Proceedings of KFIS 2001 Spring Conference, 2001. 5.

퍼지추론 기법을 이용한 선체자세 제어

Attitude Control of Surface Ship using fuzzy inference technique

김 희 정, 김 용 기
경상대학교 컴퓨터과학과

Hee-Jeoung Kim and Yong-Gi Kim
Department of Computer Science, Gyeongsang National University
E-mail : heart@koreaaero.co.kr

ABSTRACT

선박이 해상에서 운항시, 선체는 파도에 의해 심하게 동요되기 때문에 승선감과 안전성이 저하된다. 따라서 선박의 안전항해, 쾌적한 승선감, 구조적인 안전 보장을 위한 선체제어를 위한 필요성이 증대되어 왔다. 기존의 PID 제어기법 등은 정상편차가 적어 과도응답의 문제점 및 오차누적의 문제점이 있고, 퍼지제어 기법은 최적화가 어렵다는 단점을 가진다. 본 논문에서는 퍼지추론 기법을 이용한 선체자세 제어기법으로 운동체에 관한 전문가의 지식과 경험을 바탕으로 퍼지집합과 퍼지규칙을 설정하고 설계된 퍼지 추론을 통해 현재의 운동상황을 판단함으로써 효과적인 최적화와 자세계산을 수행할 수 있다. 본 논문에서는 퍼지추론을 이용한 자세제어 알고리즘을 제안하고 실시간 시뮬레이션을 통하여 시험한다.

키워드 : 퍼지추론, 퍼지규칙, 자세제어, 최적화제어

I. 서 론

선박 운항시, 선체는 파도에 의해 동요되기 때문에 승선감과 안전성이 저하하게 된다. 또한 선박의 고속화가 진행되면서 발생하는 과도한 선체 운동을 감소시키기 위하여, 선형의 개발과 더불어 능동 운동 제어 장치의 개발 필요성이 증대되었다[1][2]. 선진국에서는 선체 운항자세 제어시스템이 선박에 이용되고 있으나, 국내에서는 아직 이에 대한 연구가 미흡해 최근 건조된 초고속선에도 해외의 선진국에서 개발된 자세제어 시스템을 도입한다. 선박의 운동 제어에 관한 연구는 선박의 횡동요에 대한 것이 주류를 이룬다고 할 수 있는데, 최근에는 고속선 설계 기술의 개발이 주요 연구 대상이 되면서 상하동요, 종동요 등의 운동 모드에 대해서도 능동 제어의 필요성이 부각되고 있다[3].

선박의 운동상황을 판단하고 능동제어를 하는 과정에서 퍼지추론 기법을 이용한다. 본 연구에서는 운동체의 정확한 상태를 파악하는 것은 불가능하나, 퍼지이론을 사용하여 판단의 과정에 인간의 언어적 표현과 사고체계를 도입시킬 수 있음을 보인다[7][8][9][10]. 3절에서는 정의된 선박의 운동방정식을 이용하여 퍼지 추론 기법을 이용하는 방법을 설명한다. 4절에는 퍼지 추론기법에 따른 상하동요와 종동요에 대한 시뮬레이션을 수행하고 이에 대한 성능을 분석하였다. 5절에서는 제시된 기법의 분석결과를 정리하고 추후연구과제에 대해 언급하고 결론을 맺는다.

II. 연구 배경

수면상의 선박은 6자유도 운동을 하게 되는데, 선체의 동요가 심해지면 승선감이 저하되고 전복의 위험이 높아진다. 따라서 선박의 안전항해, 쾌적한 승선감, 구조적인 안전 보장을 위하여 선체제어에 관한 연구가 진행되어 오고 있고, 실제 선박에 적용되고 있다[4].

기존의 제어기법은 정상편차는 적은 반면 과도응답의 문제점이 있고, 또한 오차누적이 유발되는 문제점 또한 안고 있다[9].

국내 여러 기관에서 이루지는 연구들은 주로 계측시스템의 속도, 잡음, 제어기의 시간 지연 등에 의해 제한을 받게 되는데 이것을 극복하

는 방법으로 실험을 이용한 제어이득의 검증 및 조정 과정으로 이루어진다. 또한 모형시험이나 주파수 의존성을 고려하는 모델링 기법등 많은 부분에 대한 연구가 이루어지고 있다[3][4]. 그러나 실제 해양파의 불규칙성을 고려해 본다면, 애매성을 포함하는 전문지식을 지식과 경험에 기초한 언어적 제어규칙으로 표현하여 퍼지 제어기법 구현이 가능하다.

III. 퍼지추론 기법을 이용한 선체자세제어

이 절에서는 기본적인 선박의 운동방정식을 정의하고, 퍼지추론 과정을 도입함으로써 최적의 소속함수를 찾아낸다. 또한 정의된 소속함수로 퍼지규칙을 만들고 만들어진 퍼지규칙에 따라 출력값을 비퍼지화하는 과정을 수행하게 된다.

3.1 선박의 운동방정식

선박은 6자유도 운동을 하지만, 선체가 좌우대칭이라는 가정하에 주로 발생하는 상하동요(heave)와 종동요(pitch)만 고려한다. 이때의 좌표계는 관성 좌표계와 선체 고정 좌표계를 이용하여 수식 (1)과 같은 기본적인 방정식을 정의할 수 있다[3].

여기서 m 은 선체의 질량이고 I 는 종동요 질량관성모멘트이다. 하첨자 H와 C는 각각 선체(Hull)에 대한 항과 수중익에 의한 제어력(Control) 항임을 뜻한다.

$$M\ddot{x} = F_H + F_C$$

$$M = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \quad x = \begin{pmatrix} z \\ \theta \end{pmatrix} \quad F_H = \begin{pmatrix} F_H \\ M_H \end{pmatrix} \quad F_C = \begin{pmatrix} F_C \\ M_C \end{pmatrix} \quad (1)$$

선박의 상하동요(z)각변위와 종동요(theta), 각변위에 대한 운동방정식은 수식 (2)와 같다.

$$x_{k+1} = \Phi x_k + f_k + \Gamma u_k \quad (2)$$

$x_k = \begin{bmatrix} \dot{z} \\ \dot{\theta} \\ z \\ \theta \end{bmatrix}$: 배의 상태벡터

f_k : 외란 (파도에 의한 힘)

u_k : 조종면에 의한 힘

(u_f :선수각 u_b : 선미각)

$\dot{z}$: 수직운동속도 $\dot{\theta}$: 각속도

z : 수직변위 θ : 각변위

여기에서 제어되는 u_k 는 타각에 따라 타각에서 발생하는 힘과 모멘트가 변화하는 변화율(control derivatives)과의 곱으로 구해진다. 즉 식을 나타내보면 (3)과 같이 표현된다.

$$u_k = \text{control derivatives} \begin{bmatrix} u_f \\ u_b \end{bmatrix} \quad (3)$$

(여기서 control derivatives 는 2x2 행렬)

3.2 퍼지 추론 및 제어

퍼지 제어 시스템은 "IF(조건부)-THEN(수행부)" 규칙 및 퍼지 추론에 기반을 둔 제어의 특수한 형태이다. 퍼지이론을 이용하여 운동체의 상황을 파악하는 과정은 그림1에서 보여지듯 크게 세 가지 단계로 나뉘어지는데 먼저 운동체 정보로부터 얻을 수 있는 운동상황과 관련된 몇 가지 정보를 퍼지화(Fuzzification)한다.

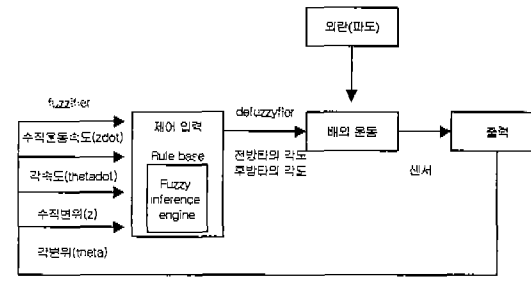

그림 1. 퍼지추론의 과정

퍼지화란 수치로 나타내어지는 운동체의 운동상황정보를 퍼지 추론에 적용할 알맞은 언어적 표현으로 나타내는 과정인데 이는 '수직운동속도', '각속도', '상하동요각변위', '종동요각변위'로 언어적 변수(linguistic variables)를 설정한다. 언어적 변수가 갖는 퍼지 값(fuzzy number)은 { "NB(mf1)" , "NS(mf2)" , "ZO(mf3)" , "PS(mf4)" , "PB(mf5)" } 다섯 가지를 갖는다[7]. 각각의 퍼지값은 하나의 퍼지집합을 나타내고 해당 소속함수(membership function) 에 의해 정의된다. 여기에서 정의된 퍼지값들은 그림 2,그림 3과 같이 각각의 소속함수로 정의된다. 각 퍼지집합들의 소속함수는 실제 대상 시스템의 전문가나 설계자의 지식과 경험을 토대로 정의되며, 여러 번의 시뮬레이션을 통해 설계목적에 맞도록 적절히 조절되어야 한다[5]. 따라서 그림 2,그림 3 에 보여지는 입력값과 출력값들의 소속함수는 여러번의 시뮬레이션을 통해 얻어진 경험에 의한 값들이다.

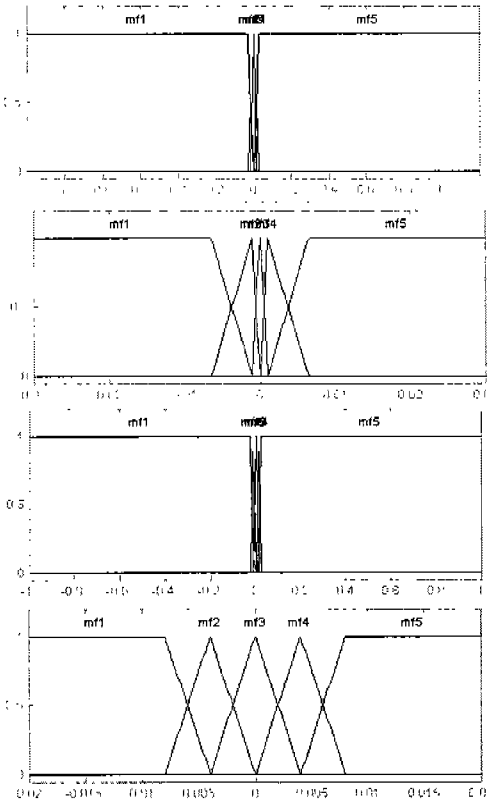

그림 2. 수직운동속도, 각속도,
수직변위, 각변위의 소속함수

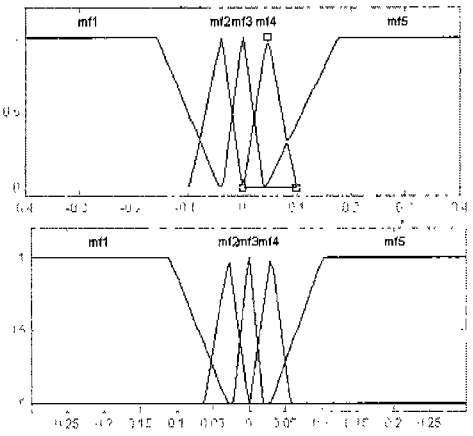

그림 3. 선수타각, 선미타각의 소속함수

퍼지추론 과정에서는 그림 4의 퍼지규칙에 따라 추론합성이 이루어지는데 여기서는 Mamdani의 최대-최소(min-max) 합성 방법을 사용하였다.[6]

이때 기본규칙은 표 1과 같이 연산되어지며 여기서의 추론은 4개의 input과 2개의 output을 사용하였다.

RULE 1.
IF (($\dot{z}$ is PB) and ($\dot{\theta}$ is Z0)
and (z is Z0) and (θ is Z0))
THEN (u_f is PB) and (u_b is PB))

RULE 2.
IF (($\dot{z}$ is Z0) and ($\dot{\theta}$ is NB)
and (z is Z0) and (θ is Z0))
THEN (u_f is PB) and (u_b is NB))

그림 4. 퍼지규칙

표 1. 퍼지제어 rule

		입력1(dE)				
		NB	NS	Z0	PS	PB
입력2 (E)	NB			NB	NS	Z0
	NS		NB	NS	Z0	PS
	Z0	NB	NS	Z0	PS	PB
	PS	NS	Z0	PS	PB	
	PB	Z0	PS	PB		

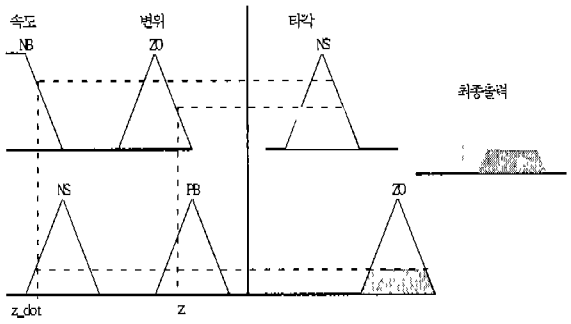

그림 5. 최대-최소 퍼지추론 합성의 예

추론을 통해 구한 제어 입력의 값을 비퍼지화 과정을 거쳐 확정값으로 구하게 되는데 여기서는 가장 일반적인 무게중심법 (COA: Center of Area)을 사용한다[6].

비퍼지화 과정을 거치면 선수각과 선미각의 값이 나오는데 이는 각각 -15.0 부터 20.0 사이의 값을 갖게 된다.

IV. 시뮬레이션 및 평가

그림 6은 수직운동속도와 각속도에 대한 시간별 변화를 나타내고 있다. 또한 그림 7은 제어 전(실선)과 제어 후(점선) 의 수직변위와 각변위를 동시에 비교해서 보여주고 있다. 그림8은 기존의 LQG 제어기법을 보여주고 있는데 이와 비교하여 퍼지제어기법도 전혀 손색이 없음을 알 수 있다.

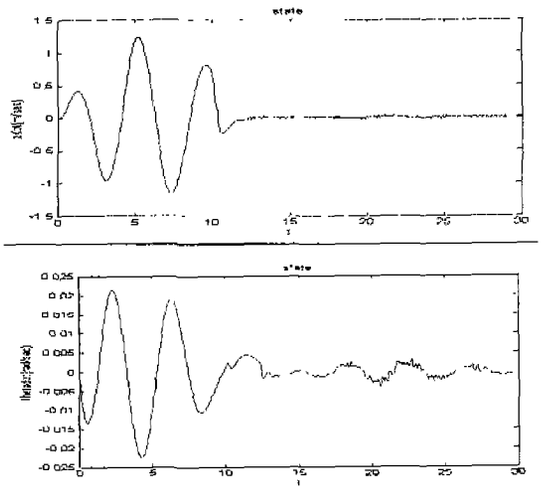

그림 6. 수직운동 속도와 각속도의 변화

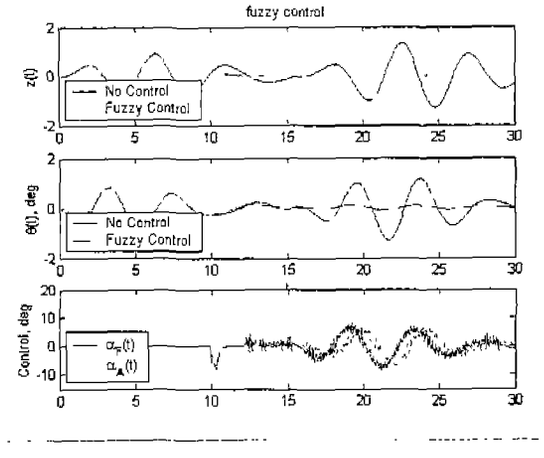

그림 7. 수직변위와 각변위의 변화

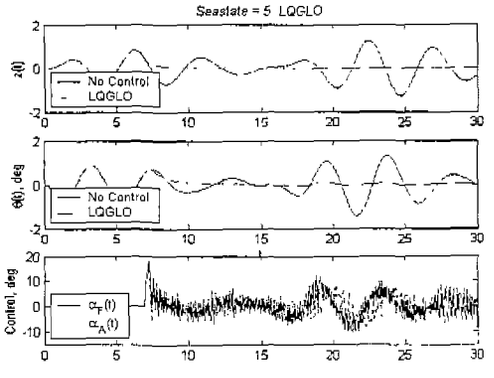

그림 8. 기존의 LQG 제어

V. 결 론

본 논문에서는 배의 수직동요 및 종동요를 입력으로 배의 자세를 변화시키는 퍼지 추론 기법에 대하여 연구하였다. 시뮬레이션 결과, 운동체의 급격한 가속이나 회전 구간에 효과적인 자세계산 성능을 나타내는데, 다른 일반적인 제어기와의 차이점으로는 시간에 지남에 따른 오차누적을 일정수준으로 억제할 수 있다는 것이다. 또한 제어 조정능력의 자유도가 높고 파라미터변화나 잡음에 대한 민감도가 낮아 견실하며 실제적으로 활용하기 쉽고 범용성이 높다는 장점이 있다.

이 추론 방법에서 새롭게 해결해야 할 점은 추론의 충돌 해결문제이다. 아울러 퍼지규칙을 보다 더 정밀하게 수정, 보완하여 최적의 제어규칙을 생성함으로서 응답특성이 지금보다 개선된 알고리즘으로 구현 가능할 것이다.

VI. 참고문헌

[1] WEIST, W.R AND MITCHELL, W.I, "The Automatic Control System for the Boeing Commercial 'Jetfoil'," IEEE National Aerospace and Electronics Confrence, pp. 366-375, 1976.

[2] SAITO, Y., OKA, M., IKEBUCHI, T., and ASAO, M., "Rough Water Capabilities of Fully Submerged Hydrofoil Craft 'Jetfoil'," FAST '91 , Trondheim, 1991.

[3] 김성훈 외, "주파수 의존성을 고려한 쌍동선 고차운동방정식의 구성과 제어," 공학석사학위논문,서울대학교 조선해양공학과, 1999.

[4] 이심용, "포일카타마란의 자세제어를 위한 실험연구," 공학석사학위논문,서울대학교 조선해양공학과, 1995.

[5] Michio Sugeno, "An Introduction Survey of Fuzzy Control," Information Science, vol.36 pp 58-83, 1985.

[6] C.C Lee "Fuzzy Logic in Control System "Fuzzy Logic Controller, Part II," IEEE Trans. system, Man, and Cybernetics, vol.20, no.2 pp.419-435, 1990.

[7] Zadeh Lotfi A, "Fuzzy sets and systems," International Journal of General System, Vol. 17, pp.129-138 , 1990

[8] Kahaner D.K. "Fuzzy helicopter control", Asian Technology information program, 1993.

[9] 김영한, "퍼지이론을 이용한 수중 운동체의 자세계산 혼합 알고리즘," 공학석사학위논문,서울대학교 제어계측공학과, 1995.

[10] Chiang R. Y. and Roger J.-S. Jang, "Fuzzy logic attitude control for Cassini spacecraft," Proceedings of IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Orlando, Florida, Jun 1994.