



심해무인잠수정의 선상원격제어 시스템 개발

□ 이계홍, 이판목, 전봉환 / 해양(연) 해양탐사장비연구사업단
 □ 이상열, 최문호, 정희섭 / 대양전기(주) 기술연구소

1. 서 론

최근 들어 심해생태계조사, 해저 지진/화산조사, 해저열수탐사, 해양자원탐사 등 다양한 심해탐사와 해저 파이프/광케이블의 매설 및 유지보수와 같은 심해작업의 활성화로, 또한 다양한 군사적 측면에서의 수요급증으로 인하여 고성능의 심해탐사장비에 대한 연구개발이 해양연구 분야에서 가장 큰 이슈로 대두되고 있으며 이는 앞으로 더욱 활성화될 전망이다. 다양한 심해탐사장비 가운데서 무인잠수정(ROV: Remotely Operated Vehicle)은 가장 널리 그리고 오랫동안 사용되고 있는 수중로봇(URV: Underwater Robotic Vehicle)으로 로봇공학의 측면에서 볼 때 대표적인 원격조작(Teleoperation)시스템이다.

기존의 로봇에 관한 다양한 제어구조들은 그 구조적 특징의 관점에서 볼 때 크게 세 가지 종류로 즉 계층(hierarchical)구조, 행위기반(behavioral)의 구조, 및 복합(hybrid)구조로 나눌 수 있다. 계획기반(planning-based)의 구조로도 불리는 계층구조[1],[2]의 경우 획득한 센서데이터들에 대한 일정한 처리과정을 거쳐 구현된 월드모델에 근거하여 조작자가 조작명령을 내리며 이는 다시 로봇의 구동장치로 전달된다. 계층구조는 충분한 시간 및 정보가 뒷받침 되는 전제하에서 로봇

에 대한 제어능력 및 안정성 보장에 강한 반면에 긴 시간 지연으로 인하여 동적특성이 강한 환경에서의 신속한 반응이 어려운 단점이 있다. 행위기반구조[3],[4]는 반응기반(reactive)의 구조로도 불리며, 로봇의 개개의 미션은 로봇에 내장된 일련의 사전에 작성된 조건-반응의 프로그램 쌍들의 수행으로 완성된다. 행위기반구조는 모든 가능한 행위들에 대한 사전 조사가 가능하고 행위개수가 적을 경우에 속도가 빠르고 효율적인 장점이 있지만 대부분의 실제응용에 있어서 상기 조건들이 만족하기가 어렵다. 복합구조[5],[6]는 상기 두 종류의 제어구조의 장단점들을 보완하려는 시도에서 형성된 제어소프트웨어구조로, 행위기반의 하위레벨 시스템과 상위레벨의 계획기반의 의사결정 결합형식이 기존에 가장 많이 사용되고 있는 복합구조의 특징이다. 상기 세 가지 서로 다른 제어구조를 갖는 로봇을 각각 텔레오퍼레이터(Teleoperator), 로봇(Robot), 및 원격조작로봇(Telerobot)으로 부르며[7] 이 중에서 텔레오퍼레이터와 원격조작로봇 두 가지 종류의 로봇시스템이 함께 전체 원격조작시스템을 구성하고 있다.

원격조작이란 로봇, 좀 더 구체적으로 얘기하자면 로봇에 부착된 종속 출력장치 즉 다양한 센서와 구동장치에 대한 원격제어를 뜻한다[8]. 아울러 원격조작시스템에서 조작자(인간)와 로봇사이의 통신은 필수적이

2.1.1 장비배치

무인잠수정시스템은 설계 및 사용목적에 따라 부착되는 장비의 종류, 사양이 틀린다. 본 논문에서 다루는 심해무인잠수정시스템은 심해탐사, 수중작업 등 다양한 목적으로 개발되었으며 아울러 다양한 장비들이 다양한 목적으로 해미래 및 해누비에 배치된다.

해미래 장비배치

- 해미래에는 전진방향에 2대, 수평방향에 2대, 수직방향에 2대 총 6대의 추진기가 부착되어 잠수정의 6자유도운동을 제어한다.
- 각각 7(6+grip)자유도의 표준형과 확장리치형을 한 쌍으로 하는 듀얼 매니플레이터가 해미래 전방에 부착되어 수중 정밀작업을 수행하게 된다.
- 심해무인잠수정의 항법시스템은 관성항법과 USBL(Ultra Short BaseLine)시스템이 결합된 복합구조를 갖는다. 이를 위하여 해미래에는 관성항법센서(Inertial Measurement Unit), 속도계(Doppler Velocity Log), 고도계, 심도계, CTD, 등 항법센서들과 USBL 리스폰더가 부착된다.
- 해미래의 운행 및 탐사목적으로 멀티빔(Multi-beam)소나, 프로파일링소나, 전방향탐지소나가 부착된다.
- 고화질의 과학탐사를 위하여 3CCD(Charge-Coupled Device)카메라와 디지털 스틸카메라가 각각 한 대씩 해미래 전방의 팬/틸트 유닛에 부착되어 있으며, 저조도에서의 해미래운행을 위하여 SIT(Silicon-Intensifier Target)카메라 한 대가 HID(Hight Intensity Discharge)라이트와 함께 전방에 고정되어 있다. 이외에도 칼라카메라 한 대와 흑백카메라 4대가 HMI(Halogen Metal Iodide)라이트 및 백열등과 함께 해미래의 일반적인 관찰 및 매니플레이터조작을 위하여 부착되어 있다.

해누비 장비배치

- 해누비에는 수평방향의 추진기 2대가 부착되어 자세를 제어한다.
- 해누비에도 USBL리스폰더와 관성항법센서, 고

도계, 심도계가 부착되어 복합항법시스템 구성이 가능하다.

- 해미래 모니터링용으로 전방향탐지소나가 부착된다.
- 해미래 모니터링 및 2차 케이블의 꼬임을 관찰하기 위하여 SIT카메라가 HID라이트와 함께 팬/틸트 유닛에 장착되며, 흑백카메라 한 대가 백열등과 함께 수중진수장치의 후미에 부착된다.

2.1.2 데이터전송

최근 들어 광통신기술의 발전에 힘입어 단일모드 광케이블에 12Gbps의 데이터정보가 전송 가능한 광모뎀 제품이 출시되고 있다[10]. 이러한 기술로 인하여 무인잠수정과 같은 중, 대형 로봇시스템의 실시간 제어시스템을 구축할 경우, 해저에서 수집한 모든 정보를 선상에서 실시간으로 처리가능하게 되므로 전체 제어시스템의 안정성 및 신뢰성을 높일 수 있다.

2.1.3 데이터처리 및 의사결정

데이터처리 및 의사결정은 전체 페루프구조에서의 핵심블록이며 또한 선상제어시스템의 주목적이기도 하다. 해미래와 해누비에 부착된 다양한 센서들에서 전송된 신호데이터들은 다양한 영상출력과 GUI화면출력을 통한 가시화(visualization)를 거쳐 특정된 월드모형을 구성하며 이 모델에 근거하여 조작자는 상용한 의사결정을 내리게 된다.

2.2 선상제어시스템의 하드웨어구성

선상제어시스템은 심해무인잠수정 전체 시스템에 대한 제어, 통제부분으로 앞에서 서술한 실시간 데이터처리 및 의사결정 기능 외에도 데이터기록, 데이터베이스서버, 웹서버 등 다양한 기능들도 지원가능하다.

무인잠수정의 선상제어시스템과 같은 중·대형 제어시스템을 구축할 경우, 소수의 핵심기술외의 대부분 하드웨어 및 소프트웨어부품들은 신뢰성이 증명된 기성품들을 구입하여 구성하는 것이 전체 시스템의 신뢰성을 높이고 연구개발시간 및 상대적인 비용 절감의 효과를 얻을 수 있다[9]. 기존의 많은 기성품들은 최적

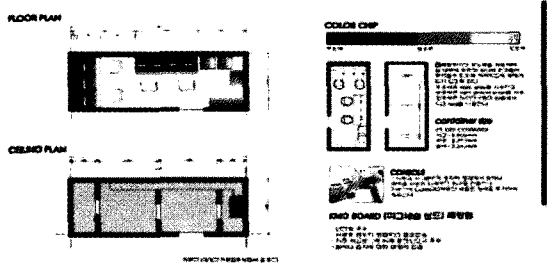


그림 3 선상제어실 내부배치



그림 4 선상제어실 내부전경

템, 그리고 비디오시스템을 포함한다.

■ 선상네트워크는 소프트웨어적인 측면에서 볼 때 스타형(Star Topology)구조를 가지며 여기서 UUV서버가 중앙에 위치하며 선상제어시스템의 모든 컴퓨터들은 이 서버를 통하여 정보를 주고받는다. 이 외에도 UUV서버는 전체 제어시스템에 대한 감독, 데이터로깅 및 데이터베이스 서버기능까지 수행한다.

■ 선상비디오시스템은 비디오서버기능까지 내포하고 있어 선상제어실 밖에서 이더넷을 통하여 제어실내의 임의의 영상신호들을 실시간으로 모니터링 할 수가 있다.

구축한 선상제어시스템은 20피트 표준 컨테이너(그림 3) 내부에 장착되며 제어실 내부의 전경은 그림 4와 같다. 그림 3에서 표시된바와 같이 초기엔 파일럿 & 엔지니어 콘솔과 감독자 & 항해사 콘솔이 서로 수직으로 배치되었던 것이 실제제작 시에는 장작의 편리를 위하여 일자로 배치하였다.

2.3 선상제어시스템의 소프트웨어구성

선상제어시스템의 소프트웨어구조는 그림 5와 같이 전형적인 계층구조를 갖는다. 종속장비시스템은 갑판위의 작업을 모니터링하기 위한 팬/틸트 및 그에 부착된 카메라 등 선상의 장비들도 포함하지만 주로는 해미래와 해누비에 부착된 다양한 센서장비 및 구동장치들에 대한 하위레벨의 인터페이스 및 제어를 뜻한다. 아울러 엄격히 얘기하면 선상제어시스템은 태스크제어계층과 최상위의 응용계층 두 가지만 포함한다.

앞에서 언급하다시피 선상제어시스템과 해미래 및 해누비는 광케이블을 통하여 데이터를 주고받으며 본 과제에서 구축한 광통신은 비디오영상채널과 시리얼채널 두 가지로만 구성된다. 즉 카메라영상신호를 제외한 모든 인터페이스는 시리얼통신을 이용한다. 그림 5에서 시리얼장비 서버는 이러한 시리얼채널을 TCP/IP채널로 전환(거꾸로도 성립됨)시켜 선상이더넷에 연결되어 있는 모든 컴퓨터들에서 쉽게 원하는 시리얼채널(가상장비)에 액세스할 수 있게 해

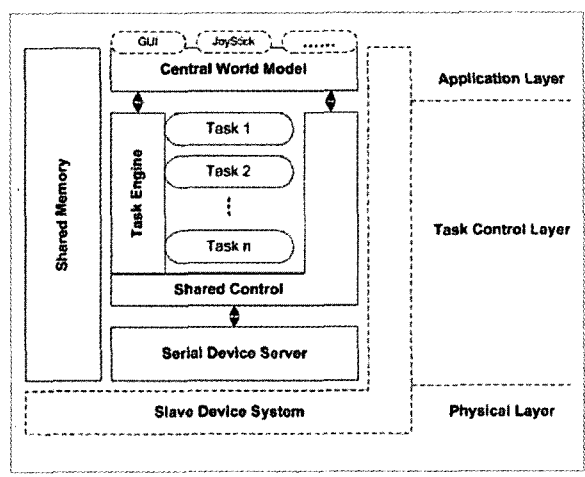


그림 5 선상제어시스템의 소프트웨어구조

2.2.3 확장시스템 콘솔

확장시스템 콘솔은 2개의 19인치 랙으로 구성되며 그림 2에서 표시한 바와 같이 UUV서버와 광모듈시스

준다. 이 서버는 TCP/IP 서버 및 클라이언트, UDP, 그리고 Real Com 네 가지 모드까지 지원하므로 선상제어 시스템을 구축할 때 다양한 가상장비 접속이 가능하게 되어 효율적인 소프트웨어구성이 편리한 장점이 있다.

공유제어는 선상제어시스템내의 모든 프로세스들의 가상장비에 대한 액세스를 제어한다. 일반적으로 하나의 가상장비에 대하여 최대 4개의 동시 액세스가 가능하지만 이럴 경우 통신속도에 영향을 주게 되며 아울러 특별한 경우를 제외하고는 하나이상의 동시 액세스는 사용하지 않는 것이 바람직하다. 태스크엔진은 제어시스템내의 모든 태스크들에 대한 스케줄링, 실행/정지 등을 포함하는 모든 제어를 전담한다. 공유메모리는 UUV서버내에 위치하고 있으며 제어시스템내의 모든 프로세스들은 컴퓨터단위로 TCP/IP 서버/클라이언트 소켓을 통하여 이 공유메모리에 접속하여 필요한 정보를 획득하며 동시에 자신의 특정된 정보를 공유메모리에 저장한다. 아울러 컴퓨터들 사이 모든 정보교환은 이 공유메모리를 통하여 수행된다.

가상장비들에서 전송된 모든 센서정보들은 다양한 카메라영상들과 함께 특정된 월드모델을 구성한다. 이 월드모델에 근거하여 전체 무인잠수정시스템에 대한 조작자의 모니터링 및 감독이 이루어지고 나아가서 최종 의사결정이 수행된다. 조작자와 월드모델사이 인터페이스는 주로 다양한 터치스크린 GUI와 3세트의 다기능 조이스틱을 통하여 이루어진다. 그림 6은 구성된 파일럿 및 엔지니어용 GUI로서 시스템 및 장비별로 하위화면(총 16개의 하위화면) 스위칭이 가능하여 원하는 모니터 및 제어가 이루어진다.

3. 선상비디오시스템

심해무인잠수정시스템의 비디오 영상

신호는 해미래/해누비에 부착된 12채널의 카메라 영상 신호, 6채널의 소나신호, 그리고 3채널의 갑판 카메라 영상신호로 총 21채널의 비디오출력신호들로 구성된다. 디지털비디오시스템은 이 비디오 영상신호들에 대한 실시간 처리부분으로 주로 실시간 모니터링 및 저장 기능을 수행한다. 그림 7은 구축한 선상비디오시스템의 블록다이어그램을 보여준다.

21채널의 비디오 영상신호는 비디오신호분배기(VDA: Video Distribution Amplifier)시스템을 거쳐 3분할된 신호가 다시 비디오 매트릭스 시스템에 입력된다. 비디오 매트릭스의 주요한 기능의 하나는 입력신호에 대하여 사용자가 원하는 임의의 채널조합을 출력시키는 것이다. 임의의 채널조합출력은 다시 5대의 화면분배기(Multiplexer)를 거쳐 파일럿 & 엔지니어 콘솔에 위치한 3대의 24인치 멀티스크린 LCD 모니터와 1대의 17인치 멀티스크린 LCD 모니터, 감독자 & 항해사 콘솔에 위치한 1대의 17인치 멀티스크린 LCD 모니

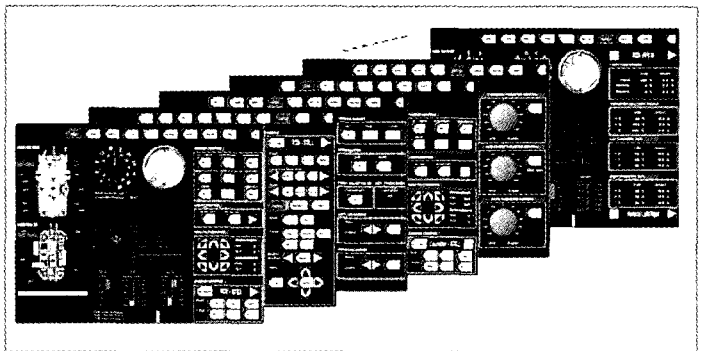


그림 6 선상제어시스템의 GUI구성

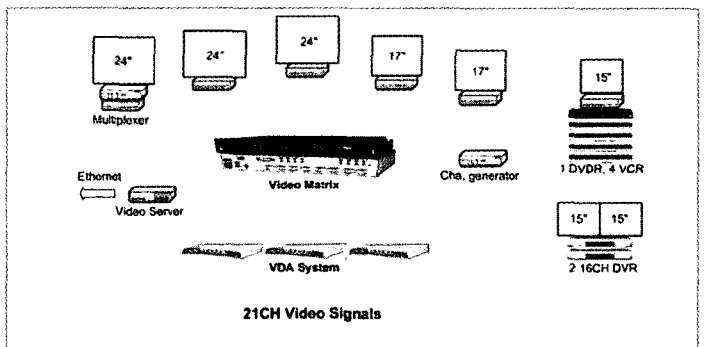


그림 7 선상비디오시스템의 블록다이어그램

터로 출력되어 해미래/해누비의 실시간 운영에 필요한 다양한 시각정보를 디스플레이 한다.

비디오신호분배기를 거쳐 3분할된 신호 중에서 한 세트는 두 대의 16채널 VDR에 연결되어 실시간 저장되며 동시에 두 대의 멀티스크린 모니터를 통하여 모니터링이 가능하다. 해미래에 부착된 과학탐사용 고화질 카메라 영상신호는 DVD를 이용하여 실시간 저장되며 그 외의 4채널의 영상신호는 사용자가 상황에 따라 선정하여 VCR에 저장한다.

또한 21채널의 비디오 영상신호 중에서 임의의 4채널의 영상신호는 비디오서버를 거쳐 인터넷으로 전송이 가능하므로 지원모션에서 선상제어실외의 임의의 위치에서 제어실내의 상황 및 해미래/해누비의 운영상황을 실시간으로 모니터링이 가능하다.

4. 결 론

현재 한국해양연구원에서 추진 중인 심해무인잠수정과제는 막바지제작단계에 접어들었으며 올해 4월에 실험역시험이 계획되어 있다. 선상제어시스템은 현재 하드웨어제작 및 성능테스트가 완료되었으며 소프트웨어부분은 전체제어시스템의 구조적구축, 각종 센서 인터페이스, 조이스틱 및 GUI를 이용한 각종 구동장치 제어모듈, 각종 GUI구성 등 대부분의 내용이 완성된 상황이며 앞으로 다가올 수조실험을 통하여 센서보정을 포함한 많은 수정보완이 필요할 것으로 예상된다. 또한 올해 4월과 하반기에 있을 실험역시험을 통하여 많은 실제운영경험과 필요한 정보데이터들을 얻을 수 있을 것으로 기대하며 아울러 이에 기초하여 보다 안정하고 신뢰성이 높으며 조작자의 실제운영의 편리와 효율성의 최적화에 보다 근접한 선상제어시스템으로 여러분들과 대면할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Albus, J. S., Lumia, R., and McCain, H., "Hierarchical Control of Intelligent Machines Applied to Space Station Telerobots," IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, vol. 24(5), pp. 535-541, 1988.
- [2] Wang, H. H., Marks, R. L., Rock, S. M., and Lee, M. J., "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, 1993.
- [3] Brooks, R. A., "A Robust Layered Control System For A Mobile Robot," IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. RA-2(1), pp. 14-23, 1986.
- [4] Arkin, R. C., Behaviour-based robotics. Cambridge, MA:MIT Press.
- [5] Simon, D., Espiau, B., Castillo, E., and Kapellos, K., "Computer-Aided Design of a Generic Robot Controller Handling Reactivity and Real-Time Control Issues," IEEE Trans. Control Systems Technology, vol. 1(4), pp. 213-229, 1993.
- [6] Bennett, A., "Combining Planning With Reactive Architectures in an Autonomous Underwater Vehicle," Proc. of the 8th Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology, Burham, New Hampshire, pp. 437-445, 1993.
- [7] Sheridan, T. B., "Teleoperation, Telerobotics and Telepresence: A Progress Report," Control Eng. Practice, vol. 3(2), pp. 205-214, 1995.
- [8] Sayers, C., Remote Control Robotics, Springer-Verlag New York Inc., USA, 1998.
- [9] Whitcomb, L. L. and Yoerger, D. R., "A New Distributed Real-Time Control System for the JASON Underwater Robot," Proc. of the IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems, Yokohama, Japan, pp. 368-374, 1993.
- [10] <http://www.prizminc.com/products.asp>