

## 퍼지기법을 이용한 무인잠수정의 장애물회피를 위한 충돌위험도 산출

### Use of Fuzzy technique for Calculating Degree of Collision Risk in Obstacle Avoidance of Unmanned Underwater Vehicles

정희\* · 김성곤\*\* · 김용기\*\*

Hee Jung\*, Seong-Gon Kim\*\*, Yong-Gi Kim\*\*

\* 경상대학교 컴퓨터과학과 및 컴퓨터정보통신연구소

\*\* LG전자 연구소

\* Department of Computer Science, Gyeongsang National University

\*\* LG Electronics

#### 요약

본 연구는 주변 환경정보와 장애물정보, 위치정보를 이용하여 무인잠수정의 운항 환경에 존재하는 다양한 장애물들에 대한 충돌위험도를 산출하는 시스템을 제안한다. 충돌위험도는 퍼지추론을 사용하여 산출하며, TCPA, DCPA, 거리를 인자로 사용하게 된다. 또한 삼차원환경에서 TCPA와 DCPA를 획득하는 방법을 제안한다. 충돌위험도는 충돌회피시스템에 제공되며, 시뮬레이션을 통하여 그 경제성과 안전성에서의 효율성을 보인다.

#### Abstract

This paper introduces a technique for calculating the degree of collision risk used in collision avoidance system of AUVs. The collision risk will be reckoned with the fuzzy inference, which uses TCPA(Time of the Closest Point of Approach) and DCPA(Distance of the Closest Point of Approach) as factors. A method to obtain TCPA and DCPA for 3-dimension is suggested. The degree of collision risk is provided to collision avoidance system, and is verified the effectiveness through simulation.

**Key Words** : Degree of Collision Risk, Collision Avoidance, UUV, AUV, fuzzy control

## 1. 서론

충돌위험도 산출시스템(Collision risk computation system)은 주변 환경정보와 장애물정보, 위치정보를 이용하여 무인잠수정의 운항 환경에 존재하는 다양한 장애물들에 대한 충돌위험도를 산출하는 시스템이다. 충돌위험도산출시스템은 장애물이 무인잠수정과 충돌위험이 있다고 판별될 때 진로 방향을 수정하여 안정하게 장애물을 회피할 수 있도록 하는 충돌회피시스템의 판단 근거를 제공한다. 충돌위험도 산출시스템에서 장애물에 대한 정확한 충돌위험정도를 판별하는 것은 충돌회피시스템(Avoidance System)의 회피능력 결정에 영향을 미친다. 충돌위험도는 장애물이 무인잠수정에 대해 얼마만큼의 충돌위험성을 가지느냐를 표현하는 값을 의미하며, 또한 장애물과의 충돌위험정도를 관찰자의

주관적 입장에서 표현한 수치적인 값이다. 기존에 연구된 충돌위험도산출시스템은 이차원에서의 충돌위험도를 산출하는 방법에 관한 것으로, 삼차원의 수중에서 충돌위험도를 산출하는 방법에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 먼저 이차원의 충돌위험도산출시스템들에 대한 관련 연구를 살펴보고, 삼차원에서 장애물의 충돌위험도를 구하는 충돌위험도 산출시스템을 제안한다. 충돌위험도는 퍼지제어를 사용하여 산출하고, 퍼지제어는 TCPA, DCPA, 거리를 인자로 사용하게 된다. 또한 삼차원환경에서 TCPA와 DCPA를 획득하는 방법을 제안한다.

충돌회피시스템은 무인잠수정의 운항 환경에 존재하는 장애물에 대해 충돌 가능성을 가능하여 일정 값 이상의 충돌 위험성을 가지는 장애물을 회피하는 시스템이다. 충돌회피시스템은 충돌 회피 시 여러 가지 정보에 기반하여 피항 행위의 여부를 결정하게 되는데 그 정보 중의 하나가 충돌 위험도이다. 충돌위험도는 장애물이 무인잠수정에 대해 얼마만큼의 충돌위험성을 가지느냐를 표현하는 값이다. 현재까지 충돌회피시스템에 대한 연구는 활발히 진행되어 왔으나 충돌회피의 판단 기준이 되는 충돌위험도에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 충돌위험도 산출에 관한 연구는 독자적인 하나의 시스템이 아닌 충돌회피 시스템 안에서 하나의 부시스템으로 연구가 진행되어 왔다. 이차원환경에서 충돌위험

접수일자 : 2010년 5월 28일

완료일자 : 2011년 2월 3일

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0002346)

+교신저자: ygkim@gnu.ac.kr

도를 산출하는 기존 연구는 다음과 같다.

Hasegawa는 DCPA(Distance of the Closest Point of Approach)와 TCPA(Time of the Closest Point of Approach)를 입력 변수로 사용하고 퍼지 이론을 이용해 충돌위험도를 추론하였다[1]. Hara와 Hammer는 사람이 느낄 수 있는 타선의 상대 거리와 상대 각속도를 이용하여 충돌 위험도를 추론하였는데, 자선이 어느 방향으로 향하면 안전한지에 대한 정보를 제공하지 못하는 단점을 가진다[2][3]. Imazu는 Radar의 오차 특성을 이용하여 상대방 선박이 가장 가까이 지날 때의 위치 분포를 예측한 후 자선을 중심으로 어느 일정한 반경 안에 들어올 확률을 구하여 위험도를 결정하였다[4][5]. 그러나 Radar의 사양이 결정되면 선박의 특성과 무관하게 충돌 확률이 결정되기 때문에 실제 운항자의 필요에 따른 충돌 확률 결정 방법의 수정이 어렵다는 결점을 가진다. 이한진은 DCPA, TCPA 기반으로 충돌 위험도를 추정하였는데, 피항 행위에 현시점의 위험도를 사용할 경우 선박의 느린 응답성으로 인한 문제가 발생한다는 문제점을 보완하기 위해 다음 시간까지의 위험도를 추론하고 그 중에서 가장 위험한 경우를 현재의 충돌위험도로 사용하였다[6]. 하지만 일정 범위 안에서 동일한 충돌위험도를 산출하여 어느 것이 더 위험한지 알 수 없는 단점을 보였다. 김은경은 일정범위 안에 존재하는 장애물에 대해서 좀더 정밀한 충돌위험도를 구하기 위해 입력으로 VCD(Variation of Compass Degree)개념을 도입하여, DCPA, TCPA, VCD를 입력으로 하여 퍼지 이론을 이용하여 충돌위험도를 사용하였다[7]. 하지만 VCD는 충돌위험이 있을 때에만 적용해야 올바른 결과를 도출할 수 있는데, VCD를 모든 경우에 적용을 하여 충돌위험도를 추론하는 문제점을 가지고 있다.

위에서 설명한 충돌위험도산출시스템에 관한 연구는 모두 이차원환경에서 충돌위험도를 계산한다. 본 연구는 입력 모듈로 사용되는 DCPA와 TCPA를 삼차원환경에서 사용할 수 있도록 이동장애물과 무인잠수정을 속력과 침로를 가진 벡터로 표현하여 DCPA와 TCPA를 계산하여 삼차원환경에서 사용할 수 있는 충돌위험도 산출시스템을 개발하였다.

## 2. 배경이론

충돌회피시스템(Collision Avoidance System)은 항해시스템이 산출한 경우점을 입력받아 무인잠수정의 다음 이동 목표점을 설정한다. 무인잠수정의 경우점 구간 항해에서 예상치 못한 장애물과 조우하거나 임무에 관한 정보의 변화가 발생하였을 경우 경우점 사이의 경로를 재 설정하는 상세경로설정(local path planning)기능을 수행하는 시스템을 충돌회피시스템이라 한다. 충돌회피시스템은 크게 항해시스템, 충돌위험도산출시스템, 그리고 운동제어시스템과 연동되어 정보와 제어를 공유한다. 무인잠수정의 영역전문가와 운항 환경의 상호작용-인지, 결정, 행동-에 대한 구조적 해석이 가능한 도구가 주어지면 이 상호작용을 모방하는 시스템, 즉 무인잠수정의 충돌회피시스템을 개발할 수 있다. 충돌회피 시스템 기술의 최종적 목적은 영역전문가의 경험적정보(heuristic information)를 보다 사실적으로 적용하여 고정·이동장애물에 대해 계산시간, 소요메모리 관점의 효율성(efficiency)과 이동경로관점의 안전성(safety), 최적성(optimality)을 구현하는 시스템 개발하는 것이다. 이러한 충돌회피시스템의 내부적 기능은 영역전문가들이 주어진 상황에 대해 느끼는 충돌 위험정도를 어떻게 전산화 할 것인가

에 대한 '표현의 문제'와 이러한 정보를 이용하여 언제 어떤 방법으로 충돌회피를 구현 할 것인가 하는 '구현의 문제'로 집약되어진다. 본 연구에서는 이러한 표현의 문제를 위해 그 한 요소로서 충돌위험도(the degree of collision risk)를 산출하여 이용한다. 충돌위험도는 장애물이 무인잠수정에 대해 가지는 충돌위험성을 수치화 시킨 값을 의미한다.

한편, 자율로봇의 제어를 위하여서는 퍼지기법의 사용이 확대되고 있으며[8-16], 퍼지제어는 퍼지 응용분야 중에서 성공적으로 발전되고 있는 분야이다[[17]. 무인잠수정의 충돌회피시스템을 위한 충돌위험도의 산출도 항해자 또는 관찰자의 주관적인 견해에 의해 결정되므로 퍼지 이론의 사용이 적합한 분야이다.

충돌위험도 산출을 위한 추론규칙은 전문가의 지식을 언어적 형식으로 나타내는 것으로 if ~ then ~ 형식의 퍼지 규칙으로 나타낸다.

if (특정 조건) then (특정 조건을 만족할 경우 결과 들을 유추) (1)

여기에서 규칙의 if 이하의 부분은 전건부로 만족되어야 할 조건들이 들어가며, then 이하의 부분은 후건부로 전건부의 조건들이 만족될 때 유추되는 결과들이 들어간다. 전건부와 후건부에는 각각 복수개의 퍼지 변수들이 들어갈 수 있는데 이 경우의 퍼지규칙은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R_1 : & \text{if } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ then } z \text{ is } C_1 \\
 R_2 : & \text{if } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ then } z \text{ is } C_2 \\
 & \dots\dots\dots \\
 R_n : & \text{if } x \text{ is } A_n \text{ and } y \text{ is } B_n \text{ then } z \text{ is } C_n
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

퍼지 규칙  $R_n : \text{if } x \text{ is } A_n \text{ and } y \text{ is } B_n \text{ then } z \text{ is } C_n$  은 퍼지 규칙 Ri로 나타내며 이는 수식(3)과 같이 정의 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \mu_{R_i} &= \mu_{(A_i \text{ and } B_i \longrightarrow C_i)}(u, v, w) \\
 &= [\mu_{A_i}(u) \text{ and } \mu_{B_i}(v)] \longrightarrow \mu_{C_i}(w)
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

앞에서 주어진 퍼지 규칙에 의한 퍼지 추론 과정을 간단하게 다음의 세 단계로 정의할 수 있다. 첫 번째는 규칙에서 전건부의 적합도를 입력에 대하여 계산한다. 적합도(fitness)는 규칙이 제어동작에 관여하는 정도를 나타낸다. 적합도  $\alpha_i$ 는 수식(4)와 같이 최소값을 취하는 방법을 선택한다.

$$\alpha_i = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0)
 \tag{4}$$

두 번째 단계는 각각의 규칙의 추론 결과를 구한다.

$$\mu_C(z) = \max_{x,y} [\mu_{R_i}(x, y, z) \wedge \mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{B_i}(y)]
 \tag{5}$$

세 번째는 각각의 추론 결과의 적합도에 의한 가중값 평균으로서 전체 추론 결과를 구한다. 만족하는 규칙들의 전체 추론 결과  $\mu_{C'}$ 는 min 연산(6) 및 product 연산(7)을 이용한다.

$$\mu_{C'} = \bigcup_{i=1}^n (\alpha_i \wedge \mu_C)
 \tag{6}$$

$$\mu_C = \bigcup_{i=1}^n (\alpha_i \bullet \mu_C) \quad (7)$$

퍼지추론 결과인 퍼지데이터를 명확한(crisp) 값으로 변환시키는 연산으로서, 비퍼지화 방법은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 무게중심법(center of area method)을 이용한다.

### 3. 충돌위험도산출시스템 설계

충돌위험도 산출시스템은 그림 1과 같이 무인잠수정과 장애물에 대한 벡터정보를 가상세계로부터 받아들여 입력모듈과 충돌위험도 산출모듈을 통해 새로운 고수준의 정보인 충돌위험도를 산출하는 시스템이다.

#### 3.1. 삼차원에서 TCPA와 DCPA 계산

장애물의 충돌위험도를 산출하기 위해서는 입력모듈로 사용되는 삼차원 환경에서 장애물의 DCPA(Distance of the Closest Point of Approach)와 TCPA(Time of the Closest Point of Approach)를 산출하는 기법에 대한 연구가 선행되어야 한다. DCPA는 현 상황을 그대로 유지하면서 이동장애물이 무인잠수정을 가장 가까이 지나갈 때 그 물체까지의 거리를 나타내고, TCPA는 지금의 상황을 그대로 유지하면서 현시점에서부터 상대방 무인잠수정이 가장 가까운 거리를 지날 때까지 소요되는 시간을 나타낸다.

삼차원환경에서 이동장애물과 무인잠수정을 속력과 침로를 가진 벡터(vector)로 표현할 수 있으며, 벡터로 표현된 무인잠수정을 이용하여 DCPA와 TCPA를 계산할 수 있다. 이동장애물과 무인잠수정을 침로와 속력을 가진 공간벡터로 표현하고, 두 벡터의 합벡터를 계산한다. 무인잠수정의 시점 좌표값은 원점, 이동장애물의 시점 좌표값은  $(x_o, y_o, z_o)$ 으로 설정한다. 무인잠수정과 이동장애물의 속력을 Speed와 ObstacleSpeed로 그리고 침로를  $(\alpha, \beta, \gamma)$ 와  $(\alpha_o, \beta_o, \gamma_o)$ 로 각각 나타낸다. 이때 이동장애물의 종점 좌표값  $(x_{ot}, y_{ot}, z_{ot})$ 을 계산하기 위해 수식 (8)을 사용하고, 무인잠수정과 이동장애물의 상대적인 움직임 때문에 DCPA, TCPA값이 변하므로 무인잠수정의 침로를 역방향으로 표현한 다음 무인잠수정의 종점 좌표값  $(x_t, y_t, z_t)$ 을 수식 (9)에서 산출 할 수 있다.

수식 (8), (9)에서 계산한 무인잠수정과 이동장애물의 중

점 좌표값을 이용하여 합벡터를 구할 수 있다. 수식 (10)은 합벡터의 종점 좌표값(L, M, N)을 나타내고, 수식 (11)은 합벡터의 크기를 계산한다.

$$\begin{aligned} x_{ot} &= ObstacleSpeed \times \cos \alpha_o \\ y_{ot} &= ObstacleSpeed \times \cos \beta_o \\ z_{ot} &= ObstacleSpeed \times \cos \gamma_o \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} x_t &= -(Speed \times \cos \alpha) \\ y_t &= -(Speed \times \cos \beta) \\ z_t &= -(Speed \times \cos \gamma) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} L &= x_t + x_{ot} \\ M &= y_t + y_{ot} \\ N &= z_t + z_{ot} \end{aligned} \quad (10)$$

$$v = \sqrt{|L|^2 + |M|^2 + |N|^2} \quad (11)$$

그리고 합벡터의 방향은 수식 (12)에서 계산되며, 그림 2는 합벡터의 개념도를 보여주고 있다.

$$\begin{aligned} \alpha_c &= L / v \\ \beta_c &= M / v \\ \gamma_c &= N / v \end{aligned} \quad (12)$$

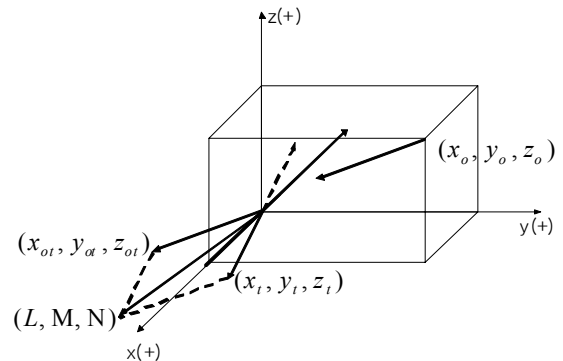


그림 2. 합벡터 개념도  
Fig 2. Concept of sum vector

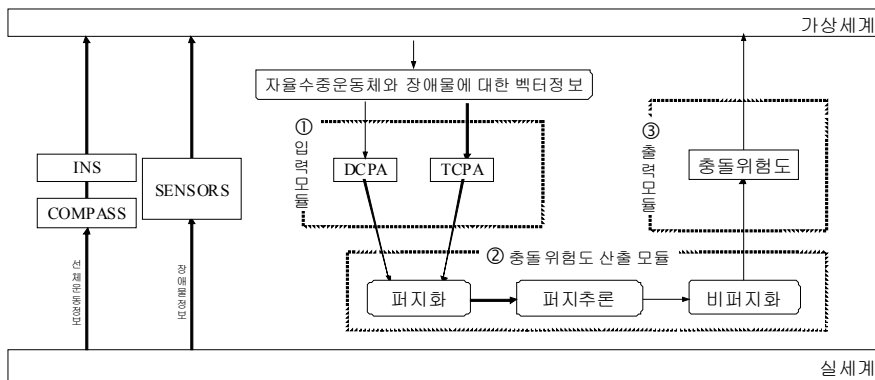


그림 1. 충돌위험도산출시스템 구성도  
Fig 1. Architecture of collision risk computation system

합벡터의 종점 좌표값과 크기와 방향  $(\alpha_c, \beta_c, \gamma_c)$ 이 구해 지면, 이동장애물의 움직임은 그 벡터의 시점  $(x_o, y_o, z_o)$ 에서 합벡터의 방향과 평행하고, 합벡터의 속력과 동일하게 움직이는 공간상의 직선의 형태를 이룬다. DCPA와 TCPA를 계산하기 위해서 먼저 공간상의 직선의 방정식을 먼저 구한다. 한 점  $(x_o, y_o, z_o)$ 을 지나고, 합벡터와 평행한 직선의 방정식은 수식 (13)에서 계산할 수 있다.

$$\frac{x - x_o}{L} = \frac{y - y_o}{M} = \frac{z - z_o}{N} \quad (13)$$

DCPA는 그림 3에서 보듯이 이 직선과 원점의 가장 가까운 거리 즉, 원점과 직선 위의 한점 P사이의 거리를 나타낸다. 여기서 점 P의 좌표값  $(P_x, P_y, P_z)$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_x &= x_o + Lt \\ P_y &= y_o + Mt \\ P_z &= z_o + Nt \end{aligned} \quad (14)$$

$$\text{여기서 } t = \frac{-(Lx_o + My_o + Nz_o)}{L^2 + M^2 + N^2}$$

수식 (15)는 원점과 점 P사이의 거리 즉, DCPA를 계산하는 방법을 보여주고 있다.

$$DCPA = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \quad (15)$$

TCPA는 이동장애물의 벡터 시점  $(x_o, y_o, z_o)$ 에서 직선의 한점 P까지 합벡터의 속력으로 이동하는데 소요되는 시간이다.

$$TCPA = \frac{\sqrt{(x_o^2 + y_o^2 + z_o^2) - DCPA^2}}{v} \quad (16)$$

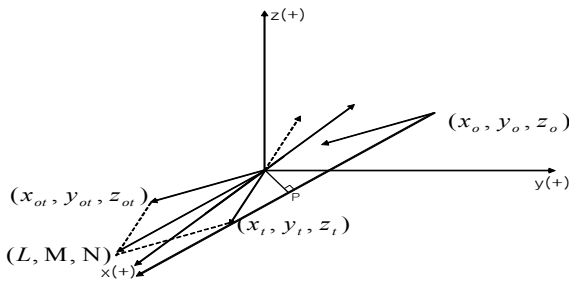


그림 3. DCPA와 TCPA 계산  
Fig 3. Computation of DCPA and TCPA

### 3.2. 충돌위험도 산출

충돌위험도 산출에는 퍼지추론을 이용하며 크게 세 부분으로 구성된다. 첫 번째, 입력 모듈은 가상세계로부터 필요한 자료를 읽어들이는 모듈이다. 입력모듈은 DCPA와 TCPA의 두 가지 값을 읽어 들이는데 DCPA와 TCPA는 그대로 다음 모듈로 입력된다. 두 번째, 충돌위험도 산출 모듈에서는 퍼지추론을 이용하여 충돌위험도를 산출한다. 크리스프 집합의 입력값을 받아들여 퍼지화(fuzzifier)를 하고, 퍼지 추론(fuzzy inference)을 행한 뒤 비퍼지화(defuzzifier)하여 결과값을 산출한다. 세 번째, 출력모듈은 산출된 충돌위험도를

충돌회피 시스템에 제공하기 위해 가상세계로 전송한다.

충돌위험도는 앞에서 계산한 DCPA와 TCPA를 입력으로 퍼지추론을 행하여 산출되며, 추론규칙의 조건부에서는 min연산을 결론부에서는 product연산을 사용하며 비퍼지화는 무게중심법을 사용한다. 입력값으로 들어가는 DCPA와 TCPA는 출력값인 충돌위험도에 대해 각각의 멤버십(membership)함수를 먼저 정의한다.

본 연구에서 사용한 DCPA 소속함수는 그림 4와 같이 [6]에서 사용한 소속함수를 이용한다. 소속함수에 사용된 언어 레이블은 다음의 의미를 가진다.

P : Positive, N : Negative, S : Small,  
M : Medium, B : Big

사용된 소속함수는 2개 이상의 파라미터로 지정할 수 있으며 PS, PMS는 각각 Positive Small, Positive Medium Small을 의미한다. 그림 4에서 각 소속함수는 구간 [0, 1]의 퍼지값을 나타내고 있다. 즉, DCPA가 2.5일 때 소속함수 PS는 퍼지값 1을 갖고, 소속함수 PMS는 퍼지값 0을 나타내고 있다.

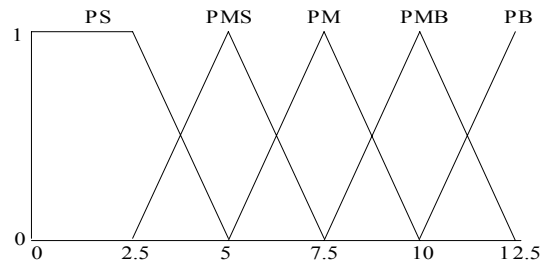


그림 4. DCPA의 멤버십함수(m)  
Fig 4. Membership function of DCPA(m)

TCPA에 대한 소속함수는 그림 5와 같은 소속함수를 이용하며, TCPA에서 음의 부호는 이동장애물이 무인잠수정을 지나 멀어지고 있음을 의미한다.

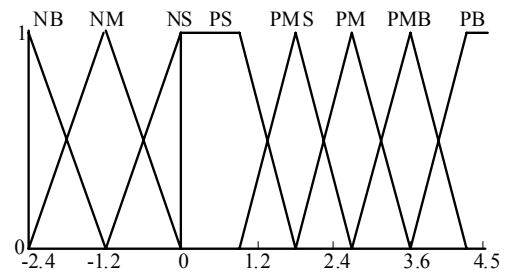


그림 5. TCPA의 멤버십함수(분)  
Fig 5. Membership Function of TCPA(min)

충돌위험도(Degree of Collision Risk)는 DCPA와 TCPA를 입력으로 하여 산출한다. 그림 6은 충돌위험도의 소속함수로서 [18]의 소속함수를 따르고 있으며, 이것은 구간 [-1, 1]의 값을 가진다. 충돌위험도 값이 1에 가까워지면 충돌확률이 높아지고, 음의 부호는 이동장애물이 무인잠수정을 지나 멀어지고 있음을 의미한다.

추론 규칙은 항해전문가의 지식을 기본으로 해서 만들어졌으며, 운항자의 경험적인 지식에 따라 수정이 가능하다.

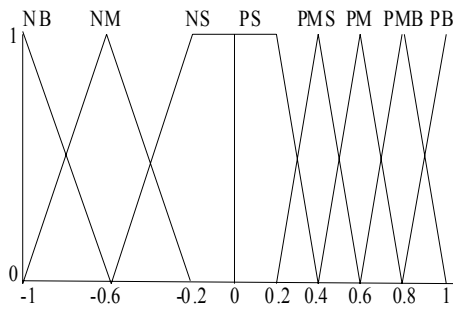


그림 6. 충돌위험도의 멤버쉽함수

Fig 6. Membership function of degree of collision risk

표 1. 충돌위험도의 추론규칙

Table 1. Reasoning rules of degree of collision risk

TCPA \ DCPA	NB	NM	NS	PS	PMS	PM	PMB	PB
PS	NS	NM	NB	PB	PMB	PM	PMS	PS
PMS	NS	NS	NM	PMB	PM	PMS	PS	PS
PM	NS	NS	NS	PM	PMS	PS	PS	PS
PMB	NS	NS	NS	PMS	PS	PS	PS	PS
PB	NS	NS	NS	PS	PS	PS	PS	PS

If DCPA is PS and TCPA is NB then Collision Risk is NS  
 If DCPA is PS and TCPA is NM then Collision Risk is NM  
 .....  
 If DCPA is PB and TCPA is PMB then Collision Risk is PS  
 If DCPA is PB and TCPA is PB then Collision Risk is PS

추론규칙 표를 언어적 형식으로 표현하면 위와 같이 40개의 추론규칙으로 표현할 수 있다. 추론규칙에서 DCPA의 소속함수는 PM이고, TCPA는 PS일 때 Degree of Collision Risk는 PM을 나타낸다. 본 연구에서 표현한 퍼지 추론에 필요한 소속함수와 추론 규칙은 필요에 따라 수정이 가능하고, 전문적인 지식 없이도 일반 운항자가 수정할 수 있는 장점이 있다.

위 내용을 바탕으로 충돌위험도 추론 과정을 살펴본다.  $dcpa$ 의 소속함수  $\in \tilde{A}$ ,  $tcpa$ 의 소속함수  $\in \tilde{B}$ , degree of collision의 소속함수  $\in \tilde{C}$ 이라 하고,  $dcpa$ 를  $a$ ,  $tcpa$ 를  $b$ , degree of collision risk를  $c$ 라고 가정한다. 즉  $\tilde{A}$ 와  $\tilde{B}$ 는 전건부의 퍼지집합을,  $\tilde{C}$ 는 후건부의 퍼지집합을 나타내고 입·출력값은  $a, b, c$ 라고 할 때,  $i$ 번째 추론규칙의 퍼지관계  $\tilde{R}_i$ 는 전체집합  $\tilde{A} \times \tilde{B} \times \tilde{C}$ 의 부분집합으로  $\tilde{R}_i$ ;  $a$  is  $\tilde{A}$ , and  $b$  is  $\tilde{B}$ , then  $c$  is  $\tilde{C}_i$ 로 표현된다. 이것은 Mamdani의 방법에 의하여  $i$ 에 대해  $\mu_{\tilde{R}_i}(a, b, c) = [\mu_{\tilde{A}_i}(a) \wedge \mu_{\tilde{B}_i}(b)] \wedge \mu_{\tilde{C}_i}(c)$ 로 나타낸다. 여기에서 입력이  $a^o$ 와  $b^o$ 라고 하면  $i$ 번째 추론규칙의 적합도 ( $\omega$ )는  $\mu_{\tilde{A}_i}(a^o)$ 와  $\mu_{\tilde{B}_i}(b^o)$ 의 최소값에 의해서 결정된다.

$$\omega_i = \mu_{\tilde{A}_i}(a^o) \wedge \mu_{\tilde{B}_i}(b^o) \quad (17)$$

$i$ 번째 추론규칙에 의한 추론결과는 다음과 같다.

$$\mu_{\tilde{C}_i}(c) = \omega_i \wedge \mu_{\tilde{C}_i}(c) \quad (18)$$

모든 추론규칙에 대해 수식 (18)을 적용해서 각각에 대해 추론결과를 산출하여, 각각의 추론결과들의 최대 값에 의해 추론결과 degree of collision risk는 결정된다. 예를 들어 규칙이  $n$ 개 있다면 전체 추론결과  $\mu_{\tilde{C}}(c)$ 는 수식 (19)로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{C}}(c) &= \left[ \omega_1 \wedge \mu_{\tilde{C}_1}(c) \right] \vee \left[ \omega_2 \wedge \mu_{\tilde{C}_2}(c) \right] \vee \dots \vee \left[ \omega_n \wedge \mu_{\tilde{C}_n}(c) \right] \\ &= \vee_{i=1}^n \left[ \omega_i \wedge \mu_{\tilde{C}_i}(c) \right] \end{aligned} \quad (19)$$

이렇게 퍼지값을 구하면 비퍼지화는 수식 (20)과 같이 무게중심법을 사용하여 충돌위험도  $c^0$ 를 구할 수 있다.

$$c^0 = \frac{\int \mu_{\tilde{C}}(c) c dz}{\int \mu_{\tilde{C}}(c) dz} \quad (20)$$

#### 4. 실험 및 평가

충돌위험도를 산출하기 위하여 수행하는 동작은 우선 무인잠수정의 위치와 이동방향, 이동속도 설정 및 장애물의 위치와 이동방향, 이동속도를 설정 한 후 무인잠수정의 벡터의 종점과 장애물의 벡터 종점을 구한다. 다음 단계는 벡터 종점을 이용하여 DCPA와 TCPA를 각각 구한다. 위 수행이 끝난 후 계산된 DCPA, TCPA를 이용하여 퍼지제어를 통해서 충돌위험도를 구한다. 제안한 충돌위험도 산출시스템은 충돌회피시스템[19][20]의 부시스템으로 장착되어 그 효율성과 안전성을 검증한다. 표 2는 시뮬레이션을 위한 시나리오이다. s1은 하나의 장애물이 무인잠수정과 정면으로 마주치는 상태(head-on situation), s2와 s3는 '정면으로 마주치는 상태', '횡단상태(crossing situation)' 기본적인 조우상황이 적절히 조합된 두 개의 장애물이 존재하는 경우이고, s4는 두개의 장애물은 서로 다른 형태의 정면으로 마주치는 상태에 놓여있고 다른 하나의 장애물은 추월상태에 놓여있어서 세 개의 장애물이 존재하는 경우이다.

표 2. 시뮬레이션을 위한 시나리오

Table 2. Scenarios for simulation

#	Situation	Num of Obst	Scenario		
			Description	$P_{start}$	$P_{goal}$
s1	One Obstacle	1	Head-on Situation	(0, 0, -10)	(-10, 210, -17)
s2	Two Obst. I	2	Head-on + Crossing	(0, 0, -10)	(-10, 210, -10)
s3	Two Obst. II	2	Crossing + Overtaking	(0, 0, -10)	(-20, 210, -17)
s4	Three Obst.	3	Head-on I + Head-on II + Overtaking	(0, 0, -10)	(-20, 210, -17)

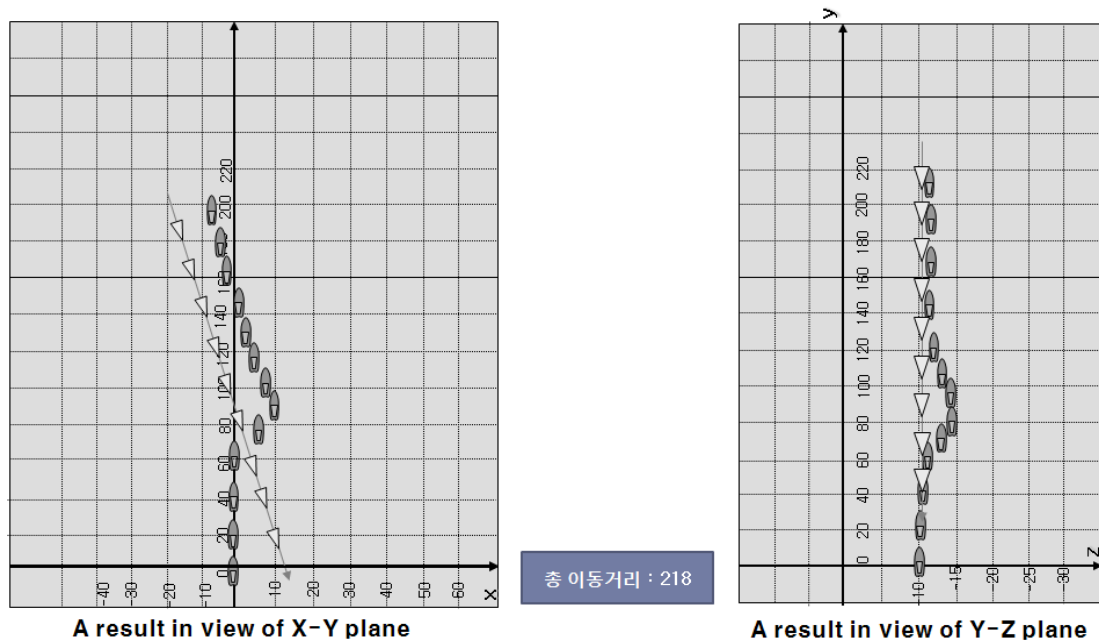


그림 7. 시나리오 s1 실행결과 화면  
Fig 7. Experiment result screen for scenario s1

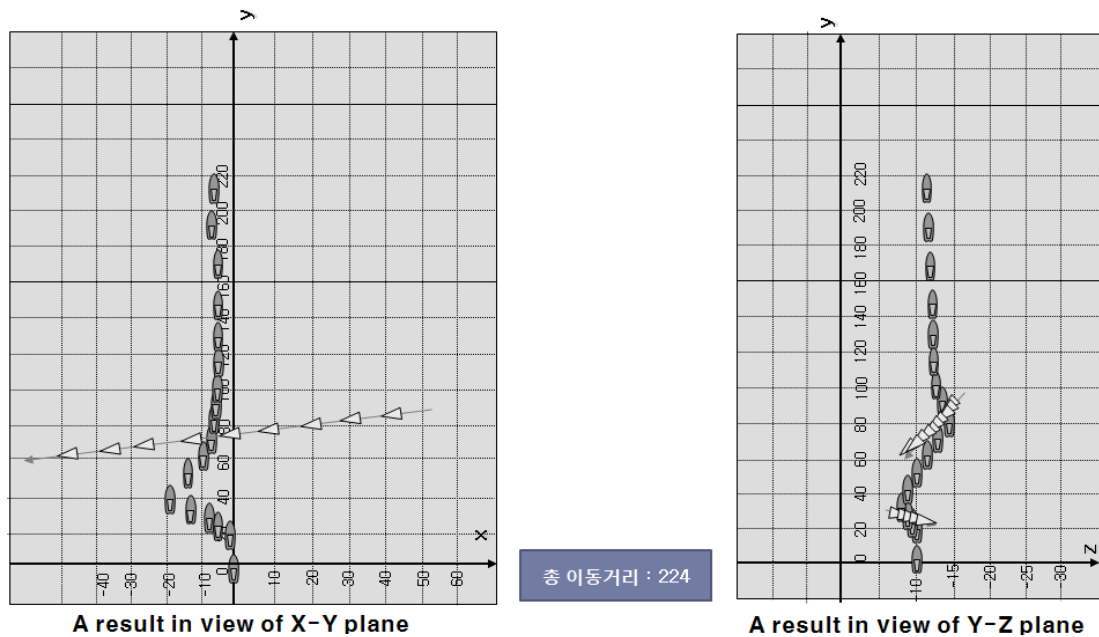


그림 8. 시나리오 s2 실행결과 화면  
Fig 8. Experiment result screen for scenario s2

각 시나리오에서는 무인잠수정의 시작점(start position)  $P_{start}$  와 목표점(goal position)  $P_{goal}$ , 그리고 장애물의 시작점, 속도, heading각도(heading angle)가 주어진다. 이때 장애물은 주어진 시작점에서 등속 직선운동을 수행한다고 가정한다. 표 3에 정의된 시작점과 출발점의 위치값의 단위는 미터(meter)이다. 그림 7과 그림 8은 s1 및 s2 상황에서 무인잠수정이 충돌회피를 실시하며 안전하게 목표까지 진행하는 상황을 보여준다. 3차원 충돌위험도를 고려한 충돌회

피시스템은 충돌위험도를 고정시켰을 때와 비교하여 주어진 각 시나리오에서 목표까지의 이동거리를 증가 또는 감소 시킴으로써 시스템의 효율성을 높이며 또한 안전성을 만족하였다 (표 3).

표 3. 시뮬레이션 결과  
Table 3. Simulation result

Situation	충돌위험도 제외 (장애물크기 + 0.5)	충돌위험도 적용 (장애물 크기+ 위험도)	
s1	241	218	회피거리증가
s2	216	224	회피거리증가
s3	222	213	회피거리감소
s4	222	237	회피거리증가

### 5. 결 론

본 연구는 주변 환경정보와 장애물정보, 위치정보를 이용하여 무인잠수정의 운항 환경에 존재하는 다양한 장애물들에 대한 충돌위험도를 산출하는 시스템에 대한 연구를 하였다. 먼저 이차원환경에서의 충돌위험도산출시스템들에 대한 기존 관련 연구를 살펴보고, 본 시스템에서 채택하고자하는 삼차원환경에서의 충돌위험도를 구하는 충돌위험 산출시스템을 제안하였다. 제안한 충돌위험도 산출시스템은 충돌위험도를 산출하기 위해 퍼지추론을 이용하였고, 크게 세 부분으로 구성하였다. 첫 번째, 입력 모듈은 가상세계로부터 필요한 자료를 읽어 들인다. 입력모듈은 DCPA와 TCPA의 두 가지 값을 읽어 들이는데 DCPA와 TCPA는 그대로 다음 모듈로 입력된다. 두 번째, 충돌위험도 산출모듈에서는 퍼지추론을 이용하여 충돌위험도를 산출한다. 크리스프 집합의 입력값을 받아들이며 퍼지화를 하고, 퍼지 추론을 행한 뒤 비퍼지화하여 결과값을 산출한다. 세 번째, 출력모듈은 산출된 충돌위험도를 충돌회피 시스템에 제공한다.

본 시스템의 특징으로는 입력모듈로 사용되는 DCPA와 TCPA를 삼차원환경에서 사용할 수 있도록 이동장애물과 무인잠수정을 속력과 침로를 가진 벡터로 표현하여 DCPA와 TCPA를 계산하여 삼차원환경에서 사용할 수 있는 충돌위험도 산출시스템을 개발하였다. 충돌위험도산출시스템의 성능을 검증하기 위해 시나리오에 적용해서 충돌위험도를 산출한 결과 삼차원환경에서 안전도와 효율성을 고려한 충돌위험도 산출이 가능하였다.

### 참 고 문 헌

[1] Hasegawa, K., "Automatic Collision Avoidance System for Ship using Fuzzy Control", *8th Ship Control System Symposium*, Hague, 1987.  
 [2] Hammer, A. and Hara, K., "Knowledge Acquisition for Collision Avoidance Maneuver by Ship Handling Simulator", *MARSIM & ICSA 90*, Tokyo, 1990.  
 [3] Hara, K and Hammer, A., "A safe Way of Collision Avoidance Maneuver based on Maneuvering Standard using Fuzzy Reasoning Model", *MARSIM 93*, St. John's, 1993.  
 [4] Imazu, H. and Koyama, T., "The Determination Collision Avoidance Action" *The Journal of Japan*

*Institute of Navigation*, Jan., 1984.  
 [5] Imazu, H. and Koyama, T., "The Optimization of the Criterion for Collision Avoidance Action" *The Journal of Japan Insistute of Navigation*, Sep., 1984.  
 [6] 이한진, "FUZZY 이론을 이용한 충돌 회피 기법 연구", 서울대학교, 1993.  
 [7] 김은경, "지능형 자율 운항 제어 기술을 위한 자료 융합시스템", 경상대학교, 2002.  
 [8] Hui, N. B., Mahendar, V., and Pratihar, D., "Time-optimal, collision-free navigation of a car-like mobile robot using neuro-fuzzy approaches", *Fuzzy sets and systems*, v.157, no.16, 2006.  
 [9] Shin, D., Na, S., and Kim, J., "Fuzzy neural networks for obstacle pattern recognition and collision avoidance of fish robots", *Soft computing : a fusion of foundations, methodologies and applications*, v.12, no.7, 2008.  
 [10] Lee, Y.-I., Kim, Y.-G., and Kohout, L. J., "An intelligent collision avoidance system for AUVs using fuzzy relational products", *Information sciences*, v.158, 2004.  
 [11] Kanakakis, V., Valavanis, K. P., and Tsourveloudis, N. C., "Fuzzy-Logic Based Navigation of Underwater Vehicles", *Journal of intelligent & robotic systems*, v.40, no.1, 2004.  
 [12] Zavlangas, P., and Tzafestas, S., "Motion control for mobile robot obstacle avoidance and navigation: a fuzzy logic-based approach", *Systems analysis, modelling, simulation*, v.43, no.12, 2003.  
 [13] Ye, C., Yung, N., and Wang, D., "A fuzzy controller with supervised learning assisted reinforcement learning algorithm for obstacle avoidance", *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*. v.33, no.1, 2003.  
 [14] Yang, W., Watanuki, K., and Zhao, S., "A quick intelligent control system for a mobile robot to avoid collision with moving obstacles", *Microsystem technologies : sensors, actuators, systems integration*, v.11, no.8/10, 2005.  
 [15] Liu, Y.-H., Du, X.-M., and Yang, S.-H., "The Design of a Fuzzy-Neural Network for Ship Collision Avoidance", *Lecture notes in computer science*, v.3930, 2006.  
 [16] Lee, Y.-I., and Kim, Y.-G., "A Collision Avoidance System for Autonomous Ship Using Fuzzy Relational Products and COLREGs", *Lecture notes in computer science*, v.3177, 2004.  
 [17] Yen, J., Wang, H., and Liao, J., "A method for automatic generation of a fuzzy model" *Industrial Fuzzy Control and Intelligent Systems*, 1993.  
 [18] Castro, J. L., "Fuzzy logic controllers are universal approximators", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 25, Issue 4, 1995.  
 [19] 김용기, "지능형 자율운항 제어기술(2단계)," 대학기

초연구보고서, 국방과학연구소, 2005.12.

[20] Kim, S.-G., and Kim, Y.-G., "An Autonomous navigation system for unmanned underwater vehicles", in *Underwater Vehicles*, ISBN 978-953-7619-49-7, I-Tech publishing, Austria, 2009.

저 자 소 개



**정 희(Hee Jung)**  
2008년 : 진주산업대학교 창업대학원 창업학과(창업학석사)  
2000년 : 창원대학교 대학원 전자계산학과(이학석사)  
2009년 : 경상대학교 대학원 컴퓨터과학과(공학박사)  
2003년~현재 : 진주산업대학교 경제경영지원센터

2011년~현재 : 경상남도 통영소상공인지원센터

관심분야 : 인공지능, 퍼지시스템, 충돌회피시스템, 창업교육 및 컨설팅



**김성곤(Seong-Gon Kim)**  
2008년 : University of Illinois at Urbana-Champaign, 컴퓨터과학과 학사  
2010년 : University of Florida 컴퓨터공학 석사  
2010년~현재 : LG전자 연구소 연구원

관심분야 : 기계학습, 패턴인식, 지능로봇



**김용기(Yong-Gi Kim)**  
1978년 : 서울대학교 공과대학 학사  
1987년 : University of Montana, 컴퓨터과학 석사  
1991년 : Florida State University, 컴퓨터과학 박사  
1992년~현재 : 경상대학교 컴퓨터과학과 교수

관심분야 : 소프트웨어, 지능시스템, 무인수중로봇