

항로 계획시의 퍼지 항로분석 알고리즘

구 자 윤*

Route Analysis Algorithm using Fuzzy Reasoning in Route Planning

*Ja-Yun, Koo**

<목 차>

Abstract

1. 서론
2. 퍼지 추론의 기본 개념
3. 항로분석 시스템의 구성

4. 시뮬레이션에 의한 검증

5. 결론
- 참고문헌

Abstract

Recently, the Track Control System which was separated from the Course Control System so-called Auto-Pilot has been developed for track-keeping in coastal area. From this year, the NAV Sub-committee in IMO commenced to consider the Performance Standard for the Track Control System vigorously.

This system will be integrated with ECDIS and IBS so that captain/officers should analysis ship's motion characteristics accurately in the route planning using the electronic nautical charts.

In this paper, a new Route Analysis Algorithm using fuzzy reasoning in route planning was proposed for 2,700 TEU container ship. In order to verify the track-keeping, the author established a ship mathematical model and executed the simulation of the Route Analysis Algorithm at on-line condition with Pentium PC. The results of ship trajectories of the Route Analysis Algorithm were found to be effective to get track control automatically.

* 한국해기연수원 교수

1. 서 론

선박 자동화가 진전됨에 따라 기존 자동조타장치(Auto Pilot)의 기능은 대양에서의 경제적 침로 유지를 목적으로 하는 Course Control System으로 불리우게 되고, 연안역에서 정확한 항적 유지를 목적으로 하는 Track Control System의 개념이 일명 Track Pilot으로 개발되면서 이의 별도 성능 기준의 채택을 위한 노력이 국제해사기구(IMO)의 항해안전(NAV) 소위원회에서 올해부터 활발히 논의되고 있다.¹⁾

Track Control System은 앞으로 전자해도시스템(Electronic Chart Display & Information System; ECDIS)이나 통합항법장치(Integrated Bridge System; IBS) 등에서 활용될 전망이고, 이를 위하여 선장이나 항해사의 정확한 항로계획(Route Planning)이 요망되고 있다.

기존의 종이해도상에서의 항로계획은 선장의 풍부한 경험과 지식에 입각하여 출발지와 목적지간의 적절한 침로와 항정을 구하는 것이었으나, 전자해도상에서는 이에 덧붙여 본선의 조종특성이 고려된 상태에서 자동 혹은 수동의 항적제어(Track Control)를 목적으로 항로계획 단계에서 미리 항행 가능한 항적을 시뮬레이션하여 볼 수 있을 것이다.

본 연구에서는 퍼지 추론법을 이용하여 일정 선형의 항로를 사전 시뮬레이션에 의해 분석하여 항로계획에 적용시킬 수 있는 항로분석 알고리즘(Route Analysis Algorithm)을 개발하여 제안하고자 한다.

2. 퍼지 추론의 기본 개념

퍼지 제어기는 복수개로 구성된 퍼지 제어규칙들과 추론부로 구성된다. 여기서, 제어규칙이라는 것은 If (전건부) - then (후건부)으로 표현하는데, x_1, x_2 를 입력, y 를 출력으로 하는 2입력 1출력의 경우에는 식(2.1)과 같이 표현된다.

$$R^i : \text{If } x_1 \text{ is } A_{1i} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{2i} \text{ then } y = B_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2.1)$$

단, R^i : i 번째의 제어규칙
 x_1, x_2 : 전건부 변수
 A_{1i}, A_{2i}, B_i : 퍼지변수
 y : 후건부 변수

퍼지 추론법으로 몇 가지가 이용되고 있지만²⁾, 본 연구에 사용한 것은 가장 일반적으로 사용되는 퍼지 관계의 Min-Max 합성법칙에 의거한 것으로 Mamdani가 최초의 응용으로 사용했던 것이기도 하다. 이 때 퍼지 변수는 연속형과 이산형이 있고, 연속형의 퍼지 변수는 소속 함수가 식(2.2)와 같은 범종형과 식(2.3)과 같은 삼각형이 있으며, 삼각형의 경우가 계산이 간단하고 시스템 성능에 큰 차이가 없기 때문에 주로 많이 이용된다.

$$A(x) = e^{(-1/a^2)(x-b)^2} \quad (2.2)$$

$$A(x) = [\{ (1/a)(- |x-b| + a) \} \vee 0,] \quad a > 0 \quad (2.3)$$

단, $\vee = \text{Max}$ 를 표시

a : 소속 함수의 대집합상의 폭

b : 소속 함수의 Grade가 1이 되는 대집합의 값

퍼지 관계의 합성법칙에 기초한 추론을 실시해 보면, 식(2.1)과 같은 제어규칙이 복수개 있고, 전건부 변수 x_1, x_2 의 값을 퍼지 값이 아닌 확정된 수치로 부여한 값을 x_1^*, x_2^* 로 가정하면, Min-Max 합성규칙에 따라 식(2.4) ~ 식(2.6)식이 정의된다.³⁾

$$\omega_i = A_{1i}(x_1^*) \wedge A_{2i}(x_2^*) \quad (2.4)$$

단, $\wedge = \text{Min}$ 을 표시

$$B_i^*(y) = \omega_i \wedge B_i(y) \quad (2.5)$$

$$B^* = \bigvee_{i=1}^n B_i^* \quad (2.6)$$

식(2.4)의 ω_i 는 i 번째 규칙의 적합도라 불리는데, 퍼지 집합의 Grade로서 취급되며 의미상으로는 2개의 전진부 변수가 갖는 퍼지 값의 Min 값을 나타내고 있다. 식(2.5)는 i 번째 규칙의 추론결과로서 적합도와 후진부 변수와의 Min 값을 나타낸다. 식(2.6)은 전체 규칙의 추론결과로서 각 추론결과를 Max 합성한 값이 된다. 이상의 값들은 모두 확정된 수치로 나타난다.

퍼지 추론은 B^* 를 구함으로서 완성되는데, 이렇게 출력된 결과는 퍼지 집합 형태로 표현되므로 비퍼지화라 불리우는 추론 결과의 해석과정을 거쳐 하나의 확정된 수치로 출력된다. 추론 결과의 해석방법에는 최대치 또는 중심치를 취하는 방법, 중심법에 의하는 방법 등 여러 가지가 있지만, 본 연구에서는 일반적으로 많이 사용되고 있는 중심법을 이용하였으며 식(2.7)과 같이 정의된다.

$$y^* = \frac{\int B^*(y)ydy}{\int B^*(y)dy} \quad (2.7)$$

식(2.7)은 퍼지 집합 B^* 의 소속 함수 $B^*(y)$ 의 중심좌표 y^* 를 취하는 것으로, 대집합의 요소에 y 의 가중치 $B^*(y)$ 가 가중된 평균을 나타낸다.

3. 항로분석 시스템의 구성

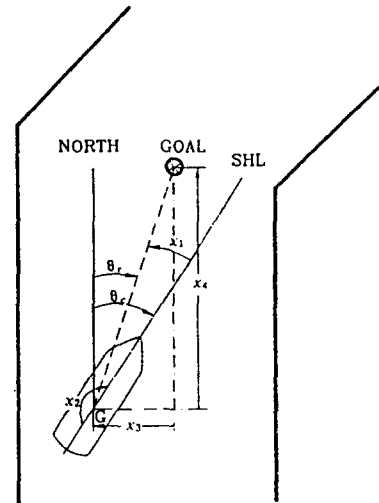
퍼지 항로분석 알고리즘을 구성하는데 있어서 항적에 대한 위치제어와 신침로거리를 고려한 변침제어를 목적으로 입출력 소속함수를 다음과 같이 고려하였다.

입력변수는 현재의 목표와 선박간의 상대각도(편각) x_1 , 선회 각속도 x_2 , 항로 중앙에서 선체중심까지의 횡거리 x_3 및 선체중심에서 목표까지의 종거리 x_4 의 4가지 변수로 하였으며, Fig. 3.1과 같이 표현된다.

출력변수는 항로상에 있어서의 선체운동 제어를 목적으로 하므로 선속은 일정하게 두는 것으로 가정하고 소요타각 y 만을 고려한다.

소속함수는 선장의 조선지식을 언어적으로 판단·표현할 수 있게 선장들과의 면담 및 시행착오를 거쳐 최소한으로 설정한 결과, 전진부의 소속 함수

인 편각 x_1 및 선회 각속도 x_2 의 경우 각각 5종류(Port Big, Port Medium, Zero, Stb'd Medium, Stb'd Big)로 하고, 횡거리 x_3 의 경우 3종류(Port Big, Zero, Stb'd Big), 종거리 x_4 의 경우 2종류(Near, Far)로 각각 하였다. 후진부의 소속 함수인 타각 y 의 경우는 7종류(Port Big, Port Medium, Port Small, Zero, Stb'd Small, Stb'd Medium, Stbid Big)로 하였다.



θ_c : Heading angle (Controlled)

θ_r : Heading angle (Objective)

$x_1 = \theta_r - \theta_c$: Deviation

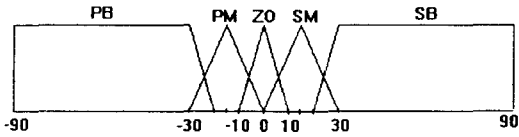
$x_2 = \dot{x}_1$: Turn Rate

x_3 : X-position

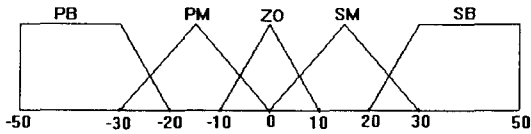
x_4 : Y-position

Fig. 3.1 Navigation Control Variables in Coordinate System

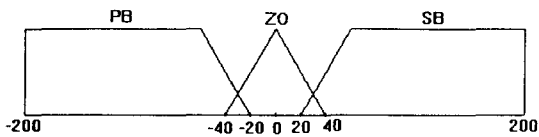
각 소속 함수의 대집합은 편각 x_1 이 $[-90, 90]$, 선회 각속도 x_2 는 $[-50, 50]$, 횡거리 x_3 는 $[-200, 200]$, 종거리 x_4 는 $[0, \infty]$, 타각 y 는 $[-35, 35]$ 으로 Fig. 3.2와 같이 하였다.



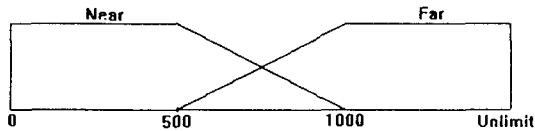
(a) Membership Function x_1



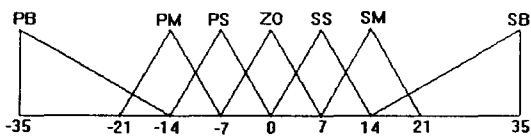
(b) Membership Function x_2



(c) Membership Function x_3



(d) Membership Function x_4



(e) Membership Function y

Fig. 3.2 Membership Function in Route Analysis Algorithm

제어규칙은 선형에 따른 선체운동이 다르므로 본 연구에서는 241m(2,700 TEU급) 컨테이너선을 기준으로 항로에서의 선박조종시 선장의 제어지식을 선장들의 면담과 시행착오를 거쳐 획득하였으며, 전건부 소속 함수로부터 얻어질 수 있는 총 150개의 퍼지 퍼지 제어규칙중 Table 3.1과 같은 총 31개의 제어규칙만으로 시스템의 운용이 가능한 것을 확인하였다.

Table 3.1 Fuzzy Rules in Route Analysis Algorithm

Rule No.	x_1	x_2	x_3	x_4	y
1	PB	PB	-	Far	ZO
2	PB	PB	-	Near	PS
3	PB	PM	-	-	PM
4	PB	ZO	-	-	PM
5	PB	SM	-	-	PB
6	PM	PB	-	Far	SM
7	PM	PB	-	Near	PS
8	PM	PM	-	Far	ZO
9	PM	PM	-	Near	PM
10	PM	ZO	-	-	PM
11	PM	SM	-	-	PB
12	ZO	PM	PB	-	SB
13	ZO	PM	ZO	-	SM
14	ZO	PM	SB	-	PM
15	ZO	ZO	PB	-	SM
16	ZO	ZO	ZO	-	ZO
17	ZO	ZO	SB	-	PM
18	ZO	SM	PB	-	SM
19	ZO	SM	ZO	-	PM
20	ZO	SM	SB	-	PB
21	SM	PM	-	-	SB
22	SM	ZO	-	-	SM
23	SM	SM	-	Near	SM
24	SM	SM	-	Far	ZO
25	SM	SB	-	Near	SS
26	SM	SB	-	Far	PM
27	SB	PM	-	-	SB
28	SB	ZO	-	-	SM
29	SB	SM	-	-	SM
30	SB	SB	-	Near	SS
31	SB	SB	-	Far	ZO

4. 시뮬레이션에 의한 검증

Table 4.1과 같은 상세를 가지는 241m(2,700 TEU급) 컨테이너선을 기준으로 설정된 상기의 항로분석 알고리즘을 시뮬레이션을 통하여 검증하기 위하여 선체운동 모델은 유체동력학적 미계수 등의 데이터를 SR 108 컨테이너선에 대한 무차원화된 미계수를 이용하였으며, 이 선체운동모델은 선행연구의 문헌 4)에서 이미 동정하였다. 참고로 유체동력학적 미계수 데이터들은 Table 4.2와 같다.

Table 4.1 Ship's Principal Particulars

Item	Symbol	Value	Unit
Ship length	L	230.5	m
Length overall	L_{OA}	241.1	m
Ship breadth	B	32.2	m
Mean draught	d_m	10.1	m
Block coefficient	C_b	0.561	-
Propeller diameter	D	8.0	m
Propeller pitch	P	9.5	m
Rudder area	A_R	52.6	m^2

Table 4.2 Hydrodynamic Derivatives & Coefficients

X-Force		Y-Force	
Derivative	Value	Derivative	Value
$X'_{\dot{m}}'$	-4.2255E-04	$Y'_{\dot{v}}'$	-1.1600E-02
$X'_{\dot{v}}'$	-3.1100E-03	$Y'_{\dot{r}}'$	2.4180E-03
		$Y'_{\dot{v}\dot{v}}'$	-1.0900E-01
		$Y'_{\dot{r}\dot{r}}'$	2.1400E-02
		$Y'_{\dot{m}}'$	-4.0500E-02
		$Y'_{\dot{r}\dot{r}}'$	1.7700E-03

N-Moment		Hull	
Derivative	Value	Derivatives	Value
$N'_{\dot{v}}'$	-3.8370E-03	m'	7.9200E-03
$N'_{\dot{r}}'$	-2.2200E-03	m'_x	2.3800E-04
$N'_{\dot{v}\dot{v}}'$	8.9000E-04	m'_y	7.0490E-03
$N'_{\dot{r}\dot{r}}'$	-4.2400E-02	Γ_z	4.5600E-04
$N'_{\dot{m}}'$	1.5600E-03	J_z	4.1900E-04
$N'_{\dot{r}\dot{r}}'$	-2.2900E-03		

Propeller		Rudder	
Coefficient	Value	Coefficient	Value
C_1	4.8500E-01	a_H	2.3700E-01
C_2	3.3600E-01	x'_H	-4.8000E-01
C_3	-3.3500E-01	x_R	-5.0000E-01
C_4	5.1000E-01	C_{RX}	7.1000E-01
C_5	1.9000E-01	k	6.3100E-01

Fig. 4.1은 퍼지 항로분석 알고리즘을 이용한 선체운동 시뮬레이션의 흐름도를 나타내며, 한 예로서 Table 4.3과 같은 초기치에서 시뮬레이션한 결과는 Fig. 4.2와 같이 나타났고, 항적을 아주 양호하게 추종함을 알 수 있다. Fig. 4.3은 시뮬레이션 과정에서의 입출력 함수값을 나타내고 있다.

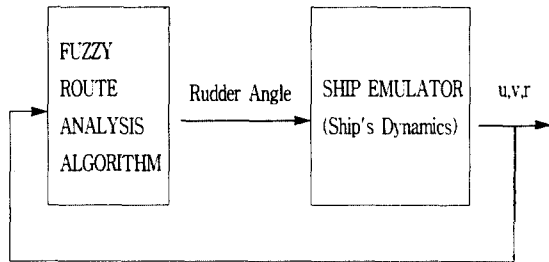


Fig. 4.1 Block Diagram of Route Analysis Simulation

Table 4.3 Initial Values for Route Analysis Simulation

Item	Initial Value
Way-Points (metre)	(0,0) → (800, 0) → (2,300, -500) → (4,000, 0) → (5,250, 500) → (7,000, 200)
Initial Course (degree)	090.0
Initial Speed (knot)	12.0
Wheel Over Point (metre)	Default [Default = ABS(altering angles)*5.0 * Reach]

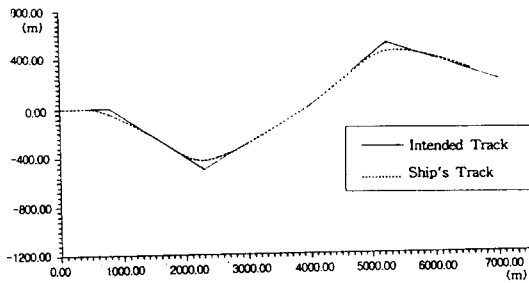
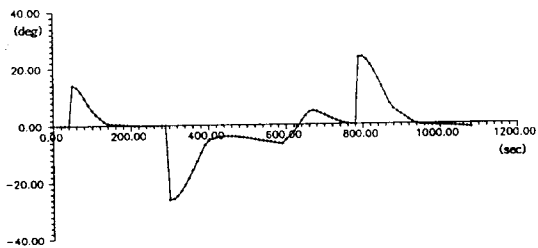
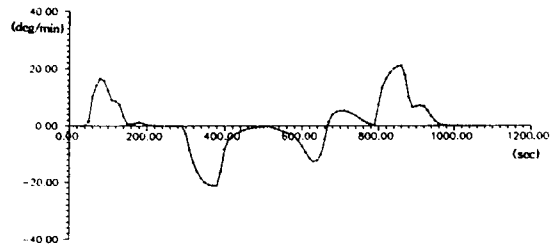


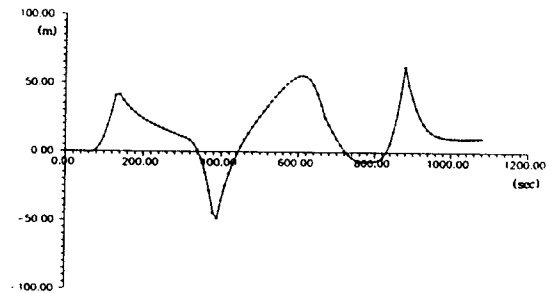
Fig. 4.2 Track Control Results by Route Analysis Simulation



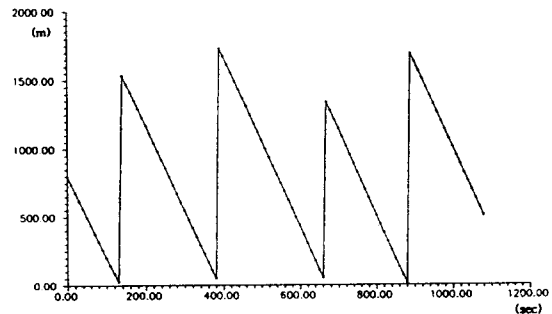
(a) Deviation(편각)



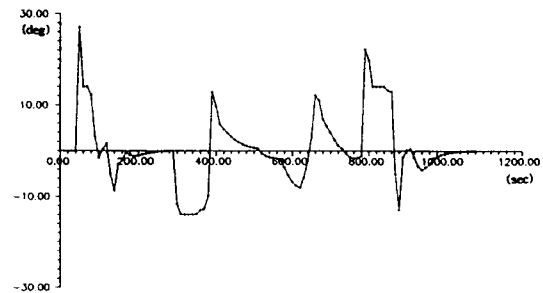
(b) Turn Rate(선회 각속도)



(c) X-Position(항로중앙에서 선체중심까지의 횡거리)



(d) Y-Position(선체중심에서 목표까지의 종거리)



(e) Rudder Angle(사용 타각)

Fig. 4.3 Input/Output Variables by Route Analysis Simulation

5. 결 론

241m (2,700 TEU급) 컨테이너 선형에 대한 Route Analysis 알고리즘을 퍼지 추론법을 이용하여 개발하여 실제 시뮬레이션하여 본 결과 항적의 추종성이 양호하게 나타났다.

이 알고리즘은 Route Planning 과정에서 임의적인 Way-Points를 입력시켜 이용하기 때문에 Supervised Data를 이용한 퍼지 신경회로망^{5),6)}을 이용할 경우, 본선 선체운동 특성상 추종이 불가능한 부적절한 Way-Points의 입력시 학습 데이터의 부재로 "Planning"의 기능을 수행하는데 한계를 가지나 퍼지 추론법에 의한 경우 선체 운동 특성에 따른 "Planning" 결과를 보여주므로서 보다 확실한 Route Analysis가 가능함을 알 수 있다.

앞으로 31개의 퍼지 제어규칙중에서 일부 규칙을 각각의 선형별 선체운동 특성에 맞게 수정할 필요가 있으며, 외력을 고려한 Track Control System으로의 발전적 연구가 요망된다.

참 고 문 헌

- 1) 해운항만청·한국해기연수원·한국선급, "IMO 제42차 항해안전 소위원회 회의 참가 보고서 (1996. 7. 15~19, IMO 본부)", 1996.7.
- 2) 菅野道夫, "ファジィ制御", 日刊工業新聞社, pp. 76-90, 1988.
- 3) 菅野道夫, "ファジィ制御", 日刊工業新聞社, pp. 5-24, 1988.
- 4) 구자윤·이철영, "저속시 선체운동모델을 이용한 FNN 선체 접이안시스템의 유효성 검증", 해양안전학회지, 창간호, pp 39-55, 1995.1.
- 5) 구자윤·이철영, "수로에 있어서 선박조종의 퍼지학습제어", 한국항만학회지, 제17권 제2호, pp.61-68, 1993.12.
- 6) 구자윤·이철영, "선박 접이안의 퍼지학습제어", 한국항해학회지, 제18권 제2호, pp.69-81, 1994.