

ARPA Radar Simulator 開發을 위한 基礎 研究

임 남 균¹⁾, 김 환 수²⁾

A Basic Study for the Development of the ARPA Radar Simulator

Nam-Kyun Im , Whan-Su Kim

Abstract

Through the rapid development in personal computer technology, it has recently become possible to make a radar simulator based on the PC. Although such a technology has already been developed in the advanced countries like Japan, U.K., and U.S.A., our country has not been able to make such a simulator so far. In addition, revised STCW convention requires the maritime training institution to be equipped with the ARPA simulator satisfying the performance standard specified in the convention.

In this thesis therefore, an attempt was made to develop the software of the ARPA radar simulation system using Visual Basic 4.0, with which we can finally make a Mockup style ARPA radar simulator. The system developed through the research has been found to run successfully on the desk top personal computer(586PC).

A Mockup style ARPA radar simulator will be able to be made by simply installing this software on the PC which will be placed inside a ARPA radar Mockup, and this is one of the future research subjects.

제1장 서론

레이다 시뮬레이터는 1950년대 중반부터 선박에 레이다를 탑재하는 것이 보편화 되기 시작하고 그 설치가 법으로 의무화되면서 해기교육기관에서 활용하기 시작한 장비로서, 개정 '95 STCW 협약에서는 레이다 시뮬레이터를 향해 교육을 위한 중요 실습 장비의 하나로 채택하고 있다. 그러나 현재 국내에는 레이다 시뮬레이

1) 한국해양대학교 해사수송과학과 석사과정 해사정보공학과생

2) 한국해양대학교 해양경찰학과 교수

터를 갖추고 있지 못한 해기교육기관이 더 많고, 갖추고 있는 경우에도 외국에서 도입한 외국제품만으로 그 숫자가 한정되어 있어 많은 피교육자에게 지속적인 실습의 기회를 부여하는데 현실적으로 어려움이 따르고 있는 실정이다.

레이다 시뮬레이터의 개발과 관련한 국제적인 기술 동향을 살펴보면, 일본, 미국, 영국 등 일부 선진국의 경우 80년대 말에 PC를 내장한 실물형 레이다 시뮬레이터를 개발 완료한 바 있고, 우리 나라의 경우 PC 베이스의 ARPA Radar 시뮬레이터는 개발되었으나 실물형 시뮬레이터는 아직 개발되지 않은 관계로, 보다 현실감 있는 시뮬레이터 교육을 위해 실물형 시뮬레이터를 구비하고자 하는 해기교육기관의 경우 기존의 시뮬레이터는 전부 외국제품이고 따라서 가격도 매우 비싼 관계로 관련 장비의 확보에 많은 어려움을 겪고 있는 것이 현실이다.

따라서 본 연구에서는 우리 나라 고유 모델의 저가의 ARPA Radar 시뮬레이터를 개발하기 위한 1단계의 연구로서, 동 시뮬레이터의 개발에 필요한 핵심 기술분야인 시뮬레이션 소프트웨어를 개발하는 것을 다루었다. 본 연구를 통해 개발된 시뮬레이션 시스템은 실물형의 Mockup과 연결만 하면 바로 실물형 ARPA Radar 시뮬레이터가 될 수 있을 뿐만 아니라, PC상에서 ARPA Radar의 조작 훈련, 레이다 플로팅 실습, 피항 조선 훈련 등도 실시할 수 있는 시스템이다.

제2장 ARPA Radar 시뮬레이션 시스템의 설계 및 개발

2.1 시스템 분석 및 설계

본 논문에서는 ARPA Radar 시스템의 전반적인 구조를 파악하기 위하여 자료흐름지향(Data Flow Oriented) 분석 기법, 속칭 구조적 분석 기법을 이용하였으며, 이 기법에서 활용되는 배경도(Context Diagram) 및 자료흐름도(Data Flow Diagram)를 작성하여 적용하였다. 배경도(Context Diagram)는 시스템이 외부환경과 무슨 관계를 가지고 있나를 파악하는 데 유익하며, 시스템 그 자체는 블랙박스(Block Box)로 취급한다. 본 연구에서는 ARPA Radar 시뮬레이터를 사용하는 자와 시뮬레이터 사이의 상호 정보교환에 초점을 두고 배경도를 작성하였으며, Fig. 2-1과 같이 작성하였다. 또한 본 연구에서는 DeMarco, Yourdon 등이 제안한 분석기법을 사용하여 자료흐름도(DFD; Data Flow Diagram)를 작성하였으며, 이 자료흐름도는 데이터가 시스템 내부의 각 절차를 따라 흐르면서 변환되는 것을 그 과정과 함께, 도형화한 것으로서, 자료의 입력, 처리, 저장 과정을 분석적으로 나타낼 수 있어 시스템을 효율적으로 구축할 수 있게 해 주는 기본 자료가 된다

2.2 본선의 종류와 선박 운동방정식의 구성

본 시스템에서 사용되는 선박은 총 여덟 척으로 컨테이너선, LNG선, 탱커, 자동차 운반선, 살물선 등이다. 각각의 선박을 ARPA Radar 시뮬레이션에서 구동되는 선박으로 활용하기 위해서 선박운동방정식이 사용된다. 본 시스템에서는 두 가지

의 선박운동방정식을 이용하고 있는데 각각의 운동방정식은 상이하고 각기 특징을 갖고 있으나, 시뮬레이션이 요구하는 타각과 엔진 상태를 입력하면 해당 선박의 움직임이 정량적으로 도출된다는 공통점을 갖고 있어서 본 시스템에서 구동되는 과정에서는 별다른 차이점이 없다. 다만 시스템 구동을 하기 전에 운항할 선박을 선택하면 해당 선박에 따라 미리 정해진 선박운동방정식이 채택되어 계산에 이용되도록 설계하였다.

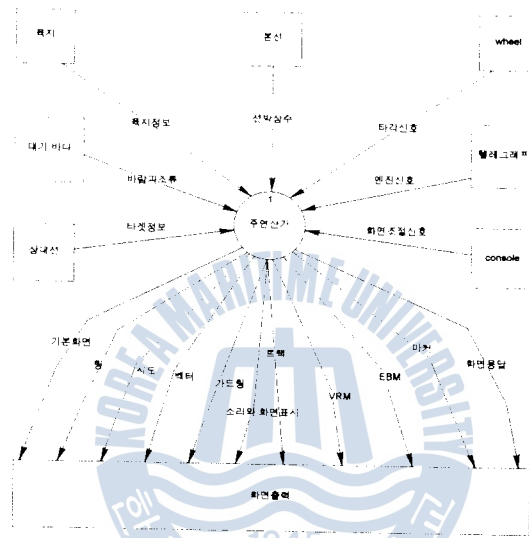


Fig. 2-1 Context Diagram

2.2.1 선체운동의 수학모델 1

본 시스템에서 채택하고 있는 선체운동 수학모델 중 하나는 McCallum에 의해 개발된 모델을 기초로 하고 있다. 이 모델은 이미 많은 연구 및 논문 등을 통하여 소개된 바 있으므로 여기서는 그 개략만을 살펴본다. 그 기본원리는 다음과 같다. Fig. 2-2과 같은 좌표축에서 선박의 Surge, Sway, Yaw 가속도를 각각 나타내면 식 (2.1)와 같이 나타내어진다.

$$\dot{u} = \frac{1}{m_1} (T + L_H \sin \alpha - D_H \cos \alpha - L_R \sin \alpha_e - D_R \cos \alpha_e + m_2 v \dot{\psi})$$

$$\dot{v} = \frac{1}{m_2} (-L_H \cos \alpha - D_H \sin \alpha + L_R \cos \alpha_e - D_R \sin \alpha_e - m_1 u \dot{\psi})$$

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{I_Z} (-N_V - L_H d_1 \cos \alpha - D_H d_1 \sin \alpha - L_R d_2 \cos \alpha_e + D_R d_2 \sin \alpha_e) \quad (2.1)$$

이들 각 Surge, Sway, Yaw 가속도 \ddot{u} , \ddot{v} , $\ddot{\psi}$ 를 구한 다음 이들 가속도를 4계 분계쿤타방정식을 이용하여 시간에 대해 적분하면 각각의 속도를 구할 수 있다. 그리고 이들 속도를 각각 시간에 대하여 적분하면 일정 시간 동안 선박이 이동한 각 방향의 거리 및 회전각이 구해진다. Fig. 2-3는 위에서 살펴본 수학모델을 이용한 선박의 Turning Circle을 나타내고 있다.

2.2.2 선체운동의 수학모델 2

본 시스템 구축에 사용된 두 번째 선체운동 수학 모델은 McCallum에 의해 개발된 Heuristic Type Mathematical Model이다. 이 모델은 직접적인 접근방법을 사

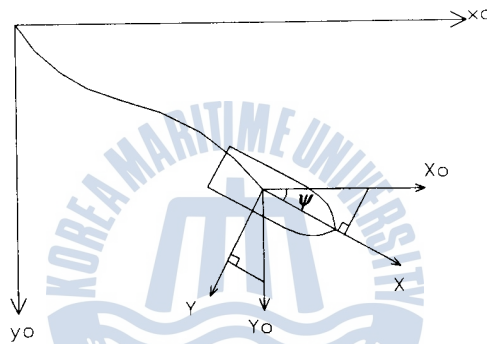


Fig. 2-2 Relationship Between Axes fixed in the Earth and Axes fixed in the Moving Ship

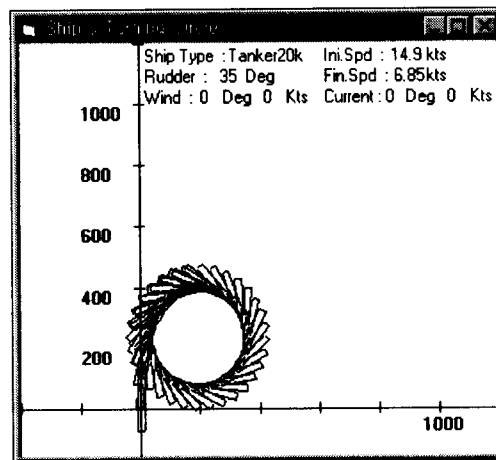


Fig 2-3 Ship's Turning Circle of Mathematical Model 1

용하기 때문에 상대적으로 실행이 간단하고 사용자의 호응도도 매우 높다. 또한 이 모델은 변환이 간단하고 거의 자동적인 방법으로 새로운 모델 혹은 수정된 모델을 만드는 것이 가능하다. 이 모델에 대한 정확성과 효용성은 이미 많은 연구에서 입증된 바 있어, 그 설명은 생략하기로 한다. 위에서 살펴본 수학적모델을 이용한 선박의 조종성능을 나타내기 위한 Turning Circle은 Fig. 2-4와 같다.

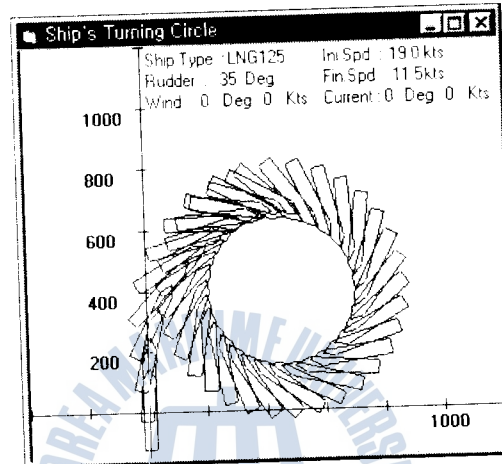


Fig. 2-4 Ship's Turning Circle of Mathematical Model 2

2.3 상대 선박 시나리오

본 시뮬레이션 시스템에서는 상대선박 열 척이 시뮬레이션 시나리오의 초기 화면에 등장하도록 설계하였다. 상대선박들은 시뮬레이션 시작 전 초기 설정을 할 때 Setting된 향로에 따라 항해하도록 하였으며, 협수로 통항시의 시나리오와 공해상 통항시의 시나리오 각 한 개씩을 각각 설정하였다.

2.4 ARPA 기능 해석 계산

2.4.1 CPA, TCPA 계산

본선과 상대선의 합벡터의 종점 좌표값을 (X, Y), 그 크기를 total speed, 그 방향을 total_course라 하고 우선, CPA 및 TCPA를 구하기 위하여 그 직선의 기울기(m)을 구할 필요가 있다. 그 기울기는 식 (2.2)와 같으며, 기울기가 m이고 상대선박의 위치가 좌표(xt, yt)를 지나는 직선의 방정식은 식 (2.3)와 같이 구할 수 있다. 따라서 CPA와 TCPA는 식 (2.4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$0^\circ < \text{total_course} < 90^\circ \quad \text{일 때} \quad m = \tan(90^\circ - \text{total_course})$$

$$90^\circ < \text{total_course} < 180^\circ \quad \text{일 때} \quad m = -\tan(\text{total_course} - 90^\circ)$$

$$180^\circ < \text{total_course} < 270^\circ \quad \text{일 때} \quad m = \tan(270^\circ - \text{total_course})$$

$$270^\circ < \text{total_course} < 360^\circ \quad \text{일 때} \quad m = -\tan(\text{total_course} - 270^\circ) \quad (2.2)$$

$$mx - y - mxt + yt = 0 \quad (2.3)$$

$$CPA = \frac{|-mxt + yt|}{\sqrt{m^2 + (-1)^2}}, \quad T CPA = \frac{\sqrt{(xt^2 + yt^2) - CPA^2}}{\text{Total_speed}} \quad (2.4)$$

2.4.2 선박 Vector의 크기, Trial 기능의 계산

본 시뮬레이션 시스템에서 표현되는 각종 Vector의 크기는 사용자가 화면상에서 직접 입력한 시간의 길이에 따라 그 벡터의 길이가 변화하도록 설계하였다. Fig. 2-5은 진벡터, 상대벡터, Trial 기능 등을 수행할 때 선박 Vector를 각각 표현하고 있다.

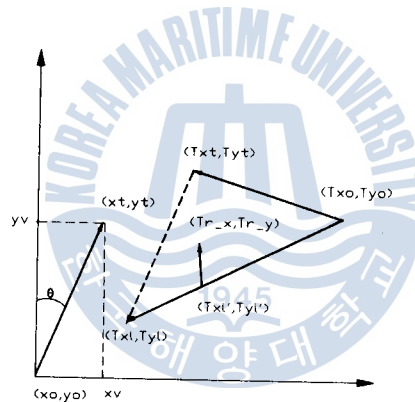


Fig. 2-5 Vector Diagram of the Own Ship, Target & Trial Function

2.4.3 진벡터와 상대벡터

상대 선박의 진평면 벡터는 그 종점의 좌표값(T_{xt} , T_{yt})을 구하여 파악한다. 진 벡터의 시점을 (T_{xo} , T_{yo}), 상대선 속력을 $tspeed$, 주어진 시간을 t , 상대선의 침로를 θ 라 할 때 그 종점은 다음 식 (2.5)와 같이 표현할 수 있고, 상대 선박의 상대 벡터 표현은, 본선 속력을 $speed$, 침로를 θ 라 할 때 식 (2.6)과 같이 나타낸다.

$$T_{xt} = T_{xo} + tspeed \cdot \sin(t \theta) \cdot t$$

$$T_{yt} = T_{yo} + tspeed \cdot \cos(t \theta) \cdot t \quad (2.5)$$

$$T_{xl} = T_{xo} + (-speed \cdot \sin(\theta)) + tspeed \cdot \sin(t \theta) \cdot t$$

$$T_{yl} = y_{ro} + (-speed \cdot \cos(\theta)) + tspeed \cdot \cos(t \theta) \cdot t \quad (2.6)$$

2.4.4 Trial 기능

Trial 기능 관련이 백터를 구하기 위해서는 주어진 시간이 경과하기 전까지의 상대선의 움직임을 1차 백터로 표현하고, 주어진 시간의 경과 후 본선이 주어진 침로대로 변침하였을 때 상대선의 상대적 움직임을 2차 백터로 구분하여 표현하는 것이 편리하다. 식 (2.7)과 식 (2.8)은 주어진 시간 (t')에 대한 1차 Vector의 종점 좌표값 (Txl' , Tyl')과 2차 백터의 종점값을 나타내고 있다.

$$\begin{aligned} Txl' &= Txo + (-speed \cdot \sin(\theta)) + tspeed \cdot \sin(t\theta) \cdot t' \\ Tyl' &= Tyo + (-speed \cdot \cos(\theta)) + tspeed \cdot \cos(t\theta) \cdot t' \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} Tr_x &= Txo + (-speed \cdot \sin(trial_course)) + tspeed \cdot \sin(t\theta) \cdot (t - t') - Txl' \\ Tr_y &= Tyo + (-speed \cdot \cos(trial_course)) + tspeed \cdot \cos(t\theta) \cdot (t - t') - Tyl' \end{aligned} \quad (2.8)$$

2.5 TM/RM/Head Up Motion

본 시뮬레이션 시스템은 ARPA Radar와 같이 TM(True Motion), RM(Relative Motion), Head Up Motion의 모든 기능을 가지고 있다.

2.5.1 TM Mode 기능

TM 모드기능에서 육기는 고정되어 있고, 본선과 상대 선박의 경우는 진운동을 하므로 되어 있다. 따라서 본선의 초기 위치 좌표값을 (x_0 , y_0), 선수각을 (θ), 단위시간당 선박이 x 축, y 축으로 이동한 거리를 xv , yv 라 하면 단위시간 뒤의 본선의 위치 좌표값 (x_t , y_t)은 식 (2.9)와 같이 나타낼 수 있으며, 상대 선박의 경우 상대선박의 초기 위치를 (Txo , Tyo), 속력을 ($tspeed$), 침로를 ($t\theta$)라 할 때 단위시간 뒤의 좌표값은 식 (2.10)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_t &= x_0 + xv \cdot \cos(\theta) + yv \cdot \sin(\theta) \\ y_t &= y_0 + yv \cdot \sin(\theta) - xv \cdot \cos(\theta) \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} Txt &= Txo + tspeed \cdot \sin(t\theta) \\ Tyt &= Tyo + tspeed \cdot \cos(t\theta) \end{aligned} \quad (2.10)$$

2.5.2 RM Mode 기능

RM모드기능에서 화면의 움직임을 살펴보면 육지는 본선의 움직임에 따라 상대운동을 하며, 상대선의 경우 상대 선박의 움직임과 본선의 움직임을 합한 합백터의 크기와 방향으로 움직인다. 따라서 상대선 좌표의 단위시간 뒤의 좌표값 (Txl , Tyl)은 식 (2.11)과 같이 표현되며, 육지 좌표의 단위시간 뒤 좌표값 (Lxl_1 , Ly_1)은 초기 좌표값이 (Lxl_0 , Ly_0)라 할 때 식 (2.12)와 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} T_{xl} &= T_{xo} + t_{speed} \cdot \sin(t \theta) - (x_v \cdot \cos(\theta) + y_v \cdot \sin(\theta)) \\ T_{yl} &= T_{yo} + t_{speed} \cdot \cos(t \theta) - (-x_v \cdot \sin(\theta) + y_v \cdot \sin(\theta)) \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} L_{xl_1} &= L_{xl_0} - (x_v \cdot \cos(\theta) + y_v \cdot \sin(\theta)) \\ L_{yl_1} &= L_{yl_0} - (-x_v \cdot \sin(\theta) + y_v \cdot \sin(\theta)) \end{aligned} \quad (2.12)$$

2.5.3 Head Up Motion 기능

Head Up Motion 화면과 RM 화면의 차이점을 든다면, 모든 물표의 위치는 RM 모드 화면과 달리 본선의 선수각만큼 회전 이동한다는 점이다. 따라서 육지, 상대선의 좌표값은 각각의 값을 모두 선수각 (θ)만큼 회전 이동시켜 구한다. 식 (2.13)과 식 (2.14)는 각각 상대 선박과 육지의 좌표값을 나타내고 있다.

$$\begin{pmatrix} T_{xt_hup} \\ T_{yt_hup} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{xt} \\ T_{yt} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ \sin \theta & -\cos \theta \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} T_{xt_hup} &= T_{xt} \cdot \cos(\theta) + T_{yt} \cdot \sin(\theta) \\ T_{yt_hup} &= T_{yt} \cdot \sin(\theta) - T_{xt} \cdot \cos(\theta) \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{pmatrix} L_{x_hup} \\ L_{y_hup} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_{xl_1} \\ L_{yl_1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ \sin \theta & -\cos \theta \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} L_{x_hup} &= L_{xl_1} \cdot \cos(\theta) + L_{yl_1} \cdot \sin(\theta) \\ L_{y_hup} &= L_{yl_1} \cdot \sin(\theta) - L_{xl_1} \cdot \cos(\theta) \end{aligned} \quad (2.14)$$

제3장 ARPA 시뮬레이션 시스템의 기능과 동작 예

3.1 Display Modes

일반적인 레이더의 경우 화면 모드는 Relative와 True Mode가 제공되므로 레이더 화면 방향을 North Up/Head Up으로 구분하여 설계하였다. 또한 그 메뉴하단에 RM CENT/TM/RM OFF CENT등 세 가지의 선택 모드를 구비하였다. Fig. 3-1은 North Up Mode에서의 실행 예를 나타내 보인다.

3.2 VRM, EBL, Guard Ring, Marker, Ring

VRM은 0.1마일, EBL은 0.1도까지 측정할 수 있도록 설계하였다. 가드링의 경우 기본 값이 본선 주위 4-5마일 사이 구역으로 설정되어 그 구역사이로 물체가 출현하면 경고음과 함께 “가드링 경보”란 메시지가 표시되도록 하였다. 마커의 경우 마커 기능을 On 하고 마우스를 화면상에서 움직이면 본선으로부터 떨어진 거리와 방위가 정확도 0.1마일, 0.1도로 표현된다. 링 기능은 On, Off 선택에 따라 화면상에 해당 Range에 맞게 6개의 링이 그려진다.

3.3 Vector 표시 기능

일반 ARPA에서는 타겟이 선택되면 타겟의 침로와 속력에 관한 정보가 벡터나 그래픽 형태로 표현되어 타겟의 예상 움직임을 명확히 나타내어야 한다. 이때 벡터나 그래픽 형태는 True/Relative Vector이어야 하며 그 벡터의 형태는 벡터의 길이를 고정해 두는 고정식 혹은 변화를 줄 수 있는 가변식으로 설정해 두어야 한다. 본 시스템에서는 화면상의 On을 선택하면 Vector 길이를 결정하는 시간 선택창이 나타나며, 0-99.9분 사이의 시간을 입력하면 상대선박의 예상 진로가 표현되도록 하였다. Fig. 3-2는 Vector 표시 기능의 화면을 나타내 보인다.

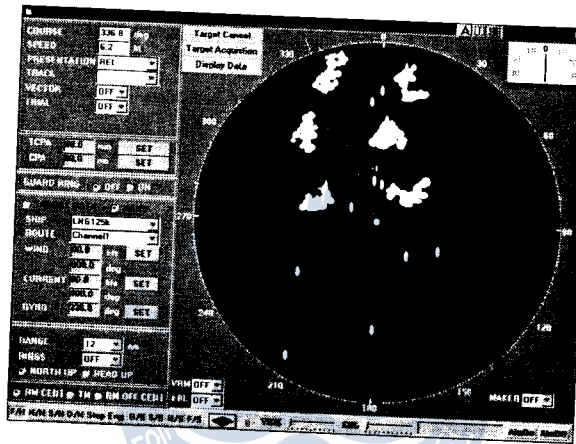


Fig. 3-1 Screen of the North Up Mode

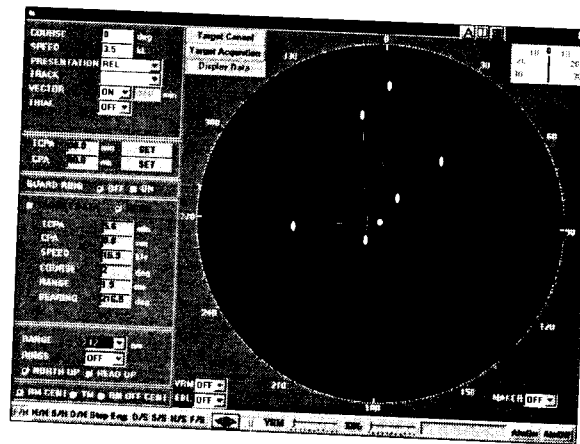


Fig. 3-2 Screen of the Vector Function

3.4 Trial 기능

Trial 기능이란 화면상 추적하고 있는 모든 선박에 대하여 본선이 임의로 침로를 가상으로 조정하였을 때 그 영향을 시뮬레이션 할 수 있는 기능으로서, 본 시스템에서는 Trial 기능의 버튼을 On 하면 화면상에 크게 "T"가 나타남과 동시에 현재 침로의 지속 시간, 향후 변침할 침로를 입력하는 창이 나타나게 설계하였다. Fig. 3-3은 Trial 기능의 화면을 나타내 보인다.

3.5 상대선 정보 파악 기능

본 시뮬레이션 시스템에서는 마우스를 이용하여 "타겟 지정", "타겟 정보표시",

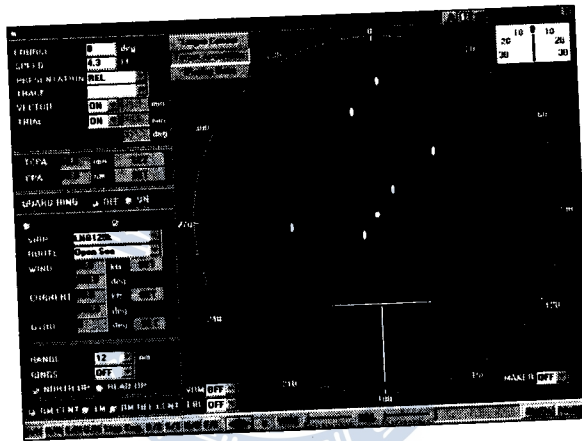


Fig. 3-3 Screen of the Trial Function

"타겟 해제"등의 버튼을 클릭하여 상대선의 정보를 파악하도록 설계하였다. 이때 표현되는 상대선의 정보는 ARPA의 기능 및 성능 기준에서 요구하는 거리, 방위, TCPA, CPA, 속도, 침로 등 총 여섯 가지이다.

3.6 알람 기능

On 클릭시 메시지 창에 "Alarm ON!!" 메시지가 나타나며, 미리 설정해 둔 TCPA, CPA 값을 상대 선박 정보에서 출력되는 값과 비교하여 설정값 이내에 상대 선박이 들어오면 알람을 발하도록 설계되었다.

3.7 타각 및 엔진값 입력 기능

실제 선박의 Wheel 기능을 할 수 있는 Option이 마련되어 있어서 마우스로 클릭 하면 타각이 변화하며, 그 변화는 화면상에 표시되는 Rudder Angle Indicator를

통해 파악할 수 있도록 하였다. 또한 Engine Telegraph 기능이 시스템에 내장되어 있으며, 엔진의 사용 종류는 일반 선박과 같이 구분하여 설계하였다.

3.8 기타 기능

마지막 기능으로 시뮬레이터를 기동할 때 사용자는 자신이 운항할 선박, 항로, 외부환경요소인 바람과 조류의 세기와 방향을 선택하는 기능이 마련되어 있다. 또한 상태선박과 육지와 충돌하면 화면상 충돌표시 화면이 나타난다.

제4장 결론

컴퓨터 기술이 급진적으로 발달함에 따라 대용량 고속처리가 가능한 개인용 컴퓨터가 보편화되었고, 이에 따라 저가의 PC를 이용한 PC 내장의 실물형 ARPA Radar의 개발에 대해 관심이 높아지게 되었으며 80년대 말경에는 일부 선진국에서 개발을 완료하기에 이르렀다.

한편 우리 나라의 경우 90년대 초에 PC를 이용한 ARPA Radar 시뮬레이터가 개발된 바 있으나 이는 PC에서만 구동될 수 있는 형태로 개발되었던 관계로 실물형 ARPA Radar 시뮬레이터로 확장 개발하는 것이 불가능하였다. 이에 본 연구에서는 실물형 ARPA Radar를 국내 기술로 자체 개발하기 위해 필요한 소프트웨어를 개발하기로 하였으며, Mockup만 제작하고 Interface 장치들만 부착하면 바로 실물형 ARPA Radar Simulator가 완성될 수 있는 수준으로 시스템을 개발하였다.

개발된 시뮬레이션 시스템은 레이더의 4기본 기능에 Auto Plotting, Guard Ring 등의 ARPA 기능을 추가한 시스템으로서, Model로 채택한 ARPA Radar의 기능을 거의 완벽하게 재현할 수 있음이 확인되었다. 앞으로 실물과 같은 모양의 ARPA Radar Mockup을 제작한 후 Steering Wheel 및 Engine Telegraph를 포함하여 관련 Interface 장치들을 부착하고, System을 설치하게 되면 실물형 ARPA Radar의 개발이 완료될 수 있을 것이며, 이는 향후 연구 개발과제의 하나이다.

참고문헌

- [1] 송재욱·김환수, PC를 이용한 ARPA Radar Simulator의 개발에 관한 연구, 해양안전학회지, 제1권, 제1호, 1995, p.63
- [2] Maritime Dynamics, Instructor Station User Guide, The Publication of Maritime Dynamics Ltd., Llantrisant, U. K., 1990
- [3] 이주현, 실용소프트웨어 공학론, 범영사, 서울, 1993, p.167-169
- [4] 박남규, 프로젝트 수행방법론, 도서출판 한국실리온, 서울, 1993, p.172-176
- [5] McCALLUM, I.R., A New Approach to Maneuvering ship Simulation, Doctoral Thesis of The city University, London, 1976
- [6] Kim, W. S., Port Design and Simulation: Validity of Microcomputer Aided

Port Design Simulation and its Application, Doctoral Thesis of the University of Wales, Cardiff, June 1990, p.12-59

[7] 임상전, 기본조선학, 대한교과서주식회사, 서울, 1986, p603

[8] A.G.Bole & W.O.Dineley, Radar and ARPA Manual, Heinemann Newnes, Oxford, 1990, p.209

[9] IMO, IMO Resolution A422(XI)

[10] 정세모, 전파항법 및 전파수로측량, 아성출판사, 부산, 1987, p.103

