

논문 2017-12-36

무인수상정에서의 원격운용통제 및 자율수준을 고려한 비상모드 알고리즘

(Emergency Mode Algorithm Considering Remote Operation/Control and Autonomous Level of Unmanned Surface Vehicle)

윤 종 택*, 김 용 이, 백 재 웅, 임 재 현, 유 찬 우, 김 정 훈

(Jong-Taek Youn, Yongi Kim, Jae Woong Baik, Jae Hyun Lim, Chan-Woo Yu, Jung-Hoon Kim)

Abstract : In remote USV (Unmanned Surface Vehicle) maritime operation, the remote operation and control technic and autonomous control technic is required and the emergency mode algorithm is needed certainly for sailing and accomplishing various surveillance, reconnaissance, and underwater search missions of USV. In this paper, we review the countermeasures in emergency situation of the existing USV system (Barracuda) and propose the emergency mode algorithm considering the operation and control, and autonomous control level for the stable USV operation in case of emergency. We analyzed the autonomous control level in view of the mission complexity and environmental difficulty, and human interface, and verified the performance of the autonomous control level when we apply four emergency mode algorithms. It is expected that more stable and reliable operation and control are possible if the proposed algorithm is applied to the environments requiring the various multi-mission USV sailing and mission achievement

Keywords : Autonomous control level, Emergency mode, Remote operation and control

1. 서 론

최근 운용 영역에 따라 수상에서 임무를 수행하는 무인수상정 (USV: Unmanned Surface Vehicle)은 원격운용통제와 자율제어시스템 기술로 기존의 유인정으로는 제한되는 임무를 수행할 수 있는 능력을 확보하여 미래 전장 환경에 많은 위험이 예상되는 임무, 레이더 사각지대 감시와 다양한 형태의 감시정찰, 기뢰의 탐색, 재난/재해 시 초동 조치 등 복합 임무의 수행을 가능케 할 수 있도록 연구가 진행되고 있다. 임무에 따라 유인함의 접근이 어려운 위험 해역의 폭발물 탐지 및 추정, 연안

또는 항만 감시, 정보 수집, 특수 지역의 지형 확인 및 물체 탐지와 위치 추정 등의 임무를 수행하는 정보감시정찰용, 기뢰의 탐지, 소해, 무력화 임무를 수행하는 대기뢰전용, 일정해역의 적 잠수함을 감시 및 추적하고 특수지역을 통과하는 적 잠수함을 감시하며 위험 속에 묶어 두는 임무를 수행하는 잠수함전용, 연안 순찰 및 항구 경비임무, 특수작전 지원 업무, 수상함에 대한 공격 임무를 수행하는 대함전용으로 구분된다 [1]. 이러한 임무 목적을 달성하기 위해서는 통제소에서 운용자는 원격 또는 사전에 설정된 경로점을 활용하여 목표지점까지 무인수상정의 자율운항을 통제하여 운용한다. 작전 해역 또는 기지 주변의 레이더 사각지역 감시와 미식별 물체에 대한 표적정보 전송 등의 임무수행을 목적으로 운용개념 및 개발에 적용되고 있다 [2, 3]. 원격통제기는 무인수상정 임무계획을 설정하여 자율 임무를 수행하거나, 무인수상정으로부터 수신한 정보를 통합처리하여 운용 상태를 모니터링하면서 원격으로 통제하는 역할을 수행한다. 자율제어시스템

*Corresponding Author (jtyoun37@lignex1.com)

Received: July 31 2017, Revised: Aug. 29 2017.

Accepted: Sep. 4 2017.

J.T. Youn, Y. Kim, J.W. Baik: LIG Nex1

J.H. Lim: Network Customizing Technologies Inc.

C.W. Yu, J.H. Kim: ADD

은 감시정찰 등 임무를 수행하는 임무장비를 통제하고 항로, 운항속도 등 운항장비를 자율 제어하여 통제하도록 운용개념 및 개발에 적용되고 있다.

무인수상정의 임무장비로는 레이더, EO/IR을 주로 탑재하고 있으며, 원격통제기의 명령을 받아 작전해역의 레이더 탐지 정보와 주/야간 EO/IR 동영상 정보를 획득하는 역할을 수행한다.

무인수상정의 자율 운항기는 목표지점까지 경로상에 존재하는 장애물을 회피하여 자율 운항하는 역할을 수행한다.

이러한 역할과 임무 목적을 달성하기 위해서는 원격통제 및 자율제어시스템이 구현되어야 한다. 특히, 임무 수행과 운항에 직접적인 영향을 미치는 운용 상태와 운용모드의 계획과 정보 처리는 중요한 요소로 적용되어 설계가 이루어져야 한다. 여기서 무인으로 운용되는 수상정의 특성상 자율수준을 고려한 비상상태에서의 효율적이고 안정적인 운용통제와 자율제어 보장 및 항상 방안과 관련된 연구가 필요하다.

기존의 일반적인 경우 자율 수준을 고려한 안정된 운용을 기대하기 어렵다. 기존 무인수상정인 바라쿠다에서의 비상상황시의 방법을 검토하고 적용된 자율수준을 확인하여 비상상황에서 보다 안정된 운용을 개선하기 위한 방법을 모색하도록 한다.

본 논문에서는 자율수준에 대한 정의와 내용을 살펴보고 이를 고려한 다양한 상황이 적용된 비상모드 알고리즘을 제안한다. 원격운용통제 및 자율수준을 고려한 비상모드 알고리즘을 통해 성능 향상이 가능하다.

제안한 알고리즘은 시스템 분석을 수행하여 모델링 및 분석을 통해 데이터 흐름도와 슈도 코드(Pseudo Code)로 제시하고 기존 바라쿠다에서의 비상계획과 자율 수준의 비교를 통해 개선 결과를 확인하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 부분의 고찰 내용을 기술하였다. III장에서는 제안하는 원격운용통제 및 자율수준을 고려한 비상모드 알고리즘을 제시하고 데이터 흐름도를 포함한 구현 방법을 설명하며 IV장에서는 자율수준을 고려한 개선 결과를 확인하고 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

무인수상정과 관련하여 자율수준과 제어에 대한 이해가 필요하다. 해양 무인체계에서 자율 (Autonomy)

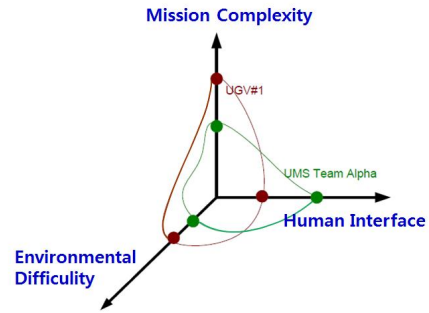


그림 1. 무인정의 자율 수준 관계도

Fig. 1 Relation diagram of USV autonomy level

이란 운용자가 계획된 임무를 수행하기 위해 알고리즘을 통해 무인수상정에 장착된 센서를 이용하여 상황 정보를 인식하고 분석하여 스스로 임무 수행과 자율운항에 대한 의사결정을 하여 실행하는 능력이라고 할 수 있다.

일반적으로 무인수상정의 자율수준은 그림 1과 같이 3가지 환경요소인 임무의 복잡성, 임무 환경의 난이성, 그리고 운용자의 개입정도 (인간 의존성)를 복합적으로 적용하여 정의할 수 있다 [4].

미국 국방성에서는 최근 자율성에 대한 정량적 측정과 평가를 위해 무인시스템을 위한 자율성 레벨 (ALFUS: Autonomy Level for Unmanned System)을 정의하였다. 그림 2는 자율수준에 대해 요약하여 나타낸 그림이다. ALFUS는 임무의 복잡성, 환경의 난이성 그리고 인간의존성 등 세 가지 측면으로 나누어 무인시스템이 갖추어야 할 종합적인 기술 수준을 0~10수준으로 분류하고 있다 [4].

레벨0은 원격조종의 단계를, 레벨1-4는 정해진 프로그램에 의해 작동되는 자동조종 단계, 그리고 레벨5-9는 의사결정 기능을 갖춘 자율조종 단계에 해당된다.

그림 1에서의 임무의 복잡성, 환경의 난이성, 운용자의 개입 정도 (인간의 혼성) 각 축에서 세분화된 고려요소로부터 도출된 수준 값의 평균으로 자율수준은 평가되어질 수 있다 [5, 6].

임무, 환경, 용도, 생존성, 신뢰성, 안정성을 고려 자율수준의 도출과 목표 수립 등이 가능하다. 무인수상정에서는 자율수준 3~6 수준이 예상되고 무인잠수정의 경우 임무 수행간 통제소와 지속적으로 통신 연결 상태를 유지하는 것은 어렵기 때문에 자율수준 7~9의 높은 수준이 필요할 것으로 예상된다.

무인수상정의 운용상태 및 운용모드는 표 1과

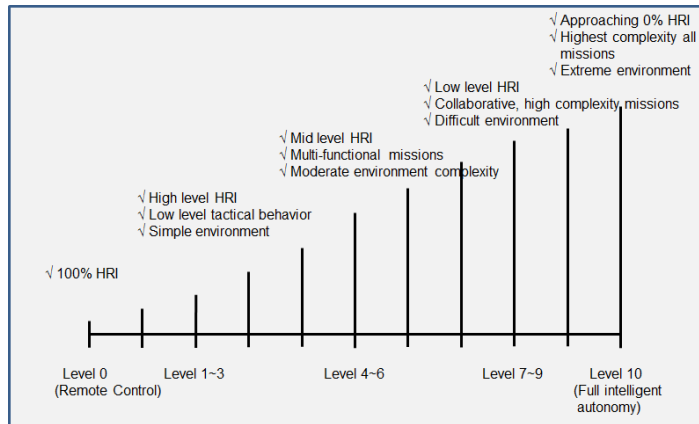


그림 2. ALFUS 자율 수준 요약

Fig. 2 Summary of ALFUS autonomous level

표 1. 운용 상태 정의

Table 1. Definition of operation state

State	Definition
Off State	State that the power is not supplied. The system does not perform any function.
Stand by State	State that the system waits for any input after the power is supplied.
Operating State	State that the system performs the remote control mode/autonomous control mode/emergency mode.

표 2. 운용 모드 정의

Table 2. Definition of operation mode

Mode	Definition
Standby Mode	Mode that the operator can monitor the on-board equipments, can self-test, or perform post analysis.
Remote Control Mode	Mode that the operator controls USV remotely.
Autonomous Mode	The mode that the central controller controls platform, autonomous navigator, and mission equipments according to the mission plan scenario.
Emergency Mode	The mode that the support the functions such as the emergency comeback which protects the USV when the emergent situation such as the communication disconnection, etc.

같이 정의할 수 있고 운용 모드는 표 2와 같이 표현된다 [7].

표 3. 무인수상정 운용시나리오 설계

Table 3. Design of USV operation scenario

Item	Contents
Mission Planning	Power-on the remote-operation controller and input the mission plan.
Power-on /departure	First and second stage power-on and departure using the portable remote controller.
Remote Control Mode Setting	USV and the on-board equipment control using remote operation controller.
Autonomous Mode Setting	USV and the on-board equipment control/monitoring based on mission plan.
State Monitoring and Failure Response (Emergency Mode Setting)	Function that monitors the on-board equipment, responds to failure, and performs the emergency mode during the communication disconnection.

무인수상정의 기본적인 운용 시나리오는 표 3과 같다.

무인수상정 운용통제 및 자율운용할 고려한 구성품간 연동은 그림 3과 같이 표현된다.

상기 무인수상정에서의 운용상태 및 운용모드, 기본 운용 시나리오, 구성품간 연동 설계를 고려한다면 비상모드에서의 자율수준에 대한 이해와 이를 고려한 구성품별 SW기능 할당이 가능하다. 무인수상정 원격통제시스템 주요 기능별 SW형상 할당은 표 4와 같다.

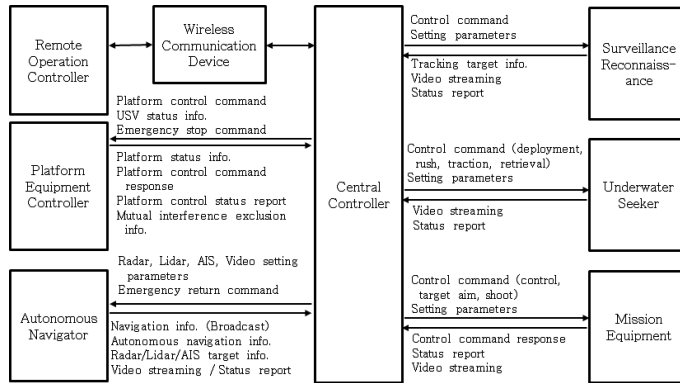


그림 3. 운용통제 및 자율제어를 고려한 연동 설계

Fig. 3 Inter-operation design considering operation control and autonomous control

표 4. 무인수상정 원격통제시스템 기능별 SW형상 할당

Table 4. Software configuration assignment for USV remote control system

Main Function		Operating HW	CSCI	Principal CSC
Power Control and Mission Preparation		Remote Operation Controller	Remote Operation Control	Remote Control / Operation Mode Control / System Management
			Mission Planning	Mission Plan Information Processing / Sea Environment Information Processing / Mission Plan Electronic Map
Remote Control	Movement Control	Remote Operation Controller	Remote Operation Control	Remote Control / Operation Mode Management / Battlefield Information Management
		Central Controller	Autonomous Mission Equipment	Platform Interoperation Information Processing / Autonomous Navigation Interoperation Information Processing / USV Joint Information Processing
	Mission Equipment Control	Remote Operation Controller	Remote Operation Control	Remote Control / Battlefield Information Management
		Central Controller	Autonomous Mission Equipment	Mission Equipment Interoperation Information Processing / USV Joint Information Processing
Autonomous Control		Central Controller	Autonomous Mission Equipment	Mission Plan Information Processing / USV Joint Information Processing / Autonomous Navigation Interoperation Information Processing / Mission Equipment Interoperation Information Processing
		Remote Operation Controller	Mission Planning	Mission Plan Information Processing / Sea Environment Information Processing / Mission Plan Electronic Map
State Monitoring and Failure Response (Emergency Mode)		Remote Operation Controller	Remote Operation Control	Remote Control / Emergency Mode Management
		Central Controller	Autonomous Mission Equipment	USV Joint Information Processing / Platform Interoperation Information Processing / Autonomous Navigation Interoperation Information Processing
Sea Wireless Communication		USV Wireless Communication Device	USV Wireless Communication Signal Processing	Control Modem Management / Interoperation Interface Management / Network Management / MAC , etc.
		Remote Control Station Wireless Communication Device	Remote Control Station Wireless Communication Signal Processing	Control Modem Management / Interoperation Interface Management / Network Management / MAC , etc.

Meggitt사에서 제작한 무인수상정 바라쿠다 (Barracuda)는 고속 해상 작전과 그 외 운용 시나리오 모사를 통해 실제 위협을 모사할 수 있는 고속 해상 보트이다. 바라쿠다는 비상상태에 대해서 다음과 같이 4가지 경우를 정의하고 있고 각각의 경우에 대한 대처 방법을 기술하고 있다 [8].

첫째, 통신 두절시에 대한 경우이다. 낮은 퍼센트의 명령 수신, 낮은 데이터 원격 계측 품질이나 일시적인 LOSS-LINK (링크 상실) 상태가 표시되면, 적절한 링크 품질을 다시 얻기 위해 UTCS (원격운용장비)의 방향으로 보트를 선회시켜라.

둘째, 무인수상정 고장에 대한 경우이다. 낮은 오일 압력이나 높은 냉각수 온도와 같은 엔진 한계 초과 상태는 엔진 차단이 필요할 수도 있지만, 적절한 활동은 개별 상황에 달려있다.

셋째, GPS 오류에 대한 경우이다. GPS 수신기 포착 상실은 상실 기간 동안 위치 갱신을 무효로 만든다. 15초 동안의 짧은 상실은 상관없이 운용을 유지할 수 있다. 더 긴 기간 동안의 상태에 의한 운용은 비디오 전선 장치를 이용하여 계속할 수 있다.

넷째, 임무 장비 오류에 대한 경우이다. 스로틀 명령이 실패할 경우, 표적 운용을 제한할 필요가 없을 수 있다. 전형적인 오류는 지속적인 운용을 할 수 있도록 오류 발생 시 지시된 스로틀 설정을 유지한다. 엔진 정지를 명령하기 전에 표적을 회수 영역으로 복귀시켜라.

비상상태의 복잡성, 비상환경의 난이성, 비상 상태 극복을 위한 인간 의존성을 고려하여 비상모드

정보처리 알고리즘을 수립한다면 효과적인 기술 개발 구현 효과를 기대할 수 있다.

III. 무인수상정에서의 원격운용통제 및 자율수준을 고려한 비상모드 알고리즘

본 장에서는 무인 수상정에서의 비상모드에 따른 효과적인 정보처리 보장을 위한 데이터 흐름도와 비상모드 알고리즘으로 MEMG (Multi-mission EMerGecncy) 알고리즘을 제안한다.

제안 알고리즘에 대한 설계 흐름도 및 슈도 코드를 그림 4부터 그림 15까지 나타내었다.

그림 4부터 그림 9까지는 통신 두절시 비상모드 운용 방안에 대한 데이터 흐름도와 슈도 코드 (Pseudo Code)를 나타낸 것이다.

그림 4는 통신 두절 초기시 운용 절차이다. 운용자는 통신 두절시 긴급복귀 지점 정보를 사전에 설정해 두어야 한다. 이때 긴급 복귀 지점은 원격통제소와 무인수상정 간 안정적인 통신이 가능한 지점으로 설정한다. 통제소 통신기와 USV 통신기 사이의 통신상태가 악화되면 중앙통제기는 비상모드로 전환하고 통제소 소실지점으로 이동하도록 무인수상정을 통제한다. 이러한 통제는 자율운항기로의 긴급 복귀 명령 및 자율운항기로부터 수신되는 플랫폼 제어 명령을 사용하여 이루어진다. 통신 두절 조건 판단은 해상상태에 따라 일시적으로 통신 품질이 저하되는 상황일 때 발생할 수 있음을 고려하여,

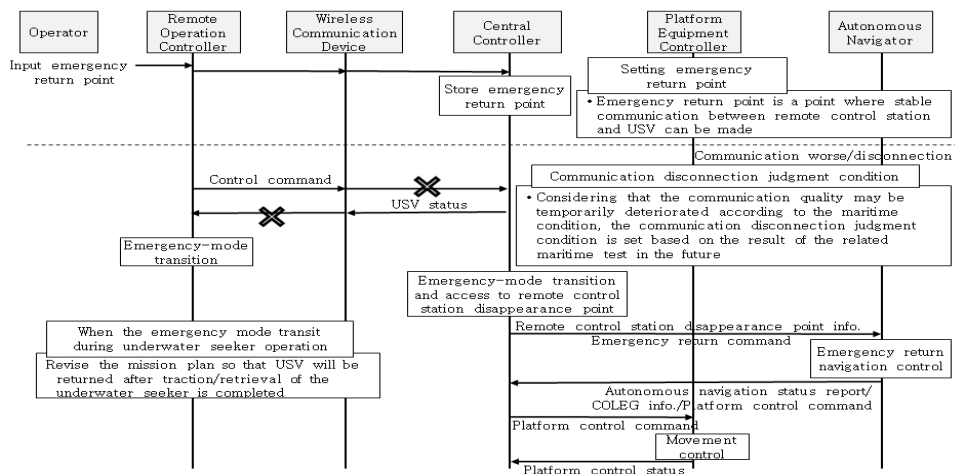


그림 4. 비상모드 - 통신 두절 초기시 긴급복귀

Fig. 4 Emergency Mode - Emergent return for initial stage of communication failure

```

if(Rx Message ID == Remote operation controller status info)
    Network status = true;
if(!Network status)
{
    USV operation mode = Emergency-mode;
    Return command message = Emergency return command generation function
        (remote control station disappearance point);
    Message Tx function (Autonomous navigator, Return command message);
}
Message Rx function(Rx Message); // Rx Message : Autonomous navigation status report,
// COLEG info., Platform control info.
Navigation command message = Navigation command generation function
    (Received ship's course and speed info);
Message Tx function(Platform equipment controller, Navigation command message);
    
```

그림 5. 슈도 코드 - 통신 두절 초기시 긴급복귀
Fig. 5 Pseudo code - emergent return for initial stage of communication failure

통신 두절 판단 조건은 실제 해상 시험 수행 결과에 근거하여 설정되어야 한다. 특히, 수중탐색기 운용 중 비상모드 전환 시에는 임무계획을 수정하여, 임무장비의 견인/회수가 완료된 후에 복귀하도록 처리한다.

그림 5는 통신 두절 초기시 긴급복귀에 대한 슈도 코드이다.

그림 6은 통신 두절 상태 지속시 운용 절차를 나타낸다. 통신 두절 상태가 지속되면 중앙통제기는 긴급복귀를 위하여 자율운항기로 긴급복귀 지점 정보를 전달하여 긴급복귀 동작을 시작한다. 중앙통제기는 긴급복귀 지점에 도착하면 긴급 복귀 명령을 해제하고 대기모드로 들어간다. 그림 7은 통신 두절 지속시 긴급복귀에 대한 슈도 코드이다.

```

if(Rx message ID == Remote operation controller status info)
    Network status = true;
if(!Network status)
{
    USV operation mode = Emergency-mode;
    Return command message = Emergency return command generation function
        (return latitude, return longitude);
    Message Tx function (Autonomous navigator, Return command message);
}
Message Rx function(Rx Message); // Rx Message : Autonomous navigation status report,
// COLEG info., Platform control info.
Navigation command message = Navigation command generation function
    (Received ship's course and speed info);
Message Tx function(Platform equipment controller, Navigation command message);
if(Autonomous navigation status == End of navigation)
{
    Return command(Release command) message = Emergency return generation function
        (Release command);
    Message Tx function (Autonomous navigator, Return command(Release command) message);
    USV operation mode = Waiting-mode;
}
    
```

그림 7. 슈도 코드 - 통신 두절 지속시 긴급복귀
Fig. 7 Pseudo code - emergent return for lasting communication failure

그림 8은 통신 두절시 통제소 소실 지점으로 이동 중 통신 상태가 개선되어 통신 재개가 되는 경우의 운용 절차를 나타낸다. 통신이 재개 되는 경우에는 원격운용통제기와 중앙통제기가 원격제어모드로 전환되어 중앙통제기는 원격운용통제기의 제어에 따르게 되며, 운용자는 임무 지속 여부 등을 판단하여 무인수상정을 운용하게 된다. 무인수상정 종합상태정보는 통신이 원활한 경우와 동일하게 계속 전송된다.

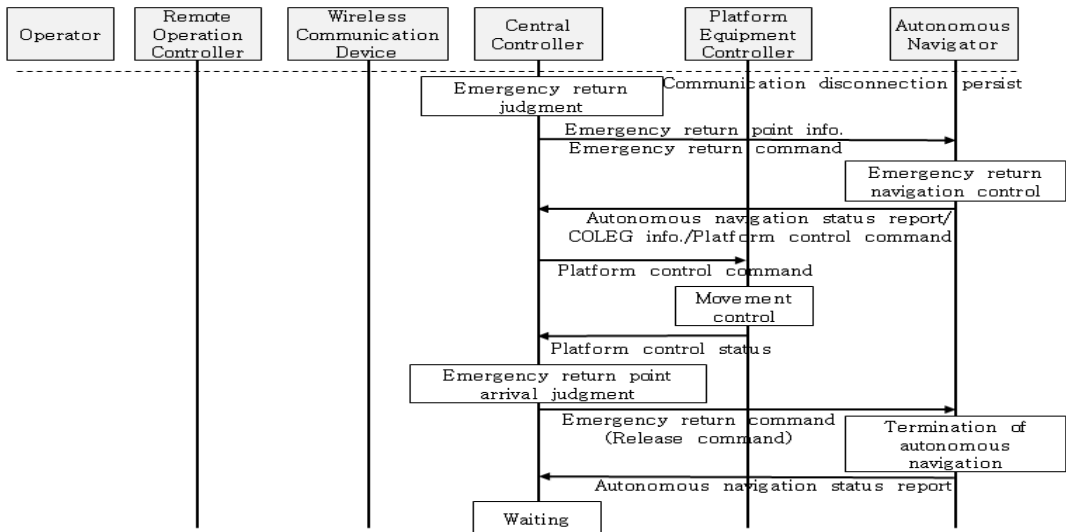


그림 6. 비상모드 - 통신 두절 지속시 긴급복귀

Fig. 6 Emergency mode - emergent return for lasting communication failure

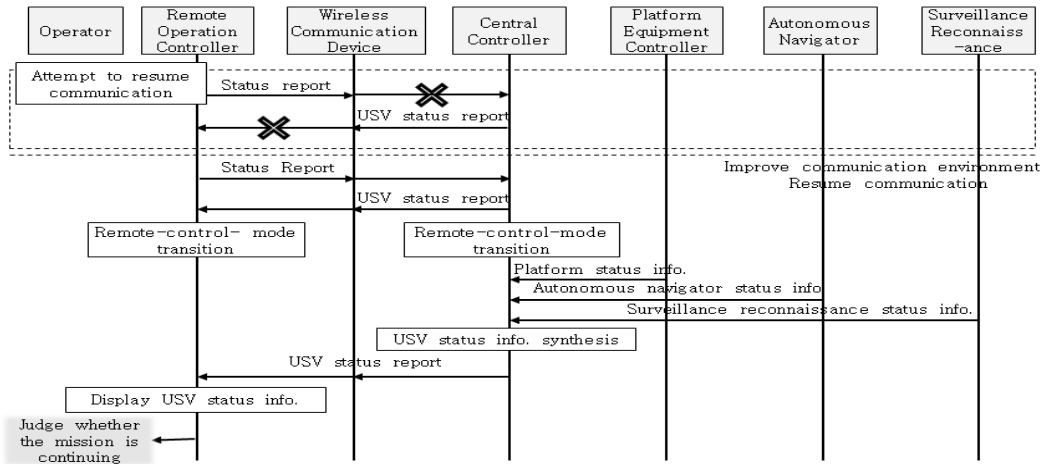


그림 8. 비상모드 - 통신 재개시 긴급복귀

Fig. 8 Emergency mode - emergent return for recovering from communication failure

```

if(Rx message ID == Remote operation controller status info)
    Network status = true;

if(Network status)
{
    USV operation mode = Remote-control-mode;
    USV status info. message = Status info. generation function()
    Message Tx function(Remote operation controller, USV status info. message)
}
    
```

그림 9. 슈도 코드 - 통신 재개시 긴급복귀

Fig. 9 Pseudo code - emergent return for recovering from communication failure

그림 9는 통신 재개시 긴급복귀에 대한 슈도 코 드이다.

그림 10은 무인수상정 고장 대응 기능을 나타내 는 절차이다. 중앙통제기는 무인수상정 탑재 장비의 상태정보를 주기적으로 수신하고 종합된 상태정보 를 원격운용통제기에 전달한다. 운용자는 수신된 상 태정보를 확인하고 고장 상황에 적절한 대응을 할 수 있다. 자율제어모드 운용 중 자율운항기의 상태 이상으로 자율운항을 위한 핵심 기능 (플랫폼 조종 명령 산출, 충돌 회피 등)이 정상적으로 작동되지

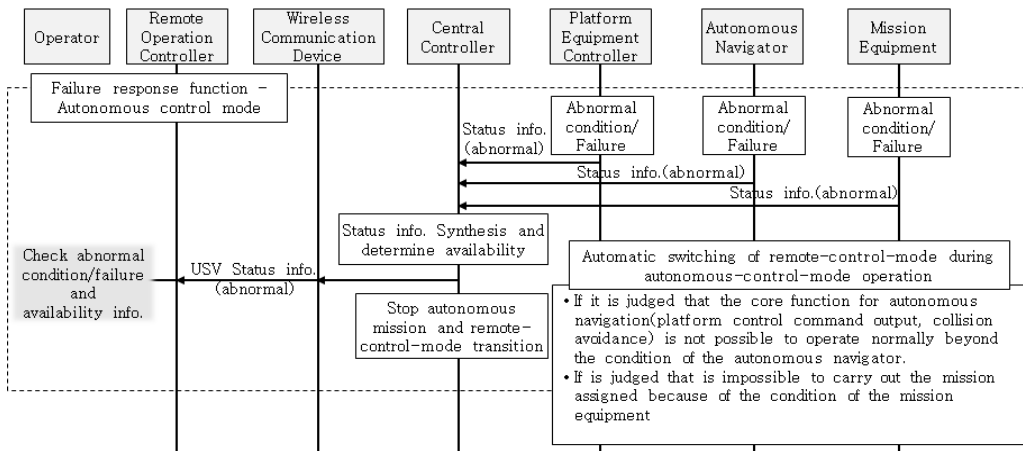


그림 10. 무인수상정 고장 대응 기능

Fig. 10 Countermeasure function for USV trouble

```

Message Rx function(Rx message); // Rx message : Platform equipment controller,
// Autonomous navigator, Mission equipment status info.
USV availability = Availability judgment function();

USV status info. message = Status info. generation function();
Message Tx function(Remote operation controller, USV status info. message)

if(USV availability < Autonomous navigation possible availability)
    USV operation mode = Remote-control-mode;
    
```

그림 11. 슈도 코드 - 무인수상정 고장 대응 기능
 Fig. 11 Pseudo code - countermeasure function for USV trouble

어려울 것으로 판단될 시, 중앙통제기에서 원격제어 모드로 자동 전환된다. 또한 임무장비의 상태 이상으로, 할당된 임무를 정상적으로 수행하기 불가능한 것으로 판단될 시, 중앙통제기에서 원격제어모드로 자동 전환된다.

그림 11은 무인수상정 고장 대응 기능에 대한 슈도 코드이다.

그림 12는 GPS재밍/고장 시 고장 대응 기능을 나타낸 것이다. 자율운항기에서 GPS재밍/고장이 탐지되면 자율운항기는 지상파합법시스템으로 자동으로 전환된다.

그림 13은 GPS재밍/고장 시 대응 기능에 대한 슈도 코드이다.

그림 14는 견인케이블 장력 초과 시 운용 절차를 나타낸다. 임무장비 상태정보 메시지를 통해서 견인줄 장력 초과 상태를 확인하게 되면 중앙통제기는 비상모드로 전환하며 플랫폼과 임무장비 견인장치를 긴급 정지 시키고 원격운용통제기의 제어를

```

if(Autonomous navigator status info. == GPS jamming/Failure)
{
    Navigation = Terrestrial Navigation;
}
    
```

그림 13. 슈도 코드 - GPS재밍/고장 시 대응 기능
 Fig. 13 Pseudo code - countermeasure function for GPS jamming/trouble

받게된다.

그림 15는 견인케이블 장력 초과시에 대한 슈도 코드이다.

상기 제시된 알고리즘은 크게 4가지로 분류된 비상모드에 대한 알고리즘을 제시하고 있으며, 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째로 통신 두절시 비상모드 운용으로 통신 상태 악화로 원격운용통제기와 무인수상정 사이의 통신이 단절되는 경우이다. 이 경우 통신 두절 초기에는 통신이 가능하였던 마지막 지점으로 기동하여 통신 재개를 시도하고, 이 후에도 통신 두절이 지속될 때에는 복귀점으로 긴급 복귀를 수행하고, 그렇지 않고 통신 재개가 성공하면 원격운용모드로 전환되어 운용자 명령을 받도록 대기 상태로 전환되는 알고리즘을 제시하고 구현하였다.

둘째로 무인수상정 고장에 대한 경우이다. 이 경우에는 무인수상정의 탑재 장비 상태를 확인하고 무인수상정의 임무 수행이 불가능한 경우 자율제어 모드에서 원격제어모드로 전환하여 운용자의 명령을 받도록 기다리는 상태가 되는 알고리즘을 제안하고 구현하여 검증하였다.

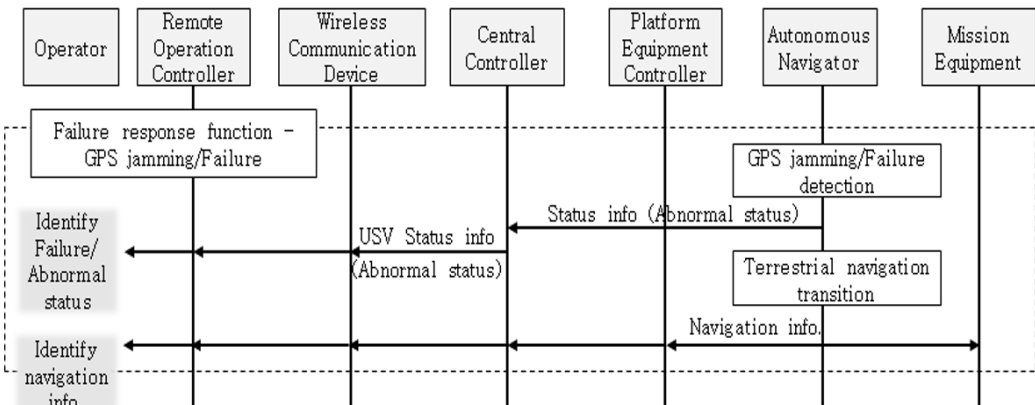


그림 12. GPS재밍/고장 시 대응 기능
 Fig. 12 Countermeasure function for GPS jamming/trouble

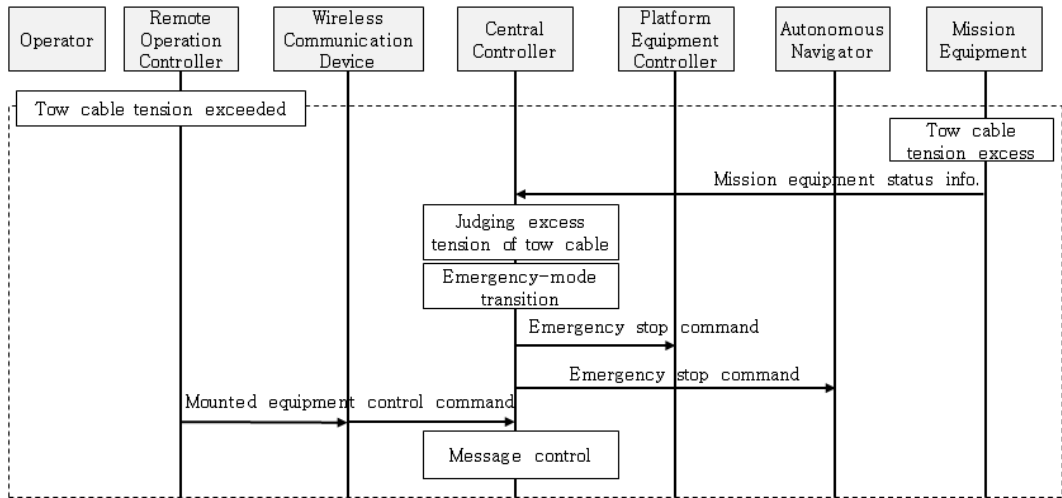


그림 14. 견인케이블 장력 초과시 대응 기능

Fig. 14 Countermeasure function for towing cable tension excess

```

Message Rx function(Rx message); // Rx message : Underwater seeker
                                // status info.
if(Received tension > managemented limit)
{
    USV operation mode = Emergency-mode;
    Emergency stop command message = stop command generation
function();
    Message Tx function(Autonomous navigator, Emergency stop
command message);
    Message Tx function(Platform equipment controller, Emergency stop
command message);
    Emergency stop = true;
}
if(Emergency stop)
{
    Do not generate ICD message for the received control command;
}
    
```

그림 15. 슈도 코드 - 견인케이블 장력 초과 시 대응 기능

Fig. 15 Pseudo code - countermeasure function for towing cable tension excess

셋째로 GPS 제밍 및 고장에 대한 경우이다. 이 경우에는 GPS를 대신하여 지상파항법시스템으로 전환하여 무인수상정의 운용이 가능한 알고리즘을 제시하고 검증을 위하여 구현하였다.

넷째로 임무장비 오류 및 장애 즉 견인케이블 장력 초과 고장에 대한 경우이다. 이 경우에는 무인수상정을 긴급정지 시키고 원격운용통제기의 명령을 받도록 대기하는 상태로 변하는 알고리즘을 제안하고 구현하였다.

자율제어 레벨별 비상모드를 정리하면 표 5와 같다.

표 5. 자율제어 레벨별 비상모드

Table 5. Emergency mode corresponding autonomous control level

Autonomous Control Level	Emergency Mode
5	USV, Mission Equipment Error
6	Communication Disconnection, GPS Error

IV. 모의 및 자율수준 분석 결과

앞 절에서 제안된 알고리즘이 적용된 SW구현 및 다양한 시나리오 시뮬레이션을 그림 16의 시뮬레이션 구성 환경에서 수행하였고 분석을 위해 무인시스템을 위한 자율성 레벨 (ALFUS: Autonomy Level for Unmanned System) 평가 개념을 적용하여 비상상태의 복잡성, 비상환경의 난이성, 비상상태 극복을 위한 인간 의존성 항목별 프레임워크 형태로 세분화된 요소로 분해하고 요소의 관계성과 영향성을 고려하여 매트릭 가중치로 적용 평균치로 자동 산출되도록 정량화하여 도구로 적용 자율수준을 분석하였다. 세분화 항목별 가중치가 더 높을수록 더 높은 레벨로 평균화되는 수치로 나타나고 그 결과를 요약하여 다음과 같이 나타내었다.

기존 바라쿠다는 비상상태에 대해서 많은 부분이 운용자의 개입이 필요하도록 설계되어 있다. 바라쿠다는 자율 레벨 1~3 수준으로 분석되며 본 논문

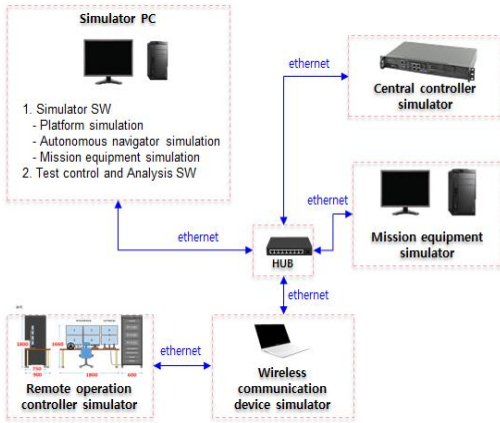


그림 16. 시뮬레이션 구성도

Fig. 16 Simulation configuration environment

표 6. 비상모드에 대한 별칭

Table 6. Emergency mode alias

Item	Emergency Mode
Emer-A	Case of communication disconnection
Emer-B	Case of USV failure
Emer-C	Case of GPS failure
Emer-D	Case of mission equipment failure

Autonomous control level

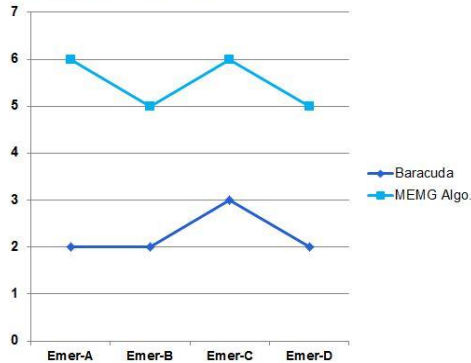


그림 17. 비상상황별 자율제어 수준

Fig. 17 Autonomous control level by the emergency mode

에서 제안하는 비상모드 알고리즘 (MEMG알고리즘) 적용시 자율 레벨은 4이상으로 개선됨을 확인할 수 있었다.

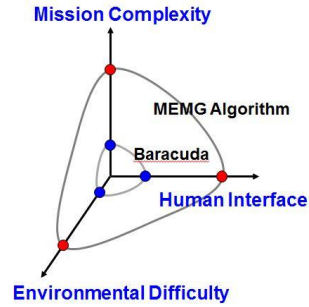


그림 18. 자율 수준 비교도

Fig. 18 Comparative diagram of USV autonomy level

표 6은 각 비상모드에 대한 별칭이다. 그림 17은 비상상황 경우별 알고리즘 적용시와 적용하지 않을 경우 (바라쿠다) 항목별 자율 수준 레벨 도식화 성능 비교표를 나타낸 것으로 상태의 복잡성, 환경의 난이성, 인간 의존성 측면에서 개선된 결과를 보여주고 있다.

그림 18은 바라쿠다와 MEMG알고리즘의 자율제어 수준 비교도이다. 바라쿠다는 자율제어 레벨 2~3 수준이며, MEMG알고리즘의 자율제어 레벨은 5~6 수준이다.

이상에서 제안된 무인수상정에서의 원격운용통제 및 자율수준을 고려한 비상모드 알고리즘 구현을 통해 자율 수준이 향상된 비상 상황에서 보다 안정되고 신뢰성 있는 기술 개발 구현 효과를 확인할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 무인수상정 운용 환경에서 원격운용통제 및 자율수준을 고려한 비상모드 알고리즘을 제안하고 기존의 바라쿠다와 비상상황을 적용하여 모의하고 자율제어 수준 분석을 수행하였다. 자율제어수준의 주요 요소인 비상상태의 복잡성, 비상환경의 난이성, 비상 상태 극복을 위한 인간 의존성 측면에서 개선된 성능을 확인하였다. 이는 다양하고 복합적인 무인수상정 운항 및 임무 수행이 요구되는 환경에서 더욱 안정된 효과를 발휘할 것으로 기대되며, 해양무인체계 다양한 분야에서 유용하게 활용될 것이다. 본 연구를 기반으로 향후 자율수준이 향상된 더 나아가 인공지능과 접목시킨 무인수상정 운용 성능 향상 방안에 중점을 두고 연구를 수행하고자 한다.

References

- [1] Defence Agency for Technology and Quality, "Defence Science and Technology Survey," 2013 (in Korean).
- [2] Y.B. Park, "State and Trend of Maritime Unmanned System Development," Defence and Technology, Vol. 428. pp. 76-85, 2014 (in Korean).
- [3] J. Kim, D. Lee, "The Effectiveness of MOOS-IvP based Design of Control System for Unmanned Underwater Vehicles", IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 9, No. 20, 2014 (in Korean).
- [4] P. J. Durst, W. Gray, "Levels of Autonomy and Autonomous System Performance Assessment for Intelligent Unmanned Systems," ERDC/GSL SR-14-1, Vol. 47, No. 11, pp. 10, 2014.
- [5] H.M. Huang, J. Albus, E. Messina, R. Wade, "Specifying Autonomy Levels for Unmanned Systems: Interim Report," Proceedings of SPIE Defense and Security Symposium, 2004.
- [6] H.M. Huang, K. Pavek, J. Albus, E. Messina, "Autonomy Levels for Unmanned Systems (ALFUS) Framework: An Update," Proceedings of SPIE Defense and Security Symposium, Vol. 27, pp. 439-448, 2005.
- [7] Agency for Defense Development, LIG Nex1, "USV Operation Control/Autonomous Mission System CDR," 2017 (in Korean).
- [8] MEGGITT, "Barracuda D4 Target System Operation and Maintenance Manual," 2010.

Jong-Taek Youn (윤 종 택)



received the B.S. degree in Electronic Engineering from Dong-A University in 1994, the M.S. degree in Information and Communication Engineering from Ajou University in 2010, the Ph.D. degree in NCW Engineering from Ajou University in 2015.

He is now a senior research engineer of LIG Nex1 Co., Ltd.

His research interests include wireless communication and embedded software.

Email: jtyoun37@lignex1.com

Yongi Kim (김 용 이)



received the B.S. and M.S. degrees in Electrical and Electronic Engineering from Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) in 1998 and 2000, respectively.

He is now a research engineer of LIG Nex1 Co., Ltd.

His research interests include wireless communication.

Email: yongi.kim@lignex1.com

Jae Woong Baik (백재웅)

received the B.S. degree in Computer Engineering from Kyungpook National University in 1998, the M.S. degree in Information and Communication

Engineering from Gwangju Institute of Science and Technology (GIST) in 2000.

He is now a senior research engineer of LIG Nex1 Co., Ltd.

His research interests include wireless communication and embedded software.

Email: jaewoong.baik@lignex1.com

Jae Hyun Lim (임재현)

received the B.S. degree in Computer Engineering from Kumoh National Institute of Technology in 1998.

He was a research engineer of MAHA-NET Co., Ltd in 1999~2005. He is now a senior research engineer of Network Customizing Technologies Inc.

His research interests include M&S software, HLA/RTI and distributed computing.

Email: jhlim@netcus.com

Chan-Woo Yu (유찬우)

received the B.S. degree in Department of Mechanical and Aerospace Engineering, the M.S. degree in Department of Electrical Engineering and Com-

puter Science from Seoul National University in 2004 and 2006, respectively.

He is now a research engineer of Agency of Defense Development (ADD).

His research interests include marine unmanned system embedded software.

Email: cwyu@add.re.kr

Jung-Hoon Kim (김정훈)

received B.S. and M.S. degrees in School of Earth and Environmental Sciences from Seoul National University in 1998 and 2001, respectively.

He is now a senior research engineer of Agency of Defense Development (ADD).

His research interests include marine unmanned system mission planning and defense M&S.

Email: kimjh@add.re.kr