

# 다중 장애물 상황에서 COLREG를 바탕으로 장애물 회피의 기초 위험도 산정 방법에 관한 연구

## A Study on the Method of Estimating the Baseline Risk Level of Multiple Obstacles situation Avoidance Based on COLREG for each Obstacles

† 김대희

† (주)한림 중공업 미래전략연구센터 연구소장

**요약** : 현재 개발 중인 자율주행 선박의 안전한 자율주행 운항 안전성을 확보하기 위하여 COLREG를 바탕으로 하는 다중 장애물회피 알고리즘을 연구하였다. RADAR에서 제공하는 외부 장애물의 VECTOR 값을 활용하여 각 장애물의 CPA와 TCPA를 분석하여 기 값을 기준으로 장애물을 구분하고 다중 장애물 회피 상황을 고려한 위험도 산정하였고 최소한의 안전 상황을 확보하기 위한 회피 동작 적용 방법에 관한 연구를 하였다.

**핵심용어** : COLREG, RADAR, TCPA, CPA, Risk Level 다중 장애물, 장애물 회피

**Abstract** : Studied for multiple obstacle avoidance algorithm based on COLREG for autonomous navigation vessel's safety navigation. By used VECTOR value of external obstacle provided by RADAR, CPA and TCPA of each obstacle are analyzed, and the obstacle is classified based on the value, the risk level is calculated considering multiple obstacle avoidance situations, and the avoidance action is applied to secure minimum safety situation.

**다중 장애물 상황에서 COLREG를 바탕으로 장애물 회피의 기초 위험도 산정 방법에 관한 연구**  
**A Study on the Method of Estimating the Baseline Risk Level of Multiple Obstacles situation Avoidance Based on COLREG for each Obstacles**

2019년 춘계 항해학만학회  
2019. 5. 16.

㈜ 한림중공업 미래전략 연구센터  
연구소장 김대희 공학박사

Hanlim

### 2. Design of obstacle avoidance system(장애물 회피 시스템의 설계)

Level	Level Description	레벨 설명
1	Remote Control	무선조종
2	Remote Control w/ vehicle state knowledge	무선조종/차량 상태인식
3	External Preplanned mission	미션의 외부 사전 계획
4	Knowledge of local and planned path environment	지역과 경로상의 환경에 관한 인식
5	Hand avoidance or negotiation	위험 회피 또는 협상
6	Object detection, recognition, avoidance or negotiation	객체 탐지, 인식, 회피 또는 협상
7	Fusion of local sensors and data	로컬 센서와 데이터의 통합
8	Cooperative operations	협업 운영
9	Collaborative operations	협업 운영
10	Full autonomy	완전한 자동 운항

Levels of autonomy (Deyst, 2005)

Hanlim

### 1. Research Outline (연구개요)

- 우리나라 연근해 여객 90% 이상을 담당하는 선박 - **차도선**
  - 우리나라 연근해 전체 차도선 - 240여 척
- 우리나라 연해 수송 담당의 40% 이상 - **소형 화물선**
- 차도선 및 소형 화물선 자동화 상황
  - 관계 법령에 의한 최소한의 항해 장비로 운영 중
  - 자동 항법 장치, Gyro Compass 등 대형 상선에서의 최소한의 자동화 장비 ❌
  - 대형 상선에 비해 인계, 복잡한 지형, 복잡한 교통상황, 매우 밀집한 해상 부유(양식)물 등
- 연근해 차도선 및 소형 화물선 자동화 요구 상황

Hanlim

### 2. Design of obstacle avoidance system(장애물 회피 시스템의 설계)

Ship autonomy (선박 자동화 종류)	설명
Planning	계획
Automatic voyage to destination	목적지까지 자동 항해
Obstacle avoidance	장애물 회피

장애물의 인식 방식과 구분을 통한 다중 장애물의 위험도 설정으로 우선 처리 장애물 순위 결정

Hanlim

† 교신저자 : 중신회원, badajigi75@hanmail.net

### 3. Identification, Distinction and Avoidance of Obstacles(장애물의 인식, 구분 및 회피)

- ◆ 장애물의 인식 방법
  - RADAR 를 이용한 외부 물표의 VECTOR 검출
  - ARPA를 활용
  - 장애물의 인식(장애물 유무 판단)
    - VECTOR 값이 없거나 단위 시간 동안 기준 값 이상으로 hunting(방황, 속력)
      - Fake 또는 장애물 아님
    - 물표로 확인 되나 VECTOR 값이 기준시간동안 변화 량 없음
      - 장애물로 인식
    - VECTOR 값이 있고 단위 시간 동안 기준값내에서 일정한 패턴을 유지한 상태에서 변화
      - 장애물로 인식

### 4. How to determine the Risk Level (위험도 순위 결정 방법)

- ◆ 장애물의 CPA 와 TCPA를 연계한 위험 순위 가중치 값의 결정
  - 단일 장애물의 경우 회피를 순위 결정을 위하여 CPA와 TCPA의 값을 곱하여 위험도 순위를 설정
  - 그러나 복합 상황에서는 CPA와 TCPA의 연동 값을 바탕으로 어떤 상황이 더 위험 할 수 있는지를 파악
  - 항해사의 경험을 바탕으로 TCPA CPA의 연동에 관한 실증적 순위 결정 논리를 갖추고 있음.
  - 이에 TCPA 와 CPA를 연산하여 다중 장애물에 대한 위험 순위를 결정하는 위험도 산정에 관한 현실에서 항해사들이 시행하는 실증적 위험 순위 선정방식을 적용.
  - 같은 정도의 위험 순위를 가지는 다중 물표의 경우, 그 위험 순위의 정도를 파악하여 실제와 같은 장애물 회피 결정을 하여야 함.
  - 같은 수준 위험도의 경우 CPA 값보다 TCPA 값의 위험도를 더 가중해서 판단한다.

예시) 두 개의 물표가 아래와 같은 경우 위험도의 연산 값은 같다.  
 Target1 : CPA : 20m TCPA : 5 min. Risk Level = 100  
 Target2 : CPA : 5m TCPA : 20 min. Risk Level = 100

### 3. Identification, Distinction and Avoidance of Obstacles(장애물의 인식, 구분 및 회피)

- ◆ 장애물의 구분
  - 해상 물표로 확인은 되나 Vector 값이 없고 정지되어 있다.(Hunting 하지 않는다)
    - 해상 정지 (부유) 장애물 (Anchoring & Drifting Ship, 항로 표지 포함)
  - 해상 정지(부유) 장애물과 Vector 값의 양상은 같으나 물표가 연속되어 표현
    - 지형, 해안선
  - 일정한 패턴을 가지며 단위 시간 동안 선형(Linear)으로 방향과 속력의 변화 량을 갖는다.
    - 해상에서 이동중인 선박

### 4. How to determine the Risk Level (위험도 순위 결정 방법)

TCPA 및 CPA 값에 따른 위험 순위 결정에 필요한 가중치 (O <sub>max</sub> )	
가중치 값	구분
100	TCPA 값
10	CPA 값

다중 장애물 Risk level 산정 방정식

$$F_{risk} = \sum O_i \cdot \sum O_{khd,i} + \sum O_{pos,icpa} + \sum O_{pos,ltcpa}$$

여기서

- $F_{risk}$  : 각 물표의 위험도 (Risk Level)
- $\sum O_i$  : 외부감시 구역에 들어온 i 개의 물표
- $\sum O_{khd,i}$  : i 에 속하는 물표의 종류별 가중치
- $\sum O_{pos,icpa}$  : i 에 속하는 물표의 CPA 가중치
- $\sum O_{pos,ltcpa}$  : i 에 속하는 물표의 TCPA 가중치

### 4. How to determine the Risk Level (위험도 순위 결정 방법)

- ◆ 각 장애물의 위험도 측정 및 위험 순위 결정 방법
  - 장애물의 위험도를 확인하기 위해서는 장애물의 구분에 활용되는 Vector 값의 확보가 필요.
  - 외부 감시 구역 내로 구분된 장애물이 단일 장애물 일 경우 위험도의 순위를 결정할 필요가 없다.
  - 그러나 외부 감시 구역 내에 장애물이 2개 이상인 복수인 경우 각 장애물 마다 위험도를 부여 하여 회피 순위를 결정해야 한다.
  - Radar를 통해 확인된 물표의 Vector 값을 바탕으로 물표의 CPA(Close Point Approach; 최대 근접 거리) TCPA(Time-Close Point Approach; 최대 근접 거리까지 현재로부터 소요시간)를 확보한다.
  - 장애물의 구분에는 다음과 같이 위험도의 가중치를 부여 한다.

장애물 종류에 따른 위험 순위 결정에 필요한 가중치 (O <sub>max</sub> )	
가중치 값	구분
10	해상에서 움직이는 선박
5	해상에서 부유하는 움직이지 않는 선박 또는 해상 교통 표지
1	연속적으로 계속되는 지형

### 5. Structure of obstacle avoidance algorithm(장애물 회피 알고리즘의 구조)

```

    graph TD
      A[외부 상황에 대한 감시] --> B[장애물의 구분]
      B --> C[장애물의 위험도 부여]
      C --> D[장애물 위험도에 따른 위험 순위 결정]
      D --> E[장애물 위험도에 따른 회피 장(Rule) 결정]
      E --> F[장애물 회피를 위한 조타, 속력 조절에 대한 내용 제시]
      F --> G[원래 진행 방향으로 복귀 지시]
      G --> A
  
```