

퍼지 로직을 이용한 수중 로봇의 새로운 경로 제어 알고리즘

A New Path Control Algorithm for Underwater Robots Using Fuzzy Logic

권경엽*, 정태휘*, 조중선**

Kyoung-Youb Kwon, Tae-Whee Joung, and Joongseon Joh

*국립창원대학교 제어계측공학과 대학원

**국립창원대학교 제어계측공학과

요 약

본 논문에서는 퍼지 로직을 이용한 수중 로봇의 충돌 회피를 제안하였다. VFF(Virtual Force Field) 방법은 이동 로봇 분야에서 널리 사용하고 있는 충돌 회피 알고리즘이다. 본 논문에서는 이를 수중 로봇의 자율 항해를 위한 형태로 변형시킨 Modified Virtual Force Field(MVFF)를 제시하였다. 보다 정교한 알고리즘을 위해서 퍼지 로직을 이용한 MVFF를 구성하였고, 이를 수중 로봇의 경로 유지와 충돌 회피에 적용하였다. 퍼지 로직은 수중 로봇의 자율 항해 동안 직면하게 되는 다양한 상황들을 다루었다. 제안한 충돌 회피 알고리즘은 다수개의 고정 장애물에 대해서 좋은 성능을 제시하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 방법이 수중 로봇의 충돌 회피에 효과적으로 적용될 수 있음을 보였다.

Abstract

A fuzzy logic for collision avoidance of underwater robots is proposed in this paper. The VFF(Virtual Force Field) method, which is widely used in the field of mobile robots, is modified for application to the autonomous navigation of underwater robots. This Modified Virtual Force Field(MVFF) method using the fuzzy logic can be used in either track keeping or obstacle avoidance. Fuzzy logics are devised to handle various situations which can be faced during autonomous navigation of underwater robots. The obstacle avoidance algorithm has the ability to handle multiple static obstacles. Results of simulation show that the proposed method can be efficiently applied to obstacle avoidance of the underwater robots.

Key Words : MVFF, Collision avoidance, Track keeping, Underwater robot, Fuzzy logic.

1. 서 론

현대에 이르러 해양개발이 활발하게 진행되면서 각종 수중작업에 대한 필요성이 증가하고 있으며, 해저에 매설된 자원의 개발과 군사적인 이유 등으로 여러 방면에서 다각적인 수요가 생겨나고 있다. 따라서 해저 자원을 탐사 및 개발하고 해양 환경을 조사하기 위한 해저 탐사용 수중 로봇이 절실히 요구되고 있다[1,2]. 특히, 심해에서 수중 로봇의 장애물 회피 능력을 지닌 자율 항해는 매우 중요한 일이며, 이를 위한 지능적인 수중 로봇 연구가 계속적으로 연구되고 있다[3,4]. 또한, 장애물 회피는 이동 로봇 분야에서도 이용하고 있으며, 그 중에 널리 사용하는 알고리즘이 virtual force field(VFF)이다. 이 알고리즘의 연구는 매우 활발하게 진행되었으며, 만족스러운 결과를 제시해 주었다[5-8].

저자는 보다 정교한 알고리즘을 만들기 위해서 퍼지 로직

을 이용한 변형된 VFF(MVFF)를 구성하였고, 이를 선박의 자율 항해에 적용하였다[9]. 본 논문은 이 기법을 3차원 문제로 확장시켰으며, 퍼지 로직을 보다 정교하게 구성하였다.

수중 로봇의 충돌 회피 알고리즘은 크게 두 부분으로 나뉜다. 첫 번째는 기준 경로를 추종하고 유지하는 부분이며, 두 번째는 장애물의 충돌 회피 부분이다. 제안한 MVFF는 다수개의 고정 장애물이 존재할 경우 효율적인 경로 유지와 충돌 회피 능력을 동시에 지닌다. 또한, 전문가의 지식을 통한 퍼지 로직을 MVFF와 결합하여 수중 로봇의 자율 항해에 적용하였다. 다양한 충돌 상황들을 표현하기 위해서 퍼지 로직 전건부에 4개의 언어 변수들을 사용하였다.

본 논문에서는 수중 로봇의 충돌 회피를 위한 퍼지 로직을 제안하였다. 2절에서는 수중 로봇의 운동 방정식에 대해서 논한다. 3절에서는 MVFF에 대해서 다루고, 충돌 회피와 경로 유지를 위한 퍼지 로직 구성에 대해서는 4절에서 다룬다. 5절에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 방법의 타당성을 검증하고, 6절에서 결론을 맺는다.

2. 수중 로봇의 운동 방정식

수중 로봇의 3차원 운동은 6자유도 비선형 운동방정식으로 표현하며, 형태는 다음과 같다[11].

접수일자 : 2005년 4월 1일

완료일자 : 2005년 7월 25일

감사의 글 : 본 연구는 과학기술부 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

$$M_{\eta}(\eta)\ddot{\eta} + C_{\eta}(\nu, \eta)\dot{\eta} + D_{\eta}(\nu, \eta)\dot{\eta} + g_{\nu}(\eta) = \tau_{\eta} \quad (1)$$

여기서, $M_{\eta}(\eta)$ 는 강체의 관성 행렬, $C_{\eta}(\nu, \eta)$ 는 코리올리 및 원심력 항, $D_{\eta}(\nu, \eta)$ 는 댐핑 행렬, $g_{\nu}(\eta)$ 는 중력 힘과 모멘트 벡터, τ_{η} 는 제어 입력 벡터이다. $\eta = [x, y, z, \phi, \theta, \psi]^T$ 는 지구고정 좌표계(earth-fixed frame)에서의 위치와 오일러 각이며, $\nu = [u, v, w, p, q, r]^T$ 는 동체고정 좌표계(body-fixed frame)에서의 속도와 회전각속도이다. 본 논문에서는 [10,12]를 이용하여 수중 로봇 다이나믹스를 표현하였고, 이를 제한한 알고리즘의 시뮬레이션에 사용하였다. (1)식에 대한 상세한 수중 로봇의 운동 방정식은 [10-12]에 제시하였다.

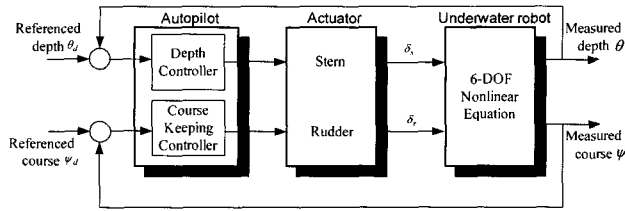


그림 1. 제어 시스템의 블록선도
Fig. 1. Block diagram of the control system

수중 로봇의 심도 제어(depth control)와 방향 제어(course keeping control)를 위한 비선형 시뮬레이션 구성도는 그림 1과 같다. 주어진 기준 심도각(θ_d)과 방향각(ψ_d)은 수중 로봇의 구동 장치인 선미타(stern)와 방향타(rudder)를 통해 제어된다. 수중 로봇의 6자유도 비선형 방정식을 통해 출력된 심도각(θ)과 방향각(ψ)은 피드백되어 기준 심도각 및 방향각과 비교하여 원하는 기준 경로를 추종한다. 시뮬레이션 시 구동 장치는 시스템의 안정성을 고려하여 선미타(δ_s)와 방향타(δ_r) 각도와 각속도를 제한하였다.

3. Modified Virtual Force Field

VFF 알고리즘의 기본 개념은 쿨롱의 법칙을 적용하는 것으로서, 이동 로봇 분야에서 널리 이용하였다. 이 기법은 로봇과 목표점 사이에는 다른 극성의 전하를 가지고, 로봇과 장애물 사이에는 같은 극성의 전하를 가진다고 가정하여 로봇과 목표점 사이에는 흡인력(\vec{F}_a)이 작용하고, 로봇과 장애물 사이에는 반발력(\vec{F}_r)이 작용하여 원하는 목표점에 도달하도록 하는 경로 계획 알고리즘[5-8]으로서, 이를 표현하면 (2)식과 같다. 그림 2는 VFF의 개념을 나타낸다.

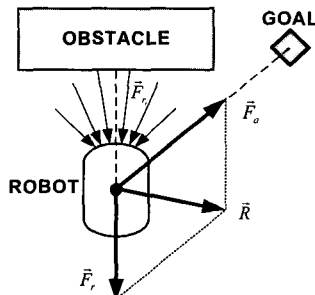


그림 2. VFF 방법의 개념
Fig. 2. The concept of the VFF method

$$\vec{R} = \vec{F}_a + \vec{F}_r \quad (2)$$

여기서, \vec{F}_a 는 로봇이 목적지로 향하는 흡인력이고, \vec{F}_r 은 로봇과 장애물 사이의 반발력이며, \vec{R} 은 총 합력이다.

일반적으로, \vec{F}_a 와 \vec{F}_r 의 크기는 상수 혹은 고정된 수식으로 표현한다[7,8]. 이 알고리즘을 적용할 경우에는 경로 유지를 위한 기능은 없으며, 이동 로봇이 현재 위치에서 목적지로만 향한다. 그러나 수중 로봇이 심해저 지형 조사나 광물 자원의 탐사, 해양 구조물의 조사등과 같은 임무를 수행할 경우에는 지정된 경로를 잘 추종해야 한다. 따라서 기존의 VFF 방법으로는 해결할 수 없으며 본 논문에서는 경로 유지와 충돌 회피의 능력을 동시에 가지는 MVFF 방법을 제안하였다.

MVFF에서는 경로 유지를 위한 힘 벡터인 \vec{F}_p 를 (2)식에 추가하였다. 이것은 수중 로봇에서 기준 경로에 수직방향으로 흡인력이 작용하는 가상적인 힘의 벡터이다. 그림 3에서 MVFF의 개념을 나타내었다.

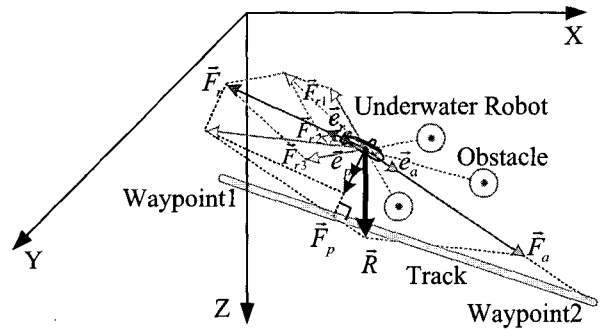


그림 3. MVFF의 개념
Fig. 3. The concept of MVFF

MVFF의 개념은 다음과 같다.

$$\vec{R} = \vec{F}_a + \vec{F}_p + \vec{F}_r = \vec{F}_a + \vec{F}_p + (\vec{F}_{r1} + \vec{F}_{r2} + \dots + \vec{F}_{rn}) \quad (3)$$

여기서, \vec{F}_a : 다음 waypoint로 작용하는 흡인력,

\vec{F}_r, \vec{F}_{ri} : 장애물에 대한 반발력, $i = 1, 2, \dots, n$,

\vec{F}_p : 미리 정해진 기준 경로로 향하는 수직력,

\vec{R} : 힘들의 총 합력.

MVFF에서의 새로운 아이디어는 (3)식에 주어진 힘들을 결정하는 것이며, (3)식에서 표현한 MVFF 알고리즘의 힘 항들을 확장하여 표현하면 (4)식과 같다.

$$\begin{cases} \vec{F}_a = \alpha \vec{e}_w \\ \vec{F}_p = \beta \vec{e}_p \\ \vec{F}_r = \gamma (\vec{e}_{r1} + \vec{e}_{r2} + \dots + \vec{e}_{rn}), i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (4)$$

여기서, $\vec{e}_w, \vec{e}_p, \vec{e}_{r1}, \vec{e}_{r2}$ 그리고 \vec{e}_{ri} 는 단위 벡터이고, α, β, γ 는 각 힘 항의 크기를 결정하는 파라메타들이다. 본 논문에서는 수중 로봇이 자율 항해를 하는 동안 직면하게 되는

다양한 상황들을 표현하기 위해서 이 파라메타들을 퍼지 로직으로 구성하였다.

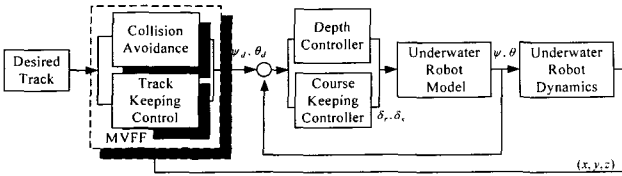


그림 4. 제안한 알고리즘의 블록선도

Fig. 4. Block diagram of the proposed algorithms

그림 4는 본 논문에서 제안한 알고리즘의 블록선도이다. 수중 로봇의 제어는 내부 루프와 외부 루프를 통해서 이루어진다. 내부 루프 제어는 심도 제어와 방향 제어로 구성된다. 본 논문에서 내부 루프 제어는 PID 제어를 사용하였다. 외부 루프는 장애물 충돌 회피와 경로 제어를 포괄한다. 이는 본 논문에서 제안한 MVFF 알고리즘을 통해서 구현하였다.

4. 수중 로봇의 충돌 회피와 경로 유지를 위한 퍼지 로직

본 논문에서 제안한 알고리즘은 VFF 방법을 변형시킨 MVFF로서, (4)식에서 설명한 것처럼 벡터 \vec{F}_a , \vec{F}_p 그리고 \vec{F}_r 의 크기인 α , β 그리고 γ 값을 퍼지 로직을 통해서 구성하였다. 이러한 알고리즘은 다양한 장애물 상황 속에서 경로 유지와 충돌 회피 능력을 가진다.

수중 로봇 제어는 수평면인 방향 제어와 수직면인 심도 제어로 나뉜다. 각각은 방향타(rudder plane)와 선미타(stern plane)를 통해 제어된다. 그리고 α , β , γ 를 위한 퍼지 로직을 수평면과 수직면에 대해서 각각 구성하였다.

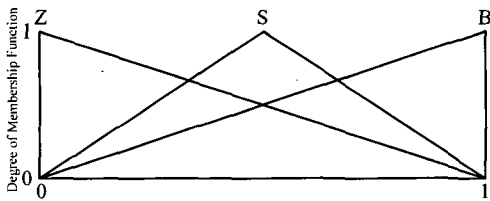


그림 5. d_α 의 소속 함수

Fig. 5. Membership function of d_α

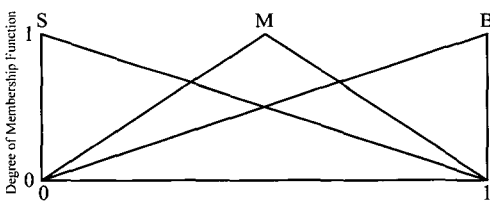


그림 6. ν_α 의 소속 함수

Fig. 6. Membership function of ν_α

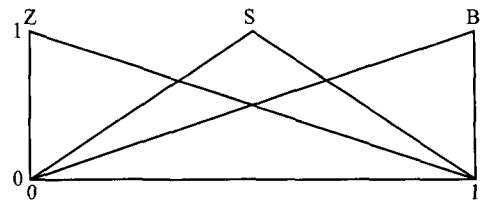


그림 7. α 의 소속 함수

Fig. 7. Membership function of α

경로 유지를 위한 MVFF 구성은 \vec{F}_a 와 \vec{F}_p 의 조합으로 구성하였다. α 와 β 는 퍼지 룰에 의해 결정되는 상수 값이다. α 와 β 를 위해 설계된 퍼지 룰의 집합은 수중 로봇이 원하는 경로에 벗어났을 때 효율적인 경로 유지를 가능하게 한다.

α 는 수중 로봇이 장애물 회피 후에 주어진 경로 복귀시 수중 로봇의 속도에 무관하게 일정한 패턴으로 복귀할 수 있도록 구성하였다. 여기서, 그림 5에서 보는 바와 같이 퍼지 전건부 언어 변수 d_α 는 수중 로봇과 다음 waypoint의 거리를 나타내고, 소속 함수는 {Z(ero), S(mall), B(ig)}이다. 퍼지 전건부 언어 변수 ν_α 는 그림 6에서 보는 바와 같이 수중 로봇의 속도를 나타내고, 소속 함수는 {S(mall), M(edium), B(ig)}이다. 그림 7은 퍼지 후건부 소속 함수이다. \vec{F}_a 의 크기인 α 를 나타내며, 소속 함수는 {Z(ero), S(mall), B(ig)}이다.

퍼지 소속 함수들은 정규화(normalization)된 형태로 구성하였으며, 이는 시뮬레이션을 통해 결정하였다. 퍼지 추론 방법은 가장 널리 사용되는 max-min 연산 방법을 사용하였고, 무게 중심법에 의해 비퍼지화 하였다. 본 논문에서 설명하는 α , β , 그리고 γ 의 모든 소속 함수들도 동일하게 적용하였다.

표 1. α 를 위한 퍼지 규칙

Table 1. Fuzzy rules for α

ν_α / d_α	S	M	B
Z	B	B	B
S	S	S	S
B	Z	Z	Z

수중 로봇의 속도와 무관하게 동일한 지점으로 일정한 패턴으로 복귀하기 위해서는 표 1에서 보는 것과 같이 d_α 가 작으면 α 는 크게 하고, d_α 가 크면 α 는 작게 하는 퍼지 룰로 구성하였다. 수평면과 수직면 제어에 대해서는 동일한 소속 함수와 퍼지 규칙을 사용하였고, 적용되는 가중치(scaling factor)는 서로 다르다. 이는 표 5에 나타내었다.

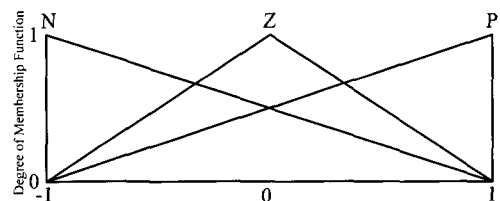


그림 8. e_β 와 Δe_β 의 소속 함수

Fig. 8. Membership function of e_β and Δe_β

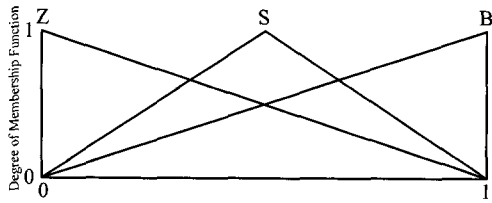


그림 9. β 의 소속 함수
Fig. 9. Membership function of β

β 는 MVFF에서의 핵심이며, 미리 정해진 경로를 추종하기 위한 것이다. 기본 개념은 경로의 빠른 복귀 및 복귀시 발생하는 진동을 줄이기 위한 것이다. 그림 8에서 전진부 언어 변수 e_β 와 Δe_β 는 수중 로봇과 정해진 경로의 수직 거리와 수직 거리의 변화율을 각각 나타낸다. 소속 함수는 {N(egative), Z(ero), P(ositive)}이다. 그림 9는 퍼지 후건부 소속 함수이다. \bar{F}_β 의 크기인 β 를 나타내며, 소속 함수는 {Z(ero), S(mall), B(ig)}이다.

표 2. β 를 위한 퍼지 규칙
Table II. Fuzzy rules for β

$e_\beta \backslash \Delta e_\beta$	N	Z	B
N	B	S	Z
Z	S	Z	S
B	Z	S	B

표 2의 퍼지 룰은 전형적인 레귤레이션(regulation) 문제에 많이 사용하는 보편적인 형태의 룰로 구성하였다. 수평면과 수직면에는 동일한 소속 함수와 퍼지 규칙을 사용하였으며, 적용되는 가중치(scaling factor)는 각각 다르다. 이를 표 5에 나타내었다.

일반적으로 VFF 방법은 충돌 회피에 대해서 좋은 성능을 보인다. 그러나 3차원 수중 로봇에 대해서는 장애물과 충돌 상황들이 다양하고 복잡하다. 따라서 기본적인 VFF 방법은 이러한 복잡한 상황들을 대처하기 힘들다. 제안한 MVFF 방법은 충돌 회피 벡터 \bar{F}_r 을 도입하였고, 이 벡터는 4개의 언어 변수를 가진 퍼지 룰을 통해 결정하였다. 이는 수평면 제어를 위한 퍼지 언어 변수 2개와 수직면 제어를 위한 퍼지 언어 변수 2개로 구성하였다. (5)식에서 γ 를 생성시키기 위한 i 번째 일반적인 퍼지 룰을 나타내었다. 이는 수평면 제어와 수직면 제어에 동일하게 적용되는 퍼지 룰이다.

$$\text{IF } D_\gamma \text{ is } (LVD_\gamma)_i \text{ and } \Delta D_\gamma \text{ is } (LV\Delta D_\gamma)_i \\ \text{THEN } \gamma \text{ is } (LV\gamma)_i. \quad (5)$$

여기서, LV^* 는 언어 변수 *의 언어 값이며, D_γ 은 수중 로봇과 장애물사이의 거리, ΔD_γ 은 수중 로봇과 장애물사이의 거리 변화율이다. 각각의 소속 함수는 그림 10과 그림 11에서 제시한 바와 같이 {Z(ero), S(mall), M(edium), B(ig), V(ery)B(ig)}과 {N(egative)B(ig), N(egative)S(mall), Z(e)R(o), P(ositive)S(mall), P(ositive)B(ig)}이다. 그림 12는 퍼지 후건부 소속 함수이다. \bar{F}_r 의 크기인 γ 를 나타내며, 소속 함수는 {Z(ero), S(mall), M(edium), B(ig),

V(ery)B(ig)}이다.

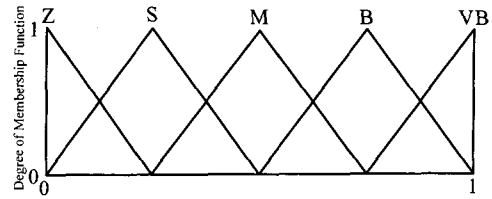


그림 10. D_γ 의 소속 함수
Fig. 10. Membership function of D_γ

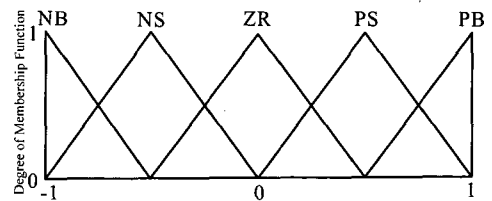


그림 11. ΔD_γ 의 소속 함수
Fig. 11. Membership function of ΔD_γ

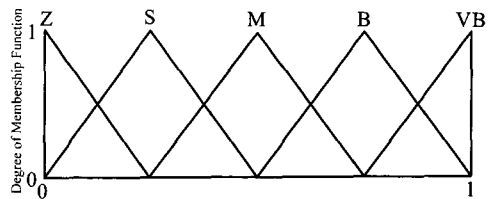


그림 12. γ 의 소속 함수
Fig. 12. Membership function of γ

충돌 회피를 위한 퍼지 룰은 표 3에 제시하였으며, 퍼지 제어 규칙은 만족스러운 성능을 얻기 위해서 설계자의 직관과 시행착오적인 방법을 통해서 구하였다.

표 3. γ 를 위한 퍼지 규칙
Table III. Fuzzy rules for γ

$\Delta D_\gamma \backslash D_\gamma$	NB	NS	ZR	PS	PB
Z	VB	VB	VB	VB	VB
S	VB	VB	VB	VB	B
M	VB	B	M	S	Z
B	B	M	S	Z	Z
VB	M	S	Z	Z	Z

5. 시뮬레이션

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위하여 수중 로봇의 6자유도 비선형 운동방정식[10,12]에 기초한 시뮬레이션을 수행하였다. 수중 로봇은 2개의 근접한 waypoint1과 waypoint2를 연결한 기준 경로를 추종한다고 가정하였다. 다수개의 고정 장애물들은 경로 부근에 위치해 있고, 장애물들의 위치는 실시간으로 관측 가능하다고 가정하였다.

시물레이션시 구동 장치는 시스템의 안정성을 고려하여 방향타(δ_r)와 선미타(δ_s)의 각도와 각속도를 각각 23deg와 10deg/s로 제한하였다. 수중 로봇과 장애물의 충돌 회피 제한 반경은 각각 13m와 46m로 설정하였다.

시물레이션을 위해 설정한 waypoint는 다음과 같다.

waypoint1 : $x=100m, y=-100m, z=-100m,$
 waypoint2 : $x=500m, y=-500m, z=-500m.$

시물레이션을 위한 방향각 제어기는 PID 제어를 사용하였으며, 방향타를 위한 PID 제어기 값은 $KpDR = -1.3,$ $KdDR = -2.7$ 그리고 $KiDR = -0.0001$ 이며, 선미타를 위한 PID 제어기 값은 $KpDS = -7,$ $KdDS = -4.3$ 그리고 $KiDS = -0.013$ 이다. 여기서, $KpDR, KpDS$ 는 P 게인값이며, $KdDR, KdDS$ 는 D 게인값, 그리고 $KiDR, KiDS$ 는 I 게인값을 나타낸다.

본 논문에서는 퍼지 로직을 이용한 MVFF 방법과 VFF에 사용하는 알고리즘인 상수와 고정된 수식을 수중 로봇의 경로 유지 및 장애물 회피에 적용하여 비교하였다. 방향 제어와 심도 제어를 위한 상수 값은 동일하게 $\alpha=5, \beta=1,$ 그리고 $\gamma=5$ 로 설정하였으며, 고정된 수식에 대해서는 $\alpha=5, \beta=1$ 로 각각 동일한 값을 가지며, 수중 로봇과 장애물과의 반발력을 나타내는 항은 $\gamma_{course} = \tanh(0.1(1 - d_{course}) + 1) + 2$ 와 $\gamma_{course} = 5 \tanh(0.1(1 - d_{course}) + 1.5) + 3$ 으로 나타내었다. 여기서, d_{course} 는 방향 제어에서의 수중 로봇과 장애물의 거리, d_{depth} 는 심도 제어에서의 수중 로봇과 장애물의 거리이다. 수식은 이동 로봇에 사용한 [6,7]을 참고하였으며, 이를 수중 로봇의 충돌 회피 알고리즘에 적용하였다. 수식 값은 시물레이션을 통해 최고의 성능을 내기 위해서 얻은 최적이라 판단되는 값으로 표현하였다.

퍼지 로직을 이용한 방법에 사용된 전진부와 후진부의 가중치는 표 5에 나타내었다.

표 5. MVFF 시물레이션에 사용된 파라메타들
 Table. V. Parameters of MVFF for simulations

방향 제어		심도 제어	
α_{course}	$d_{\alpha}gain = 10$	α_{depth}	$d_{\alpha}gain = 10$
	$\nu_{\alpha}gain = 1$		$\nu_{\alpha}gain = 1$
	$\gamma_{course} gain = 3$		$\gamma_{depth}gain = 4$
β_{course}	$e_{\beta}gain = 100$	β_{depth}	$e_{\beta}gain = 100$
	$\Delta e_{\beta}gain = 20$		$\Delta e_{\beta}gain = 20$
	$\beta_{course}gain = 2$		$\beta_{depth}gain = 1.8$
γ_{course}	$D_{\gamma}gain = 50$	γ_{depth}	$D_{\gamma}gain = 80$
	$\Delta D_{\gamma}gain = 5$		$\Delta D_{\gamma}gain = 4$
	$\gamma_{course} = 1.3$		$\gamma_{depth} = 3.3$

그림 13에서 수중 로봇의 초기 위치는 $x=120m, y=-150m, z=-120m$ 이며, 장애물의 위치는 $x=300m, y=-300m, z=-300m$ 이다. MVFF는 경로 유지 정밀도 관점에서 볼 때, 기존의 VFF에 사용하는 힘 벡터 크기인 상수와 고정된 수식을 사용했을 경우보다 본 논문에서 제안한 MVFF가 빠른 경로의 복귀 능력과 장애물 회피 능력을 보여주었다.

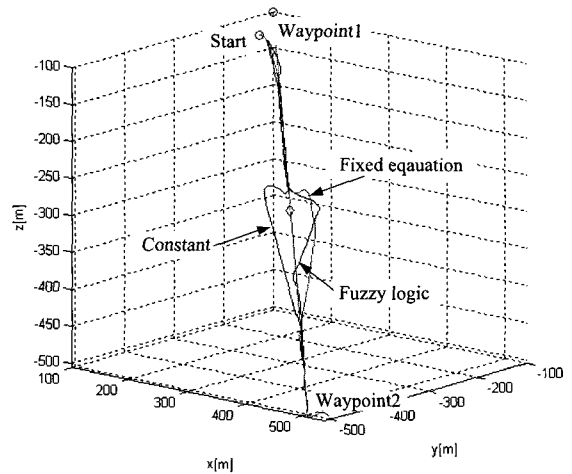


그림 13. MVFF와 VFF 알고리즘의 성능 비교
 Fig. 13. Performance comparison of the MVFF and VFF algorithms

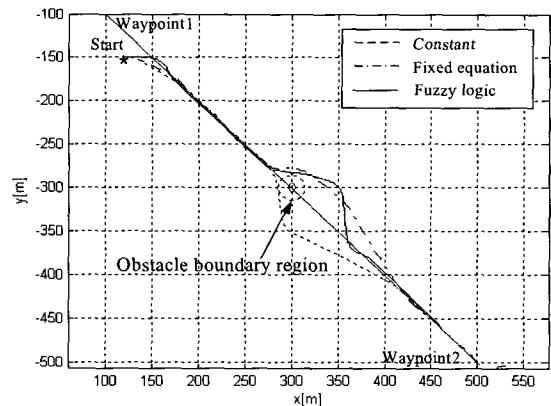


그림 14. xy 평면
 Fig. 14. xy-plane

그림 14는 수중 로봇과 장애물의 충돌 회피 제한 반경을 2차원 평면을 통해서 자세히 나타내었다.

그림 15와 그림 16은 다수개의 고정 장애물들을 회피시 MVFF 알고리즘의 우수성을 나타낸다. 그림 15에서의 수중 로봇과 장애물의 초기 위치는 다음과 같다.

수중 로봇의 초기 위치 : $x = 220m, y = -250m, z = -220m,$
 첫 번째 장애물 위치 : $x = 320m, y = -337m, z = -310m,$
 두 번째 장애물 위치 : $x = 350m, y = -350m, z = -350m.$

수중 로봇이 경로를 따라 진행 중에 경로 근처에 있는 첫 번째 장애물과 두 번째 장애물을 회피하면서 빠른 경로 복귀 모습을 보여주었다.

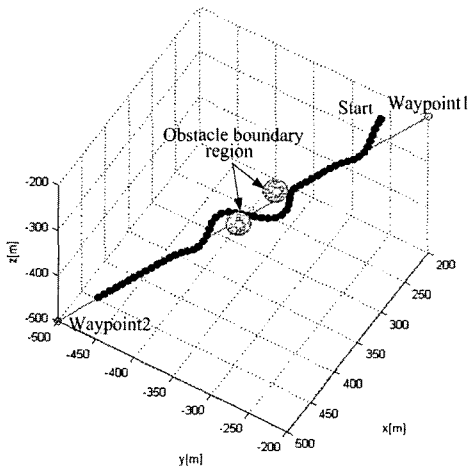


그림 15. 2개의 고정 장애물 존재시 MVFF 알고리즘의 충돌 회피

Fig. 15. Collision avoidance of the MVFF algorithm in presence of two static obstacles

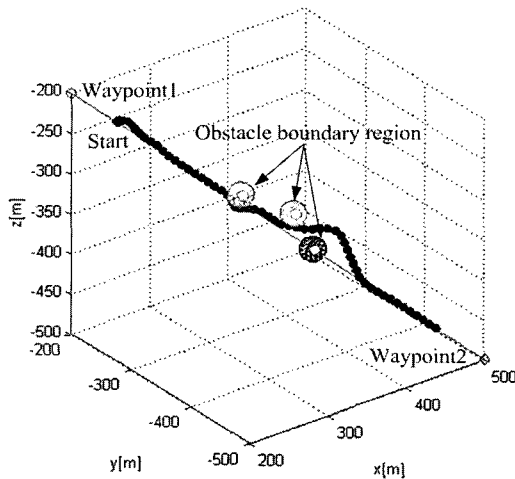


그림 16. 3개의 고정 장애물 존재시 MVFF 알고리즘의 충돌 회피

Fig. 16. Collision avoidance of the MVFF algorithm in presence of three static obstacles

그림 15와 그림 16에 본 바와 같이 MVFF 알고리즘을 통해서 가능한 한 미리 정해진 경로를 유지하면서 임의의 고정 장애물들을 효과적으로 회피함을 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 퍼지 로직을 이용한 수중 로봇의 충돌 회피 알고리즘을 제안하였다. 수중 로봇의 자율 항해에 맞는 MVFF(Modified Virtual Force Field) 방법을 제시하였다. 경로 유지를 위한 힘 벡터 \vec{F}_w , \vec{F}_p 와 충돌 회피를 위한 힘 벡터 \vec{F}_r 를 구성하였으며, MVFF의 \vec{F}_w , \vec{F}_p 그리고 \vec{F}_r 의 벡터 크기인 α , β , 그리고 γ 의 파라미터들을 정교한 퍼지 로직으로 표현하였다. 임의의 고정 장애물 회피 상황을 가정하여

퍼지 로직을 이용한 MVFF를 수중 로봇의 자율 항해에 적용하였다. 퍼지 로직을 이용한 MVFF 방법과 VFF에 사용하는 알고리즘인 상수와 고정된 수식을 수중 로봇의 경로 유지 및 장애물 회피에 적용하여 비교하였다. 수중 로봇의 회피 성능을 비교한 결과 MVFF 알고리즘의 우수성을 확인하였다. 또한, 시뮬레이션을 통해서 퍼지 로직을 이용한 MVFF가 다양한 상황에 대한 대처 능력이 우수함을 알 수 있었다. 결과적으로, 본 논문에서 제안한 알고리즘의 유용성과 타당성을 확인하였다. 향후, 이동 장애물에 확장하여 적용시 좋은 성능을 보일 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Jeen-Shing Wang; Lee, C.S.G., "Self-adaptive recurrent neuro-fuzzy control of an autonomous underwater vehicle Robotics and Automation," *IEEE Transactions on*, 19, Issue. 2, pp. 283 - 295, April 2003.
- [2] Ishii, K., Nishida, S., Watanabe, K., Ura, T., "A collision avoidance system based on self-organizing map and its application to an underwater vehicle Control," *Automation, Robotics and Vision, 2002. ICARCV 2002. 7th International Conference on*, 2, Dec. 2002.
- [3] Sayyaadi, H., Ura, T., Fujii, T., "Collision avoidance controller for AUV systems using stochastic real value reinforcement learning method," *Proceedings of the 39th SICE Annual Conference. International Session Papers*, pp. 165 -170, 26-28 July 2000.
- [4] Xuemin Liu, Liang Peng, Jiawei Li, Yuru Xu, "Obstacle avoidance using fuzzy neural networks Underwater Technology," 1998. *Proceedings of the 1998 International Symposium on*, pp. 282-286, 15-17 April 1998.
- [5] A. A. Masoud and M. M. Bayoumi, "Robot navigation using the vector potential approach," *Proc. of IEEE international Conference on Robotics and Automation*, vol. 1, pp. 805-811, 1993.
- [6] Kwang-Young Im, Se-Young Oh, "An extended virtual force field based behavioral fusion with neural networks and evolutionary programming for mobile robot navigation," *Evolutionary Computation, 2000, Proceedings of the 2000 Congress on*, vol. 2, pp. 1238-1244, 16-19 July 2000.
- [7] Kwang-Young Im, Se-Young Oh, Seong-Joo Han, "Evolving a modular neural network-based behavioral fusion using extended VFF and environment classification for mobile robot navigation Evolutionary Computation," *IEEE Transactions on*, Volume: 6, 4, pp.413-419, Aug. 2002.
- [8] J. Borenstein, "Real-time obstacle avoidance for fast mobile robot," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 19, No. 5, pp. 1179-1187, Sept./Oct., 1989.

- [9] Joongseon Joh, Kyung-Yup Kwon and Sang-Min Lee, "Collision Avoiding Navigation of Marine Vehicles Using Fuzzy Logic," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 100-108, June 2002.
- [10] Donald P. Brutzman, "A Virtual World for an Autonomous Underwater Vehicle," *dissertation, Naval Postgraduate school*, Monterey California, 1994.
- [11] T . I. *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 1994.
- [12] A. J. Healey, and D. Lienard, "Multivariable sliding mode control of autonomous diving and steering of underwater vehicles," *IEEE Journal of Ocean Engineering*, OE-18,3, pp.327-339, 1993.



정태휘(Tae-WheeJoung)

2001년: 창원대학교 전기전자제어공학과 대학원(공학석사)
2005년 현재: 동대학원 박사과정

관심분야 : Electro-Hydraulic Servo System, Active Damper, 퍼지시스템 및 제어, 퍼지 제어
Phone : +82-55-285-7550
Fax : +82-55-262-5064
E-mail : twj0303@hanmail.net

저 자 소 개



권경엽(Kyong-Youb Kwon)

1998년 : 창원대학교 제어계측공학과(학사)
2001년 : 창원대학교 전기전자제어공학과 대학원(공학석사)
2005년 현재 : 동대학원 박사과정

관심분야 : 퍼지시스템 및 제어, 신경회로망, 진화이론, 뉴로-퍼지 및 소프트 컴퓨팅, DSP 기반 Controller 개발
Phone : +82-55-285-7550
Fax : +82-55-262-5064
E-mail : kykwon@changwon.ac.kr



조중선(Joongseon Joh)

1991년 : Georgia Institute of Technology, Department of Mechanical Eng. (공학박사)
1991년~1993년 : 국방과학연구소
1993년~현재 : 창원대학교 제어계측공학과 정교수
2001년 : IEEE Trans. of Fuzzy Systems 최우수 논문상 수상

관심분야 : 지능 제어, 수중로봇, 이동로봇, 의료용 로봇, MR Fluid 응용 시스템 설계 및 제어
Phone : +82-55-279-7555
Fax : +82-55-262-5064
E-mail : jsjoh@sarim.changwon.ac.kr