

# 레이다아 映像의 디지털 畫像處理

孫珍鉉\*, 洪彰禧\*, 柳大根\*, 金東一\*, 金基文\*

(Digital Image Processing of Radar Image)

*Jin-Hyeon Son · Tchang Hee-Hong · Dea-Keun Ryu · Dong-Il Kim · Ki-Moon Kim*

## 目 次

### Abstract

- |                  |                |
|------------------|----------------|
| 1. 서언            |                |
| 2. 데이터의 수집과 배열변환 | 1) 온라인 데이터의 수집 |
| 2) 데이터의 재배열      | 3) 선형 데이터로 변환  |
| 3. 화상처리 프로그램     | 1) 화상처리 시스템    |
| 2) 개별처리 프로그램     |                |
| 4. 디지털 화상처리      |                |
| 1) 원화상의 재생       | 2) 화상의 공간 필터처리 |
| 3) 화상의 윤곽처리      |                |
| 5. 결    론        | 6. 참고문헌        |

## Abstract

Radar image data were collected through the on-line data acquisition system of A/D converter and personal computer, and the image was restored on CRT or plotter after digital image processing of the data.

The digital image processing system which was developed for this study, consisted of some kinds of software as follows : rearrangement, transformation, and enhancement of the image data in real space or frequency space by Fourier transform, edge detection of the image, compact processing, state inferential processing, and so on.

Since the image of PPI radar sweeps from the center to the circumference of a circle, the image within a given period has the shape of fan. Therefore the acquired data were transformed to have the same interval as that of data in outmost concentricity.

The results of various image processing methods using transformed data were better than those of the methods using original data.

\* 正會員, 韓國海洋大學

## I. 서 언

일반적으로 대량의 데이터를 처리하는 디지털 화상처리도 최근 급속히 발달한 PC(personal computer)에 의하여 화상처리가 가능하게 되었다.

한편 화상처리에 관하여도 그간의 연구 결과로 장족의 발전이 이루어 졌다. 화상처리에는 화상중의 필요한 정보를 선택적으로 강조하는 화상강조처리<sup>1)</sup>와, 측정데이터 그 자체가 원화상과 같은 종류의 화상인 경우 이 데이터에서 원화상을 재생하는 화상복원<sup>2),3)</sup>, 그리고 측정데이터에는 원화상의 의미가 없고, 그 데이터에 적절한 처리를 하므로 화상의 의미를 갖는 경우 이 측정데이터에서 원화상을 재생하는 화상재구성<sup>4)</sup> 등이 있다.

본 연구에서는 PC를 사용하여 레이다의 영상신호를 A/D변환하여 온라인으로 화상데이터를 수집하고, 데이터의 재배열, 레이다영상에 적합하게 扇形데이터로 변화 하였다.

변화 전후의 데이터에 관하여 데이터의 상황 판단에 의한 데이터의 充填 처리, 고속푸리 변환(FFT)<sup>5)</sup>으로 공간주파수 영역에서의, 하이패스 필터 처리<sup>6)</sup>, 에지검출등의 화상처리를 하여, 재생상에 관한 종전의 화상처리와 비교하여 양호한 결과를 얻었다.

그리고 이상의 각종처리를 실행하는 화상처리 시스템의 S/W를 개발하였다.

## 2. 데이터의 수집과 배열변환

### 1) 온라인 데이터의 수집

레이다와 A/D변환 및 PC로 구성된 데이터수

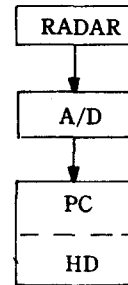


Fig 1. Data acquisition system

집장치는 그림1과 같다.

데이터 수집에 사용한 레이다는 PPI(plain position indicator)의 머린 레이다(MR-32C)이며, 송신기의 첨두출력(peak power)은 50Kw, 마이크로파의 주파수는  $9375 \pm 45\text{MHz}$ , 이의 펄스폭(pulse width)은  $0.1\mu\text{sec}(3/4 \sim 3\text{mile})$  혹은  $0.6\mu\text{sec}(6 \sim 48\text{mile})$  이고, 펄스 반복주기(PRF) 즉 스위프 신호는 1000PPS이다. 안테나는 스트(slot)형 6피트(feet)이고, 회전주기는 22rpm, 빔(beam) 폭은 수평  $1.3^\circ$ , 수직  $20^\circ$  로 되어있다. 이 레이다의 성능은 거리분해능이 22m이하, 최소탐지거리가 30m이하, 방위확도는  $1^\circ$  이하이다.

A/D변환기(MC 10315L과 8255 등으로 조립)는 애너로그(analog) 입력신호가  $0 \sim +2\text{V}$ , 디지털 출력은 7비트(bit), 변환속도는  $1/15\mu\text{sec}$ 이상의 고속이다.

PC(SPC 3200, CPU : 80286)는 클럭주기가 4.77MHz로 저속이고, 메인 메모리가 640KB, 하드디스크(HD)가 20MB이고, O.S.는 MS DO S로서, 데이터의 수집과, 디지털 화상처리에 사용하였다.

데이터 수집은 레이다의 거리범위를 6마일 레인지(range)에서, 고속수집을 위하여 어셈블리어로된 S/W (그림2. SAMPLE)에 의하여, 레이

다의 헤딩마크(heading mark : HDG INT(VR-571)를 검지하고, 스위프 신호(gate sweep start : TP614)의 시작부터 PC의 명령에 따라 비디오 수신신호(VIDEO : TP571)를 A/D변환하여 한 화소(pixel) 7비트 즉 최대치가 128인 정수 데이터를 메인 메모리의 해당 번지에 기록하는 방식으로 취했다. PC와 S/W의 제약과 데이터 처리등을 고려하여 한 스위프에 64점(行)의 데이터를 256스위프(列) 즉 한 조(64, 256) 행열 데이터를 수집하여, HD에 수록(save)하였다. 레이다아의 한스캐인(scan)에 의한 CRT상의 한 화면분의 스위프 수는 2644이고, 결국 한 화면분은 11조가 된다. 이의 최종 행열조는 84(256-(256×11-2644)) 열까지만 유효하고, 나머지는 처음조의 데이터와 중복된다.

이상과 같은 데이터 수집을 1마일 간격의 거리환(marker ring)과 레이다아 영상이 공존하는 R群의 데이터와, 거리환이 없고, 영상만인 D군의 데이터 각 11조를 수집 하였다.

이들 각 조의 데이터(64, 256)는 PPI레이다아의 CRT( $\phi=300\text{mm}$ )상에서 중심각이 약  $34.9^\circ$  ( $256(\text{sw}) \cdot 360^\circ / 2644(\text{sw})$ )인 扇形에 해당하는 화상 데이터가 된다. 데이터 샘플(sample)시간 간격은  $2.47\mu\text{sec}$ 였고, 이 시간은 데이터 수집시 고속인 A/D변환 속도보다 PC의 저처리 속도로 제한된 시간이다. 각 스위프에서 수집한 한 행 즉 64개의 데이터는 약  $158\mu\text{sec}$  간에 마이크로파(micro wave)가 왕복하는데 소요된 시간내에서 수집한 데이터이고, 거리로 약 12.7마일 간의 데이터가 된다.

## 2) 데이터의 재배열

데이터 수집시 레이다아의 레인지가 6마일이고, CRT상에는 약 7마일 까지의 영상이 나타난다. 수집된 데이터를 이와 같은 영상 데이터가 되게 원 데이터의 각조(64, 256) 행열의 64행 중

처음 32행 혹은 33행(약 6.3마일에 해당)의 R 및 D군의 데이터에 관하여 평균치로 補間 혹은 취사선택등에 의하여 4 열을 1열로 하여 (64, 64) 행열로 재배열하고, 같은 방법에 의한 그 다음조의 것과 합하여 (64, 128) 행열조로 변환하여 HD에 수록하였다.

결국 CRT상의 한 화면은 (64, 128) 행열 데이터 6조가 되고, 마지막 조는 (64, 21) 행열이 유효하다.

## 3) 선형의 데이터로 변환

상기 2)에 의한 각조의 데이터(64, 128)는 중심각이 약  $69.7^\circ$ 인 선형의 영상데이터이며, 중심(첫행)에 접근할수록 각 행의 열간의 간격이 조밀해진다. 이것을 각 행의 열간의 간격을 最外(64행)의 열간의 간격과 같게하고 그 외의 데이터는 무효로 하였다.

## 3. 화상처리 프로그램

화상처리를 수행하는 S/W는 그림 2와 같이 좌측의 화상처리 시스템과 우측의 개별처리 프로그램의 두 부분으로 구성되어 있다. 그림에서 RADAR(A/D), CRT, PRN(프린트) 및 DISC(HD)의 화살표 방향은 데이터의 입출력 방향을, 그 외는 서브 프로그램의 호출방향을 나타낸다.

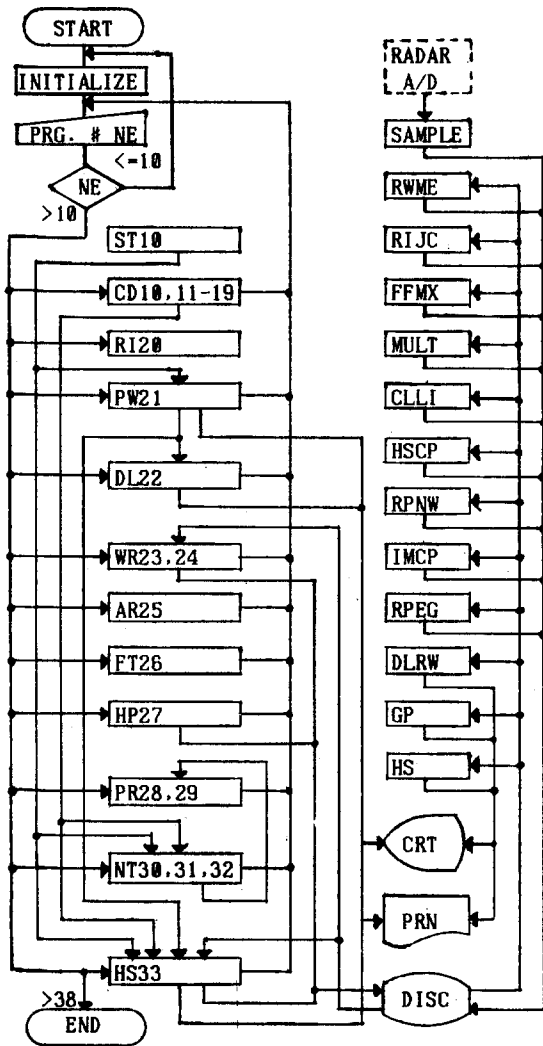


Fig 2. Flow chart of image data processing programs

1) 화상처리 시스템

이 시스템의 메인 프로그램은 그림 2의 우측과 같이 다수의 서브 프로그램으로 구성되어 있다. 프로그램의 번호(NE=11~33)의 입력으로 그 프로그램이 積載(load)되고, 실행된다. 처리 데이터를 적재(NE=24)하여 그 데이터를 처리

한 다음 NE의 입력으로 CRT상에 나타난 요구패러미터(parameter : 선택을 위한 정수, 연산에 필요한 定數)의 해당 값을 입력하여 필요한 처리를 계속 대화식으로 수행한다. 그리고 처리과정의 중간결과와 처리결과의 데이터를 HD에 수록(save : NE=23)하고, 또 필요시 처리한 데이터를 CRT 또는 프린트에 출력 할 수도 있고, NE) 38의 입력으로 시스템의 처리는 끝난다.

(1) FT26 : 다음 (1) 및 (2)식에 해당하는 2차원의 고속 푸리변환 및 역변환(FFT)의 연산으로 실공간영역에서 주파수공간영역으로 혹은 이의 역 영역으로 변환한다. (푸리변환; 푸리역변환; 광학적인 푸리변환; 광학적인 푸리역변환 중 한 연산을 실행한다)

$$F(u, v) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp[-j2\pi(ux+vy)] dx dy \dots\dots\dots(1)$$

$$f(x, y) = \iint_{-\infty}^{\infty} F(u, v) \exp[j2\pi(ux+vy)] du dv \dots\dots\dots(2)$$

(1) 및 (2)식의  $f(x, y)$ 는 화상의 진폭분포이고,  $F(u, v)$ 는  $f(x, y)$ 의 푸리변환이며,  $u$  및  $v$ 는 주파수평면상의 좌표가 된다.

(2) HP27 : (1)식의 푸리변환을 실행한  $F(u, v)$ 와 다음 (3)식의 하이패스필터(high pass filter)  $H(u, v)$ 를 연산하고 (4)식을 실행한다.  $H(u, v)$ 는 HD에 수록할 수도 있다.

$$H(u, v) = A - [\cos(\pi u) \cdot \cos(\pi v)]^B \dots\dots\dots(3)$$

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) \dots\dots\dots(4)$$

(3)식에서  $A=1$ , 혹은  $A=2$ 이고,  $B \geq 1$  ( $B=1, 3, 5, \dots$ )이다. (4)식의  $G(u, v)$ 는 다시 FT26을 이용, (2)식의  $F(u, v)$ 를 대신하여, 다음의 (5)식의 푸리역변환을 실행하여 실공간에 있어서의 출력상  $g(x, y)$ 를 구한다.

$$g(x, y) = \iint_{-\infty}^{\infty} G(u, v) \exp[j2\pi(ux+vy)] du dv \dots\dots\dots(5)$$

(3) PR28(NE=28, 29) : 대상데이터에 관하여 화상의 鮮明化, 강조, 윤곽검출등 화상의 尖銳化를 위하여 공간필터(filter)에 해당하는 다음의 (3) 및 (4) 식의 1차 미분(gradient)과 2차 미분(Laplacian)의 약산인 差分(difference) 연산등을 하고, NT30을 이용(CALL)하여 데이터를 規格化한다.

$$\nabla f(x,y) = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} + \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \dots\dots\dots(6)$$

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} \dots\dots(7)$$

다음에서 最外의 행과 열의 데이터에 관한 연산은 그 값을 그의 외측 데이터로서 첨가하여 연산한다.

DV28 : 그림 3과 같이 3×3 화소에 관하여 L=1~7은 (6)식을, L=7,8은 (7)식을 다음과 같은 약산중 한 연산을 실행한다.

S <sub>6</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>7</sub>
S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
S <sub>8</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>9</sub>

Fig 3. 3×3 pixels

L=1 : 그림 3에서 4방향에 관한 S<sub>i</sub>/S<sub>3</sub>(i=1, 2, 4, 5)와 이의 역수 중 최대치를 그 점(S<sub>3</sub>)의 값으로 한다.

L=2 : L=1에서 i=1~9로 8방향에 관한 연산을 실행한다.

L=3 : 다음 (8)식의 약산을 구한다.

$$S_3 = |S_1 + S_2 - S_7 - S_5| \dots\dots\dots(8)$$

L=4 : x 방향의 차분인 다음의(9)식을 구한다.

$$S_3 = |S_6 + S_2 + S_8 - S_7 - S_4 - S_9| (=S_{36}) \dots\dots\dots(9)$$

L=5 : y방향의 차분인 다음의(10)식을 구한다.

$$S_3 = |S_6 + S_1 + S_7 - S_8 - S_5 - S_9| (=S_{37}) \dots\dots\dots(10)$$

L=6 : (9)식과 (10)식의 합으로 다음의 (12)식의 약산인 (11)식을 구한다.

$$S_3 = S_{36} + S_{37} \dots\dots\dots(11)$$

L=7 : (6)식의 크기에 해당하는 밝기인 (12)식을 구한다.

$$S_3 = [(S_{36})^2 + (S_{37})^2]^* \dots\dots\dots(12)$$

L=8 : (7)식에 관한 4방향의 차분인 (13)식을 구한다.

$$S_3 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(13)$$

L=9 : (7)식에 관한 8방향의 차분인 (14)식을 구한다.

$$S_3 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(14)$$

DF29 : 그림 4와 같이 2×2화소에 관하여 (6)식의 차분을 다음 중 한 연산을 실행한다.

L=1 : x방향의 차분인 (15)식을 구한다.

$$S_1 = |S_1 - S_2| \dots\dots\dots(15)$$

L=2 : y방향의 차분인 다음의 (16)식을 구한다.

$$S_1 = |S_1 - S_3| \dots\dots\dots(16)$$

L=3 : 다음 (18)식의 약산인 (17)식을 구한다.

$$S_1 = |S_1 - S_4| + |S_3 - S_2| \dots\dots\dots(17)$$

L=4 : (6)식의 크기인 (18)식을 구한다.

$$S_1 = [(S_1 - S_4)^2 + (S_3 - S_2)^2]^* \dots\dots\dots(18)$$

S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>

Fig 4. 2×2 pixels .

## 2) 개별처리 프로그램

이에 속하는 S/W는 그림 2)의 우측과 같고 전술한 2.의 데이터의 수집과 배열변환 등과 같이 1)의 화상처리 시스템의 사전 혹은 사후의 보충처리를 위하여 데이터를 적재하여 단독처리하고 다시 HD에 수록, 또는 처리결과를 CRT와 프린터에 화상재생등 도형을 인지한다. 데이터의 파일명을 연속된 영수자 3문자의 ASCII코드를 이용, 같은 내용의 처리를 임의의 다른 조의 데이터에 관하여 자동으로 적재, 실행 및 새 파일명으로 HD에 수록 하는 과정을 반복 실행할 수 있다.

## 4. 디지털 화상처리

원화상 데이터에서 그림 2)의 RWME 및 RIJC의 5방법의 배열변환에 의한 각 재생상은 정도의 차이는 있었으나 대동소이하였고, 또 이 배열변환 후 FFMX(그림 2)에 의한 3방법의 선형변환의 각 재생상은 상당한 차이가 있었고, 다음의 화상처리에서는 이들중 가장 적합한 각 1방법을 사용하였다.

CRT상에서는 한화소를 4래벨로 분리할 수 있었으나 프린트의 한점이  $0.55mm \times 0.55mm$ 로 한화소가 되므로 GP(그림 2)에서 해당경계치로 2치화 하여 CRT와 프린트에 표시하였다.

### 1) 원화상의 재생

그림 5는 다음에서 처리대상에 해당하는 레이더 영상의 사진이다. 흰 부분이 육지(산), 항구의 구조물, 선박등이고, 검은 부분은 바다(하측, 하좌우, 중간부분), 그리고 산의 이면에 해당한다. 중심에서 윗쪽으로의 흰선은 해당마크(선박에서는 船首방향을 지시)이며, 사진에서는 북쪽 방향이고, 중심원은 1마일 간격의 거리환이다.

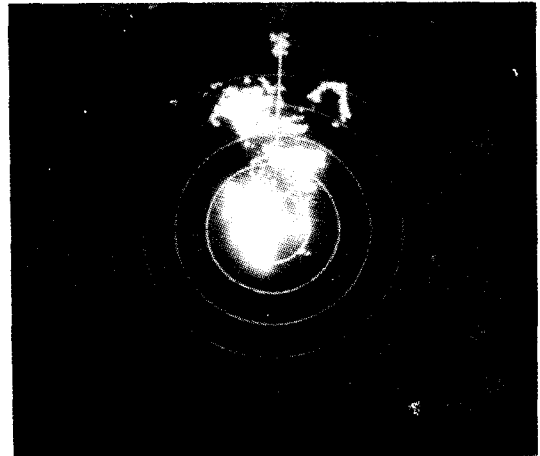


Fig 5. Photograph of radar image

그림 6은 그림 5에 해당하는 2, 1)~3)의 화상 데이터(64, 661)인 D군(그림 6(1), (2)), R군(그림 6(3))의 경계치 40에 의한 재생산이고, 그림 5와는 흑백이 전도되어 있다. 그림 6(1)은 배열변환만으로 재생한 상이고, 그림 6(2), (3)은 배열변환후 선형변환 처리를 실행한 재생산이다. 그림 6(1)과 비교하여 중심 부분에서 차이가 있고, 그림 5의 실상과 더욱 유사하다. 그림 6(3)의 거리환이 중심 원주상에서 이탈한 점이 있는 것은, 데이터 수집시 레이더아와 A/D와의 완전 동기를 취하지 못한 현상이다.

다음에서 화상처리는 그림 6(1), (2)의 중심상부 우측(해당마크 우측)의 중심각이  $69.7^\circ$ 에 해당하는 부분의 (64, 128)데이터 만을 취급하고, 이의 그림 6(1)에 해당하는 데이터를 DII, 그림 6(2)의 것을 DIF라 한다.

그림 7(1)~(6)은 DII 및 DIF를 HSCP(그림 2)에 의한 히스토그램의 데이터를 HS(그림 2)로 나타낸 것이다. x축(수평축)이 계급을 나타내고, 좌단이 0, 우단이 100이다. y축은 상대도수이고, 최대가 100이다. 데이터의 값은 DII가 15(최소)~128(최대 : 계급은 100)이고, DIF는 0~128이다.



Fig 6. Restored images for radar image data(R.D)

- (1) for original data
- (2) for transformed fan data(T.D)
- (3) with range marker rings for T.D

그림 7(1), (2)는 각각 DII, DIF의 경계치 0(전 데이터)의 히스토그램이다. 그림 7(1)의 경계치 15~30(계급치 12~23)부분에서 큰도수분포를 형성하고 있는 것은 A/D변환(0~2V)시 바이어스(bias)가 약 0.45V로 인한 노이즈이며, 그림 7(2)는 선형데이터로 변환시 무효화(0)된 데이터가 계급 0에 나타나고, 그림 7(1)에 해당하는 각도수가 상대적으로 축소되어 있다.

그림 7(3), (4)는 DIF를 경계적 30, 40, 60으로 절단한 각 히스토그램이다.

그림 8(1), (2)는 DII를 경계치 30, 40으로, 그림 8(3)~(5)는 DIF를 경계치 30, 40, 60(그림 7(3)~(5)에 해당)에 의한 각 재생상이다. 이 결과로 다음에서 재생상의 경계치는 그림 6의 경우와 같이 40으로 하였다.

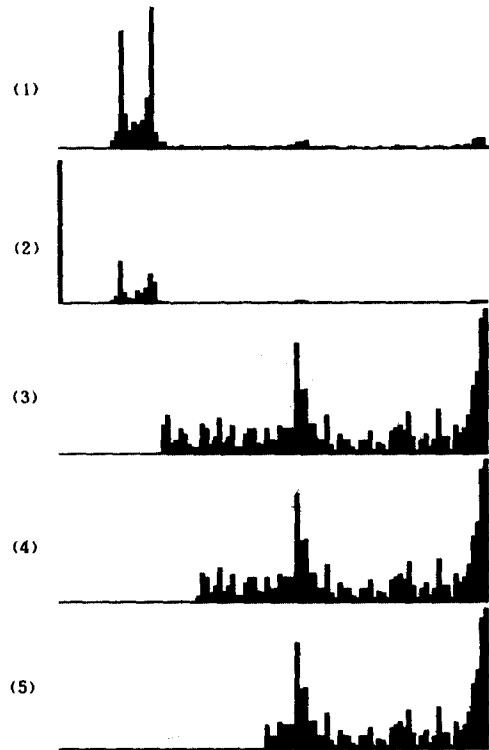


Fig 7. Histograms for R.D

- (1) of O.D. (2) of T.D
- (3) of threshold value (T.V) 30
- (4) of T.V. 40 (5) of T.V. 60

2) 화상의 공간필터처리.

DII데이터(히스토그램 : 그림 7(1)를 식(1)의 광학적인 푸리변환 FT26(그림 2, L=3)을 시행한 공간주파수 영역 데이터의 히스토그램이 그림 9(1)이고, 이 푸리변환에 의한 데이터에 식(3)의 하이패스 필터와 식(4)를 실행하는 그림 2의 HP27(IA=IB=1)에 의한 데이터의 히스토그램이 그림 9(2)이다.



Fig 8. Restored images for part of R.D

- (1) by T. V. 30 of O.D.
- (2) by T. V. 40 of O.D.
- (3) by T. V. 30 of T.D.
- (4) by T. V. 40 of T.D.
- (5) by T. V. 60 of T.D.

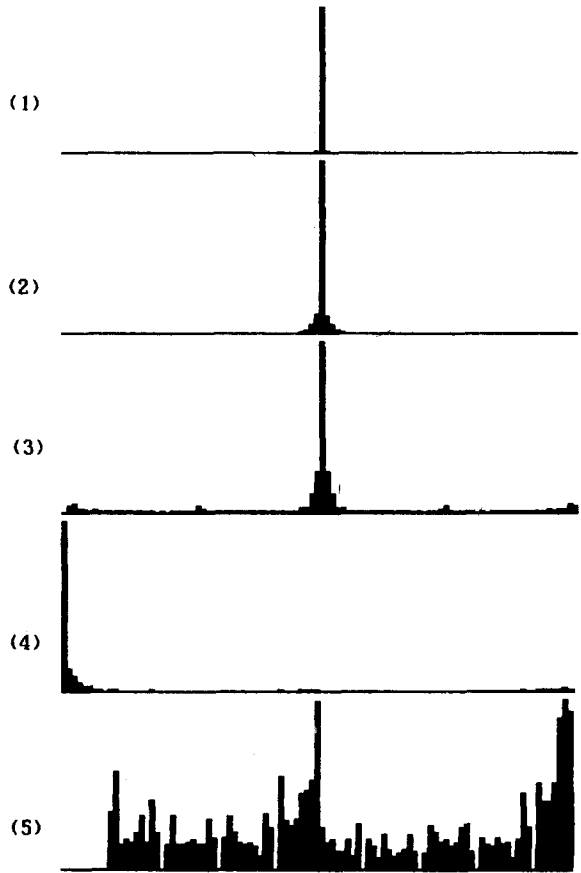


Fig 9. Histograms for sequential image processing of R.D.

- (1) Fourier transform
- (2) High pass filter
- (3) Inverse Fourier transform
- (4) Absolute (5) T. V. 10



다시 이 필터를 거친 데이터에 식(5)의 광학적인 푸리역변환 FT26 ( $L=4$ )을 실행한 데이터의 히스토그램이 그림 9(3)이다. 이 역변환을 실행한 데이터를  $\pm 1.0$ 으로 규격화하고, 최대치를 128로 정수화하는 FA31(그림 2)를 실행한 데이터의 히스토그램이 그림 9(4)이고, 이 규격화한 데이터에 경계치를 10으로 절단한 히스토그램이 그림 9(5)이다. 이에 해당하는 데이터를 경계치 10으로 재생한 상은 DII를 경계치 40에 의한 그림 8(2)의 재생상과 거의 같은 결과를 얻었고, 하이패스필터의 효과가 입증된다. (그림 7(1)과 그림 9(5)를 비교) (그림 9(1)~(4)는 HS33(그림 2)의 처리결과이고, 그림 9(5)는 HSCP(그림 2)에 의한 것이다.

### 3) 화상의 윤곽처리

DII(그림 8(1)과 DIF(그림 8(4))를 IMCP(그림 2)로 2차화하고 데이터 간을 충진한 처리결과 의 재생상이 각각 그림 10(1), (2)이다.



Fig 10. Restored images by Compact processing for R.D

(1) by O.D., (2) by T.D.

그림 10(2)에 해당하는 데이터를 화상의 윤곽

검출을 위한 식(6)~(18)에 의한 RPNW의  $L=1 \sim 13$ 에 관한 각 처리결과에서  $L=1 \sim 7$ 은 거의 같은 결과였으므로 이중  $L=7$ 의 상을 그림 11(1)에,  $L=8 \sim 13$ 도 정도의 차이는 있으나 같은 결과로 이중  $L=9$ 의 상을 그림 11(2)에 나타내었다.

그림 10(1), (2)에 해당하는 각 데이터를 RPEG의 마지막 처리결과로 보다 선명한 에지상을 그림 12(1), (2)에 나타내었다.



Fig 11. Images of differential processing for T.D. & C.D. (3x3 Pixels)

(1) Differential (2) Laplacian

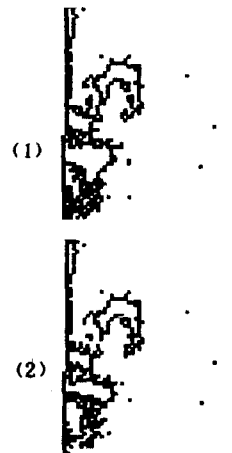


Fig 12. Images of edge by state inferential processing for R.D

(1) O.D. & C.D. (2) T.D. & C.D.

5. 결 론.

레이다아 영상의 데이터를 수집하여 디지털 화상처리를 실행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 화상처리용으로 개발한 S/W의 다기능, 편리성의 확인.
2. 화상데이터의 히스토그램에 의한 적절한 경계치의 선정.
3. 선형 데이터로 변환한 재생상이 보다 원 영상에 부합한 점.
4. 공간 주파수 영역에서의 하이패스 필터처리의 효과 입증.
5. 화상데이터의 증진처리에 의한 선명한 화상의 재생.
6. 종래의 에지검출처리에 비하여 상황추정처리로 보다 선명한 화상의 에지를 검출한 것 등이다.

문제점과 앞으로의 과제는

1. 데이터 수집시 정확한 동기화.
2. 고속처리, 대기억용량의 PC 이용.
3. PPI레이다아 화상에 적합한 극좌표에 의한 화상처리법의 개발등이다.

※본 논문은 1987년도 문교부 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

; 6. 참 고 문 헌

1. A. Rosenfeld and A.C. kah : Digital picture processing, 2nd ed., vol. 1, Academic Press, p. 435(1982).
2. H.C. Andrews and B.R.Hunt : Digital Image Restroation, Prentice-Hall, p. 238(1977).
3. 孫珍鉉 : 超音波홀로그래프의 디지털 處理에 의한 立體物體의 分離再生II, 韓國海洋大學 船舶工學研究所 論文集 1輯, p. 51(1977).
4. 孫珍鉉, 裴鍾旭 : 一般的인 高速푸리 變換의 알고리즘, 韓國海洋大學, 船舶工學研究所 論文集 2輯, p. 359(1983).
5. G·T·Herman : Image Reconstruction from Projectons, The Fundamentals of Computerized Tomography, Academic Press, p. 316(1980).
6. R.O.Duda and P.E.Hart : Pattern Classification and scene Analysis, Wiley, p. 298~326(1973).