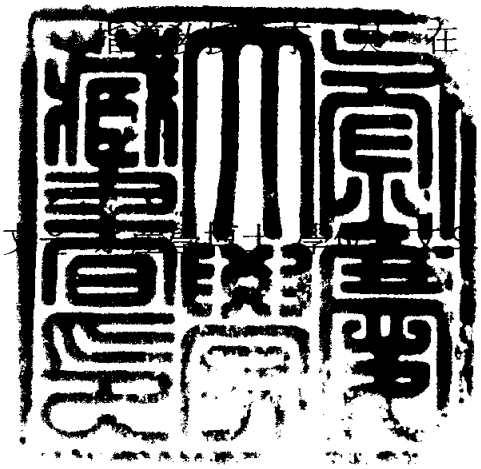
水産學博士 學位論文

沿近海 小型漁船의 레이더 情報收錄 및 解析 시스템 開發



이 論文을 釜慶大學校 大學院 水産學博士 學位論文으로 提出함

2004 年 2 月

釜 慶 大 學 校　大 學 院

水 産 物 理 學 科

卞 德 洙

卞德洙의 水産學博士 學位論文을 認准함

2003 年 12 月 日

主 審 工學博士 辛亨鎰

副 審 工學博士 姜日權

委 員 水産學博士 金光弘

委 員 水産學博士 安瑛化

委 員 水産學博士 李昊在

목 차

List of Figures iii

List of Tables vi

Abstract vii

Ⅰ. 서 론 1

Ⅱ. 실험장치 및 방법 5

1. Radar Target Extractor에 의한 선박운동정보의 추출 5

2. 위치추적 및 실시간 모니터링 10

2.1 양선 거리 측정 10

2.2 타선 정보의 추적 13

2.3 ARPA 표적정보의 멀티 모니터링 16

3. CFAR processor에 의한 레이더 잡음 억제 19

3.1 이동 표적의 추적 및 레이더 clutter 억제 19

3.2 음영구역의 측정 27

Ⅲ. 결과 및 고찰 29

1. 반사신호의 좌표변환 29

2. 양선 거리의 실시간 모니터링 37

3. 타선 정보의 추적 및 모니터링 41

4. ARPA 정보의 멀티모니터링 46

5. 추적정보의 표시 및 수록 49

6. 레이더 clutter의 억제 51

7. 음영구역의 추정 65

Ⅳ. 요약 68

참고문헌 71

List of Figures

Fig. 1. A block diagram of a radar target extractor(RTX) used in the experiment.
Fig. 2. System parameters of RTX to generate control signals which are varied according to the conditions, such as PRF, signal offset, trend level, signal gain, bearing pulse, etc, in order to make the circuits adaptively perform their operation.
Fig. 3. An example of TTM output generated by ARPA simulator.
Fig. 4. Block diagram of cell-averaging CFAR processor.
Fig. 5. Effect of target geometry on radar image.
Fig. 6. Conversion of echo position coordinate for acquisition target.
Fig. 7. An example of the PPI display with radar system and tracking parameters
Fig. 8. A radar PPI image with spike clutter superimposed on the ENC.
Fig. 9. A radar PPI image after 2D filtering and spike clutter suppression superimposed on the ENC.
Fig. 10. An example of input parameters to operate the radar target extractor.
Fig. 11. Measurement of distance between two ships on the radar image superimposed on the ENC.

Fig. 12. Measurement of distance between two ships with radar image monitoring.
Fig. 13. A series of continuous tracking images a ship's target detected by radar with intervals of 30 sec. The circle indicates the tracked ship target.
Fig. 14. Comparisons of measured values and $\alpha-\beta$ tracker output for bearing(A), range(B), and position(C) of target detected by radar.
Fig. 15. A radar image superimposed with four tracking targets generated by ARPA simulator.
Fig. 16. An example of echo trace and real-time ARPA information for continuous ship's target tracking acquired in Tokyo harbor, Japan.
Fig. 17. An example of the radar image showing the sea clutter and ship's targets superimposed on the ENC acquired in Busan harbor, Korea.
Fig. 18. (A) An example for cell-averaging CFAR processing for echo power of radar signal acquired in littoral regions, (B) Histogram of cell-averaging CFRA threshold values for echo power.
Fig. 19. (A) An example for cell-averaging CFAR processing for echo amplitude of radar signal acquired in littoral regions, (B) Histogram of cell-averaging CFRA threshold values for echo amplitude.
Fig. 20. Comparison of original radar image(A) and image after ideal CFAR processing for ideal threshold level 2.0723(B).

Fig. 21. Comparison of cell-averaging CFAR performance for the false alarm probability $10^{-0.25}$, $10^{-0.50}$, $10^{-0.75}$, $10^{-1.00}$ respectively.
Fig. 22. Shadow zones caused by the shape characteristics of radar targets in radar images.

List of Tables

Table 1. Specification of radar(FR 1510, Furuno) used in the experiment

Table 2. Specification of radar(FR 1832, Furuno) used in the experiment

Table 3. An example of output from radar target extractor

Development of Acquisition and Analysis System of Radar Information for Small Inshore and Coastal Fishing Vessels

Duck Soo Byun

Department of Fisheries Physics, Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

This paper describes on the system and method for automatically tracking and monitoring the position of target ships relative to the own ship using a PC based radar system that displays radar images and electronic charts together on single PC screen.

And also, this paper describes on the suppression of sea clutter on marine radar display using a cell-averaging CFAR(constant false alarm rate) process technique, and on the analysis of radar echo signal data in relation to the estimation of ARPA function and the detection of the shadow effect in clutter returns.

A RTX(radar target extractor) board was used to extract the target information detected by the radar, and installed in 16 bit ISA slot of an IBM PC compatible computer.

The target data extracted from each pulse repetition interval in DSPs of RTX is formatted into a series of radar target messages. These messages are then transmitted to the host PC and displayed on a single screen.

The position data of target in range and azimuth direction are stored and used for determining the center of the distributed target by arithmetic averaging after the detection of the target end.

In this system, the electronic chart or radar screens can be displayed separately or simultaneously and in radar mode all information of radar targets can be recorded and displayed.

In spite of a PC based radar system all essential information required for safe efficient navigation of ship can be provided.

The echo signal was measured using an X-band radar, located at Pukyong National University with a horizontal beam width of 3.9°, a vertical beam width of 20°, pulse width of 0.8μs and a transmitted peak power of 4 kW.

The suppression performance of sea clutter was investigated for the probability of false alarm between $10^{-0.25}$ and $10^{-1.00}$.

The performance of cell-averaging CFAR was also compared with that of ideal fixed threshold, and the shadow effect in clutter returns was analyzed.

The results obtained are summarized as follows :

1. The system developed in this study can be used as a range finder to measure the distance between two ships, and as a device to provide the maneuvering information such as distance and bearing data, between target ships and own ship on ECS(electronic chart system) screen.

2. From the result of position tracking for a selected target ship tracked with an update rate of 5 seconds using the $\alpha-\beta$ tracker, we concluded that the smoothing effect by the $\alpha-\beta$ tracker was highly effective and stable except in the time interval about one minute after the target detection.

3. From the fact that the real-time maneuvering information of tracked ship targets via local area network(LAN) from host

computer installed a radar target extractor was successfully transferred to various monitoring computers on the ship, we concluded that this system can be used as a sub-monitoring system of ARPA.

4. The ARPA plotting results and motion vectors for acquired targets by analyzing the echo signal data were displayed on the PC based radar system and the continuous trajectory of ships was tracked in real-time.

5. To suppress the sea clutter under noisy environment, a cell-averaging CFAR processor having total CFAR window of 47 samples(20+20 reference cells, 3+3 guard cells and the cell under test) was designed. On a particular data set acquired at Suyong Man, Busan, Korea, the probability of false alarm applied to the designed cell-averaging CFAR processor was $10^{-0.75}$, the suppression performance of radar clutter was significantly improved. The results suggest that the designed cell-averaging CFAR processor was highly effective in uniform clutter environments.

6. It is concluded that the cell-averaging CFAR would give a considerable improvement in suppression performance of uniform sea

clutter compared to the ideal fixed threshold.

7. The effective height of target, that was estimated by analyzing the shadow effect in clutter returns for a number of range bins behind the target as seen from the radar antenna, was approximately 1.2 m and the information for this height can be used to extract the shape parameter of tracked target.

Ⅰ. 서 론

현재 우리나라 연안해역에 있어서는 생활하수 및 산업폐수에 의한 해양오염이 심각하게 우려되고 있는 가운데 어업자원의 남획이 무분별하게 행해지는 등 여러 요인에 의한 어업자원 감소로 어업의 생산성 저하가 해를 거듭할수록 가속되어 연안 소형 어선의 어업기반에 큰 변화가 초래되고 있는 실정이다.

이와 같은 상황하에서 과거에는 연안의 근거리 해역에 국한되었던 소형 어선의 조업구역이 해를 거듭할수록 원거리의 근해 해역으로 확장됨으로써 연안 소형 어선의 해난사고가 빈번하게 발생하고 있어 이에 대한 대책의 수립이 절실하게 요구되고 있는 실정이다.

현재 연근해 해역에서 조업하는 소형 어선에 있어서는 GPS/DGPS, video plotter, magnet compass, 어군 탐지기 등과 같은 기본적인 항해 및 어업계측 장비를 탑재하고 있으나, 기상 이변시나 어황 변동에 따른 선박의 이동시에 자선 주변의 해상 상황에 대한 정보를 파악하기 위한 다기능 레이더 시스템장치를 탑재하고 있지 않은 실정이다.

따라서, 향후 어장이 더욱 원거리화가 되고, 조업구역이 일일 항행권을 벗어나는 범위까지 확장되는 경우에 있어서는 레이더 정보에 의한

선박의 안전확보 대책이 강구되어야 할 것이다.

최근, 연근해 어선에서는 소형 레이더 장치를 항해 및 어로 장치와 함께 탑재하고는 있으나, 이들 소형 레이더는 타선의 진운동 정보(진침로, 진속력)나 충돌회피 정보(DCPA, TCPA), 또한 주위의 상황 변화에 대한 다양한 물표정보를 제공할 수 없는 실정이다.

더구나, ARPA(automatic radar plotting aids, 자동 레이더 플로팅장치)[1]를 일반 소형 연근해 어선에 도입, 설치하는 데는 가격, 설치공간, 취급상 등의 여러문제 때문에 현실적으로 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 이와 같은 문제에 주목하여 현재 연근해 어선에 탑재되고 있는 소형 레이더 장치에 radar target extractor(RTX, 레이더 물표추적장치)를 부착시켜 소형 연근해 어선에서도 타선의 진운동 정보나 충돌회피 정보와 같은 각종 항해 정보를 얻기 위한 기초적 연구를 수행하였다[2].

현재, 일본 및 중국의 EEZ 수역 및 그 경계 수역에서 조업하는 우리나라 어선들은 해당 당사국이 실시하는 어업 지도업무의 수행과 관련하여 자신들의 출어 어장 및 조업구역의 위치 정보 등을 실시간으로 기록하고 있지 않아 예기치 못한 불이익을 당하는 경우가 빈번하게 발생하고 있다.

이 문제를 해결하기 위해 RTX를 이용한 PC based radar system을

사용하여 탐지 표적 위치의 자동추적과 그 추적 결과를 실시간으로 해석할 수 있는 레이더 시스템에 대해서도 연구를 수행하였다[3].

특히, 본 연구에서는 타선의 GPS/DGPS 위치를 수신하여 자선의 전자해도(ENC, electronic navigational chart) 및 radar 화면상에 동시에 표시함으로써 이들 두 선박의 간격을 측정할 수 있는 양선거리계 및 레이더 정보를 필요에 따라 hard disk에 수록 및 재생할 수 있는 범용성의 레이더 정보 수록 및 해석 시스템을 개발하였다.

최근 자선의 안전을 확보하기 위해 레이더 clutter 신호를 효과적으로 억제 및 제거하기 위한 연구가 관심의 대상이 되고 있다[4),5].

일반적으로 레이더 clutter 신호는 항해 선박에 의한 반사파 신호와 구별할 수 없는 경우가 많기 때문에 레이더 신호처리 분야에서는 이들 clutter 신호를 적극적으로 억제하기 위한 역치검출(threshold detection) 방식이 널리 이용되고 있다.

보통 레이더 수신기에서는 어떤 역치를 설정하고, echo 신호와 역치레벨을 비교하게 되는데, 이 때, echo 신호 속에 포함되어 있는 clutter 신호가 역치레벨을 초과하면 clutter를 표적으로 판정하여 오경보(false alarm)가 된다.

일반적으로 레이더 반사파에 대한 envelope 신호의 진폭은 Rayleigh 분포에 따라 변동하는 특성을 나타내지만, 만일, clutter의 진폭분포의

parameter가 변동하여 분포패턴이 변화하면 오경보확률(false alarm probability)에도 변화가 발생하기 때문에 오경보확률를 어떤 충분히 낮은 일정치로서 억제시켜 일정오경보확률(CFAR, constant false alarm rate)을 유지하는 처리가 필요하다[6),7)].

따라서, 본 연구에서는 PC based radar system을 이용하여 cell-averaging CFAR 처리장치를 통해 clutter 신호속에 묻혀 있는 선박 echo 신호의 검출과 오경보확률의 설정치 변화에 따른 echo 영상의 변화패턴을 직접 비교·분석하였다.

Ⅱ. 실험장치 및 방법

1. Radar Target Extractor에 의한 선박운동 정보의 추출

선박 레이더는 레이더 송신부에서 송출되는 펄스신호가 해상에 존재하는 각종의 물표에 부딪쳐 생성되는 반사신호를 수신하여 자선주변에 대한 타 선박의 존재 및 동적 거동을 파악하는 장치이지만, 현재 널리 탑재되고 있는 ARPA 장치에 있어서는 선박의 진침로와 진속력 등을 실시간으로 모니터링하면서 이들 선박들의 지금까지의 위치 정보를 토대로 향후의 위치정보를 예측, 산출하는 물표의 자동추적기능을 보유하고 있는데, 이들의 기능을 소형의 레이더 장치에서도 발휘하도록 하기 위해 사용한 RTX의 기능적인 모식도는 Fig. 1과 같다.

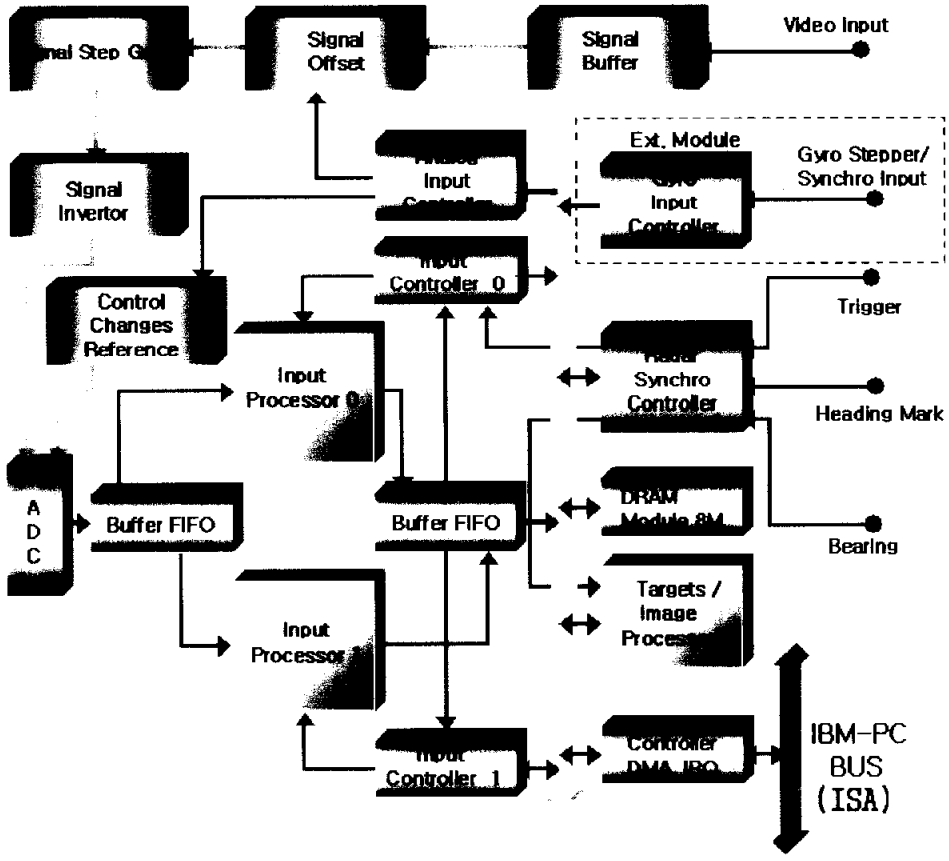


Fig. 1. A block diagram of a radar target extractor(RTX) used in the experiment.

한편 Fig. 1의 레이더 물표 추적장치에서 12 bit, 40 MHz로서 양자화된 video 신호를 PPI(plan position indicator)방식으로 영상화할 때, 영상의 최적화와 관련되는 video signal offset, 잡음레벨, 신호이득, trend level과 같은 레이더 영상제어 parameter, 또한 레이더 장치의 system

parameter와 레이더 표적추적장치의 구동 parameter를 일치시키기 위한 각종 기능 parameter 설정에 대한 모식도는 Fig. 2와 같다.

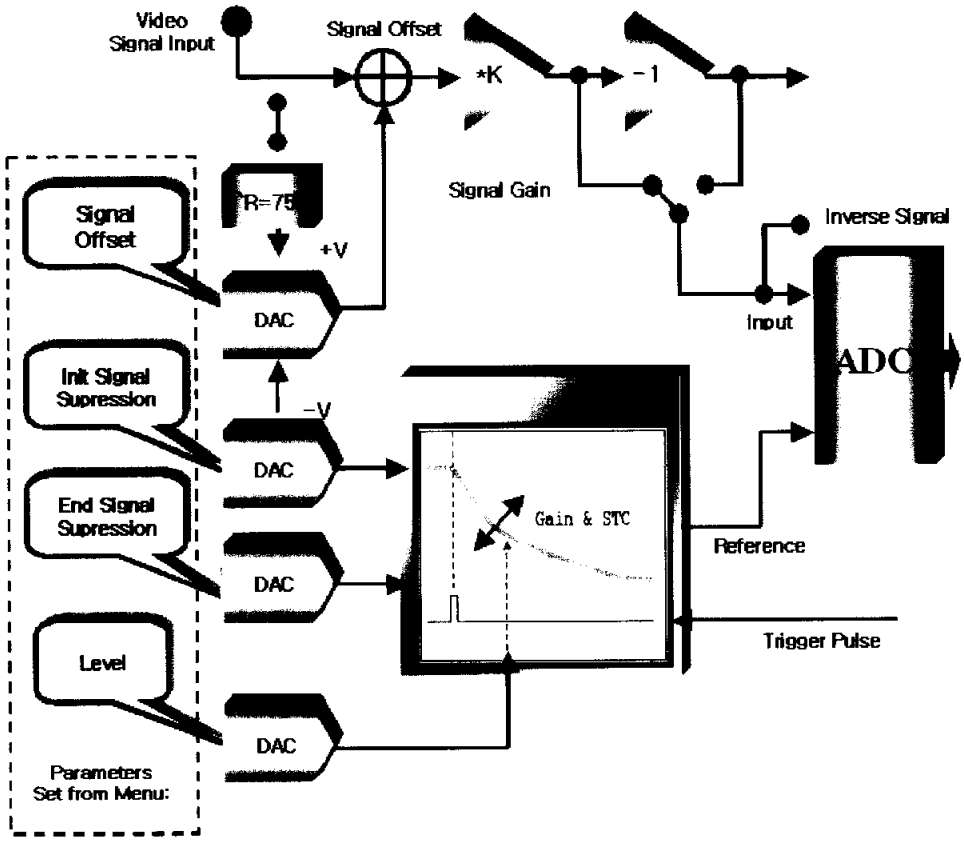


Fig. 2. System parameters of RTX to generate control signals which are varied according to the conditions, such as PRF, signal offset, trend level, signal gain, bearing pulse, etc, in order to make the circuits adaptively perform the operation.

보통의 ARPA에서는 대상 표적의 위치를 결정할 때 레이더 장치에서 송신되는 펄스신호가 표적에 부딪쳐 반사될 때, 각각의 입력 반사신호를 양자화하여 물표영상을 표시하면서 양자화된 신호의 중심위치를 표적의 위치로 한다.

그러나 이 경우, 만일 펄스폭을 짧게 하거나 길게 조정하면, 반사신호 폭의 차이에 기인하여 표적의 위치가 변동하는 문제가 발생한다.

따라서, 여기서는 이 점에 주목하여 여러 물표의 반사신호에 대한 앞단으로부터 휘점 크기의 절반에 상당하는 위치를 집합 평균하여 표적의 거리 좌표로 하고, 안테나의 회전에 동기하여 물표 영상이 나타나기 시작하는 방위방향의 전단과 종단의 집합 평균위치를 방위좌표로 하여 물표위치를 산출하였다.

일단, 수동이나 자동조작에 의해 추적 희망표적이 지정되면, 해당 표적위치를 중심으로 거리방향으로 ±m pixel, 방위방향으로 ±n pixel의 게이트 구간을 각각 설정하고, 이들 게이트 구간을 통과하는 s 개의 물표 반사신호에 대한 방위각을 θ_i, 거리를 r_i, 물표반사신호의 길이를 p_i라 할 때, 탐지물표의 거리 r과 방위 θ는

$$k_i = \frac{p_i}{\sum_{i=0}^{s}}$$

$$r = \sum_{i=0}^{5}(k_i \cdot r_i)$$

$$\theta = \sum_{i=0}^{5}(k_i \cdot \theta_i)$$

에 의해 구하였다.

Fig. 1과 Fig. 2에서 일단 표적이 포착되면 표적의 위치와 방위 좌표를 상기의 알고리즘에 의해 산출하고, 표적의 이동상태에 따라 거리 및 방위 방향의 tracking gate를 이동시키면서 표적의 위치좌표를 연속적으로 산출하여 표적의 이동방향(진침로)과 속력(진속력)으로 추출하여 PPI 방식으로 표시토록 하기 위한 프로그램은 visual C^{++}를 이용하여 작성하였다.

또한, 본 연구에서 개발된 레이더 신호처리장치(RTX)는 IBM PC의 ISA 슬롯에 장착하여 사용할 수 있도록 설계된 모듈로서, 표적의 추적기능이 없는 소형의 선박용 레이더에서 출력되는 analog video signal, trigger pulse(동기펄스), 선수선 표시펄스(azimuth reset pulse, ARP), 방위펄스(azimuth count pulse, ACP)를 직접 입력할 수 있도록 설계되었다[8),9)].

2. 위치 추적 및 실시간 모니터링

2.1 양선 거리 측정

본 연구는 목포지방해운항만청 소속의 표지선 해양 2호(G/T 84톤)에 탑재된 출력 10 kW의 선박용 레이더(FR 1510, Furuno)를 사용하여 목포 인근해역에서 해상 실험을 행하였다.

Table 1. Specification of radar(FR 1510, Furuno) used in the experiment

Item	Specification
Antenna radiator	type : slotted waveguide array beam width : hor. 1.23° ver. 20° rotation speed : 24 RPM wind load : relative wind 100 knot
RF transceiver	frequency : 9410 ± 30 MHz(X-band) output power : 10 kW
Display units	type : 15″ diagonal high resolution green phosphor CRT display mode : head, north, course - up, true motion(TM) range scale : 0.25 - 96 nm

먼저 실험은 해당 선박에 탑재된 레이더에서 출력되는 analog video signal, trigger pulse, APR, ACP를 RTX에 입력한 후, DSP에서의 video 신호처리 및 PC 상에서의 신호수록에 필요한 이득, 방위와 거리 offset, STC, 잡음레벨 등과 같은 각종 입력 parameter를 설정하고, 미리 설정된 항로를 항주하면서 주변에 분포한 타선의 위치 및 영상 정보를 수신하였다.

또한, 레이더 신호를 수록한 목포 인근해역을 대상으로 가상적인 타선을 배치시키고, 이들 가상 선박의 위치를 위치발생 시뮬레이터를 이용하여 실시간으로 발생시키면서 이미 수록해 놓은 레이더 신호를 hard disk로부터 loading하여 모니터링함과 동시에 가상 선박의 위치정보를 RS232C port를 통해 PC에 입력하는 방법으로 양선 간격의 추정을 위한 시뮬레이션 실험을 행하였다.

본 연구에서는 선간 거리계의 구현 및 그 유효성을 입증하기 위해 NMEA0183 protocol로써 발생시킨 타선의 위도 Lat_b, 경도 $Long_b$를 포함하는 GGA, GLL, VTG 등의 메시지를 RS232C interface를 통해 수신하였는데, 이 때, 자선의 위치(위도 Lat_a, 경도 $Long_a$)를 기준으로 타선까지의 거리 D와 방위 C는

$$D = \frac{(Lat_b - Lat_a)}{\cos C} \quad \cdots\cdots (1)$$

$$C = \tan^{-1}\left(\frac{Long_b - Long_a}{Lat_M}\right) \quad \cdots\cdots (2)$$

에 의해 구하였다[10].

여기서, Lat_M은 각각 자선과 타선의 위도 Lat_a, Lat_b에 대한 점장위도(meridional parts)를 $MLat_a$, $MLat_b$라 할 때,

이들 값의 차, 즉, 점장변위(meridional difference)로써 Lat_M은

$$Lat_M = MLat_b - MLat_a$$

이다.

한편, 임의의 위도 L에 대한 점장위도 $MLat$는

$$MLat = a \log_e\left\{\tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{L}{2}\right)\right\} - \left\{ae^2 \sin L + \frac{ae^4 \sin^3 L}{3} + \frac{ae^6 \sin^5 L}{5} + \cdots\right.$$

$$\cdots\cdots (3)$$

에 의해 구할 수 있다[10]. 여기서, a는 적도반경이다.

2.2 타선 정보의 추적(tracking)

본 연구에서는 Kalman 필터의 이득을 고정시킨 필터의 한 종류인 $\alpha-\beta$ tracker를 이용하여 탐지물표의 추적을 행하였는데[11], 이 tracker는 위치벡터를 측정할 때 발생하는 오차를 추정하는데 널리 응용되고 있다.

만일, 레이더 안테나에서 수신되는 신호를 샘플링 주기 T_s로써 양자화할 때, n 번째 샘플링 시간에 대한 평활화 추정위치의 x 성분과 y 성분을 $\overline{X}(n)$, $\overline{Y}(n)$라 할 때, 이 위치의 x와 y 방향에 대한 평활화 이동속도 $\overline{V_x}(n)$, $\overline{V_y}(n)$ 가 일정할 때, n+1 번째 샘플링 시간에 대한 위치 $X_p(n+1)$, $Y_p(n+1)$ 는

$$X_p(n+1) = \overline{X}(n) + \overline{V_x}(n) \cdot T_s \quad \cdots\cdots (4)$$

$$Y_p(n+1) = \overline{Y}(n) + \overline{V_y}(n) \cdot T_s \quad \cdots\cdots (5)$$

에 의해 예측할 수 있다.

여기서, 타선이 항주하고 있을 때, n+1 번째 샘플링 시간에 대한 실제의 측정위치를 $X_i(n+1)$, $Y_i(n+1)$ 이라 하면, 이 시각에 대한 측정

위치와 예측위치의 차의 일정비율을 예측위치에 부가함으로써 해당시각에 대한 예측위치 $X_p(n+1)$, $Y_p(n+1)$를 새로운 평활화 추정위치 $\overline{X}(n+1)$, $\overline{Y}(n+1)$로서 update할 수 있다.

즉,

$$\overline{X}(n+1) = X_p(n+1) + \alpha\{X_i(n+1) - X_p(n+1)\} \cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

$$\overline{Y}(n+1) = Y_p(n+1) + \alpha\{Y_i(n+1) - Y_p(n+1)\} \cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

이 성립하는데, 여기서, α는 위치에 대한 tracking parameter (smoothing constant)이다. 동일한 방법으로 n번째 샘플링시간에 대한 측정위치를 $X_i(n)$, $Y_i(n)$, 평활화 추정위치를 $\overline{X_p}(n)$, $\overline{Y_p}(n)$라 할 때, $\overline{X}(n)$, $\overline{Y}(n)$는

$$\overline{X}(n) = X_p(n) + \alpha\{X_i(n) - X_p(n)\} \cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

$$\overline{Y}(n) = Y_p(n) + \alpha\{Y_i(n) - Y_p(n)\} \cdots\cdots\cdots\cdots(9)$$

이 된다.

타선의 이동속도에 대해서도 같은 원리를 적용하면, n-1 번째 샘플링

시간에 대한 평활화 속도 추정치를 $\overline{V_x}(n-1)$, $\overline{V_y}(n-1)$ 라 할 때,

$$\overline{V_x}(n) = \overline{V_x}(n-1) + \frac{\beta}{T_s}\{X_i(n) - X_p(n)\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

$$\overline{V_y}(n) = \overline{V_y}(n-1) + \frac{\beta}{T_s}\{Y_i(n) - Y_p(n)\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

이 성립한다.

여기서, β는 속도에 대한 tracking parameter(smoothing constant)이고, n 번째 샘플링시간에 대한 예측속도를 $V_{xp}(n)$, $V_{yp}(n)$ 라 할 때,

$$V_{xp}(n) = \overline{V_x}(n-1) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

$$V_{yp}(n) = \overline{V_y}(n-1) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

이 된다.

본 연구에서는 (4)식~(11)식에 z 변환을 행하고, 타선의 위치와 항주속도에 대한 전달함수 $H_p(z)$, $H_v(z)$ 를 각각

$$H_p(z) = \frac{z(\alpha z + \beta - \alpha)}{z^2 + (\beta + \alpha - 2)z + 1 - \alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

$$H_v(z) = \frac{\beta}{T_s} \cdot \frac{z(z-1)}{z^2 + (\beta + \alpha - 2)z + 1 - \alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (15)$$

와 같이 유도하여 타선의 평활화 위치(방위, 거리) 및 속도 vector를 산출하였다.

2.3 ARPA 표적정보의 멀티 모니터링

본 실험에서는 레이더(FR 1510)에 내장된 자동표적추적장치(automatic tracking aids, ARP-17)로부터 출력되는 NMEA0183 protocol의 RSD (radar system data)와 TTM정보, 또한 RTX에서 양자화된 레이더 신호를 선내 다수의 모니터링 시스템으로 전송, 표시하는 장치의 구현을 위한 실험을 행하였다.

현장에서는 먼저, 레이더에서 출력되는 RS422의 RSD와 TTM정보를 RS232C 신호로 변환한 후, 실시간으로 RS232C interface를 통해 자체 개발한 software에 전송시켜 레이더 영상과 함께 탐지한 모든 표적의 추적정보가 효율적으로 표시되는가에 대한 예비적 실험을 수행하였다.

```
( 0) ARPA [NMEA]          Source: Reokon                    1000ms Put
COM2 4800 8N1: LOG ON   Display ON

$TETTM,08,7.903,022.12,T,12.50,022.20,T,5.799,-71.23,N,,T,*40
$TETTM,09,7.903,032.21,T,12.50,032.20,T,4.168,-129.95,N,,T,*79
$TETTM,10,7.842,042.29,T,0.00,042.20,T,0.094,47.05,N,,T,*50
$TETTM,11,7.886,052.01,T,12.50,002.20,T,7.687,13.27,N,,T,*62
$TETTM,12,7.880,062.03,T,12.50,002.20,T,7.259,23.15,N,,T,*63
$TEOSD,37.89,A,37.89,W,13.00,W,,,N*46

( 1) PRIMARY              Source: Route TEST41              1000ms  Put
COM1 4800 8N1: LOG ON   Display ON     WP( 7)    5:59:35

$GPRMC,173904,A,5033.198,N,00101.130,E,13.00,37.89,060696,,*1A
$GPVDR,000.0,T,000.0,M,00.0,N*1E
$GPVWT,0.0,L,0.0,N*40
$GPMTW,0.0,C*34
$TEDBT,0.0,f,0.0,M,,F*2E
$GPGGA,173904,5033.198,N,00101.130,E,1,03,0.0,5.7,M,0.0,M,5.5,1

( 2) SECOND [NMEA]        Source: Window ( 1)               1000ms Put
COM2 4800 8N1: LOG ON   Display ON

$DEGGA,173903,5032.930,N,00101.174,E,1,03,0.0,5.7,M,0.0,M,5.5,1
$DEZDA,173904,06,06,1996,+00,+00,*7D
$DEGLL,5032.928,N,00101.130,E,173904,A*31
$TEVHW,37.89,T,,M,13.00,N,,K*43
$DEVTG,37.89,T,,M,13.00,N,,K*5F
$DEGGA,173904,5032.928,N,00101.130,E,1,03,0.0,5.7,M,0.0,M,5.5,1
```

Number	00	01	02	03	04	05	06	07
Bearing	20.4°	120.1°	219.8°	30.0°	50.4°	180.2°	12.0°	22.1°
Range	7.26	5.12	8.18	9.92	3.04	9.10	7.90	7.90
Course	90.0°	55.5°	155.5°	3.5°	5.5°	155.5°	12.1°	22.2°
Speed	10.0	15.5	10.5	18.5	0.0	11.5	12.5	12.5
CPA	5.1	3.4	4.4	8.3	0.5	0.9	6.2	5.8
TCPA	37.8	-36.3	-24.2	-26.6	18.0	-30.1	-46.9	-71.2
CCP	12.4	-3.5		18.5	-0.7	-8.6	9.7	13.7
TCCP	-45.3	-43.3		54.0	21.2	-1.5	24.7	93.2

Fig. 3. An example of TTM output generated by ARPA simulator.

또한, 현장 실험에서 ARPA의 표적추적 정보가 오차없이 성공적으로 실시간으로 수신 및 표시됨에 따라 후일 실험실에서는 ARPA의 탐지 표적에 대한 추적 정보를 전송받아 자선의 레이더나 전자해도상에 동시에 모니터링 함으로써 자선 레이더 정보의 효율적 감시체계의 구축을 위한 연구를 수행하였는데, 이 실험에서는 ARPA simulator가 사용되었다.

Fig. 3은 ARPA simulator를 이용하여 TTM, OSD 등의 sentence를 발생시켜 전송하는 한 예로서, 이 코드를 실제 목포 근해에서 수록한 레이더 영상에 중첩 표시하여 ARPA 정보의 실시간 모니터링 시스템 구축에 대한 유효성을 평가하였다.

3. CFAR processor에 의한 레이더 잡음억제

3.1 이동표적의 추적 및 레이더 Clutter의 억제

본 연구는 부산 용호만을 대상으로 출력 4 kW의 레이더(FR 1832, Furuno)를 사용하여 레이더 신호를 연속 관측하고, 이 레이더 신호의 해석을 통해 이동 선박의 추적 및 CFAR processor에 의한 sea clutter의 억제를 통해 이동 선박의 탐지효율을 향상시키기 위한 연구를 수행하였다.

또한, 일본 Furuno社가 동경항(東京港)에서 수록한 레이더 신호를 ROM화한 모듈을 이용하여 이 모듈의 레이더 echo 신호를 본 연구에서 개발한 레이더 해석 시스템에 입력시켜 이동선박의 정보를 추적 및 해석하는 ARPA 기능을 구현하였다.

Table 2. Specification of radar(FR 1832, Furuno) used in the experiment

Item	Specification
Antenna radiator	type : radome type, 60 cm beam width : hor. 4.0°, ver. 25° rotation speed : 24 rpm wind load : relative wind 100 knot
RF transceiver	frequency : 9410 MHz output power : 4 kW
Display unit expression	display mode : head-up, north-up, course-up, true motion range scale : 0.125, 0.25, 0.75, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 36 nm
Power supply	DC 10.2 - 41.6 V, 50 W

실험은 선박용 X-band 레이더를 사용하여 행하였고, 레이더를 부산에 있는 부경대학교 공동실습관 옥상에 고정 설치하고, 그 envelope 신호들의 출력을 40 MHz로써 sampling한 후 computer에 내장된 레이더 전용 DSP인 RTX에 입력하였다.

이 때, 레이더에서 출력되는 analog video signal, trigger pulse, APR, ACP를 RTX에 입력한 후, video 신호처리 및 신호수록에 필요한 이득, 방위와 거리 offset, STC, 잡음레벨 등과 같은 각종 입력 parameter의

초기치를 설정하고 고정점에 레이더 안테나를 설치하여 해당 해역을 항주하는 타선의 위치 및 영상정보를 수록하였다.

이 때, 거리방향의 sampling 수는 512, 1 sampling 시간간격에 대한 거리분해능은 3.75 m, 레이더 스코프의 한 화면은 512 × 720 pixel로써 구성하였다.

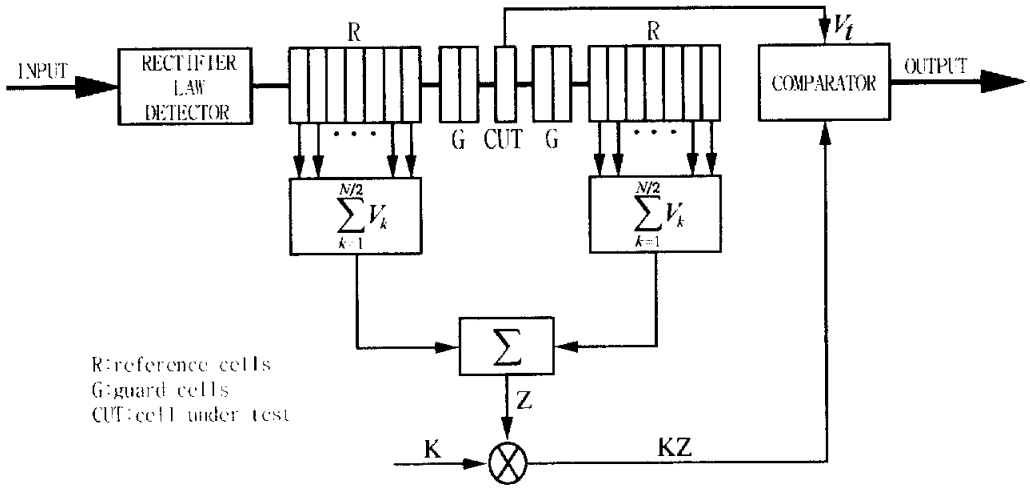


Fig. 4. Block diagram of cell-averaging CFAR processor.

본 연구에서는 먼저 Fig. 4와 같이 cell-averaging CFAR의 처리[12),13)]를 위해 레이더 수신기의 envelope의 검파출력을 sampling한 후, 이 값을 2승 처리하여 전력(power)으로써 변환하였고, 이들 신호전력의 평균치가 1 이 되도록 정규화 처리를 거쳐 range cell에 입력시켰다.

레이더 조사면 내의 다수의 불필요한 잡음성 산란체가 random하게 존재할 때, 이 조사면에서 산란되는 반사파, 즉, 협대역 필터를 통과시킨 레이더 clutter의 정현파 신호전압 y의 분산 β^2는

$$\beta^2 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} y_i^2 - \left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} y_i \right)^2$$

이 되고, 여기서, y_i는 i 번째 range cell에 대한 clutter 신호전압이고, M은 1회의 레이더 송신에 대한 range cell 방향의 sampling 데이터 수이다.

만일, 레이더 clutter 신호가 평균 zero, 분산 β^2의 Gaussian성 백색 잡음인 경우,

$$\beta^2 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} y_i^2$$

이 되어 표준편차 β는 rms clutter 전압, 분산 β^2는 clutter 전력이 된다.

이 때, 레이더 clutter 신호의 envelope 진폭 r은 Rayleigh 분포, 즉,

$$p(r) = \frac{r}{\beta^2} e^{-\frac{r^2}{2\beta^2}}$$

에 따르고, 여기서, $x = (\frac{r}{\sqrt{2}})^2$라 하면,

$$\beta^2 = \langle x \rangle = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} x_i$$

이 된다. 또한, clutter 신호의 envelope 진폭 r에 대응하는 clutter power x는

$$p(x) = \frac{1}{\langle x \rangle} e^{-\frac{x}{\langle x \rangle}}$$

의 지수분포에 따른다.

cell-averaging CFAR processor의 2승 검파기를 거쳐 reference cell에 입력된 k 번째 clutter 전력의 데이터 샘플 x_k를 그 평균 전력 $\langle x \rangle$로서 정규화하여 v_k라 할 때,

$$v_k = \frac{x_k}{\langle x \rangle} = \frac{r_k^2}{2\beta^2}$$

이 되고, 정규화된 clutter 전력 v_k 역시

$$p(v_k) = e^{-v_k}$$

의 지수분포에 따르고, 이 clutter 전력이 어떤 전력 역치 v_T보다 크게 될 확률, 즉, 오경보확률 P_{fa} ($v_T < z_k < \infty$)는

$$P_{fa} = \int_{v_T}^{\infty} e^{-v_k} \, dv_k = e^{-v_T}$$

이 된다.

여기서, v_T는 ideal threshold level이고,

$$v_T = -\ln(P_{fa})$$

로서 clutter 전력과는 무관하게 정의된다.

Fig. 4에서 reference cell의 adder 출력 z는

$$z = \sum_{k=1}^{N} v_k$$

이 되는데, 이 clutter 전력은 레이더 안테나의 회전에 의한 조사면의 이동에 따라 변동하고, 그 확률밀도함수 $p(z)$는

$$p(z) = \frac{z^{N-1}}{(N-1)!} e^{-z}$$

이 되는데, 여기서, N은 reference cell의 data sample 수이다.

만일, Fig. 4의 cell-averaging CFAR processor에 대한 레이더 clutter 전력의 역치 v_T를

$$v_T = \frac{\alpha}{N} z$$

로써 설정하면, 역치 v_T의 확률밀도함수 $p(v_T)$는

$$p(v_T) = \frac{N}{\alpha} \frac{(\frac{N}{\alpha} z)^{N-1}}{(N-1)!} e^{-\frac{N}{\alpha} z}$$

이 된다. 여기서, α는 scaling factor 이다. 따라서, 오경보확률의 기대치 P_{FA}는

$$P_{FA} = \int_0^{\infty} e^{-v_T} p(v_T)\, dv_T = (1 + \frac{\alpha}{N})^{-N}$$

이 되어 clutter power β^2과는 무관하게 구할 수 있고, scaling factor α는

$$\alpha = N((P_{FA})^{-\frac{1}{N}} - 1)$$

가 된다[14].

본 연구에서는 오경보확률 기대치 P_{FA}을 변화시키면서 clutter의 전력역치를 구하고, 이 전력역치의 변화에 따른 레이더 스코프상에 나타나는 선박영상의 성능 개선 특성을 조사, 분석하였다.

3.2 음영구역의 측정

레이더 탐지와 관련하여 레이더 안테나에서 발사된 전파가 공기 중을 진행해 가는 도중에 대형 장애물이 존재하면 전파의 진행이 차단되어 장애물 후방에 위치하는 표적의 탐지가 불가능하게 되는 데, 특히, 연안 해역에 있어서는 대형선박의 주변에서 조업하는 어선의 레이더 탐지가 어려워 예기치 못한 사고가 빈번하게 발생하고 있다.

본 연구에서는 Fig. 5와 같은 실제의 상황을 분석하여 해상표적의 후방에 발생하는 음영구역에 대한 정량적 검토를 행하였다.

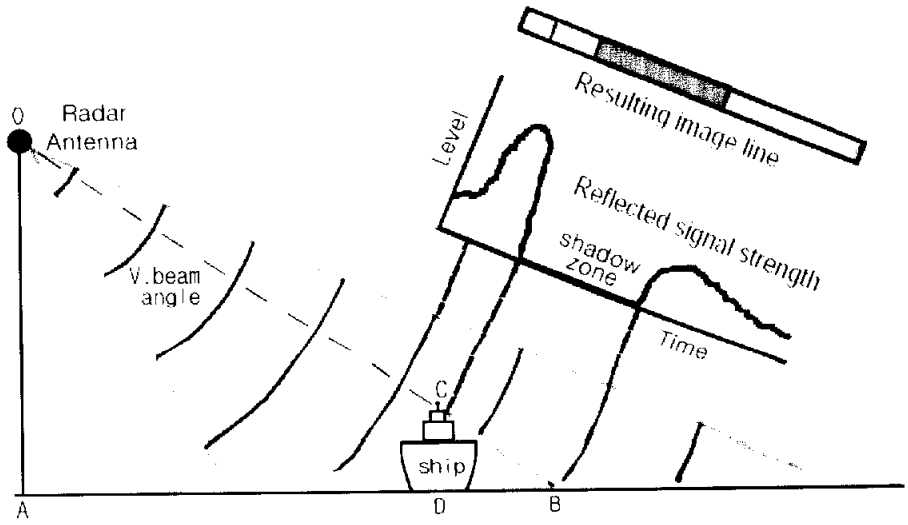


Fig. 5. Effect of target geometry on radar image.

Fig. 5에서 레이더 안테나에서 발사된 전파가 해면으로 방사될 때, 안테나로부터 수평거리(ground range)가 $\overline{AD}$인 위치에 타선이 존재하는 경우, 타선의 C 점에서 반사되는 전파의 slant range와 이 전파의 진행 방향에 대한 해면(지면) 반사점의 slant range를 각각 R_c, R_B라 하면, 타선의 해면상의 유효높이(H_T)에 기인하여 초래되는 음영구역의 폭 $\overline{CB}$는 자선의 안테나 높이를 H_a라 할 때,

$$\overline{CB} = R_B - R_C = H_T \sec\theta$$

에 의해 구할 수 있고, 여기서, 전파의 입사각 θ는

$$\theta = \sin^{-1}\frac{H_a}{R_B}$$

가 된다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 반사신호의 좌표변환

본 연구에서는 레이더의 수신부 자체에서 이득, STC, FTC 및 기타의 초기 조정을 거쳐 출력되는 analog video signal을 12 bit의 분해능과 40 MHz의 주파수로서 양자화한 후, 수동 및 자동 포착기능에 의해 지정된 포착 물표를 대상으로 물표 반사신호가 출현하는 거리와 방위를 먼저 산출하였다.

그 후, 레이더에 포착된 물표 반사신호의 변동을 추적하면서 이동정보를 실시간으로 추출하기 위해 해당물표의 반사신호가 출현하는 레이더 거리와 방위 좌표를 x, y의 평면좌표로서 변환하였는데, 그 때, 레이더 반사신호의 array frame format은 Fig. 6과 같다.

Fig. 6에서 레이더 안테나가 1 회전할 때마다 거리방향(y축 방향)과 방위방향(x축 방향)으로 512 × 720 pixel의 echo frame의 memory map이 생성되고, 1 pixel의 video data는 8 bit(256 color)로 변환되어 저장된다.

따라서, Fig. 6과 같은 레이더 영상 map을 중첩시켜 영상의 출현 위

치에 변화가 있거나, 수동으로 포착한 물표 반사신호의 평면위치의 이동상태를 추적하여 물표의 침로, 속력, DCPA 및 TCPA와 같은 정보를 산출하여 Fig. 7과 같은 PPI 방식의 화면상에 모든 정보를 레이더 영상과 함께 표현하였다.

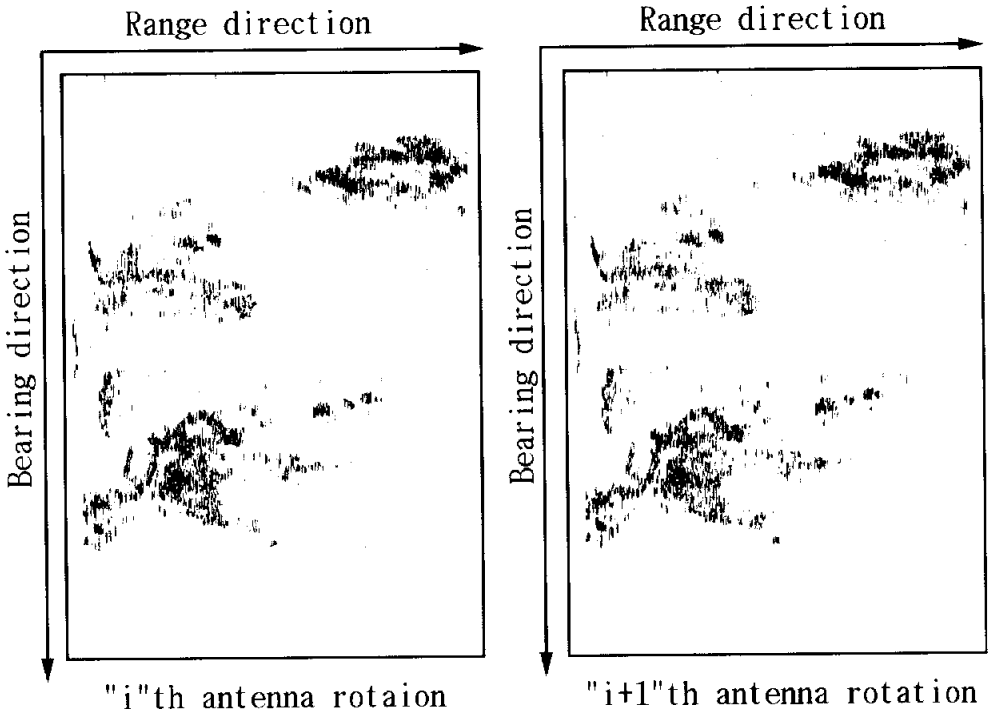


Fig. 6. Conversion of echo position coordinate for acquisition target.

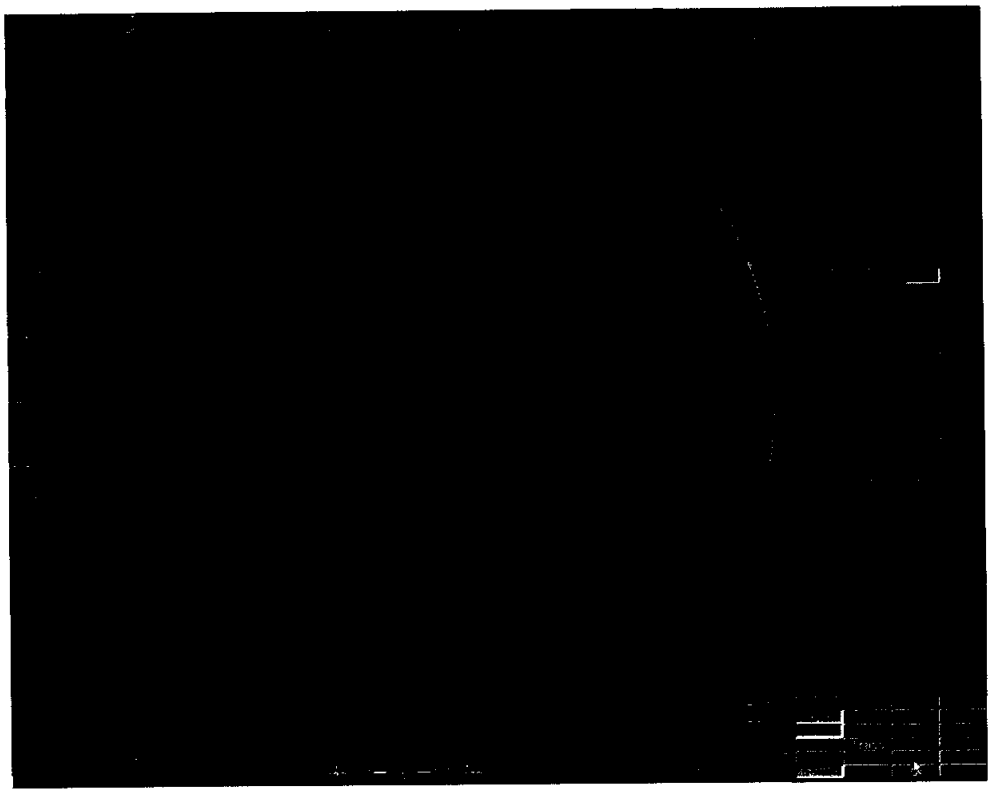


Fig. 7. An example of the PPI display with radar system and tracking parameters.

Fig. 7에서 레이더 영상처리는 레이더 표적 추적장치에 탑재된 전용 DSP(TMS320C32, TI)와 data controller를 사용하여 실시간으로 구현하였고, host computer와의 data 교환은 주로 DMA 채널을 통하여 수행하였다.

이 때, 레이더 표적 추적장치는 DMA를 이용하여 ISA bus로부터 video 신호처리에 필요한 알고리즘과 parameter를 호출하고, host computer에서 제공하는 선박의 위치, 침로, 속력, 물표 추출 영역의 크기와 방향, 물표 추출을 위한 parameter, 레이더 영상변환을 위한 스케일, 포착물표의 cursor 좌표와 같은 parameter를 넘겨받아 물표의 추적을 시작하고, 그 결과를 다시 host computer에 넘겨 표시하도록 하였다.

한편, 레이더 수신부에서 출력되는 video 신호는 먼저 디지털 신호로 변환되어 2 차원 필터링을 통해 불규칙적인 잡음이 억제 및 제거된 후에 영상화되었는데, 각종의 잡음을 포함하는 신호를 처리하기 전의 레이더 영상과 처리한 후의 레이더 영상은 각각 Fig. 8 및 Fig. 9와 같다.

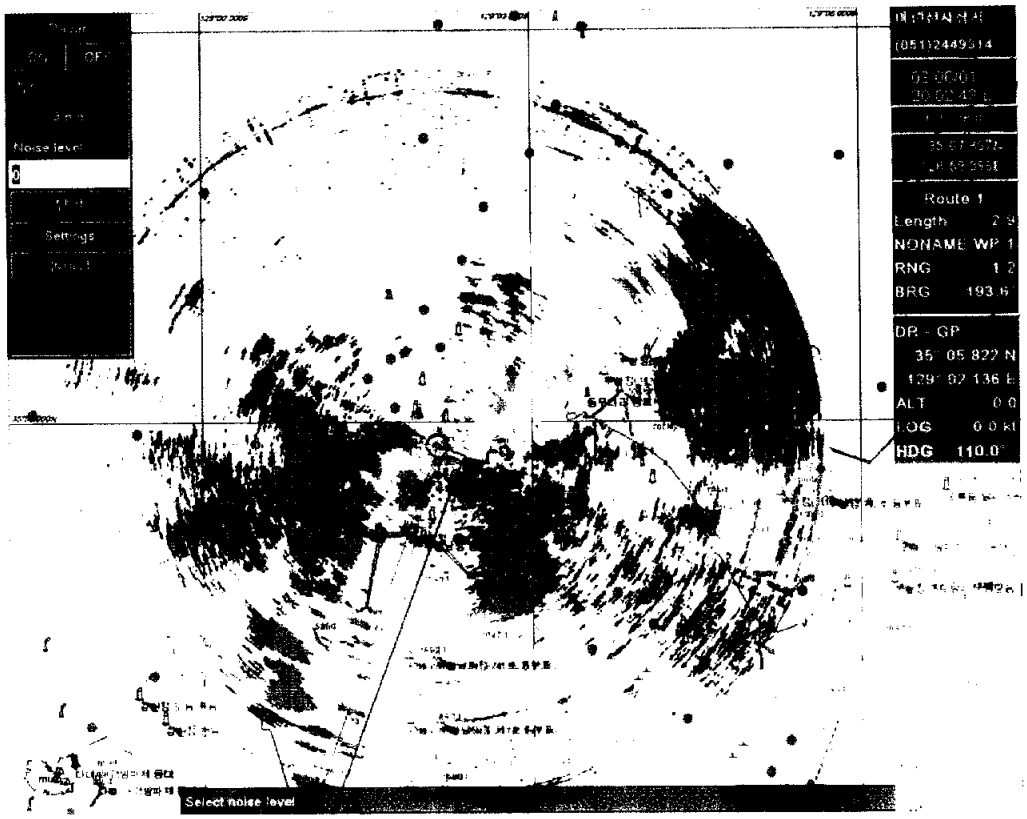


Fig. 8. A radar PPI image with spike clutter superimposed on the ENC.

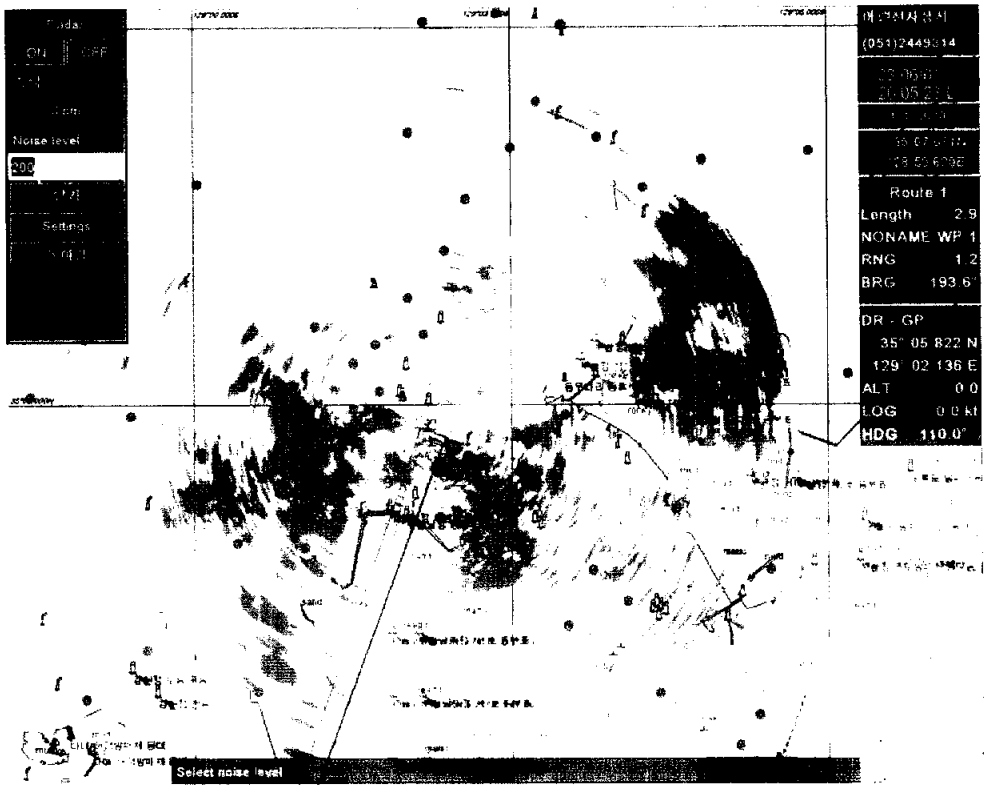


Fig. 9. A radar PPI image after 2D filtering and spike clutter suppression superimposed on the ENC.

본 연구에서 개발된 레이더 신호처리장치(RTX)는 물표의 위치 좌표 및 이동정보를 실시간으로 추적 및 출력하기 위하여 아날로그 video 신호를 디지털 신호로 변환하여 래스터 레이더 이미지(raster radar image)를 구성하고, 동시에 이 레이더 이미지를 전자해도(ENC)와 중첩

표시할 수 있도록 설계하였는데, Fig. 8 및 Fig. 9는 이 방식에 의해 전자해도와 레이더 영상을 중첩 표시한 결과의 일례이다.

Fig. 9에서 바다와 육지의 레이더 이미지에 대하여 명암도 개선, 필터링 및 잡음억제 처리를 행하여 화질을 개선하였고, 선박의 동요나 안테나의 불규칙한 회전에 기인하는 영상의 변동을 보상하는 기능을 내장하고 있는데, 이 RTX에서 추적 가능한 최대의 표적 수는 512 개이다.

한편, Fig. 10은 RTX의 구동 및 echo의 위치좌표 추출에 필요한 trend level, 방위 offset(OfsetP), 거리 offset(OfsetD), gain, ACP(방위펄스)와 같은 입력 parameter의 설정 화면의 일례를 나타낸 것이다.

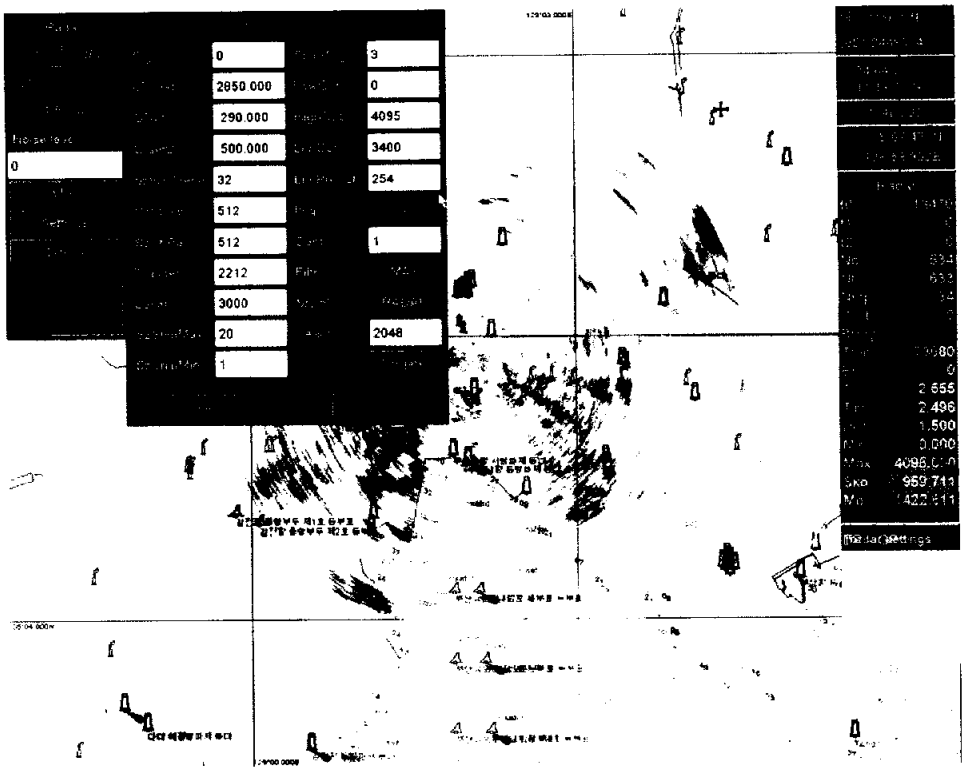


Fig. 10. An example of input parameters to operate the radar target extractor.

이들의 parameter에 의해 RTX에서 레이더 video 신호가 처리되면 표적의 위치추적이 성공적으로 수행된 표적에 대해서는 표적의 포착 번호가 순서대로 부여되고, Table 3과 같이 각 표적의 방위, 거리, 침로, 속력에 대한 정보가 실시간으로 host computer에 전송되어 파일로서 저장되고, 그 결과는 다른 정보와 함께 PPI 레이더 화면상에 표시된다.

또한, 각 물표에 대한 DCPA, TCPA, 및 기타의 정보는 이들의 데이터를 전송 받아 host computer에서 실시간으로 산출되어 사용자의 요구에 따라 표시된다.

Table 3. An example of output from radar target extractor

target ID:05	dist(nm):0.05	bearing:209.5	speed(kt):0.0	course:040.6
target ID:07	dist(nm):0.07	bearing:293.0	speed(kt):0.0	course:248.4
target ID:11	dist(nm):0.15	bearing:208.8	speed(kt):0.0	course:118.3
target ID:14	dist(nm):0.18	bearing:171.5	speed(kt):0.0	course:140.8
target ID:15	dist(nm):0.21	bearing:179.3	speed(kt):0.0	course:154.1
target ID:16	dist(nm):0.36	bearing:131.5	speed(kt):0.0	course:034.5
target ID:20	dist(nm):0.24	bearing:074.0	speed(kt):0.0	course:333.9

2. 양선 거리의 실시간 모니터링

본 연구에서는 먼저 자선의 위치로부터 타선까지의 방위와 거리를 측정하는 선간 거리계를 전자해도와 레이더 화면상에서 실현하기 위한 기초적 연구를 실시하였다.

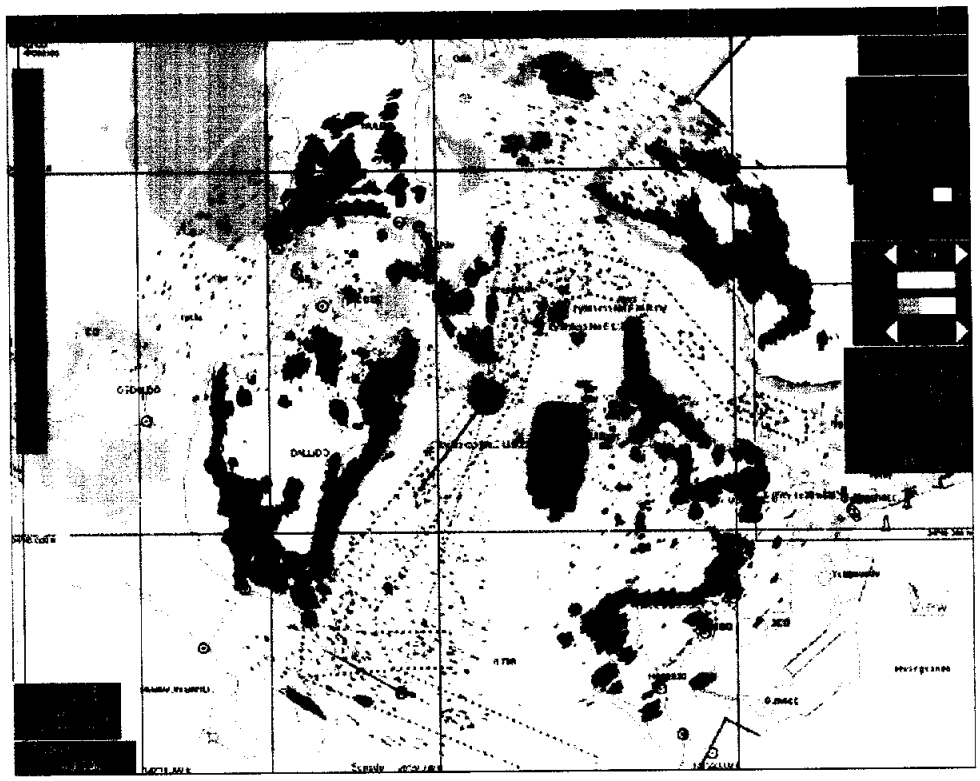


Fig. 11. Measurement of distance between two ships on the radar image superimposed on the ENC.

이 실험은 쌍끌이 대형 기선저인망어선에 있어서는 양선 간격에 대한 정보를, 또한 대형 선망어업에 있어서는 불배(어탐선)나 운반선의 위치를 망선에서 실시간으로 원격 감시하기 위한 시도로써 수행되었다.

실제 타선의 위치정보는 GPS/DGPS 수신기로부터 출력되는 GGA, GLL, VTG 등의 NMEA0183 protocol을 무선 통신망을 이용하여 수신

할 수 있지만, 여기서는 위치발생 시뮬레이터를 이용하여 시뮬레이션 표적에 대한 위치정보를 실시간으로 발생시키면서 RS232C interface를 통해 수신하고, 이들 두 선박 사이의 거리와 방위를 산출하였다.

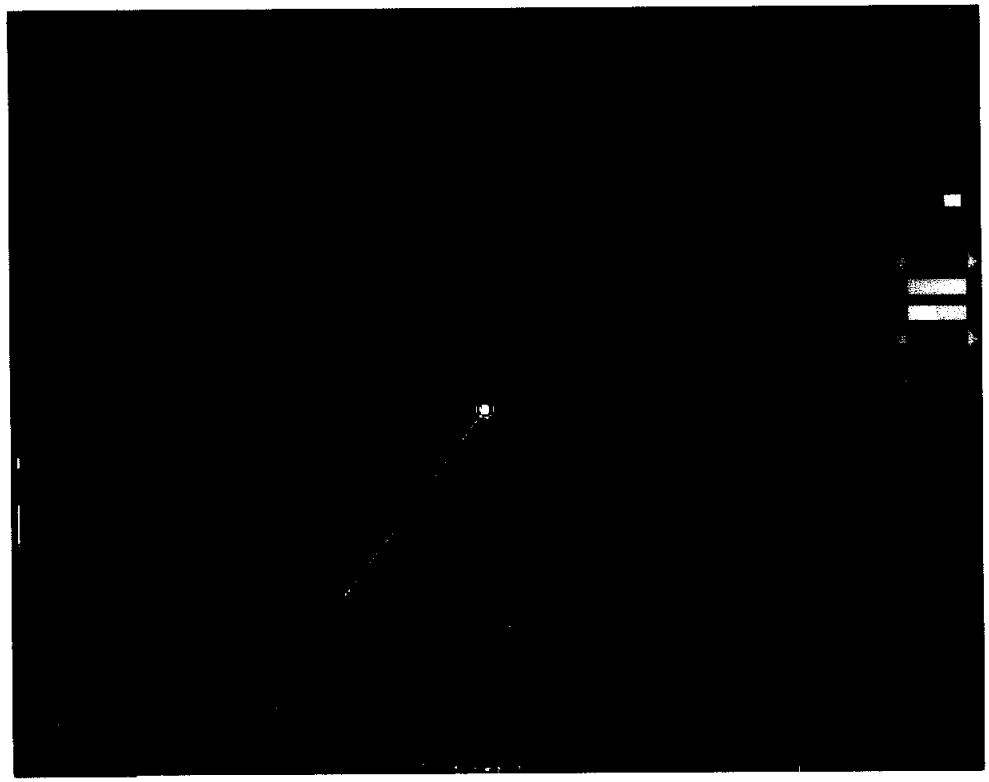


Fig. 12. Measurement of distance between two ships with radar image monitoring.

Fig. 11은 전자 해도상에 레이더 영상을 중첩시킨 상태에서 자선으로부터 타선(slave ship)까지의 거리와 방위를 산출하여 나타낸 결과이다.

Fig. 11에서 자선은 위도 34° 46′.741 N, 경도 126° 20′.340 E의 지점에서 침로 217° 속력 12.6 knot로써 항주 중인 상태이다.

한편, RS232C interface를 통해 수신된 타선의 운동정보는 위도 34° 45′.106 N, 경도 126° 19′.740 E의 지점에서 침로 300° 속력 10 knot로써 항주 중인데, 이들 두 선박사이의 거리와 방위의 추정치는 196.8° 1.7 마일임을 알 수 있다.

Fig. 12는 레이더 화면상에 RS232C interface를 통해 수신된 타선의 위치를 중첩시킨 후, 자선과 타선 사이의 거리와 방위를 산출하여 지시한 결과이다.

Fig. 12에서 자선은 위도 34° 46′.355 N, 경도 126° 19′.962 E의 지점에서 침로 217° 속력 12.8 knot로써 항주 중인 상태이다.

이 때, 타선은 위도 34° 45′.747 N, 경도 126° 20′.056 E의 지점에서 침로 300°, 속력 6 knot로써 항주 중인데, 이들 두 선박 사이의 거리와 방위의 추정치는 173°, 0.616 마일이었다.

이와 같이 타선의 GPS/DGPS 위치정보를 무선 통신망을 통해 수신할 수 있으면, 본 연구에서 실용화한 선간 거리 모니터링 시스템을 통해 전자해도나 레이더 화면상에서 자유롭게 두 선박 사이의 간격을 실시간으로 계측 및 모니터링할 수 있어 향후 그 활용이 기대된다.

3. 타선 위치 추적 및 모니터링

본 실험에서 사용한 레이더의 경우 안테나 회전수는 24 rpm으로써 안테나가 한 바퀴 회전하는데 소요되는 시간은 2.5 sec이고, 실험 당시 레이더 스케일은 3 마일, 전파의 송신 펄스 폭은 0.15 μs이였다.

레이더에서 출력되는 video 신호는 데이터 양을 고려하여 안테나가 2 회전할 때마다 한 번씩 수록하였기 때문에 레이더의 video signal은 5 sec 간격으로 720 × 512 pixel의 한 화면의 영상 데이터가 샘플링된 결과가 된다.

Fig. 13의 (A)~(F)는 목포 인근 해역인 34° 45′.807 N, 126° 17′.393 E 지점에서 침로 231.4°, 속력 11.4 knot로써 항해 중 자선으로부터 방위 211.7°, 거리 1.02 마일에 존재하는 타선을 탐지한 후, 이 선박을 30 sec 간격으로 추적하고 있는 상황을 나타낸 레이더 화면이다.

이들의 영상을 추적하여 타선의 침로, 속력, DCPA, TCPA 등의 정보를 추정할 때, 자선 침로의 변화, 레이더 heading mark의 방위변화, 선체의 동요, 기타 원인으로 인해 타선 영상의 위치가 불규칙하게 변화하게 되는데, 본 연구에서는 이들의 영상 변화를 평활화하여 안정적인 타선의 위치 및 운동정보를 실시간으로 모니터링하였다.

Fig. 13의 타선 영상의 위치 변화를 자선으로부터의 방위, 거리의 함수로써 산출하여 이들의 데이터에 $\alpha-\beta$ tracker를 이용한 평활화 처리를 수행한 결과는 Fig. 14와 같다.

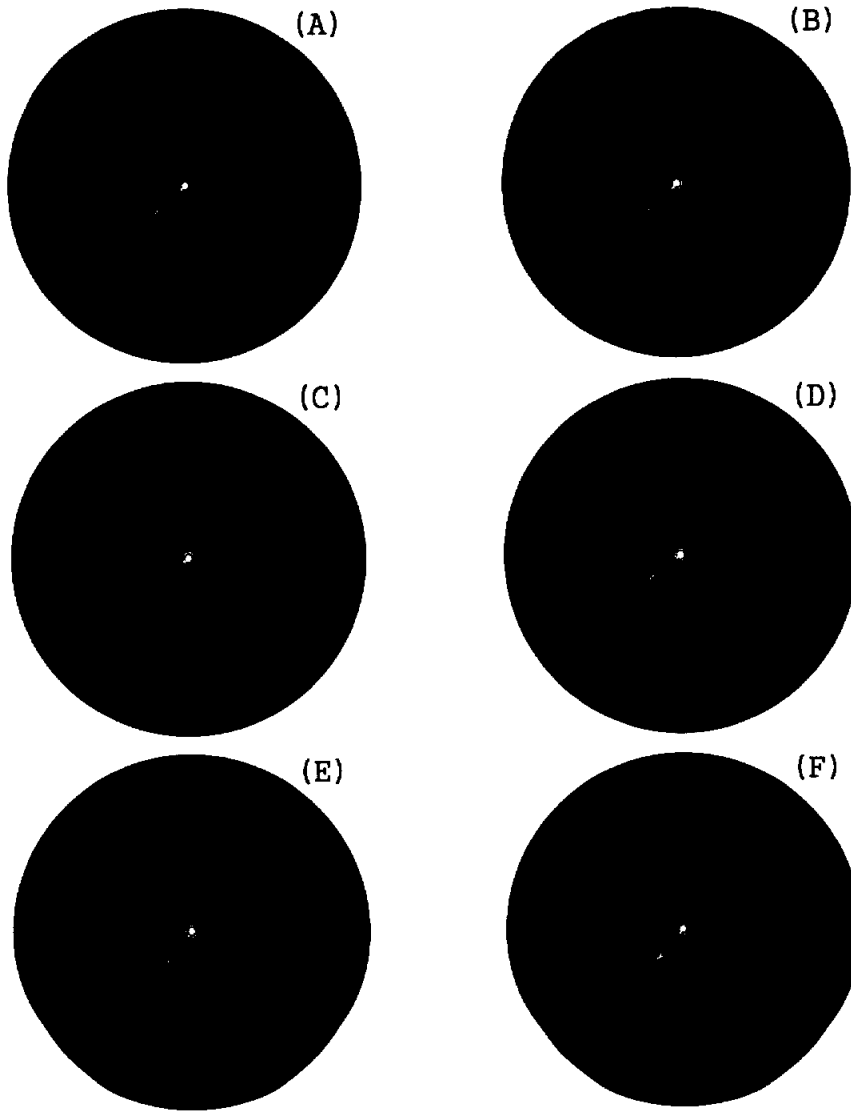


Fig. 13. A series of continuous tracking images of a ship's target detected by radar with intervals of 30 sec. The circles indicate the tracked ship target.

여기서, $\alpha-\beta$ tracker를 이용한 평활화 처리를 수행할 때, tracking parameter α와 β는 $\beta=\frac{\alpha^2}{2-\alpha}$의 관계를 이용하였는데, 이 때, 샘플링 주기는 레이더 영상이 update되는 주기, 즉, 5 sec, α = 0.5로 하여 구하였다.

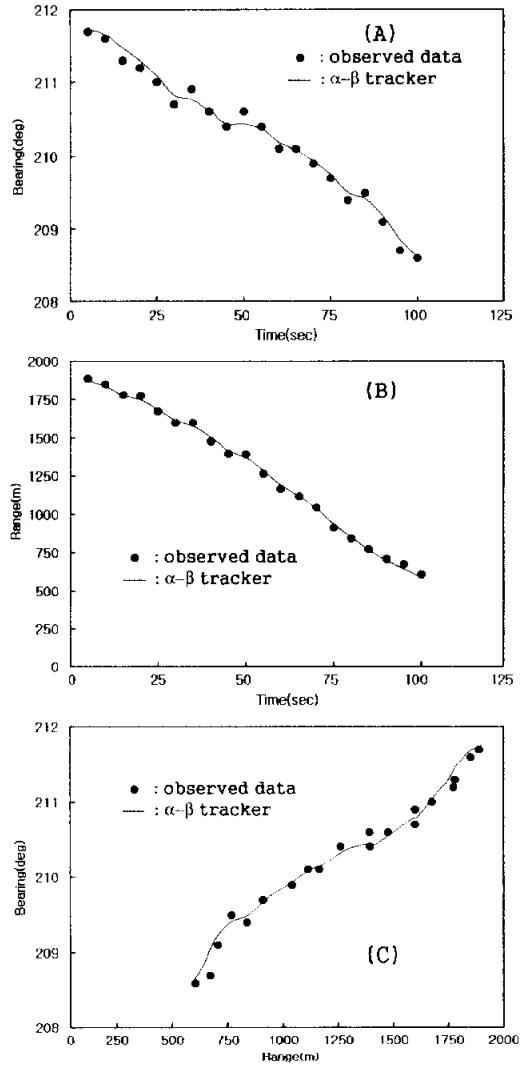


Fig. 14. Comparisons of measured values and α - β tracker output for bearing(A), range(B) and position(C) of target detected by radar.

Fig. 14의 (A)와 (B)에서 알 수 있는 바와 같이 5 sec 간격으로 샘플링된 타선 영상의 방위와 거리가 시간에 따라 불규칙하게 변동하였고, 이로 인해 타선의 위치 (C) 역시 불규칙한 변동을 나타내었다.

이들의 정보를 토대로 타선의 위치 궤적과 침로 및 속력 등을 산출하는 경우, 그 추정치에 큰 변동이 발생하여 타선 영상의 진운동 벡터가 불규칙하게 움직이고, 이로 인해 레이더 사용자가 타선의 운동정보를 정확하게 평가할 수 없는 문제가 초래된다.

그러나, 본 연구에서와 같이 $\alpha-\beta$ tracking filter를 이용하여 이들 영상의 위치 정보를 평활화하면 Fig. 14의 (A) ~ (C)에서 알 수 있는 바와 같이 매우 안정된 위치가 산출되고, 이로부터 정확한 침로와 속력을 추정할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 13에서 탐지된 타선의 침로, 속력, DCPA를 $\alpha-\beta$ tracker의 출력 신호를 토대로 산출한 결과, 침로 195°, 속력 14.8 knot, DCPA 0.05 마일로써 시간에 따른 변화 역시 매우 안정적인 변화패턴을 나타내었다.

한편, Fig. 14에서 tracking parameter α 값이 α = 1의 경우에는 실측위치와 예측위치가 일치하고 α < 1인 경우에는 tracking의 효과가 나타나게 되는데, 이 때, α의 값을 작게 설정할 수록 평활화의 효과가 크게 나타나는 현상에 주의해야 한다.

4. ARPA 정보의 멀티모니터링

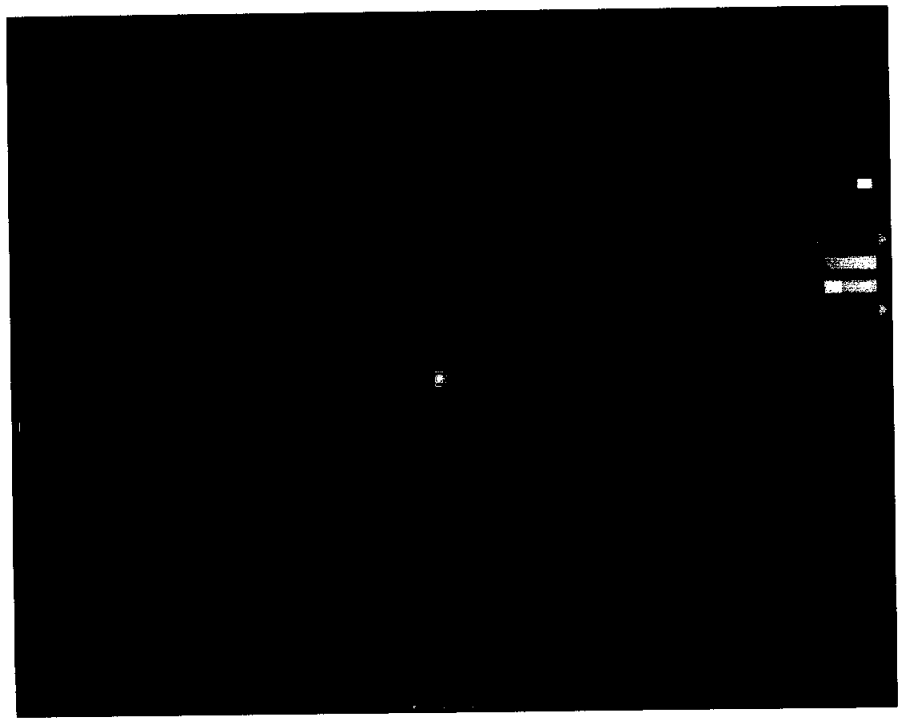


Fig. 15. A radar image superimposed with four tracking targets generated by ARPA simulator.

Fig. 15는 ARPA에 탐지된 타선의 운동 정보를 선내 여러 장소에 설치된 다수의 모니터링 장치에 실시간으로 전송하여 레이더 영상 신호와 함께 중첩시켜 나타낸 결과이다.

본 연구를 행할 당시 ARPA에 기동성을 갖는 다수의 표적이 탐지되지 않아 여기서는 ARPA 시뮬레이터를 이용하여 4 척의 타선을 가상적으로 자선 주변에 배치한 후, 이들 선박에 기동성을 부여하고, 그 운동 정보를 TTM sentence로 작성하여 자선 레이더 영상과는 별도로 RS232C 인터페이스를 통해 모니터링 장치에 전송하여 이들 정보를 나타내고 있는 상황이다.

Fig. 15에서 자선은 목포 인근 해역인 34° 33′.882 N, 126° 08′.593 E 지점에서 침로 217°, 속력 12.8 knot로써 항해 중인데, 자선의 정보는 OSD 코드를 통해 ARPA로부터 출력되는 신호를 수신하여 이용하였다.

또한, 4 척의 타선 운동정보는 아래의 TTM sentence에서 알 수 있는 바와 같이 레이더 화면상에 나타나고 있는 타선 0, 1, 2 및 3의 침로, 속력은 각각 25°, 6 knot, 37°, 5 knot, 200°, 5 knot, 94°, 5 knot 이고 자선과 이들 타선의 진운동은 6분 간에 대한 벡터성분으로 나타내었다.

$RATTM, 00, 01.4, 182.4, T, 06.0, 025.0, T, , , N, , T, , , ,

$RATTM, 01, 01.1, 198.4, T, 07.0, 037.0, T, , , N, , T, , , ,

$RATTM, 02, 00.8, 161.6, T, 05.0, 200.0, T, , , N, , T, , , ,

$RATTM, 03, 01.7, 210.3, T, 05.0, 094.0, T, , , N, , T, , , ,

Fig. 15에서 알 수 있는 바와 같이 본 연구에서 개발된 레이더 모니터링 시스템을 이용하면 현재 시중에 시판되고 있는 저가의 PC로써도 전용의 레이더 지시장치와 대등한 ARPA 모니터링 시스템을 필요한 장소에서 필요한 시스템의 수만큼 구현 할 수 있음을 확인하였다.

그러나, ARPA로부터 TTM과 RSD 정보, GPS/DGPS 수신기로부터 VTG, GGA, GLL 정보, gyro compass로부터 선수방위 정보를 수신하여 sub PC의 레이더 화면을 구성할 때, 현재 시판되고 있는 레이더에서 RSD(radar system data) sentence를 보통 1 초에 한 번씩 출력시키는 경우가 많기 때문에 레이더의 VRM이나 EBL 및 기타의 조정기를 조작하면, sub PC의 레이더 화면에 이들 정보가 지시되기까지 1 초의 시간이 소요되어 화면의 움직임이 둔해지는 문제가 발생하였다.

또한, 레이더에서 출력되는 TTM sentence가 RS422 신호로써 출력되어 이 신호를 RS232C interface를 통해 PC에서 수신하기 위해서는 별도의 신호 변환기를 사용하였는데, 향후 이들 정보의 효율적인 송수신

을 위해서는 전용 interface의 개발이 요구된다.

5. 추적정보의 표시 및 수록

전자 해도상에 레이더 영상을 중첩시켜 표시하고, 추적표적의 정보를 표시 및 수록한 결과의 일례는 Fig. 16과 같다.

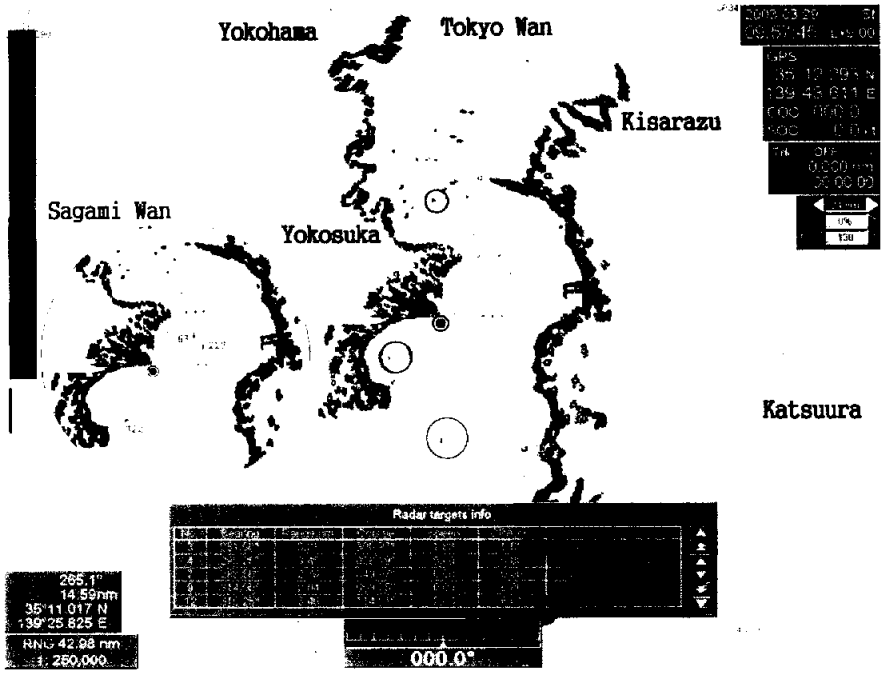


Fig. 16. An example of echo trace and real-time ARPA information for continuous ship's target tracking acquired in Tokyo harbor, Japan.

Fig. 16은 레이더 target extractor의 DSP에서 8 bit의 분해능으로 샘플링된 0 ~ 255 레벨을 16 레벨 간격으로 분할하여 그림에서와 같은 컬러로써 설정한 후, 실시간으로 변동하는 레이더 영상신호를 PPI 스코프상에 컬러 영상으로 나타낸 결과의 일례이다.

실험은 radar echo generator(EG-3000, Furuno)에 수록되어 있는 동경항(東京港)의 video 신호를 RTX에 입력시켜 전자해도상에 중첩시켜 나타낸 결과이다.

Fig. 16에서 동시에 추적이 가능한 표적의 수는 512개이며, 각각의 표적에 대하여 번호, 방위, 거리, 속력, DCPA, TCPA 등의 추적 표적의 정보가 표시되도록 하였다.

또한, 현재 추적되고 있는 표적의 항적은 사용자가 설정하는 시간 동안 표시되는데, 만일, 표적의 항적을 연속적으로 표시되도록 하면 Fig. 16에서와 같이 선박의 동태를 실시간으로 파악하는 것이 가능하고, 또한, 이들의 항적 정보는 hard disk에 수록하여 후일 필요에 따라 분석할 수 있도록 하였다.

한편, 추적하고 있는 표적의 vector time은 사용자가 필요에 따라 자유롭게 설정할 수 있도록 하였고, 표적의 추적 범위는 소형 어선에 탑재되고 있는 소형 레이더 PPI 스코프상에 대한 탐지 범위를 대상으로

하고 있기 때문에 연안 소형 어선에 이 시스템을 부착시키면 저가의 비용으로써 ARPA 기능을 발휘케 할 수 있을 것으로 판단된다.

6. 레이더 Clutter의 억제

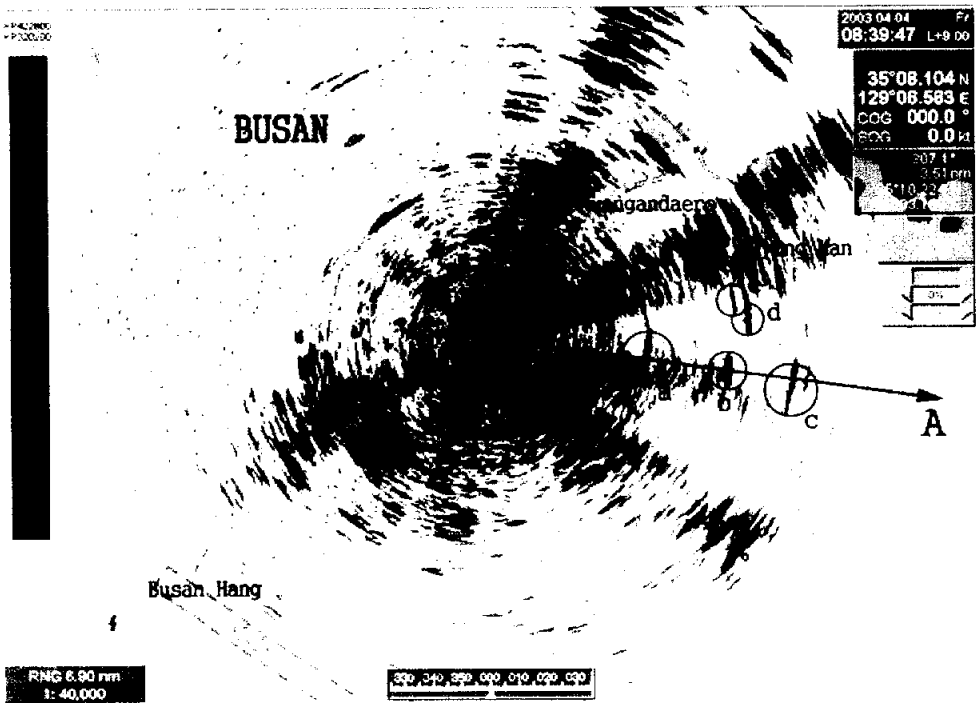


Fig. 17. An example of the radar image showing the sea clutter and ship's targets superimposed on the ENC acquired in Busan harbor, Korea.

일반적으로 CFAR processor에서는 먼저 어떤 하나의 test cell을 대상으로 표적의 유무를 판정한 후, test cell을 순차적으로 바꾸어 가면서 표적의 존재 여부에 대한 판정을 반복하게 된다.

이 때, 강한 clutter 신호 속에 표적의 반사신호가 묻혀 있는 경우에는 reference cell에 clutter 신호 성분이 혼입된다.

만일, cell-averaging CFAR processor의 reference cell에 clutter의 신호 성분이 혼입되면 reference cell에 대한 평균치가 상승하기 때문에 threshold level도 함께 상승하게 되고, 이 때문에 test cell에 표적이 존재하더라도 표적을 검출할 수 없는 문제가 빈번하게 발생한다.

본 연구에서는 이를 정량적으로 분석하여 선박용 레이더 clutter 신호를 억제시키는 방법을 개선하고, 이를 통해 표적의 탐지성능을 향상시키기 위해 부산 용호만을 통항하는 해상 이동 표적을 대상으로 RTX를 이용하여 레이더 신호를 정량적으로 수록, 분석하였는데 그 결과의 일례는 Fig. 17과 같다.

그림에서 (a)는 정박중인 선박, (b) ~ (e)는 육안으로 확인된 항주중인 선박이고, 레이더 스코프상에는 광안 대교의 영상이 선명하게 나타나 있다.

여기서는 레이더 스코프상의 Line "A"에 대한 한 주사선의 echo 신호를 대상으로 cell-averaging CFAR processor를 구성하여 표적의 탐

지성능을 분석하였는데, 그 결과는 Fig. 18과 같다.

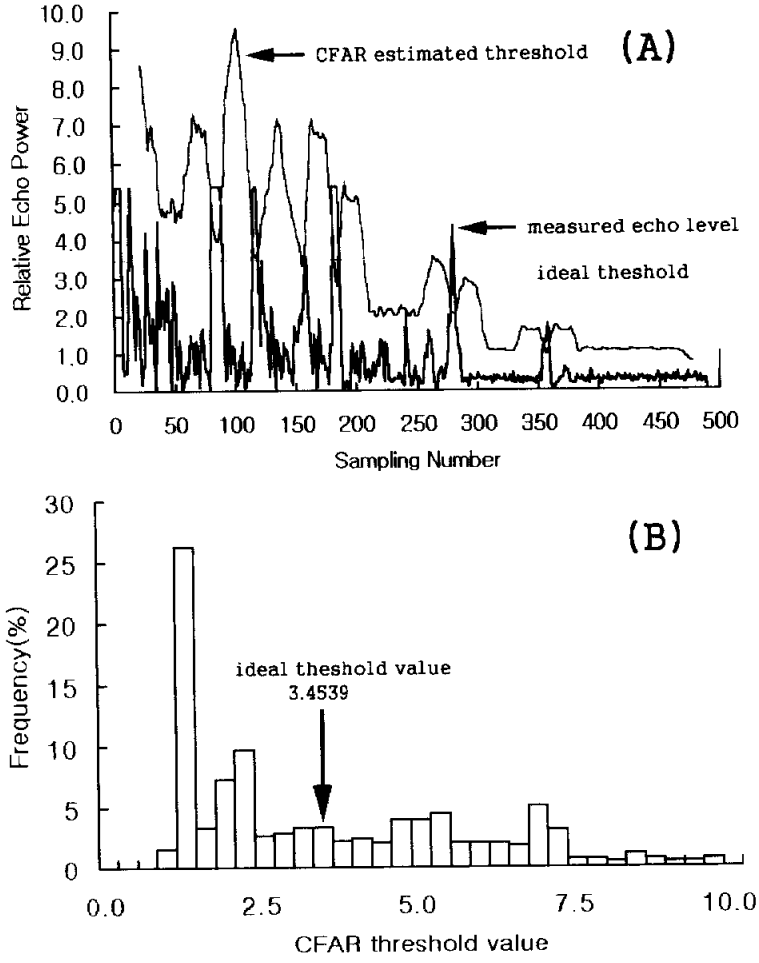


Fig. 18. (A) An example for cell-averaging CFAR processing for echo power of radar signal acquired in littoral regions, (B) Histogram of cell-averaging CFAR threshold values for echo power.

Fig. 18(A)는 오경보확률을 일정한 수준으로 억제하기 위해 레이더 영상신호의 검파 출력을 2승하여 전력으로 변환한 후, 평균전력을 구하고, 각각의 range cell에 대한 영상신호의 측정 전력치를 평균전력으로 규격화하여 나타낸 상대전력이다.

이 그림에서는 ideal threshold 레벨과 cell-averaging CFAR에 의해 추정한 threshold 레벨을 중첩시켜 나타내었다.

Fig. 18(A)에서 횡축은 레이더 영상신호의 샘플링 번호로써 1 개의 주사선에 해당하는 데이터 번호이다.

여기서는 매 펄스가 송신될 때마다 거리 방향으로 3.75 m 간격으로 512 개의 데이터를 수록하여 각 range cell에 할당하였지만, Fig. 18에는 500 번째 range cell까지의 영상 데이터만을 나타내었다.

횡축은 이렇게 할당된 각 range cell에 대한 영상신호의 전력(x_k)을 평균전력($\langle x \rangle$)으로 규격화한 상대전력(v_k, $v_k = \frac{x_k}{\langle x \rangle}$)을 나타낸 것이다.

Fig. 18(A)에서 ideal threshold level v_T는 오경보확률(P_{fa})을 $P_{fa} = 10^{-1.50}$ 로 하여, $v_T = -\ln(P_{fa})$ 에 의해서 추정된 값으로서, 그 값은 $v_T = 3.4539$ 이다.

여기서는 cell-averaging CFAR에 의한 threshold를 구하기 위해 24 번째부터 477 번째까지의 range cell을 대상으로 먼저 24 번째 range cell의 상대 전력부터 test cell에 setting하고, 그것의 좌측 20 개 및 우측 20 개, 총 40 개의 reference cell에 입력되는 레이더 영상신호의 상대전력의 합(Z)을 산출한 후, cell-averaging CFAR에 대한 오경보확률의 기대치(P_{FA})를 $P_{FA} = 10^{-1.50}$, reference cell의 총수(N)를 $N = 20$ 으로 하여 CFAR scaling factor(α)를 $\alpha = N((P_{FA})^{-1/N} - 1)$ 에 의해 구하고, 이들 값의 곱, 즉 αZ를 추정한 결과인데, 이 threshold는 test cell에 순서대로 setting되는 24 번째부터 477 번째까지의 상대 전력을 대상으로 추정하였다.

이 때, cell-averaging CFAR processor는 test cell에 setting된 레이더 영상 신호의 상대전력(V_t)과 CFAR threshold의 추정치 αZ를 비교하여 $V_t > \alpha Z$ 이면 표적이 존재한다고 판정하고, $V_t < \alpha Z$ 이면 표적이 존재하지 않는다고 판정하게 된다.

Fig. 18(A)에서 cell-averaging CFAR processor의 comparator가 레이더 영상신호의 상대전력과 CFAR threshold의 추정치를 비교, 출력한 결과를 보면, 레이더 영상신호의 상대전력이 CFAR threshold 레벨보다 큰 5 개의 echo 신호를 표적신호로써 검출하였다.

그 첫 번째의 echo 신호는 용호만 부두 끝단에 의한 echo 신호, 두 번째는 인근 육상 구조물에 의한 거짓상이고, 나머지 3 개의 echo 신호는 용호만에 정박 및 항해중인 선박의 echo 신호로써 선박이 비교적 정확하게 검출되었다.

그러나, 레이더의 echo 신호에 ideal threshold level을 적용하여 표적을 검출한 결과에서는 모두 9 개의 echo 신호가 표적 신호로써 검출되었는데, 특히, 레이더 안테나 주변의 clutter 신호에 대한 억제가 적절하게 행하여지지 않았고, 또한, 원거리 선박의 검출이 불가능하여 전반적으로 적절한 clutter 억제기능을 발휘하지 못하는 문제가 있음을 알 수 있었다.

한편, Fig. 18(B)는 cell-averaging CFAR processor에 의한 전력 threshold의 추정치에 대한 빈도분포를 나타낸 결과로서 ideal threshold level을 함께 나타내었다.

Fig. 18의 (A)와 (B)에서 전력 threshold의 추정치는 ideal threshold level을 중심으로 cell-averaging CFAR processor의 reference cell에 혼입되는 clutter 신호의 전력성분의 변화에 연동하여 변동하였고, 이 때문에 clutter 신호가 강하게 혼입되면 reference cell에 대한 영상신호의 평균전력이 증가하여 threshold 값도 함께 상승하는 경향을 나타내었다.

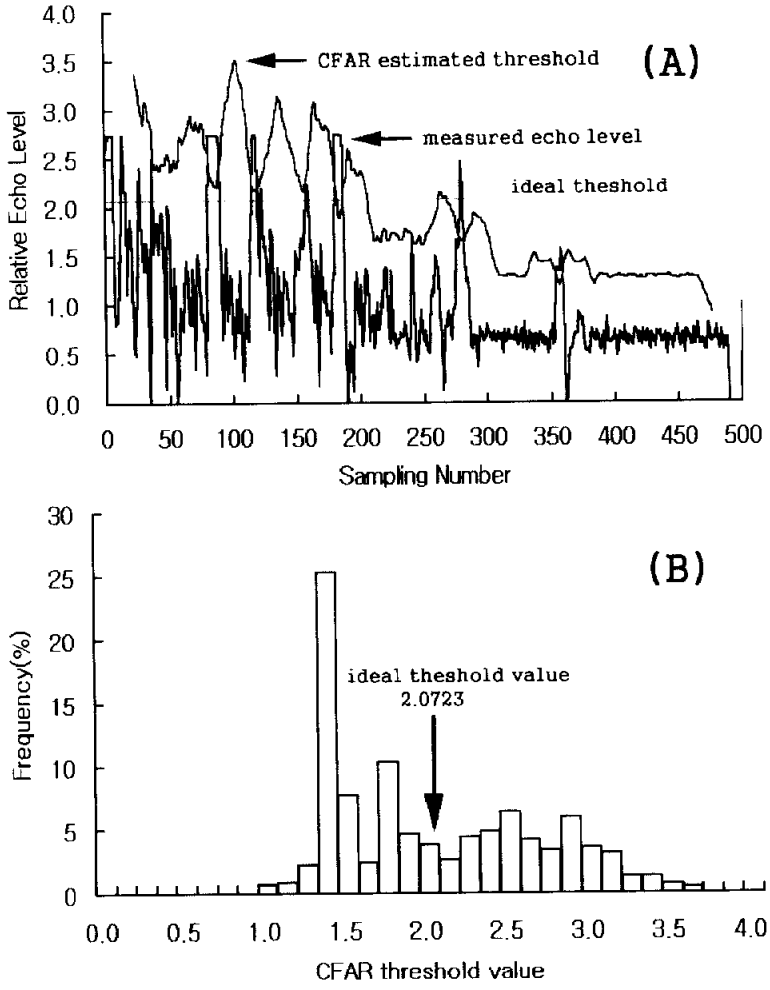


Fig. 19. (A) An example for cell-averaging CFAR processing for echo amplitude of radar signal acquired in littoral regions, (B) Histogram of cell-averaging CFAR threshold values for echo amplitude.

대부분의 선박용 레이더의 PPI 스코프상에 나타나는 표적의 영상은 레이더 수신기의 envelope 검파 신호에 의해 표시되는 정보이다.

따라서, 자선 주변을 항행하는 선박이나 각종 항해 위험물에 대한 반사신호를 효과적으로 검출하여 스코프상에 나타내기 위해서는 불필요한 해면, 지표면, 우적, 강설 등과 같은 clutter 신호를 최대한 억제시킬 필요가 있다.

Fig. 18에서는 레이더 수신기에 입력되는 echo 신호의 envelope 검파 출력을 2승 처리하여 전력으로 변환한 후, threshold level을 추정하였지만, 여기서는 선박용 레이더와 같이 echo 신호를 PPI 스코프상에 나타내어야 하는 문제 때문에 cell-averaging CFAR processor의 reference cell, guard cell 및 test cell에 envelope 검파 출력을 그대로 setting하여 threshold level을 추정하는 방법을 이용하였다.

이 방법에 의한 레이더 clutter의 억제효과와 그 때의 오경보확률의 관계를 검토한 결과는 Fig. 19와 같다.

Fig. 19(A)에서 종축은 상대 echo level이고, 횡축은 레이더 영상신호의 샘플링 번호로써 1 개의 주사선에 해당하는 데이터 번호이다.

한편, Fig. 19(B)는 cell-averaging CFAR processor에 의한 진폭 threshold의 추정치에 대한 빈도분포를 나타낸 결과로써 ideal threshold level을 함께 나타내었다.

Fig. 19(B)에서 진폭 threshold의 추정치는 ideal threshold level을 중심으로 cell-averaging CFAR processor의 reference cell에 혼입되는 clutter 신호의 진폭성분의 변화에 연동하여 변동하였고, 이 때문에 clutter 신호가 강하게 혼입되면 reference cell에 대한 영상신호의 평균 진폭이 증가하여 threshold 값도 함께 상승하는 경향을 나타내었다.

Fig. 18과 Fig. 19에서 알 수 있는 바와 같이 cell-averaging CFAR processor의 reference cell, guard cell 및 test cell에 각각 echo power와 echo envelope 진폭을 설정하여 threshold level을 추정한 결과 전자의 경우에 있어서는 오경보확률 P_{fa}가 $P_{fa} = 10^{-1.50}$일 때, 또한 후자의 경우에 있어서는 오경보확률이 $P_{fa} = 10^{-0.90}$일 때, 이들 양자에 대한 표적의 검출효과가 거의 일치하는 경향을 나타내었다.

따라서, 본 연구에서는 cell-averaging CFAR processor의 reference cell, guard cell 및 test cell에 echo envelope 진폭을 설정한 후, 오경보확률을 변화시키면서 threshold level을 추정하였다.

이 cell-averaging CFAR에 의한 추정 threshold 레벨과 test cell에 설정된 상대 echo 진폭을 비교하여 표적을 검출하고, 그 표적레벨을 레이더 스코프상에 512 × 720 pixel의 영상으로 구현하는 방법으로 레이더 clutter의 억제효과를 분석, 고찰하였다.

만일, 어떤 소형 물표의 전후 방향에 대형의 물표가 존재하면 소형

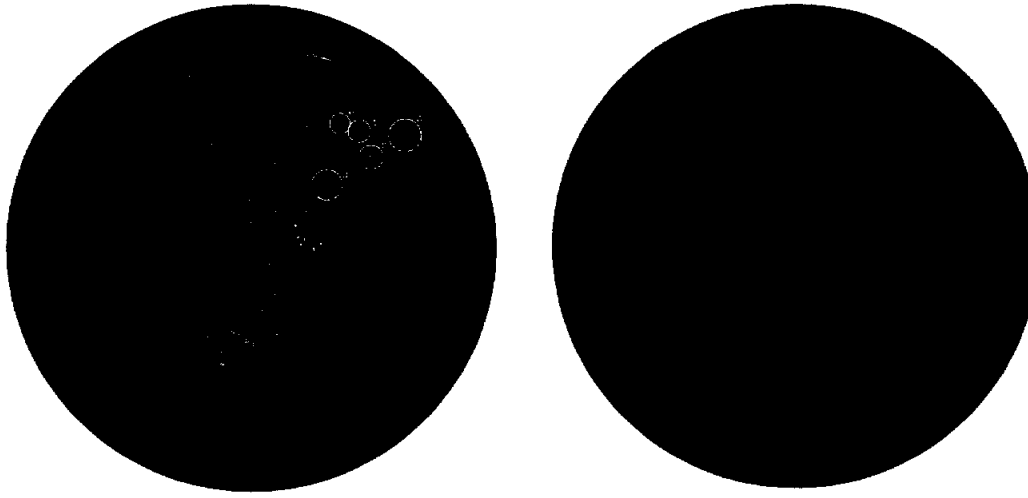
물표주변의 역치 레벨이 상승하고 또한, 여러 개의 해상 장애물이 서로 근접하여 존재하는 경우에는 역치 레벨이 급격하게 상승하여 이들 모두의 검출이 어렵게 되는 경우가 있다.

레이더 영상신호의 레벨은 0 ~ 255까지의 256 단계로서 정량화되지만, cell-averaging CFAR processor에서 추정된 진폭 CFAR threshold의 추정치와 test cell에 setting된 레이더 영상신호의 echo 진폭의 차이를 산출한 후, 이 레벨이 limit 하한값을 90으로 설정하여 512 ~ 720 pixel의 레이더 영상을 구현한 결과는 Fig. 20과 같다.

Fig. 20에서 (A)는 cell-averaging CFAR processor에 의해 clutter 신호를 제거하기 전의 원래의 레이더 영상이고, (B)는 오경보확률 $P_{fa} = 10^{-0.90}$에 대한 ideal threshold level, $v_T = -\ln(P_{fa})$를 적용시킨 레이더 영상이다.

그림 (A)에 나타낸 (a) ~ (e)의 기호는 용호만에서 정박 또는 항주중인 선박의 영상이고, 그림 (B)는 ideal threshold, level $v_T = 2.0723$에 상당하는 신호 레벨 193을 측정 echo 신호에 threshold 레벨로써 설정하여 나타낸 영상이다.

이들 두 개의 레이더 영상을 비교해 볼 때, ideal threshold를 적용시킨 영상에 있어서는 선박 (b), (c), (d)의 echo 신호가 과도하게 감쇠되어 검출이 어려운 상태임을 알 수 있다.



(A) original image (B) ideal threshold = 2.0723

Fig. 20. Comparison of original radar image(A) and image after ideal CFAR processing for ideal threshold level 2.0723(B).

따라서, 이 ideal threshold에 의한 표적 검출의 성능을 향상시키기 위해 cell-averaging CFAR processor의 CUT 전후에 각각 3 개의 guard cell과 20 개의 reference cell을 설치하여 레이더의 video 신호를 입력하고 오경보확률 P_{fa}를 $10^{-0.25}$, $10^{-0.50}$, $10^{-0.75}$, $10^{-1.00}$의 4 단계에 걸쳐 변

화시키면서 레이더 영상신호의 변화 패턴을 비교, 고찰한 결과는 Fig. 21과 같다.

Fig. 21에서 각각 측정한 레이더 영상신호에 cell-averaging CFAR 처리를 행한 결과, radar clutter는 매우 강력하게 억제되는 경향을 나타내었지만, 연구대상이 되는 표적, 즉, 선박의 echo 레벨은 효율적으로 본래의 레벨을 유지하면서 정확하게 검출되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 21에서 오경보확률을 $10^{-0.25}$, $10^{-0.50}$, $10^{-0.75}$, $10^{-1.00}$로써 점차 증가시켜 갈 때, 레이더 영상신호는 오경보확률의 설정치에 비례하여 억제되어 가는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있지만, 선박의 영상신호는 그 억제 정도가 radar clutter에 비해 매우 약한 경향을 나타내었다.

이들의 결과로부터 레이더 스코프상에서 영상신호를 관찰하면서 오경보확률을 적정하게 제어하면, 지금까지의 ideal threshold level에 의한 잡음 억제기법에서 나타나는 선박 영상의 과도한 레벨 약화현상을 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

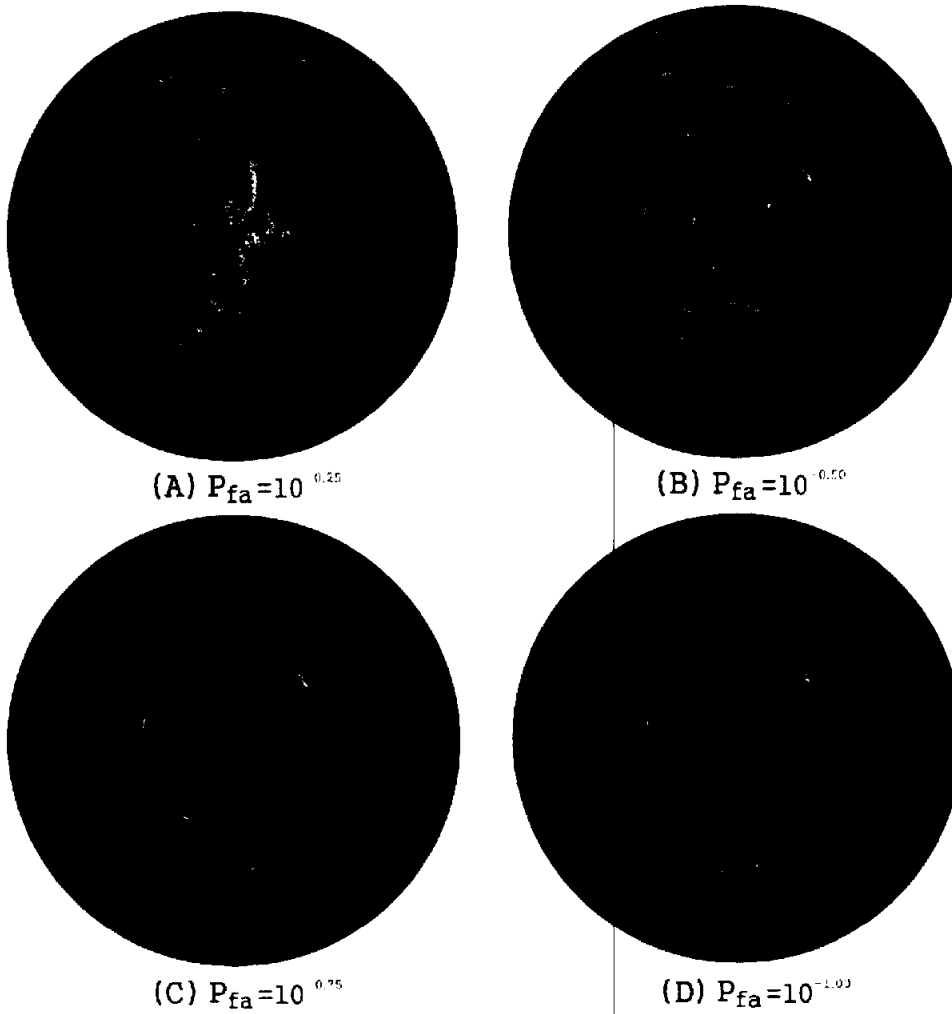


Fig. 21. Comparison of cell-averaging CFAR performance for the false alarm probability $10^{-0.25}$, $10^{-0.50}$, $10^{-0.75}$, $10^{-1.00}$, respectively.

7. 음영구역의 추정

Fig. 17의 부산 용호만에서 수록한 레이더 영상을 살펴볼 때, 스코프 상에서는 음영효과가 명확하게 나타나고 있지 않지만, RTX에서 0 ~ 255까지의 256 단계로서 정량화된 영상신호의 레벨을 살펴보면 표적의 후방에 대한 음영효과를 명확하게 파악할 수 있는데, 일례로써 Fig. 17의 영상에 나타난 표적 "a" 주변에 대한 영상신호의 수치 레벨 값을 나타낸 결과는 Fig. 22와 같다.

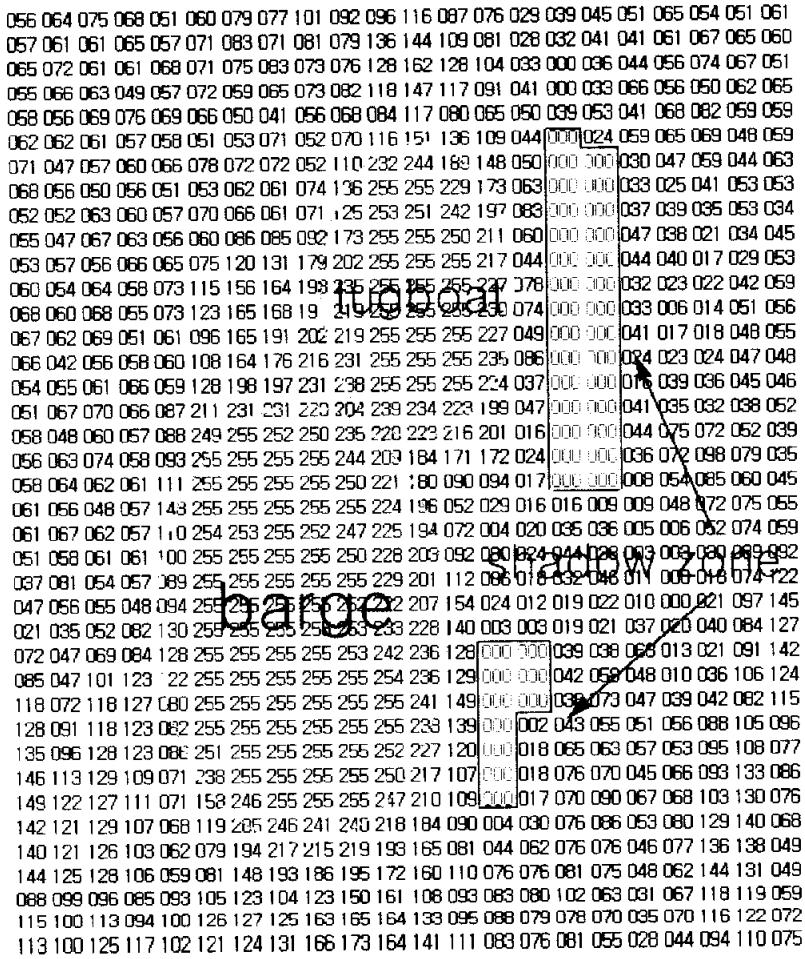


Fig. 22. Shadow zones caused by the shape characteristics of targets in radar images.

Fig. 22에서 표적영상 'a' 는 tug boat가 모래운반 barge 선을 우현 선수에서 예인하고 있는 상황을 레이더로써 포착한 결과인데, 그림에서 tug boat와 barge 선의 영상이 선명하게 분리되어 나타나고 있다.

특히, tug boat의 후방에는 영상의 수치 값이 "0"인 음영구역이 2 개의 분해능 cell에 걸쳐 나타나고 있고, barge 선의 우현 측 후방에도 1~2의 분해능 cell에 걸쳐 음영구역이 나타나고 있다.

이들의 음영구역은 tug boat와 barge 선의 상부 구조물에 기인하여 나타나는 현상이고, barge 선 선수 쪽에서는 상부 구조물이 거의 없는 관계로 음영구역이 나타나고 있지 않음을 알 수 있다.

Fig. 22의 영상신호를 수록할 당시 실험에서 사용한 레이더 안테나 설치 높이는 Ha = 30 m이었고, 레이더 영상 분해능 cell은 σ = 11.25 m이었으므로 해면(지면) 반사점의 slant range는 R_B = 2148.75 m가 된다.

또한, 타선까지의 실제적인 slant range Rc는 타선의 video 신호영상이 소멸되는 cell까지의 slant range를 R_F, 레이더 송신펄스의 폭을 τ (μs)라 할 때, Rc는

$$Rc = R_F - (150\tau + \frac{\sigma}{2})$$

이 되는데, 여기서 Rc = 2064.4 m이므로, 실제적인 음영구역의 폭 R_B - Rc는 84 m가 된다.

이 때,.해면에 대한 전파의 입사각 θ는

$$\theta = \sin^{-1}\frac{Ha}{R_B} = 0.8°$$

가 되므로, 음영구역을 초래하는 tug boat의 상부 구조물의 유효높이 H_T는

$$H_T = (R_B - Rc)\sin\theta \fallingdotseq 1.2 \text{ m}$$

로 추정된다.

이와 같이 레이더 영상신호의 음영 패턴과 음영 대역폭을 추정하면 탐지물표의 유효높이를 추정할 수 있기 때문에 이 정보는 향후 3 차원 레이더 영상을 구현하는데, 기초자료가 될 것으로 판단된다.

Ⅳ. 요 약

본 연구에서는 RTX를 이용한 PC based radar system을 구축하고, 표적 정보를 자선의 전자해도 및 레이더 화면상에 실시간으로 모니터링 하기 위한 시스템을 실현하였다.

또한, 이들 레이더 정보를 필요에 따라 수록 및 재생할 수 있는 레이더 정보수록 및 해석 시스템을 개발하고, 오경보확률의 설정치 변화에 따른 echo 영상의 변화 패턴을 레이더 스코프상에서 직접 비교·분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 목포 인근 해역에서 레이더 신호를 수록하고, 이 레이더 영상에 위치발생 시뮬레이터에 의해 생성한 타선 위치를 RS232C interface를 통해 전송 및 중첩시켜 타선의 위치를 추적하면서 실시간으로 본선과 타선의 양선 간격으로 산출한 결과, 양선거리 및 방위의 실시간 측정이 가능하여 이 시스템을 양선 거리계로써 활용할 수 있음이 입증되었다.

2. 타선의 레이더 신호를 수신한 후, $\alpha-\beta$ tracker를 이용하여 타선 영상의 중심 위치를 실시간으로 추적하면서 침로, 속력, 방위, 거리 등을 예측한 결과, 매우 안정된 평활화 추정치를 얻을 수 있었다
3. ARPA 시뮬레이터를 이용하여 표적의 추정정보를 TTM sentence 등으로써 생성한 후, 이 코드를 전자 해도상에 전송 및 중첩 표시 시킨 결과, 추적표적의 위치, 속력, 침로, 방위, 거리등의 추적정보의 실시간 모니터링이 안정적으로 실현된 바, 선내의 여러 장소에서 ARPA 정보를 공유하기 위한 멀티모니터링 장치의 개발이 기대된다.
4. 레이더 신호의 해석을 통해 추출된 표적의 운동 벡터 및 방위, 거리, 속력, DCPA, TCPA 등과 같은 ARPA 정보를 실시간으로 이동궤적과 함께 PC 모니터상에 구현하고 있기 때문에 소형 레이더 시스템에 이 장치를 부착하면 저가의 비용으로써 ARPA 정보의 취득이 가능하다.
5. Ideal threshold에 의한 표적 검출 능력을 개선시키기 위해 cell-averaging CFAR processor의 CUT 전·후에 각각 3 개의 guard cell과 이 cell 좌·우측에 각각 20 개씩, 총 40 개의 reference cell을 설치하여 레이더의 video 신호를 입력한 후 오경보확률을 $10^{-0.20}$ ~ $10^{-1.00}$의 범위에 대하여 설정치를 점차 증가시켜 갈 때, 레이더

영상신호는 $10^{-0.75}$의 설정치에서 가장 적절한 clutter 제거효과를 나타내었다.

6. 레이더 스코프상에서 영상신호를 관찰하면서 cell-averaging CFAR processor의 오경보확률을 적정하게 제어하면, 지금까지의 ideal threshold level에 의한 잡음 억제기법에서 나타나는 선박영상의 과도한 레벨 약화 현상을 보완할 수 있을 것으로 판단된다.
7. 부산 용호만에 정박중인 예인선의 레이더 신호를 해석하여 영상의 음영 패턴과 음영 대역폭을 추정한 결과, 예인선의 유효높이는 약 1.2 m이였고, 이들 음영 효과의 정량적 해석을 통한 해상 표적의 형상정보 추정법은 향후 3 차원 레이더 영상을 구현하는데, 그 기초 자료가 될 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터 본 연구의 성과는 연근해 소형 어선의 레이더에 RTX를 장착하여 ARPA 정보를 취득하게 함으로써 해난사고 예방에 기여할 수 있는 저가형 ARPA의 개발에 필요한 기반 기술을 제공하는데 크게 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

십 수년의 선상생활을 끝내고 뒤늦게나마 학문의 길에 들어서게 된 부족한 이 사람을 석사과정, 박사과정의 지도교수로서 이 논문을 완성하기까지 바쁘신 중에도 세심한 지도와 조언을 아끼지 않으신 이대재 교수님께 뜻깊은 감사의 말씀을 드립니다.

많은 격무 중에도 불구하고 좋은 논문이 되도록 심사하여 주신 신형일 교수님, 강일권 교수님, 경상대학교 김광홍 교수님, 제주대학교 안영화 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

지금은 정년퇴임을 하셨지만, 평소 격려와 지도를 아끼지 않으신 김기윤 교수님, 윤갑동 교수님, 양용림 교수님, 김진건 교수님께 다시 한번 감사드립니다.

함께 수업을 하시면서 여러 가지로 지도와 격려를 해주신 이주희 교수님, 최종화 교수님, 장창익 교수님, 이춘우 교수님, 신현옥 교수님, 김형석 교수님, 하성환 교수님, 권병국 박사님께도 감사드립니다.

특히, 이 논문을 위하여 성심 성의껏 도와주신 한국해양수산연수원 수산교육팀의 배문기 교관님과 해기사 37기 어업과 오연호 학생

과 장재웅 학생, 그리고 제2갈매기 김욱성 선장님께 깊은 감사를 드리며, 부경대학교 해양생산시스템공학과 강희영 조교님과 현윤기 조교님께도 감사를 드립니다.

그리고, 영도대교를 오가면서 방문하여 자문을 구했던 마린전자 상사 김광식 사장님과, 사라콤의 김재관 이사님, 이해를 구할 때마다 조금도 마다않고 포근함과 친절로써 도와주신 표용수 교수님께도 감사의 말씀을 전합니다.

이렇게 많은 지도와 격려를 해주신 따뜻한 마음들이 계셨기에 좋은 결실을 맺을 수 있었음을 머리 숙여 진심으로 감사드리고, 제게 격려를 보내주신 모든 분들께 일일이 말씀을 드리지 못하지만, 염려와 격려를 해 주신 점 잊지 않겠습니다

또한, 한국해양수산연수원의 유명윤 원장님과 여러 가지 편의를 도모해 주신 영도캠퍼스의 여러 교수님과 용당 캠퍼스의 동료 교수님들, 그리고 직원 여러분께도 감사드립니다.

또한, 항상 옆에서 건강 걱정과 성원를 해주신 사랑하는 어머님과 아내 이 데레사, 혜원이, 형님과 아울러 모든 분들과 함께 이 기쁨을 나누고자 합니다.

끝으로 이 논문이 완성하기까지 성심 성의로 이끌어 주신 이대재 지도 교수님께 다시 한번 감사드립니다.

참고문헌

1. 이대재 (2000) : 레이더 항법 -이론과 실제- 태화 출판사, 118 ~ 149.
2. 이대재 · 김광식 · 변덕수 (2002) : Radar Target Extractor에 의한 선박운동 정보의 추출에 관한 연구, 한국어업기술학회지, 38(3) 249 ~ 255.
3. 이대재 · 김광식 · 신형일 · 변덕수 (2003) : 연근해 소형 어선의 레이더 정보 수록 및 해석 시스템 개발 -위치 추적 및 실시간 모니터링 -, 한국어업기술학회지 39(4), 326 ~ 346.
4. Yoshihiro ishikawa, Matsuo sekine and Toshimitsu musha, members (1993) : Observation of K-distributed sea clutter by means of a X-band radar, 電子情報通信學會 B-Ⅱ vol J76-B-Ⅱ No7 p 625 ~ 633.
5. Sekine matsuo (1993) : Clutter signal suppression device for radar JP 5249227 p 203 ~ 207.

6. 福島冬樹, 上等泰吉, 藤坂貴彦, 近藤倫正 (1997) : 干涉波環境下用 CFAR處理의 目標檢出性能評價, 電子情報通信學會論文誌 B-11 vol. J80-B-11, No 2 p 182 ~ 190.
7. Sakae Chikara, Member, Keiichi saji, non member, Matsuo sekine and Toshimitsu musha, member (1991) : Suppression of radar clutter by means of non-parametric CFAR, 電子情報 通信學會 B-Ⅱ vol J74-B-Ⅱ No 1 p 43 ~ 50.
8. Chung - sheen Liu (2000) : Radar scan converter and method of mixing image, Us patent No. 6087982, 9p.
9. Sang yoon Lee (1993) : Video signal processor for radar system, Us patent No, 5254999, 9p.
10. William M. P. (1989) : Radar video scan converts, Us patent No. 4845501, 40p.
11. 松本吉春 (1988) : 地文航海學, 成山堂書店, 50 ~ 56.
12. Cadzow J. M. (1973) : Discrete time systems, Prentice - Hall Inc., 272 ~ 278.
13. Levanon, N. (1988) : Radar principles, John & Wiley & Sons, 247 ~ 267.

14. Mahafza, B. R. (2000) : Radar system analysis and design using MATLAB, Chapman and Hall/CRC, 373 ~ 432.

15. Pedersen, E., Arai Y. and Sato N. (1997) : On the effect of plotting performance by the errors of pointing target in the ARPA system, Jour. of navigation 52, 119 ~ 125.

16. Wei X., Murai K., Kouguchi N. and Miyoshi Y (1997) : A study on the accurarcy of ARPA information-Ⅱ, J. Japan Inst. of navigation 96. 53 ~ 61.

17. Xue Wei, Kouji murai, Nobuyoshi Kouguchi and Yuichi miyoshi (1996) : A study on the accuracy of ARPA information, 日本航海學會 94號 p 193 ~ 201.

18. Xue Wei, Kouji murai, Nobuyoshi Kouguchi and Yuichi miyoshi (1996) : A study on the accuracy of ARPA information-Ⅱ, 日本航海學會 96 號 p 53 ~ 61.

19. Xue Wei, Kouji murai, Nobuyoshi Kouguchi and Yuichi miyoshi (1997) : A study on the accuracy of ARPA information-Ⅲ, 日本航海學會 98 號 p 43 ~ 51.

20. Byron E. (1995) : Radar, - principles, technology, applications-, prentice Hall, 507 ~ 592.

21. Matsuo Sekine and Toshimitsu Musha, Members (1991) : Advances in radar signal processing techniques Ieice. transactions, vol, E74. No. 2, 283 ~ 287.

22. Sekine Matsuo (1992) : Clutter signal suppression device for radar. JP patent. No. JP 4216484, 491 ~ 494.

23. 이대재 · 김광식 · 신형일 · 변덕수 (2003) : 연근해 소형 어선의 레이더 정보 수록 및 해석 시스템 개발 -CFAR에 의한 레이더 잡음 억제-, 한국어업기술학회지 39(4), 347 ~ 357.

24. Watts S. (1996) : Cell averaging CFAR gain in spatially correlated K - distributed clutter, IEE proc. Radar, Sonar, Navig. vol 143, No. 5, 321 ~ 327.