

반자율 무인잠수정을 위한 실시간 제어 아키텍처

이계홍* · 전봉환* · 이판목* · 홍석원*

*한국해양연구원 해양안전시스템연구소 해양개발시스템연구본부

A Real-Time Control Architecture for a Semi-Autonomous Underwater Vehicle

Ji-HONG LI*, BONG-HWAN JEON*, PAN-MOOK LEE*, HONG-SEOK WON*

*Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, KORDI

171 Jangdong, Yusong-gu, Daejeon 305-343, Korea

KEY WORDS: Semi-Autonomous Underwater Vehicle 반자율 무인잠수정, Control Architecture 제어 아키텍처, Real-time Operating System 실시간 운용시스템, Hybrid Navigation 복합항법, Manipulator 매니플레이터

ABSTRACT: This paper describes a real-time control architecture for DUSAUV (Dual Use Semi-Autonomous Underwater Vehicle), which has been developed at Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO), KORDI, for being a test-bed of development of technologies for underwater navigation and manipulator operation. DUSAUV has three built-in computers, seven thrusters for 6 degree of freedom motion control, one 4-function electric manipulator, one pan/tilt unit for camera, one ballasting motor, built-in power source, and various sensors such as IMU, DVL, sonar, and so on. A supervisor control system for GUI and manipulator operation is mounted on the surface vessel and communicates with vehicle through a fiber optic link. Furthermore, QNX, one of real-time operating system, is ported on the built-in control and navigation computers of vehicle for real-time control purpose, while MicroSoft OS product is ported on the supervisor system for GUI programming convenience. A hierarchical control architecture which consist of three layers (application layer, real-time layer, and physical layer) has been developed for efficient control system of above complex underwater robotic system. The experimental results with implementation of the layered control architecture for various motion control of DUSAUV in a basin of KRISO is also provided.

1. 서 론

무인잠수정(Unmanned Underwater Vehicles)은 인간의 손이 닿지 않는 심해 등 극지 환경에서 사람을 대신하여 심해과학탐사, 해저자원개발, 해저지도제작, 해저 파이프라인 및 광케이블 설치 등 많은 응용분야에서 다양한 수중 작업을 수행하기 위한 수중로봇 (Underwater Robotic Vehicle) 으로, 주어진 임무에 따라 시스템에서 요구되는 기능이 다양하다. 최근에는 해저열수분출구연구, 해저생태계연구 및 심해광물질연구 등 연구가 활성화되면서 무인잠수정의 중요성이 더욱 증폭되고 있다.

무인잠수정은 수중이라는 전파가 통하지 않는 열악한 환경에서 운용되기 때문에 수중에서 자신의 위치를 정확히 파악할 수 있는 항법기술과, 심해에서의 샘플채집과 같은 정밀한 작업을 효율적으로 수행하기 위한 원격조작 매니플레이터와 관련된 새로운 기술에 대한 연구 개발이 필수적으로 요구된다. 이와 같은 기술수요에 기초하여 한국해양연구원에서는 한국과학기술부의 지원으로, 수중작업기술 확보, 고성능의 수중작업선에서 요구되는 운항제어 및 항법장치의 설계기술과 정밀작업 수행에 필요한 수중 매

니플레이터의 설계기술 확보를 목적으로 반자율 무인잠수정 DUSAUV(Dual Use Semi-Autonomous Underwater Vehicle)를 시험플랫폼으로 개발하였으며, 이를 이용하여 다양한 항법시스템과 수중 매니플레이터 제어기법에 관한 연구개발을 수행하였다(Hong *et al.*, 2000; Chung *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2003a; Lee *et al.*, 2003b).

무인잠수정의 운항제어 및 수중 매니플레이터 기술개발을 위한 시험플랫폼으로 개발된 DUSAUV의 내부구조는 Fig. 1과 같으며, 하나의 초고속 광통신 링크를 통하여 선상통제시스템과 연결되어 다양한 실시간 정보교환이 가능하며 아울러 다양한 제어 아키텍처 구현이 가능하다.

기존에 로봇제어에 관한 다양한 아키텍처들이 제시되어 각종 로봇 및 무인잠수정 시스템에 적용되어 왔으며, 구조특징의 관점에서 볼 때 이들을 크게 세 가지 종류로 나눌 수 있다. 즉, 계층형(hierarchical) 아키텍처, 행위기반(behavioral) 아키텍처, 및 복합형(hybrid) 아키텍처로 나뉜다. 계획기반(planning-based) 아키텍처로도 불리는 계층형 아키텍처(Wang *et al.*, 1993; Peuch *et al.*, 1994; Barnett and McClaran, 1996; Kim and Yuh, 2004)는 주로 센서데이터들에 대한 다양한 프로세스들로 구성된 중

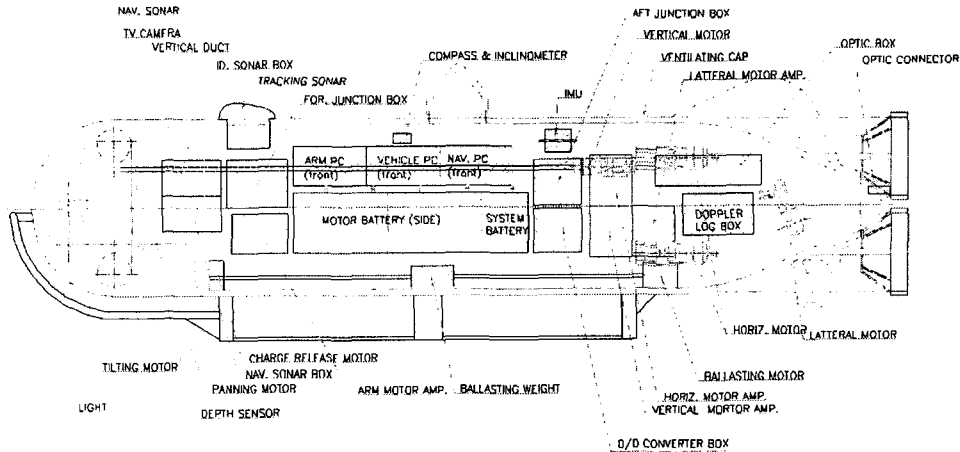


Fig. 1. General arrangement of DUSAUV

심 월드모델(central world model)에 의존하여 필요한 정보를 획득하며, 계획자(planner)는 이 정보에 근거하여 필요한 액션을 결정하고 상응한 명령데이터들을 구동장치로 전달하는 구조특징을 가진다. 계층형 아키텍처는 충분한 시간 및 정보가 뒤받침 하는 전제하에서 로봇시스템에 대한 제어능력 및 안정성 보장에 강한 반면에 긴 시간지연으로 인하여 동적특성이 강한 환경에서의 신속한 반응이 불가능한 단점이 있다. 행위기반 아키텍처(Brooks, 1986; Zheng, 1992; Bennett, 2000)는 반응기반(reactive) 또는 heterarchical 아키텍처로도 불리며, 로봇시스템의 개개의 미션은 일련의 사전에 프로그래밍한 조건-반응(condition-reaction) 패어들의 수행으로 완성된다. 행위기반 아키텍처는 모든 가능한 행위들에 대한 사전 조사가 가능하고 행위개수가 적을 경우에 속도가 빠르고 효율적인 장점이 있지만 대부분의 로봇시스템 응용에 있어서 상기 조건들을 만족하기가 어렵고 스케일링문제, 즉 행위사이 통신연결이 복잡한 문제가 있으며 또한 지금까지 행위에 대한 명확한 정의가 없어서 성능비교와 같은 상응한 시스템분석이 어렵다(Bennett, 2000). 복합형 아키텍처(Simon et al., 1993; Bennett, 1993; Healey et al., 1996; Quek and Wahab, 2000)는 상기 두 종류의 아키텍처의 장단점들을 보완하려는 시도에서 형성된 제어 소프트웨어 아키텍처로서, 반응기반의 하위-레벨 시스템과 계획기반의 상위-레벨 의사결정 메이커의 결합형식이 기존에 가장 많이 사용되고 있는 복합형 제어구조다.

DUSAUV는 무인잠수정의 자율능력에 초점을 맞춘 것이 아니라 무인잠수정의 운항제어 및 수중 매니플레이터 기술개발의 시험플랫폼으로 개발되었으며, 아울러 전형적인 계획기반 아키텍처를 가지도록 설계되었다. 본 논문에서는 먼저 DUSAUV의 제어시스템의 전체적인 하드웨어 구성에 대한 포괄적인 설명에 이어 응용계층(application layer), 실시간계층(real-time layer), 및 물리계층(physical layer) 세 계층으로 설계된 무인잠수정 제어소프트웨어의 계층형 아키텍처에 초점을 맞추어 각 계층의 구성, 계층사

이 인터페이스, 미션수행 등에 대하여 상세하게 논하였다. 설계된 제어 아키텍처를 이용하여 한국해양연구원의 해양공학수조에서 무인잠수정의 심도제어, 속도제어 등 다양한 제어실험을 수행하였으며 실험결과를 통하여 설계된 제어시스템의 성능을 검증하였다.

2. DUSAUV 하드웨어 아키텍처

DUSAUV 제어시스템의 전반적인 하드웨어 아키텍처는 Fig. 2와 같다.

2.1 항법·계측·시각 센서

DUSAUV에는 각종 항법 및 계측 센서가 부착되어 보

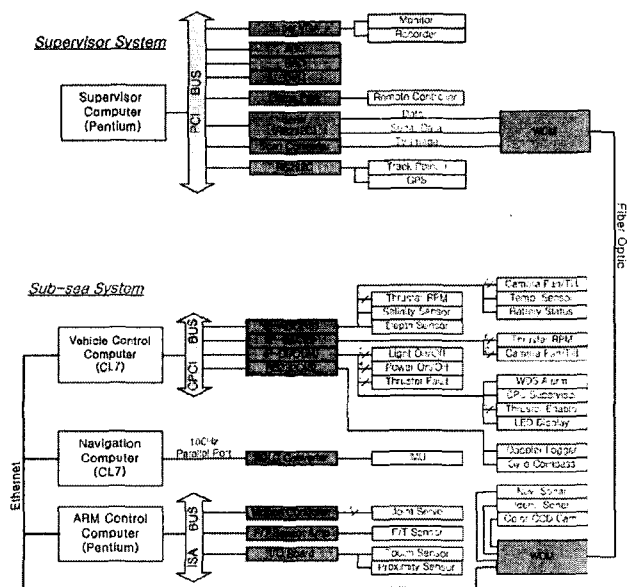


Fig. 2. DUSAUV control h/w architecture

정관성항법을 포함한 다양한 수중 복합항법이 가능하다 (Lee et al., 2003b).

Honeywell사의 HG1700 AG11 IMU (Inertial Measurement Unit)가 부착되어 무인잠수정의 3차원 가속도 및 회전 각속도를 측정하며, RD Instrument사의 Workhorse Navigator DVL(Doppler Velocity Log) 300이 장착되어 잠수정의 3차원 속도 및 방위각(롤, 피치, 요)을 측정하며, Precision Navigation사의 TCM2 자이로컴퍼스가 방위각 측정 비측장비로 부착되어 있으며, Trittech사의 SeaKing소나가 항법소나로 장착되어 잠수정의 운항 및 장애물 탐지용으로 사용되며, Schaevitz™ Sensors사의 PS10061-0005 압력센서와 Trittech사의 PA200 고도소나가 결합하여 잠수정의 수심 및 고도정보를 제공한다.

관성항법 외에도, DUSAUV에는 초음파 항법시스템이 장착된다. ORE사의 Track Point II는 잠수정에 설치된 트랜스폰더와 선상의 하이드로폰으로 구성되며 DUSAUV의 USBL(Ultra Short BaseLine) 초음파 항법시스템의 기반이 된다.

Trittech사의 OceanSpy CCD 칼라 카메라가 DeepSea사의 수중라이트와 함께 잠수정의 전방에 부착된 팬/틸팅 유닛에 고정되어 잠수정의 원격 운항제어 및 수중 매니플레이터 원격 정밀조작을 위한 시각환경을 제공한다.

2.2 수중 매니플레이터

수중 매니플레이터는 잠수정의 해저 작업능력을 결정하는 중요 장비로 산업용으로 쓰이는 일반 로봇 매니플레이터와 다른 설계방법이 필요하다. DUSAUV의 수중 매니플레이터는 기존의 유압방식이 아닌 전동모터방식으로 구동부분의 매니플레이터 내외부간의 수밀유지 및 내압유지 기술을 적용하여 설계되었다. 또한 선상 작업자의 운전 편의를 위하여 마스터/슬레이브 방식의 선상제어기가 설계 개발되었다. 수중 매니플레이터는 모니터 화면에 의지한 원격조작방식이므로 수중 기뢰 제거작업과 같은 정교한 작업에서 작업자의 조작을 용이하게 하기 위해 다양한 성능치수를 최적화한 마스터 기구장치가 설계되었으며, 아울러 수중 로프 또는 작은 물체를 집을 수 있도록 범용 개폐식 파지기구(gripper)를 설계하였다. 축전지 사용으로 인해 동력의 사용이 제한되는 상황에서 작업을 하여야 하므로 에너지 소모가 적은 구동장치 및 시스템 설계기술이 적용되었다(Seo, 2003).

2.3 잠수정 구동장치

DUSAUV에는 모두 7대의 추진모터와 한 대의 발라스팅 모터 및 두 대의 팬/틸팅 모터가 있다. 잠수정의 후미에 4대의 추진모터가 수평으로 장착되어 잠수정의 주 추진부로 작동되며 600W, 최대회전수 5000rpm의 BLDC 모터로 1/5감속기어가 장착된 것을 선정하였다. 또한 잠수정의 선수부에 장착된 2대의 수직방향 추진기는 200W BLDC모터로 선정하였으며 후미의 횡방향 추진기는 120W BLDC모터로 선정하였다. 수중 매니플레이터는 수중작업

중에서 잠수정 선체와의 연동이 불가피하며 아울러 수중 매니플레이터의 정밀조작을 위하여 잠수정선체에 30kg 무게를 가지는 발라스팅 시스템을 설치하였으며 정격출력이 25W이고, 회전수가 3000rpm인 모터를 선정하였다. 카메라 팬/틸팅 모터는 1/500 기어장착형 모터로 기어 출력토크가 6kg·cm이고 회전수가 10rpm인 소형모터를 선정하였다.

2.4 잠수정 탑재 컴퓨터시스템

DUSAUV는 세 대의 탑재 컴퓨터가 있어 각각 수중 매니플레이터 제어, 수중 복합항법, 및 잠수정 제어를 담당하며 이더넷을 통하여 서로간의 정보를 주고받는다. 제어 및 항법컴퓨터는 SBS Technologies Inc.사의 CL7으로 선정하였다. CL7은 CPCI all-in-one Celeron/ PentiumIII 3U 싱글보드 컴퓨터로 체적이 상대적으로 작고 윈도우 계열, VxWorks, QNX, Linux 등 다양한 OS를 지원한다. 수중 매니플레이터의 컨트롤러는 DELTA TAU사의 Universal PMAC 1.5 Lite로 선정하였다.

제어컴퓨터와 잠수정의 다양한 탑재 센서, 구동장치와의 실시간 인터페이스를 위하여 SBS GreenSpring사의 AD, DA, DI/O, 및 시리얼 IndustryPack 카드들을 사용하며, ISA 버스를 이용하는 IP(IndustryPack) 카드와 CPCI 버스 사이 인터페이스를 위하여 SBS Technologies Inc.사의 CPCI-100A 3U 캐리어 보드(2개의 IP 슬롯을 내장)를 사용한다. 2.1절에서 언급하다시피 DUSAUV는 HG1700 AG11 IMU를 주 항법센서로 사용한다. HG1700은 SDLC (Synchronous Data Link Control) 방식으로 출력되며, HG1700에서 전송하는 SDLC 신호는 SDLC 컨버터를 통하여 병렬신호로 전환되어 항법컴퓨터의 병렬포트로 전송되도록 제작되었다.

2.5 광통신시스템

DUSAUV는 광케이블을 통하여 각종 아날로그 영상정보와 다양한 디지털 신호들을 선상관제시스템으로 전송하여 잠수정 작업자의 통제 및 모니터링에 이용되며 동시에 작업자의 제어 및 이벤트 명령을 수신하여 상용한 미션을 수행하게 된다. DUSAUV의 광통신시스템은 Focal사의 907 모델을 사용하였으며, 이 모델은 3개의 비디오영상채널, 4개의 RS232채널, 그리고 이더넷, Trittech Arcnet, Hydrophone/ Analogue를 포함한 다양한 확장카드들을 지원한다. 구축한 광통신시스템은 파장 분할 다중화방식(WDM: Wavelength Division Multiplexing)을 채택하였고 단일모드 광통신방식을 사용하고, 상대적으로 신호확산이 적어 보다 넓은 대역폭을 제공할 수 있는 1310nm대역을 상향링크로 하고 1550nm대역을 하향링크로 사용한다.

3. DUSAUV 소프트웨어 아키텍처

DUSAUV는 무인잠수정의 운항제어 및 수중 매니플레이터 기술개발의 시험플랫폼으로 개발되었으며, 아울러 잠

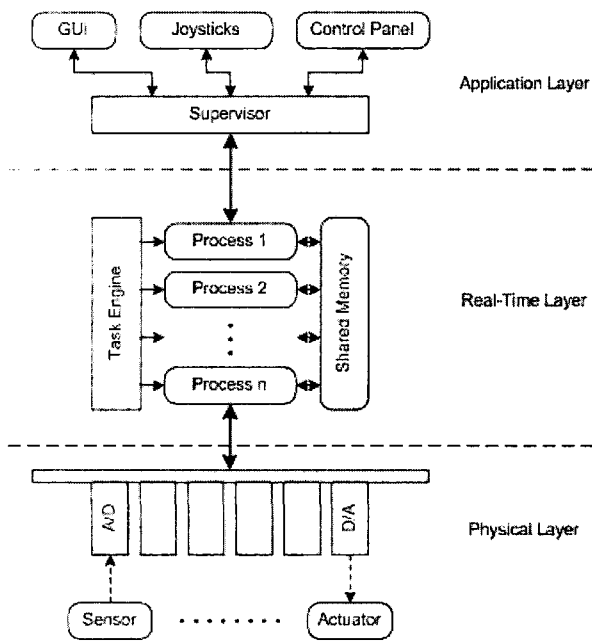


Fig. 3. DUSAUV control s/w architecture

수정의 제어 소프트웨어는 응용계층, 실시간계층, 및 물리 계층으로 구성된 전형적인 계층형 아키텍처를 가진다. 설계된 제어 아키텍처 블록 다이어그램은 Fig. 3과 같다.

3.1 응용계층

DUSAUV의 선상관제시스템으로 구성되는 응용계층은 잠수정에서 전송되는 카메라 및 소나영상을 포함한 다양한 센서데이터에 대한 모니터링에 기초하여 감독자 또는 조종자의 명령/이벤트데이터를 생성하고 이를 잠수정에 전달한다. 또한 응용계층은 추후 분석과 처리를 위하여 모든 필요한 원시데이터들을 포함한 각종 정보데이터들에 대한 기록기능도 가진다. DUSAUV의 운용모드는 크게 체크모드, 메뉴얼모드, 및 자동모드 세 가지로 나뉜다. 체크모드는 잠수정의 입수가 끝난 후, 각 장비들이 정상적으로 작동하는지 확인하는 단계로 각 센서들에 대한 초기 교정(calibration) 및 잠수정 운행에 필요한 초기값 설정이 이 단계에서 완성된다. 자동모드는 다시 이동모드(목표지점으로 이동, 장애물회피)와 작업모드(수중 매니플레이터 원격 조작, 잠수정 자세유지)로 나뉜다.

3.2 실시간계층

DUSAUV의 실시간계층은 응용계층에서 전달된 감독자 또는 조종자의 이벤트(미션) 명령에 대한 실시간 구현으로 태스크기반(또는 프로세스기반)의 아키텍처(Wang *et al.*, 1993)를 갖는다.

DUSAUV의 실시간계층은 크게 *control()*, *navigation()*, 및 *arm_control()* 3개의 태스크로 나뉘며, Fig. 4와 같이 각 태스크는 다시 자신의 다양한 자식 프로세스(child process)를 갖는다. *navigation()*은 항법컴퓨터에서 수행되

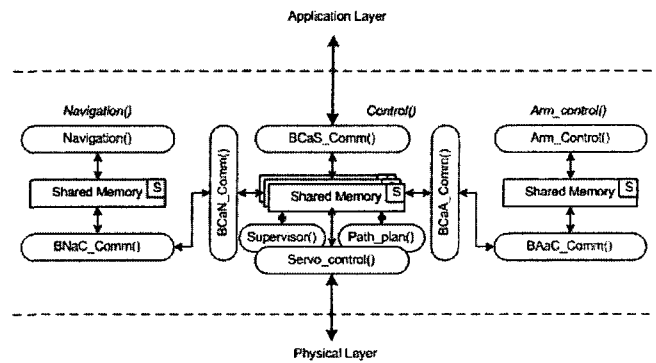


Fig. 4. DUSAUV real-time layer

는 실시간 항법알고리즘으로 IMU와의 인터페이스도 동시에 수행하며, 이더넷을 통하여 제어컴퓨터에 항법결과데이터와 IMU 원시데이터를 전송하고 제어컴퓨터로부터 수중복합항법에 필요한 정보를 얻는다. *arm_control()*는 수중 매니플레이터 컴퓨터에서 수행되는 실시간 제어알고리즘으로 이더넷을 통하여 잠수정의 자세유지에 필요한 매니플레이터의 동적특성과 고성능의 수중 매니플레이터 제어 알고리즘에 필요한 잠수정의 운동정보를 서로 교환한다. *control()*은 타 컴퓨터들과의 이더넷통신을 위한 자식 프로세스 외에도 *supervisor()*, *path_plan()*, 및 *servo_control()* 세 개의 자식 프로세스를 추가로 생성한다. *path_plan()*은 응용계층에서 전송되는 이동명령(목표지점 좌표)과 실시간 항법알고리즘의 결과데이터를 이용하여 목표지점까지 최단경로를 계획한다. 장애물회피 알고리즘도 이 태스크에서 동시에 수행된다. *supervisor()*는 잠수정 탑재 배터리용량 및 컴퓨터들의 운행상황, 누수 등 비상사태에 대한 감시 태스크로 이상이 발견되면(배터리 용량부족) 목표지점을 지원모션으로 정하거나, 또는 전원공급을 차단(컴퓨터이상 및 누수 시)하는 동시에 라디오 비콘(beacon)을 작동시켜 해표면에서의 회수작업이 가능하게 한다. DUSAUV는 양성부력을 갖도록 설계되어 있으므로 정지 시에는 자연적으로 표면에 부상하게 된다. *servo_control()*은 구동장치에 대한 서보제어와 센서데이터에 대한 샘플링을 동시에 수행한다.

DUSAUV는 실시간 운용시스템인 QNX를 OS로 선정하였다. QNX는 메시지(message), 프록시(proxy), 공유메모리(shared memory), 파일 I/O 등 다양한 IPC(Inter-Process Communication)를 지원한다(Kolnick, 1998). 일반적으로 메시지는 간편한 사용방법으로 가장 널리 사용되는 IPC 방법으로서 LAN상의 동일한 플랫폼시스템사이 메시지교환이 가능하나, 매번 메시지전송 시 메모리복사가 일어나고 메시지전송 후 회답(reply)을 수신하기까지 CPU가 블록(blocking)되어 실시간성능이 다소 떨어지는 단점이 있다. 이에 비해 공유메모리는 노드(node)사이 액세스가 불가능하지만 동일한 프로세서에서는 메모리복사가 필요 없기에 가장 빠른 정보교환수단이다. DUSAUV의 동일한 컴퓨터내의 프로세스 사이 데이터교환은 공유메모리를

통하여 수행되며 세마포(semaphore)를 이용하는 멀티 프로세스사이 배타적(exclusive) 액세스를 지원한다. 또한 세마포에 대한 wait, 및 post 기능을 이용하여 임의의 프로세스를 트리거(trigger)할 수 있어 프로세스 사이 시간동기를 맞추는 수단으로도 사용하였다.

DUSAUV는 모두 4대의 컴퓨터가 이더넷으로 연결되어 잠수정의 제어시스템을 구성하며, 네트워크구조는 제어컴퓨터를 중심으로 하는 성(star)형 토폴로지(topology)를 가진다. 제어컴퓨터와 타 컴퓨터사이 데이터통신은 TCP/IP 소켓을 이용하며 제어컴퓨터가 항상 서버로 설정되는 반면에 데이터통신은 서버가 먼저 통신요청을 하는 방식으로 수행되며 컴퓨터사이 정보교환은 모두 제어컴퓨터의 상용한 공유메모리에 대한 읽고 쓰기를 통하여 수행된다. 이러한 네트워크 구조는 전체 제어시스템의 통신로드를 최소로 할 수 있으며 동시에 성형 토폴로지의 중심에 있는 제어컴퓨터에 병목현상을 해소할 수 있다.

3.3 물리계층

물리계층은 세 계층에서 유일하게 하드웨어와 연관된 계층으로 실시간계층의 최하위-레벨 제어인 서보제어 프로세스와 각종 센서 및 구동장치와의 인터페이스를 의미한다.

앞에서 언급한바와 같이 DUSAUV는 CPCI 버스를 채용한 CL7을 제어컴퓨터로 선정하였으며, 제어컴퓨터와 다양한 센서 및 구동장치와의 인터페이스를 위하여 A/D, D/A, DI/O, 및 시리얼 IP 카드가 필요하며, ISA 버스를 이용하는 IP 카드와 CPCI 버스사이 인터페이스를 위하여 CPCI-100A 캐리어 보드(2개의 IP 슬롯을 내장)를 사용하며, 아울러 캐리어 보드 액세스에 필요한 디바이스 드라이버 작성이 필요하다(Lee, et al., 2002).

4. 수조실험

설계된 잠수정의 제어 소프트웨어 아키텍처를 이용하여 한국해양연구원 해양공학 수조에서 DUSAUV의 운항제어 실험을 수행하였다.



Fig. 5. DUSAUV basin test at KRISO

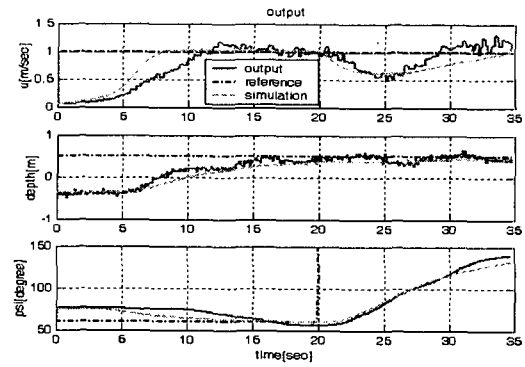


Fig. 6. DUSAUV basin test results

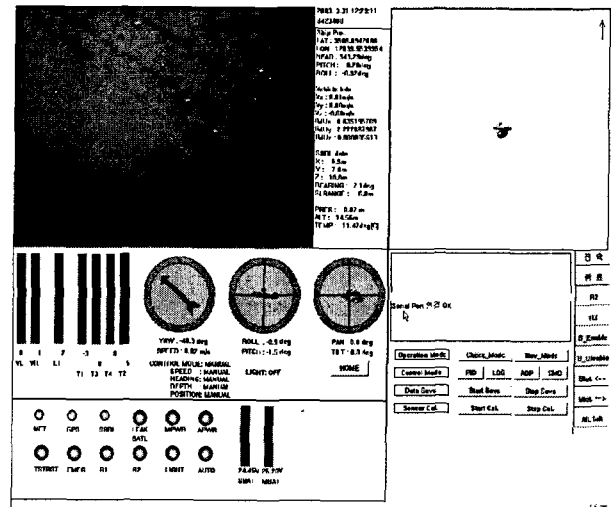


Fig. 7. DUSAUV GUI

해양공학 수조는 수심이 3.5m, 폭이 30m, 그리고 길이가 50m로 대각선방향으로 운행하도록 잠수정을 제어하였다. 수조실험은 잠수정이 약 0.1m/s의 초기 전진 속도를 가진 상태에서 사전에 설계된 시나리오에 따라 변경되는 속도, 심도, 방위각의 명령 값을 추종하도록 진행하였으며(Fig. 5) 실험에서 사용된 서보제어입력은 LQ 기법을 이용하여 계산되었다(Jeon, et al., 2003).

실험결과는 Fig. 6에서 표기한바와 같이, 초기 목표값이 속도 1m/s, 심도 0.5m, 그리고 방위각이 60도로 주어졌을 때, 속도, 심도, 방위각이 모두 명령값을 잘 추종하며 이는 시뮬레이션 결과와도 잘 일치함을 확인할 수 있다. 전진속도의 초기 명령 추종응답이 시뮬레이션 결과에 비해 지연되는 것은 초기 출발 시 잠수를 위해 발생하는 중동요 모멘트에 의해 Fig. 5와 같이 프로펠러가 공기 중으로 노출되면서 추진력의 손실이 발생하기 때문인 것으로 추정된다. Fig. 7은 수조실험에서 사용되었던 선상관제시스템의 GUI화면이다.

5. 결 론

최근 들어 무인잠수정기술에 대한 연구개발이 더욱

활성화되는 시점에서, 한국해양연구원에서는 무인잠수정의 운항제어 및 수중 매니플레이터 기술개발의 시험플랫폼으로 반자율 무인잠수정 DUSAUV를 개발하였다. 본 논문은 DUSAUV를 위한 실시간 제어 아키텍처 설계에 관한 내용으로 응용계층, 실시간계층, 및 물리계층으로 구성되는 계층형 제어 아키텍처의 각층의 구성, 계층사이 인터페이스 및 미션수행에 관하여 상술하였다. 설계된 제어 아키텍처를 이용한 해양공학 수조에서의 운항제어실험을 통하여 설계된 제어시스템의 성능을 검증할 수 있었다. 또한, 시스템개발 중에서 봉착한 많은 애로사항은 훗날 유사한 수중 로봇시스템 연구개발에 필수적인 경험교훈을 제공하는 계기가 되었다.

후 기

본 논문은 한국해양연구원이 한국과학기술부의 지원으로 수행했던 “무인잠수정의 운항제어 및 매니플레이터 기술개발”과제와 한국해양수산부의 지원으로 수행했던 “차세대 심해무인잠수정 개발(III)”과제 연구결과의 일부임을 밝히는 바이다.

참 고 문 헌

- Bennett, A. (1993). "Combining Planning With Reactive Architectures in an Autonomous Underwater Vehicle", *Proc. of the 8th Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology*, Durham, New Hampshire, pp. 437-445.
- Bennett, A. A. and Leonard, J. J. (2000). "A Behavior-Based Approach to Adaptive Feature Detection and Following with Autonomous Underwater Vehicles", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 25, No. 2, pp. 213-226.
- Barnett, D. and McClaran, S. (1996). "Architecture of the Texas A&M Autonomous Underwater Vehicle Controller", *Proc. of the 1996 Symposium Autonomous Underwater Vehicle Technology*, Monterey California, pp. 231-237.
- Brooks, R. A. (1986). "A Robust Layered Control System For A Mobile Robot", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-2, No. 1, pp. 14-23.
- Chung, G. B., Eom, K. S., Yi, B.-J., Shu, I. H., Oh, S.-R., and Cho, Y. Z. (2000). "Disturbance observer-based robust control for underwater robotic systems with passive joints", *Proc. of ICRA 2000*, San Francisco, USA, pp. 1775-1780.
- Healey, A. J., Marco, D. B., and McGhee, R. B. (1996). "Autonomous Underwater Vehicle Control Coordination Using A Tri-Level Hybrid Software Architecture", *Proc. of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Minneapolis, Minnesota, pp. 2149-2159.
- Hong, S. W., Lee, P. M., Jeon, B. H., and Lee, C. M. (2000). "Design of an Underwater Vehicle-Mounted Manipulator System and Non-regressor based Adaptive Control of It", *Proc. of ISOPE 2000*, Seattle, USA, pp. 314-319.
- Jeon, B. H., Lee, P. M., Li, J. H., Hong, S. W., Kim, Y. G., and Lee, J. (2003). "Multivariable optimal control of an autonomous underwater vehicle for steering and diving control in variable speed," *Proc. of Oceans 2003 MTS/IEEE Conf.*, San Diego, CA, pp. 2659-2664.
- Kim, T. K. and Yuh, J. (2004). "Development of a real-time control architecture for a semi-autonomous underwater vehicle for intervention missions", *Control Engineering Practice*, in press.
- Kolnick, F. (1998). *The QNX4: Real-time Operating System*, Basis Computer Systems Inc. September, Canada.
- Lee, C. M., Lee, P. M., and Seong, W. J. (2003b). "Underwater Hybrid Navigation Algorithm Based on an Inertial Sensor and a Doppler Velocity Log Using an Indirect Feedback Kalman Filter", *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 17, No. 6, pp. 83-90.
- Lee, P. M., Li, J. H., Lee, C. M., and Jeon, B. H. (2002). "A Study on the Design of a Real-time Operating System for Unmanned Underwater Vehicles Based on QNX," *Journal of Ships & Ocean Engineering*, Vol. 33, pp. 75-88.
- Lee, P. M., Lee, C. M., Kim, S. M., Jeon, B. H., Hong, S. W., and Aoki, T. (2003a). "Preliminary Study on the Inertial-Doppler Localization of a Deep-sea Launcher Hanging on Cable", *Proc. of Scientific Submarine Cable 2003 Workshop*, Tokyo, Japan, pp.
- Peuch, A., Coste, M. E., Baticle, D., Perrier, M., Rigaud, V., and Simon, D. (1994). "An Advanced Control Architecture for Underwater Vehicles", *Proc. of Oceans'94*, Brest, France, pp. I-590 - I-595.
- Quek, C. and Wahab, A. (2000). "Real-time integrated process supervision", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 13, pp. 645-658.
- Simon, D., Espiau, B., Castillo, E., and Kapellos, K. (1993). "Computer-Aided Design of a Generic Robot Controller Handling Reactivity and Real-Time Control Issues", *IEEE Transaction on Control Systems Technology*, Vol. 1, No. 4, pp. 213-229.
- Seo, S. J. (2003). *Development of Technologies for Navigation and Manipulator System of a Semi-Autonomous Underwater Vehicle*, Tech. Report, Pusan, Korea.
- Wang, H. H., Marks, R. L., Rock, S. M., and Lee, M. J. (1993). "Task-Based Control Architecture for an Untethered, Unmanned Submersible", *Proc. of the 8th Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology*, Durham, New Hampshire, pp. 137-148.
- Zheng, X. (1992). "Layered control of a practical AUV", *Proc. of the 1992 Symposium Autonomous Underwater Vehicle Technology*, Washington D. C., pp. 142-147.