

선박 자동조타기 설계를 위한 퍼지모델링

안종갑¹ · 이창호² · 이윤형¹ · 손정기¹ · 이수룡³ · 소명옥[†]

(원고접수일 : 2009년 7월 21일, 원고수정일 : 2009년 10월 31일, 심사완료일 : 2009년 11월 18일)

Fuzzy modelling for design of ship's autopilot

Jong-kap Ahn¹ · Chang-Ho Lee² · Yun-Hyung Lee¹ · Jung-Ki Son¹ · Soo-Lyong Lee³
· Myung-Ok So[†]

요 약 : 본 연구에서는 설계사양과 경제성을 고려한 퍼지형 자동조타기를 설계하기 위한 이전 단계로 Bech와 Wagner Smith의 Nomoto 2차 비선형 확장모델을 퍼지모델로 구현하는 것을 다룬다. 우선 퍼지형 자동조타기를 얻기 위해 선박의 동적 특성을 효과적으로 표현 가능한 T-S 퍼지모델을 얻는다. T-S 퍼지모델은 선박의 회두각속도를 설계변수로 간주하고 이것의 변화에 따라 다수개의 지역 선형모델(서브 시스템)을 구한 후, "IF-THEN" 퍼지규칙으로 결합한 것이다. 이때 선형모델의 파라미터와 퍼지모델의 소속함수는 선박의 동적인 특성과 일치하도록 입·출력 데이터와 실수코딩 유전알고리즘이 결합된 모델 조정기법을 이용하여 최적으로 추정한다.

주제어 : 자동조타기, 자동조타시스템, T-S 퍼지모델, Nomoto 모델, 유전알고리즘

Abstract: The T-S fuzzy model of a ship is made from the nonlinear extension of Nomoto's 2nd-order model as the previous step before designing of the fuzzy type autopilot to consider the design specifications and the economic efficiency. The T-S fuzzy model is considered as a design variable of the heading angular velocity of ship. The linear models will be combined as "IF-THEN" fuzzy rules after get in this one area of the linear model(sub-system) by change of the heading angular velocity of a ship. The dynamic characteristic of a ship with the parameters of linear models and fuzzy membership functions are estimated to match by using the model adjustment technic with input/output data and a RCGA.

Key words: Autopilot, Automatic Steering System, T-S Fuzzy Model, Nomoto's 2nd-order model, Genetic Algorithm

1. 서 론

선박용 자동조타시스템의 제어기 설계를 위해 먼저 선박의 정확한 수확모델을 얻는 것이 필요하다. 하지만 물리적 현상을 더 자세하게 기술할수록 수확모델은 복잡해지고, 이는 수확모델의 파라미터에

대한 시스템의 많은 정보를 필요로 하게 된다. 이러한 관점에서 Nomoto[1]가 제안한 응답모델은 타의 변화에 대한 선수각의 응답을 표시한 수확모델로써 비교적 간단하며 선박의 조종운동을 유체력의 관점이 아니라 주어진 힘(타각의 변화)에 대한

[†] 교신저자(한국해양대학교 선박전자기계공학부, E-mail:smo@hhu.ac.kr, Tel:051)410-4248)

1 한국해양연구원 부산연수원

2 동주대학 조선정보학과

3 동명대학교 조선공학과

선박의 응답(회전운동)의 관계로 나타낸 모델로써 자동조타시스템의 구성 등에 적용하기 편리하다. 여기에 Bech와 Wagner Smith[2]는 선박의 비선형 조종특성을 고려하기 위해 Nomoto 모델에 비선형항을 포함한 비선형 확장 모델을 사용하여 연구를 하였다.

따라서 본 연구에서도 설계사양과 경제성을 고려한 퍼지형 자동조타기를 설계하기 위한 이전 단계로 Bech와 Wagner Smith의 Nomoto 2차 비선형 확장모델을 퍼지모델로 구현하는 것을 다룬다. 우선 퍼지형 자동조타기를 얻기 위해 선박의 동적 특성을 효과적으로 표현 가능한 T-S 퍼지모델[3]을 얻는다. T-S 퍼지모델은 선박의 회두각속도를 설계 변수로 간주하고 이것의 변화에 따라 다수개의 지역 선형모델(서브시스템)을 구한 후, "IF-THEN" 퍼지규칙으로 결합한 것이다. 이때 선형모델의 파라미터와 퍼지모델의 소속함수는 선박의 동적인 특성과 일치하도록 입·출력 데이터와 실수코딩 유전알고리즘(Real-coded genetic algorithm : RCGA)이 결합된 모델조정기법을 이용하여 최적으로 추정한다.

2. 선박의 T-S 퍼지모델

2.1 Nomoto 2차 비선형 확장모델

Bech와 Wagner Smith는 (1)과 같이 Nomoto 2차 비선형 확장 모델을 제안하였다.

$$T_1 T_2 \ddot{r} + (T_1 + T_2) \dot{r} + H_B(r) = K(\delta + T_3 \dot{\delta}) \quad (1)$$

$$H_B(r) = b_3 r^3 + b_2 r^2 + b_1 r + b_0$$

여기서, $H_B(r)$ 은 Bech[4]의 역나선궤적(Reverse spiral maneuver)으로부터 구할 수 있으며, $\dot{\psi} = r[\text{rad/sec}]$ 로서 회두각속도이다. $H_B(r)$ 은 ψ 의 비선형함수이다.

침로안정한 선박의 경우 $b_1 < 0$ 인 반면 침로불안정한 선박은 $b_1 > 0$ 이다. 선박이 하나의 프로펠러를 가지고 있거나 선체가 비대칭으로 되어있다면 b_0 는 0이 될 수 없고, 바람, 조류와 같은 외란에 의해 부가적으로 일정한 각의 타 오프셋(Rudder offset)을 갖게 된다. 선체가 대칭이라면 $b_2 = 0$

이다.

2.2 비선형항($H_B(r)$)에 대한 퍼지모델

선체운동을 묘사하는 수학모델을 살펴보면 시스템에 존재하는 비선형항들이 서로 다른 상태변수의 곱 또는 하나 이상의 상태변수 함수로써 표현되는데, 이는 실제 해상환경에서 항행하는 선박의 선체운동은 매우 복잡해서 분명한 운동방정식을 얻는다는 것이 쉽지 않다는 것을 의미한다. 하지만 복잡한 시스템이라 할지라도 일정 부분에서는 간단한 수학 모델의 형태로 선형화해서 나타낼 수 있으며 전체 시스템은 이들 부분 수학 모델의 조합으로 다시 구성할 수 있다.

본 논문에서는 부분적인 선형모델의 조합으로 복잡한 시스템을 묘사할 수 있는 특징을 가진 T-S 퍼지모델을 이용하여 선체운동을 묘사하는 방법을 살펴본다.

일반적으로 T-S 퍼지모델의 전건부는 서브시스템의 상태변수 중에 하나로 구성된다. 이것은 비선형 시스템이 몇몇 동작점에서 얻어지는 선형모델(서브시스템)의 퍼지결합으로 표시할 수 있음을 의미한다.

본 논문에서는 식(1)을 T-S 퍼지모델로 표현하기 위해 먼저 식(1)의 비선형함수인 $H_B(r)$ 을 식(2)와 같이 선형항만으로 구성된 T-S 퍼지규칙들로 표현한다. r 의 가능한 변화폭을 고려하여 퍼지소속함수를 SM(SMall), MD(MeDium), LG(LarGe)로 입력공간을 퍼지분할 한다. 그러면 식(2)와 같이 T-S 퍼지규칙을 3개의 규칙으로 표현하는 것이 가능하다.

퍼지규칙 :

$$R^1 : \text{IF } r \text{ is } M^1 \text{ THEN } y^1 = c_0^1 + c_1^1 r$$

$$R^2 : \text{IF } r \text{ is } M^2 \text{ THEN } y^2 = c_0^2 + c_1^2 r \quad (2)$$

$$R^3 : \text{IF } r \text{ is } M^3 \text{ THEN } y^3 = c_0^3 + c_1^3 r$$

여기서, R^i 는 모델의 i 번째 규칙, M^i 는 퍼지집합, $y^i = H_B^i(r)$ 는 규칙 R^i 로부터의 출력, c_j^i 는 결론부 파라미터를 나타낸다.

식(2)에서 입력으로 r 이 주어지면, i 번째 규칙의 전건부 적합도는 식(3)과 같이 되어 비선형항에 대한 규칙의 추론결과를 계산한다.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^3 \rho^i \{c_0^i + c_1^i r\}}{\sum_{i=1}^3 \rho^i} \quad (3)$$

여기서, ρ^i 는 퍼지집합 M^i 에서 r 의 기여도를 의미한다.

2.3 선박 조종방정식의 퍼지모델

식(3)의 추론 결과를 식(2)에 대입하면 Nomoto 2차 비선형 확장모델은 식(4)와 같은 퍼지모델로 표현된다.

$$R^i : \text{IF } r \text{ is } M^i \text{ THEN} \quad (4)$$

$$\ddot{r}^i = -\frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2} \dot{r} - \frac{c_1^i}{T_1 T_2} r + \frac{K}{T_1 T_2} (T_3 \delta + \delta) - \frac{c_0^i}{T_1 T_2}$$

여기서 $i=1, 2, 3$ 이다.

식(4)에서 입력으로 r 이 주어지면, 전체 선박조종방정식의 퍼지모델에 대한 추론결과는 식(5)와 같이 계산된다.

$$\ddot{r} = \frac{\sum_{i=1}^3 \rho^i \left\{ -\frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2} \dot{r} - \frac{c_1^i}{T_1 T_2} r + \frac{K}{T_1 T_2} (T_3 \delta + \delta) - \frac{c_0^i}{T_1 T_2} \right\}}{\sum_{i=1}^3 \rho^i} \quad (5)$$

3. 파라미터 추정 및 소속함수의 최적 조정

3.1 RCGA를 이용한 파라미터 추정

제어하고자 하는 시스템의 수학적 모델에 대한 정확도는 모델 내부 파라미터 값의 정확도에 의해 결정되나 기술적 혹은 환경적인 문제로 내부 파라미터의 정확한 값을 알지 못하는 경우가 빈번히 발생하기도 한다. 이 경우에는 시스템의 입·출력 데이터에 근거하여 모델의 파라미터를 추정해야 하는데, 일반적으로 시스템의 입·출력 신호와 그 도함수를 모두 직접 측정해야 한다는 문제점을 가진다.

이것은 기술적 또는 경제적으로 용이하지 않고, 가능하다 하더라도 잡음의 영향을 쉽게 받아서 정확한 추정이 어렵게 된다. 또한 실제 환경에서는 잡음과 모델 자체의 부정확성 등으로 탐색공간이 다봉(Multimode)이 되어 지역해(Local solution)에 수렴할 가능성이 높다.

따라서 본 논문에서는 선체 운동의 입·출력 데이터가 주어진 경우에 파라미터 추정이 가능하도록 RCGA 기반의 모델조정기법[5]을 이용한 파라미터 추정법을 사용한다.

모델조정기법(Model adjustment technique)은 Figure 1과 같이 제어대상과 병렬로 연결된 조정모델에 동일한 입력을 적용하고, 모델의 동특성이 시스템의 동특성에 가까워지도록 적응자로 모델의 파라미터를 조정하는 방법으로써 이를 이용하면 시스템의 파라미터 추정이 가능하다.

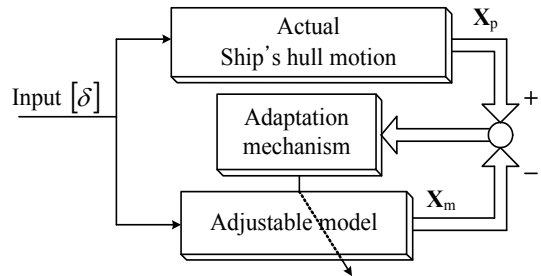


Figure 1: RCGA-Based model adjustment technique

조정모델은 식(2)의 퍼지규칙들이 사용되고, 적응 메커니즘은 RCGA를 사용하므로 염색체는 다음과 같이 표시된다.

$$s = (c_0^i, c_1^i) \quad (6)$$

결국 염색체 s 의 각 유전자들은 다음 조건이 만족되도록 최적 조정된다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} [\mathbf{x}_p - \mathbf{x}_m] \cong 0 \quad (7)$$

개체의 적합도를 평가하기 위해 식(8)과 같은 목적함수를 사용하였으며, RCGA는 궁극적으로 시스템과 조정모델 사이의 상태벡터 놈(Norm)이 최소가 되도록 파라미터를 탐색하게 된다.

$$J(\phi) = \int_{(k-W+1)T}^{kT} \|\mathbf{x}_p - \mathbf{x}_m\| dt \quad (8)$$

여기서, ϕ 는 미지의 파라미터 벡터, W 는 데이터 윈도우의 크기이며 \mathbf{x}_p 와 \mathbf{x}_m 은 각각 선박운동과 조정모델의 상태이다. 목적함수를 계산하기 위해서는 모델을 초기화하기 위한 1개의 입출력 데이터 쌍과 모델을 구동하기 위한 W 개의 입출력 데이터 쌍이 버퍼에 저장되어야 한다. 따라서 목적함수는 W 크기에 해당하는 유한시간 범위에서 계산되며, 새로운 데이터 쌍 $[u(kT), \mathbf{x}_p^T(kT)]$ 이 얻어질 때마다 버퍼의 내용은 이동(shift)되고 갱신된다.

3.2 RCGA를 이용한 소속함수의 최적 조정

일단 Nomoto 2차 비선형 확장모델이 식(4), 식(5)와 같은 T-S 퍼지모델로 표현되면 퍼지모델의 동특성과 비선형시스템의 동특성이 가까워지도록 전건부 입력변수들의 공간을 퍼지분할 하고, 퍼지 소속함수의 파라미터를 적절히 조정해야하는데 본 논문에서는 RCGA를 이용해 최적으로 조정한다.

퍼지 분할에 이용되는 퍼지집합으로 선체 회두각 속도인 r 에 대해서 식(9)로 정의되는 사다리꼴 형태의 소속함수를 사용한다.

$$M_i^j = \begin{cases} \frac{v_i^j - a_{ij}}{b_{ij} - a_{ij}} & , a_{ij} \leq v_i^j \leq b_{ij} \\ 1 & , b_{ij} \leq v_i^j \leq c_{ij} \\ \frac{v_i^j - c_{ij}}{d_{ij} - c_{ij}} & , c_{ij} \leq v_i^j \leq d_{ij} \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

여기서, $\{a, b, c, d\}$ 는 사다리꼴 소속함수의 각 모서리 위치를 나타낸다.

사다리꼴 소속함수를 가지는 전건부 퍼지집합은 M^i 이다. 전건부 퍼지집합의 파라미터는 $a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}$ 며, 이들이 조정되는 파라미터가 된다.

이와 같이 퍼지모델의 소속함수를 최적으로 조정하는 비선형 최적화 문제를 해결하기 위해 적응 메커니즘으로 RCGA를 적용한 모델조정기법을 사용하며, 이 과정을 통해 퍼지모델과 비선형시스템의 동특성이 서로 가까워지도록 퍼지 소속함수가 조정 된다.

RCGA는 실수코딩을 채용하기 때문에 탐색하는 파라미터와 염색체의 유전자가 일대일로 대응되므로 염색체는 Figure 2와 같이 소속함수의 모서리 값을 의미하는 8개로 구성된다.

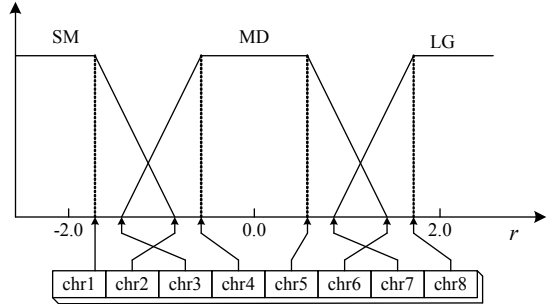


Figure 2: The expression of chromosome

4. 시뮬레이션 및 검토

4.1 비선형항의 최적조정

제안한 방법의 유효성을 검증하기 위해 식(1)에서 $T_1=45, T_2=6, T_3=10, K=0.08, b_1=b_3=1, b_0=b_2=0$ 과 같은 화물선(6)을 살펴보기로 한다.

RCGA 기반의 모델조정기법을 이용한 최적화는 Figure 3과 같이 각 파라미터와 소속함수를 동시에 탐색하고자 한다. 이때 선박의 회두각속도인 r 은 $-1.5 \leq r \leq 1.5$ 의 범위에서 동작하는 것으로 생각한다.

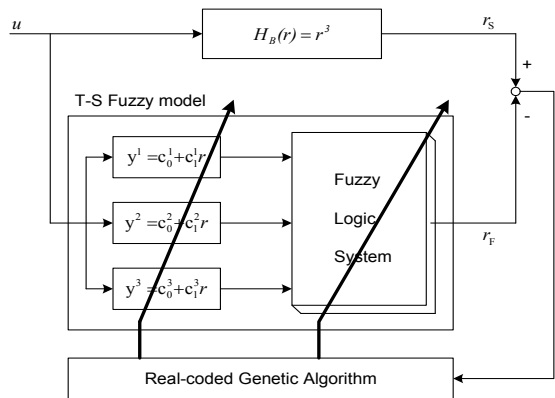


Figure 3: Optimization of the T-S fuzzy model

이렇게 비선형항인 r^3 을 식(2)의 선형항만으로 구성된 $y^i = c_0^i + c_1^i r$ 로 표현하게 되면 식(1)로 표현되는 화물선의 비선형항 $H_B(r)$ 은 2.1절에서 설명되었던 것과 같이 하나의 프로펠러를 가진 선박이 부가적으로 갖게 되는 타 오프셋(Offset)인 b_0 를 고려하는 형태의 선형 조종운동방정식이 된다.

RCGA가 선형모델과 퍼지 소속함수의 파라미터를 탐색할 때 사용된 RCGA 연산자의 각 파라미터로는 집단크기 $N=80$, 재생산 계수 $\eta=1.8$, 교배확률 $P_c=0.95$, 돌연변이 확률 $P_m=0.2$ 를 선택하였다.

회두각속도 $-1.5 \leq r \leq 1.5$ 의 범위에서 식(10)과 같은 서브시스템, 식(11)과 같은 T-S 퍼지 소속함수를 추정하였다.

서브시스템 :

$$\begin{aligned}
 R^1 : & \text{ IF } r \text{ is } M^1 \\
 & \text{ THEN } y^1 = 0.627546 + 3.058944r \\
 R^2 : & \text{ IF } r \text{ is } M^2 \\
 & \text{ THEN } y^2 = 0.125781r \\
 R^3 : & \text{ IF } r \text{ is } M^3 \\
 & \text{ THEN } y^3 = -1.444366 + 4.014370r
 \end{aligned} \tag{10}$$

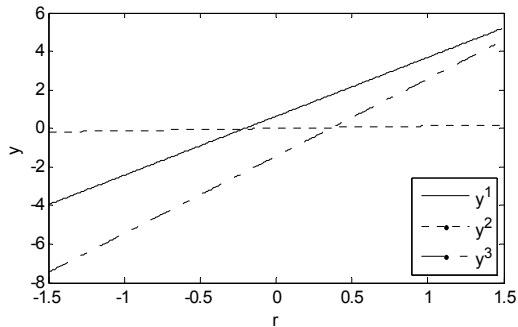


Figure 4: Sub-linear function

T-S 퍼지 소속함수 :

$$\begin{aligned}
 SM(M^1) & : [-4.493008 \ -3.784078 \ -1.651955 \ -0.421641] \\
 MD(M^2) & : [-1.631278 \ -0.812593 \ 0.883812 \ 1.792910] \\
 LG(M^3) & : [0.347300 \ 1.706511 \ 3.517007 \ 4.461585]
 \end{aligned} \tag{11}$$

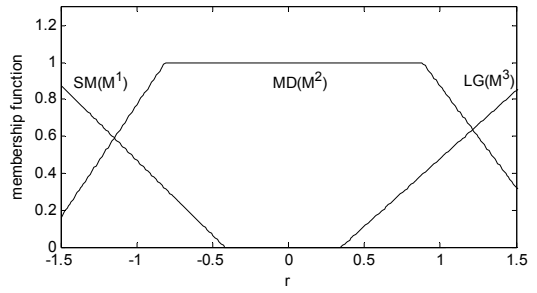


Figure 5: Membership function after tuning with RCGA

조종운동방정식의 비선형항인 r^3 과 T-S 퍼지모델을 비교해보면 Figure 6과 같이 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

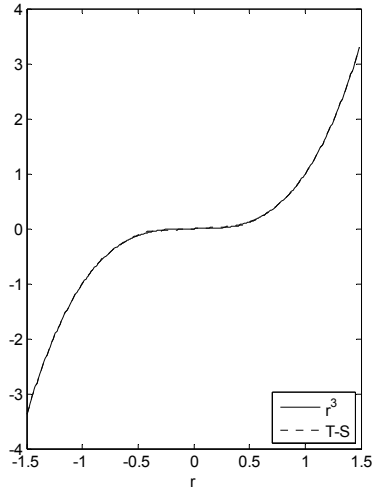


Figure 6: Compare T-S fuzzy model with r^3

4.2 선박의 T-S 퍼지 조종모델

이제 RCGA에 의해 추정된 서브 선형방정식들과 퍼지 소속함수로 이루어진 퍼지모델 식(12)가 비선형 조종운동방정식을 얼마나 잘 표현하는지 $\pm 10^\circ$, $\pm 20^\circ$ 의 Zig-Zag 시험을 통해 검증하고자 한다.

Figure 7은 $\pm 10^\circ$ Zig-Zag 시험을 보여주고 있다. 항해시 변침시간을 약 3분 이내로 본다면 180초 이내에서 비선형시스템과 T-S퍼지모델의 오차가 0.3도 이하의 작은 차이로 T-S 퍼지모델이 비선형시스템을 근사하게 묘사하고 있음을 알 수 있다.

Figure 8은 $\pm 20^\circ$ Zig-Zag 시험을 보여주고 있다. $\pm 10^\circ$ Zig-Zag 시험과 마찬가지로 오차가 0.7도 이하의 작은 오차범위에서 T-S 퍼지모델이 비선형시스템에 잘 접근하고 있다.

R^1 : IF r is M^1

$$\text{THEN } \ddot{r}^1 = -\frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2} \dot{r} - \frac{3.058944}{T_1 T_2} r + \frac{K}{T_1 T_2} (T_3 \delta + \delta) - \frac{0.627546}{T_1 T_2}$$

R^2 : IF r is M^2

$$\text{THEN } \ddot{r}^2 = -\frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2} \dot{r} - \frac{0.125781}{T_1 T_2} r + \frac{K}{T_1 T_2} (T_3 \delta + \delta) \quad (12)$$

R^3 : IF r is M^3

$$\text{THEN } \ddot{r}^3 = -\frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2} \dot{r} - \frac{4.014370}{T_1 T_2} r + \frac{K}{T_1 T_2} (T_3 \delta + \delta) + \frac{1.444366}{T_1 T_2}$$

항해서 이 정도의 오차는 환경변화에 의한 항로 변화와 비교하여 아주 미미할 것으로 여겨지며, 추후 다루어질 제어기 설계부분에서 보완될 것으로 생각한다.

6. 결 론

본 논문에서는 선박용 자동조타시스템의 제어기를 설계하기에 앞서 선박의 동적 특성을 효과적으로 표현할 수 있는 비선형 선박모델이 필요한데, 이를 위해 부분적인 선형모델의 조합으로 복잡한 시스템을 묘사할 수 있는 특징을 가진 T-S 퍼지모델을 이용하여 선체운동을 묘사하는 방법을 알아보았다. 제안한 방법을 검증하기 위해 선택된 화물선인 Nomoto 2차 비선형 확장모델의 비선형 항에 대해 3개의 부분 선형방정식을 만들었고, 퍼지 소속함수로는 사다리꼴을 선정하였다. 그리고 RCGA를 이용해 선형방정식의 파라미터 5개, 사다리꼴 모양인 퍼지 소속함수의 각 경계값 8개에 대해 탐색을 실시하였다. 이렇게 만들어진 비선형항의 T-S 퍼지모델을 선박의 전체 비선형 확장모델에 대입하

였다. 이렇게 모델링된 선박의 T-S 퍼지 조종모델을 $\pm 10^\circ$, $\pm 20^\circ$ Zig-Zag 시험을 통해 검증하였다. 그 결과는 작은 오차범위에서 T-S 퍼지모델이 비선형시스템에 잘 접근하고 있음을 알 수 있었다.

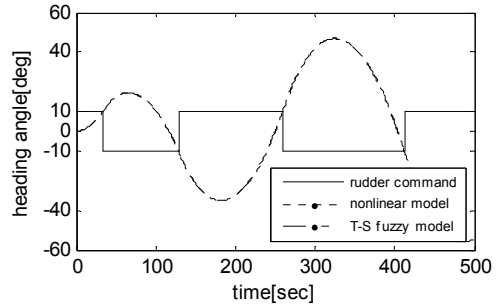


Figure 7: $\pm 10^\circ$ Zig-Zag test

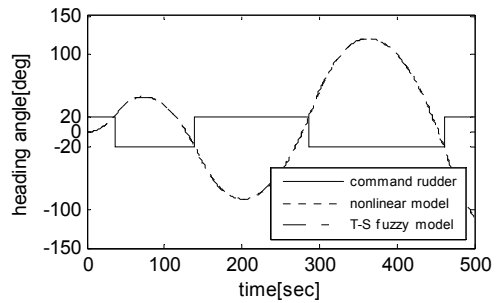


Figure 8: $\pm 20^\circ$ Zig-Zag test

이러한 결과들에 의해 비선형 선박 운동에 대한 RCGA 기반의 T-S 퍼지모델링이 가능함을 확인하였다.

앞으로의 연구는 T-S 퍼지모델에 쓰인 소속함수를 이용한 퍼지 제어기를 설계할 계획이다. 이때 해상 상태, 모든 명령 변침각, 추진에너지 손실, 설계사양등을 고려하고 전자해도표시 및 정보시스템(ECDIS)과 연계하는 통합된 최적의 자동항법장치 설계를 할 계획이다.

후 기

본 연구는 2009년도 동명대학교 항만물류사업단의 지원을 받아 연구되었음에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] K. Nomoto, "Analysis of Kempf's standard maneuver test and proposed steering quality indices", DTMB Report 1461, 1960.
- [2] M. I. Bech, L. Wanger Smith, "Analogue simulation of ship maneuvers", Technical Report Hy-14, Hydro-and Aerodynamics Laborator, Lyngby Denmark, 1969.
- [3] T. Tagaki and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control", IEEE Trans. on SMC, vol. SMC-15, no. 1, pp. 116-132, 1985.
- [4] M. I. Bech, "The reversed spiral test as applied to large ships", Shipping World and Shipbuilder, pp. 1753~1754, 1968.
- [5] 안종갑, 이윤형, 유희한, 소명옥, 진강규, "RCGA를 이용한 도립진자 시스템의 파라미터 추정 및 안정화 제어", 한국마린엔지니어링학회지, 제30권, 제6호, 2006.
- [6] N. Minorsky, "Directional stability of automatically steered bodies", J. of ASNE, vol.34, 1922.

저 자 소 개



안종갑(安鍾甲)

2000년 한국해양대학교 기관시스템공학부(공학사), 2006년 한국해양대학교 대학원 메카트로닉스공학과(석사), 2008년 동대학원 박사수료. 현재 한국항만연수원 부교수.



이창호(李昌浩)

1990년 부경대학교 선박공학과(공학사), 1993년 부경대학교 선박공학과(석사), 1998년 부경대학교 선박공학과(박사), 현재 동주대학 조선정보과 교수. 관심분야 : 해양구조물 하중 해석, 해양레저 선박 선형해석 및 설계 등



이윤형(李潤炯)

2002년 한국해양대학교 기관시스템공학부(공학사), 2004년 한국해양대학교 대학원 기관시스템공학과(석사), 2007년 한국해양대학교 대학원 메카트로닉스공학과(박사). 현재 한국항만연수원 부교수. 관심분야 : 제어이론, 유전알고리즘 응용



손정기(孫正基)

1990년 부경대학교 전기공학과(공학사), 1997년 부경대학교 대학원 전기공학과(석사), 2004년 부경대학교 대학원 기계공학과(박사). 현재 한국항만연수원 교수. 관심분야 : 하역장비 검사 및 설계, 하역장비제어시스템 등



이수룡(李秀龍)

1980년 부산대학교 조선공학과(학사), 1986년 부산대학교 대학원 조선공학과(석사), 1989년 동 대학원 조선공학과(박사), 1982년~1984년 신아조선 설계부, 현재 동명대학교 조선공학과 교수



소명옥(蘇明玉)

1980년 한국해양대학교 기관학과(학사), 1989년 한국해양대학교 대학원 기관학과 석사, 1997년 동 대학원 박사. 한국 항만·운송노동연구원 연구위원, 2005~2006년 University of Wales Cardiff 파견교수. 현재 한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수. 관심분야 : 퍼지제어 등