

무인선 자율운항 시스템 개발

손남선, 윤근항, 황태현 (선박해양플랜트연구소)

1. 서론

무인선은 원격제어 통신범위를 벗어날 경우, 자동으로 기지 혹은 모함으로 복귀하거나, 사람이 개입하지 않고 자율적으로 통제되기 위하여 해상의 유인선박이나, 장애물과의 충돌회피가 핵심기술이다. 무인선의 원격제어 및 경유점 추종 제어 기술은 선박해양플랜트연구소가 소형무인탐사선 및 민군겸용 원격선박통제용으로 그 기술을 개발한 바 있다 (Son & Yoon, 2009). 고수준의 자율운항 기술인 장애물 인식 및 충돌회피 연구는 미국에서 연구가 진행중이나 아직 완성이 되지 않은 도전적인 기술이다 (Huntsberger & Buzzell, 2008).

해양수산부 연구개발 과제로서 진행되는 "다목적 지능형 무인선 국산화 개발" 사업(이하 무인선 사업)의 2차년도(2013년)에 제작된 무인선 시험선 아라곤호(ARAGON)는 7.5미터급으로서, 워터젯 1기와 디젤엔진 1기가 장착되어 있으며, 실험역 시운전을 통하여, 저항/추진 및 조종성능을 확인한 바 있다. 또한, 본 아라곤호를 위한 자율운항 시스템은 고정된 해안선 지형과 이동하는 타선박과 같은 장애물과의 충돌회피를 위하여 고안되었고, 2차년도에 제트보트 테스트베드를 이용하여, 다중타선에 대한 성능시험을 수행한 바 있다 (Son, 2013). 이를 바탕으로, 성능이 검증된 자율운항 시스템을 제작된 아라곤호에 장착하여, 그 성능을 시험하고자 한다. 지난 연구 (Son, 2013)에서 검증된 퍼지와 가변행동공간탐색법을 아라곤호의 충돌회피에 그대로 적용하였으며, 경로추종제어를 위해서 워터젯 노즐 자동제어기를 구축하였다. 타선박은 제트보트와 선외기가 장착된 고무보트 2척을 구축하였고 이는 유인으로 운항된다. 본 연구에서 장애물 인식은 카메라, 라이다, 레이더 등의 센서를 활용하고 있으며 현재 독립적인 장애물 인식 성능에 관한 연구를 진행중이다. 무인선의 충돌회피 성능 검증을 위해 타선박의 위치는 AIS 수신기로부터 획득하였다. 아라곤호의 충돌회피시험은 내수면에서 수행되었으며, 정면충돌상황(Head-on) 및 교행상황(Crossing)이 포함된 다중충돌상황에 대하여 충돌회피시험을 수행하였다. 본 논문에서는 무인선 시험선 아라곤호의 충돌회피 시스템의 주요특징과 충돌회피시험 결과에 대해 소개한다.

2. 자율운항 시스템 요구사항

무인선의 자율운항 시스템을 구성함에 있어, 자율제어수준, 즉 자율도(Autonomous control level)를 결정하여야 한다. 자율도는 통신능력과 밀접히 연관되며, 자율도가 낮을수록 원격제어를 위한 통신에 대한 의존도는 높아진다. 따라서, 무인선과 관제소사이의 거리가 멀고 통신 커버리지가 좁으면 자율도가 높아져야 한다.

본 무인선은 원격운항의 통신거리를 16km로 한정하고 있으며, 자율도의 경우 장애물 인식과 충돌회피가 가능한 자율도 6단계를 목표로 하고 있다. Table 1은 자율도의 단계별 성능을 보여준다 (Deyst, 2005).

Table 1 Levels of autonomy

| Level | Level Description |
|-------|---|
| 1 | Remote Control |
| 2 | Remote Control w/ vehicle state knowledge |
| 3 | External Preplanned mission |
| 4 | Knowledge of local and planned path environment |
| 5 | Hazard avoidance or negotiation |
| 6 | Object detection, recognition, avoidance or negotiation |
| 7 | Fusion of local sensors and data |
| 8 | Cooperative operations |
| 9 | Collaborative operations |
| 10 | Full autonomy |

3. 무인선 자율운항 시스템 설계

3.1 무인선 자율운항 시스템의 구성

무인선의 자율운항 시스템은 Fig.1과 같이 크게 4부분으로 구성되어 있다. 첫 번째는 자선의 운항정보와 장애물의 위치 정보를 획득하는 단계이다. 무인선에는 자선의 운항정보를 획득하기 위한 항법센서와 장애물을 탐지, 추적하기 위한 센서가 장착되며, 그 종류는 Table 2과 같다. 자선의 운항정보로

서, GPS로부터 위치(위도와 경도), 속도(SOG), 방위(COG)의 정보를 획득한다. 장애물의 정보는 카메라(EO/IR), 라이다(Lidar), 레이더, AIS 등의 장비로부터 획득하는 것으로 계획하였다. 무인선을 기준으로 원거리(100m 이상)의 장애물은 AIS 및 레이더 ARPA 기능을 이용하여, 근거리(100m 이내)의 장애물은 카메라와 라이다를 이용하여 자동으로 탐지 및 추적을 수행하도록 설계하였다. 둘째로, 자신의 위치를 중심으로 이동경로상에 가변행동공간을 구성하고 충돌위험도를 산출한다. 셋째로 가변행동공간상의 노드를 연결한 것이 회피경로의 후보군이며 앞서 산출한 충돌위험도가 포함된 비용함수를 계산하여 후보군 중에서 최적경로를 결정한다. 마지막으로는 최적회피경로를 따라 경로추종을 통해 회피기동을 수행한다.

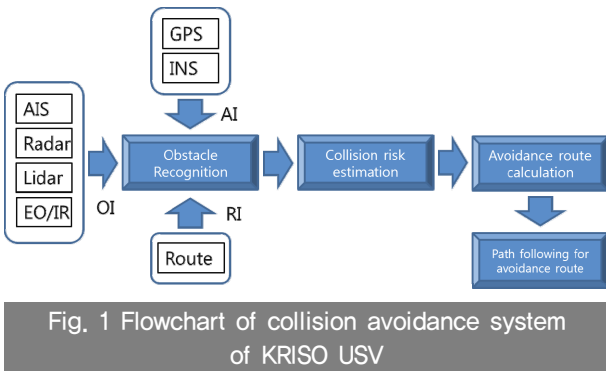


Fig. 1 Flowchart of collision avoidance system of KRISO USV

Table 2 Sensor and measurement in KRISO USV

| Sensor | Measurement |
|------------------|---|
| RTK-GPS | Latitude, Longitude, COG, SOG |
| Fiber Optic Gyro | Heading, Yawrate, Roll, Pitch |
| Camera (EO/IR) | Electro Optical Image, Infra-red Image |
| Lidar | 3D position data of obstacles |
| Radar | Track data of obstacle (Bearing, Distance, Velocity) |
| AIS | Navigation data of traffic ships (Lat., Lon., COG, SOG) |

3.2 무인선 충돌회피 알고리즘

충돌회피를 위한 경로를 계산함에 있어, 행동공간을 충돌 위험에 따라 탄력적으로 변화시킬 수 있는 가변행동공간 탐색 방법을 같이 개발한 바 있으며, 무인선의 충돌회피 시스템에 해

당 알고리즘을 적용하였다. Fig. 2는 충돌회피알고리즘의 전체 흐름을 보여준다 (Son et al., 2009).

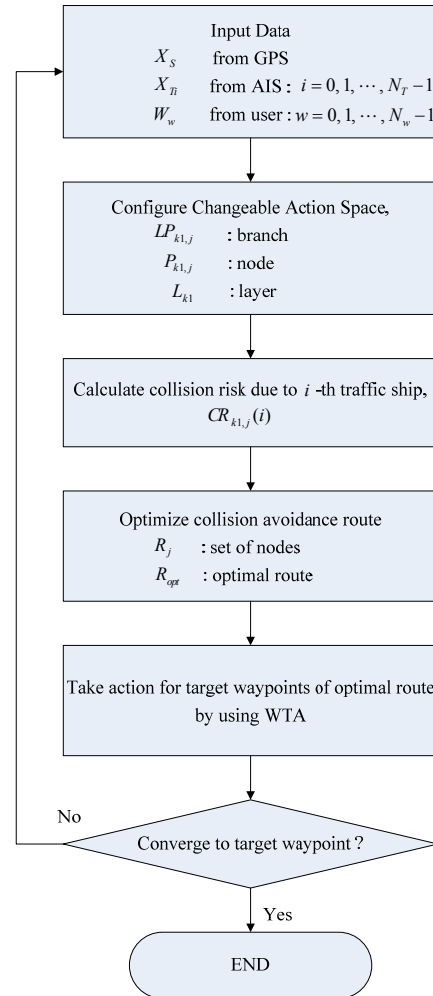


Fig. 2 Flowchart of collision avoidance algorithm

RTK-GPS와 광자이로를 이용하여, 자신의 운항정보를 획득하고, AIS를 이용하여 타선 장애물의 운항정보를 획득한다. 충돌상황에서 회피공간에 해당하는 가변행동공간을 구성하는데, 각 노드별로 퍼지에 의한 충돌위험도를 산출하며, 노드를 연결한 회피경로들에 대한 비용함수를 계산하여 최적경로를 산출한다. 그리고, 최적경로에 대한 추종제어를 수행한다.

4. 무인선 충돌회피 시험

4.1 무인선 시험선, "아라곤(ARAGON)"호

2절에서 구성한 충돌회피 시스템의 성능을 검증하기 위하

여, Fig. 3와 같이 무인선 시험선 아라곤호에 충돌회피 테스트 베드를 구축하였다.



Fig. 3 USV test-bed for collision avoidance: "ARAGON"

4.2 무인선 장애물 인식 센서

3장에서 기술한 바와 같이, 장애물 인식 센서들의 독립적인 인식성능 분석을 위해 연구를 진행중이다. 무인선 시험선 아라곤호에 장착한 장애물 인식센서는 Fig. 4와 같다.

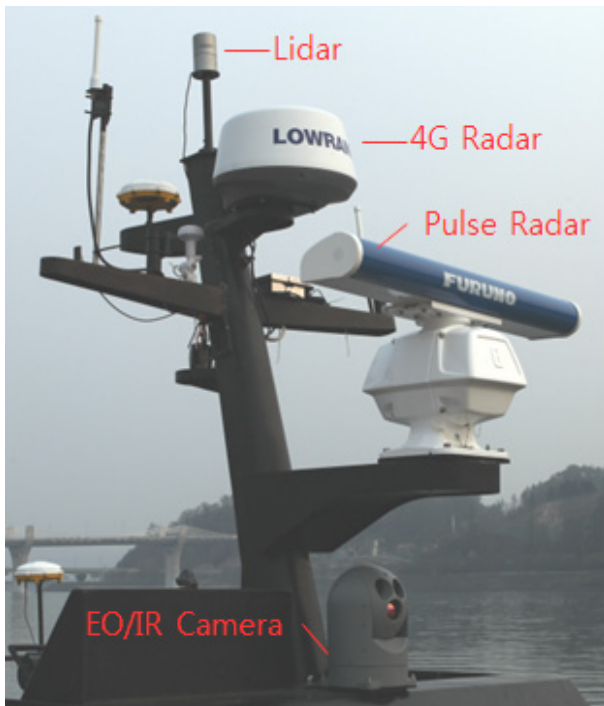


Fig.4 Sensors for obstacle detection in ARAGON

라이다가 마스트 가장 윗부분에 장착되어 있으며, 32채널의 레이저 센서로부터 10hz 간격으로 주변 장애물의 3차원 정보를 획득하고 있다. 기존 펄스형 항해레이더와 함께 4G 레이더를 장착하였으며, ARPA 자동추적기능에 의한 장애물 인식은 4G 레이더에 구현하였다. 열화상카메라(EO/IR)는 해상 원격 감시기능과 함께 충돌회피에도 활용되도록 구현하였는데, 카메라 영상에 의한 장애물 인식 기능 구현시 열화상 카메라의 영상이미지를 이용하도록 구현하였다. 다만 장애물 인식 성능은 현재 성능시험을 진행중이며, 충돌회피 시험에서는 AIS만을 고려하였다.

4.3 무인선 충돌회피용 장애물 테스트베드



Fig.5 Traffic ships test-bed for collision avoidance : jetboat, "KOMBO"(center) and two rubber boats(left & right)

Fig. 5와 같이, 제트보트(콤보호) 및 고무보트2척을 타선 장애물로 구축하였다. 제트보트와 고무보트는 사람이 탑승하여 운항하며, 통제불능 상태에 대한 시험을 수행하기 위해 일정한 속도와 방향으로 직진하며 아라곤호가 접근하여도 회피동을 하지 않도록 하였다.

4.4 무인선 충돌회피 시험 시나리오

무인선 시험선 아라곤호와 총 3척의 타선과의 충돌회피 시험을 위해 Fig. 6과 같이 동시 충돌상황을 상정하였으며, 시험 속도는 6노트이다. 타선박들은 통제불능 상황을 가정하고, 유인운항으로 정속으로 직진하며, 무인선은 충돌회피 알고리즘으로 자동회피를 수행한다.



Fig.6 Scenario for test of collision avoidance

4.5 무인선 충돌회피 시험 결과

아라곤호에 충돌회피 시스템을 장착하고, Fig.6의 시나리오에 따라 내수면에서 충돌회피시험을 수행하였다. Fig.7은 충돌회피시험결과 얻은 궤적으로 붉은 실선은 무인선 시험선 아라곤호와 제트보트의 궤적이며, 점선은 고무보트의 궤적이다. 이 그림은 아라곤호가 초기 우현 회피 기동을 통해 정면과 좌현에서 접근하는 장애물 타선 2척을 회피하고, 회피후 원래 경로로 복귀하다가 재차 우현에서 접근하는 타선을 우현 회피함으로써, 성공적으로 3척을 모두 회피한 후, 원 경로로 복귀하는 모습을 보여준다.



Fig. 7 Resulting Trajectory in the test of collision avoidance

5. 결론

해상에서 장애물을 회피할 수 있는 자율운항 시스템을 개발하고 이를 무인선 시험선 아라곤호에 구축하였다. 퍼지와 가변행동공간탐색법을 이용한 충돌회피알고리즘을 구성하였고, 성능검증을 위하여 내수면에서 3척의 타선을 대상으로 충돌회피 시험을 수행하였다. 시험결과, 무인선 시험선 아라곤호는 정면과 좌우 측면에서 접근하는 3척의 타선과의 충돌상황에서 성공적으로 회피를 수행하였다. 본 연구에서는 장애물을 인식함에 있어 AIS만을 사용하였으나, 현재 성능시험이 진행중인 카메라, 라이다, 레이더 기반의 장애물 인식 시스템 개발이 완료되면 이와 연동하여, 충돌회피 시스템을 시험할 계획이다.

후 기

본 연구는 해양수산부의 연구사업으로 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소에서 수행한 '다목적 지능형 무인선 국산화 개발(3) (PMS2710)' 과제의 성과 중 일부입니다.

참 고 문 헌

- Deyst, J. J. [Autonomous vehicles in support of naval operations, national research council] (2005)
- Huntsberger, T. and Buzzell C. [Intelligent Autonomy for Unmanned Sea Surface and Underwater Vehicles, Proceedings of AUVSI 2008] (2008)
- Lee, H. J. and Rhee, K. P. [Development of Collision Avoidance System by using Expert System and Search Algorithm, Journal of International Shipbuilding Progress](2001)
- Son, N. S. Furukawa, Y. Kim, S. Y. and Kijima, K. [Study on the Collision Avoidance Algorithm against Multiple Traffic Ships using Changeable Action Space Searching Method, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering] (2009)
- Son, N. S. and Yoon, H. K. [Study on a Waypoint Tracking Algorithm for Unmanned Surface Vehicle (USV). Journal of Navigation and Port Research] (2009)

· Son, N. S., Yoon, K. H., & Park, B. J. [Field test on the collision avoidance system of unmanned surface vehicle in multiple ships' colliding situation, Proceedings of the Annual Spring Meeting] (2013)



손남선

- 1976년생
- 2009년 일본 큐슈대학교 박사
- 현 재 : 선박해양플랜트연구소 선임연구원
- 관심분야 : 무인선 자율운항, 선박충돌예방기술
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : nsson@kriso.re.kr



윤근항

- 1980년생
- 2005년 서울대학교 조선해양공학과 석사
- 현 재 : 선박해양플랜트연구소 선임연구원
- 관심분야 : 선박 조종, 시뮬레이션
- 연 락 처 : +82-42-866-3650
- E - mail : khyun@kriso.re.kr



황태현

- 1969년생
- 2003년 부산대학교 지능기계공학과 박사
- 현 재 : 선박해양플랜트연구소 책임연구원
- 관심분야 : 센서융합, 표적추적필터
- 연 락 처 : +82-42-866-3625
- E - mail : thfang@kriso.re.kr



“조선해양공학종합 설계”가 전자책으로 출간되었습니다. 학회홈페이지(<http://www.snak.or.kr>)를 방문하시면 열람하실 수 있습니다.