

## FNN 제어기에 의한 선박의 조종성능개선

**강창남**

제주대학교 해양과학부\*\*

### An improvement of control performance of ship by FNN controller

Chang-Nam, kang

Faculty of marine science, C.N.U.

**Abstract** - A novel approach has been promoted for FNN ship controllers. An Electro-hydraulic governor has been widely adopted to the ship speed control of propulsion marine diesel engines for a long time. It was very difficult for Electro-hydraulic governor to regulate the speed of high power engine with long stroke at low speed and low load, because of the jiggling phenomena by rough fluctuation of rotating torque and the hunting phenomena by long dead time occurred in fuel combustion process in the engine cylinder. This paper provides an efficient way for improving control performance by FNN controller. An RBF neural network and GA optimization are employed in a fuzzy neural controller to deal with the nonlinearity, time varying and uncertain factors. the rule base and membership functions can be auto-adjusted by GA optimization. The parameters of neural network can be decreased by using union-rule configuration in the hidden layer of the network. The performance of controller is evaluated by the system simulation using simulink tools.

시스템의 전달함수 즉 연소계통의 속도에 대한 기준입력과 출력사이의 전달함수 및 오픈루프의 전달함수는 다음과 같다(강,1996),

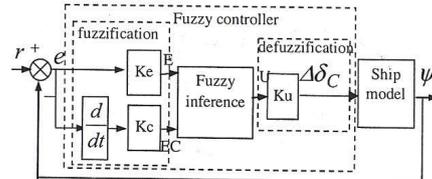
$$G_R(s) = \frac{N(s)}{P_E(s) - P_s(s)} = \frac{\frac{1}{K_L}}{\frac{(J/75)(2\pi/60)^2}{K_L}s + 1} = \frac{K_r}{T_r s + 1} = \frac{K_T}{s + \alpha_r}$$

$K_r$  : 회전계통의 정상이득,  $T_r$  : 회전계통의 시정수

$$G(s) = \frac{\alpha_2(s + \alpha_3)}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} K_c e^{-Ls} \frac{K_T}{s + \alpha_r}$$

#### 2.2 Fuzzy 제어기설계

일반적으로 퍼지 선박 제어 시스템의 구조는 합성제어기를 가진 피드백 제어 시스템이다. 퍼지 제어기 모델은 3개의 기본적인 함수 성분을 가지는데 입력, 출력인터페이스 그리고 처리부이고 각각 퍼지화 비퍼지화 퍼지추론이다. 퍼지제어기는 주고 받는 데이터가 크리스프한 데이터이므로 상호 바꿔줄수 있는 변환장치가 필요하게 되는데 퍼지화기, 비퍼지화기가 변환을 담당한다.



**<Fig. 2> Basic scheme of fuzzy control system**

일반적으로 전통적인 퍼지 선박 제어기에서 선박의 코스 편차  $e$  와 도함수  $\frac{de}{dt}$  는 두 입력변수로, 라다각 계인  $\Delta\delta_c$  는 출력변수이다.  $r$  과  $\psi$  는 각각 기준 입력과 실제 출력이다. 퍼지 추론을 위하여  $E$  와  $EC$  는  $e$  와  $\frac{de}{dt}$  가 논리영역에서  $K_e$  와  $K_c$  에 의하여 퍼지화된 입력 값이다.

$U$  는 추론된 출력변수이다. 실제 라다각 계인  $\Delta\delta_c$  는 선박 모델 입력 값으로  $K_u$  에 의하여 비퍼지화된다. 퍼지화인터페이스에서  $E$  와  $EC$  는 연속적인 범위[-6.6]에서 균일분포이고,  $\exp(-(x-m)^2/\sigma^2)$  로 묘사되는 가우시안 멤버십함수이다.  $m$  은 언어변수(fuzzy sets)를 나타내고  $\sigma$  는 그들의 전제이다. 비퍼지화 인터페이스에서 출력변수  $U$  는 싱글톤 이산 분포로 [-5 5]범위이다. 룰베이스는 항상 전문가의 실제적인 지식으로부터 요약된다. 1번째 룰은 다음처럼 묘사된다.

$R_1$ : IF  $E$  is  $A_{11}$  and  $EC$  is  $A_{21}$  THEN  $U$  is  $B_1$

여기서  $R_i$  는  $i$  번째 룰이다.  $A_{1i}$  and  $A_{2i}$  는 멤버십함수  $\mu_{A_{1i}}(E)$  and  $\mu_{A_{2i}}(EC)$  에 의하여 정의되는 퍼지집합이다.  $B_i$  는 싱글톤 출력 퍼지 집합이다. 거기에는 기껏해야 전문가의 의견으로부터 룰베이스에 49개의 룰이 있다. 즉 7개의 퍼지집합을 가진 두개의 입력변수  $E$  와  $EC$  가 있다. SUM-product 퍼지추론과 센터 중심의 방법은 다음식으로 정의된다

$$g_i = \mu_{A_{1i}}(E) \mu_{A_{2i}}(EC), \quad U = \frac{\sum_i g_i B_i}{\sum_i g_i}$$

#### 2.3 UNION 룰 구성된 RBF FNN 설계

RBF회로망은 3층의피드포워드이며 숨겨진 뉴런의 출력은 RBF인 Gaussian 함수를 적용해서 유도한다. 이것은 입력벡터와 센터 사이의 차이이며, 선형 출력 뉴런은 숨겨진 뉴런 출력들의 합으로 계산한다. 그러나 교차룰(IRC)로 구성된 경우는 룰폭발이 발생하는 단점이 있다. 1988년에 Combs 와 Andrews에 의하여 교차룰 구성을 대처하는 유니온 룰(URC)에 대한 연구가 진척 되었으며 Sun등은 교차룰 구성을 유니온 룰 구성을 가진 제어기로 변환하는 접근법을 제안하였다(Sun, 1997). 논리적으로 등치와 비선형 등치가 성립이 됐고, 룰 베이스의 수는 URC에

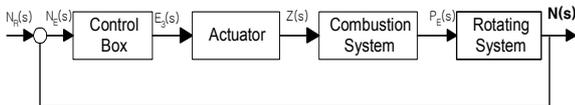
### 1. 서 론

선박의 주기관 으로 사용되는 디젤기관은 기관 및 추진시스템의 효율을 높이고, 연료비를 절감하기 위하여 저속 장행정화 되어가고 있는 추세이다. 1회전 내에서 기관의 토크와 회전수의 순시변동으로 인한 연료펌프의 랙크 구동부에 발생하는 지글링 현상 때문에 심한 마모가 발생 할 뿐 아니라 지연시간이 길어지고 또한 운전영역에 따라 파라미터 값의 변화가 커서 효율적인 속도제어가 어렵다. 본 연구에서는 비선형 시불변 여러 불확실한 요소들을 다루기 위하여 RBF신경망과 GA최적화가 채용된 FNN 제어기를 장착한 시스템을 구성하여 모의실험을 하였다. 룰 베이스 및 소속 함수는 GA최적화에 의하여 자동조정 되었고 뉴럴네트 회로망의 파라미터들은 네트워크의 숨겨진 층에 유니온 룰 구성을 통하여 감소되며 제어성능은 시뮬링크 툴을 이용한 모의실험을 통하여 유효성을 입증하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 속도제어 시스템 모델링

디젤기관의 속도 제어 시스템은 제어반, 액츄에이터, 연소계통, 회전계통으로 크게 나뉜다(유 와 하,1990). 브릿지나 기관제어실의 속도제어반에서 속도지령에 따라 회전수의 목표치가 주어지면 조속기의 레버를 통하여 연료분사계통에 신호가 전달되어 연료랙클을 움직여 연료를 증감하고, 이에 따르는 연소계통의 마력수 증감으로 추진기의 회전수를 조종하여 목표치 회전수에 도달할 때 까지 주파수/전압 변환기를 거쳐 제어반으로 케환되어 목표회전수를 유지한다. Fig.1 은 전기 유압식 조속기를 가진 디젤기관의 속도 제어 시스템 구성도이다



**<Fig.1> Speed control system of diesel engine with electro hydraulic governor**

조속기의 동특성은 전형적인 2차계로 다음과 같이 표현된다(강,1996)

$$\frac{Z(s)}{N_E(s)} = \frac{\alpha_2(s + \alpha_3)}{s^2 + \beta_1 s + \beta_2} = \frac{\alpha_2(s + \alpha_3)}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

연소계통의 시정수는 회전계통의 시정수에 비해서 아주 작은 값이라서 무시하고 시간 지연 요소만 가지고 해석하였다.

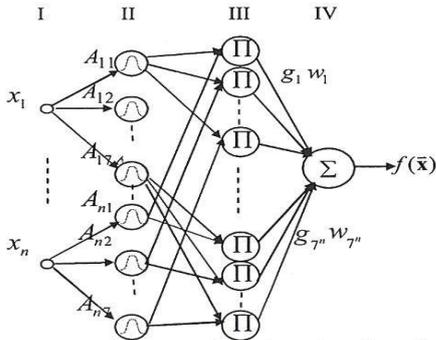
$$G_E(s) = \frac{P_E(s)}{Z(s)} = K_c e^{-Ls}, \quad K_c : \text{연소계통의 정상이득}$$

의하여 선형관계로 변환되었다. URC는 정리논리에서 IRC와 같다는 것이 입증되었다.

다음 Fig.4 에서처럼 RBF망을 이용하여 선박제어기로서 퍼지 추론이 편리하게 할 수 있게 대체 되었다. 같은  $\sigma_i$ 가 가우스 멤버십 함수로 채택된 것을 가정하면 비선형 등치를 만족하여 다음식을 얻을 수 있다. 이 RBF망에서 모든 숨겨진 마디는 룰로서 맵핑되며 그 파라미터의 감소는 룰을 제거 하는 것과 같아진다.

$$U = \sum_{i=1}^n g_i w_i / \sum_{i=1}^n g_i$$

$$g_i = \prod_{j=1}^n \mu_{A_j}(x_j) = \prod_{j=1}^n \exp\left[-\frac{(x_j - c_{ji})^2}{\sigma_j^2}\right] = \exp\left[-\frac{\|x - c_i\|^2}{\sigma^2}\right]$$



<Fig. 4> RBF network based on Union-rule configuration

이 적용에서 RBF회로망은 망은  $e$  와  $\frac{dc}{dt}$  를 가진 2차의 RBF 신경망 선박 모델을 구성하기 위하여 그림1에 나타난 퍼지 추론을 대체하여 사용하였다.  $x_1$ 과  $x_2$ 는  $\mu_{A_{1i}}(E)$  and  $\mu_{A_{2i}}(EC)$ 이고  $w_i$ 는 룰 출력  $\mu_{B_i}(U)$ 이고  $f(\bar{x})$ 는 추론  $U$ 의 결과이다.

변환요소들은 전체시스템에 중요하다. 편차  $e$ 와 그 도함수  $\frac{dc}{dt}$ 는 변환요소  $K_c$  와  $K_u$ 에 의해 퍼지 제어기 영역으로 맵핑된다.  $U$ 는 RBF망에 의하여 추론되며  $K_u$ 요소에 의하여 라다가 게인으로 변환된다. 시스템의 동적성능은  $K_c$ 와  $K_u$ 에 의하여 크게 영향을 받을 수 있다. 조정하거나 자기적응 할 수 있는 요소에 대한 많은 의견들이 제안되나 너무 복잡하여 실현이 어렵다. 좀더 나은 방법으로서,  $K_c$ 는 고정시키고  $K_c$ 와  $K_u$ 는 편차의 절대값으로 조정된다. 방위제어선박에 대하여 실제 입력 편차의 범위는  $[-30^\circ, 30^\circ]$ 이고 논리영역은  $[-6, 6]$ 이다. 편차의 변환요소는  $K_c = 6/30 = 0.2$ 이다.

$$K_c = \begin{cases} a - \frac{a-12}{0.5} |E|, & \text{if } |E| \leq 0.5 \\ 12, & \text{if } |E| > 0.5 \end{cases}$$

$$K_u = \begin{cases} b - \frac{7-b}{0.5} |E|, & \text{if } |E| \leq 0.5 \\ 7, & \text{if } |E| > 0.5 \end{cases}$$

여기서  $a$ 는 12보다 큰 조정 가능한 파라미터이고,  $b$ 는 7보다 작은 조정 가능한 파라미터이다.  $|E|$ 는 편차의 절대값이다.

#### 2.4 파라미터 최적화

파라미터 최적화는 GA 최적화의 첫 단계이다. 이들은 2진수로 변환되는데 GA 최적화 필요성에 대하여 파라미터들은 Table II에 다섯 그룹으로 된다.  $c_i$ 와  $d_i$ 는 7에 대응되는데  $c_1 \dots c_7$ 를 의미하고 입력치  $x_1(E)$ 의  $\sigma_1 \dots \sigma_7$ 를 전개한다.  $e_i$ 와  $f_i$ 는 다른 입력치  $x_2(EC)$ 의 똑같은 변수에 대응된다. 마지막 그룹  $g$ 는 49개의 연결 하중치이다. 동일  $\sigma$ 는 3장에서 숨겨진 마디에 대응되는 것으로 간주한다.  $d$ 그룹과  $f$ 그룹은 똑 같다. 거기에는 GA최적화를 위하여 남겨진 4그룹만이 있다. 모든 파라미터는 다음에 의하여 십진수에서 16비트 이진 문자열로 변환될 것이다.

$$B_i = f \left[ \frac{K_i - K_{i_{min}}}{K_{i_{max}} - K_{i_{min}}} (2^n - 1) \right] \quad (i = 1, 2 \dots)$$

여기서  $B_i$ 는  $K_i$ 에 대응하는  $n$ 비트 이진수,  $K_i \in [K_{i_{min}}, K_{i_{max}}]$   $f$ 는 10진수에서 2진수문자열로 변환함수.  $B_1$ 과  $B_2$ 는 한 개체로 섞일 것이다.

<Table I > CHROMOSOME FOR GA

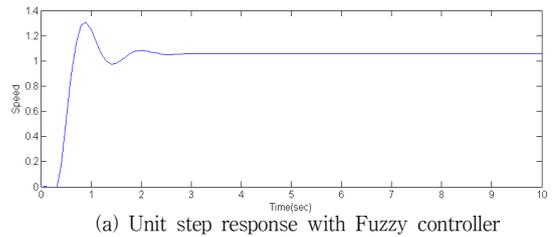
$c_1$	$c_2$	...	$c_7$
$d_1$	$d_2$	...	$d_7$
$e_1$	$e_2$	...	$e_7$
$f_1$	$f_2$	...	$f_7$
$g_1$	$g_2$	...	$g_7$

대상함수들은 일반적으로 오버슈트, 과도시간, 정적 편이 오차는 특성 인덱스로 간주되며, 바이어스 오차와 시간의 곱의 정수를 대상함수로 고려된다. 명백히  $J$ 가 작아지면 각각 적응의 정도는 더 좋아진다.

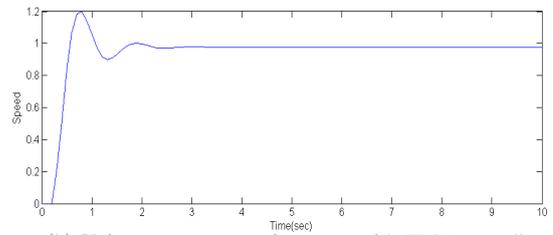
$$J = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt$$

### 3. 결 론

이 퍼지 뉴로 시스템 블록은 파라미터가 개체 사이즈는 20, 선택은 토너먼트로 변이율은 0.001,  $K_c = 0.2$ ,  $K_c = 12$ ,  $K_u = 7$ 로 GA최적화를 했으며 RBF망에 중점을 두었다. 모의실험을 한 결과 시스템의 단위계단 응답곡선이 통상적인 방법으로 한 결과가 (a)에 나타났다. 새로운 방법으로 한 결과가 그림(b)에 10 세대로 최적화 된 후 나타내었다. 오버슈트는 감소했으며 상승시간이나 응답속도도 다소 빨라진 것을 알 수 있다. 퍼지 룰들은 초기 룰 베이스 설계한 것을 피하면서 GA최적화를 통하여 직접 추출하였다. GA 최적화는 초기설계 때나 변화하는 대상의 특성의 것들을 수반하는 부적당한 파라미터들을 조정할 수 있으며 퍼지 신경망 제어기는 비선형, 시변, 불확실한 상황을 다루는데 RBF 신경망을 사용하여 구축가능하고, 만족한 결과가 Tools에서 얻게 되었다.



(a) Unit step response with Fuzzy controller



(b) Unit step response of system with FNN controller

\* 이 논문은 2007년도 제주대학교 학술연구지원사업에 의하여 연구되었음을 알립니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Combs W E, Andrew J E, "Combinatorial rule explosion eliminated by a fuzzy configuration", IEEE trans. on fuzzy systems, pp.1-11, 1998
- [2] Li-Xin Wang, "A course in Fuzzy systems and control" Prentice-Hall, 257-263, 1997
- [3] Robert H. Bishop, "Modern control systems analysis and Design using MATLAB", Addison-Wesley Publishing Co., 103-113, 1993
- [4] SUN Zengqi, Zhang Zaixing, Deng Zhidong, "Intelligence control theory and technology", Beijing Tsinghua Univ. Press, 1997.
- [5] Woodward Governor (Japan) LTD, "機械油壓式及び電氣油 壓式 ガバナ" PMCC F-7. pp1-9, 1989
- [6] 강장남, "퍼지제어 기법에 따른 선박용 유압 조속기의 제어특성 및 성능개선에 관한 연구, 박용기관학회지, 20(3), 269-275, 1996