

선박의 자동조타제어

강 창 남
제주대학교 해양과학부

Auto steering control of ship

Chang-Nam Kang
Faculty of Marine Science, C.N.U.

Abstract - Auto Steering System is the device for course keeping or course altering to ship's steering system. The purpose of automatic steering system is to keep the ship's course stable with the minimum course and rudder angle. Recently, modern control theories are being used widely in analyzing and designing the ship system. Though P.D type auto pilots are widely used in ships, the stability and the adjusting methods are not clarified. In this paper the authors proposed auto steering system with Hybrid Controller. The things that the actual operators of a steering wheel has acquired through their experience can be logically described by the Linguistic Control Rule. The characteristic of the control system were investigated through the computer simulation results. it was found that the Hybrid control was more efficient than the PD control system.

1. 서 론

선박에 있어서 자동조타장치는 항로유지 및 선회 항적시 선박의 안정성 및 방향타의 제어를 최소화 하고 목적지까지 운항시간을 감소 시키는데 있다. 자동조타장치는 1920년대에 Sperry Com.에서 최초로 제품화에 성공하였으며 그후 1922년 Minorsky는 선박이나 항공기 등에 자동조종에 관한 연구 실험을 거쳐 당시에 사용되던 각각속도 제어방식대신 비분비례제어방식의 필요성을 밝혔다[1]. 1949년 Schiff는 선체운동의 해석에 있어서 비례제어방식의 경우와 비례미분방식의 경우에 대한 연구를 행해진 후 선박의 침로 및 변침을 안정하게 하기 위하여 보상기를 도입한 제어계의 구성방식으로 PD 또는 PID제어를 채택한 자동조타장치가 널리 이용하게 되었다[2]. 그러나 선박의 조타는 비선형적인 성질을 지니며 제어파라미터는 선박의 처해진 상황에 따라 변화가 심하며 그때마다 제어방식 및 파라미터를 바꾸어 주어야 하는 등의 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 침로 변경 및 침로 유지 조타방식의 퍼지제어 알고리즘을 작성하여 PID제어기를 주제어기로 하고 토크스위치를 이용하여 퍼지제어기를 부가한 혼성제어기를 가진 속도제어 시스템의 기존 PD제어방식과 시뮬레이션을 통하여 혼성제어기의 유효성을 확인하고 결과를 비교 분석 하는데 있다.

2. 본 론

선박의 자동조타시스템을 구성하는 요소로서는 자동조타기, 타기, 엔진, 타 및 콤파스 등이 있다. 인간에 의한 조타의 경우에는 자동조타기 대신에 Quarter Master (Q/M)가 또한 본 논문에서 다루는 혼성제어기에 의한 경우는 Fuzzy Logic Controller가 대신한다[4]. 조타의

목적은 침로 변경(Course Altering)과 침로 유지(Course Keeping)에 있다. 이들을 변환 스위치를 이용하여 협수로 및 연안 항해 등 선박의 안정성을 중요시 하게 하는 항해에는 편각을 빨리 조절하여 정밀한 항로 유지가 가능하게 편각량만을 평가함수로 정하여 침로 변경 조타를, 원양 항해시는 안정된 항해 위주이므로 조타저항과 침로 편차에 대한 에너지 손실을 평가 함수로 두어, 침로보지 조타를 하게 한다.

따라서 침로 변경 조타에서는 조타시작에서 종료시 까지 시간 t 를 최소로 하면 되므로 평가함수 I 는 다음과 같다.

$$I = \int_0^T \theta^2 dt \rightarrow \min$$

침로 보지 조타에서는 항해시간 또는 연료소비를 평가함수로 잡으면 된다. 목표 침로보다 ϕ 의 오차가 발생되면 목표 방향의 속력 성분은 $V\cos\phi$ 로 되고 속력에 대한 손실은 $V - V\cos\phi = \frac{1}{2}V\phi^2$ 로 된다. 침로를 수정하기 위

한 타각 δ 를 나타내면 $V\lambda\delta^2$ (λ =정수)의 속력 손실이 있으며 따라서 평가함수 I 는 다음과 같다.

$$I = \int_0^z \left(\frac{1}{2}\phi^2 + \lambda\delta^2 \right) dt \rightarrow \min$$

단 z 는 도달전까지 거리를 속력 V 로 나눠서 얻어진 시간이다. Fig.1은 이상에서 설명한 퍼지회로를 이용한 자동조타 시스템의 블록선도로 PID제어기를 주제어기로 하고 토크스위치를 이용하여 퍼지제어기를 부가한 혼성제어기를 가진 속도제어 시스템의 구성도이다.

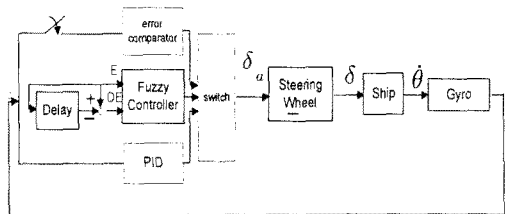


Fig.1 Block diagram of ship's steering system using Hybrid controller

선박의 운동 방정식은 다음과 같은 2계 선형 미방으로 표현 할 수 있다.

$$T_1 T_2 \frac{d^2 \theta}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{d\theta}{dt} + \theta + K(\theta)^3 = T_4 \delta + T_3 T_4 \frac{d\delta}{dt}$$

여기서 T_1, T_2, T_3 : 조종성능지수 T_4 : 조종이득정수

θ : 편각 δ : 타각 $\dot{\theta}$: 편각속도 $\frac{d\delta}{dt}$: 타각속도

$K(\dot{\theta})^3$: 비선형요소

침로 변경 조타방식인 경우에 퍼지 변수는 여러 가지 일 상적인 경험에서 나오는 것을 종합하여 제어량인 편각으 로는 PB, PM, PS, ZO, SS, SM, SB의 7개로 조작량인 타각으로는 편각의 반대개념인 PB, PH, PM, PI, PS, PJ, ZO, SJ, SS, SI, SM, SH, SB의 13개로 정하여 다양하게 사용가능하며, 퍼지 변수의 대집합은 [-16, 16]로 정하고 멤버십 함수를 결정한다. 멤버십 함수는 대집합에 대하여 규격화하여 일반적으로 많이 사용하는 삼각형의 함수 형태로 정의하였다. 멤버십 함수식을 대집합에 대하여 집합요소의 간격을 1로 하여 퍼지집합 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\mu_{SB} = (0.0/-16, 2.5/-15, 5.0/-14, 7.5/-13, 1.0/12, 7.5/11, \dots, 0.0/15, 0.0/16)$$

$$\mu_{SM} = (0.0/-16, 0.0/-15, 0.0/-14, 0.0/-13, 0.0/12, 2.5/11, \dots, 0.1/15, 0.0/16)$$

$$\mu_{PB} = (0.0/-16, 0.0/-15, 0.0/-14, 0.0/-13, 0.0/12, 0.0/11, \dots, 0.25/15, 0.0/16)$$

사신의 좌편은 각각 Membership값을 우편은 대집합의 값이다. 제어규칙은 Q/M의 경험에 의하여 편각을 빨리 제거하기 위하여 보다 큰 타각을 사용한다.

Table1. Fuzzy logic control rule considering the deviation angle for FLC

R^1 : If D=SB then RA=PB or
R^2 : If D=SM then RA=PH or
R^3 : If D=SS then RA=PI or
R^4 : If D=ZO then RA=ZO or
R^5 : If D=PS then RA=SI or
R^6 : If D=PM then RA=SH or
R^7 : If D=PB then RA=SB
단 D=Deviation Angle RA=Rudder Angle
SB=Starboard Big SM=Starboard Medium
SS=Starboard Small ZO=Zero
PB=Port Big PM=Port Medium
PS=Port Small SH=Mean of SB and SM
SI=Mean of SM and SS SJ=Mean of SS and ZO
PH=Mean of PB and PM PI=Mean of PM and PS
PJ=mean of PS and ZO

다음은 퍼지관계의 min-max합성 규칙에 따르며[5], 적합 도는 $\omega_i = \mu_{Ai}(x_0) \wedge \mu_{Bi}(y_0)$ 에 의하여 구해지며 추론결과는 $\mu_{C_i}(u) = \omega_i \wedge \mu_{C_i}$, 전체추론 결과는 $\mu_{C'}(u) = \mu_{C_1}(u) \vee \mu_{C_2}(u) \dots \vee \mu_{C_m}(u)$ 으로 구해진다. 마지막으로 최종적인 퍼지집합 C' 의 대 표값 u_0 을 구하는 조작을 비퍼지화라[6] 부르고, $u = \sum u_i \mu_{C'}(u_i) / \sum \mu_{C'}(u_i)$ 로 정의되는 무게중심 법 (centroid of gravity method) 을 이용하여 계산한다 [7]. 여기서 사용된 전건부 변수는 $x_1 * 3.0^\circ$ 로 가정하였다. 전건부 변수가 3.0° 로 입력된 경우 제어규칙 4, 5번을 제 외하고는 제어규칙의 적합도가 0.0으로 되고 R^4, R^5 는 각각 0.25, 0.75이다. 샘플링 간격 t 는 선박의 경우 f_{max} (Spectrum의 최고 주파수)가 약 0.5c/s 이므로, t 는 0.1(sec)정도이나 시정수가 크므로 실용상 0.2(sec)정도 로 충분하다. 침로 유지의 경우 Steering engine을 통하 여 타에 가해지면 편각속도가 발생하고 적분량인 편각 을 제한시켜 침로를 조종한다. Q/M의 경우는 타각을 경 험에 의하여 적절하게 조종함 으로서 침로를 안전하게

제어한다. 반면에 퍼지제어는 Q/M의 축적된 경험과 이 론적인 연구 결과로부터 제어 규칙을 작성하여 퍼지 관 계를 구하고 퍼지 추론에 의하여 제어 입력인 타각을 결 정하여 선박을 제어하게 된다. 침로 유지 조타방식은 Q/M의 경험에 비추어 타각은 편각의 크기에 반대 방 향으로 동일한 크기만큼을 줄이어서 제어가 가능하다는 논 리를 이용하여 퍼지논리를 작성하고 제어를 실행하고자 한다. 전건부 변수나 후건부 변수에 대한 조건이 침로 변경조타 방식과 동일하며 단지 제어규칙만 Q/M의 경 험과 조타로 인한 저항증가 선속 감소등의 손실을 고려 하였으며, Table 2와 같다.

Table 2 Fuzzy Logic control rule considering the deviation angle for FLC

R^1 : If D=SB then RA=PM or
R^2 : If D=SM then RA=PI or
R^3 : If D=SS then RA=PJ or
R^4 : If D=ZO then RA=ZO or
R^5 : If D=PS then RA=SJ or
R^6 : If D=PM then RA=SI or
R^7 : If D=PB then RA=SM

3. 모의 실험 및 분석

편각 및 편각속도에 의한 퍼지제어 종래의 PD제어로 구 분하였으며 선박의 운동방정식은 $T_1 T_2 \frac{d^2 \theta}{dt^2} + (T_1 + T_2)$

$\frac{d\dot{\theta}}{dt} + \theta + K(\dot{\theta})^3 = T_4 \delta + T_3 T_4 \frac{d\delta}{dt}$ 와 같이 나타내고 이를 상태방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$X = AX + B\delta + D(\dot{\theta})^3 \quad Y = CX$$

$$\text{단 } A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -(T_1 + T_2)/T_1 T_2 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1/T_1 T_2 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 \\ T_3 T_4 / T_1 T_2 \\ T_4 / T_1 T_2 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -K \end{bmatrix}$$

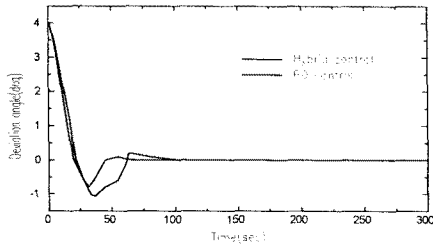
$$X' = (\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}) \quad ({}^t = \text{transpose}), \quad C = (1, 0, 0)$$

시뮬레이션 시간은 300초로하고 초기조건과 외란을 달리 하는 경우에 조타방식에 따라 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션에 사용한 선박은 전장 125m, 배수톤수 6000 (k/t)인 단재화물선이고 조종성능지수는 T_1, T_2, T_3 는 각 각 45, 6, 10이다. 조종이득정수 $T_4 = 0.08$ 로 주어졌다.

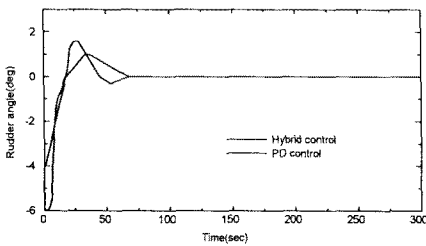
PD제어의 각 파라미터는 경우 $K_p = 1.0, K_d = 1.0$ 으로 하 였다. 또한 비선형 계수 $K = 0.1$ 로 하였다. Fig.2는 침로 변경 조타인 경우에 초기 편각을 4.0(deg), 초기 편각속도 를 0 (deg/sec)로 했을 경우에 모의 실험을 한 결과이다. 그림에서 보면 혼성제어가 침로를 회귀하는데 걸린 시간 에서는 각각 PD제어에는 62초, 혼성제어기에서는 58초 로 나타나서 PD제어인 경우보다 다소 앞섰으며 평가함 수에서는 PD제어에 대한 결과가 72.8%정도로 나타나서 혼성제어방식이 월등히 우수하다. 또한 타각을 보면 고 도의 속련자와 유사한 조타가 뱃을 알 수 있다.

Fig.3은 침로 유지 조타인 경우에 초기 편각을 4.0(deg), 초기 편각속도를 0 (deg/sec)로 했을 경우에 모의 실험 을 한 결과이다. 혼성제어인 경우는 PD제어에 비해 원 침로로 복귀하는 시간에서 71초로 다소 느리지만 적 절한 타 사용으로 평가 에너지 손실 면에서는 PD제어에 비해 67%정도로 양호한 결과치를 나타낸다.

또한 오버슈트면에서 편각 및 편각속도, 타각의 크기가 상당히 퍼지 제어를 한 경우가 억제됨을 알 수 있다.

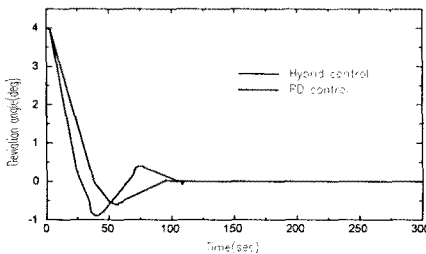


(a) in case of deviation angle(deg)

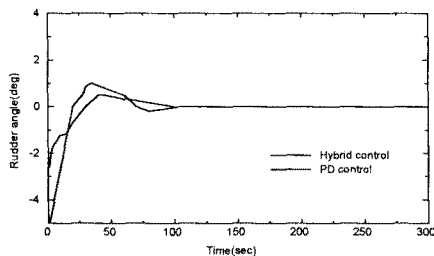


(b) in case of rudder angle(deg)

Fig.2 Simulation results in case of course Altering method



(a) in case of deviation angle(deg)



(b) in case of rudder angle(deg)

Fig.3 Simulation results in case of course Keeping method

4. 결 론

혼성제어기에 의한 선박의 자동조종시스템을 구상하여 모의 실험을 행하여서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 침로변경 조타방식에서는 혼성제어기인 경우가 침로를 회귀하는데 걸린시간이 58초로 PD제어보다 다소 앞섰고, 침로보정 조타방식에서는 PD제어가 우수하였다.
2. 평가함수면에서는 PD제어에 대한 혼성제어의 결과가 변침조타인 경우는 72.8%정도, 침로유지 조타인 경우는 64%정도로 혼성제어의 경우가 아주 우수하였다.
3. 오버슈트가 퍼지제어쪽이 상당히 억제되는 것을 알 수 있다.

이상과 같이 PID제어기를 주제어기로 하고 토글스위치 를 이용하여 퍼지제어기를 부가한 혼성제어기를 가진 속도제어 시스템의 충분히 우수하다는 결론을 도출해 냈으며 또한 논리 규칙의 변경을 통하여 여러 대상에 대한 제어가 실현 가능하고 상황에 적응이 최적인 제어기를 고안하고 여러 가지 소프트웨어를 개발하여 선박의 처한 상황에 맞게 시스템을 적용하면 고효율적인 선박 자동조타장치의 시스템 자동화가 실현 가능하리라 본다.

[참 고 문 헌]

- [1] N.Minorsky, " Directional stability of automatically steered bodies", J. of ASNE.34. 1922.
- [2] 이철영,김시화,김환수,"P.I.D.형 자동조타장치에 관한 약간의 고찰", 한국항해학회지,9(2),pp13-26,1985.
- [3] K.J.Astrom, " Why use adaptive techniques for steering large tankers "Int. J.Control, Vol.32, No. 4, pp.689-708,1979
- [4] 菅野道夫,"フアジイ制御",日本工業新聞社,pp.5-25,1988.
- [5] 水本鴉青,"フアジイ制御向きの推論法",計測と制御, Vol.28, pp. 17-21, 1989.
- [6] 채석,오영석 " 퍼지 이론과 제어" 청문각, pp233-246. 1995.
- [7] 이광형,오길록,"퍼지 이론 및 응용편",홍릉과학출판사,1991.