0$ : AOD의 음파속도

공간상에서의 회절은 호이겐스의 원리 (Huygen's principle)에 의해 설명될 수 있다 [14]. 이것을 이용하여 렌즈 L3, L5에 의해 형성되는 공간 임펄스 응답을 얻을 수 있다.

$$h(x, \bar{x}) = \exp[jb1(x-\bar{x})] \exp(-j2\pi v1x/v_c) \quad \text{--(8)}$$

$$g(\bar{x}, t) = \int_{-\infty}^{\infty} S1(t, x) h(x, \bar{x}) dx \quad \text{--(9)}$$

지수함수의 두번째 항은 AOD가 브래그 각(Bragg Angle)에서 회전되므로서 발생하는 위상지연의 항이다. CCD에 맺히는 영상은 CCD의 폭상에 의해 광의 세기가 기록되며, 방위각 상관값을 얻기위해 CCD 앞에 마스크를 위치시킬때 CCD에서 받아들이는 광의 세기는 식 (10)과 같다.

$$I(\bar{x}, \bar{y}, t) = T(\bar{x}, \bar{y}) \left| \int_{-\infty}^{\infty} S1(t, x) h(x, \bar{x}) dx \right|^2 \quad \text{--(10)}$$

CCD에서 광에 의해 발생된 전하를 이동 (Transfer) 시키는 작업은 SAR의 펄스 반복 주파수와 동기시켜 신호를 발생시킴으로서 얻어지며, 이때 각 펄스 반복 주파수의 주기마다 형성되는 CCD의 전하는 다음과 같다.

$$Q(\bar{x}, \bar{y}, n) = k \int_{t-\tau/2}^{t+\tau/2} I(\bar{x}, \bar{y}, t) dt$$

$$= 2Bv_c \tau c k T(\bar{x}, \bar{y}) A(nT) \text{sinc}[(b\tau\pi v_c)(\bar{x}-2R\theta v_c/c)]$$

$$\times \cos[2\pi(v_2-v_1)x/v_c + (2\pi v\theta/cR\theta)(v_n T x\theta)^2] + \text{bias terms} \quad \text{--(11)}$$

k : CCD 에서 광의 세기와 축적 전하와의 비례상수  
c : 광의 속도  
o : 신호 처리중에 발생하는 위상 변화

### (3) 방위각 상관 방법 (Azimuth Correlation)

마스크의 투과율 함수는 식 (12)로 주어지며, CCD의 각 화소는 마스크에 의해 전하이동 (Charge Transfer) 시마다 광 세기가 변하며 그값이 각 화소에 전하로서 기록된다. N 번 노출 후 CCD로 부터 출력 되었다고 가정하면 전하 (Q)는 식(13)으로 주어진다.

$$T(x, y) = (1/2)[1 + \cos(2\pi u_0 x + b2y^2/x)] \quad \text{--(12)}$$

$$Q(x, y) = \sum Q(x, y + (N-n)y, n)$$

$$= (Bv_c \tau c_0/2) \text{sinc}[(b\tau\pi v_c)(x-2R\theta v_c/c)]$$

$$\times \text{sinc}[(2N\theta v^2 T^2/c\Delta y R\theta)(y-x\theta\Delta y/vT+n\Delta y)]$$

$$\times \cos(4\pi u_0 x + \phi) + \text{bias terms} \quad \text{--(13)}$$

u : 마스크의 공간 주파수,  $u_0 = (v_2 - v_1)/v_c$   
b2 : 공간 변조율,  $b = 4v\theta^2 T^2 v_c/c^2 \Delta y^2$   
N : 영상 합성을 위한 Doppler Shifts 의 수  
y : CCD 의 각 화소간의 간격( 방위각 방향)

### 2) SAR 의 설계개념[8]

(1) Side-Looking, Conventional stripmap mode, Airborne, Chirp coded Synthetic Aperture Radar

#### (2) 영역 분해능

되돌아 오는 펄스 신호(Returned Signal)를 분리해낼 수 있는 거리  $\Delta R_x$  를 표시하며 식(14)로 표현할 수 있다.

$$\Delta R_x = c/2 B \cos a \quad \text{--(14)}$$

a : Side-looking Angle  
B : 압축된 펄스의 폭을 주파수로 변환한 값 (sinc 함수의 4dB 폭의 역수)

### (3) 방위각 분해능

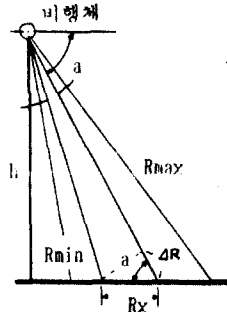


그림 5. 영역 분해능

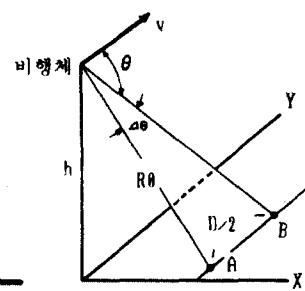


그림 6. 방위각 분해능

$$R_y = D/2 = \lambda R\theta/2L \sin \theta$$

$\lambda$  : 반송자의 파장  
 $R\theta$  : 비행체와 목표간의 최단 거리  
L : 비행체가 영상 합성하는 동안 진행한 거리  
v : 비행체 속도

비행체가 이동하여 얻을 수 있는 도플러 천이 (Doppler Shifts)에 의해 결정되는 값이며, 표적이 영상 합성하는 동안 빔 패턴 (Beam Pattern) 내에 있어야 하므로 식(16)이 성립한다.

$$R\theta \leq L/2 \quad \text{--(16)}$$

L : 안테나의 길이

### (4) 펄스 반복 주파수 선정

방위각에서의 도플러 주파수와 Radar 의 처리 영역에 의해 결정된다.

$$2v/1 < PRF < c/2R_{max}$$

### (5) SAR 의 설계

레이다 반송주파수 (Radar Carrier Frequency) : 10GHz  
주파수 변조율 (Chirp Rate) : 0.5(MHz/us)  
비행체 고도 : 5000m  
비행체 속도 : 250m/s  
펄스 폭( $\tau$ ) : 20 us  
펄스 반복 주파수: 15734, 3934, 1967(Hz)  
도플러 수 (N) : 490, 122, 61  
Looking Angle (a) : 30 deg.  
영역 분해능 = 17.32 m  
방위각 분해능 = 38.53 m

### 3) SAR 처리 장치의 설계

#### (1) AOD 의 사양

중심 주파수 : 45 MHz  
대역폭 : 30 MHz  
개구면 크기 : 31 mm  
음파 진행속도 : 0.617 mm/us

(2) CCD의 사양 - Interline Transfer CCD

화소수 : 384(H)×491(V)  
감광면적: 8.8 mm × 6.6 mm  
화소크기: 23.0 μm × 13.4 μm

(3) 영역 상관값 추출을 위한 최적 계수의 선정  
 $b1=7.88 \times 10^{-2}$

(4) 방위각 상관값 추출을 위한 최적 계수의 선정  
 $u0 = 16210 \text{ rad/m}$   
 $b2 = 385.56 \text{ m}^{-2}$

(5) Mask Pattern의 설계

o Forward Looking의 경우

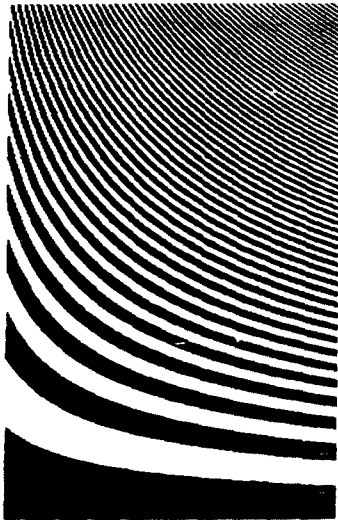


그림7. 마스크 패턴

o Side Looking의 경우



그림8. 마스크 패턴

4) 문제점

(1) Bias 문제 : 식 (13)에서 무시되었던 bias 항이 실제로 SAR의 동특성에 약 10dB 정도의 영향을 미치는 시뮬레이션을 통해 알 수 있다 [12]. SAR의 동특성을 개선 하기 위해서는 효율적인 제거 방법이 필요하다.

(2) CCD의 특성에 의해 실제의 SAR특성이 저하되므로 CCD의 특성 개선을 위한 방안의 도입이 필요하다 [7]. 또한 CCD의 유한한 화소수는 분해능에 영향을 주므로 다중집합 ( Multi Stacking ) 방법의 연구가 필요하다.

(3) AOD의 개구면 길이의 제한: 개구면의 길이와 CCD의 영역 방향의 길이가 SAR의 검출 영역( Mapping Range )에 영향을 주므로 개구면을 크게하고 진행 속도도 낮은 소자의 개발이 필요하다.

3. 결론

광의 SAR신호와의 유사성 [1,2]때문에 비교적 정확한 영상 추출이 가능하며, 광의 병렬처리 능력은 AOD에 의한 영역 상관과 CCD에 의한 방위각 상관을 동시에 얻을 수 있게한다. 또한 광 SAR 데이터 처리 장치로 얻을 수 있는 연산 속도는 현재의 디지털 컴퓨터로 얻을 수 있는 연산 속도보다 빠르다. 실시간 처리에 기준에 수동으로 조정하던 영역이동 ( Range Migration )의 보정의 자동 처리를 가능하게 하였다.

기존의 디지털 데이터 처리 시스템에 비해 연산 처리 능력, 가격, 부계, 전력 소모 등에서 우수하며 응용 분야도 다양하므로 앞으로 이 분야에서의 계속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

4.참고문헌

1) L.J.Cutrona, E.N.Leith, L.J.Porcello, and W. E.Vivian, "On the application of Coherent Optical Processing to Synthetic Aperture Radar", Proc.of IEEE, Vol.54, No.8, pp1026-1032, 1966  
2) E.N.Leith, "Quasi Holographic Techniques in the Microwave region", proc of IEEE, Vol.59, No.9, pp 1305-1318  
3) A.Kozma, E.N.Leith, and N.G.Massey, "Tilted plane optical processor", Applied Optics, Vol.11, No.8, pp1766-1777, 1977  
4) I.J.LaHaie, A.R.Dias, and G.D.Darling, "Digital Processing Wconsideration for Extraction of Ocean Wave Image Spectra from Raw Synthetic Aperture Radar Data", IEEE J Oceanic Eng., Vol.OE-9, No.2, pp114-120, 1984  
5) D.A.Asherman, "Digital versus optical techniques in SAR data processing", Opt. Eng., Vol.19, No.2, pp157-167, 1980  
6) D. Psaltis, K. Wagner, "Real time optical synthetic aperture radar processor", Opt. Eng., Vol.21, No.5, pp822-828, 1982  
7) D.A.Daniel, "Concepts and techniques for real time synthetic aperture radar data processing", IEE Proc., Vol.133, Pt.J, No.1, pp7-25, 1986  
8) S.A.Hovanesian, "Introduction to Synthetic array and Imaging Radars", Artech house, 1980  
9) M.I.Skolnik, "Radar Handbook", McGraw-Hill, chap.20, 23, 1970  
10) C.Elachi, T.Bicknell, R.L.Jordan, and C.Wu, "Spaceborne Synthetic Aperture Imaging Radars: Applications, Techniques and Technology", Proc. of IEEE, Vol.70, No.10, pp 1174-1209, 1982