

기준 모델 유전 적응 퍼지 제어를 이용한 화물선의 회두각 제어

Heading Control of a Cargo Ship using Model Reference Genetic Adaptive Fuzzy Controller(MRG AFC)

정종원, 김태우, 이준탁

동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 지능제어연구실

Jong-Won Jeong, Tae-Woo Kim, Joon-Tark Lee

Dept. of Electrical Engineering Graduate School of Dong-A University

E-mail : jwjeong@smail.donga.ac.kr

요 약

본 연구에서 구현하고자 하는 선박의 회두각 제어의 경우 파도, 바람, 조류 등의 외란의 영향을 많이 받고 있을 뿐만 아니라 그 운동 특성 역시 비선형이므로 적절한 파라미터의 선정과 제어기 구성에 어려움이 따른다. 이의 해결을 위해 K. M Passino 등에 의해 비선형 특성을 지닌 기준 모델 적응 퍼지 알고리즘을 적용하여 제어기 구성을 시도한바 있고, 국내에서도 김종화 등에 의해 유사한 방법이 시도되어졌다.

본 연구에서는 이상의 시도에서 기준 모델에 의한 제어기 파라미터의 동정의 방법으로 사용한 M.I.T 를 대신 일반적인 유전 알고리즘에 의해 퍼지 제어기의 파라미터를 동정하고자 한다. 유전 알고리즘에 기반한 기준 모델 적응 퍼지 제어기(MRG AFC : Model Reference Genetic Adaptive Fuzzy Controller) 알고리즘을 제안하며, 이의 검증은 위하여 화물선 회두각의 조항 문제에 이를 적용하여 종래의 방법들과 비교를 수행할 것이다.

1. 서론

과학 기술의 발달과 더불어 여러 가지로 복잡한 시스템이 제시되고 있으며, 이와 함께 최근까지 연구되어 온 대부분의 제어 알고리즘은 시스템의 수학적 모델링에 기반을 두고 진행되어 왔기 때문에 시스템의 동특성에 대한 정확한 정보의 획득이 선결 과제가 되어왔다. 그러나, 대부분의 시스템은 동특성이 부분적으로 알려져 있거나 복잡하여, 시스템의 정확한 모델링은 실제로 어렵다. 특히 비선형성이 강한 시스템의 경우, 파라미터가 정확하게 선정되어진다고 하더라도 시스템 및 환경의 변화에 대해 만족스러운 제어 성능을 얻지 못할 뿐만 아니라, 강인한 제어기의 구성도 용이하지 못하다. 또한, 이러한 불확실한 비선형 시스템은 복잡한 동특성 및 시스템의 시변 특성으로 인하여 물리적 해석 및 수학적 모델링이 대

단히 어렵고 번거로우며, 모델링을 하더라도 상당히 복잡한 구조가 된다.

본 연구에서 구현하고자 하는 선박의 회두각의 제어의 경우에도 파도, 바람, 조류 등의 외란의 영향을 많이 받고 있으며 또한 그 운동 특성 역시 비선형이므로 적절한 제어기의 구성이 어려워지게 된다. 이의 해결을 위해서 K. M Passino 등에 의하여 비선형 특성을 지닌 기준 모델 적응 퍼지 알고리즘을 적용하여 제어기의 구성을 시도한 바 있고^[1], 국내에서도 김종화 등에 의해 유사한 방법이 시도되어졌다^{[2],[3],[4]}.

본 연구에서는 이상의 시도에서 기준 모델에 의한 제어기 파라미터의 동정의 방법으로 사용한 M.I.T 를 대신 일반적인 유전 알고리즘에 의해 퍼지 제어기의 파라미터를 동정하고자 한다.

제안하는 유전 알고리즘에 기반한 기준 모델 적응 퍼지 제어기(MRG AFC : Model Reference

Genetic Adaptive Fuzzy Controller)의 검증을 위해 전술되어진 화물선의 회두각 조향 문제에 적용하여 종래의 제어 기법과 비교되어질 것이다.

2. 화물선의 모델링 및 기준 모델

배의 크기가 매우 큰 경우는 수직면의 동작은 무시되어지므로 배의 운동은 2차 평면상의 운동으로 규정된다. 배의 동특성을 나타내는 간단한 모델은 식 (1)과 같다.

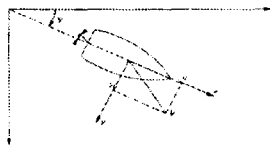


그림 1. 화물선의 모델

$$\ddot{\psi}(t) + \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2}\right) \dot{\psi}(t) + \left(\frac{1}{\tau_1 \tau_2}\right) \psi(t) = \frac{K}{\tau_1 \tau_2} (\tau_3 \dot{\delta}(t) + \delta(t)) \quad (1)$$

여기서, ψ 는 배의 회두각이고, δ 는 조타각이다. 초기상태를 0으로 가정하면 식 (1)은 다음과 같다.

$$K = K_0 \frac{u}{l} \quad (2)$$

$$\tau_i = \tau_{i0} \frac{l}{u}, \quad i=1,2,3. \quad (3)$$

여기서, $K_0=5.88$, $\tau_{10}=-16.91$, $\tau_{20}=0.45$, $\tau_{30}=1.43$, $l=350[m]$ 로 두었다. 그리고 $5[m/s]$ 의 속도로 x 방향으로 이동하고 있다고 가정한다^[4].

표준 조타에서 배는 항로에 대해 전술되어진 외란의 영향으로 미소하지만 작은 탈선을 보인다. 그러므로 식 (1)의 운동 방정식을 $\delta=0$ 인 조타각 근방에서 선형화함으로써 식 (4)가 얻어진다. 결과적으로 조타각은 5° 를 초과하지 않는다. 그러나, 본 논문에서는 그 이상의 조타각에서도 적용되어질 것을 목표로 하므로 Bech 와 Smitt에 의해 제안된 모델을 사용한다^[1].

수정된 모델은 다음과 같다.

$$\ddot{\psi}(t) + \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2}\right) \dot{\psi}(t) + \left(\frac{1}{\tau_1 \tau_2}\right) \psi(t) = \frac{K}{\tau_1 \tau_2} (\tau_3 \dot{\delta}(t) + \delta(t)) \quad (4)$$

여기서, $H(\psi)$ 는 $\psi(t)$ 의 비선형 함수이다.

함수 $H(\psi)$ 는 정상상태에서 δ 와 ψ 사이의 관계식 (5)로부터 찾아질 수 있다.

$$\ddot{\psi} = \dot{\psi} = \delta = 0 \quad (5)$$

식 (4)에서, $H(\psi)$ 는 식 (6)과 같이 계산되어진다.

$$H(\psi) = a \dot{\psi}^3 + b \psi \quad (6)$$

화물선을 3차 선형 시스템으로 가정하면, 식 (7)과 같고, 초기상태를 0으로 가정하면, 전달함수는 다음의 식 (8)과 같다.

$$\ddot{\psi}(t) + \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2}\right) \dot{\psi}(t) + \left(\frac{1}{\tau_1 \tau_2}\right) \psi(t) = \frac{K}{\tau_1 \tau_2} (\tau_3 \dot{\delta}(t) + \delta(t)) \quad (7)$$

$$G(s) = \frac{\Psi(s)}{\delta(s)} = \frac{K(s\tau_3 + 1)}{s(s\tau_1 + 1)(s\tau_2 + 1)} \quad (8)$$

본 연구에서 기준 모델을 식 (9)와 같이 두면

$$W_m(s) = \frac{r}{(s+r)} \quad (9)$$

기준 모델 출력은 다음의 식 (10)과 같다.

$$\Psi_m = W_m(s) \zeta \quad (10)$$

ζ 는 원하는 화물선의 회두각이고, Ψ_m 은 이상적인 응답이다.

3. MRGAFC

3.1 FMRLC

본 논문에서 제안하는 MRGAFC의 기본이 되어지는 FMRLC의 구성은 그림 2와 같고, FMRLC는 기준 모델의 성능 지수에 의해 퍼지 제어 시스템으로부터의 데이터를 관측하는 학습 메카니즘에 사용되고, 순시적인 성능에 의하여 특성화되어지며, 자동적으로 퍼지제어기의 이득을 조절하게 된다. FMRLC에서는 MIT룰에 의해 퍼지제어기의 각 파라미터를 동조한다.

그림 2에서 보여지는 바와 같이 $u(kT) = [u_1(kT) \dots u_r(kT)]'$ 은 r 차원 입력벡터이고 $y(kT) = [y_1(kT) \dots y_s(kT)]'$ 로 나타나는 s 차원의 출력 벡터이다. 퍼지제어기의 입력은 플랜트 출력 $y(kT)$ 과 기준 입력 $\underline{y}_i(kT)$ 의 함수에

의한 오차와 오차의 변화율이다.

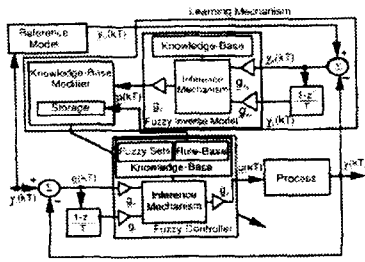


그림 2. FMRLC

여기서, 퍼지제어기의 이득 g_e, g_c, g_u 은 오차 $e(kT)$, 오차의 변화분 $c(kT)$ 와 제어출력 $u(kT)$ 의 논외 영역을 정규화시키기 위해 사용하였다. 그림 3에서 보이는 것처럼 논외 영역을 정규화시키기 위해 $e_i(t)$ 는 정규 퍼지 집합을 사용했다. 출력 논외 영역에 소속함수는 모르는 것으로 가정하면 소속함수는 자동적으로 FMRLC에 의해 합성되어진다. 실제적으로 그림 3에 의해 121개의 퍼지제어기 지식 기반부를 초기화되어지고 여기서 모든 소속함수는 zero center이고, 0.4 폭의 삼각 함수이다. 그리고 비퍼지화를 위해 Zadeh의 추론의 합성 규칙과 무게중심법을 사용하였다.

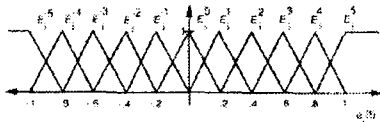


그림 3. 논외 영역의 퍼지 집합

3.2 MRGAFC

본 논문에서 제안하는 MRGAFC의 전체적인 구성은 그림 4와 같다. 제안된 MRGAFC의 학습 매커니즘은 페루프시스템이 기준 모델처럼 동작 되도록 이전의 MIT물이 아닌 GA에 의해 직접 퍼지 제어기의 수정된 지식 기반부 함수를 계속 수정해 나가는 기능을 수행한다. 이 지식 기반부의 수정은 제어된 프로세스 및 기준 모델, 퍼지 제어기로부터의 데이터를 관측함으로써 수행한다. 학습 매커니즘은 퍼지 역 모델과 지식 기반부 수정기의 두 부분으로 구성된다. 퍼지 역 모델은 $y_c(kT)$ 를 0으로 하는데 필요한 프로세스 입력을 변화시키는 역할을 한다. 지식 기반부 수정기는 프로세스 입력에 필요한 변화를 주기 위해서 수정된 퍼지 제어기의 지식 기반부의 함수를 수정하는 것이다. 이를 위해 출력 논외 영역에 대해서는 삼각형의 소속함수를 사용하고, Zadeh의

추론합성 규칙과 COG를 이용해서 비퍼지화시켰다. 입력에 필요한 변화가 주어질 때, 지식 기반부 수정기는 그 양만큼 변화된다. 이를 위해 본 논문에서는 GA를 사용하였으며, 대칭형의 소속함수로 가정하여 GA에서 대상이 되어지는 염색체의 수를 줄였고, 돌연변이율 0.05, 교배율을 0.9로 하고 Elitist GA를 사용하였다.

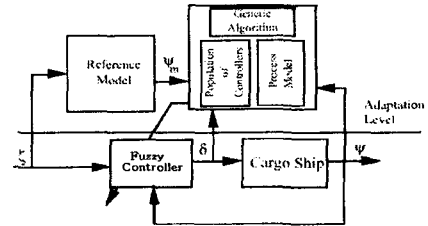


그림 4. MRGAFC

4. 시뮬레이션 및 고찰

본 논문에서 비교의 대상이 되어지는 FMRLC의 경우 주어진 시스템에 대한 시뮬레이션의 결과는 다음의 그림 5와 같고 제안한 MRGAFC의 결과는 다음의 그림 6과 같다.

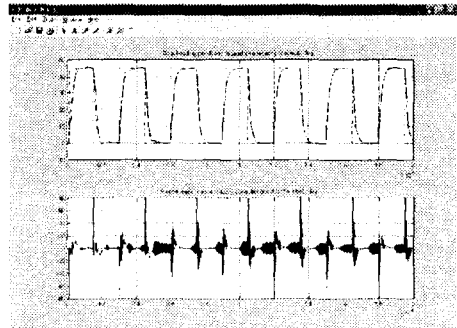


그림 5. FMRLC의 결과

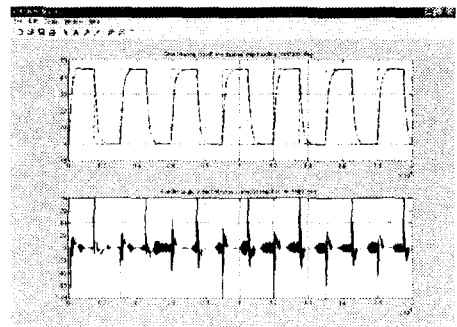


그림 6. MRGAFC의 결과

시뮬레이션 결과의 정밀한 비교를 위해 시간이 1200초까지의 결과를 보면 다음의 그림 7과 그림 8과 같다. 그림에서 보여지는 바와 같이 이전에

비해 기준 모델에서 원하였던 것처럼 이전에 비해 더 낮은 overshoot와 빠른 rising time 그리고 고 기준 모델에 대한 적응성이 향상되어진 것을 볼 수 있다.

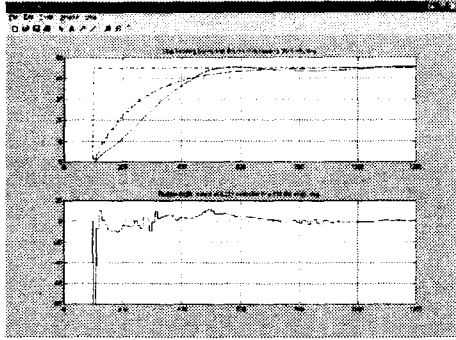


그림 7. FMRLC 결과(t<1200)

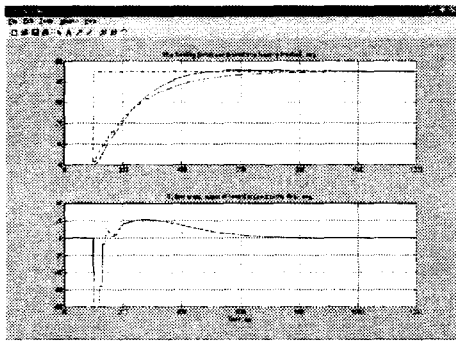


그림 8. MRGAFC의 결과(t<1200)

다음의 그림 9와 그림 10은 각각 시물레이션 전후의 후건부 출력함수의 중앙점을 나타내고 있다

1	1	1	1	1	1	0.8	0.6	0.3	0.1	0
1	1	1	1	1	0.8	0.6	0.3	0.1	0	-0.1
1	1	1	1	0.8	0.6	0.3	0.1	0	-0.1	-0.3
1	1	1	0.8	0.6	0.3	0.1	0	-0.1	-0.3	-0.6
1	1	0.8	0.6	0.3	0.1	0	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
1	0.8	0.6	0.3	0.1	0	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-1
0.8	0.6	0.3	0.1	0	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-1	-1
0.6	0.3	0.1	0	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-1	-1	-1
0.3	0.1	0	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-1	-1	-1	-1
0.1	0	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-1	-1	-1	-1	-1
0	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-1	-1	-1	-1	-1	-1

그림 9. 적응전의 출력 함수의 중앙

1.3963	1.3963	1.3963	1.3963	1.3963	1.3963	1.1170	0.8378	0.4189	0.1396	0
1.3963	1.3963	1.3963	1.3963	1.3963	1.1170	0.8378	0.4189	0.1396	0	-0.1396
1.7636	1.3963	1.3963	1.3963	1.1170	0.8378	0.6834	0.7483	0.7385	0.5008	0.0025
1.7636	1.3963	1.3963	1.1170	0.8378	0.4189	0.4041	0.9233	1.4478	1.2062	0.0310
1.3963	1.3963	1.1170	0.8378	0.7537	0.6386	0.0087	-0.1558	0.2620	-0.0350	-0.7486
1.4481	1.2515	1.0305	0.7075	0.5270	0.0290	-0.4583	-0.7437	-1.0079	-1.2110	-1.4753
0.6683	0.0546	-0.2040	0.1139	0.0125	-0.6331	-0.7452	-0.0378	-1.1170	-1.3963	-1.3963
-0.0263	-1.1764	-1.4513	-0.9233	-0.4046	-0.4189	-0.8378	-1.1170	-1.3963	-1.3963	-1.7693
0.0554	-0.5479	-0.1754	-0.7486	-0.5839	-0.8378	-1.1170	-1.3963	-1.3963	-1.3963	-1.7693
0.1396	0	-0.1396	-0.4189	-0.8378	-1.1170	-1.3963	-1.3963	-1.3963	-1.3963	-1.3963
0	-0.1396	-0.4189	-0.8378	-1.1170	-1.3963	-1.3963	-1.3963	-1.3963	-1.3963	-1.3963

그림 10. 적응후의 출력 함수의 중앙

5. 결론 및 향후과제

제안하는 MRGAFC 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비해 외부 환경 조건의 변화에 대한 적응성면에서 더 우수한 성능을 나타내고 있다. 이외에도 본 논문의 목적이었던 최적의 퍼지 제어기의 성능 구현을 위한 출력 함수의 규칙의 표본을 제시하였다는 것에도 그 의의가 있다고 하겠다. 이전의 연구들을 통하여 제시되었던 적응형 퍼지 제어기의 구현을 위한 소속함수의 모양 변화, 스케일링 팩터의 적응적 변화 외에도 후건부 소속 함수의 규칙의 적응적 변화도 가능하다는 것을 본 논문을 통하여 증명하였다. 향후에는 제안된 MRGAFC 알고리즘의 실시간 구현을 위한 연구가 수행되어질 것이며 그 결과 또한 검증되어질 것이다.

6. 참고문헌

- [1] Layne J.R., Passino K.M., 'Fuzzy Model Reference Learning Control for Cargo Ship Steering', IEEE Control Systems Magazine, Vol. 13, No. 6, pp. 23-34, Dec. 1993.
- [2] 류길수, 김종화, 조석제, 박석주, 'ONEMAN BRIDGE INFORMATION SYSTEM', 지역컨소시엄 보고서, 부산 중소기업청, 1996
- [3] 이병결, 정경열, 김종화, '선박 자동항로 추종 제어 알고리즘에 관한 연구' 박용기관학회지, 제 22권, 제 6호, pp.920~928, 1998.
- [4] 이병결, 정경열, 김종화, '선박 자동항로 추적을 위한 회두각 생성과 적응 퍼지제어' 박용기관학회지, 제 25권, 제 1호, pp.199~207, 2001.
- [5] D. Maclay and R. Dorey, 'Applying genetic search techniques to drivetrain modeling', IEEE Control System, vol. 13, no. pp. 50-55, 1993.
- [6] M.A, Lee and H. Takagi, 'Integrating design stages of fuzzy systems using genetic algorithms', in Second IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp.612-617, 1993.
- [7] Alen Varsek and Tanja Urbancic and Bodgan Filipic, 'Genetic algorithms in controller design and tuning', IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 23, no. 5, pp 1330-1339, 1993.
- [8] Daihee Park and Abraham Kandel and Gideon Langholz, 'Genetic-based new fuzzy reasoning models with application to fuzzy control,' IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 24, no. 1, pp 34-47, 1994.