지능형 선박의 자율운항제어를 위한 시뮬레이션 시스템의 설계 및 구현

이 원 호[†]·김 창 민[††]·최 중 락[†††]·강 일 권[††††]·김 용 기[†††††]

요 약

자율운항제어 시스템은 선박운항에 있어 항해계획을 수립하고 현재의 선박운항 상태를 파악하여 선박을 제어하는 항해 전문가 시스템이다. 이러한 자율운항제어 시스템을 테스트하기 위해서는 실제 선박을 대상으로 성능을 테스트하여야하나, 선박은 고가의 운송수단이고, 자율운항제어 시스템을 장착하기 위한 하부장치 인터페이스를 설계 및 구현하기에는 많은 시간이 소요되므로 선박시뮬레이션 시스템을 이용하는 것이 타당하다. 선박시뮬레이션 시스템은 선박의 물리적 운항특성을 모방하는 선박운동시뮬레이션 시스템과 선박 운항 주변에 변화하는 장애물을 시뮬레이션하는 주변객체 시뮬레이션 시스템으로 구성된다. 본 연구에서는 선박 운동방정식을 이용하여 선박의 물리적 및 운항 특성을 모방한 선박운동시뮬레이션 시스템을 설계·개발하였다.

A Design and Implementation of a Simulation System for Autonomous Navigation of Intelligent Ship

Won-Ho Lee[†]·Chang-Min Kim[††]·Joong-Lak Choi[†††]
Il-Kweon Kang[††††]·Yong-Gi Kim[†††††]

ABSTRACT

ANS (autonomous navigation system) is an expert system which builds navigation plans, understands the current environment, and controls a surface ship. The most ideal way to test ANS is available after it is installed into a real surface ship. however, it is impossible to implement into a real ship. since it costs too much to develop the hardware interfaces just for testing. The most appropriate way for testing is to develop a simulation system for a surface ship and apply it. A simulation system for a surface ship consists of two sub-systems ; one is a ship movement simulation system to imitate the physical movement characteristics of the ship, and the other is an environmental objects simulation system to build up surroundings of the ship. In this paper, we design and develop a surface ship movement simulation system which imitates its physical movement characteristics by using a motion equation for surface ship.

키워드 : 자율운항제어 시스템(ANS : Autonomous Navigation System), 전문가 시스템(Expert System), 선박시뮬레이션 시스템(Ship Simulation System), 선박 운동방정식(a Motion Equation for Surface Ship)

1. 서 론

최근 들어 선박 승조원 역시 열악한 근무 조건과 생명을 잃을 지도 모르는 근무 환경으로 승선 기피현상이 두드러지고 있다[1]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 숙련된 승조원의 지식을 수집 정리하여 승조원의 역할을 지능적으로 수행할 수 있는 고수준 선박 무인화 전문가 시스템이 개발되고 있다. 여기서 선박의 무인화란 선박 내 승조원을 완전 배제하는 것이 아니라 자동화가 가능한 부분만을 최대한 자동화하고 인간의 의사결정이 필요한 부분에는 숙련된 승조원을 배치하여 선박 운영 인력을 최소화하는 것을 의미한다.

선박 무인화를 위한 대표적인 방법은 지능형 자율운항 시스템(Autonomous Navigation System Using Intelligence Techniques)을 개발하여 선박에 장착하는 것이다. 지능형 자율운항 시스템은 선박의 통합플랫폼관리체제(IPMS, Integrated Platform Management System)[2]를 마치 숙련된 승조원이 조작하는 것처럼 제어하고 상황에 따라 적절한 대처 능력을 갖춘 전문가 지능 시스템이다. 여기에서 통합플랫폼관리체제(IPMS)란 선박에 장착된 모든 장비를 디지털화하고, 네트웍으로 각 장비를 연결, 감시, 제어할 수 있는 통합형관리제어체제를 말한다[2].

자율운항제어 시스템은 통합플랫폼관리체제가 구축된 실제 선박을 대상으로 설계, 구현 및 테스트되어야 한다. 그

※ 본 연구는 국방과학연구소 기초연구사업(과제번호 : ADD-00-6-2)에 의해 수행되었습니다.
† 준 회 원 : 경상대학교 대학원 컴퓨터과학과
†† 준 회 원 : (주)삼진기술 선임연구원
††† 정 회 원 : 국방과학연구소 책임연구원
†††† 정 회 원 : 부경대학교 해양생산시스템공학과 교수
††††† 종신회원 : 경상대학교 컴퓨터과학과 교수
논문접수 : 2002년 12월 2일, 심사완료 : 2003년 6월 14일

러나 현실적으로 볼 때 선박은 고가의 교통기간으로 관련 하부장치의 인터페이스 개발에 많은 노력과 비용이 소요되므로 이를 직접 이용하기는 쉽지 않다. 이러한 문제점을 가장 쉽게 해결 할 수 있는 방법은 선박운동시뮬레이션 시스템을 만들어 이용하는 것이다. 선박운동시뮬레이션 시스템은 실세계의 선박운동과 같이 선박의 추진 및 조타 제어치를 입력받아 특정시간 후의 선박의 운동 상태[3-5]를 계산한 후 센서 값으로 변환하여 자율운항 시스템에게 되돌려 주는 시스템이다. 본 연구에서는 특정시간 후의 선박의 상태를 산출하기 위해서 수학적 kinematic 운동방정식[3]을 사용하였고, 선박 운동 시뮬레이션 시스템을 이용하여 자율운항제어 시스템을 테스트한다.

2절에서는 지능형 자율운항제어 시스템의 구성 및 역할에 대하여 알아보고, 3절에서는 선박운동시뮬레이션 시스템에 관하여 알아본다. 4절에서는 선박운동시뮬레이션 시스템의 시뮬레이션 결과를 살펴보고, 5절에서는 결론 및 향후과제를 살펴본다.

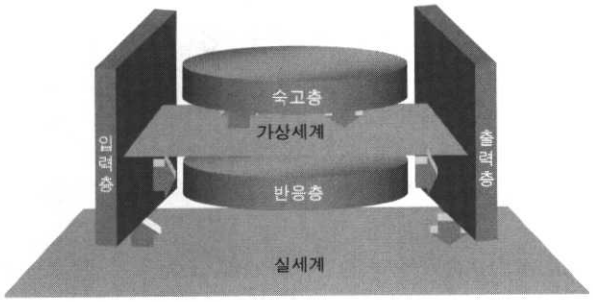
2. 지능형 자율운항제어 시스템

지능형 자율운항제어 시스템은 항해전문가의 능력을 전산화한 소프트웨어로 선박 운항에 있어 운항제어 장애물감지 센서 등의 각종 센서 장치로부터 저 수준의 정보를 입력받고, 이것을 분석 및 통합하여 선박의 고수준 정보인 추진, 조타 제어치를 산출하여 선박을 이동시키는 지능 시스템이다. 본 절에서는 지능형 자율운항제어 시스템을 구성하는 각 부 시스템들의 기초 모형인 RVC(Reactive Layer-Virtual World-Considerative Layer)통합모델[6]에 관하여 살펴본다.

2.1 RVC 지능 시스템

지능형 자율운항선박과 같은 저속무인자율항체의 특성은 주위 환경 변화속도와 운항속도에 따른 시스템의 빠른 처리속도가 아니라 신뢰성에 비중을 둔다. 시스템의 신뢰성을 높이기 위해서는 효과적인 입출력 설계와 소프트웨어 공학적 장점을 고려한 통합 아키텍처가 필요하다.

지능형 자율운항제어 시스템은 다양한 인공지능기법을 요구하는 종합 인공지능 시스템이다. 인공지능기법은 기호기반 인공지능기법과 행위기반 인공지능기법으로 분류되는데 지능형 자율운항제어 시스템에서는 두 인공지능기법을 융화하는 RVC 지능 시스템 모델을 소개한다. (그림 1)과 같이 RVC 지능 시스템 모델은 기호기반 인공지능과 행위기반 인공지능을 반응층과 숙고층으로 구별하고, 반응층과 숙고층 사이에 가상세계라는 공유정보저장영역을 둔 모델이다[6]. 반응층은 실세계의 정보를 가공하여 새로운 정보를 가상세계에 주입하는 과정으로 행위기반 인공지능이 주를 이룬다. 숙고층은 가상세계에 표현된 정보를 인식수준의 지식을 이용하여 문제를 해결하는 기호기반 인공지능기법이다.



(그림 1) RVC 지능 시스템 모델

2.2 지능형 자율운항 시스템의 구성

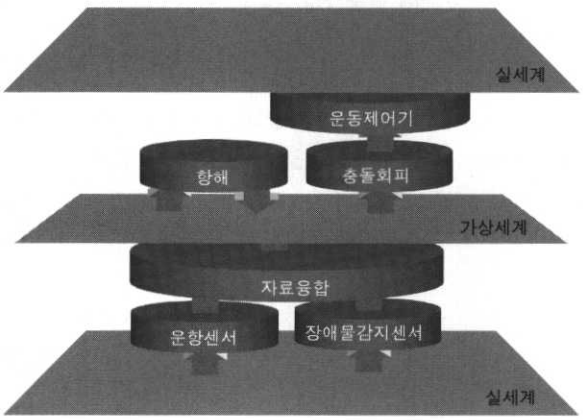
지능형 자율운항 시스템은 선박 운항에 있어 항해전문가의 능력을 전산화한 시스템으로 (그림 2)와 같이 자료 융합 시스템, 항해 시스템, 충돌회피 시스템, 운동제어 시스템으로 구성되어 있다.

항해 시스템은(intelligent navigation system)은 항해에 필요한 기능을 항해전문가로부터 수집 및 정리하여 그들의 역할을 대신하는 시스템으로 항로계획(route planning)과 경로계획(path planning)으로 구성되어 있다. 항로계획은 선박운항에 있어 선박의 출발지점부터 목표지점까지 운항하게될 항로의 중간 경유점(waypoint)을 계획하는 것이고, 경로계획은 항로계획시 결정된 경유점을 이용하여 경유점과 다음 경유점 사이의 운항 경로를 계획한다. 항해 시스템은 항로계획과 경로계획에서 지식기반 시스템(Knowledge-Based System)을 이용하여 경유점을 선택하게 된다.

충돌회피 시스템은 항해환경에 존재하는 장애물을 최적의 경로로 회피하고, 선박을 특정시간 이후 위치로 안내하는 시스템이다. 최적의 경로로 회피하기 위해서는 먼저 영역전문가의 경험적정보(heuristic information)을 보다 사실적으로 적용하여 고정·이동장애물에 대한 계산시간, 소요메모리 관점의 효율성(efficiency)과 이동경로관점의 안정성(safety), 최적성(optimality)을 고려하였다. 충돌회피 시스템에서는 영역전문가의 경험적 정보를 이용하기 위해 지식기반 시스템을 이용하였고, 최적의 경로로 회피하기 위해서 평가함수(evaluation function)과 벡터필드 히스토그램(VFH, virtual field histogram), 퍼지 관계곱(fuzzy relational products)을 이용한다.

자료융합 시스템은 실세계의 정보를 센서로부터 입력받아 저장 또는 분석 및 통합하여 다른 시스템인 항해 시스템이나 충돌회피 시스템, 선체유지 시스템, 손상제어 시스템에서 사용할 수 있는 고수준의 정보로 변환하는 역할을 하는 시스템이다. 자료융합 시스템에서는 운항센서로부터 DCPA (Distance of the Closest Point of Approach)와 TCPA(Time of the Closest Point of Approach)를 입력받아 VCD(Variarion of Compass Degree)라는 변수를 추가하고, 퍼지기법을 이용하여 충돌위험도를 산출한다[7]. 충돌위험도는 충돌회피 시스템이 장애물 회피시 사용한다.

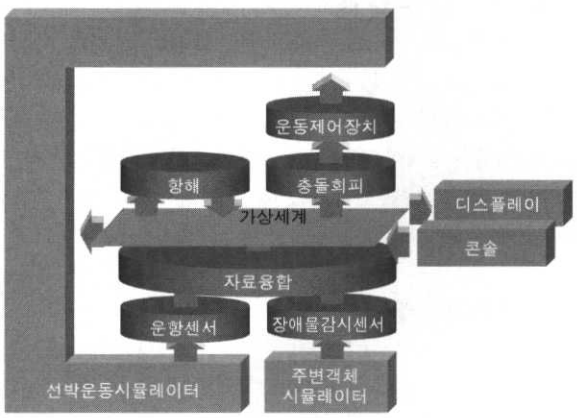
선박운동제어 시스템은 해도 상에 원하는 위치로 선박을 이동시키기 위해 상위 레벨의 고수준제어 요구치(waypoint)를 전달받아 조타 및 추진치로 변환하여 조타장치와 추진장치를 제어하는 시스템이다. 선박운동제어 시스템은 유체역학을 적용하여 추진장치와 조타장치를 제어하며, 퍼지제어[8]와 신경망제어기법[9, 10]을 이용한 선박운동제어기가 개발되고 있다.



(그림 2) 지능형 자율운항 시스템의 구성도

3. 선박운동시뮬레이션 시스템

선박운동시뮬레이션 시스템은 선박과 관련된 모든 현상, 요인, 물체, 장치 등을 모델화하고 여기에 지능형 자율운항 시스템을 가상적으로 장착한 후 선박 운항을 컴퓨터를 이용하여 모의 실험하는 것을 말한다. 선박운동시뮬레이션 시스템은 지능형 자율운항제어 시스템이 실세계에서 선박 운항하는 것과 같은 환경을 제공하고, 지능형 자율운항제어 시스템의 출력인 조타 및 추진 제어치를 입력받아 특정시간후의 선박의 이동 상태를 산출한 후 지능형 자율운항제어 시스템의 입력으로 되돌려 주는 피드백 시스템이다. (그림 3)은 지능형 자율운항제어 시스템과 선박운동제어 시스템의 모형도이다.



(그림 3) 지능형 자율운항 시스템과 시뮬레이터의 모형도

3.1 선박운동시뮬레이션 시스템 분석

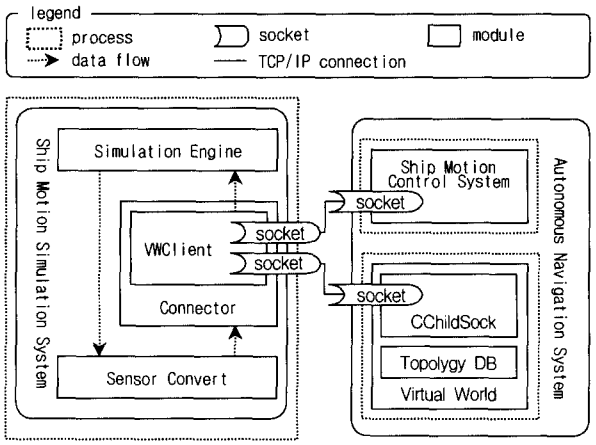
선박운동시뮬레이션 시스템에서는 지능형 자율운항 시스템의 입력으로 작용하는 각종 센서장치와 출력으로 작용하는 추진 및 조타장치를 시뮬레이션하고 지능형 자율운항 시스템의 접속하고 구동한다. 특히, 여기에서 추진장치와 조타장치의 시뮬레이션이 매우 중요한 구성요소인데, 추진장치는 선박의 엔진으로부터 전달된 동력이 프로펠러에 전달하여 선박을 전진 혹은 후진시키는 장치이고, 조타장치는 선박의 방향에 대한 타(rudder)의 각도를 변화함으로써 선박의 진행방향을 바꾸는 장치이다. 이러한 장치는 선박의 길이, 폭, 흘수, 속도, 풍향, 풍속, 파고, 프로펠러, 수온 등에 영향을 받는다. 추진 및 조타장치의 모델화에 있어 정확한 예측이 요구되므로 본 논문에서는 수학적 운동 방정식[3, 11]을 이용하여 모델화한다.

선박운동시뮬레이션 시스템은 (그림 4)와 같이 컨넥트모듈(Connect Module), 시뮬레이터 엔진모듈(Simulator Engine Module), 센서컨버트모듈(Sensor Convert Module)로 이루어져 있고 지능형 자율운항제어 시스템과 네트웍으로 연결되어 있다.

컨넥트모듈은 타 시스템과 데이터를 송수신을 담당하는 모듈이다. 선박운동시뮬레이션 시스템은 지능형 자율운항제어 시스템의 운동제어 시스템 출력인 조타 및 추진 제어치를 입력으로 받고 지능형 자율운항제어 시스템의 가상세계에 선박의 운동상태를 전송하게 된다. 선박운동시뮬레이션 시스템은 지능형 자율운항 제어 시스템과 서로 분리된 시스템으로 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 시스템을 연결하고, 소켓을 이용하여 통신규약에 맞게 데이터를 전송하게 된다.

시뮬레이터 엔진모듈은 실세계에서 선박이 움직이는 것과 같이 지능형 자율운항 시스템의 조타 및 추진제어 데이터를 이용하여 선박이 특정시간 후에 이동한 상태를 만들어 내는 모듈이다. 시뮬레이터 엔진모듈은 선박의 상태변화를 계산하는데 이것은 선박의 물리적 요소 및 운항 특성을 모방하는 선박의 운동방정식을 사용한다. 시뮬레이터 엔진모듈은 선박운동시뮬레이션 시스템에서 가장 중요한 부분이다.

센서컨버트모듈은 시뮬레이터엔진모듈로부터 결과 데이터를 가공하는 역할을 한다. 지능형 자율운항 시스템의 입력은 각종 센서장치인 운항센서, 장애물감지센서의 데이터형이므로 선박운동시뮬레이션 시스템의 출력 데이터는 각종 센서 데이터들이어야 한다. 그러므로 데이터를 출력하기 전에 시뮬레이터엔진으로부터의 출력 데이터를 각종 센서 데이터로 변환하는 과정이 필요하다. 그래서 센서컨버트모듈은 시뮬레이터엔진모듈의 출력 데이터를 센서데이터형으로 변환시킨다. 여기에서는 특히 운항센서에 초점이 맞추어서 계산된다. 운항센서로는 자이로콤파스(CYRO-COMPASS)와 마그네틱콤파스(magnetic COMPASS)가 있고, 위치 측정장비는 로란(LORAN)과 GPS등이 있다.



(그림 4) 선박운동시뮬레이션 시스템의 구성도

3.2 선박 운동방정식

시뮬레이션 엔진은 선박 운항체계를 모방한 시스템으로 타와 추진 제어치를 입력받아 처리하고, 운동방정식을 이용하여 선박의 물리적 요소 및 운항 특성을 모방한다.

일반적인 선박의 운동방정식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있는데 이것은 뉴턴(Newton)의 운동법칙인 운동량 및 각 운동량의 법칙으로부터 3차원 공간 내에서의 각 운동성분(Surge, Sway, Yaw)을 선체고정좌표[3, 5]로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr) &= X \\ m(\dot{v} - ur) &= Y \\ I_{zz}\dot{r} &= N \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 점(dots)은 어느 시간 t에 대한 미분계수 가속도를 나타내고 있다. X, Y, N은 선박에 작용하는 힘과 모멘트(moment)의 각 성분을 나타낸다(X ; Surge force, Y ; Sway force, N ; Yaw force). 그리고 m은 선박의 질량(배수톤수)을 I_{zz}는 선박의 무게에 대한 질량관성모멘트 값을 타나낸다. 이것은 유체역학적 힘(Hydrodynamic Force)으로 재 표현하며 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} (m + \mu_{11})\dot{u} &= \widetilde{X} \\ (m + \mu_{22})\dot{v} &= \widetilde{Y} \\ (I_{zz} + \mu_{66})\dot{r} &= \widetilde{N} \end{aligned} \tag{2}$$

식 (2)에서 $\widetilde{X}$는 변경된 Surge의 값이고, $\widetilde{Y}$는 Sway, $\widetilde{N}$는 Yaw 값이다. μ_{11}는 Surge에 부가 질량, μ_{22}는 Sway의 부가 질량, μ_{66}은 Yaw의 부가 질량을 의미하고 있다. 여기서 Surge의 힘 $\widetilde{X}$에서 $u \geq 0$이라면, 더 상세하게 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \widetilde{X} = {} & (m + C_m\mu_{22})vr + T_E(u, n) \\ & + C_R\mu^2 + \frac{\rho}{2}LTX'_{\delta\delta}\mu^2\delta_r^2 \end{aligned} \tag{3}$$

식 (3)에서 C_m은 Inoue의 계수[12]이며, T_E는 어헤드 쓰러스트(Ahead Thrust)를 의미하며 C_R은 저항인자, $X'_{\delta\delta}$는 무차원 유체역학 미분계수, δ_R는 타의 각도이다. 식 (3)의 T_E는 추진장치인 프로펠라의 힘을 이야기하고 있는데 이것은 Oltmann과 Sharma[13]에 의해 제안된 것으로 수식으로 표현하며 다음과 같다.

$$T_E = \frac{\rho}{2}A_d k_{COR} CT(\beta_B)V_B^2 \tag{4}$$

식 (4)에서 A_d는 프로펠러 디스크 면적, K_{COR}은 커렉션 팩터(Correction factor), C_T는 쓰러스트(thrust)의 계수[13], β_B는 effective blade advance angle, V_B는 effective total blade velocity를 의미한다.

식 (2)에서 Sway 힘을 더 상세하게 표현하면 식 (5)와 같다.

$$\widetilde{Y} = -mur + \frac{\rho}{2}LTV^2Y' \tag{5}$$

식 (5)에서 Y'는 Sway 힘 계수이다.

식 (2)에서 Yaw 힘을 더 상세하게 표현하면 식 (6)과 같다.

$$\widetilde{N} = \frac{\rho}{2}L^2TVN' \tag{6}$$

식 (6)에서 N'는 Yaw 힘 계수이다. 위의 식들을 이용하여 Surge, Sway, Yaw의 속도를 알면 운동학적인 방정식(Kinematical equations)[3]에 의해 식 (7)과 같이 선박의 위치를 알아낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{\xi} &= u\cos\psi - v\sin\psi \\ \dot{\eta} &= u\sin\psi + v\cos\psi \\ \dot{\psi} &= r \end{aligned} \tag{7}$$

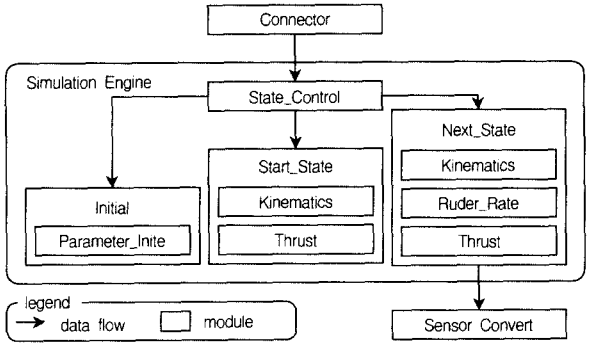
식 (7)에서 ψ는 방위각을 나타내며, ξ는 시간 t동안 선박이 Advance한 거리이며, η는 시간 t 동안 선박이 Transfer한 거리이며, $\dot{\psi}$는 시간 t동안 선수 각속도이다.

선박의 분류는 선박의 추진장치나 재질이 아니라 사용목적에 따라 상선, 함정, 어선, 특수작업선으로 분류된다. 이러한 여러 선박들은 각기 다른 선박운항특성을 가지므로 지능형 자율운항제어 시스템을 실험할 선박모델을 먼저 선정하여야 한다. 본 논문에서는 현재 경상대학교 해양과학대학의 실습선을 모델로 한다.

3.3 시뮬레이션 엔진의 구성

시뮬레이터 엔진은 (그림 5)와 같이 스타트 컨트롤 모듈(State_Control module), 이니셜 모듈(Initial module), 스타트스테이트 모듈(Start_State module), 넥스트스테이트 모듈

(Next_State module)부분으로 구성한다.



(그림 5) 시뮬레이터 엔진 구성도

스타트컨트롤 모듈은 시뮬레이션 엔진을 제어하는 모듈로, 지능형 자율운항제어의 서버 시스템인 가상세계 스케줄러의 상태를 파악하여 이니셜, 스타트스테이트, 넥스트스테이트모듈을 시간에 준하여 호출한다.

이니셜모듈은 선박 운동방정식에 사용할 파라미터를 초기화하는 부분으로 선박의 제원인 길이, 넓이, 흘수, 배의 평균 항진 속력(design speed), 타의 최대 기울기와 같은 배의 상대적인 상태 정보를 입력받아 선박을 수학적인 모델로 초기화한다.

스타트스테이트 모듈은 시뮬레이션이 시작하기 전에 현재 시간 t에서 선박의 상태 및 운동 성분을 세팅하는 모듈이다. 여기에서 선박의 상태는 선박의 위치가 될 것이고, 운동 성분은 Surge 속도, Sway 속도, Yaw 속도, 선수 각, Advance, Transfer, 그리고 타 각이다.

넥스트스테이트 모듈은 시뮬레이터 엔진에서 가장 중요한 부분으로 지능형 자율운항제어 시스템의 운동제어 시스템으로부터 조타 및 추진제어 데이터를 시간에 기초하여 입력받아 수학적 선박 운동방정식을 이용하여 특정시간 후의 선박의 상태를 계산하는 모듈이다. 여기에서 상태 데이터는 현재 시간 t, 현재 타의 기울어짐, 현재의 Drift 각, 현재 무차원화된 Yaw의 값, 현재의 속도, Advance, Transfer, 그리고 조타각이다. 계산된 결과는 센서제너레이터로 전송하게 된다. 본 연구에서 특정시간은 1/78초를 기준으로 하였다.

다음 (그림 6)은 선박 운동방정식을 이용하여 시뮬레이터 엔진의 구성 모듈인 넥스트스테이트 모듈에서 운동제어 시스템의 출력인 조타 각을 입력받아 선박의 다음 운동상태를 산출하는 부분을 C++ 언어를 이용하여 코딩한 부분이다.

```
1 : // State's values refreshment
2 : void CShipMotionSimulator :: Next_State (double &tm,
        double &dflDg, double &dflOrDg, double &drfDg,
        double &yawRts, double &spdKn, double &adv, double
        &trn, double &hdnDg, double &hdnOrDg, double
        &spdRelOrd, double trnInt)
3 : {
4 :     :
5 :   if (abs(dor) > dflMax)  // handling excessive rudder order
6 :     dor = sign (dflMax, dor)
7 :   end
8 :   //regressors
9 :   spsi = sin (psi) ;
10 :  cpsi = cos (psi) ;
11 :  vs2 = vs×vs ;
12 :  vs3 = vs2×vs ;
13 :  vs2r = vs2×rs ;
14 :  vs2d = vs2×d ;
15 :
16 :  // sway force and yaw moment coefficients
17 :  ys = yv×vs + yvvv×vs3 + yr×rs + yvvr×vs2r + yd×d
          + ydvv×vs2d ;
18 :  ns = nv×vs + nvvv×vs3 + nr×rs + nvvr×vs2r + nd×d
          + ndvv×vs2d ;
19 :
20 :  // dynamic equations
21 :  fu = xfctvr×v×r + xfctdd×uSq×square(d)
          + xfct×(Thrust (u, nor) - cr×uSq) ;
22 :  fv = yfctur×u×r + yfct×spdSq×ys ;
23 :  fr = nfct×spdSq×ns ;
24 :
25 :  //kinematic equation
26 :  fpsi = r ;
27 :  fxi = u×cpsi - v×spsi ;
28 :  feta = u×spsi + v×cpsi ;
29 :
30 :  //steering gear equation
31 :  fd = RudRate(dor, d) ;
32 :    :
33 : }
```

(그림 6) Next_State 모듈에서 선박의 운동상태 산출 부분

3.4 서버 시스템의 토폴로지 디비(Topology DB)

지능형 자율운항제어 시스템은 서버, 클라이언트 시스템이다. 서브 시스템인 가상세계 시스템은 클라이언트 접속관리, 사용할 공유변수의 선언, 공유변수 초기화, 스케줄링, 모니터링을 수행한다[6]. 클라이언트 시스템은 자료융합, 항해, 충돌회피, 운동제어, 선박운동제어, 시뮬레이션 시스템이다. 토폴로지 디비는 서브 시스템 내에 존재하는 데이터베이스로 공유변수의 선언과 초기화를 담당하고 있다. 이것은 전체 시스템간의 일관성 유지와 변수 중복 방지 및 모니터링을 위한 것이다.

선박운동시뮬레이션 시스템이 토폴로지 디비에 접속하여 사용할 변수들을 정리하면 다음 (그림 7)과 같다. (그림 7)의 1~7줄까지는 시뮬레이션 엔진의 이니셜 모듈에서 사용할 수학적 선박 운동방정식 파라메터를 초기화에 사용 될 데이터들로 2번째 라인부터 세션주기는 5초, 선박의 길이 70.57M, 넓이 12.3M, 흘수 4.5M, 디자인 스피드 15Knot, 타의 최대 기울러짐 35 °로 초기화하였다. 여기에서 초기화된 값들은 해양대학교 실습선을 중심으로 한다.

줄 9~18라인까지는 시뮬레이터 엔진의 스타트 스테이트 모듈에서 사용 될 값들로 시뮬레이터 시작할 시점의 선박 운동상태를 초기화하는 부분이다. 9번째 라인부터 시스템 내부에 사용하는 직교 좌표계의 X위치, Y위치, Surge 속도,

Sway 속도, Yaw 속도, 헤딩각, Advance, Transfer, 조타 각을 초기화시킨다.

```
1 : CLASSF : INITIA : System Initialization
2 : VARIAB : NUMBER : INITIA.SESION.PERIOD : 1 : 5 : 세션 주기
3 : VARIAB : NUMBER : INITIA.SHIP.LENGTH : 1 : 70.57 : 선장
4 : VARIAB : NUMBER : INITIA.SHIP.BREATH : 1 : 12.3 : 선폭
5 : VARIAB : NUMBER : INITIA.SHIP.DRAFT : 1 : 4.5 : 흘수
6 : VARIAB : NUMBER : INITIA.SHIP.SSPEED : 1 : 15 : 서비스 선속
7 : VARIAB : NUMBER : INITIA.SHIP.MAXRUD : 1 : 35 : 최대 러드 젖힘각

8 : CLASSF : INTFAC : Subsystem Interface
9 : VARIAB : NUMBER : INIFAC.SMSIM.RELCRD.X : 1 : 0 : 현지점의 상대 X 위치
10 : VARIAB : NUMBER : INIFAC.SMSIM.RELCRD.Y : 1 : 0 : 현지점의 상대 Y 위치
11 : VARIAB : NUMBER : INIFAC.SMSIM.SURGSP : 1 : 15 : SURGE 속도
12 : VARIAB : NUMBER : INIFAC.SMSIM.SWAYSP : 1 : 0 : SWAY 속도
13 : VARIAB : NUMBER : INIFAC.SMSIM.YAWDSP : 1 : 0 : YAW 각속도
14 : VARIAB : NUMBER : INIFAC.SMSIM.HEDDEG : 1 : 0 : 헤딩각
15 : VARIAB : NUMBER : INIFAC.SMSIM.ADV : 1 : 0 : ADVANCE
16 : VARIAB : NUMBER : INIFAC.SMSIM.TRN : 1 : 0 : TRANSFER
17 : VARIAB : NUMBER : INIFAC.SMSIM.RUDDEG : 1 : 0 : 타각
     :
```

(그림 7) Topology DB의 인터페이스 기호

4. 시뮬레이션 및 평가

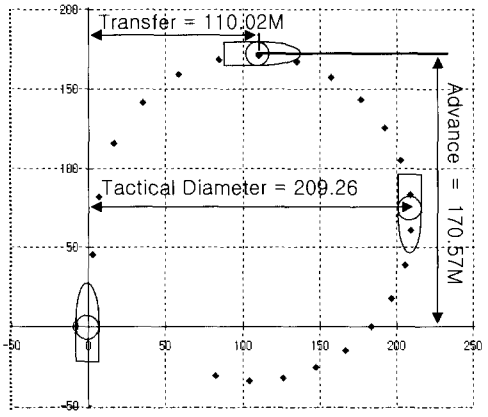
선박운동시뮬레이터를 실험하기 위해서는 통합플랫폼관리체제(IPMS)[2]를 바탕으로 한 선박을 대상으로 운항한 결과를 비교 분석하여야 한다. 하지만 선박은 고가이고 하부장치 인터페이스 구현에 많은 어려움이 따르므로 본 연구에서는 경상대학교 해양과학대 실습선인 새바다호의 선회성능을 대상으로 비교 분석하였다. 선회성능이란 선박이 디자인 스피드(design speed)로 운항하고 있을 때 최대 타각으로 타를 돌려 가능한 작은 반경으로 선회할 수 있는 성능을 말한다[4].

먼저 (그림 8)은 선박운동시뮬레이션 시스템의 선회성능을 실험한 결과이다. (그림 8)은 지능형 자율운항제어 시스템의 운동제어 시스템을 연동하여 산출한 결과로 디자인 스피드(15Knot)로 진행하는 선박을 운동제어 시스템에서 타각을 최대로 틀었을 때 선박의 운동상태를 5초에 한번씩 캡쳐한 것이다. (그림 8)은 선박운동시뮬레이션 시스템에서 5초마다 선박의 운항상태를 나타내고 있다. (그림 8)에서 선박 운항상태는 시간, Surge 속도, Sway 속도, Yaw 속도, 선미 각, Advance, Transfer, 조타 각을 차례대로 보여주고 있다. 이것을 그래프화 한 것은 (그림 9)와 같고, (그림 10)은 실제 선박인 새바다호의 성회성능을 보여주고 있다.

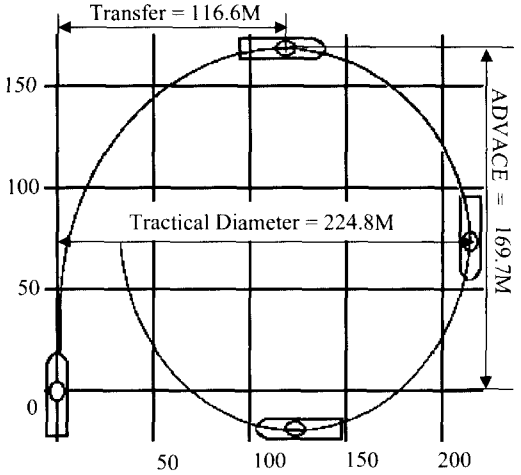
현재 선박의 상태

count	u	v	r	psi	xi	eta	d
1	7.42	0.23	0.02	1.72	45.11	2.74	12.32
2	7.25	-0.49	0.06	13.07	81.82	6.27	24.64
3	6.62	-1.19	0.08	36.00	115.52	16.24	34.93
4	5.95	-1.25	0.06	57.26	141.44	34.81	35.00
5	5.51	-1.19	0.06	74.35	158.68	58.40	35.00
6	5.21	-1.12	0.05	89.59	168.10	84.09	35.00
7	4.99	-1.06	0.05	103.95	170.51	110.02	35.00
8	4.83	-1.02	0.05	117.79	166.64	134.79	35.00
9	4.70	-0.99	0.05	131.26	157.27	157.26	35.00
10	4.61	-0.96	0.05	144.48	143.28	176.50	35.00
11	4.54	-0.94	0.05	157.50	125.59	191.77	35.00
12	4.49	-0.93	0.04	170.37	105.20	202.52	35.00
13	4.44	-0.92	0.04	183.14	83.16	208.40	35.00
14	4.41	-0.91	0.04	195.82	60.56	209.26	35.00
15	4.39	-0.90	0.04	208.44	38.47	205.17	35.00
16	4.37	-0.90	0.04	221.01	17.90	196.40	35.00
17	4.35	-0.89	0.04	233.54	-0.19	183.41	35.00
18	4.34	-0.89	0.04	246.05	-14.99	166.85	35.00
19	4.33	-0.89	0.04	258.53	-25.83	147.53	35.00
20	4.33	-0.88	0.04	270.99	-32.23	126.36	35.00
21	4.32	-0.88	0.04	283.44	-33.91	104.34	35.00
22	4.32	-0.88	0.04	295.88	-30.80	82.50	35.00
23	4.31	-0.88	0.04	308.32	-23.07	61.86	35.00
24	4.31	-0.88	0.04	320.74	-11.08	43.38	35.00
25	4.31	-0.88	0.04	333.16	4.59	27.92	35.00
26	4.31	-0.88	0.04	345.58	23.22	16.20	35.00
27	4.31	-0.88	0.04	358.00	43.92	8.76	35.00

(그림 8) 선박운동시뮬레이션 시스템에서의 선박운항 상태 산출



(그림 9) 선박운동시뮬레이션 시스템의 운항 결과



(그림 10) 새바다호의 선회성능

선박운동시뮬레이션 시스템과 새바다호의 선회성능을 시험한 결과를 비교 분석하면 <표 1>과 같다. <표 1>에서 보는 것과 같이 새바다호의 제원을 초기화한 선박운동시뮬레이션 시스템은 새바다호의 성회능력과 아주 유사한 결과가 산출됨을 볼 수 있다.

〈표 1〉 선박운동시뮬레이션 시스템과 새바다호의 선회성능 평가

	선박운동시뮬레이터	새바다호
Advance	170.56M	169.7M
Transfer	110.02M	116.6M
Tractical Diamnter	224.8M	209.26M
Turning Time	2분 16초	2분 15초

5. 결 론

본 연구에서 선박운동시뮬레이션 시스템은 선박과 관련된 모든 현상, 요인, 물체, 장치 등을 모델화하고 여기에 지능형 자율운항 시스템을 가상적으로 장착한 후 선박 운항을 컴퓨터를 이용하여 모의 실험한다. 선박운동시뮬레이션 시스템은 컨넥트 모듈, 시뮬레이터 엔진 모듈, 세션 컨버트 모듈로 이루어져 있다. 시뮬레이션 엔진모듈은 선박의 상태를 계산하는 모듈로, 실세계에서 선박 움직이는 모습과 같이 지능형 자율운항 시스템의 조타 및 추진제어 값을 이용하여 특정시간 후에 선박이 이동한 상태를 계산한다. 시뮬레이션엔진모듈은 선박의 상태변화를 계산하기 위해서 선박의 물리적 요소 및 운항 특성을 모방하는 선박의 운동방정식을 사용한다.

선박은 각기 다른 운항특성을 가지므로 선박운동시뮬레이션 시스템을 시험하기 위해 경상대학교 해양과학대 실습선인 새바다호를 모델로 선정하여 초기화하였고, 선회능력을 시뮬레이션 한 결과 선박운동시뮬레이션 시스템과 새바다호의 선박운항이 어느 정도 유사한 것을 보았다.

향후과제로는 선박 운항 특성에 영향을 미치는 파고, 풍향, 밀도, 염도 등과 같은 외부적인 요인이 감이된 정교한 제어 기법을 이용하는 시뮬레이션 엔진 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] URL : http://www.kodefa.or.kr.

[2] Sperl, L., "Platform Control and Automation in Naval Forces," International Forum for Maritime Power, 1988.

[3] 연구기관, 조종성능 추정 정도 향상을 위한 요소 기술 개발, 한국기계연구원 선박해양공학연구센터 자제연구보고서, 1997.

[4] 강창구, "IMO 선박 조종성 기준", 대한조선학회지, 제30권 제2호, 1993.

[5] 이승건, "선박운동조종론," 부산대학교출판사, 1997.

[6] 김창민, 김용기, "무인자율항체를 위한 지능제어 아키텍처에 관한 연구", 한국군사과학기술학회지, Vol.4, No.2, pp.249-255, 2001.

[7] 김은경, 강일권, 김용기, "충돌회피를 위한 충돌위험도 결정 시스템", 한국퍼지 및 지능 시스템학회논문지, Vol.2, No.6, pp.524-527, 2001.

[8] Vaneck, T. W., "Fuzzy Guidance Controller for an Autonomous Boat," IEEE Control Systems, Vol.17, No.2, April, 1997.

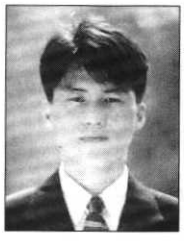
[9] Rozhdestvensky, V. V., Submarine Dynamics-Leningrad : Sudostroyeniye Publ., 1970.

[10] Sutulo, S. V. and Polukhin, K. V., Numerical Simulation of Ship Manoeuvring Motion, Shiffbauforschung. 1988.

[11] 성영재, An Investigation on the PMM Test Condition for the Estimation of the Manoeuvring Coefficients, 서울대학교 대학원 선박해양공학과, 석사학위논문, 1998.

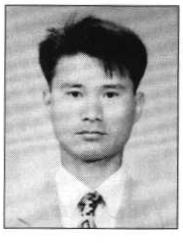
[12] Kim S. Y., Development of Maneuverability Prediction Technique-KRISO Technical Report, UCE 337=1082-D, 1988.

[13] "Report of the Panel on Validation Procedures," Proc. of 19th ITTC, Madrid, Spain, Vol.1, pp.577-604, 1990.



이 원 호

e-mail : windmill@ailab.gsnu.ac.kr
2001년 경상대학교 컴퓨터과학과(이학사)
2003년 경상대학교 컴퓨터과학과(공학석사)
현재 (주)뮤콤 연구원
관심분야 : 인공지능, 지식기반시스템, 퍼지 정보검색기법, 선박운동제어, 선박시뮬레이터



김 창 민

e-mail : nuno@ailab.gsnu.ac.kr
1997년 경상대학교 컴퓨터과학과(이학사)
1999년 경상대학교 컴퓨터과학과(공학석사)
2003년 경상대학교 컴퓨터과학과(공학박사)
현재 (주)삼진기술 선임연구원
관심분야 : 퍼지정보검색, 퍼지문서분류기법, 지능제어아키텍처, 자율무인잠수정아키텍처, 충돌회피

최 중 락

e-mail : jlchoi@add.re.kr
1977년 고려대학교 전자과(공학사)
1987년 서울대학교 제어계측학과(공학석사)
1997년 부산대학교 전기과(공학박사)
1978년~현재 국방과학연구소(책임연구원)
관심분야 : 함정조종제어적용, 무인제어, 인공지능

강 일 권

e-mail : ikkang@pknu.ac.kr

1976년 부산수산대학교 어업학과(학사)

1987년 부산수산대학교 수산물리학과(석사)

1997년 한국해양학교 해사수송학과(박사)

현재 부경대학교 해양생산시스템공학과 교수

관심분야 : 어선 선형연구, 선체운동, 세계 해양사

김 용 기

e-mail : ygkim@nongae.gsnu.ac.kr

1978년 서울대학교 공과대학(공학사)

1987년 University of Montana(전산학 석사)

1992년 Florida State University(전산학 박사)

1982년~1984년 KIST 시스템공학연구소 연구원

1992년~현재 경상대학교 컴퓨터과학과 교수

관심분야 : 인공지능, 지식기반 시스템, 자율무인잠수정, 지능항해 시스템, 퍼지정보검색 시스템