

유전알고리즘 기반 선형 능동외란제거제어를 이용한 Mariner Class 선박의 선수각 제어

이유수* · 안종갑** · 류기탁*** · 이윤형*** · † 소명욱

*원터투어가스엔지니어, **시워드십메니지먼트 이사, ***한국해양수산연수원 교수, † 한국해양대학교 기관공학부 교수

1. 서 론

본 논문에서는 모델 독립적인 제어기 설계 방법인 능동외란제거제어법 (ADRC: Active Disturbance Rejection Control)(Han, 2009)(Herbst, 2013)을 이용하여 Mariner Class Vessel(MCV)의 선수각 제어시스템을 설계한다. GAs (Genetic Algorithms)를 이용하여 선박 선수각 제어용 선형 ADRC 제어기 이득들을 동조한다.

2. 선박 자동조타 시스템의 동적모델

본 논문에서는 선박의 6자유도(6 Degrees of freedom) 운동을 나타내는 가장 보편적인 SNAME 좌표계를 사용한다 (Fossen, 2002).

설계된 제어시스템을 검증하기 위해 선박의 현실적인 모델에 대한 제어 법칙을 시뮬레이션하는 것이 유용하다. 다음 동작 매개 변수는 다양한 수학적 모델을 설명하는 데 사용된다.

$$\begin{aligned} u &= u_0 + \Delta u; & p &= p_0 + \Delta p; & \phi &= \phi_0 + \Delta \phi; \\ v &= v_0 + \Delta v; & r &= r_0 + \Delta r; & \delta &= \delta_0 + \Delta \delta; \end{aligned}$$

Δu 는 공칭 서지 속도 u_0 로부터 상태를 크게 바꾸지 않을 정도의 외부로부터의 상호작용인 작은 섭동이고, u 는 전체 서지 속도를 나타낸다. 선박의 전체 서지 속도는 다음과 같이 정의된다.

$$U = \sqrt{u^2 + v^2} = \sqrt{(u_0 + u)^2 + v^2}$$

Mariner Class Vessel의 경우 서지, 흔들림 및 요의 동적 운동 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} m' - X'_{\dot{u}} & 0 & 0 \\ 0 & m' - Y'_{\dot{v}} & m' x'_G - Y'_r \\ 0 & m' x'_G - N'_{\dot{v}} & I'_z - N'_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \dot{u} \\ \Delta \dot{v} \\ \Delta \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X' \\ \Delta Y' \\ \Delta N' \end{bmatrix}$$

Mariner Class Vessel의 주요 데이터와 치수는 다음과 같다.

Main Data		Dimension
Length overall	171.80	m
Length between perpendiculars	160.93	m
Maximum beam	23.17	m
Design draft	8.23	m
Design displacement	18541	m ³
Design speed	15	knots

3. 선수각 제어를 위한 모델 독립적인 제어기 설계

3.1 설정치 점프(set point jump)

$$\frac{\psi_d}{\psi_r} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

3.2 모델 독립적인 선형능동외란제거 제어기 설계

$$\dot{y} = -a_1 y + w + \Delta b u + b_0 u = f + b_0 u \quad (2)$$

$$u = \frac{-\hat{f} + u_0}{b_0}, \quad \dot{y} = (f - \hat{f}) + u_0 \quad (3)$$

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 + b_0 u \\ \dot{x}_2 = h \\ y = x_1 \end{cases}, \quad \begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + Eh \\ y = Cx \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \dot{z} = Az + Bu + L(y - \hat{y}) \\ \hat{y} = Cz \end{cases}, \quad z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \end{bmatrix}, \quad L = \begin{bmatrix} \ell_1 \\ \ell_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$u_0 = k_1(\psi_r - \psi) - k_2 z_1 \quad (6)$$

4. 시뮬레이션 결과 및 검토

4.1 시뮬레이션을 위한 상세 조건

제안하는 유전알고리즘 기반 선형 ADRC 제어기의 이득들을 탐색할 때 선박의 비선형모델을 사용한다. 이는 ADRC의 정의인 식(2)와 같이 플랜트의 내부적인 불확실성(비선형성 포함)을 전체외란 f 로 간주하고, f 를 새로운 상태변수로 취급할 수 있기 때문이다. 제안하는 제어기와 비교를 위한 PD제어기의 이득들도 유전알고리즘에 의해서 추정된다. 이때 사용되는 선박모델은 nomoto 1차 선형 모델을 사용한다. $T = T_1 + T_2 - T_3$ 이다. $T_1=118, T_2=7.8, T_3=18.5, K=0.185$ 이다.

$$\frac{r}{\delta}(s) = \frac{K(1 + T_3s)}{(1 + T_1s)(1 + T_2s)} \approx \frac{K}{1 + Ts} \quad (7)$$

$$J(\psi) = \int_0^{t_f} t(\psi_r - \psi) dt \quad (8)$$

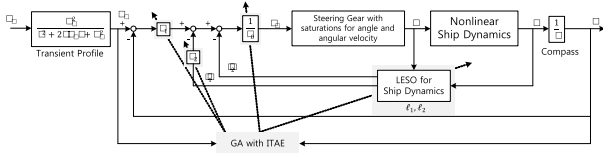


Fig. 1 GA based LADRC gains tuning

4.2 GA에 의한 LADRC의 제어이득 탐색

LADRC의 제어이득을 탐색하기 위해 사용된 GA의 제어변수로는 집단의 크기 20, 재생산계수 1.8, 교배확률 95%, 돌연변이 확률 20%가 사용되었다.

4.3 선박 선수각 제어 시뮬레이션

PD 제어기의 제어이득을 LADRC의 제어이득을 탐색할 때와 동일한 조건으로 동조하여 성능을 비교하고자 한다.

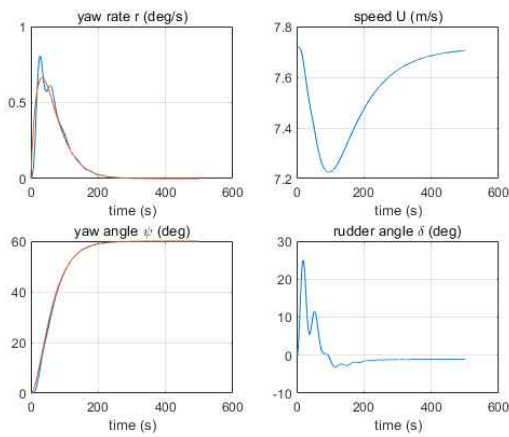


Fig. 3 GA-LADRC applying to Mariner Class Vessel (nonlinear model with saturations of steering gear)

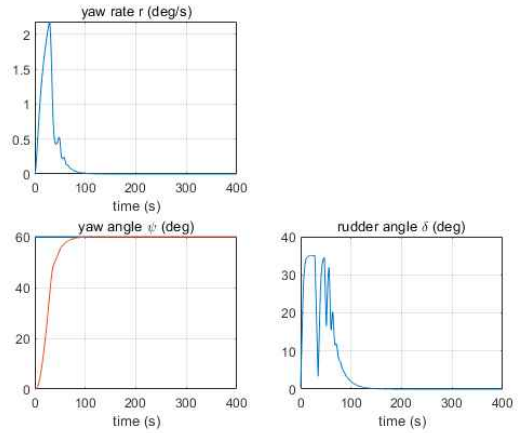


Fig. 4 Conventional Linear PD controller applying to 2nd order nomoto model with saturations for angle and angular velocity

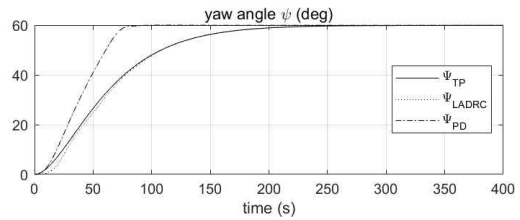


Fig. 5 Transient response of LADRC and PD controller

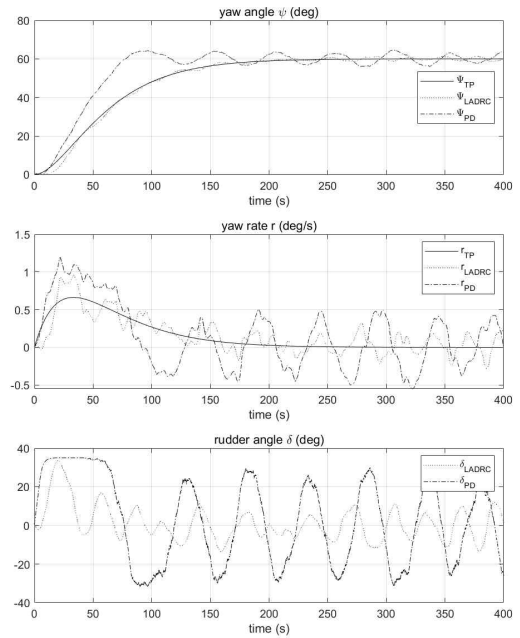


Fig. 6 Course changing $0[^\circ] \rightarrow 60[^\circ]$ for LADRC and Conventional Linear PD controller on MCV nonlinear model with saturations of steering gear and environmental disturbance

참고문헌

- [1] Fossen T. I.(2002), Marine Control Systems - Guidance, Navigation, and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, Marine Cybernetics.
- [2] Han, J.(2009), “From PID to Active Disturbance Rejection Control”, IEEE transactions on Industrial Electronics, Vol. 56, No. 3, pp. 900-906.
- [3] Herbst, G.(2013), “A Simulative Study on Active Disturbance Rejection Control (ADRC) as a Control Tool for Practitioners” Electronics, Vol. 2, No. 3, pp. 246-279.